

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE–UNICENTRO**

**PRODUÇÃO DE LÂMINAS E PAINEL  
COMPENSADO MULTILAMINADO COM  
MADEIRA DE *Hovenia dulcis* Thunberg (UVA-DO-  
JAPÃO)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EZAQUEL BEDNARCZUK**

**IRATI-PR**

**2015**

**EZAQUEL BEDNARCZUK**

**PRODUÇÃO DE LÂMINAS E PAINEL COMPENSADO MULTILAMINADO  
COM MADEIRA DE *Hovenia dulcis* Thunberg (UVA-DO-JAPÃO)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Éverton Hillig

Orientador

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andrea Nogueira Dias

Coorientadora

IRATI-PR

2015

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

B413p BEDNARCZUK, Ezaquel  
Produção de lâminas e painel compensado multilaminado com madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg (uva-do-japão) / Ezaquel Bednarczuk. -- Irati, PR : [s.n], 2015.  
71f.

Orientador: Prof. Dr. Éverton Hillig  
Coorientadora: Profª. Drª. Andrea Nogueira Dias  
Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná.

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Cerne. 3. Mistura de espécies.  
4. Alburno. 5. Pressão de prensagem. 6. *Pinus elliottii*. I. Hillig, Everton. II. Dias, Andrea Nogueira. III. UNICENTRO.

CDD 20 ed. 634.98



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997


## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

### PARECER

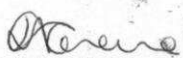
Defesa Nº 82

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir o mestrando **Ezaquel Bednarczuk** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**PRODUÇÃO DE LÂMINAS E PAINEL COMPENSADO MULTILAMINADO COM MADEIRA DE *Hovenia dulcis Thunberg* (UVA-DO-JAPÃO)**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

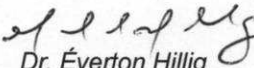
Curitiba-PR, 13 de agosto de 2015.



Dr. José Guilherme Prata  
Universidade Federal do Paraná  
Primeiro Examinador



Dr.ª Flávia Alves Pereira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Segunda Examinadora



Dr. Éverton Hillig  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Aos meus pais Estefano e Paulina, ao meu irmão Eliel e ao meu avô Estanislau Bednarczuk (*in memória*), pelo apoio e incentivo aos meus estudos.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr<sup>o</sup>. Éverton Hillig pela orientação, paciência, amizade, ensinamentos e ajuda sempre constante.

À professora coorientadora Dr<sup>a</sup>. Andrea Nogueira Dias pela paciência e ensinamentos passados.

À professora Msc<sup>a</sup>. Raquel Marchesan pela ajuda na obtenção das lâminas permanentes e imagens microscópicas da espécie *Hovenia dulcis*.

Aos colaboradores da UNICENTRO que me auxiliaram na colheita das toras de *Hovenia dulcis*.

À empresa AZF compensados pela doação das toras *Pinus elliottii*, laminação e secagem das lâminas.

À empresa FV de Araujo pela doação da resina fenólica e confecção dos corpos de prova.

Aos meus amigos Gabriel Schier e Andrei Novisnki pelo auxílio na classificação das lâminas de madeira.

Aos meus amigos Eduardo Pinheiro, Erick Mustefaga e João Fábio Machado pelo auxílio na confecção dos painéis.

Às estagiárias do laboratório de propriedades da madeira, Bruna Barbosa e Kallica Barauce Olinik que me auxiliaram nos ensaios dos painéis.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, aos professores, estudantes e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

À CAPES pelo apoio financeiro.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras .....	I
Lista de Tabelas .....	II
Resumo .....	III
Abstract.....	IV
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2. OBJETIVOS DA PESQUISA .....</b>	<b>03</b>
2.1. Objetivos gerais .....	03
2.2. Objetivos específicos .....	03
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>04</b>
3.1. <i>Hovenia dulcis</i> Thunberg.....	04
3.2. Painel compensado multilaminado .....	06
3.3. Processo de produção do compensado multilaminado .....	07
3.3.1. Preparo das toras e laminação .....	07
3.3.2. Secagem de lâminas .....	09
3.3.3. Produção dos painéis.....	10
3.3.3.1. Preparo do adesivo .....	10
3.3.3.2. Aplicação do adesivo.....	12
3.3.3.3. Assemblagem dos painéis .....	13
3.3.3.4. Prensagem à quente dos painéis .....	13
3.4. Composição e características da madeira que afetam a colagem dos painéis .....	15
3.4.1. Propriedades anatômicas.....	15
3.4.1.1. Anéis de crescimento (lenhos inicial e tardio) .....	16
3.4.1.2. Cerne e alburno .....	17
3.4.1.3. Lenhos de reação .....	17
3.4.1.4. Grã .....	18
3.4.2. Nós .....	19

3.4.3. Idade da árvore .....	20
3.4.4. Propriedades físicas.....	21
3.4.5. Propriedades químicas .....	23
3.5. Normas utilizadas para avaliar a qualidade dos painéis .....	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
4.1. Coleta do material.....	25
4.2. Caracterização da madeira .....	26
4.2.1. Propriedades físicas da madeira .....	26
4.2.2. Características anatômicas da madeira de <i>Hovenia dulcis</i> .....	27
4.3. Produção das lâminas.....	28
4.3.1. Laminação .....	28
4.3.1.1. Rendimento da laminação .....	29
4.3.2. Secagem e redimensionamento das lâminas .....	30
4.3.3. Classificação das lâminas.....	31
4.4. Experimento.....	32
4.5. Produção dos painéis .....	33
4.6. Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis .....	36
4.6.1. Confecção dos corpos-de-prova.....	36
4.6.2. Densidade aparente e teor de umidade.....	37
4.6.3. Absorção de água .....	38
4.6.4. Inchamento e inchamento mais recuperação.....	39
4.6.5. Flexão estática.....	40
4.6.6. Cisalhamento da linha de cola.....	41
4.7. Análise estatística do experimento .....	42
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
5.1. Caracterização da madeira .....	44
5.1.1. Propriedades físicas.....	44



5.1.2. Características anatômicas da madeira de <i>Hovenia dulcis</i> .....	45
5.2. Rendimento da laminação.....	47
5.3. Classificação das lâminas de madeira.....	48
5.4. Propriedades físicas dos painéis .....	49
5.4.1. Densidade aparente, espessura e teor de umidade .....	49
5.4.2. Estabilidade dimensional .....	51
5.4.2.1. Análise da absorção d' água.....	53
5.4.2.2. Análise do inchamento e inchamento mais recuperação em espessura....	55
5.5. Propriedades mecânicas .....	56
5.5.1. Flexão estática.....	56
5.5.2. Cisalhamento da linha de cola.....	59
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Hovenia dulcis</i> Thunberg.....	05
Figura 2. Histórico da produção e consumo de compensados no Brasil, 2002-2012.....	07
Figura 3. Fluxograma do procedimento para coleta das toras e dos discos das árvores .....	25
Figura 4. Caracterização da madeira. ....	26
Figura 5. Retirada dos blocos nas cunhas das toras da madeira de <i>Hovenia dulcis</i> e respectivos cortes nos mesmos.....	28
Figura 6. Aspectos da laminação.....	29
Figura 7. Preparo das lâminas. ....	31
Figura 8. Qualidade das lâminas, segundo as normas de classificação da ABNT.....	32
Figura 9. Montagem do painel no princípio de laminação cruzada.....	34
Figura 10. Produção dos painéis.....	35
Figura 11. Croqui de corte dos corpos de prova.....	36
Figura 12. Determinação das propriedades físicas.....	40
Figura 13. Ensaio de flexão estática.....	41
Figura 14. Ensaio de cisalhamento .....	42
Figura 15. Fotografias de lâminas anatômicas permanentes de <i>Hovenia dulcis</i> .....	46
Figura 16. Proporção de lâminas de cada classe de classificação, conforme as normas de classificação da ABNT .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teores de umidade para cada tipo de resina e característica das lâminas..	10
Tabela 2. Parâmetros avaliados na formulação do adesivo	11
Tabela 3. Determinação da gramatura – g/m <sup>2</sup> (colagem fenólica e uréica)	12
Tabela 4. Fatores de anisotropia e a respectivas classes de qualidade	22
Tabela 5. Tratamentos testados no experimento	33
Tabela 6. Propriedades da resina fenólica	34
Tabela 7. Descrição dos corpos de prova por ensaio	37
Tabela 8. Requisitos de tensão de ruptura e ruptura coesiva aparente na madeira	43
Tabela 9. Requisitos de densidade aparente para painéis de pinus de 5 lâminas e espessura de 9 mm	43
Tabela 10. Requisitos de flexão estática para painéis de pinus de 5 lâminas e espessura de 9 mm	43
Tabela 11. Propriedades físicas da madeira das espécies utilizadas	44
Tabela 12. Rendimento do processo de laminação	47
Tabela 13. Valores médios por tratamento para densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis	49
Tabela 14. Influência da pressão de prensagem e composição de lâminas na densidade aparente, espessura e teor de umidade nos painéis	50
Tabela 15. Valores médios por tratamento para absorção d' água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura dos painéis	52
Tabela 16 Influência da pressão de prensagem e composição de lâminas nos resultados de absorção d' água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura dos painéis	53
Tabela 17. Interação da pressão de prensagem com a composição de lâminas na absorção de água dos painéis (%)	55
Tabela 18. Valores médios por tratamentos para MOR e MOE no sentido paralelo e perpendicular dos painéis	56
Tabela 19. Influência dos fatores para MOR e MOE no sentido paralelo e perpendicular	57
Tabela 20. Interação da pressão de prensagem com a composição de lâminas nos resultados de MOE perpendicular (MPa)	58
Tabela 21. Valores médios de tensão de cisalhamento por tratamento	59
Tabela 22. Influência da pressão de prensagem e composição de lâminas nos resultados de tensão de cisalhamento	60
Tabela 23. Interação da pressão de prensagem com a composição de lâminas nos resultados de tensão de cisalhamento da linha de cola após fervura	61

## RESUMO

Ezaquel Bednarczuk. Produção de lâminas e painel compensado multilaminado com madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg (Uva-do-Japão).

O estudo objetivou avaliar a qualidade de painéis compensados multilaminados produzidos com lâminas de alburno e de cerne da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg, e em combinação com lâminas de *Pinus elliottii*, considerando o efeito do uso de diferentes pressões de prensagem e a influência das características da madeira nas propriedades dos painéis. Foi realizada a caracterização anatômica e física da madeira de alburno e cerne de *Hovenia dulcis* e a caracterização física da madeira de pinus. Também foi realizada a determinação do rendimento da laminação e a classificação da qualidade das lâminas. Os painéis foram produzidos sob três pressões específicas de prensagem (9, 12 e 15 kgf/cm<sup>2</sup>) e em seis combinações de lâminas de madeira, utilizando cerne e alburno da *Hovenia dulcis* e *Pinus elliottii*, para após serem avaliadas suas propriedades físico-mecânicas por meio das normas da ABNT. Utilizou-se resina fenol-formaldeído, na gramatura de 160 g/m<sup>2</sup> em linha simples e teor de sólidos de 35%. A análise anatômica mostrou que a madeira de alburno é mais permeável que a de cerne de *Hovenia dulcis*. As madeiras de alburno e de cerne de *Hovenia dulcis* não apresentaram diferença estatística significativa para densidade básica, porém ambas apresentaram maior densidade básica que a madeira de *Pinus elliottii*. A estabilidade dimensional das madeiras de *Hovenia dulcis* e de *Pinus elliottii* foi equivalente. O rendimento médio da laminação para as toras de *Hovenia dulcis* foi menor que a do pinus, com média de 55,56%, mas forneceu lâminas contendo nós com diâmetros menores. Os painéis produzidos apresentaram propriedades físico-mecânicas em conformidade com os parâmetros definidos pela ABIMCI. O aumento da pressão de prensagem resultou no aumento da densidade aparente, inchamento e inchamento mais recuperação em espessura dos painéis, e redução da absorção de água. Os painéis produzidos com lâminas de *Hovenia dulcis* tiveram maior densidade aparente, rigidez e resistência da linha de cola e menor absorção de água e teor de umidade em relação aos painéis produzidos com lâminas de pinus.

**Palavras chave:** Madeira de alburno; Madeira de cerne; Mistura de espécies; Pressão de prensagem.

## ABSTRACT

**Ezaquel Bednarczuk.** Flake production and stiff board multi laminated panel with *Hovenia dulcis* Thunberg wood (Uva-do-Japão).

The study aimed to evaluate the quality of plywood multi laminated produced with sapwood and heartwood of *Hovenia dulcis* Thunberg, and in combination with *Pinus elliottii*, considering the effect of the use of different pressing pressures and the influence of the characteristics of the wood in the properties of the panels. The anatomical and physical characterization of sapwood and heartwood of *Hovenia dulcis* and physical characterization of the wood of pinus. Was also performed to determine the yield of the lamination and the classification of the quality of the blades. The panels were manufactured under three specific pressing pressures (9, 12 and 15 kgfcm<sup>2</sup>) and in six combinations of wood blades, using the heart and sapwood of *Hovenia dulcis* or in combination with wooden blades of *Pinus elliottii*, in order to evaluate their physical and mechanical properties, according to ABNT rules. Phenolphormaldehyde resin was applied, 160 g/m<sup>2</sup> particle weight in simple line and 35% solid contents. Anatomical analysis showed that the wood of sapwood is more permeable than the heartwood of *Hovenia dulcis*. The woods of sapwood and heartwood of *Hovenia dulcis* did not show a statistically significant difference for basic density, but both had higher basic density than the wood of *Pinus elliotti*. The dimensional stability of wood of *Hovenia dulcis* and *Pinus elliottii* was equivalent. The average yield of lamination to the logs of *Hovenia dulcis* was less than that of pinus, with average of 55,56%, but provided blades containing with knots smaller diameters. The manufactured panels presented physical and mechanical properties according to patterns defined by ABIMCI (Mechanically Processed Wood Industry Brazilian Association). Pressing pressure influenced bulk density, swelling and swelling plus retrieval thickness panels, which increased proportionally to pressure rise, on the opposite to water absorbance. The panels produced with blades of *Hovenia dulcis* had a higher bulk density, stiffness and strength of the glue line and lower water absorption and moisture content in relation to panels produced with pinus.

**Key words:** Wood of sapwood; Wood of Heartwood; Mixture of species; Pressing pressure.

## 1. INTRODUÇÃO

As propriedades físico-mecânicas dos painéis compensados multilaminados podem se apresentar superiores às dos painéis particulados de madeira. Em relação à madeira serrada, apresentam melhor aplicabilidade, que está relacionada às dimensões que são produzidos. Essas características têm importância para os setores onde esses painéis são destinados, destacando-se no Brasil a construção civil e a produção de móveis.

Segundo Schwab et al. (2012), as estratégias apontadas para a manutenção das empresas de compensados no mercado é o redirecionamento para o mercado interno, União Européia e para o Oriente Médio, porém, a forte concorrência de países asiáticos, como a China, faz com que os mercados internacionais não sejam penetrados suficientemente para consumir a produção. Segundo dados da (ABRAF, 2013) mais de 50% da produção de compensados multilaminados é absorvida pelo mercado interno.

Esse contexto exige das empresas brasileiras maiores investimentos em tecnologia de produção que aumentem a sua produtividade, bem como a busca por novas espécies de rápido crescimento e boa qualidade, que forneçam madeira com maior diâmetro em menos tempo. Assim, o preço do produto final poderá ser reduzido devido à redução do desperdício de matéria prima e do seu custo, proporcionando maior viabilidade para o uso do painel compensado multilaminado, tanto no mercado interno quanto no externo.

No Brasil, os painéis compensados multilaminados são produzidos com madeira de espécies de rápido crescimento como o pinus, eucalipto e, recentemente, o paricá, uma espécie tropical com vasta área plantada no norte do país (PINTO e IWAKIRI, 2013). Dessa forma, torna-se importante realizar estudos que confirmem a viabilidade de utilização da madeira de espécies não tradicionais na produção de painéis compensados.

Algumas pesquisas foram realizadas para avaliar a viabilidade da utilização de outras espécies na produção de painéis compensados. Iwakiri et al. (2013) estudaram a produção de painel compensado multilaminado utilizando lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* coladas com resina fenol-formaldeído. Iwakiri et al (2011) avaliaram a qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Palma et al. (2012) utilizaram lâminas de *Hevea brasiliensis* coladas com resina fenol-formaldeído. Pinto (2011) avaliou o rendimento em laminação e a qualidade dos painéis compensados de lâminas de *Criptomeria japonica* coladas com resinas fenol-

formaldeído e uréia-formaldeído. Outros autores, como Albino et al. (2011) , Lima e Pio (2007) e Bortoletto Jr. e Belini (2002) utilizaram lâminas de madeira das espécies *Toona ciliata*; *Copaifera duckei* e *Eperua oleifera*; e *Schizolobium parahyba* Vell. Blake, respectivamente.

A *Hovenia dulcis* é uma espécie pioneira, de rápido crescimento, e existem estudos para o seu plantio, para a implantação de povoamentos florestais e para a caracterização da sua madeira. A madeira é moderadamente pesada, com baixos coeficientes de retratibilidade, alta estabilidade e mostra-se adequada para o processamento mecânico e movelaria (RIGATTO ET AL., 2001).

Por outro lado, alguns órgãos ambientais consideram a espécie como invasora, devido a sua fácil dispersão e adaptabilidade. Carvalho (1994), descreve a região de Irati-PR como um dos locais onde existe uma grande dispersão da espécie. Considerando que a região apresenta boa parte do setor madeireiro composta por indústrias de compensado, esse setor pode se tornar mais um consumidor dessa madeira.

Tendo em vista a importância de novas alternativas de matéria prima, que forneçam madeira de melhor qualidade e de rápido crescimento para as indústrias de compensado, o estudo da utilização desta espécie proporcionará informações importantes sobre os parâmetros do processo produtivo e sobre as propriedades físico-mecânicas dos painéis, incentivando o uso da madeira da *Hovenia dulcis*. A utilização da madeira da espécie, que ocorre de forma invasora na região, pode contribuir para seu controle ou para o cultivo em escala comercial, desde que sejam tomadas medidas que evitem sua dispersão indesejada.

## **2. OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a viabilidade técnica da madeira da espécie *Hovenia dulcis* Thunberg para a produção de lâminas e de painel compensado multilaminado.

### **2.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar as propriedades físicas e anatômicas da madeira de *Hovenia Dulcis* estudada.
- b) Avaliar o rendimento da laminação e a qualidade das lâminas produzidas em torno laminador.
- c) Avaliar o efeito da pressão de prensagem e da composição de lâminas nas propriedades do painel.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. *Hovenia dulcis* Thunberg

A *Hovenia dulcis* Thunberg vulgarmente conhecida como Uva-do-Japão, pertencente à família das Rhamnaceae, ocorre naturalmente na China, Japão e na Coreia, em latitude de 25 à 41 ° N, longitude de 100 à 142 ° E, e altitude de 165 à 1350 m, em regiões com precipitação entre 850 mm e 2.000 mm e temperatura média anual de 7 à 17 ° C. A dispersão de sementes é por via zoocórica. Fora da área de ocorrência, a espécie encontra-se em estado espontâneo ou cultivada no sudeste da Ásia, desde o Nepal até a Índia, no norte da Argentina e no Paraguai. No sul do Brasil, ela é difundida pelo cultivo, de forma isolada ou em pequenos talhões, nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e no sudoeste do Paraná. São comuns pequenos plantios de *Hovenia dulcis* em propriedades agrícolas, implantados por mudas ou, eventualmente, por semeadura a lanço no terreno, com crescimento bastante variável, sendo encontrado o maior incremento de 30 m<sup>3</sup>/ha.ano no município de Fenix-PR aos 10 anos de idade (CARVALHO, 1994).

Chagas (2009) observou incremento diametral acumulado de 17,159 cm e incremento médio anual de 0,953 cm nas árvores de *Hovenia dulcis* com 18 anos de idade, situadas no município de Paulínia-SP (sítio A) e valores médios de 28,420 e 1,015 cm, para árvores com 28 anos de idade, localizadas no município de Piracicaba-SP (sítio B).

Segundo Kanieski et al. (2012), que realizou estudos em área de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, no município de Araucária – PR, a *Hovenia dulcis* apresentou crescimento vigoroso ao longo dos meses de junho de 2009 a julho de 2010, com um incremento diamétrico superior ao das outras espécies analisadas, sendo mais influenciada pela variável climática temperatura média.

A árvore é caducifólia, comumente com 10 a 15 m de altura e 20 a 40 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), podendo atingir 25 m de altura e 50 cm ou mais de DAP no sul do Brasil. O tronco geralmente reto e cilíndrico com fuste de até 8 m de comprimento (Figura 1). Em plantios no Brasil são indicados para a espécie espaçamentos de 2 x 2 m e 3 x 2 m, apresentando crescimento monopodial e boa forma de fuste, com boa desrama natural, necessitando poda dos galhos como complementação; como a espécie

apresenta gemas dormentes subcorticais, rebrotando intensamente da touça, pode ser manejada por talhadia, com rotações previstas de 10-15 anos (CARVALHO, 1994).



**Figura 1.** *Hovenia dulcis* Thunberg: A (com folhas), B (sem folhas).

**Fonte:** A - Schwirkowski (2011); B – Real Jardim Botânico de Madrid [ca.2010].

A densidade aparente à 12% de umidade determinada pelo método de densitometria de raios X, apresentou valores estatisticamente iguais para as árvores de dois sítios distintos, com média de  $0,925 \text{ g/cm}^3$ . A espécie tem anéis de crescimento bem distintos, transição gradual entre os lenhos inicial e tardio em um mesmo anel e abrupta em relação ao anel formado no ano subsequente. A transição das camadas de crescimento pode ser observada a olho nu na superfície polida (CHAGAS, 2009).

A espécie apresenta madeira com densidade aparente de  $0,50$  a  $0,72 \text{ g/cm}^3$  a 15% de umidade, coloração do alburno amarelo e cerne amarelo a castanho-escuro ou vermelho, brilho opaco a mediano, sem cheiro, textura fina a homogênea, grã direita, madeira resistente, medianamente tenaz e elástica, pouco durável em contato com o solo, fácil de trabalhar, dando superfícies lisas e brilhantes (CARVALHO, 1994).

Conforme Rigatto et al. (2001), espécies plantadas na região de Erechim-RS, apresentaram, madeiras com as seguintes características: densidade básica de  $0,549 \text{ g/cm}^3$ , teor de extrativos totais de 7,0 %, teor de lignina de 24,1 %, teor de holocelulose de 68,9 %. O comprimento médio de fibra foi de 1,2 mm, com variação de 1,08 a 1,29 mm, considerada fibra curta. A retratibilidade longitudinal foi de 0,3 %, radial de 4,2 %, e tangencial de 10,2 %.

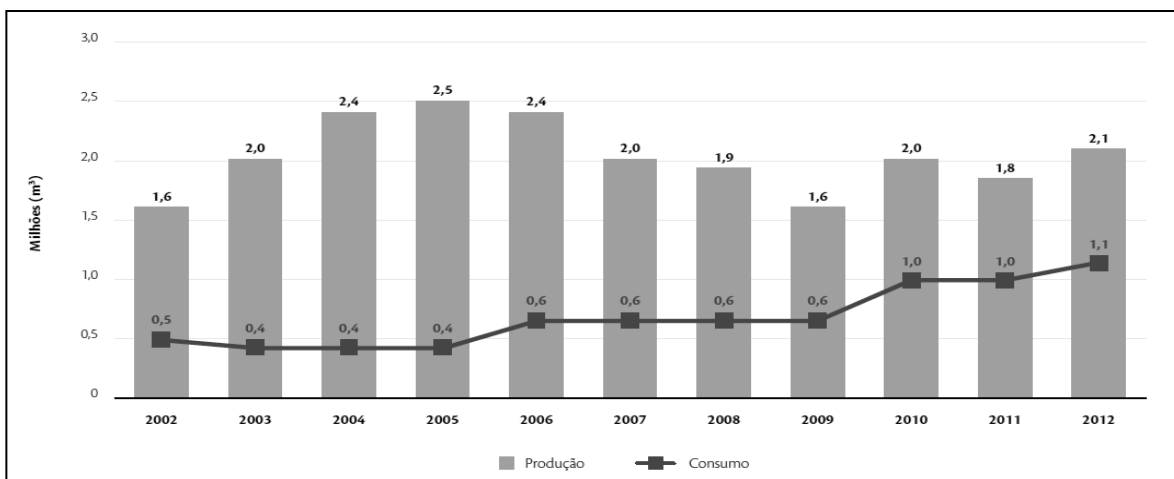
tangencial de 6,5 %. A contração volumétrica média foi de 11,9 % e a anisotropia de contração 1,5. Poder calorífico superior foi de 4534 kcal/kg.

Motta et al. (2014) caracterizaram a madeira de *Hovenia dulcis* que apresenta: frequência vascular de 6,85 n.º/mm<sup>2</sup>, considerada madeira de poucos poros; diâmetro tangencial dos poros de 114,79 µm, tendo poros de tamanhos médios; altura dos raios de 327,15 µm, considerada madeira de raios pequenos; largura dos raios de 51,33 µm; frequência de raios de 6,63 n.º/mm<sup>2</sup>, classificada como madeira de poucos raios; comprimento das fibras de 967,86 µm, classificada como madeira de fibra curta; largura da fibra de 18,82 µm; diâmetro do lume de 9,19 µm; para espessura da fibra de 4,81 µm, classificada como madeira de fibras de paredes delgadas a espessas. Para as propriedades físicas: densidade básica de 0,577 g/cm<sup>3</sup>, considerada média densidade; contração tangencial de 7,68%, radial de 4,36%, volumétrica 11,76% e coeficiente de anisotropia de 1,77, considerada madeira normal.

### **3.2. Painel compensado multilaminado**

Painel composto de lâminas de madeira sobrepostas em número ímpar de camadas unidas por uma força adesiva, formando um ângulo de 90° entre as camadas adjacentes, cujo tipo de montagem compensa as diferenças das alterações dimensionais e de resistência, nos sentidos longitudinais e transversais da madeira. Os compensados podem ser de uso interior quando utilizado o adesivo uréia-formaldeído e uso exterior ou “prova d’água” quando a colagem é à base de adesivo fenol-formaldeído. O compensado multilaminado apresenta algumas vantagens em relação à madeira serrada, apresentando maior coeficiente de resistência, distribuído de maneira uniforme por todo painel, menor contração e maior estabilidade dimensional, podendo se obter painéis com maiores dimensões que a madeira serrada e com preços menores (IWAKIRI, 2005).

Segundo (ABRAF, 2013) os principais segmentos consumidores do mercado brasileiro de compensado multilaminado são as indústrias de móveis e da construção civil. Nos últimos 10 anos (2002-2012), a produção de compensado evoluiu de 1,6 milhão de m<sup>3</sup> anuais, em 2002, para 2,1 milhões de m<sup>3</sup> anuais, em 2012, um crescimento médio de 2,8% a.a. No mesmo período, o consumo evoluiu de 0,5 para 1,1 milhão de m<sup>3</sup> anuais, resultando em um incremento de 9,0% a.a., conforme ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Histórico da produção e consumo de compensados no Brasil, 2002-2012.  
**Fonte:** ABRAF (2013)

### 3.3. Processo de produção do compensado multilaminado

#### 3.3.1. Preparo das toras e laminação

Conforme Iwakiri (2005), lâmina de madeira pode ser definido como material produzido pela ação de corte através de uma “faca específica”, em peças que variam de 0,13 a 6,35 mm de espessura. Exigindo para uma boa classificação apresentar espessura uniforme, lâminas com as superfícies lisas, sem manchas, normal ao plano da lâmina, sem fendilhamento das fibras. O preparo das toras para laminação consiste no descascamento, conversão e aquecimento, sendo que a ordem do processo pode mudar dependendo da espécie de madeira utilizada.

- O seccionamento tem como função deixar as toras nas dimensões necessárias para a laminação em torno ou em faqueadeira e eliminar topos fendilhados que evitam o deslizamento das garras e a produção de lâminas fendilhadas.
- O descascamento tem por objetivo a remoção da casca com finalidade de diminuir o tempo de aquecimento.
- O aquecimento tem por finalidade aumentar a plasticidade da madeira devido a mudanças físicas da lignina, também pode melhorar a qualidade de laminação de madeiras duras e proporciona a obtenção de lâminas mais espessas. Algumas variáveis do processo que podem influenciar no aquecimento das toras: a espécie e a densidade da madeira, o tempo de aquecimento, a temperatura inicial da madeira,

a temperatura final da madeira, o gradiente de temperatura e o teor de umidade da madeira.

Prata (2006) descreve que, o cozimento das toras melhora a qualidade superficial das lâminas, por elasticizar a madeira, facilitando o processo de laminação. Fatores como tempo de cozimento das toras, teor de umidade e temperatura da tora no ato da laminação, regulagem do torno, densidade da madeira, e manutenção do torno influenciam diretamente na qualidade das lâminas. Um processo ineficiente de cozimento de toras pode gerar lâminas felpudas e escamosas, conseqüentemente produzindo painéis de baixa qualidade, além de aumentar o custo de produção devido ao maior consumo de resina.

A temperatura mais adequada para "amolecer as fibras" depende da densidade e da estrutura da madeira. Folhosas que apresentam densidade aparente baixa ( $400 \text{ kg/m}^3$ ) podem ser desenroladas na temperatura ambiente. Folhosas com densidade aparente média ( $460 \text{ kg/m}^3$ ) cortam bem à uma temperatura de  $60^\circ\text{C}$ . Madeiras densas com densidade aparente de  $600$  e  $640 \text{ kg/m}^3$  cortam melhor com uma temperatura de  $93^\circ\text{C}$  (UMAÑA e BRITO, 2004).

ABIMCI (2009b) classifica as toras em quatro classes em relação a sua densidade básica, determinando a temperatura e o tempo de cozimento:

- Classe 1: Toras com densidade de até  $500 \text{ kg/m}^3$  não é obrigatório o cozimento;
- Classe 2: Toras com densidade de  $500$  à  $600 \text{ kg/m}^3$  é recomendado temperatura de cozimento acima de  $60^\circ\text{C}$  e tempo acima de 12 horas;
- Classe 3: Toras com densidade de  $601$  à  $700 \text{ kg/m}^3$  é recomendado temperatura de cozimento acima de  $60^\circ\text{C}$  e tempo acima de 24 horas;
- Classe 4: Toras com densidade acima de  $700 \text{ kg/m}^3$  recomenda-se temperatura acima de  $60^\circ\text{C}$  e tempo acima de 48 horas.

Medina (1986) avaliando o efeito de três temperaturas de aquecimento ( $20$ ,  $40$ ,  $60^\circ\text{C}$ ) das toras de *Pinus elliottii* engelm sobre o rendimento da laminação e qualidade das lâminas, observou que a temperatura de  $60^\circ\text{C}$  apresentou redução das perdas de manuseio, pois as lâminas desenroladas nesta temperatura foram as mais rígidas por apresentar menor profundidade do fendilhamento. Com isso, o rompimento das lâminas durante o manuseio é menor. Esta diminuição na profundidade das fendas nas lâminas também proporcionou para os painéis valores mais altos de resistência ao cisalhamento em tratamento seco e úmido.

Arruda (2012) encontrou diferença significativa na rugosidade das lâminas entre os lados com fendas e sem fendas (lados com fenda é a parte de lâmina que fica em contato com a faca e lado sem fenda é parte da lâmina que é pressionada pela barra de compressão no momento da laminação).

Bonduelle et al. (2006) estudando a influência de alguns fatores sobre o rendimento na laminação de *Pinus spp* em 33 indústrias do estado do Paraná, obtiveram rendimento médio das toras com casca de 48% e das toras sem casca de 73%, com maiores perdas no arredondamento. Observaram a produção de maior volume de lâminas para toras que apresentaram maior diâmetro e volume, e a produção de menor volume de lâminas para toras que apresentaram maior fator de conicidade.

O rendimento médio do processo de laminação das toras de *Pinus merkusii* foi de 54,4%. Onde foi observada maior perda de manuseio para as lâminas de espessura nominal igual a 2,00 mm em relação às lâminas de 3,00 mm, possivelmente pelo fato das lâminas mais finas serem menos firmes e quebrarem com maior facilidade, portanto, resistirem menos ao manuseio (BORTOLETTO JUNIOR, 2008).

Almeida et al. (2014) observaram, para cinco árvores do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, aos sete anos e dez meses de idade, sem desrama, um rendimento médio de laminação sem casca de 52,73%, com 64,55% das lâminas secas produzidas classificadas nas classes C e C<sup>+</sup>. Descrevendo que, as toras da base renderam maior número de lâminas, no entanto, de qualidade inferior por apresentarem nós de maior diâmetro em relação às produzidas pelas toras do topo.

### **3.3.2. Secagem de lâminas**

A secagem deve ocorrer em seguida à laminação, visando minimizar o surgimento de fungos manchadores, comuns, particularmente na madeira de pinus. Quanto à alimentação das lâminas nos secadores, quando realizado manualmente, deve ser contínuo para evitar a redução do volume efetivo das lâminas no secador, o que aumenta a taxa de secagem, e conseqüentemente, a presença de defeitos nas lâminas (ABIMCI, 2004).

Segundo Umaña e Brito (2004), o teor de umidade das lâminas, logo após a laminação, é bastante elevado em razão das condições impostas para a sua obtenção, situando-se na faixa de 80 a 100%. Para se evitar perdas por defeitos e permitir sua rápida

industrialização, a secagem das lâminas é um fator de máxima importância e urgência, tornando-se um dos quesitos mais importantes na laminação.

Para Iwakiri (2005), na produção do compensado, altos teores de umidade geralmente resultam em uma colagem pobre e formação de bolhas ocasionando descolamento e/ou material estourado. Por outro lado, um teor de umidade extremamente baixo é prejudicial, pois a lâmina demasiadamente seca absorve a água contida na cola, impossibilitando a adesão. As lâminas devem ser secas relacionando o tipo de resina que será utilizado no processo de colagem. Para utilização de uréia-formaldeído, as lâminas devem apresentar teor de umidade na faixa de 10 a 12%, enquanto que, para resina fenol formaldeído o teor de umidade deve estar na faixa de 6 a 8%.

Conforme a ABIMCI (2009b), além de considerar o tipo de resina utilizado no processo, é necessário considerar o local de aplicação da lâmina para definir os teores de umidade utilizados. Os valores sugeridos são descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Teores de umidade para cada tipo de resina e característica das lâminas

Lâmina	Colagem	
	Fenólica	Uréica
Capa	< 12%	< 14%
Miolo seco	< 08%	< 12%
Miolo Cola	< 08%	< 08%
Contra Capa	< 12%	< 14%

**Fonte:** ABIMCI (2009b)

Após secagem as lâminas são classificadas, guilhotinadas e podem ser emendadas por fitas ou fios, conforme o processo produtivo de cada empresa e largura da lâmina desejável (PINTO, 2011).

### **3.3.3. Produção dos painéis**

#### **3.3.3.1. Preparo do adesivo**

Pinto (2011) descreve que a preparação do adesivo é realizada em um misturador, sendo a formulação definida conforme o tipo de resina utilizada e a quantidade dos componentes definida de maneira que atenda o nível de qualidade de colagem desejável a

um mínimo custo para a fábrica. O adesivo utilizado para colagem de lâminas é preparado com a mistura de vários componentes como: resina, extensor, água, catalisador, materiais de enchimento e aditivos químicos, como retardantes de fogo e imunizantes contra agentes biodegradadores.

Iwakiri (2005) apresenta os parâmetros que devem ser avaliados no preparo do adesivo:

- Viscosidade: geralmente determinado no processo produtivo em um copo Ford nº 8, variando o tempo de escoamento de 30 a 60 segundos. Sendo estipulada a viscosidade em função da densidade da madeira;
- Teor de sólidos (TS): a quantidade de sólidos no adesivo que é determinado em percentual, pela expressão 1:

$$\text{TS do adesivo (\%)} = \frac{[\text{Resina(Kg)} * \text{TS da resina(\%)}]}{[\text{Resina(Kg)} + \text{Água(Kg)} + \text{Extensor(Kg)} + \text{Outros(Kg)}]} * 100 \quad (1)$$

ABIMCI (2009b) define alguns valores para viscosidade e teor de sólidos, relacionados à densidade da madeira e o tipo de resina que podem ser aplicados na produção de compensado multilaminado, (Tabela 2).

**Tabela 2.** Parâmetros avaliados na formulação do adesivo

Item	Classe da Madeira	Colagem	
		Fenólica	Uréica
Teor de sólidos		> 35%	> 25%
Viscosidade	1, 2 e 3	40 - 60 segundos	
	4	30 - 40 segundos	
Tempo de preparação		> 4 minutos	

**Fonte:** ABIMCI (2009b)

Iwakiri et al. (2013) analisaram a qualidade dos painéis compensados multilaminados produzidos com lâminas de 2 mm utilizando a madeira de *Sequoia sempervirens*, duas formulações de teor de sólidos do adesivo: 42,60% e 37,72%, e gramaturas de 280 g/m<sup>2</sup> e 320 g/m<sup>2</sup>. Observaram que as diferentes formulações de cola e gramaturas não afetaram significativamente as propriedades dos painéis compensados, sendo um bom resultado sob o ponto de vista econômico.



Iwakiri et al. (2007) avaliaram a possibilidade de se utilizar *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis compensados estruturais, utilizando lâminas de 2 mm e resina fenol-formaldeído com formulações de adesivo contendo 42,6%, 40,8% e 37,7% de sólidos. As diferentes formulações do adesivo com variações no teor de sólidos da batida de cola, não afetaram de forma significativa as propriedades de resistência mecânica dos painéis.

### 3.3.3.2. Aplicação do adesivo

A aplicação do adesivo sobre a superfície pode ser feita por mecanismo aplicador de rolo, spray, cortina ou extrusão. Sendo para todo tipo de aplicação de fundamental importância o controle da quantidade de adesivo por m<sup>2</sup> (gramatura), que é determinada em função do tipo de resina, teor de sólidos da mistura do adesivo e espessura das lâminas (IWAKIRI, 2005).

Arruda (2012) observou que, no processo de produção de compensado, deve ser considerado o lado da lâmina de maior rugosidade na aplicação do adesivo. As fendas que ocorrem no lado de maior rugosidade das lâminas drenam uma gota d'água rapidamente, mas na superfície mais lisa a sua permanência é maior. Assim também ocorre com o adesivo, fazendo com que se espalhe por uma superfície maior no lado mais liso da lâmina, com isso, lâminas de superfícies rugosas necessitam de mais adesivo para uma colagem eficaz.

De acordo com a ABIMCI (2009b), para determinação da gramatura no processo deve-se avaliar a densidade da madeira e a espessura da lâmina. Conforme é demonstrado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Determinação da gramatura – g/m<sup>2</sup> (colagem fenólica e uréica)

<b>Espessura da Lâmina (mm)</b>	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3 e 4</b>
<1,0	> 260	> 260	> 260
1,0 a 2,0	> 280	> 280	> 280
2,0 a 3,0	> 320	> 320	> 320
> 3,5	> 370	> 370	> 360

**Fonte:** ABIMCI (2009b)

Pinto e Iwaki (2013) analisaram a viabilidade da utilização de lâminas de 2 mm de *Cryptomeria japonica* em painéis de madeira compensada, coladas com resina fenol-formaldeído e uréia-formaldeído com gramaturas de 270 g/m<sup>2</sup> e 300 g/m<sup>2</sup>. Não encontraram influência da gramatura nos resultados dos ensaios de flexão estática, cisalhamento na linha de cola e densidade dos painéis.

Lima et al. (2011) avaliaram o efeito de quatro gramaturas (270; 330; 364 e 390 g/m<sup>2</sup>) em relação a resistência da linha de cola, na produção de painéis compensados utilizando lâminas de duas espécies: *Copaifera duckei* Dawyer (0,60 g/cm<sup>3</sup>) e *Eperua oleifera* Ducke (0,62 g/cm<sup>3</sup>), com 2,2 mm de espessura. Para espécie *Eperua oleifera* Ducke a gramatura de melhor desempenho foi de 330 g/ m<sup>2</sup>, quando avaliado o ensaio de resistência na linha de cola e falha de madeira na posição capa seco. Os painéis da espécie *Copaifera duckei* Dawyer não apresentaram diferença significativa entre os resultados.

### **3.3.3.3. Assemblagem dos painéis**

Para Iwaikiri (2005), após a aplicação do adesivo nas lâminas, é realizada a montagem do painel, através da sobreposição de lâminas, seguindo o conceito de laminação cruzada. Após a montagem os painéis passam pelo período de assemblagem para que seja efetivada a transferência e absorção do adesivo para as lâminas sobrepostas. O tempo de assemblagem refere-se ao tempo transcorrido desde a montagem do painel até o carregamento à prensa quente, sendo determinado um tempo máximo de 12 horas. Durante o tempo de assemblagem pode ser aplicado a pré-prensagem, que auxilia na transferência e distribuição do adesivo entre as lâminas, além de facilitar para colaboradores da empresa na atividade de carregamento da prensa quente.

Pinto (2011) descreve que, durante o período de assemblagem muitas fábricas aplicam a pré-prensagem, frequentemente denominada de prensagem a frio. A ABIMCI (2009b) recomenda, para um processo de prensagem a frio eficiente, utilizar pressão de 4 a 9 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de 4 a 12 minutos.

### **3.3.3.4. Prensagem à quente dos painéis**

Para Iwakiri (2005), a prensagem a quente tem como objetivo finalizar a interação do adesivo-madeira, por meio de reações físicas e química. As variáveis do processo de

prensagem são: pressão, temperatura e tempo de prensagem. A pressão tem a função de transferir o adesivo de uma lâmina para outra e assegurar um contato adequado entre as lâminas, também proporcionando a redução dos espaços vazios da madeira devido à compressão, melhorando a difusão de calor a partir da superfície até o centro do painel. Painéis constituídos por lâminas de várias espécies deve-se ajustar a pressão levando em consideração a madeira de menor densidade, pois pressão muito alta em madeiras leves pode ocasionar redução da espessura dos painéis e perda volumétrica. A temperatura de prensagem está relacionada ao tipo de resina que é utilizada no processo de colagem e deve ser de 130 a 150°C para resina fenol-formaldeído. O tempo de prensagem deverá ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura ideal para a cura da resina.

ABIMCI (2009b) recomenda para madeira de pinus pressão de 8 a 12 kgf/cm<sup>2</sup> para qualquer tipo de resina, para madeira tropical a pressão recomendada é de 10 a 14 kgf/cm<sup>2</sup> quando há utilização de resina fenólica. O tempo de prensagem é em função da temperatura utilizada, espessura do painel e o tipo de resina empregada na colagem. Para temperaturas menores de 140°C e resina fenol-formaldeído sugere o uso de um minuto para cada milímetro de espessura do painel, temperaturas acima de 140°C aplicam-se 0,8 minutos para cada milímetro de espessura.

Albino et al. (2011) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados produzidos a partir de lâminas de madeira de *Toona ciliata* e mista com *Pinus* sp, utilizando pressões de 5 e de 8 kgf/cm<sup>2</sup> e gramaturas de 280 e de 320g/m<sup>2</sup>. Onde observaram que os painéis compostos somente por lâminas de *Toona ciliata*, quando aplicada maior pressão de prensagem e maior gramatura no processo produtivo, tiveram uma redução nos resultados de absorção de água, igualando-se aos resultados obtidos pelos painéis de composição mista.

Arruda (2012) avaliando a influência do tratamento termomecânico na rugosidade das lâminas de *Amescla Trattinnickia burseraefolia (Mart) Willd*, utilizando pressão de 2,7 N/mm<sup>2</sup>, temperaturas de 140 e de 180°C e tempos de 1 e de 2 minutos, observou que aplicação de maior temperatura por 1 minuto é o indicado para redução da rugosidade das lâminas. As lâminas tratadas termomecanicamente quando usadas na produção de painéis compensados, proporcionaram painéis com maior densidade aparente e conseqüentemente com menor teor de umidade de equilíbrio, absorção de água e aumento das propriedades mecânicas, porém apresentaram resultados menos satisfatórios para inchamento em

espessura e a taxa de retorno de espessura, devido à liberação das tensões de compressão. Segundo o autor, o calor causa termoplastificação da lignina enquanto quente o que, em conjunto com a força de compressão, ajuda a comprimir as estruturas da madeira como os raios, vasos e fibras e, sem causar colapso nas paredes celulares, aumenta a qualidade e resistência das lâminas.

### **3.4. Composição e características da madeira que interferem nas propriedades dos painéis**

As diferenças observadas na qualidade de colagem podem ser explicadas por características intrínsecas do material genético que compõe a estrutura do compensado, destacando-se aquelas relacionadas à constituição anatômica, física e química da madeira (GUIMARÃES JR. ET AL., 2012).

#### **3.4.1. Propriedades anatômicas**

As propriedades da madeira têm um nítido efeito nas ligas adesivas e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades de colagem do que as coníferas. As características anatômicas da madeira influenciam na colagem, a exemplo da variabilidade na densidade e porosidade que ocorre em lenho inicial e tardio, cerne e alburno, e lenho juvenil e adulto (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2005).

As influências das propriedades anatômicas estão relacionadas à sua estrutura celular determinada pelas dimensões, disposição e frequência das cavidades celulares que interferem na porosidade e permeabilidade da madeira. As características anatômicas da madeira é que definem a forma de movimentação do adesivo pelo seu interior, sendo as principais características de influência: as características dos anéis de crescimento (lenhos inicial e tardio), cerne e alburno, lenho de reação, grã e porosidade (IWAKIRI, 2005).

Lima et al. (2006) avaliaram as correlações existentes entre as características anatômicas da madeira e a qualidade das juntas coladas com uréia-formaldeído de clones de *Eucalyptus*. Os autores concluíram que a dificuldade de colagem da madeira de *Eucalyptus*, em relação a outras madeiras consideradas de fácil colagem, pode ser atribuída

ao fato desta madeira apresentar uma baixa permeabilidade, ocasionando uma baixa penetração do adesivo no substrato madeira.

Para Albino et al. (2012), os parâmetros anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden que influenciaram na resistência ao cisalhamento e percentagem de falhas na madeira de juntas coladas com adesivo termoendurecedor resorcinol-formaldeído, foram: diâmetro do vaso, espessura da parede da fibra, largura da fibra, comprimento da fibra e largura do raio, observando que, quanto maior o valor médio desses parâmetros anatômicos, maior foi a resistência ao cisalhamento. Também foi observada influência dos parâmetros anatômicos na porcentagem de falhas na madeira como a frequência de vasos, espessura do lume da fibra, frequência e altura do raio.

#### **3.4.1.1. Anéis de crescimento (lenhos inicial e tardio)**

As paredes delgadas da madeira do lenho inicial e as paredes espessas do lenho tardio, principalmente nas coníferas, determinam consideráveis diferenças na densidade da madeira. Na maioria das coníferas, quanto mais largo é o anel, ocorre maior proporção de lenho inicial consequentemente menor é a densidade da madeira; nas folhosas com porosidade em anel, poros com maiores diâmetros se localizam no início do lenho inicial, com diminuição de madeira porosa com aumento da largura do anel e sem alteração das características anatômicas no lenho tardio; folhosas com porosidade difusa apresentam distribuições e tamanhos de vasos homogêneos dentro dos anéis de crescimento (MORESCHI, 2010).

Há uma considerável diferença na densidade e na porosidade entre os lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento, interferindo na penetração do adesivo, podendo ocasionar uma linha de cola “faminta” ou “espessa”. Este problema pode ser minimizado com a variação da formulação do adesivo, adequando a viscosidade para cada caso, no entanto, é de difícil praticidade (IWAKIRI, 2005).

### **3.4.1.2. Cerne e alburno**

Burger e Richter (1991) comentam que o cerne apresenta cor mais escura, menor teor de umidade devido à redução da atividade fisiológica, maior resistência ao ataque de agentes xilófagos e degradadores, menor permeabilidade.

O cerne em relação ao alburno possui maior densidade, apresenta maior concentração de materiais “estranhos” como óleos, graxas e compostos fenólicos, que afetam a permeabilidade e conseqüentemente a movimentação do adesivo, ainda podem prejudicar nas reações químicas de cura do adesivo (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Marra (1992 apud PINTO, 2011), a mobilidade dos adesivos é realizada diferentemente em madeiras de cerne e alburno. Além da aparência física, a permeabilidade se distingue, sendo o cerne menos permeável que o alburno.

Klitzke et al. (2008) descrevem que, a madeira de jatobá (*Hymenaea* sp.) apresenta valores médios no comprimento, diâmetro e espessura da parede celular das fibras superiores para o cerne em relação ao alburno e com valores intermediários para o lenho de transição. O alburno da espécie é mais higroscópico, por possuir maior teor de holocelulose e menor teor de lignina e extrativos.

### **3.4.1.3. Lenhos de reação**

Para Albuquerque e Latorraca (2005), este tipo de lenho apresenta contração e inchamento em níveis altos ao longo da grã, densidade elevada e baixa resistência. Apesar não apresentarem problemas de colagem, sua instabilidade é uma fonte de tensões nos produtos colados e, portanto, produz efeitos adversos na sua estabilidade.

Corresponde ao lenho de compressão nas coníferas e ao lenho de tração nas folhosas, apresentando anormalidade em sua estrutura. Apesar de não prejudicarem a movimentação do adesivo, interferem na qualidade de colagem, por apresentarem alta instabilidade dimensional que compromete a desempenho da ligação (IWAKIRI, 2005).

Toda a árvore de qualquer idade pode formar madeira de reação, quando o fuste é desviado a partir da vertical mais do que um ou dois graus, seja por um galho, ramo, ou inclinação do tronco causado pelo declive do terreno. Em coníferas, a madeira de reação é formada no lado de baixo do órgão inclinando-se e é chamada de madeira de compressão

Em folhosas, a madeira de reação se forma no lado superior do órgão inclinando e é chamado madeira de tração (WIEDENHOEFT, 2010).

O lenho de reação possui maior densidade que o lenho normal devido à constituição de células que contém substâncias gelatinosas, com paredes frágeis e quebradiças, que pode reduzir significativamente as propriedades mecânicas mesmo apresentando densidade maior (MORESCHI, 2010).

Monteiro et al. (2010) não encontraram diferenças significativas nas propriedades físicas (densidade básica, retratibilidade tangencial, radial e volumétrica) entre os lenhos de tração e opostos de quatro espécies de *Eucalyptus* com 32 anos.

#### **3.4.1.4. Grã**

Segundo Burger e Richter (1991), referem-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho em relação ao eixo das árvores ou peças de madeira, dentre elas:

- Grã direita é apreciada por contribuir para uma elevada resistência mecânica, fácil desdobro e não causar deformações indesejáveis durante a secagem.
- Grã espiral se houver uma volta completa em relação ao eixo da árvore em menos de 10 m a madeira apresenta limitações industriais, principalmente para construção civil, pois ocorre redução das propriedades mecânicas, deformações de secagem e dificuldade de acabamento superficial.
- Grã entrecruzada e grã ondulada não afetam as propriedades mecânicas, porém apresentam problemas de deformações e empenamentos durante a secagem.
- Grã inclinada diminui a resistência mecânica e causa maior deformação durante a secagem.

A grã irregular (espiral, entrecruzada, ondulada ou inclinada) da madeira é uma consequência do crescimento irregular, rápido crescimento da árvore, fatores genéticos e cicatrização de ferimentos. Apesar de algumas destas características serem valorizadas do ponto de vista estético, provocam altas dilatações na madeira e tensões internas, resultando na baixa resistência do material (MORESCHI, 2010).

O ângulo relativo à direção real das fibras da madeira é um dos fatores que possuem maior influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira,

consequentemente interferem nas condições de colagem e qualidade do produto colado. Em madeiras de grã cruzada pode ocorrer linha de cola “faminta” e a grã diagonal apresenta alterações dimensionais difusas que afetará a qualidade final do painel (IWAKIRI, 2005).

### 3.4.2. Nós

A presença de nós em troncos ou peças de madeira provoca desvios ou discontinuidades dos tecidos lenhosos em sua vizinhança, onde os nós vivos apresentam continuidade dos tecidos lenhosos com os do tronco, os nós mortos apresentam discontinuidade estrutural e sua fixação depende da compressão periférica exercida pelo crescimento diametral do fuste. Os nós depreciam as peças de madeira, pois afetam as propriedades mecânicas principalmente em relação à flexão, dificultam a trabalhabilidade e deformações indesejáveis durante a secagem (BURGER e RICHTER, 1991).

Segundo Kretschmann (2010), a maioria das propriedades mecânicas tem valores menores em secções contendo nós, devido a desigual distribuição de esforços na secção transversal, as fibras em torno dos nós são distorcidas resultando em grã inclinada, concentração de tensões provocada pela discontinuidade das fibras, rachaduras ocorrendo frequentemente na zona em redor do nó durante a secagem. A resistência à tração e flexão da madeira são as propriedades mais afetadas pela presença de nós.

Nascimento et al (2001) observaram que, o aumento do tamanho do nó de aresta das tabuas de madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* tendem a diminuir os valores de módulo de elasticidade nas mesmas.

As chapas de compensado de pinus são classificadas com base na qualidade da face e contra-face dos painéis. Os critérios de avaliação levam em consideração o tipo, a quantidade e a dimensões dos defeitos apresentados, atribuídos através de inspeção visual (ABIMCI, 2002).

Almeida et al (2014) para a classificação das lâminas de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* basearam-se no Programa Nacional de Qualidade da Madeira – Compensado de Pinus (ABIMCI, 2002), que apresenta cinco classes de qualidade em ordem decrescente (A, B, C+, C, D). Obtiveram classificação de 18,46% classe C<sup>+</sup>, 42,31% classe C e 39,23% classe D para as lâminas de madeira da espécie estuda.



### 3.4.3. Idade da árvore

O aumento da densidade do lenho das árvores em relação a sua idade, está relacionado à variação das estruturas anatômicas e composição química, no sentido radial, com o aumento da espessura da parede celular, diminuição da largura das células e disposição de extrativos (CHAGAS, 2009).

Oliveira et al. (2006) encontraram diferenças significativas entre os valores médios para densidade aparente, resistência à compressão paralela às fibras e resistência à flexão, em madeira de *Pinus taeda* com 9, 13 e 20 anos de idade. Observando aumento das variáveis analisadas com o aumento da idade das árvores.

Lenho juvenil apresenta comprimento de fibra inferior e ângulo microfibrilar maior em relação ao lenho adulto, sendo tal diferença menos significativa em folhosas. Espessura da parede celular do lenho juvenil é menor do que a do lenho adulto, com isso, o aumento da densidade é observado com o aumento da idade (VIDAURRE ET AL, 2011).

Trevisan et al. (2014) encontraram diferença de comprimento dos traqueídes em madeira de *Pinus elliottii* Engel com 30 anos de idade, observada de forma evidente entre as proximidades da medula em relação à casca. Justificou esta variação devido à presença de uma zona de madeira juvenil próxima à medula, que apresenta, entre outras características, traqueídes curtos, ao passo que, nas proximidades da casca, este gradiente diminui, devido ao envelhecimento da planta.

A formação dos lenhos juvenil e adulto está relacionada à idade da árvore. O lenho juvenil possui anéis de crescimento mais largos, menor densidade, maior porosidade apresentando maior facilidade de colagem quando comparado ao lenho adulto. Ressalta-se também que a madeira de lenho juvenil é de baixa resistência mecânica e estabilidade dimensional, que pode resultar em um painel de qualidade inferior (IWAKIRI, 2005).

Almeida et al. (2012) afirmam que, a baixa densidade aparente nos painéis de madeira compensada com lâminas do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 7 anos e 10 meses de idade, está relacionado com a baixa densidade da madeira do híbrido, devida à sua pouca idade.

#### 3.4.4. Propriedades físicas

Para Moreschi (2010), a densidade constitui umas das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e mecânicas e tecnológicas, servindo como critério de classificação da madeira, apresentando mais resistência e elasticidade as madeiras de maior densidade. A densidade é determinada pela relação da massa pelo volume de uma amostra de madeira, podendo ser apresentado como densidade básica, densidade aparente e densidade real, sendo:

- Densidade aparente: determinada com a massa e volume a um teor de umidade específico de 0, 12 ou 15 %;
- Densidade básica: determinada com a massa no estado seco e volume no estado saturado;
- Densidade real: representa a densidade do material lenhoso que constitui a madeira, desconsiderando os espaços vazios existentes.

A densidade é uma das mais importantes propriedades da madeira, pois está relacionada à sua resistência. Quanto maior sua densidade, maior a resistência mecânica, porém quase sempre são mais difíceis de secar e, conseqüentemente, demandam maior tempo de secagem. A densidade apresenta-se variável tanto entre diferentes espécies como dentro de uma mesma espécie, conseqüentemente a resistência mecânica de uma árvore jovem é bem inferior a de uma árvore adulta (ABIMCI, 2004).

As propriedades físicas que mais interferem na movimentação do adesivo na madeira são densidade e teor de umidade. Em madeira de densidade inferior ocorre maior penetração de adesivo que pode resultar em uma linha de cola faminta (IWAKIRI, 2005).

Conforme Vital et al (2006), o comportamento diferenciado do adesivo para cada espécie de madeira deve-se, possivelmente, à variabilidade na densidade e permeabilidade de cada tipo de madeira.

Utilização de lâminas de madeira com maior densidade produzem painéis mais resistentes mecanicamente (MELLO, 2012).

A porosidade pode ser considerada como o inverso da densidade, madeiras de maior densidade apresentam menor porosidade, pois o tecido lenhoso produzido principalmente para resistência possui uma densidade mais elevada e, apresenta paredes celulares mais espessas, lúmens reduzidos, e pontuações reduzidas, limitando a mobilidade

do adesivo na estrutura lenhosa. Necessitando composições diferentes de adesivos para madeiras densas, em relação às de menor densidade, objetivando uma penetração ideal de adesivos em cada tipo de madeira. (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2005).

Muniz et al, (2013) na produção de painéis compensados de lâminas de *Pinus taeda* e resina fenol-formaldeído, verificaram melhor qualidade de colagem com aplicação de resina de baixo peso molecular (BPM) e lâminas de maior densidade.

A densidade da madeira também está ligada à alteração dimensional, devido que para madeiras de alta densidade ocorrem maiores alterações dimensionais com a variação da umidade, gerando tensões na linha de cola. O teor de umidade, dentro e entre as camadas individuais da madeira, interfere na colagem, pois está relacionado ao ritmo de absorção do adesivo líquido pela madeira (IWAKIRI, 2005).

Para Burger e Richter (1991), a densidade pode ser influenciada pela composição química e dela dependem estreitamente outras propriedades, como a resistência mecânica e o grau de estabilidade dimensional. A entrada ou saída d' água entre as moléculas de celulose da parede celular provoca o afastamento ou aproximação das mesmas e, como consequência, o inchamento ou contração. Madeiras que possuem em abundância células de paredes espessas (alta densidade) apresentam esse fenômeno em grau mais acentuado.

A variação dimensional da madeira ocorre entre 0% e o PSF (ponto de saturação das fibras) ou 0% e 28%, devido à adsorção ou desorção de água que é a inclusão ou retirada de moléculas de água nos espaços submicroscópicos entre as micelas e nas suas regiões amorfas, juntando ou afastando-as e, fazendo a madeira inchar ou contrair desigualmente nos sentidos anatômicos tangencial, radial e longitudinal, denominando-se este fenômeno de anisotropia dimensional, que pode ser expresso pela relação entre o movimento linear tangencial pelo radial, determinando a sua classificação de qualidade da madeira e possíveis aplicações, apresentada na Tabela 4 (MORESCHI, 2010).

**Tabela 4.** Fatores de anisotropia e a respectivas classes de qualidade

<b>Fator A</b>	<b>Qualidade da madeira</b>
1,2 a 1,5	- Madeiras consideradas excelentes, procuradas para usos que não permitem empenamentos, torções, etc.
1,6 a 1,9	- Madeiras consideradas normais.
> 2,0	- Madeiras de baixa qualidade - inapropriadas para varias utilizações, mas algumas ainda de grande interesse comercial por reunirem outras propriedades desejadas.

**Fonte:** Moreschi, (2010).

### **3.4.5. Propriedades químicas**

Os componentes e propriedades químicas da madeira que podem afetar na produção dos painéis são os extrativos, as cinzas e o pH. Os extrativos são elementos “estranhos” presentes no lúmen ou na parede celular, constituídos de materiais orgânicos: graxas, óleos, gorduras, taninos, carboidratos, ácidos, gomas e resinas. Ocorrem em maior concentração no cerne que podem migrar para superfície durante o processo de secagem formando a “superfície inativa ou contaminada” que atrapalha na interação do adesivo com a madeira, pois retarda a passagem de água e sua evaporação. O pH da madeira varia de 3 a 6 e pode variar em uma peça de madeira devido a movimentação de extrativos das camadas mais internas para as mais externas. As cinzas que podem alterar o pH ou as características de usinabilidade da madeira, devido à presença de minerais como a sílica e seu efeito quanto ao desgaste excessivo das peças cortantes (IWAKIRI, 2005).

Segundo Frihart e Hunt (2010), extrativos sobre a superfície da madeira contribuem para a inativação da superfície, através de meios físicos e químicos. Nas espécies que apresentam extrativos oleosos, as altas temperaturas durante o processamento causam a migração de extrativos para a superfície onde se concentram e fisicamente bloqueiam o contato do adesivo com a madeira, já que extrativos oleosos são considerados hidrofóbicos. A acidez dos extrativos também pode interferir com a cura química dos adesivos que curam em meio básico.

Conforme Klitzke et al. (2008), apesar da densidade básica do alburno na madeira de jatobá (*Hymenaea* sp.) ser menor, a contração radial, tangencial e volumétrica foram superiores em relação ao cerne, influenciados diretamente pelas propriedades químicas principalmente teor de extrativos e holocelulose.

### **3.5. Normas utilizadas para avaliar a qualidade dos painéis**

Segundo Iwakiri (2005), a qualidade dos painéis de madeira e suas especificações são definidas pelas normas existentes em cada país, que descrevem os procedimentos dos ensaios para determinação das propriedades físico-mecânicas, destacando-se as principais normas utilizadas no mundo:

- Norma americana – ASTM (American Society of Testing Materials);

- Norma brasileira – ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Norma europeia – EN (European Committee for Standardization).

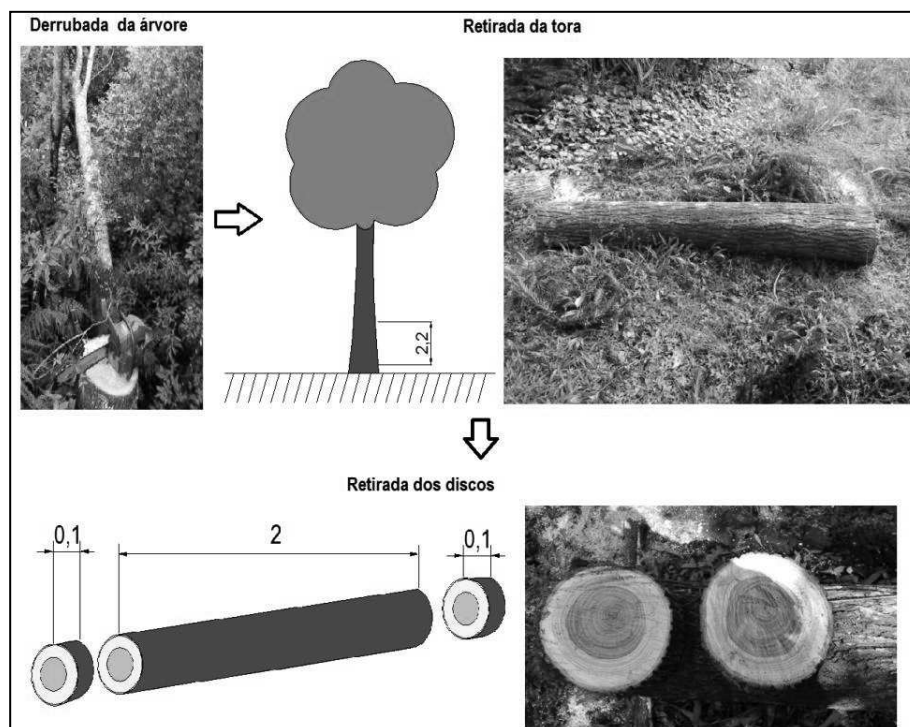
Ainda com relação ao controle do processo produtivo, os produtores nacionais contam com o Programa Nacional de Qualidade da Madeira – PNQM, desenvolvido pela ABIMCI, que estabelece parâmetros a serem controlados, critérios de aceitação para as principais etapas do processo produtivo e padrões que servem de base para os painéis de madeira compensada (ABIMCI, 2009a).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Coleta do material

Foram utilizadas duas espécies de madeira, a *Hovenia dulcis* (uva-do-japão) e o *Pinus elliottii* (pinus), sendo usadas três toras por espécie. As árvores foram colhidas na região de Irati-PR de coordenadas 25° 27' 56" S/ 50° 37' 51" O.

As árvores de *Hovenia dulcis* são de procedências invasoras, situadas no campus da Universidade Estadual do Centro-oeste. As toras de *Pinus elliottii* foram retiradas de plantios comerciais de uma empresa da região, com 14 anos de idade. Na seleção das árvores foram levados em consideração aspectos visuais do fuste, dando preferência àquelas com tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou defeitos que pudessem incompatibilizar o material com o seu processamento. Das árvores retirou-se a primeira tora com 2,20 m de comprimento e realizou-se o destopo em cada ponta, obtendo-se dois discos de 0,10 m de espessura, identificando-os e marcando suas posições na tora. Na Figura 3 são apresentadas algumas fases da colheita das toras das árvores de *Hovenia dulcis*.



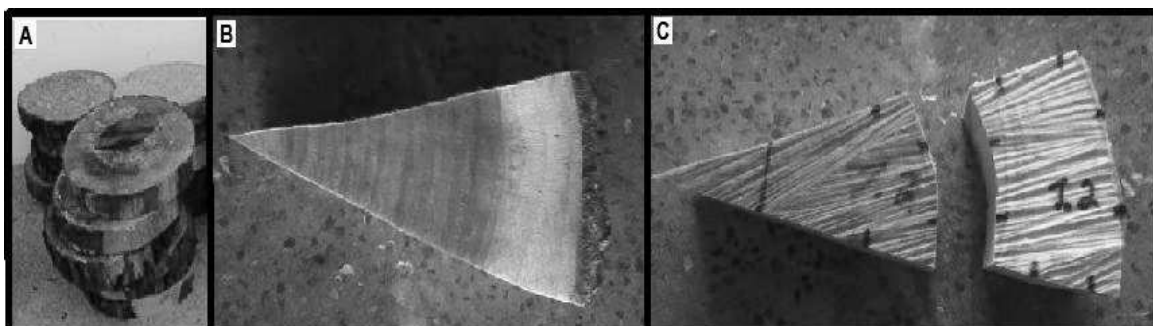
**Figura 3.** Fluxograma do procedimento para coleta das toras e dos discos nas árvores

## 4.2. Caracterização da madeira

### 4.2.1. Propriedades físicas da madeira

Para determinação da densidade básica seguiu-se a metodologia adaptada da norma NBR 11941/2003 (ABNT, 2003). Dos discos, retiraram-se três cunhas com ângulo de 30°, que foram usados para determinação do volume e das dimensões do corpo de prova no estado saturado (imersos em água com temperatura ambiente até a estabilização da massa), posteriormente a determinação da massa e das dimensões do corpo de prova no estado seco (secos em estufa à  $103 \pm 2$  °C até estabilização da massa).

Devido a madeira de *Hovenia dulcis* apresentar coloração distinta entre o cerne e o albúrneo, realizaram-se cortes separando-os, conforme é ilustrado na Figura 4.



**Figura 4.** Caracterização da madeira. A) Discos das toras das espécies; B) Cunha com ângulo de 30°; C) Corpos de prova da madeira de albúrneo e cerne da *Hovenia dulcis*.

O volume saturado ( $v$ ) dos corpos de prova foi obtido pelo método de balança hidrostática e a massa seca ( $m$ ) foi determinada em uma balança analítica. Posteriormente, a densidade básica foi determinada a partir da expressão 2 e calculado a média para cada tora.

$$db = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Onde:

db= densidade básica;

m= massa seca;

v= volume saturado.

Para a análise da estabilidade dimensional da madeira seguiu-se a metodologia adaptada da NBR 7190/1997 (ABNT, 1997). A determinação das dimensões dos corpos de prova no estado saturado ( $L_{sat}$ ) e seco ( $L_{sec}$ ) foi realizada com o paquímetro digital em quatro pontos: dois na direção tangencial e dois na direção radial. A contração tangencial e a radial foram calculados pela expressão 3 e a anisotropia de contração pela expressão 4.

$$\beta = \frac{(L_{sat} - L_{sec})}{L_{sat}} * 100 \quad (3)$$

$$A = \frac{\beta_{tang.}}{\beta_{rad.}} \quad (4)$$

Onde:

$\beta_{rad.}$  = Contração radial (%);

$\beta_{tang.}$  = Contração tangencial (%);

$L_{sat.}$  = Dimensão do corpo de prova saturado (mm);

$L_{sec.}$  = Dimensão do corpo de prova seco (mm);

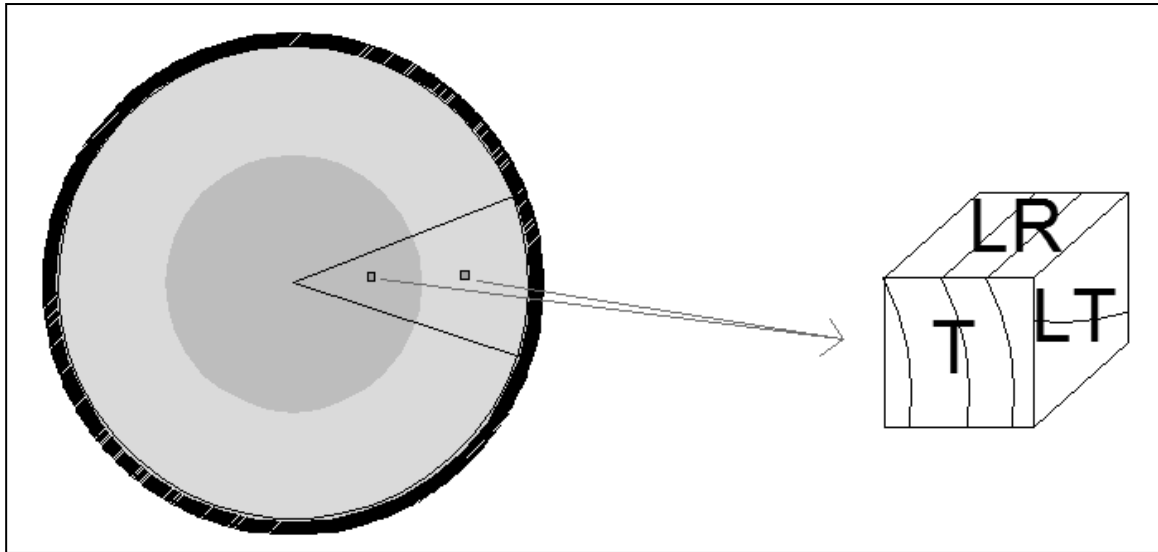
A = Anisotropia de contração.

#### 4.2.2. Características anatômicas da madeira de *Hovenia dulcis*

As lâminas permanentes foram confeccionadas no Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR, onde foi retirado um bloco do cerne e outro do alburno da cunha dos discos de quatro árvores (Figura 5), com intuito de fazer uma descrição qualitativa das características anatômicas das toras da madeira de *Hovenia dulcis*. Os blocos com dimensões de 1x1x1 cm foram cozidos durante sete dias e depois seccionados no micrótomo de deslizamento, no sentido transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. Os cortes foram coloridos com acridina 1% + chrysoldina 1% (vermelho) por 15 minutos e depois lavados com água destilada. Após, foram emersos em azul de astra por 15 minutos e lavados novamente com água destilada. Após a lavagem, foram desidratados em sequência alcoólica (30%, 50%, 70% e 100%), seguindo para formação das lâminas permanentes.

Em seguida foram retiradas as fotos utilizando um microscópio eletrônico e máquina fotográfica digital acoplada, com resolução de 50 vezes.





**Figura 5.** Retirada dos blocos nas cunhas das toras da madeira de *Hovenia dulcis* e respectivos cortes nos mesmos. T) corte no sentido transversal; LR) corte no sentido longitudinal radial; LT) corte no sentido longitudinal tangencial.

### 4.3. Produção das lâminas

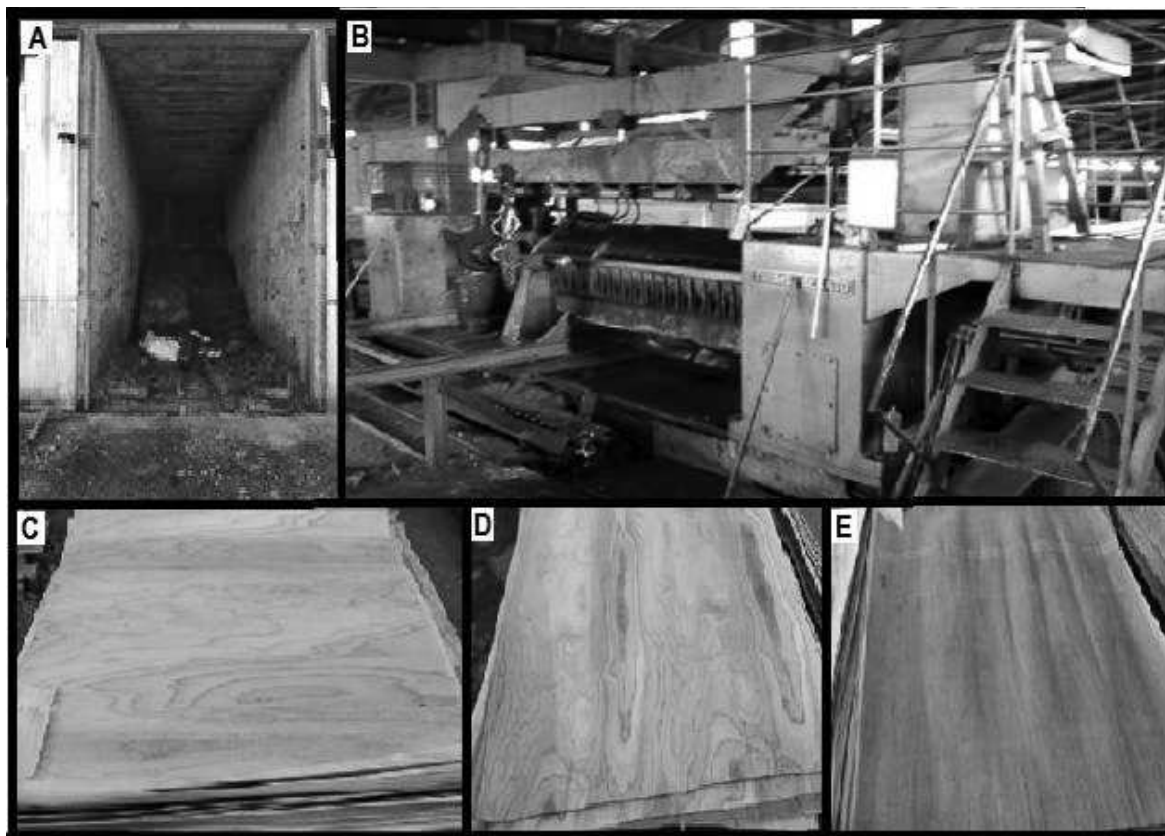
#### 4.3.1. Laminação

Na laminadora, as toras foram destopadas, deixando-as com comprimento final de 1,75 m. Na sequência foi determinada a média dos diâmetros da ponta fina e da ponta grossa sem considerar a casca, seguindo para o cozimento em um sistema de vapor indireto a uma temperatura de 60° C por 18 horas.

As toras foram enviadas para um torno desfolhador com sistema de tracionamento por fuso, marca Thoms Benato, com a seguinte regulagem: ângulo de afiação da faca de 21°, ângulo da faca de 90°30', abertura horizontal de 1,35 mm e abertura vertical de 0,75 mm, produzindo lâminas com dimensões de 1,70 m de largura e 1,5 mm de espessura. Logo após o torneamento, o tapete de lâmina foi seccionado produzindo lâminas de 1,70 x 1,35 m.

Neste processo, se mediu a circunferência das toras após arredondamento, para posteriormente tornear as mesmas até atingirem o rolo resto de 10 cm, sendo conferido seu diâmetro. As lâminas produzidas foram separadas em fardos, de acordo com suas respectivas toras, sendo contabilizadas e retiradas medidas de cinco lâminas por fardo (cinco espessuras x três larguras x três comprimentos) para obtenção da média das

dimensões. As lâminas de madeira de *Hovenia Dulcis* foram separadas em relação a sua posição na tora, sendo compostas por 38,32% de lâminas de alburno, 32,83% lâminas de cerne e 28,75% de lâminas mistas (lâminas de alburno com pequena ocorrência de cerne). Na Figura 6 observam-se os aspectos de algumas fases deste processo.



**Figura 6.** Aspectos da laminação. A) câmara de cozimento; B) torno desfolhador; C) lâminas do alburno; D) lâminas mistas; E) lâminas do cerne.

#### 4.3.1.1. Rendimento da laminação

Baseou-se na metodologia usada por Pinto (2011), utilizando as medidas obtidas durante o processo de laminação. Foi determinado, o rendimento da laminação das toras sem casca, perdas de arredondamento, perda de rolo resto e perda de manuseio, aplicando-se as expressões 5, 6, 7 e 8, sendo os valores calculados em porcentagem.

$$Pa = \frac{(Vt - Va)}{Vt} * 100 \quad (5)$$

$$Prr = \frac{Vrr}{Vt} * 100 \quad (6)$$

$$Pm = \frac{(Va-Vl-Vrr)}{Vt} * 100 \quad (7)$$

$$Rl = \frac{Vl}{Vt} * 100 \quad (8)$$

Onde:

Pa = Perda de arredondamento (%);

Vt = Volume da tora (m<sup>3</sup>);

Va = Volume da tora arredondada (m<sup>3</sup>);

Prr = Perda de rolo resto (%);

Vrr = Volume rolo resto (m<sup>3</sup>);

Pm = Perda de manuseio (%);

Vl = Volume do fardo de lâminas (m<sup>3</sup>);

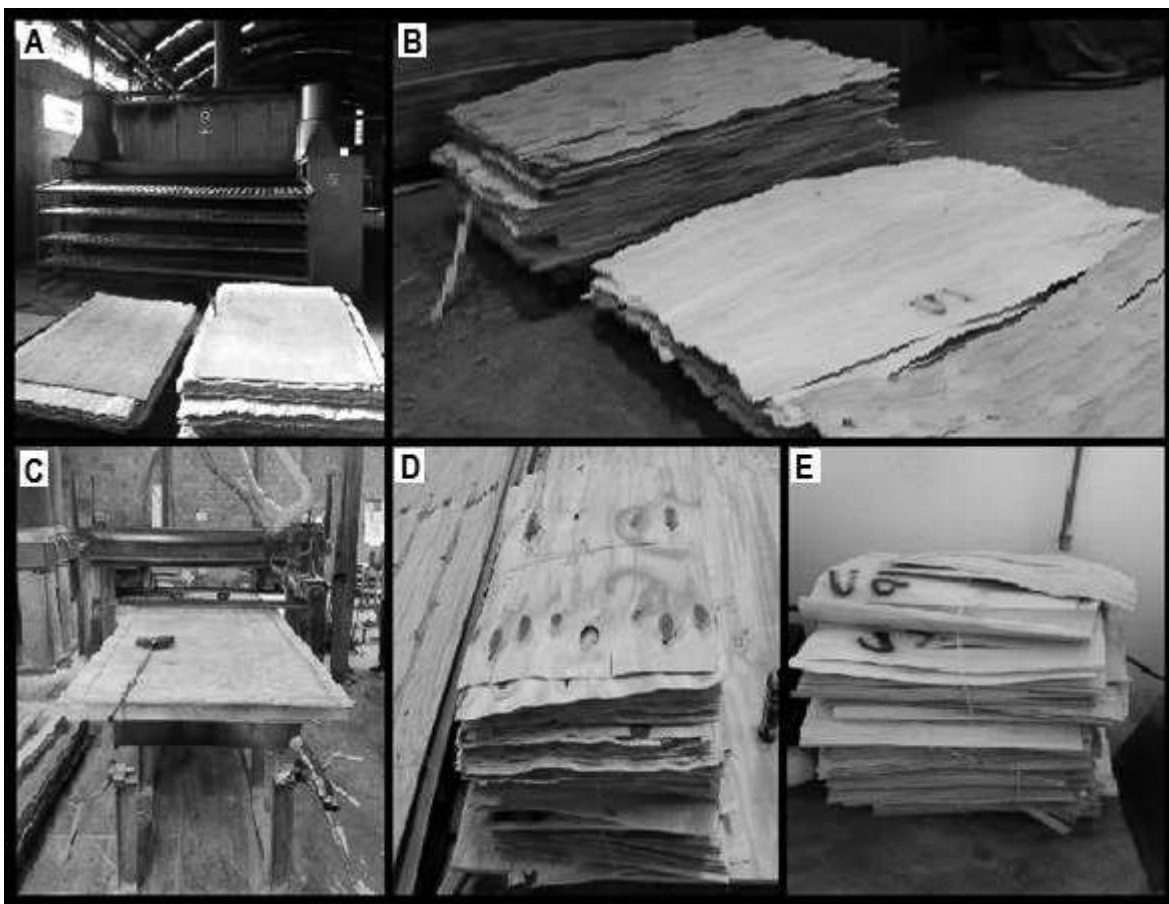
Rl = Rendimento de laminação.

#### 4.3.2. Secagem e redimensionamento das lâminas

As lâminas foram secas em um secador com sistema de rolos, marca Benecke, com temperatura de 130°C e velocidade de 21m/min, deixando-as com teor de umidade final de 5%.

Após a secagem, as lâminas que apresentavam dimensões de 1,75 X 1,28 m, foram recortadas em quatro peças de 0,60 x 0,60 m em uma serra esquadrejadeira marca Indumec. Nas lâminas mistas de *Hovenia dulcis* foram realizados cortes para retirada de cerne, na sequência, foram classificadas em madeira de cerne e alburno.

Os aspectos das lâminas nas fases de secagem e redimensionamento são mostrados na Figura 7.



**Figura7.** Preparo das lâminas. A) saída de lâminas do secador; B) lâminas de alburno e cerne secas; C) na esquadrejadeira; D) lâminas de *Pinus elliotti* recortadas; E) lâminas de *Hovenia dulcis* recortadas.

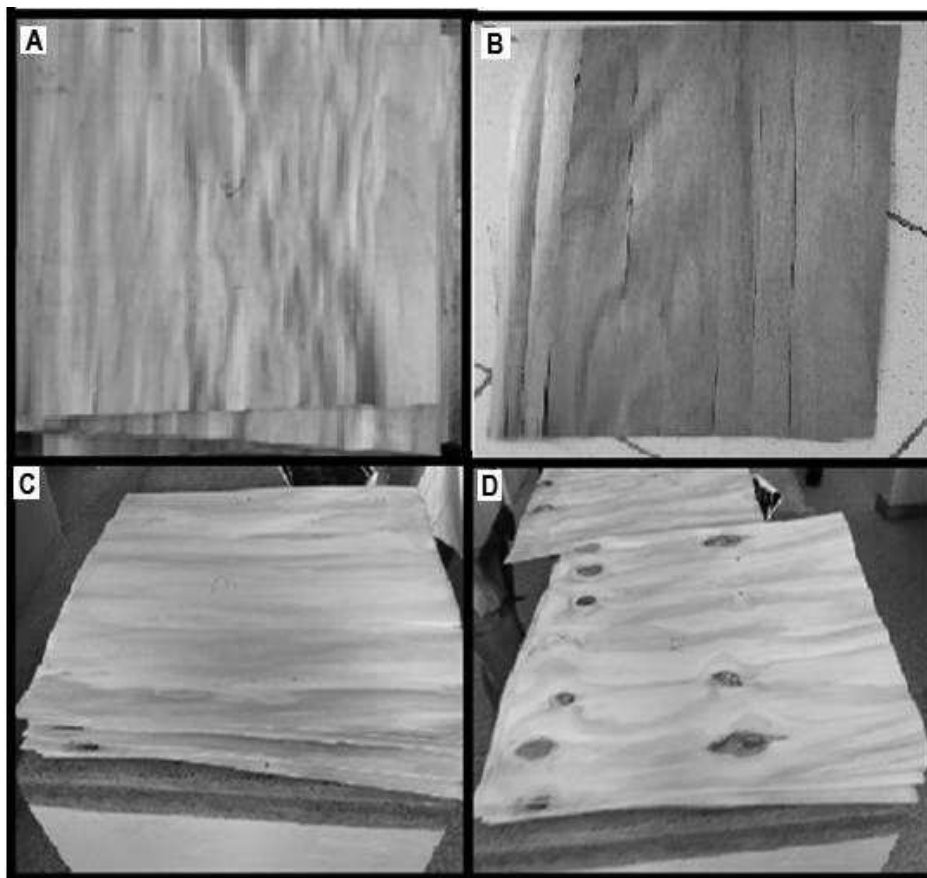
#### 4.3.3. Classificação das lâminas

As lâminas secas e recortadas foram classificadas por meio dos critérios de classificação dos painéis de madeira compensada de folhosas e coníferas, segundo as Normas NBR ISO 2426/1:2006 (ABNT, 2006a), NBR ISO 2426/2:2006 (ABNT, 2006b) e NBR ISO 2426/3:2006 (ABNT, 2006c). Realizou-se uma análise visual levando em consideração o tipo, quantidade e dimensões dos nós apresentados na superfície das lâminas, que foram classificadas em classe de qualidade decrescente (E, I, II, III, IV), onde:

- Classe E: Lâminas de superfície limpa para ambas as espécies;
- Classe I: Admitidos três nós cabeça de alfinete por  $m^2$ , nó firme com diâmetro de até 15 mm desde que não ultrapasse diâmetro acumulada de 30 mm/ $m^2$  e não são permitidos nós soltos para ambas as espécies;

- Classe II: Nós firmes com diâmetro de até 30 mm para folhosas e de até 50 mm para coníferas, nós soltos de até 5 mm de diâmetro para ambas as espécies;
- Classe III: Nós firmes de diâmetro de até 50 mm para folhosas e de até 60 mm para coníferas, nós soltos de até 40 mm de diâmetro para ambas as espécies;
- Classe IV: Lâminas que não cumpriram os quesitos anteriores.

É ilustrado na Figura 8, algumas das classes de lâminas obtidas durante a laminação.



**Figura 8.** Qualidade das lâminas, segundo as normas de classificação da ABNT. A) alburno de *Hovenia dulcis* classe E; B) cerne de *Hovenia dulcis* classe E; C) Pinus classe E; D) Pinus classe IV.

#### 4.4. Experimento

O experimento foi elaborado visando avaliar dois fatores: pressão de prensagem e composição do painel.

Para o fator composição, as lâminas de *Hovenia dulcis* (Hd) foram subdivididas em dois lotes, sendo um de lâminas de cerne e outro de lâminas de alburno. Assim, foram produzidos painéis com diferentes composições de tipo de lâmina de capa e de miolo e utilizando três níveis de pressão no processo de prensagem a quente, conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5.** Tratamentos testados no experimento

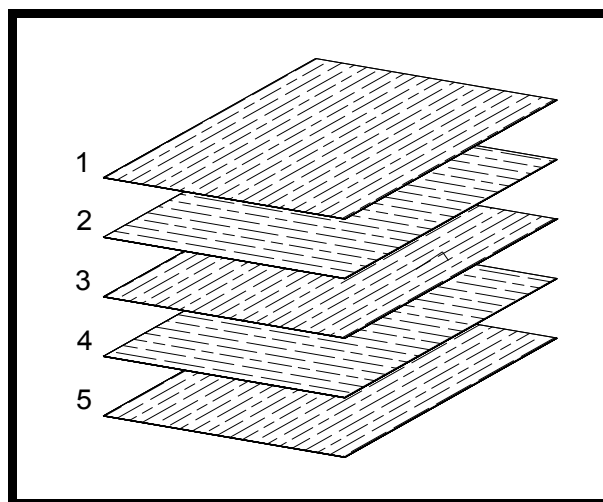
<b>Tratamento</b>	<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Composição de lâminas do painel (Capa/Miolo)</b>	<b>Repetições</b>
1	9	Pinus	3
2	9	Alburno Hd	3
3	9	Cerne Hd	3
4	9	Alburno Hd/Cerne Hd	3
5	9	Alburno Hd/Pinus	3
6	9	Cerne Hd/Pinus	3
7	12	Pinus	3
8	12	Alburno Hd	3
9	12	Cerne Hd	3
10	12	Alburno Hd/Cerne Hd	3
11	12	Alburno Hd/Pinus	3
12	12	Cerne Hd/Pinus	3
13	15	Pinus	3
14	15	Alburno Hd	3
15	15	Cerne Hd	3
16	15	Alburno Hd/Cerne Hd	3
17	15	Alburno Hd/Pinus	3
18	15	Cerne Hd/Pinus	3
<b>Total de painéis</b>			<b>54</b>

Notas: Alburno Hd = Lâminas de alburno de *Hovenia dulcis*; Cerne Hd = Lâminas de cerne de *Hovenia dulcis*.

#### **4.5. Produção dos painéis**

A confecção dos painéis foi realizada no Laboratório de Painéis de Madeira da UNICENTRO, com dimensões de 60 X 60 cm e cinco camadas de lâminas de 1,5 mm de espessura cada uma, obedecendo ao princípio de montagem de laminação cruzada, com a grã das lâminas em direção oposta alternadamente Para montagem dos painéis mistos,

devido a diferença de qualidade das lâminas entre as espécies, foram utilizadas lâminas da madeira de *Hovenia dulcis* para capa (1 e 5) e pinus para as lâminas de miolo (2, 3 e 4) e nos painéis mistos com alburno e cerne de *Hovenia dulcis*, foram utilizadas lâminas de alburno para a capa e cerne para o miolo (Figura 9). Foi utilizada resina fenol-formaldeído, com 52 % de teor de sólidos. Na Tabela 6 são descritos as propriedades do adesivo utilizado.



**Figura 9.** Montagem do painel no princípio de laminação cruzada

**Tabela 6.** Propriedades da resina fenólica

Parâmetros	Resina Fenólica
Teor de Sólido (1g/3h/105°C)	52 - 54 %
Viscosidade Brookft (25°C)	400 - 600 Cp
Gel Time	6 - 9 minutos

**Fonte:** Bonardi (2015).

As lâminas usadas para miolo nos painéis, que estavam com teor de umidade médio de 11%, foram secas à temperatura de 50°C por uma hora em uma estufa com ventilação forçada, ficando com teor de umidade médio de 6 %. Em seguida, passaram por um período de resfriamento de 20 minutos.

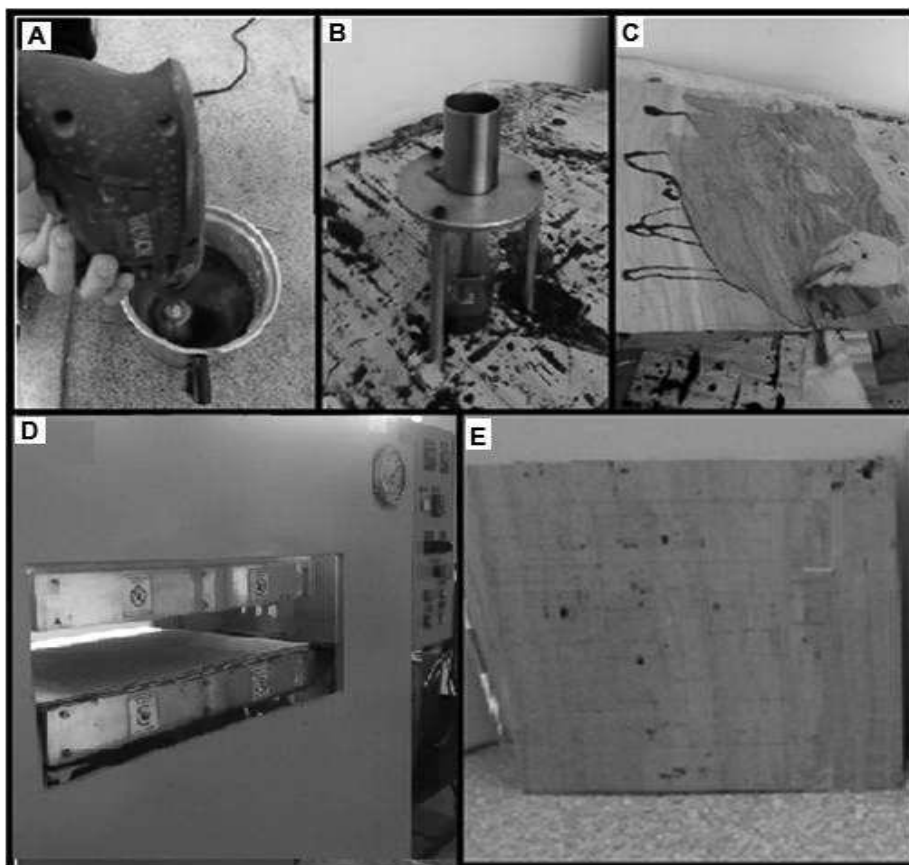
A batida do adesivo fenol-formaldeído procedeu-se com uma bateadeira adaptada, por 4 min. Utilizou-se uma proporção de 67,3% de adesivo, 16,35% de farinha de trigo e 16,35% de água, para que a mistura atingisse um teor de sólidos de 35% e viscosidade de 40 a 60 segundos.

O teor de sólidos da resina fenólica foi conferido pelo método de determinação de materiais voláteis e resíduo seco, antes da mistura para a batida de cola. A viscosidade da batida de cola foi conferida por meio de um copo Ford n. 8.

Foram aplicados 160 g/m<sup>2</sup> do adesivo em linha simples, o que consistiu em fazer a pesagem do adesivo com uma balança analítica, em seguida espalhando o material pela superfície da lâmina com uma espátula de plástico.

Conforme sugerido pela ABIMCI (2009b), após o processo de montagem dos painéis, os mesmos foram enviados para assemblagem de 30 minutos, posteriormente prensados à quente em uma prensa marca MH, utilizando os três tratamentos de pressão, temperatura de 140° C e tempo de prensagem de 7,5 minutos.

Na Figura 10 podem ser visualizadas algumas etapas da produção dos painéis.



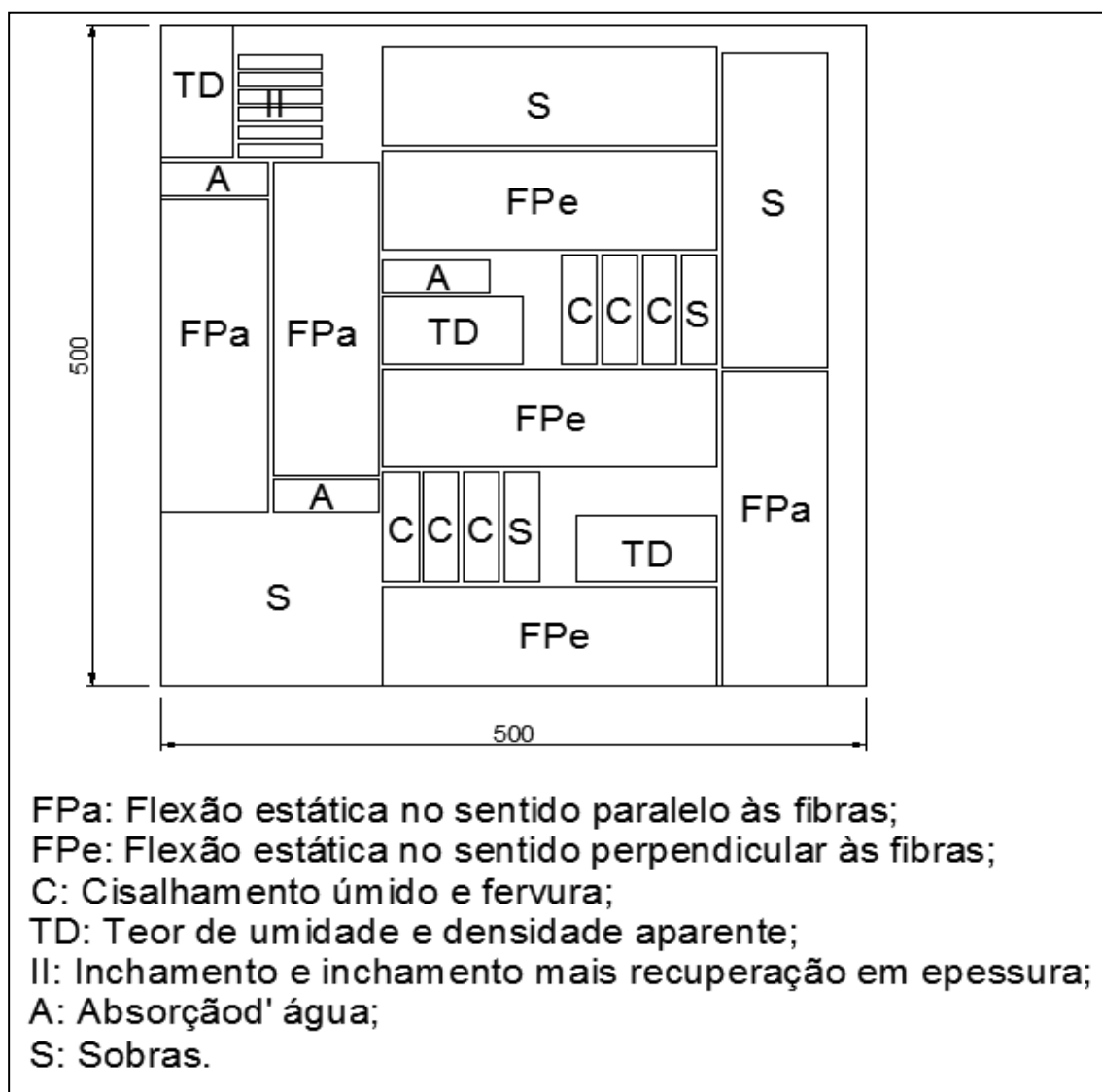
**Figura 10.** Produção dos painéis. A) preparo do adesivo; B) determinação da viscosidade; C) aplicação do adesivo; D) prensagem à quente; E) painel com lâminas de madeira do cerne de *Hovenia dulcis*.



## 4.6. Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

### 4.6.1. Confeção dos corpos-de-prova

Os painéis foram esquadrejados com dimensões de 50 x 50 cm, posteriormente a confecção dos corpos de prova procedeu-se em base na adaptação das normas da ABNT. É ilustrado na Figura 11, o croqui usado para localizar os corpos de prova nos painéis.



**Figura 11.** Croqui de corte dos corpos de prova

Na Tabela 7 são descritas a quantidade e as dimensões dos corpos de prova, de acordo com a respectiva norma ABNT utilizada.

**Tabela 7.** Descrição dos corpos de prova por ensaio

<b>Ensaio</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Norma utilizada</b>
Densidade aparente *	3	100 x 50	NBR 9485/86 (ABNT,1986a)
Teor de umidade *	3	100 x 50	NBR 9484/86 (ABNT,1986b)
Absorção de água	3	75 X 25	NBR 9486/86 (ABNT,1986c)
Inchamento e Inchamento mais recuperação em espessura	6	10 X 60	NRB 9535/86 (ABNT,1986d)
Flexão estática			
• Paralelo	3	237,5 X 75	NBR 9533/86 (ABNT,1986e)
• Perpendicular	3	237,5 X 75	
Qualidade da colagem			
• Úmido	3	82 X 25	NBR ISO 12466/1:2006 (ABNT, 2006d) e
• Fervura	3	82 X 25	NBR ISO 12466/2:2006 (ABNT, 2006e)

\*Foram utilizados os mesmos corpos de prova para determinação da densidade aparente e teor de umidade.

Após a confecção dos corpos de prova, todos foram condicionados em ambiente climatizado a 20 +/-1°C de temperatura e 65 +/-5% de umidade relativa do ar, conforme as exigências da NBR 9489/1986 (ABNT, 1986f).

#### **4.6.2. Densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis**

Após a climatização dos corpos de prova, foram determinadas suas áreas com um paquímetro, a espessura com um relógio comparador e sua massa com uma balança analítica. A densidade aparente foi calculada utilizando a expressão 8.

$$Da = \frac{m}{c \cdot l \cdot e} \quad (8)$$

Onde:

Da = Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

m = massa do corpo de prova (g);

c = comprimento do corpo de prova (cm);

$l$  = largura do corpo de prova (cm);  
 $e$  = espessura do corpo de prova (cm).

As medidas de espessuras dos corpos de prova obtidas no processo descrito acima foram utilizadas para determinar a espessura média dos painéis e a possível interferência dos tratamentos sobre as mesmas.

Na determinação do teor de umidade (TU) foram utilizados os mesmos corpos de prova utilizados para determinação da densidade aparente. Os corpos de prova foram pesados na temperatura ambiente e após foram colocados em estufa de secagem com ventilação forçada a  $103 \pm 2$  °C até a estabilização da massa, para determinação da massa seca. O cálculo do TU foi realizado utilizando a expressão 9.

$$TU = \frac{M_u - M_s}{M_s} * 100 \quad (9)$$

Onde:

TU = Teor de umidade (%);

$M_u$  = Massa úmida do corpo de prova (g);

$M_s$  = Massa do corpo de prova após secagem em estufa à  $103 \pm 2$  °C.

#### **4.6.3. Absorção de água**

Os corpos de prova foram colocados em estufa a uma temperatura constante de  $50 \pm 2$  °C por 24 horas e em seguida determinaram-se suas respectivas massas. Posteriormente, foram imersos em água por 24 horas à temperatura ambiente e após realizou-se uma nova pesagem. Os dados obtidos foram aplicados na expressão 10.

$$A = \frac{M_f - M_i}{M_i} * 100 \quad (10)$$

Onde:

A = Quantidade de água absorvida (%);

$M_f$  = Massa do corpo de prova após a imersão (g);

$M_i$  = Massa do corpo de prova retirados da estufa com temperatura de 50 °C (g).

#### 4.6.4. Inchamento e inchamento mais recuperação em espessura

Para determinação do Inchamento (I) e do Inchamento mais Recuperação de espessura (IR) após a absorção de água pelo compensado, a norma NRB 9535/86 (ABNT,1986d) foi adaptada. Pois a expressão de Inchamento mais Recuperação de espessura citada na referida norma não coincide com a definição dada na mesma. Com isso, a expressão foi usada para expressar o Inchamento em espessura.

Após a climatização, efetuou-se a primeira medição de espessura no centro de cada corpo-de-prova usando um relógio comparador de espessura. Utilizaram-se três corpos de prova como controle secando-os em estufa a  $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$  por 24h, e medidos novamente. Outros três corpos-de-prova foram imersos em água destilada a  $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$  por 24h e posteriormente medidos, depois secos em estufa a  $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$  por 24h para uma nova medição. O I e IR foram determinados pelas expressões 11 e 12.

$$I = \left( \frac{e_1 * e_5}{e_2 * e_3} - 1 \right) * 100 \quad (11)$$

Onde:

I = Inchamento (%);

$e_1$  = soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, climatizados (mm);

$e_2$  = soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, secos em estufa (mm);

$e_3$  = soma das espessuras dos corpos-de-prova antes da imersão em água (mm);

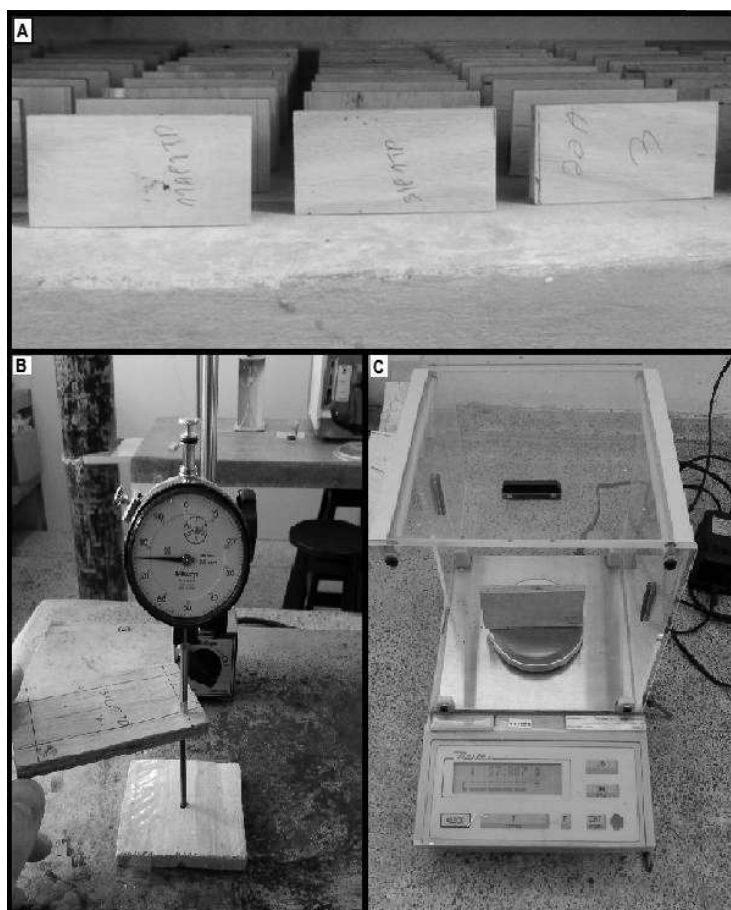
$e_5$  = soma das espessuras dos corpos-de-prova após a imersão em água (mm).

$$IR = \left( \frac{e_1 * e_4}{e_2 * e_3} - 1 \right) * 100 \quad (12)$$

IR = Inchamento mais recuperação da espessura (%);

$e_4$  = soma das espessuras dos corpos-de-prova, após a imersão em água, e posterior secagem em estufa (mm).

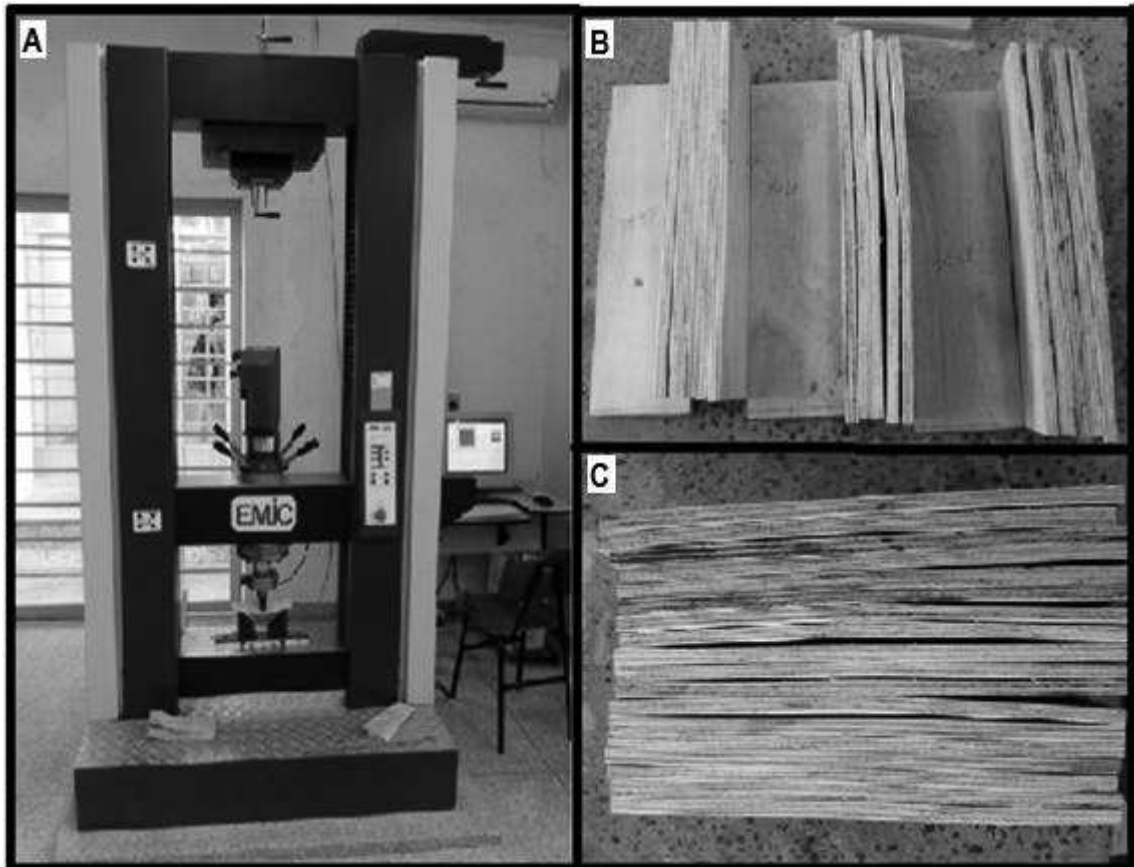
Na Figura 12 observa-se o processo para determinação das propriedades físicas (Densidade Aparente, Teor de Umidade, Absorção de Água, Inchamento e Inchamento mais Recuperação de espessura dos painéis).



**Figura 12.** Determinação das propriedades físicas: A) Climatização dos corpos de prova; B) medição da espessura; C) pesagem dos corpos de prova.

#### 4.6.5. Flexão estática

Os corpos de prova foram ensaiados em uma máquina universal de ensaios, modelo EMIC DL 30000, que determina o valor do Módulo de Ruptura (MOR) e do Módulo de Elasticidade (MOE). O MOR e o MOE foram determinados no sentido paralelo e perpendicular às fibras das lâminas externas do painel. Na Figura 13 observa-se a máquina de ensaios e os corpos-de-prova utilizados.



**Figura 13.** Ensaio de flexão estática: A) Máquina de ensaios mecânicos EMIC; B e C) corpos de prova de flexão estática.

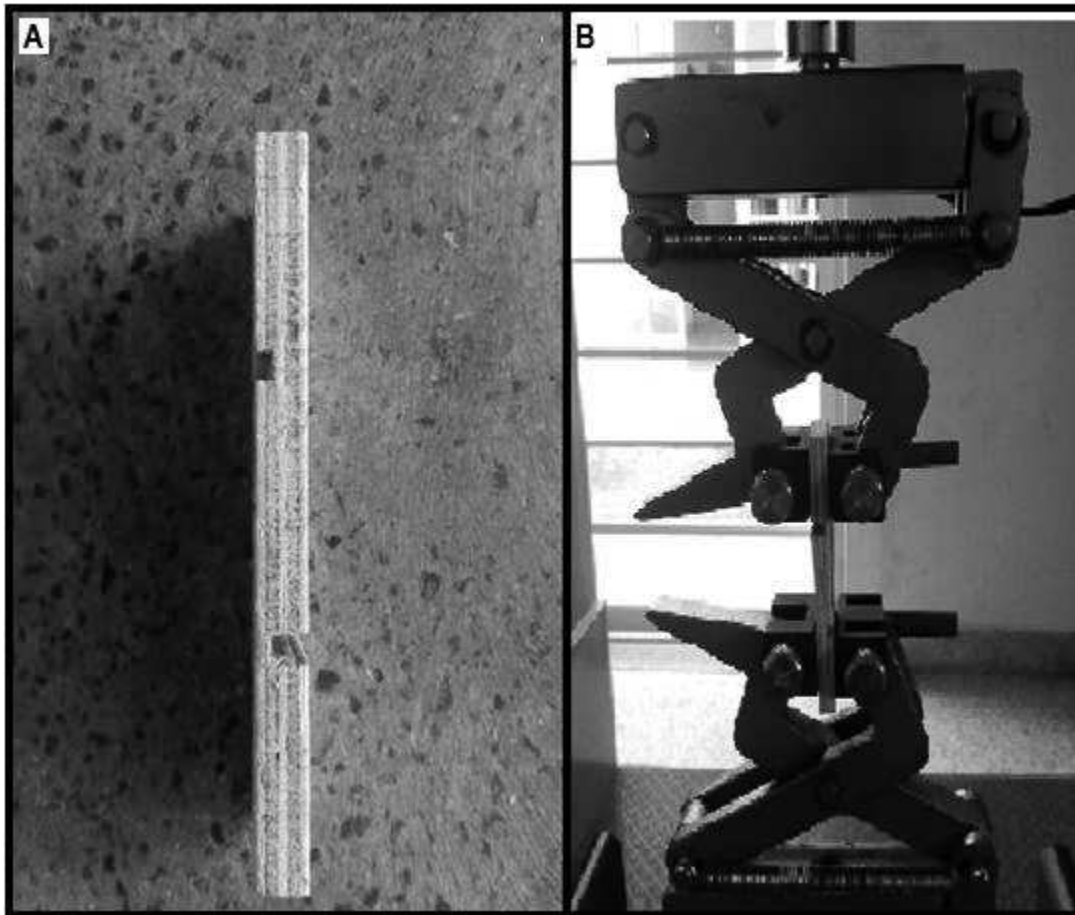
#### 4.6.6. Cisalhamento da linha de cola

O ensaio de cisalhamento foi realizado na linha de cola entre as lâminas de espécies diferentes, que no caso dos painéis mistos, ocorre na parte mais externa do painel. Para permitir a comparação, esse critério foi adotado para todos os painéis.

Os corpos de prova foram medidos para determinação da espessura e distância entre sulcos, posteriormente submetidos a um dos tratamentos:

- Úmido: imersão dos corpos de prova por 24h em água à temperatura ambiente.
- Fervura: imersão dos corpos de prova por 6h em água fervente e em seguida imersão dos mesmos por 1h em água à temperatura ambiente.

O ensaio foi realizado na máquina EMIC DL 30000, que forneceu o esforço de cisalhamento na linha de cola. Está apresentado na Figura 14, o detalhe do sulco de um corpo de prova e o mesmo durante o ensaio.



**Figura 14.** Ensaio de cisalhamento. A) Corpo de prova para cisalhamento; B) Ensaio de cisalhamento.

#### **4.7. Análise estatística do experimento**

Para as propriedades dos painéis, o delineamento foi análise inteiramente casualizado no esquema fatorial com dois fatores:

- Fator 1: Pressão de prensagem (3 níveis);
- Fator 2: Composição de lâminas (6 níveis).

Totalizando 18 tratamentos (Tabela 5, pg. 33).

Satisfeitas as prerrogativas de homogeneidade de variâncias e distribuição normal, foi aplicada ANOVA, com 5% de probabilidade de erro, para os fatores principais e suas interações. Havendo diferenças significativas para os fatores, foi realizado teste de Tukey para comparação das médias. As variáveis analisadas foram: densidade aparente, espessura dos painéis, teor de umidade, absorção d'água, inchamento e recuperação em espessura,

MOE e MOR em flexão estática, tensão de cisalhamento úmido e cisalhamento após fervura.

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis foram comparadas com os requisitos da Norma NBR ISO 12466-2:2006 (ABNT, 2006e) e com os requisitos para painéis de pinus de 5 lâminas e 9 mm do Catálogo Técnico N° 1 da ABIMCI (ABIMCI, 2002). Nas Tabelas 8, 9 e 10 observam-se os parâmetros de comparação.

**Tabela 8.** Requisitos para tensão de ruptura e ruptura coesiva aparente na madeira

Tensão de ruptura média de cisalhamento $f_v$ (MPa)	Ruptura coesiva aparente na madeira (%)
0,2 < $f_v$ < 0,4	> 80
0,4 < $f_v$ < 0,6	> 60
0,6 < $f_v$ < 1,0	>40
1,0 < $f$	Sem requisitos

**Fonte:** ABNT NBR ISO 12466-2 (2006)

**Tabela 9.** Requisitos para densidade aparente para painéis de pinus de 5 lâminas e espessura de 9 mm

Espessura da chapa (mm)	Quantidade de lâminas	kg/m <sup>3</sup>	
9	5	máximo	614
		médio	565
		mínimo	516

**Fonte:** ABIMCI (2002)

**Tabela 10.** Requisitos para flexão estática para painéis de pinus de 5 lâminas e espessura de 9 mm

Espessura da chapa (mm)	Quantidade de lâminas	Flexão Estática (MPa)				
			MOR	MOE	MOR	MOE
				Paralelo		Perpendicular
9	5	máximo	67	11.573	30	2.983
		médio	49	8.382	22	2.229
		mínimo	31	5.192	14	1.476

**Fonte:** ABIMCI (2002)



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização da madeira

#### 5.1.1. Propriedades físicas

Na Tabela 11 são apresentados os valores das propriedades físicas (densidade básica, contração tangencial, contração radial e anisotropia de contração) da madeira de alburno e cerne da *Hovenia dulcis* e do *Pinus elliottii* utilizadas nesse estudo.

**Tabela 11.** Propriedades físicas da madeira das espécies utilizadas

Espécie	Nº	DB (g/cm <sup>3</sup> )	βR (%)	βT (%)	A
<i>Pinus elliottii</i>	18	0,42 a	3,94 a	6,27 a	1,62 a
Alburno da <i>Hovenia dulcis</i>	18	0,50 b	4,56 a	7,75 a	1,78 a
Cerne da <i>Hovenia dulcis</i>	18	0,57 b	4,16 a	6,33 a	1,87 a
F calculado		19,4699*	0,1065 ns	0,5979 ns	1,6426 ns

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; \*: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo; Nº: número de cunhas; DB: densidade básica; βT: contração tangencial; βR: contração radial; A: fator de anisotropia.

A madeira de *Hovenia dulcis* possui densidade básica maior em relação à do *Pinus elliotti*. Apesar da variação crescente nos resultados de densidade básica da madeira de alburno de *Hovenia Dulcis* em relação à de cerne, não observou-se diferença significativa entre os valores.

Existem pesquisas que descrevem valores de densidade básica inferior para a madeira de cerne em relação à de alburno. Pinto e Iwakiri (2013) encontraram massa específica aparente da madeira de cerne e alburno da *Cryptomeria japonica* de 0,393 e 0,473 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, descrevendo que, o lenho tardio das madeiras de coníferas possui maior volume de material lenhoso, ocasionando uma maior densidade nesta parte do anel de crescimento.

Os resultados para as propriedades físicas das toras utilizadas neste estudo equiparam aos encontrados por outros autores. Motta et al (2014) encontraram valores de densidade básica de 0,58 g/cm<sup>3</sup>, contração tangencial de 7,68%, contração radial de 4,53% e coeficiente de anisotropia de contração de 1,77, para a madeira de *Hovenia dulcis*.

Santini et al (2000) encontraram densidade básica de 0,41 g/cm<sup>3</sup>, contração tangencial com 5,8% e contração radial de 3,9% para madeira de *Pinus elliotti* de 13 anos de idade.

De acordo com Walker (1993), apud Bortoletto Júnior (2003), espécies que proporcionam maior facilidade para laminação tendem apresentar densidade básica entre 0,38 e 0,70 g/cm<sup>3</sup>, com preferência para aquelas com densidade próxima de 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Com isso, a madeira de *Hovenia dulcis* pode ser indicada para laminação e para produção de painel de madeira compensada.

A ABIMCI (2009b) apresenta quatro classificações para as toras em relação à densidade. Com isso, a madeira da *Hovenia dulcis* se enquadra na classe dois, sendo indicado para produção com melhor qualidade dos painéis compensados multilaminados, temperatura acima de 60°C e tempo acima de 12 horas durante o cozimento das toras para a laminação, viscosidade após a mistura do adesivo entre 40 e 60 segundos no processo de colagem dos painéis.

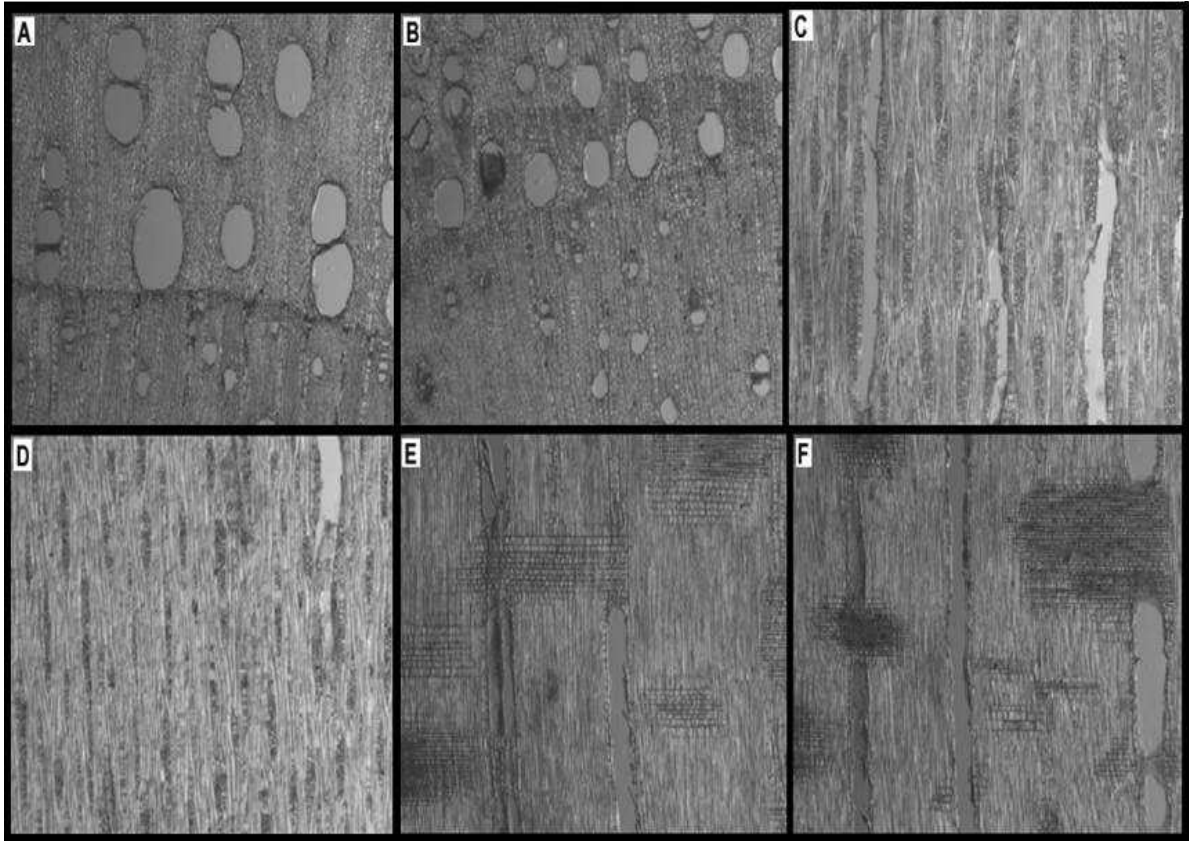
Conforme descrito por Moreschi (2010), na Tabela 4 (pg. 22), para valores de coeficiente de anisotropia. A madeira de *Hovenia dulcis* possui classificação de qualidade “madeira normal” e sua estabilidade dimensional e semelhante à do pinus.

### **5.1.2. Características anatômicas da madeira de *Hovenia dulcis***

Na Figura 15 são apresentadas fotografias de lâminas anatômicas permanentes de amostras da madeira de exemplares de *Hovenia dulcis* da região. Nas fotografias são apresentadas lâminas nos cortes transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, que representam as características encontradas no estudo para quatro amostras de árvores.

As características verificadas na madeira de *Hovenia dulcis* são:

- Anéis de crescimento distintos devido à variação dimensional dos poros, com maior diâmetro dos poros na madeira de lenho inicial.
- Vasos: Possui distribuição dos poros em anel semi-circular, solitários e múltiplos tangenciais.
- Parênquima axial: paratraqueal vasicêntrico.
- Raios: Presença de raios multisseriados, heterogêneos (tipo três), composição celular quadrada e procumbente.



**Figura 15.** Fotografias de lâminas anatômicas permanentes de *Hovenia dulcis*: A) corte transversal (alburno); B) corte transversal (cerne); C) corte longitudinal tangencial (alburno); D) corte longitudinal tangencial (cerne); E) corte longitudinal radial (alburno); F) corte longitudinal radial (cerne).

A madeira de cerne de *Hovenia dulcis* possui maior quantidade de extrativos, poros aparentemente menores e raios com menos fileiras de células em relação à de alburno. Existe diferença na distribuição dos poros, pois, a madeira de alburno apresenta distribuição múltipla de até três e o de cerne múltiplo até dois. Diferenças que tornam a madeira de alburno de *Hovenia dulcis* mais permeável.

Conforme Chagas (2009) a *Hovenia dulcis* apresenta no lenho inicial, uma formação de fina camada de parênquima marginal (3-4 células) e vasos de maior diâmetro com poros em anel semi-poroso. No lenho tardio, observa-se uma gradativa diminuição do diâmetro dos vasos, solitários e múltiplos de 2-4 e com fileira de fibras com paredes mais espessas.

## 5.2. Rendimento da laminação

Na Tabela 12 são apresentados o diâmetro inicial das toras na ponta grossa e ponta fina desconsiderando a casca, diâmetro após o arredondamento das toras, rendimento da laminação da tora sem casca, as perdas de arredondamento, as perdas contidas no rolo resto e as perdas de manuseio.

**Tabela 12.** Rendimento do processo de laminação

Espécie	Diâmetro (cm)			RL SC (%)	PA (%)	PRR (%)	PM (%)
	DIG	DIF	DRR				
<i>Hovenia dulcis</i>	28,78	26,86	10,20	55,56	24,90	13,23	6,31
<i>Pinus elliottii</i>	33,27	32,71	10,03	62,33	23,24	9,23	5,20
T calc	4,0875 *	-3,4509 *	1,3868 ns	-3,7864 *	-1,1386 ns	3,8448 *	-1,0918 ns
P (T<=t)	0,0150	0,0260	0,2378	0,0193	0,3184	0,018	0,3363

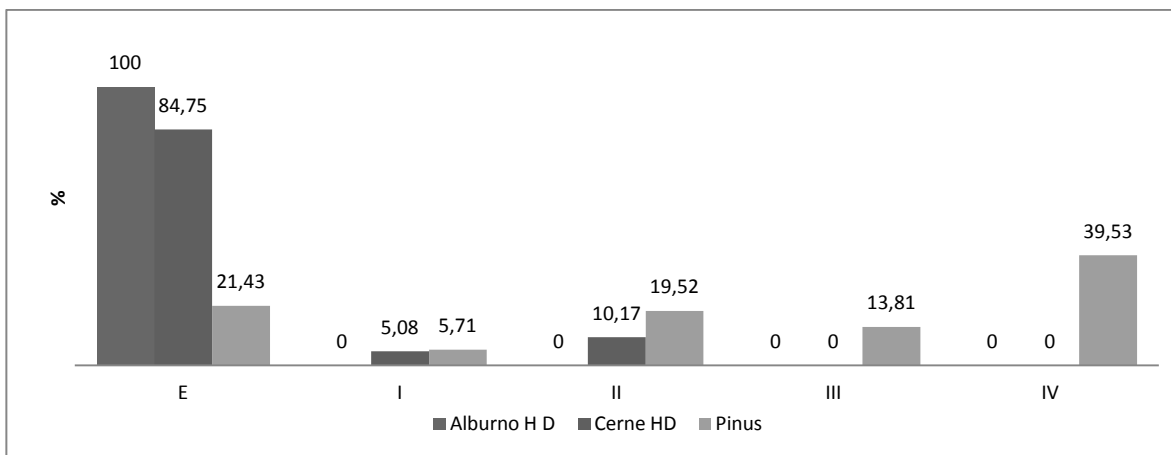
Notas: T calc: calculado pelo teste T para amostras independentes; DIG: diâmetro inicial da tora na ponta grossa; DIF: diâmetro inicial da tora na ponta fina; DRR: diâmetro do rolo resto; RL: rendimento da laminação das toras sem casca; PA: perdas de arredondamento; PRR: perdas no rolo resto; PM: perdas de manuseio; ns: não significativo; \*: significativo a 5 %; \*\*: significativo a 1 %.

Verificou-se que o rendimento de laminação das toras de *Hovenia dulcis* foi inferior às de pinus, ocasionada em especial pela maior perda no rolo resto. Este fato deve-se ao menor diâmetro médio inicial das toras de *Hovenia dulcis* em relação às de Pinus, uma vez que não houve diferença significativa no diâmetro médio dos rolos-resto das mesmas entre as duas espécies. Almeida et al (2014) também observaram diferença entre as perdas do rolo resto, porém foi causada pela diferença entre os diâmetros médios das toras da base e do topo, já que o diâmetro médio dos rolos-resto foram praticamente os mesmos, com 10,2 e 10,4 cm.

O rendimento de laminação para as toras sem casca de *Pinus elliotti* foi de 62,33%, que está acima dos resultados encontrados por Almeida et al (2014), que encontrou valores de 53,83 e 51,66 %, observando maior perda de arredondamento com 32,32 e 31,96 % e perda no rolo resto de 13,84 e 16,39 %, para toras da base e de topo com diâmetros médios de 29 e 26,3 cm e 26,1 e 24,4 cm respectivamente, para madeira do híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, aos 7 anos e 10 meses de idade. Essa menor média encontrada no rendimento pelo autor pode ser justificada pelas características das toras, pois o mesmo utilizou toras de menor diâmetro médio e maior variação destas medidas entre a ponta fina e ponta grossa.

### 5.3. Classificação das lâminas de madeira

Na Figura 16 é apresentada a classificação das lâminas separadas em cerne de *Hovenia dulcis*, alburno de *Hovenia dulcis* e *Pinus elliottii*.



**Figura 16.** Proporção de lâminas de cada classe de classificação, conforme as normas de classificação da ABNT.

A madeira do cerne de *Hovenia dulcis* teve resultados inferiores em relação à de alburno, pois 15,25% das lâminas não atingiram a melhor classificação de lâminas (E), resultado relacionado à forma de crescimento dos galhos nas árvores. Já que o nó é a base de um galho que está encaixado no tronco de uma árvore ou em tronco maior, cujo tem início na medula e cresce do centro para a periferia (REMADE, 2001).

Pinto (2011) na laminação das toras de *Cryptomeria japonica*, também observou lâminas madeira de alburno com melhor qualidade, pois a madeira do cerne apresentou maior quantidade de lâminas com nós de diâmetros acima de 10 mm, e a madeira do alburno com maior quantidade de lâminas de superfície limpa e nós de até 10 mm.

Das toras da madeira de *Pinus elliottii* obteve-se lâminas de qualidade inferior à de *Hovenia dulcis*, com maior parte das lâminas na classe IV, devido à presença de nós com diâmetros considerados grandes. Este resultado deve-se às características de crescimento das espécies, pois a *Hovenia dulcis* apresenta desrama natural e forma galhos com diâmetros menores, ao contrario do Pinus que depende de operações de desrama para aumentar o rendimento de lâminas de melhor classe.

Conforme Almeida et al (2014), ao produzirem lâminas de madeira do híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* com maior porcentagem nas três

classes inferiores, descreveram que se a operação de desrama tivesse sido efetuada, a presença de nós teria sido reduzida e isso certamente aumentaria o rendimento em lâminas das classes de melhor qualidade.

## 5.4. Propriedades físicas dos painéis

### 5.4.1. Densidade aparente espessura e teor de umidade

A média dos valores de densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis separados por tratamentos são apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13.** Valores médios por tratamento para densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis.

Tratamento	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Composição	DA (g/cm <sup>3</sup> )	E (mm)	TU (%)
1	9	P	0,58	7,41	11,41
2	9	A-Hd	0,67	7,24	10,67
3	9	C-Hd	0,70	7,30	10,61
4	9	A-Hd/C-Hd	0,69	7,20	10,55
5	9	A-Hd/P	0,60	7,15	11,03
6	9	C-Hd/P	0,64	7,23	10,96
7	12	P	0,59	7,08	11,39
8	12	A-Hd	0,69	7,06	10,81
9	12	C-Hd	0,71	7,41	10,59
10	12	A-Hd/C-Hd	0,70	7,16	10,65
11	12	A-Hd/P	0,60	7,10	11,07
12	12	C-Hd/P	0,66	6,91	11,23
13	15	P	0,61	6,83	11,34
14	15	A-Hd	0,72	7,00	10,67
15	15	C-Hd	0,74	7,14	10,48
16	15	A-Hd/C-Hd	0,72	7,03	10,59
17	15	A-Hd/P	0,62	6,91	11,15
18	15	C-Hd/P	0,66	6,96	11,07
CV (%)			3,41	2,72	1,59

Notas: DA: Densidade aparente; E: espessura dos painéis; TU: Teor de umidade; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A-Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C H-d: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Os resultados para densidade aparente variaram de 0,58 g/cm<sup>3</sup> (T1) à 0,74 g/cm<sup>3</sup> (T15). Os painéis de pinus estão em conformidade, porém as composições com lâminas de *Hovenia dulcis* e os painéis mistos, com exceção dos tratamentos T5 e T11 apresentaram densidade aparente elevada, chegando a 20,52% acima dos padrões de qualidade do Catálogo Técnico da ABIMCI (2002), descritos na Tabela 9 (pg. 43).

A variação entre as médias das espessuras dos painéis foi de 6,83 mm (T 13) à 7,41 mm (T1 e T9), com diferença de 7,83%, porém os mesmos não passaram pelo processo de lixamento. Conforme a ABIMCI (2002), é permitida uma variação de até 5% na espessura dos painéis lixados.

As médias dos teores de umidade variaram de 10,48% (T15) à 11,41% (T1). Todos os tratamentos estão em conformidade com a ABIMCI (2009b), que sugere valores abaixo de 12% de umidade para os painéis antes do processo de lixamento.

Na Tabela 14 observa-se a análise fatorial dos valores médios de densidade aparente, espessura e de teor de umidade para cada nível de fator estudado.

**Tabela 14.** Influência da pressão de prensagem e composição de lâminas na densidade aparente, espessura e teor de umidade nos painéis.

Fatores	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	E (mm)	TU (%)
1	9	0,65 b	7,25 a	10,87 a
	12	0,66 b	7,12 ab	10,96 a
	15	0,68 a	6,98 b	10,89 a
	F calculado	9,2235 *	9,1003*	1,2560 ns
<b>Composição</b>				
2	P	0,59 c	7,10 a	11,38 a
	A-Hd	0,70 a	7,10 a	10,72 c
	C-Hd	0,72 a	7,28 a	10,56 c
	A-Hd/C-Hd	0,71 a	7,13 a	10,60 c
	A-Hd/P	0,61 c	7,05 a	11,08 b
	C-Hd/P	0,65 b	7,03 a	11,09 b
	F calculado	48,9042 *	1,9071 ns	32,2217 *
Interação (Pressão x Composição)	F calculado	0,3954 ns	0,9237 ns	0,5034 ns

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; \*: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo; DA: Densidade aparente; TU: Teor de umidade; E: espessura dos painéis; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A-Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C-Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Na análise da densidade aparente observou-se diferença estatística significativa nos valores médios obtidos quando aplicadas, diferentes pressões e composições na produção dos painéis, a variação da espessura dos painéis foi significativa estatisticamente somente com aplicação de diferentes pressões, no teor de umidade somente a composição dos painéis interferiu significativamente nos resultados e não houve interação entre os fatores para as análises descritas.

A pressão ocasiona a compressão das estruturas da madeira como os raios, vasos e fibras (ARRUDA, 2012). Para Iwakiri (2005), a aplicação de alta pressão em madeiras de baixa densidade resulta na redução da espessura do painel e perdas em termos volumétricos. Dessa forma, o uso de pressão de 15 kgf/cm<sup>2</sup> não foi vantajoso para as espécies estudadas, pois produziu painéis mais pesados. A pressão de prensagem de 15 kgf/cm<sup>2</sup> também apresentou maior redução da espessura dos painéis quando comparado à aplicação de 9 kgf/cm<sup>2</sup>, conseqüentemente tendo maior perda volumétrica na produção dos painéis, sendo considerada uma pressão de prensagem alta para as espécies utilizadas neste estudo.

No fator composição dos painéis, as composições com lâminas de *Hovenia dulcis* possuem valores de densidade aparente superiores as composições mistas e de pinus. A variação da densidade aparente dos painéis está relacionada à densidade básica das espécies utilizadas neste estudo conforme descrito na Tabela 11 (pg,44).

Albino et al. (2011) também encontrou diferença nos valores de densidade aparente entre os painéis mistos produzidos com lâminas de *Pinus sp./Toona ciliata* e composição pura de *Toona ciliata*, relacionando os resultados à diferença da densidade básica entre as espécies estudadas. Segundo Kollmann et al. (1975), apud Guimarães JR. et al. (2012), a densidade aparente dos painéis compensados é uma variável dependente da densidade básica e da umidade da madeira que os origina, além das variáveis do ciclo de prensagem utilizado na manufatura dos painéis.

Verificou-se que os painéis de pinus alcançaram maior teor de umidade, seguindo dos painéis mistos (*Hovenia dulcis* com pinus) e dos painéis confeccionados somente com lâminas de *Hovenia dulcis*. Este fato está relacionado à característica física e química da madeira de cada espécie.

Conforme Jankowski e Galvão (1979), os extrativos tem atuação como material de enchimento (ocupando locais que estariam disponíveis para a adsorção/dessorção de



umidade da parede celular). Os fatores inerentes da madeira que condicionam a adsorção de umidade são o teor de celulose e a cristalinidade dessa celulose, pois, a água entra livremente nas regiões amorfas da celulose, onde é adsorvida pelos grupos hidroxilas disponíveis e, na região cristalina a água é adsorvida somente na superfície, devido a sua inabilidade em penetrar o entrelaçamento de cristais das moléculas cristalinas de celulose.

#### 5.4.2. Estabilidade dimensional

Na Tabela 15 é descrito a média dos valores para cada propriedade física dos painéis (absorção d' água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura) separados por tratamentos.

**Tabela 15.** Valores médios por tratamento para absorção d' água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura dos painéis.

Tratamento	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Composição	AA (%)	I (%)	I.R (%)
1	9	P	73,64	5,42	0,79
2	9	A-Hd	58,08	7,69	0,58
3	9	C-Hd	51,57	6,62	0,58
4	9	A-Hd/C-Hd	51,96	7,30	0,53
5	9	A-Hd/P	69,67	6,89	1,38
6	9	C-Hd/P	66,36	7,18	0,25
7	12	P	60,46	8,53	1,89
8	12	A-Hd	54,54	8,29	0,31
9	12	C-Hd	42,83	7,42	0,84
10	12	A-Hd/C-Hd	50,74	8,47	0,51
11	12	A-Hd/P	62,88	7,03	1,01
12	12	C-Hd/P	59,39	8,09	1,41
13	15	P	60,30	7,96	1,57
14	15	A-Hd	50,62	8,98	1,24
15	15	C-Hd	42,59	8,96	1,67
16	15	A-Hd/C-Hd	48,14	8,68	0,70
17	15	A-Hd/P	58,55	9,63	1,43
18	15	C-Hd/P	60,88	10,43	2,00
CV (%)			4,74	13,21	65,95

Notas: AA: Absorção d' água; I: Inchamento em espessura; IR: Inchamento mais recuperação em espessura; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A-Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C-Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Os valores médios de absorção d' água variaram de 42,59% (T15) à 73,64% (T1), semelhante aos encontrados por outros autores. Albino et al. (2011), observaram variação de 56,67 à 84,67% em painéis com lâminas de *Toona ciliata* e mistos com *Pinus sp.* Silva et al. (2012) observaram uma média de 63,80% em painéis com lâminas de *Pinus taeda*.

A média dos valores para inchamento em espessura variou de 5,42% (T1) à 10,43% (T18) e inchamento mais recuperação em espessura de 0,25% (T6) à 2% (T18), similar à outros estudos. Almeida et al (2012) encontraram valores médios de 4,32 % para inchamento em espessura e 0,66% para inchamento mais recuperação em espessura para painéis de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Iwakiri et al (2001) encontraram valores de inchamento em espessura variando de 4,85 à 7,75% e inchamento mais recuperação em espessura de 0,79 à 2,17 % em painéis compensados com aplicação de cinco espécies de pinus tropicais e de *Pinus taeda*.

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios das propriedades de estabilidade dimensional para cada nível de fator estudado.

**Tabela 16.** Influência da pressão de prensagem e composição de lâminas nos resultados de absorção d' água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura dos painéis.

Fatores	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	AA (%)	I (%)	IR (%)
1	9	61,88 a	6,85 c	0,68 b
	12	55,14 b	7,97 b	0,99 ab
	15	53,52 b	9,11 a	1,43 a
	F calculado	48,8601 *	20,6111 *	5,4553 *
<b>Composição</b>				
2	P	64,80 a	7,30 a	1,41 a
	A-Hd	54,41 b	8,32 a	0,71 a
	C-Hd	45,66 d	7,67 a	1,03 a
	A-Hd/C-Hd	50,28 c	8,15 a	0,58 a
	A-Hd/P	63,70 a	7,85 a	1,27 a
	C-Hd/P	62,21 a	8,57 a	1,22 a
	F calculado	77,7608 *	1,7202 ns	2,1048 ns
Interação (Pressão x Composição)	F calculado	2,4289 *	1,4410 ns	1,1259 ns

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo; AA: Absorção d'água; I: Inchamento; IR: Inchamento e Recuperação em espessura; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A-Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C-Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Para absorção d' água, observou-se diferença estatística significativa nos valores médios obtidos para as diferentes pressões e composições utilizadas nos painéis, ocorrendo

a interação dos fatores. Inchamento (I) e inchamento mais recuperação em espessura (IR) nos painéis, apresentaram diferença estatística somente para o fator pressão.

#### 5.4.2.1. Análise da absorção d' água

Ocorreu uma diminuição significativa na absorção de água pelos painéis confeccionados a pressão de 12 kgf/cm<sup>2</sup>, em relação aos painéis produzidos sob pressão de 9 kgf/cm<sup>2</sup>. Atribuiu-se esse fato à redução dos espaços vazios da madeira devido à compressão, efeito que não ocorreu quando do aumento da pressão de 12 para 15 kgf/cm<sup>2</sup>.

Albino et al. (2011) também observaram uma diminuição de absorção d'água nos painéis compostos por *Toona ciliata* quando foi aplicada maior gramatura de adesivo e pressão de prensagem.

Verificou-se no fator composição, que os painéis produzidos com lâminas de madeira de cerne de *Hovenia dulcis* apresentaram menor absorção d'água, seguidos dos mistos (alburno com cerne), em seguida a composição de alburno e posteriormente os painéis que contem madeira de pinus na composição. O fluxo dos líquidos na estrutura lenhosa da madeira está ligado à sua porosidade, estrutura anatômica, composição química e densidade básica, que ocasionou a diferença nos resultados de absorção d' água dos painéis.

O material com menor densidade tem potencial de apresentar maior porosidade e dessa forma, poder ser ocupada com maior quantidade de água livre (GUIMARÃES JR. ET AL., 2009). Albino et al. (2011) verificaram que os painéis que mais absorveram água, foram aqueles compostos por lâminas de baixa densidade. Observando o mesmo neste estudo, pois conforme mostrado na Tabela 11 (pg. 44), a madeira de *Hovenia dulcis* possui maior densidade básica em relação à de pinus, conseqüentemente os painéis compostos com lâminas da espécie de menor densidade básica absorveram mais água.

Para Sales-Campos et al (2003), a diferença da absorção do preservante CCA tipo A entre o cerne e o alburno da madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae está relacionado às características anatômicas destas estruturas, maiores deposições de extrativos encontram-se presentes no cerne, bem como as maiores obstruções dos vasos deste por tiloses. Como observado na Figura 15 (pg. 45), a madeira de cerne de *Hovenia dulcis* possui poros menores, menor quantidade de células nos raios e maior concentração

de extrativos em relação à de alburno, características que dificultaram a entrada de água na estrutura lenhosa.

Na Tabela 17 são apresentados os valores médios da composição de lâminas com a pressão de prensagem na absorção de água.

**Tabela 17.** Interação da pressão de prensagem com a composição de lâminas na absorção de água dos painéis (%).

<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)/ Composição</b>	<b>P</b>	<b>A-Hd</b>	<b>C-Hd</b>	<b>A-Hd/ C-Hd</b>	<b>A-Hd/P</b>	<b>C-Hd/P</b>
9	73,64 aA	58,08 aC	51,57 aC	51,96 aC	69,67 aAB	66,36 aB
12	60,46 bAB	54,54 abBC	42,83 bD	50,74 aC	62,88 bA	59,39 bAB
15	60,30 bA	50,62 bB	42,59 bC	48,14 aBC	58,55 bA	60,88 bA

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas), pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro; P: lâminas de *Pinus elliotii*; A-Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C-Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

De modo geral, verifica-se que o aumento da pressão de 9 para 12 kgf/cm<sup>2</sup> foi eficiente para diminuir a absorção d'água de todos os painéis que contém lâminas de pinus e daqueles compostos somente de cerne de *Hovenia dulcis*. Para os painéis produzidos somente com lâminas de madeira de alburno de *Hovenia dulcis*, o uso da pressão de 15 kgf/cm<sup>2</sup>, os painéis apresentaram menor absorção d' água em relação ao uso de 9 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### **5.4.2.2. Análise do inchamento e inchamento mais recuperação em espessura**

Tanto o inchamento em espessura como o inchamento mais recuperação em espessura foram maiores com o uso da pressão de 15 kgf/cm<sup>2</sup> no processo produtivo dos painéis, pois com a compactação dos poros e fibras, além de influenciar na densidade aparente dos painéis, ocorreu um aumento das tensões de compressão internas.

O material comprimido e tratado termomecanicamente sofre o acúmulo de tensões de compressão internas, que quando são colocados em água liberam essas tensões, além do inchamento próprio da madeira (ARRUDA, 2012).

Durante a prensagem dos compensados ocorre um incremento da densidade e tensões internas, que afetam a estabilidade dimensional na direção da compressão. Quando o produto absorve água, incha devido o inchamento da madeira e também partes das

tensões internas são liberadas, quando o produto é seco não consegue retornar a sua espessura original (MEDINA, 1986).

## 5.5. Propriedades mecânicas

### 5.5.1. Flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática dos painéis, no sentido paralelo e perpendicular às fibras, são apresentados na Tabela 18.

**Tabela 18.** Valores médios por tratamentos para MOR e MOE no sentido paralelo e perpendicular dos painéis

Tratamento	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Composição	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
			Per	Par	Per	Par
1	9	P	27,38	50,51	1507,86	5360,07
2	9	A-Hd	43,71	79,39	2393,08	7052,83
3	9	C-Hd	39,00	73,95	2120,81	7537,06
4	9	A-Hd/C-Hd	44,29	88,23	2523,60	7360,60
5	9	A-Hd/P	27,33	74,42	1495,75	6437,62
6	9	C-Hd/P	28,29	78,73	1708,17	7237,17
7	12	P	26,98	60,77	1694,67	7967,57
8	12	A-Hd	41,09	84,78	2735,38	8959,01
9	12	C-Hd	45,45	90,54	2818,66	9395,45
10	12	A-Hd/C-Hd	45,13	79,66	2930,43	9196,27
11	12	A-Hd/P	28,79	77,85	2116,94	8055,99
12	12	C-Hd/P	37,40	84,95	2400,88	9327,50
13	15	P	23,09	55,65	1624,98	5723,72
14	15	A-Hd	43,40	87,58	2190,80	7273,67
15	15	C-Hd	46,13	94,08	2952,21	9259,17
16	15	A-Hd/C-Hd	44,96	94,72	3121,48	8262,83
17	15	A-Hd/P	29,13	80,83	1941,19	7952,99
18	15	C-Hd/P	26,57	75,02	1580,37	7796,93
CV (%)			11,87	14,79	10,47	9,83

Notas: MOR: Módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidades; Per: perpendicular; par: Paralelo; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A-Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C-Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Os valores médios para MOR perpendicular variaram entre 23,09 MPa (T13) à 46,13 MPa (T15) e no sentido paralelo de 50,51 MPa (T1) à 94,72 MPa (T16). Para MOE paralelo a variação foi de 1495,75 MPa (T5) à 3121,48 MPa (T16) e perpendicular de 5360,07 MPa (T1) à 9395,45 (T9).

Quando comparados aos parâmetros da ABIMCI (2002), descritos na Tabela 10 (pg. 42), todos os valores médios de MOR perpendicular dos painéis alcançaram o valor médio estabelecido, tendo ainda, os tratamentos (T2, T3, T4, T8, T9, T10, T12, T14, T15 e T16) ultrapassando o quesito máximo. No MOR paralelo, a maioria dos tratamentos atingiu o quesito máximo, exceto as composições puras de pinus (T1, T7 e T13) que ultrapassaram somente o valor médio estipulado. Para MOE perpendicular, os tratamentos (T1, T3, T5, T6, T7, T11, T13, T14, T17 e T18) alcançaram o valor mínimo, os tratamentos (T2, T4, T8, T9, T10, T12 e T15) enquadram-se acima do valor médio e somente o T16 ultrapassou o valor máximo. Para o MOE paralelo todos os painéis alcançaram o valor mínimo exigido, tendo ainda os tratamentos (T8, T9, T10, T12 e T15) que ultrapassaram o parâmetro médio.

Na Tabela 19 podem-se observar os valores médios de flexão estática para cada nível de fator estudado.

**Tabela 19.** Influência dos fatores para MOR e MOE no sentido paralelo e perpendicular.

Fatores	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
		Per	Par	Per	Par
1	9	35,00 a	74,21 a	1958,21 c	6830,89 c
	12	37,47 a	79,76 a	2449,49 a	8816,96 a
	15	35,55 a	81,31 a	2235,17 b	7711,55 b
	F calculado	1,6656 ns	1,8662 ns	20,3191 *	30,4412 *
<b>Composição</b>					
2	P	25,82 b	55,64 b	1609,17 c	6350,45 c
	A-Hd	42,73 a	83,92 a	2439,75 b	7761,83 ab
	C-Hd	43,53 a	86,19 a	2630,56 ab	8730,56 a
	A-Hd/C-Hd	44,79 a	87,54 a	2858,50 a	8273,23 ab
	A-Hd/P	28,42 b	77,70 a	1851,29 c	7482,20 b
	C-Hd/P	30,75 b	79,57 a	1896,47 c	8120,53 ab
	F calculado	36,2521 *	9,2884 *	41,4671 *	10,4362 *
Interação (Pressão x Composição)		1,5764 ns	0,7487 ns	3,4689 *	1,0727 ns

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; \*: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo; MOR: Modulo de ruptura; MOE: modulo de elasticidades; Per: perpendicular; par: Paralelo; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A Hd: lâminas do albúrnio de *Hovenia dulcis*; C Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Na análise dos resultados, para MOR perpendicular e paralelo, observou-se diferença estatística significativa nos valores médios obtidos para as diferentes composições dos painéis. Para o MOE perpendicular e paralelo, a composição dos painéis e as diferentes pressões aplicadas interferiram significativamente nos resultados, ainda ocorreu interação dos fatores composição e pressão sobre os resultados de MOE perpendicular.

A pressão de 9 kgf/cm<sup>2</sup> pode não ter sido suficiente para transferência de adesivo de uma lâmina para outra e na pressão de 15 kgf/cm<sup>2</sup> pode ter ocorrido transposição do adesivo pela lâmina, ambas as observações influenciando na elasticidade do painel. Assim, os painéis com maior rigidez foram os produzidos com pressão de prensagem de 12 kgf/cm<sup>2</sup>.

Os painéis constituídos somente por lâminas de *Hovenia dulcis* que tem maior densidade aparente (Tabela 14, pg. 50), apresentaram-se mais resistentes em relação aos demais. Tendo esta maior resistência atribuída à diferença da densidade básica entre as espécies e a classe de qualidade das lâminas. Albino et al (2011) também observaram melhores resultados de flexão estática nos painéis de maior densidade aparente.

A interação da composição de lâminas com a pressão de prensagem sobre os resultados de MOE perpendicular esta descrita na Tabela 20.

**Tabela 20.** Interação da pressão de prensagem com a composição de lâminas nos resultados de MOE perpendicular (MPa)

Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )/ Composição	P	A-Hd	C-Hd	A-Hd/ C-Hd	A-Hd/P	C-Hd/P
9	1507,86 aC	2393,08 abA	2120,81 bAB	2523,60 bA	1495,75 bC	1708,17 bBC
12	1694,67 aC	2735,38 aA	2818,66 aA	2930,43 abA	2116,94 aBC	2400,88 aAB
15	1624,98 aBC	2190,80 bB	2952,21 aA	3121,48 aA	1941,19 abBC	1580,37 bC

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas), pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Para a gramatura utilizada no processo de colagem neste estudo, os painéis que contem maior quantidade de lâminas de madeira de cerne de *Hovenia dulcis* obtiveram aumento do MOE com o uso de pressão acima de 12 kgf/cm<sup>2</sup>, já que as mesmas possuem poros mais obstruídos e necessitaram de maior pressão para a transferência de adesivo. As

composições que contem somente lâminas de madeira de alburno de *Hovenia dulcis* e as mistas de alburno com pinus, a pressão de prensagem de 15 kgf/cm<sup>2</sup> apresentou diminuição dos valores de MOE, ocasionando a transposição de adesivo para superfície dos painéis. Nos painéis mistos com lâminas de madeira de cerne de *Hovenia dulcis* com pinus, a aplicação de 12 kgf/cm<sup>2</sup> no processo de prensagem foi suficiente para distribuição do adesivo e a aplicação de 15 kgf/cm<sup>2</sup> provocando a distribuição desigual entre as lâminas, devido a maior impermeabilidade da madeira de cerne de *Hovenia dulcis*, a maior parte do adesivo foi absorvida pelas lâminas de pinus, causando uma colagem ineficiente. Os painéis compostos somente por lâminas de madeira de pinus a aplicação de 9 kgf/cm<sup>2</sup> no processo de prensagem foi o suficiente e proporcionou uma colagem eficiente.

Iwakiri (2005) recomenda o uso de pressões menores quando os painéis são produzidos com altas gramaturas no processo de colagem, com intuito de evitar a ultrapassagem do adesivo para superfície das lâminas externas e derramamento pelas laterais.

### 5.5.2. Resistência ao cisalhamento da linha de cola

Os valores médios de tensão de cisalhamento da linha de cola úmido e fervura são apresentados na Tabela 21.

**Tabela 21.** Valores médios de tensão de cisalhamento por tratamento

Tratamento	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Composição	RLC (MPa)	
			Úmido	Fervura
1	9	P	1,43	1,17
2	9	A-Hd	1,52	1,40
3	9	C-Hd	1,51	1,28
4	9	A-Hd/C-Hd	1,28	0,82
5	9	A-Hd/P	1,31	1,09
6	9	C-Hd/P	1,31	0,94
7	12	P	1,08	0,93
8	12	A-Hd	1,50	1,27
9	12	C-Hd	1,60	1,24
10	12	A-Hd/C-Hd	1,50	1,39
11	12	A-Hd/P	1,29	1,03



(Continuação)

12	12	C-Hd/P	1,08	1,01
13	15	P	1,23	0,87
14	15	A-Hd	1,15	0,72
15	15	C-Hd	1,84	1,44
16	15	A-Hd/C-Hd	1,55	1,49
17	15	A-Hd/P	1,27	1,02
18	15	C-Hd/P	1,14	1,04
CV (%)			17,37	17,05

Notas: RLC: Resistência na linha de cola; P: lâminas de *Pinus eElliotii*; A Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Os valores médios para resistência na linha de cola, variam de 1,08 MPa (T7 e T12) à 1,84 MPa (T15) para tratamento úmido e de 0,72 MPa (T14) à 1,49 MPa (T16) para tratamento de fervura. Apenas os tratamentos de fervura (T4, T6, T7, T13, T14) não atingiram os parâmetros de resistência da linha de cola, estipulados pela NBR ISO 12466-2 (2006e) descritos na Tabela 8 (pg. 43).

Na Tabela 22 são apresentados os valores médios de resistência na linha de cola, úmido e fervura para cada nível de fator estudado.

**Tabela 22.** Influência da pressão de prensagem e composição de lâminas nos resultados de tensão de cisalhamento

Fatores	Pressão	RLC (MPa)	
	(kgf/cm <sup>2</sup> )	Úmido	Fervura
1	9	1,36 a	1,12 a
	12	1,34 a	1,15 a
	15	1,36 a	1,13 a
	F calculado	0,0637 ns	0,1066 ns
<b>Composição</b>			
2	P	1,25 b	0,99 b
	A-Hd	1,39 ab	1,20 ab
	C-Hd	1,65 a	1,32 a
	A-Hd/C-Hd	1,44 ab	1,23 ab
	A-Hd/P	1,29 b	1,05 b
	C-Hd/P	1,11 b	1,00 b
	F calculado	5,5401*	4,6379 *
Interação (Pressão x Composição)	F calculado	1,3597 ns	3,5160 *

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; \*: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo; RLC: Resistência na linha de cola; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Observou-se diferença estatística significativa nos valores médios de cisalhamento úmido, obtidos para as diferentes composições dos painéis. Para o cisalhamento após fervura, foi observada diferença estatística significativa no fator composição e houve interação dos fatores.

Os painéis produzidos com lâminas do cerne de *Hovenia dulcis* tiveram melhores resultados para tensão de cisalhamento úmido e fervura quando comparado aos painéis que contém lâminas de pinus em sua composição. A diferença nas propriedades mecânicas entre as lâminas influenciou nos resultados, tendo esta maior resistência atribuída à diferença da densidade básica e a classificação de qualidade entre as lâminas. Também as características anatômicas entre as espécies interferiram na colagem, pois a madeira de *Hovenia dulcis* possui fibras curtas, raios pequenos e de menor quantidade, com poros menores na madeira de cerne, absorvendo menos adesivo que o pinus.

Semelhante a observação de Albino et al. (2012), descrevendo que a dimensão do diâmetro do vaso, largura e comprimento da fibra e a largura do raio, quando muito elevadas podem ocasionar linha de cola faminta, por absorver mais adesivo. Ainda Iwakiri et al. (2013), relataram que os baixos valores de resistência ao cisalhamento encontrados nos painéis de *Sequoia sempervirens* estão atribuídos à baixa densidade da madeira, que contribuiu para maior absorção do adesivo, resultando na redução da espessura da linha de cola e, conseqüentemente, da resistência da ligação adesiva entre as lâminas.

A interação da composição de lâminas com a pressão de prensagem nos resultados de cisalhamento fervura é descrita na Tabela 23.

**Tabela 23.** Interação da pressão de prensagem com a composição de lâminas nos resultados de tensão de cisalhamento da linha de cola após fervura.

<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)/ Composição</b>	<b>P</b>	<b>A-Hd</b>	<b>C-Hd</b>	<b>A-Hd/ C-Hd</b>	<b>A-Hd/P</b>	<b>C-Hd/P</b>
9	1,17 aAB	1,40 aA	1,28 aAB	0,82 bB	1,09 aAB	0,94 aAB
12	0,93 aA	1,27 abA	1,24 aA	1,39 aA	1,03 aA	1,01 aA
15	0,87 aB	0,93 bB	1,44 aA	1,49 aA	1,02 aAB	1,04 aAB

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas), pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro; P: lâminas de *Pinus elliottii*; A Hd: lâminas do alburno de *Hovenia dulcis*; C Hd: lâminas do cerne da *Hovenia dulcis*.

Devido ao ultrapassamento do adesivo para as lâminas da superfície dos painéis compostos somente por lâminas do alburno da *Hovenia dulcis*, a resistência de cisalhamento reduziu com aplicação de 15 kgf/cm<sup>2</sup> no processo produtivo.

## 6. CONCLUSÕES

A madeira das toras de *Hovenia dulcis* apresentou densidade básica superior à madeira das toras do *Pinus elliotti*, não havendo diferença estatística na estabilidade dimensional entre as espécies.

A madeira de alburno de *Hovenia dulcis* apresenta características anatômicas que as torna mais permeável que a de cerne.

O rendimento médio da laminação das toras de *Hovenia dulcis* foi inferior ao *Pinus elliottii* e produziu maior quantidade de lâminas de alburno. A classificação das lâminas pelas normas da ABNT identificou a melhor qualidade para as lâminas obtidas da madeira de *Hovenia dulcis*.

A composição com lâminas da madeira de *Hovenia dulcis* mostrou painéis mais pesados, quando comparado aos padrões de qualidade para painéis de pinus do Catálogo Técnico da ABIMCI.

As propriedades físico-mecânicas dos painéis, com exceção do inchamento e do inchamento mais recuperação em espessura que não apresentaram diferenças entre a mistura das espécies, foram superiores para painéis com lâminas de madeira de *Hovenia dulcis* em relação aos de pinus, não havendo diferença significativa entre as médias das propriedades dos painéis produzidos com lâminas da madeira de cerne e de alburno da *Hovenia dulcis*.

A pressão de 12 kgf/cm<sup>2</sup> no processo de prensagem para composição de lâminas avaliada neste estudo é a mais adequada, pois foi o suficiente para reduzir a absorção de água e apresentar maior rigidez nos painéis, apresentando valores medianos para inchamento e inchamento mais recuperação em espessura dos mesmos.

A composição de lâminas de alburno da madeira de *Hovenia dulcis*, com aplicação de 15 kgf/cm<sup>2</sup> no processo de prensagem diminui o MOE e a resistência da linha de cola após fervura dos corpos de prova.

A madeira de *Hovenia dulcis* apresenta potencial para o uso individual ou em combinação com lâminas da madeira de *Pinus elliottii* para produção de painéis compensados multilaminados.

## 7. RECOMENDAÇÕES

E com as conclusões feitas neste trabalho também surgem ideias para futuras pesquisas como:

- Avaliar o rendimento da laminação e qualidade de lâminas com diferentes espessuras;
- Estudar a aplicação de outras gramaturas e teores de sólido na batida de cola, visando à possibilidade de redução de adesivo;
- Produção de painéis compensados multilaminados de *Hovenia dulcis* com adesivo uréia-formaldeído;
- Mistura das lâminas de *Hovenia dulcis* com outras espécies, preferivelmente com densidade básica menor, visando a redução da densidade aparente dos painéis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Compensado de pinus**. Programa Nacional de Qualidade da Madeira. Catálogo Técnico n. 1, Curitiba, 2002. 20p.

ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Secagem de serrados e lâminas de madeira**. Artigo Técnico Nº 27, Curitiba, 2004. 7p.

ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2009 ano base 2008 indústria de madeira processada mecanicamente**. Curitiba-PR, 2009a, 48 p.

ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Compensados de madeira tropical e pinus-PNQM-CT e PNQM-CP**. Programa nacional da qualidade da madeira. Catálogo Técnico, Rev.05, Curitiba, 2009b, 10 p.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico 2013**. Brasília- DF, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Compensado: determinação da densidade**. Rio de Janeiro, 1986a. (Norma Brasileira NBR-9485).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Compensado: Determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 1986b. (Norma Brasileira NBR-9484).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Compensado: determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 1986c. (Norma Brasileira NBR-9486).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Compensado: determinação da em espessura e inchamento mais recuperação em espessura**. Rio de Janeiro, 1986d. (Norma Brasileira NBR-9535).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Compensado: determinação da resistência à flexão estática**. Rio de Janeiro, 1986e. (Norma Brasileira NBR-9533).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Condicionamento de corpos de prova de compensados para ensaio**. Rio de Janeiro, 1986f. (Norma Brasileira NBR-9489).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. (Norma Brasileira NBR-7190)

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – Determinação da densidade básica.** Rio de Janeiro, 2003. (Norma Brasileira NBR 11941).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial, Parte 1: Geral.** Rio de Janeiro, 2006a. (Norma Brasileira NBR ISO 2426-1).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial, Parte 2: Folhosas.** Rio de Janeiro, 2006b. (Norma Brasileira NBR ISO 2426-2).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial, Parte 3: Coníferas.** Rio de Janeiro, 2006c. (Norma Brasileira NBR ISO 2426-3).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira compensada – Qualidade de colagem.** Rio de Janeiro, 2006d. (Norma Brasileira NBR ISO 12466-1).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira compensada – Qualidade de colagem.** Rio de Janeiro, 2006e. (Norma Brasileira NBR ISO 12466-2).

ALBINO, V. C. S; SÁ, V. A; BUFALINO, L; MENDES, M. M; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 103-108, jan./mar. 2011.

ALBINO, V. C. S; MORI, F. A; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 803-811, out.-dez, 2012.

ALBUQUERQUE, C. E. C; LATORRACA, J.V. F. Adesivos. **Revista da madeira**, edição n°88 mar. 2005.

ALMEIDA, N. F; BORTOLETTO JUNIOR, G; MENDES, R. F; SURDI, P. G. Avaliação da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de compensados. **Scientia Forestalis**., Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 435-443, dez. 2012.

ALMEIDA, N. F; BORTOLETTO JUNIOR, G; MENDES, R. F; SURDI, P. G. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p:261-268, 2014.

ARRUDA, L. M. **Modificação termomecânica da madeira de amescla (Trattinnickia burseraefolia (Mart.) Willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados.**

2012, 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília-DF.

BONARDI. **Laudo de análise**. Colombo, PR, 2015.

BONDUELLE, G. M; IWAKIRI, S; CHIES, D; MARTINS, D. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus spp.* **Floresta e Ambiente**, V.12, n.2, p. 35 - 41, nov/dez.2006.

BORTOLETTO JR., G.; BELINI, U. L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* Blake) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, Lavras MG, v. 8, n. 2, p. 1 - 16, 2002.

BORTOLETTO JR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia forestalis**, n. 63, p. 65-78, jun. 2003.

BORTOLETTO JR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, jun. 2008.

BURGER, L. M; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Editora Nobel, 1991. 154 p.

CARVALHO, P. E. R. **Ecologia, silvicultura e usos da uva-do-japão (*Hovenia Dulcis Thunberg*)**. Colombo, PR, EMBRAPA, Comunicado Técnico n. 23, 1994, 24 p.

CHAGAS, M. P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. E *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulina, SP.** 2009, 141 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba-SP.

SALES-CAMPOS, C; VIANEZ, B. F; MENDONÇA, S. Estudo da variabilidade da retenção do preservante cca tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* taub. Moraceae - (pau-rainha) uma espécie madeireira da região amazônica. **Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.6, p.845-853, 2003.

FRIHART, C. R; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials bond formation and performance. In: Madison, W. **Wood as an engineering material**. 100. ed. Rev. Wood handbook: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 10, p. 1-24.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensado de eucalipto: estudo de caso de espécie e procedências. **Cerne**, Lavras-MG, v. 15, n. 1, p. 10-18, jan./mar. 2009.



GUIMARÃES JÚNIOR, J. B; MENDES, L. M; MENDES, R. F; GUIMARÃES, B. M. R; OLIVEIRA, L. O. Seleção de clones *Eucalyptus Urophylla* para produção de compensados. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 667-673, out./dez. 2012.

IWAKIRI, S; OLANDOSKI, D. P; LEONHARDT, G; BRAND, M. A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

IWAKIRI, S; KEINERT JR., S; PRATA, J. G; ROSSO, S. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

IWAKIRI, S.; VARGAS, C. A.; PARCHEN, C. F. A.; WEBER, C.; BATISTA, C. C.; GARBE, E. A.; CIT, E. J.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 451 - 458, 2011.

IWAKIRI, S; CUNHA. A. B; TRIANOSKI, R; BRAZ, R. L; CASTRO, V. G; KAZMIERCZAK, S; PINHEIRO, E; RANCATTI, H; SANCHES, F. L. Produção de painéis compensados fenólicos com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens*. **Floresta e Ambiente**, V. 20, N. 2, P. 264-270, 2013.

JANKOWSKI, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **IPEF**, n. 18, p. 1-33, 1979.

KANIESKI, M. R; SANTOS, T. L; GRAF NETO, J; SOUZA, T; GALVÃO, F; RODERJAN, C. V. Influência da precipitação e da temperatura no incremento diamétrico de espécies florestais aluviais em Araucária-PR. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, P. 17-25, jan./mar. 2012.

KLITZKE, R. J; SAVIOLI, D. L; MUÑIZ, G. I. B; BATISTA, D. C. Caracterização dos lenhos de cerne, alborno e transição de jatobá (*Hymenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 279-284, dez. 2008.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical Properties of Wood. In: Madison, W. **Wood as an engineering material**. 100. ed. Rev. Wood handbook: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 5, p. 1-44.

LIMA, C. K. P; MORI, F. A; MENDES, L.M; CARNEIRO, A. C.O. Características anatômicas e químicas de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, abr./jun. 2006.

LIMA, N. N; PIO, N. S. Avaliação da gramatura de cola na propriedade de flexão estática em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dwyer e *Eperua oleifera* Ducke. **Acta Amazonica**, Santa Maria, v.37, n.3, p.347-352, 2007.

LIMA, N. N; PIO, N. S; CUNHA, U. S; LUCAS FILHO, F. C; BARBOS FILHO, J. Avaliação da gramatura de cola na propriedade de flexão estática em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dwyer e *Eperua oleifera* Ducke. **Acta Amazonica**, vol. 37, n. 3, p. 83 – 90, 2011.

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliotth engelm.*** 1986. 128 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MELO, R. R. **Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke).** 2012. 164 P. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, DF.

MONTEIRO, T. C; SILVA, R. V; LIMA, J. T, BARAÚNA, E. E. P; CARVALHO, D. M; LIMA, M. T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus sp.* **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 1, n.1: p. 6-11, nov. 2010.

MORESCHI, J. C. Propriedades tecnológicas da madeira. **Departamento de engenharia e tecnologia florestal da UFPR**, 3º edição, Curitiba, PR, 2010.

MOTTA, J. P; OLIVEIRA, J. T. S; BRAZ, R. L; DUARTE, A. P. C; ALVES, R. C. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**, v.44, n.12, dez, 2014.

MUNIZ, G. I. B; IWAKIRI, S; VIANA, L. C; ANDRADE, M; WEBER, C; ALMEIDA, C. A. Produção de painéis compensados de *Pinus taeda* com lâminas de diferentes densidades e resina fenol-formaldeído com alto e baixo peso molecular. **Cerne**, vol.19, n.2, pp. 315-321, 2013.

NASCIMENTO, A. M; OLIVEIRA, J. T. S; DELLA LUCIA, R. M. Classificação e propriedades da madeira de pinus e eucalipto. **Floresta e ambiente**. v. 8, n.1, p.27 - 35, jan./dez. 2001.

OLIVEIRA, F. L, LIMA, I. L; GARCIA, J. N; FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* l. em função da idade e da posição radial na tora. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.

PALMA, H. A. L; ESCOBAR, J. F; BALLARIN, A. W; LEONELLO, E. C. Influência da qualidade das lâminas no desempenho mecânico à flexão de painéis compensados de *Hevea brasiliensis*. **Floresta e Ambiente**. v. 19, n. 2, p:133-140, 2012.

PINTO, J. A. **Análise da viabilidade do uso da madeira de “Cryptomeria japonica” para laminação e produção de painéis compensado.** 2011, 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba -PR.

PINTO, J. A; IWAKIRI, S. Estudo sobre a viabilidade do uso da madeira de “*Cryptomeria japonica*” para produção de painéis compensado. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 029-037, mar. 2013.

PRATA, J.G. **Desempenho de um sistema de qualidade de uma fábrica de painéis compensados**. Curitiba-PR, 2006, 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

REMADE. Características intrínsecas da madeira. **Revista da madeira**, Nº59, 6pg., Setembro, 2001.

REAL JARDIM BOTÂNICO DE MADRID. ***Hovenia dulcis* - Árbol de las pasas**. Altura 415 pixels. Largura 300 pixels. 72 dpi. 24 bits. 72 Kb. Formato JEPEG (JPG). Disponível em:

< <http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/jardin/index.php?len=&Pag=538>> Acesso em 20/10/2013.

RIGATO, P. A; PEREIRA, J. C. D; MATTOS, P. P; SCHAITZA, E. G. **Características físicas, químicas e anatômicas das madeiras de *Hovenia dulcis***. Colombo, PR, EMBRAPA, Comunicado Técnico n. 66, 2001, 4p.

SANTINI, E. J; HASELEIN, C. R; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.85-93, 2000.

SCHWAB, E. A; MOMO, G; MELO, E. Análise de mercado e o processo de vendas nas indústrias paranaenses: A situação de uma indústria de compensados em Curitiba-PR. **Revista de Administração IMED**,v. 2, n. 1, p. 35-50, jun. 2012.

SCHWIRKOWSKI, P. ***Hovenia Dulcis* Thunberg**. Altura 640 pixels. Largura 480 pixels. 96 dpi. 24 bits. 212 Kb. Formato JEPEG (JPG). Disponível em:

<[http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open\\_sp.php?img=7276](http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=7276)> Acesso em 20/10/2013.

SILVA, B. C; VIEIRA, M. C, OLIVEIRA, G. L; GONÇALVES, F. G; RORIGUES, N. D; LELIS, R. C. C; IWAKIRI, S. Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p: :511-519, 2012.

TREVISAN, R; MOTTA, C. I; FIORESI, T; TRAUTENMÜLLER, A. V; RABUSKE, J. E; DENARDI, L. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto para *Pinus elliottii* Engel. **Ciência Rural**, v.44, n.4, abr, 2014.

UMAÑA, C. L; A, BRITO, E. O. Cozimento da madeira altera a qualidade das lâminas. **Revista da Madeira**, nº78 – ano13 – Fevereiro/2004.

VIDAURRE, G. B; LOMBARDI, L. R; OLIVEIRA, J. T. S; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p: 469-480, 2011.

VITAL, B. R; MACIEL, A. S; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus Grandis*, *Eucalyptus Saligna* e *Pinus Elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.4, p.637-644, 2006.

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: Madison, W. **Wood as an engineering material**. 100. ed. Rev. Wood handbook: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 3, p. 1-18.