

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
CENTRO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA



Trabalho de Conclusão de Curso

**PAINÉIS COMPENSADOS DECORATIVOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE  
PINUS E EUCALIPTO**

**Carolina Sica Gonçalves**

Pelotas, 2013

**Carolina Sica Gonçalves**

**PAINÉIS COMPENSADOS DECORATIVOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE  
PINUS E EUCALIPTO**

Trabalho Acadêmico apresentado ao  
Curso de Engenharia Industrial Madeireira  
da Universidade Federal de  
Pelotas, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika da Silva Ferreira

Pelotas, 2013

*Aos meus pais, Eduardo Farias Gonçalves  
e Márcia Helena Cruz Sica, dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Eduardo Farias Gonçalves e Márcia Helena Cruz Sica, por sempre terem me apoiado e acreditado nas minhas escolhas, e pelo amor e carinho incondicionais.

À minha família, irmãos, avós, tios, primos e amigos, por fazerem parte desta caminhada e a tornarem mais agradável e prazerosa.

A Deus, pela vida, pelas oportunidades e pelo privilégio de ser uma pessoa abençoada.

À minha orientadora, Professora Érika da Silva Ferreira, pelo apoio, paciência, amizade, dedicação e incentivo ao longo do curso e neste trabalho de monografia.

A todos os professores e funcionários do curso de Engenharia Industrial Madeireira da UFPel, por colaborarem na minha formação profissional com seus ensinamentos e experiências.

À UFPel (Universidade Federal de Pelotas) e ao LAPAM (Laboratório de Painéis de Madeira), por disponibilizar os recursos de laboratório e todo material utilizado nos experimentos deste trabalho.

À funcionária técnica de laboratório da UFPel, Cristiane Degen Chagas, pelo apoio e dedicação na realização prática dos experimentos.

Aos meus colegas e amigos da faculdade, pela amizade e companheirismo ao longo de minha vida acadêmica, em especial à Caroline Coelho e ao Bruno de Oliveira.

Obrigada a todos aqueles que de alguma maneira, mesmo simbólica, colaboraram para a minha formação e para a realização deste trabalho.

## Resumo

Gonçalves, Carolina Sica. **Painéis compensados decorativos produzidos com madeira de pinus e eucalipto**. 2012. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Tendo em vista a grande dificuldade de obtenção de matéria-prima de florestas nativas e da pressão ambiental para a racionalização do uso da floresta Amazônica como fonte do insumo madeira no Brasil, a utilização de espécies de reflorestamento, como *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*, vem da necessidade de suprir a demanda por madeiras de qualidade satisfatória para as indústrias de compensados no país. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade de painéis compensados decorativos, produzidos com madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis*. Foi produzido um total de oito painéis compensados, com duas repetições para cada tratamento, sendo avaliados os compensados puros e a combinação entre as espécies empregadas. Cada painel foi constituído por três lâminas, com as dimensões nominais de 50 x 50 x 0,6cm. Os parâmetros utilizados para o processo de prensagem foram: tempo de montagem: 10 minutos, temperatura da prensa: 110°C, tempo de fechamento da prensa: 5 segundos, pressão específica: 10kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem: 5 minutos. Após a confecção dos painéis foram realizados os seguintes testes físicos e mecânicos: teor de umidade, massa específica, flexão estática (MOE e MOR), resistência ao cisalhamento na linha de cola (teste seco e úmido) e percentagem de falha na madeira. Após a realização dos ensaios, pode-se concluir que os painéis produzidos apenas com eucalipto apresentaram uma tendência de aumento da resistência à flexão estática em relação aos demais tratamentos avaliados. Entretanto, para a resistência ao cisalhamento na linha de cola seco, os painéis produzidos com capa de pinus e miolo de eucalipto apresentaram resultado superior àqueles produzidos apenas com eucalipto. De modo geral, os painéis de madeira compensada produzidos apresentaram resistência física e mecânicas satisfatórias para seu emprego como painéis decorativos.

**Palavras - chave:** Compensado decorativo. Pinus. Eucalipto.

## Abstract

Gonçalves, Carolina Sica. **Decorative plywood produced with pinus and eucalipto wood**. 2012. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Given the difficulty of obtaining raw materials of native forests and environmental pressure to rationalize the use of the Amazon forest as a source of wood raw material in Brazil, the use of reforestation species such as *Pinus spp.* and *Eucalyptus spp.*, comes the need to meet the demand for quality wood suitable for plywood industries in the country. In this context, the present study aimed to assess the quality of decorative plywood produced with wood from *Pinus taeda* and *Eucalyptus tereticornis*. It was produced a total of eight plywood, with two replicates for each treatment, were evaluated and compensated neat combination between species employed. Each panel was produced of three plies, with nominal dimensions of 50 x 50 x 0,6cm. The parameters used for the pressing process were: assembly time: 10 minutes, the press temperature: 110°C, close time of the press: 5 seconds, specific pressure: 10kgf/cm<sup>2</sup>, and pressing time: 5 minutes. After fabrication of the panels, were determined the following physical and mechanical tests: moisture content, density, static bending (MOR and MOE), glue line shear (dry and wet) and percentage of wood failure. After the tests, was possible conclude that the panels produced with eucalyptus showed a trend toward increased resistance to bending than the other treatments. However, for the glue line shear in the dry test, cover the panels produced with pine and eucalyptus core showed superior results to those produced with only eucalyptus. Overall, the plywood produced showed satisfactory mechanical and physical strength to employment as decorative panels.

**Key - words:** Decorative plywood. Pinus. Eucalipto.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Pinus elliottii</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B).....	16
Figura 2 – <i>Eucalyptus tereticornis</i> Sm.....	19
Figura 3 – Fluxograma básico da produção de compensados de madeira.....	23
Figura 4 – Principais exportadores de compensados de madeira.....	28
Figura 5 – Principais importadores mundiais de painéis compensados de madeira durante o período 2009-2011.....	29
Figura 6 – Evolução do volume de: exportações, importações e produção mundial de painéis compensados de madeira dentro do período de 2009-2011.....	30
Figura 7 – Evolução mundial dos montantes financeiros de exportação e importação de painéis compensados de madeira dentro do período 2009-2011.....	31
Figura 8 – Histórico da produção e consumo de compensados no Brasil durante o período 2005-2010.....	32
Figura 9 – Principais importadores de compensados brasileiros em 2011.....	33
Figura 10 – Esquema de distribuição dos corpos de prova para avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados.....	37
Figura 11 – Ensaio de resistência à flexão estática.....	40
Figura 12 – Ensaio de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento ...	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades da resina ureia-formaldeído .....	34
Tabela 2 – Plano experimental empregado para produção dos painéis de madeira compensada.....	35
Tabela 3 – Formulação da batida de cola empregada para confecção do adesivo à base de resina ureia-formaldeído.....	36
Tabela 4 – Ensaio físicos e mecânicos realizados nos painéis compensados e quantidade de corpos de prova amostrados .....	38
Tabela 5 – Valores médios de massa específica (ME) e teor de umidade (TU) dos painéis produzidos com resina ureia-formaldeído.....	43
Tabela 6 – Valores médios encontrados para o módulo de ruptura (MOR) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina da capa .....	44
Tabela 7 – Valores médios encontrados para o módulo de elasticidade (MOE) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina de capa. ....	46
Tabela 8 – Valores médios encontrados para o teste seco de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento (RLC).....	47
Tabela 9 – Requisitos de colagem para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento .....	48
Tabela 10 – Valores médios encontrados para o teste úmido da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento (RLC).....	49



## **LISTA DE SIGLAS**

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

AGEFLOR - Associação Gaúcha de Empresas Florestais

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel

FAO - Food and Agriculture Organization

FE - Flexão Estática

F/U - Razão Molar entre Formaldeído e Ureia

MDF - Medium Density Fiberboard

MDP - Medium Density Particleboard

ME - Massa Específica

MOE - Módulo de Elasticidade

MOR - Módulo de Ruptura

OSB - Oriented Strand Board

pH - Potencial de Hidrogênio

RLC - Resistência ao Cisalhamento na Linha de Cola

SAF - Society of American Foresters

TU - Teor de Umidade

UF - Ureia-Fomaldeído

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	38
Equação 2 .....	39
Equação 3 .....	39
Equação 4 .....	40
Equação 5 .....	41

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 OBJETIVO.....	15
2.1 Objetivo geral .....	15
2.2 Objetivos específicos .....	15
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
3.1 A madeira do gênero <i>Pinus</i> .....	16
3.2 A madeira do gênero <i>Eucalyptus</i> .....	18
3.3 Painéis de madeira reconstituída .....	20
3.4 Painéis de madeira compensada .....	21
3.4.1 Processo produtivo.....	22
3.4.2 Qualidade dos painéis .....	23
a) Teor de umidade .....	23
b) Massa específica aparente .....	24
a) Cisalhamento na linha de cola .....	25
b) Resistência à flexão estática .....	26
3.4.3 Aplicações e utilizações dos painéis compensados .....	27
3.5 Mercado dos painéis de madeira compensada .....	28
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 Obtenção do material .....	34
4.2 Produção dos painéis compensados.....	34
4.2.1 Processo de colagem .....	35
4.2.2 Condições de prensagem.....	36
4.3 Ensaio físico-mecânicos .....	37
4.3.1 Massa específica aparente.....	38
4.3.2 Teor de umidade .....	39
4.3.3 Resistência à flexão estática (MOR e MOE) .....	39
4.3.4 Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira.....	40
4.5 Análise estatística .....	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
6.1 Propriedades dos painéis de madeira compensada.....	43
6.1.1 Propriedades físicas .....	43

6.1.2 Propriedades mecânicas .....	44
6.1.2.a Flexão estática (MOR e MOE) .....	44
6.1.2.b Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira.....	47
7 CONCLUSÕES .....	51
Referências .....	53
Apêndices.....	60

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de painéis de madeira compensada é de grande importância para a economia brasileira, não apenas pela geração de empregos, como também pelo desenvolvimento que reflete nos setores moveleiro e de construção civil.

As espécies mais utilizadas na produção de lâminas e compensados no Brasil eram as de folhosas provenientes da região amazônica. Porém, a partir da década de 90, passaram a ser utilizadas em quantidades expressivas madeiras de pinus e eucaliptos provenientes de reflorestamentos (IWAKIRI et al., 2001).

A utilização de espécies de reflorestamento, como *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*, vem da necessidade de suprir a demanda por madeiras de qualidade satisfatória para as indústrias de compensados no Brasil, tendo em vista a grande dificuldade de obtenção da matéria prima em florestas nativas e à pressão ambiental para a racionalização do uso da floresta Amazônica como fonte do insumo madeireiro.

Espécies de reflorestamento apresentam grande potencial para suprir esta demanda em função das boas características da sua madeira, por serem de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas no Brasil (IWAKIRI et al., 2000).

De acordo com a ABRAF (2012), em 2011 a área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizou 6.515.844 ha, sendo 74,8% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* e 25,2% aos plantios de *Pinus*.

Os painéis compensados de madeira de reflorestamento podem ser produzidos para diversas finalidades, dentre elas: uso industrial, decorativo, estrutural e naval. Estas finalidades dependem do tipo de adesivo e lâmina utilizados em sua composição. A obtenção de lâminas e produção de compensados com qualidade satisfatória está estreitamente relacionada às características inerentes à madeira, ao adesivo e procedimentos empregados na colagem (MARRA, 1992).

Segundo Iwakiri et al. (2012), fatores como densidade, pH, extrativos, heterogeneidade e a variabilidade das propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira, entre as espécies de madeira, ou até mesmo entre as diferentes partes de uma árvore da mesma espécie, podem afetar as condições de colagem de lâminas durante o processo de fabricação de painéis compensados.

Em relação à colagem das lâminas, o tipo de adesivo empregado deve ser adequado ao ambiente de utilização do painel, podendo ser ureia-formaldeído para ambiente interno e fenol-formaldeído para ambiente externo (IWAKIRI et al., 2012).

Devido ao grande potencial das espécies de reflorestamento para esta finalidade e à grande demanda do uso de compensados laminados no país, este estudo é importante para explorar as características físicas e mecânicas dos painéis compensados de ambas as espécies florestais e analisar qual deles obteve melhor desempenho e satisfaz os requisitos de qualidade exigidos.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a qualidade em painéis compensados decorativos produzidos com madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis* por meio de ensaios físicos e mecânicos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Produzir em escala piloto painéis compensados decorativos, utilizando lâminas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis* e adesivo ureia-formaldeído;
- Determinar e avaliar as propriedades físicas (massa específica aparente e teor de umidade) e mecânicas (flexão estática, cisalhamento na linha de cola e percentagem de falha na madeira) dos painéis compensados;

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A madeira do gênero *Pinus*

As árvores do gênero *Pinus spp* pertencem à família *Pinacea*, sendo, em sua maioria, nativas no Hemisfério Norte. Suas principais espécies comerciais são: *Pinus elliottii* (A) e *Pinus taeda* (B) (Fig. 1), entre outras (AGEFLOR, 2009).

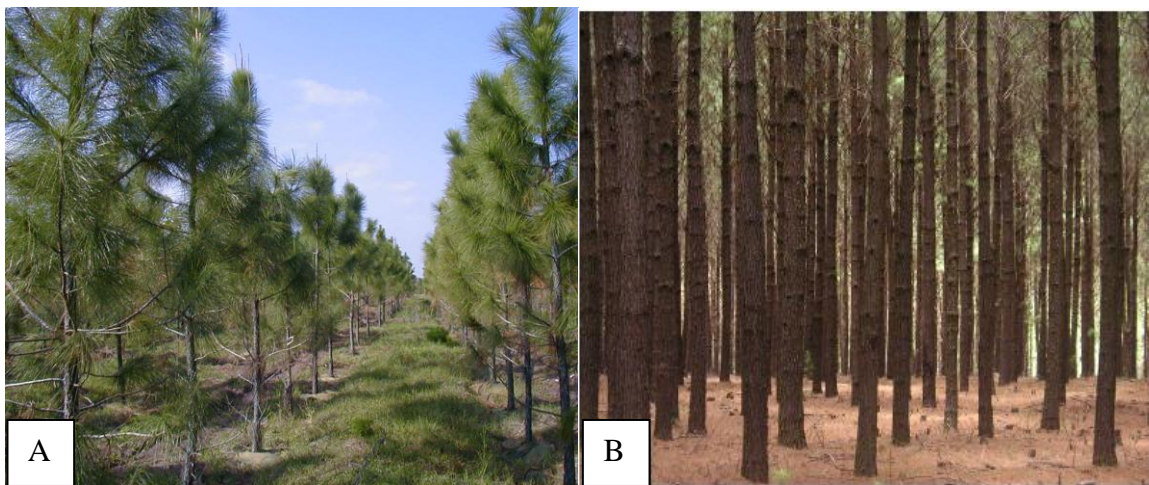


Figura 1 – *Pinus elliottii* (A) e *Pinus taeda* (B).

Fonte: Andrade, 2006; AGEFLOR, 2009.

O gênero *Pinus spp.* é composto por um grupo de plantas lenhosas e arbóreas que podem atingir grandes alturas. Possuem tronco retilíneo, o qual é responsável pela sustentação da copa. O lenho é considerado secundário, possuindo traqueídeos e canais resiníferos. Suas folhas possuem característica aciculada (em forma de agulhas) e espiralada. Possuem escama carpelar, cuja função consiste em transportar os óvulos, sendo ainda protegida por uma folha estéril, a escama de cobertura. Esta não se desenvolve após a fecundação, sendo incorporada à base da escama carpelar que se desenvolve tornando-se lenhosa. As flores masculinas apresentam-se em densos estróbilos alongados. Os estróbilos femininos são formados por pequenos macrosporófilos sustentados por escamas protetoras. São perenes, possuindo casca grossa e escamosa (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2012).



De acordo com Klock (2000), o início da atividade de reflorestamento em grande escala no Brasil deu-se após o evento dos incentivos fiscais em 1966. Na região sul do país a opção foi para as espécies: *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

A espécie *Pinus elliotti* necessita de invernos frios com temperaturas mínimas iguais a 0° C, não suportando períodos secos. Sua madeira é utilizada em diversos setores da economia, tais como o setor de processamento mecânico de madeira, além de ser produtora de resina (AGEFLOR, 2009; AGUIAR et al., 2011).

A espécie *Pinus taeda* é considerada altamente variável no que diz respeito à resistência a geada e à temperatura requerida para seu processo de crescimento. Deste modo, as áreas com maior produtividade dentro das regiões Sul e Sudeste do Brasil, são exatamente aquelas que apresentam baixos índices de geadas severas (SHIMIZU, 2011).

Quanto à utilização da espécie *Pinus taeda*, pode-se citar algumas aplicações importantes dentro do setor industrial, tais como: peças serradas para estruturas, confecção de móveis, embalagens e painéis de diversos tipos. Para tais aplicações a qualidade da matéria prima é de extrema importância. Há destaque também para sua utilização na indústria de celulose (ANDRADE, 2006; AGEFLOR, 2009; SHIMIZU, 2011).

Segundo ABRAF (2012), a área plantada de pinus no Brasil em 2011 compreendeu 1.641.992ha, tendo sua maior concentração no sul do país (83%); tal dado implica em 6,5% de redução em relação à área do ano anterior, ocasionando uma redução da produção, obtendo-se 14.552.200m<sup>3</sup> de toras em 2011 contra 15.498.093m<sup>3</sup> de toras em 2010, o que sugere, em algumas regiões, uma substituição desta cultura por outras mais rentáveis.

As espécies de pinus apresentam a vantagem de rápido crescimento, no entanto, existem também algumas limitações técnicas. A baixa densidade e a alta permeabilidade da madeira são alguns dos fatores que também influenciam significativamente o processo de colagem dos painéis e a resistência da linha de cola. (MARRA, 1992 apud IWAKIRI et al., 2002).

No caso específico de coníferas de rápido crescimento, as diferenças em densidade entre os lenhos inicial e tardio e, ainda, entre os lenhos juvenil e adulto são limitações técnicas na colagem das lâminas destas espécies (TSOUMIS, 1991 apud IWAKIRI et al., 2002).

### 3.2 A madeira do gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália, possuindo mais de 600 espécies identificadas, com diferentes requisitos quanto à fertilidade do solo, geadas e seca, características que possibilitam seu plantio em mais de 100 países diferentes. Possui um opérculo, o qual cobre os grãos reprodutores da flor. Seus frutos são lenhosos, com forma ligeiramente cônica, possuindo válvulas responsáveis pela liberação das sementes. Apresenta, em sua maioria, folhagem perene, sendo cobertas por glândulas que segregam óleo; as folhas, quando jovens, são opostas, ovais e, ocasionalmente, sem pecíolo. Após um ano de crescimento, estas folhas passam a apresentar folhas alternadas, lanceoladas a falciformes, estreitas e formando pendência a partir do pecíolo (CIFLORESTAS, 2012).

De acordo com Oliveira (1997 apud ROCHA, 2000), o cerne do gênero *Eucalyptus* apresenta coloração variando desde amarelo até vários tons pardo-avermelhados e vermelhos. A madeira apresenta brilho fraco, grã direita a revessa, textura fina a média; macia a moderadamente dura ao corte, com cheiro e gosto distintos. Possui massa específica variando entre 0,40 e 1,20 g/cm<sup>3</sup>.

Quando se pensa em espécies de rápido crescimento, como alternativa na produção de madeira, o gênero *Eucalyptus* se apresenta como uma opção potencial das mais importantes, não somente por sua capacidade produtiva e adaptabilidade a diversos ambientes, mas, sobretudo pela grande diversidade de espécies, tornando possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira (ASSIS, 1999 apud ALMEIDA et al., 2004a).

A madeira de eucalipto é utilizada como matéria-prima para as serrarias localizadas nas regiões da Oceania, África e América do Sul (PONCE, 1995). Souza (2000), destaca o direcionamento do eucalipto para as indústrias da construção civil e moveleira, bem como para as indústrias de celulose e de chapas de composição. Há destaque ainda, para a utilização da madeira de eucalipto como combustível industrial dentro dos diversos setores de produção, em especial a agricultura (PAULO JÚNIOR et al., 2006).

Conforme BRACELPA (2012), no Brasil, o eucalipto foi introduzido como planta ornamental, sendo, em seguida plantado para produção de lenha e barreiras contra o vento. No estado de São Paulo, o eucalipto foi utilizado, por muitos anos,

como fonte de energia para as caldeiras de locomotivas, bem como matéria-prima para postes e mourões.

Para Oliveira (1997 apud FERREIRA et al., 2008), as siderúrgicas de Minas Gerais utilizavam o eucalipto como carvão vegetal para a fabricação de ferro-gusa. Atualmente é utilizado principalmente na construção civil, produção de papel, fabricação de barris de armazenamento e indústria moveleira, sendo esta última, por apresentar perspectivas econômicas superiores às demais, considerada promissora (SOUZA, 2000; MORI et al., 2003; REMADE, 2007; FERREIRA et al., 2008).

Segundo Jankowsky (1979), as principais características do eucalipto que dificultam a sua utilização são a densidade relativamente alta, a facilidade com que as toras racham tanto no topo como longitudinalmente, e a susceptibilidade ao colapso durante a secagem que causa rachaduras e ondulações nas lâminas.

No Brasil, as principais espécies de eucalipto plantadas são: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, além de outras como *Eucalyptus tereticornis* Sm (Fig. 2) (CIFLORESTAS, 2012).



Figura 2 – *Eucalyptus tereticornis* Sm.

Fonte: The Royal Botanic Gardens & Domain Trust, 2012.

A espécie *Eucalyptus tereticornis* Sm. é uma planta com folhagem perene, de 20-25m de altura, com tronco ereto, casca pardo-acinzentada, lisa, que se

desprende em lâminas irregulares, expondo a superfície branca, cinza ou azulada. Sua ramagem é esparsa, um tanto pendente, formando copa aberta. A ramagem, quando nova, apresenta folhas grandes, coriáceas, glabras, largamente ovaladas ou elípticas, já depois de adulta, apresenta folhas longas, estreitas, verdes nas duas faces, brilhantes, espessas, coriáceas, pêndulas, de 8-20cm de comprimento, com a nervura central amarelada ou rosada saliente e pecíolo arroxeadado de 1,5 a 2,5 cm. Inflorescências auxiliares, em umbelas solitárias, contendo quatro ou muitas flores de muitos estames brancos, com pendúculos cilíndricos, cujos botões apresentam opérculo cônico ou ligeiramente rostrado. Os frutos são do tipo cápsula ovalado-globosos, deiscentes, de 6-10mm de diâmetro, com 3-5 valvas enxertas (salientes), contendo pequenas sementes marrons. Sua multiplicação dá-se exclusivamente por sementes. A madeira é considerada moderadamente pesada com relativa estabilidade dimensional e média permeabilidade. É utilizada principalmente para laminação, serraria, componentes estruturais para construção civil, caixotaria, dormentes<sup>1</sup>, postes, lenha e carvão (LORENZI et al., 2003; IWAKIRI e PRATA, 2008).

De acordo com dados da ABRAF (2012), a área plantada de *Eucalyptus* no Brasil em 2011 compreendeu 4.873.451ha, demonstrando evolução em relação aos anos anteriores obtendo uma produção igual a 60.772.400m<sup>3</sup> no referido ano, estando distribuído, com maior frequência, na região sudeste do país (59,3%).

### 3.3 Painéis de madeira reconstituída

Os painéis de madeira reconstituída surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça. São estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são posteriormente aglutinadas. Substituem a madeira maciça em diferentes usos, melhorando assim as propriedades dos produtos e aumentando a sua gama de utilizações (BNDES, 2008).

Segundo Chagas et al. (2008), há dois tipos de painéis: os que são feitos de madeira reconstituída e os confeccionados com base na madeira processada

---

<sup>1</sup>Os dormentes são peças utilizadas dentro da superestrutura de uma ferrovia, tendo por principal função a transmissão das cargas recebidas pelos trilhos (ALVES e SINAI, 2005).

mecanicamente. Os painéis de madeira reconstituída são fabricados com base no processamento químico da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação. Dentre eles pode-se citar: painéis aglomerados, painéis de fibra dura, painéis isolantes, MDF, MDP, OSB, etc. Já os painéis de madeira processada mecanicamente são formados por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça. Entre eles encontram-se os painéis compensados multilaminados, sarrafeados e de lâminas paralelas.

### **3.4 Painéis de madeira compensada**

A fabricação de compensado no Brasil tem cerca de 80 anos. No início, utilizou-se como matéria-prima a madeira de Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*) de florestas nativas do Sul, principalmente do estado do Paraná. Na década de sessenta, a fabricação transferiu-se para a região amazônica e passou-se a empregar a madeira de folhosas oriunda de florestas nativas. Nos anos noventa, novas mudanças ocorreram, e as plantações de pinus no Sul do país tornaram-se uma fonte importante de matéria-prima para a indústria do compensado (PRATA, 2006).

O painel compensado é constituído de um conjunto de lâminas coladas com a direção da grã alternada, geralmente em ângulo reto. As lâminas são, usualmente, colocadas simetricamente a partir do centro ou miolo do painel, aos pares em ambos os lados (BRASIL, 2002).

Segundo a ABIMCI (2007), o compensado é subdividido em três categorias:

- Compensado de madeira tropical - chapa cuja fonte de matéria-prima é oriunda de florestas naturais brasileiras, localizadas no Norte e Centro-Oeste brasileiro;
- Compensado de florestas plantadas - chapa cuja fonte de matéria-prima é oriunda de reflorestamento, especialmente de pinus e eucalipto, localizados no Sul e Sudeste brasileiro;
- Compensado "combi" - face em madeira tropical e miolo em madeira de pinus;

Além destas categorias, os compensados são classificados basicamente em três tipos, de acordo com a sua utilização e tipo de resina utilizada: uso interior, produzido com a resina ureia-formaldeído, uso intermediário, produzidos com resina melamina-formaldeído, e uso exterior, produzido com a resina fenol-formaldeído. São encontrados no mercado sete tipos principais de compensado: laminados, sarrafeados, decorativos, industrial, naval, resinado e plastificado (IWAKIRI, 2005).

### **3.4.1 Processo produtivo**

O processo de produção do compensado se inicia com a seleção de árvores na floresta, em termos de diâmetro e forma do fuste. Elas são transformadas em toras, descascadas, aquecidas e laminadas ou faqueadas (de acordo com o tipo de compensado). Então, as lâminas são submetidas à secagem. Para a formação do compensado, as lâminas são coladas sobrepostas, formando ângulo de 90° entre as fibras das diferentes lâminas e pré-prensadas a frio. Esta pré-prensagem visa facilitar as operações de carregamento e melhorar a distribuição do adesivo nas lâminas, antes da prensagem final, a quente. Os painéis seguem uma sequência de operações de acabamento depois da prensagem a quente: acondicionamento, esquadrejamento, calibração e lixamento, para posterior classificação e armazenamento (ABIMCI, 2003).

De acordo com a ABIMCI (2004), o processo para obtenção dos painéis compensados de madeira (Fig. 3) envolve duas etapas distintas:

- ✓ Fabricação de lâminas de madeira com auxílio de um torno mecânico;
  
- ✓ Elaboração do painel compensado por meio da montagem, prensagem e colagem das lâminas.

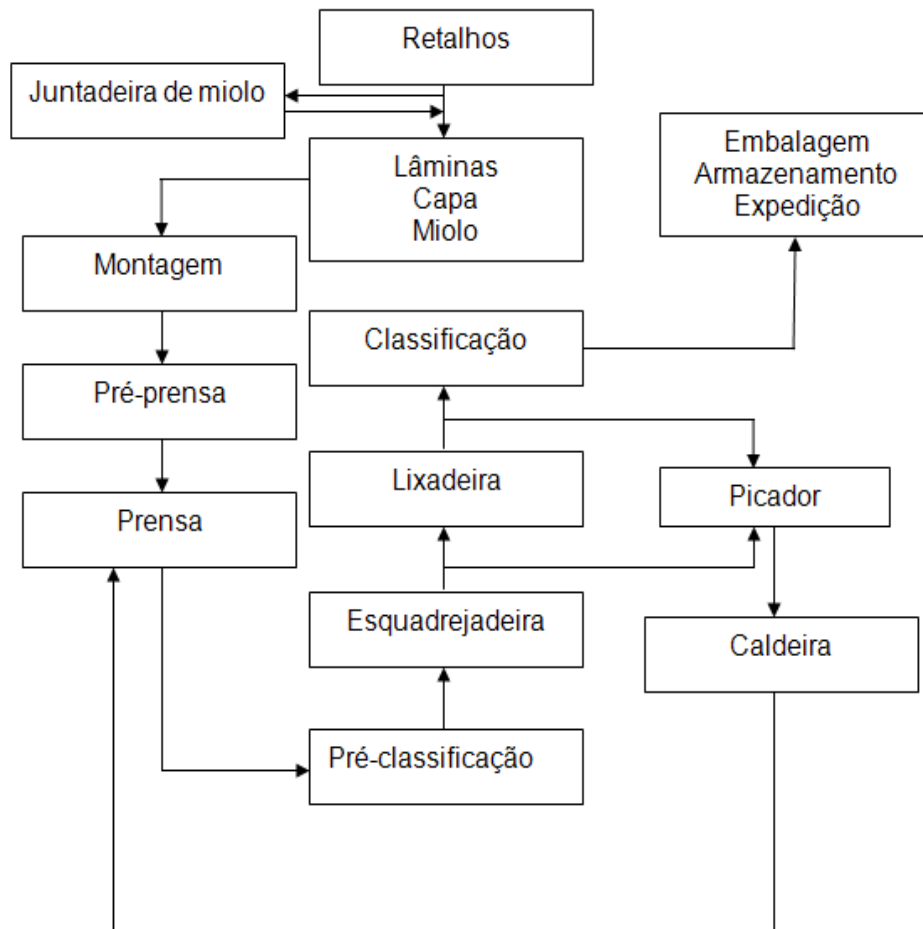


Figura 3 – Fluxograma básico da produção de compensados de madeira.

Fonte: ABIMCI, 2004.

### 3.4.2 Qualidade dos painéis

Alguns parâmetros podem alterar a qualidade dos painéis de madeira compensada, sendo apresentados a seguir.

#### a) Teor de umidade

Segundo Arruda et al. (2011), a quantidade de água contida na madeira implica diretamente na contração e inchamento da mesma causando problemas na estrutura do produto.

Neste contexto, Prata (2006), analisou o teor de umidade em painéis compensados de pinus, realizando testes em duas fases. Na primeira fase foi realizada uma avaliação inicial com baixo nível de controle de qualidade e na

segunda foi realizada uma avaliação com alto nível de controle de qualidade, obtendo-se valores de teor de umidade de 10,98% e 11,48% para a primeira e segunda fase, respectivamente, isto devido à metodologia empregada na segunda fase apresentar melhor desenvolvimento técnico, resultando em maior precisão dos resultados.

O mesmo autor afirma ainda que o teor de umidade está diretamente relacionado à massa específica aparente do compensado, podendo aumentar a resistência do mesmo, uma vez que a diminuição da umidade presente no compensado já compactado fará com que sua massa específica seja conseqüentemente reduzida.

Pullnow (2010) determinou o teor de umidade em compensados de *Pinus taeda* utilizando quatro tratamentos diferentes com 10%, 20%, 30% e 40% de resinas à base tanino modificando a resina convencional à base de ureia. O autor observou que o teor de umidade do compensado aumentou em função do acréscimo da porcentagem de resina à base de tanino.

## **b) Massa específica aparente**

De acordo com a UNESP (2012), a massa específica de um sólido é a razão de sua massa e seu volume. Para Kollman et al. (1975 apud PULLNOW, 2010), a massa específica aparente do compensado depende da espécie de madeira, umidade das lâminas, temperatura e pressão de prensagem.

Iwakiri et al. (2006), observaram que a massa específica aparente influencia diretamente em outras propriedades do painel, tais como resistência ao cisalhamento na linha de cola e resistência mecânica do painel, causando uma melhoria das mesmas em virtude do aumento desta. Tal melhoria pode ser observada, em especial, na resistência do painel, ou seja, quanto maior a massa específica aparente, maior deverá ser a resistência do compensado.

Cabral (2011) investigou a qualidade em compensados de *Pinus taeda* produzidos por duas empresas diferentes, obtendo, no que concerne à massa específica aparente, valores médios iguais a 0,47g/cm<sup>3</sup> e 0,56g/cm<sup>3</sup> para a primeira e segunda empresa respectivamente. Embora os testes não tenham sido conclusivos, tal resultado sugere uma sensível vantagem da segunda empresa em relação à primeira no que diz respeito à resistência mecânica dos compensados em



virtude desta possuir um lote com massa específica aparente superior em relação àquela.

Bortoletto Júnior (2003) analisou a qualidade de compensados produzidos a partir de 11 espécies diferentes do gênero *eucalyptus* (*E. pilularis*, *E. propingua*, *E. microcorys*, *E. maculata*, *E. pyrocarpa*, *E. tereticornis*, *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. citriadora*, *E. torelliana* e *E. saligna*), e constatou massa específica aparente média igual 0,88g/cm<sup>3</sup>. O mesmo autor cita que estes resultados decorrem de madeiras consideradas moderadamente pesadas, fazendo com que o gênero seja adequado para a laminação.

#### **a) Cisalhamento na linha de cola**

Milton Júnior (2003) conceitua o cisalhamento como a tensão que atua perpendicularmente ao eixo de um elemento agindo paralelamente à sua seção transversal sendo resultante de esforços solicitantes sobre o elemento.

Selbo (1975 apud LIMA et al., 2010) afirma que a quantidade de cola (gramatura de adesivo) na fabricação de compensados em geral, é um fator importante, influenciando fortemente a resistência da junta, e esta, por consequência, a estabilidade do produto final.

De acordo com Stella (2009), a resistência ao cisalhamento na linha de cola em painéis de madeira compensada varia em função de fatores como gramatura de adesivo e presença de umidade. Em seu trabalho, a referida autora analisou a qualidade de compensados produzidos a partir da madeira paricá (*Schizolobium amazonicum*), observando que os tratamentos com menor gramatura de adesivo e realizados a seco apresentaram resistência ao cisalhamento satisfatórios em relação aos tratamentos com gramatura de adesivo superior e realizados com umidade.

Lima et al. (2010) analisaram a influência da gramatura de adesivo na resistência na linha de cola em compensados produzidos com madeira de *Copaifera duckei* Dawyer e *Eperua oleifera* Ducke, constatando aumento desta variável em virtude da gramatura de adesivo superior.

Ribeiro (2008) analisou a qualidade em compensados produzidos com *Pinus taeda*, utilizando como extensor farinha de trigo, aveia, babaçu e mandioca. A referida autora obteve resultados, de resistência ao cisalhamento, iguais a: 14,17Kfg/cm<sup>2</sup>, 13,63kgf/cm<sup>2</sup>, 10,24Kgf/cm<sup>2</sup> e 9,50Kgf/cm<sup>2</sup> para os tratamentos com

trigo, babaçu, mandioca e aveia respectivamente, concluindo que o tratamento com trigo sugere melhor qualidade ao painel.

## **b) Resistência à flexão estática**

Segundo Bortolletto Júnior e Garcia (2004), o ensaio de resistência à flexão estática determina a resistência que o compensado apresenta quando submetido a uma força de flexão. Em seu trabalho, os autores realizam ensaios com a finalidade de verificar a resistência e rigidez à flexão estática de compensados e OSB, divididos em três grupos de espessuras (15mm, 18mm e 30mm), obtendo resultados de resistência à flexão estática superiores para os grupo de compensados com 18mm. O resultado indicou, de modo geral, a influência da espessura do compensado nos valores de resistência à flexão estática, embora o grupo de compensados com 30mm tenha apresentado resistência inferior ao grupo de 18mm, isto por possuir densidade básica inferior, além do teor de umidade superior em relação aos demais grupos.

Jankowsky (1980) analisou a resistência à flexão estática em compensados fabricados a partir de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, destacando a influência do tipo e formulação do adesivo sobre a resistência do compensado, utilizando farinha de trigo como extensor, com extensão de 50%, 100% e 150% em relação ao peso da resina. Em resultado, foram encontrados valores de resistência à flexão estática superiores para o tratamento com extensão de 50% em relação ao tratamento com extensão de 100% e deste foram encontrados valores superiores em relação ao tratamento com extensão de 150%, sugerindo que o aumento na porcentagem do extensor provoca uma diminuição na qualidade da linha de cola e, por consequência, menor resistência do painel à flexão estática.

O mesmo autor concluiu ainda que a resistência à flexão estática do compensado aumenta em virtude do aumento do tempo de montagem, em relação direta até o tempo de 30min, quando se inverte a relação, ocorrendo a polimerização do adesivo, prejudicando a qualidade da linha de cola.

PIO (1996) analisou a resistência à flexão estática em compensados constituídos por cinco lâminas produzidos com *Eucalyptus scabra* e *Eucalyptus robusta*, realizando testes nos sentidos paralelo e perpendicular a grã, obtendo

resultados superiores para flexão estática nos ensaios paralelos em relação aos ensaios perpendiculares a grã.

O número de camadas também influencia nesta propriedade, uma vez que Keinert Júnior (1984 apud MEDINA, 1986), afirma que quanto maior o número de camadas, maior será a equalização da resistência nas duas direções, devido à melhor distribuição das cargas através do painel.

### **3.4.3 Aplicações e utilizações dos painéis compensados**

Os painéis compensados possuem diversas utilizações, as quais decorrem de suas características mecânicas, dimensões e variedades de tipos adaptáveis a cada uso (SAF, 2012).

Chiaramonti et al., (2010), afirmam que a utilização dos compensados laminados varia em função do tipo de adesivo utilizado, obtendo-se, conseqüentemente, produtos com características diferentes. Estas diferenças implicam em diferentes aplicações:

- ✓ Compensado industrial: necessita resistência mecânica maior;
- ✓ Compensado decorativo: necessita de acabamento superficial de qualidade;
- ✓ Compensado externo: necessita maior resistência à umidade;
- ✓ Compensado interno: em virtude de sua localização, pode necessitar, ou não, de maior resistência à umidade.

De acordo com Baldwin (1995 apud PRATA, 2006), os painéis produzidos com colagem fenólica a quente (fenol-formaldeído) possuem aplicações estruturais de uso externo, enquanto que os painéis com características da resina ureica (ureia-formaldeído), com colagem a quente ou a frio, possuem aplicações não estruturais, sendo utilizados basicamente na construção de móveis, constituição de divisórias e objetos que não requeiram carga excessiva para uso interior.

Nota-se, quanto à sua utilização, que os painéis compensados com maior capacidade de resistência a intempéries, sem redução de suas dimensões, são considerados produtos de qualidade superior (PIO, 1996).

Os compensados decorativos possuem uma pequena folha fina de madeira, como acabamento final de sua superfície. Esta folha é diferente das lâminas

utilizadas na composição interna do compensado, uma vez que não há grande necessidade de resistência mecânica. Deste modo, este tipo de compensado é atribuído à utilização em móveis e decorações (MADECAUS, 2012; POSTAL, 2012).

### 3.5 Mercado dos painéis de madeira compensada

Por meio de dados da FAO – *Food and Agriculture Organization* (2012), constatou-se que nos últimos três anos o volume mundial de exportação de painéis compensados de madeira foi igual a 72.056.461m<sup>3</sup>, com valor médio igual a 24.018.820m<sup>3</sup>. A Fig. 4 apresenta os principais países exportadores de compensados de madeira no período indicado acima.

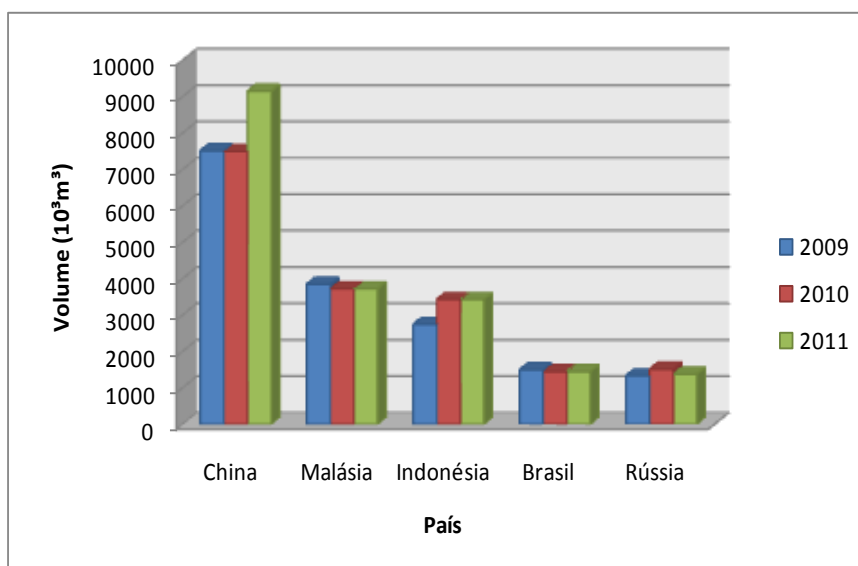


Figura 4 – Principais exportadores de compensados de madeira durante o período 2009-2011.

Fonte: FAO adaptado pela Autora, 2012.

Por meio da Fig. 4 pode-se observar que a China é o maior exportador mundial de painéis compensados de madeira. O volume médio de exportações dos países soma o valor de 3.578.325,80m<sup>3</sup>, sendo responsável por 17,5% das exportações médias mundiais. Há destaque para o volume de exportações do Brasil que soma 4389767m<sup>3</sup> dentro do intervalo apresentado na Fig. 4.

A Fig. 5 apresenta as importações mundiais de painéis (FAO, 2012).

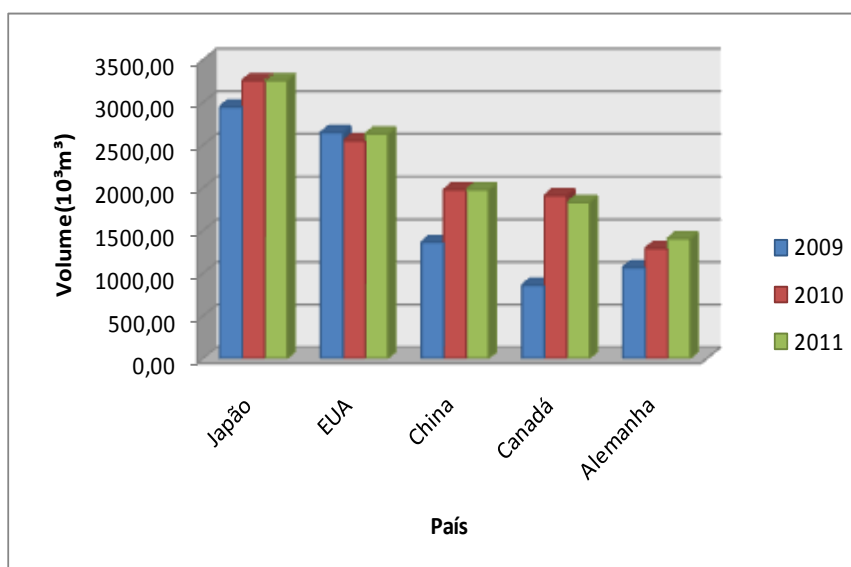


Figura 5 – Principais importadores mundiais de painéis compensados de madeira durante o período 2009-2011.

Fonte: FAO adaptado pela Autora, 2012.

De acordo com a Fig. 5 nota-se que o Japão é o principal importador de painéis compensados. O Brasil não aparece na lista dos principais importadores, porém apresenta um volume médio de importação igual a 4.498,33m<sup>3</sup> durante os três anos avaliados. O volume médio de importações apresentado pelos países mostrados na Fig. 5 é igual a 15.719.638,50m<sup>3</sup> que corresponde a 74,4% das importações médias mundiais dentro do período analisado.

A Fig. 6 apresenta a evolução do volume de exportações e importações, bem como a evolução da produção mundial de painéis compensados de madeira dentro do período de 2009-2011(FAO, 2012).

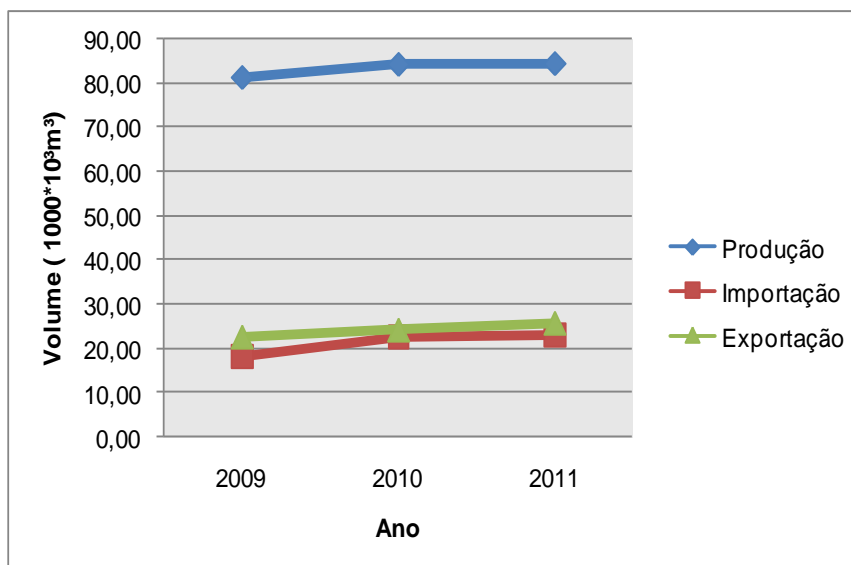


Figura 6 – Evolução do volume de: exportações, importações e produção mundial de painéis compensados de madeira dentro do período de 2009-2011.

Fonte: FAO adaptado pela Autora, 2012.

Na Fig. 6 nota-se uma evolução mundial positiva dos três vetores apresentados. Em 2009 o volume de exportações foi igual a 22.427.746m<sup>3</sup>, evoluindo para 24.029.170m<sup>3</sup> em 2010 e em seguida para 25.599.545m<sup>3</sup> em 2011. O volume de importações foi igual a 18.118.797m<sup>3</sup> em 2009, evoluindo para 22.303.135m<sup>3</sup> em 2010 e em seguida para 22.937.441m<sup>3</sup> em 2011. O volume de produção foi igual a 81.078.734.00m<sup>3</sup> em 2009, evoluindo para 84.061.533.00m<sup>3</sup> em 2010 e em seguida para 84.244.473.00m<sup>3</sup> em 2011.

É possível notar ainda na Fig. 6 uma pequena zona de sobreposição entre os vetores importação e exportação no ano de 2010. O vetor produção apresenta alta defasagem positiva em relação aos demais vetores, sugerindo grande índice de consumo interno, pois a produção é muito superior aos índices de exportação e importação.

A Fig. 7 apresenta a evolução mundial dos montantes financeiros de exportação e importação de painéis compensados de madeira dentro do período 2009-2011.

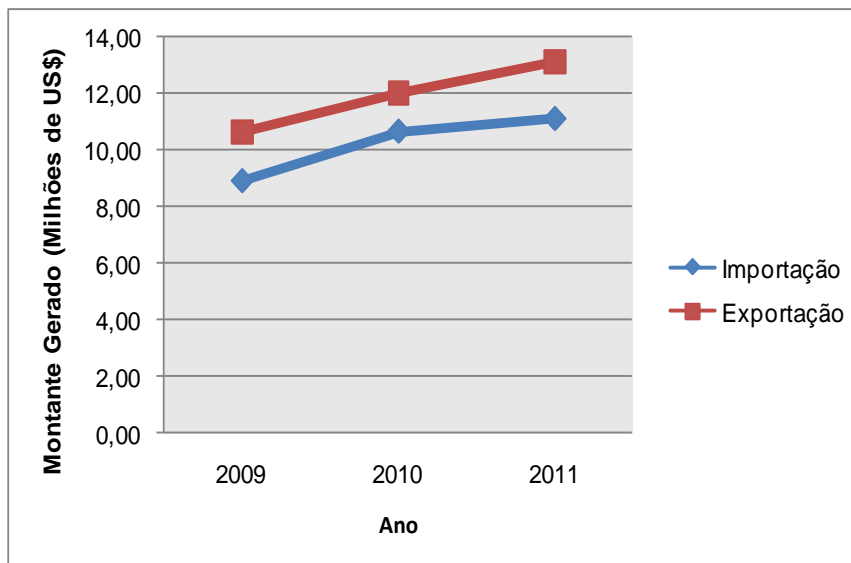


Figura 7 – Evolução mundial dos montantes financeiros de exportação e importação de painéis compensados de madeira dentro do período 2009-2011.

Fonte: FAO adaptado pela Autora, 2012.

Na Fig. 7 nota-se uma evolução positiva dos valores financeiros de exportação e importação. O valor de importação foi igual a US\$8.914.932.000,00 em 2009, evoluindo para US\$10.644.255.000,00 em 2010 e em seguida para US\$11.088.433.000,00 em 2011. O valor de exportação foi igual a US\$10.622.779.000,00 em 2009, evoluindo para US\$12.029.952.000,00 em 2010 e em seguida para US\$13.133.800.000,00 em 2011. Nota-se ainda uma defasagem positiva dos valores de importação em relação aos valores de exportação dentro do período analisado.

Dentro do setor de mercado interno de compensados, o Brasil possui aproximadamente 300 empresas, as quais em sua maioria estão localizadas na região Sul do país (ABRAF, 2011). A Fig. 8 apresenta a produção brasileira durante o período 2005-2010.

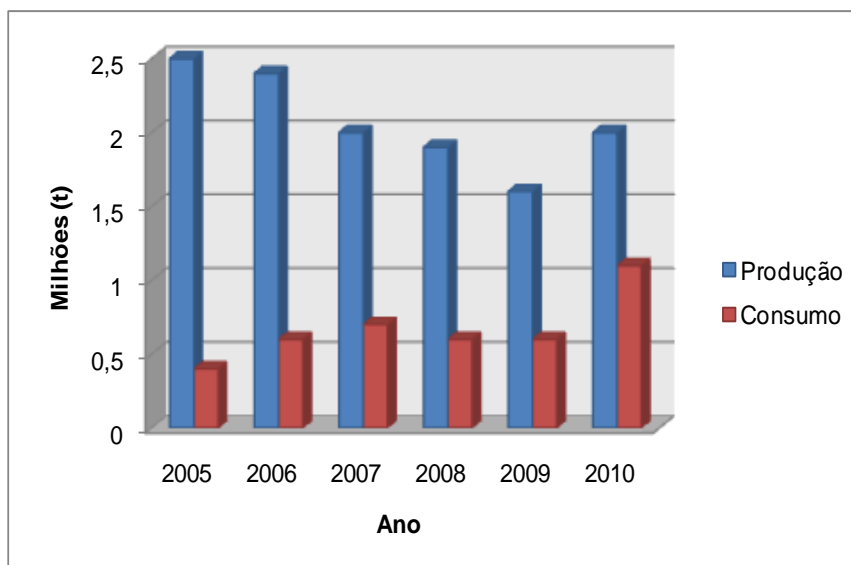


Figura 8 – Histórico da produção e consumo de compensados no Brasil durante o período 2005-2010.

Fonte: ABIPA, ABIMCI e BRACELPA citadas por ABRAF, 2011.

A Fig. 8 mostra que a produção total de compensados no Brasil durante o período 2005-2010 foi igual a 21.300.000t, enquanto o consumo foi igual a 6.600.000t, demonstrando defasagem entre os dois vetores e colocando o Brasil na lista dos grandes exportadores mundiais, justificando sua grande dependência do mercado externo. Em 2010 a produção de compensados superou em 25% a produção registrada em 2009, totalizando 2.000.000t.

Entre 2000 e 2011, a indústria brasileira de compensados acumulou um crescimento financeiro de 37,3%, embora o valor recebido pelos produtores brasileiros tenha acumulado uma perda de 19,8% dentro do mesmo período. Esta defasagem é consequência do aumento dos custos de produção dos painéis compensados, uma vez que o processo produtivo acumulou 51,1% de aumento de custo dentro do período analisado, fazendo com que o preço final para venda fique estabelecido em torno de 600,00R\$/m<sup>3</sup> (ABRAF, 2012).

Ainda assim, a indústria de painéis compensados de madeira é de relevante importância para o Brasil, tendo em vista um reposicionamento do mercado florestal mundial, isto é, uma mudança do eixo de produção do Hemisfério Sul para o Hemisfério Norte (MACEDO e ROQUE, 2008, apud WEBER, 2011), atingindo importantes mercados importadores, como a Europa (Fig. 9).



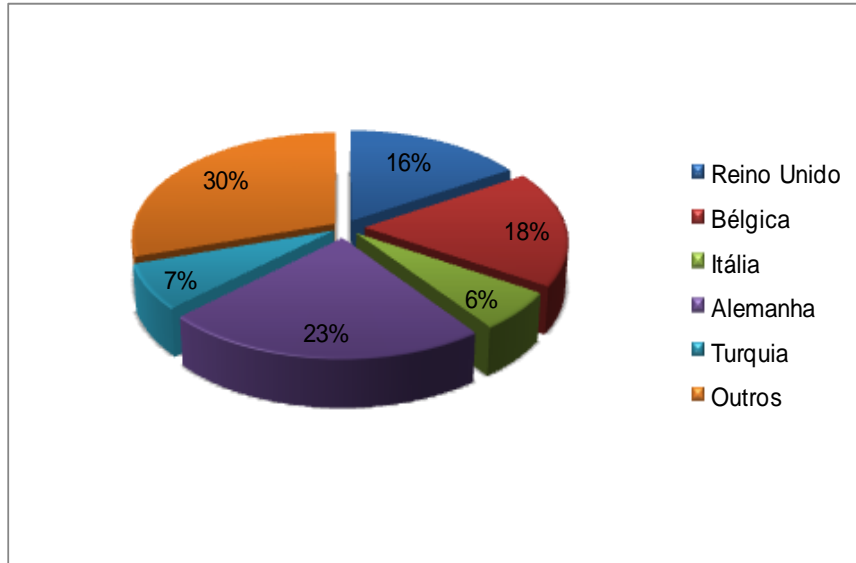


Figura 9 – Principais importadores de compensados brasileiros em 2011.

Fonte: ABRAF adaptado pela Autora, 2012.

De acordo com a Fig. 9 pode-se observar que a Europa é o principal destino dos compensados produzidos no Brasil, sendo responsável por 70% das importações e, conseqüentemente, classificando-se como grande pólo comprador do mercado externo de compensados.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido nos Laboratórios de Painéis de Madeira – LAPAM e de Propriedades Mecânicas da Madeira, ambos pertencentes ao curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas.

### 4.1 Obtenção do material

Para a realização do presente estudo foram utilizadas lâminas de madeira das espécies *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis*, doadas pelo Laboratório de Painéis de Madeira pertencente ao Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

A resina ureia-formaldeído (Cascamite TM 5H) com baixa emissão de formaldeído foi cedida pela empresa Momentive T.M., localizada no pólo petroquímico do município de Montenegro – RS.

As propriedades físico-químicas da resina ureia-formaldeído (UF) são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 – Propriedades da resina ureia-formaldeído

Resina	TS (%)	Visc. (mPa.s)	TFG (min)	pH	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )
UF	65,6	616,8	1'18"	7,5	1,26

\* TS: Teor de Sólidos; Visc.: Viscosidade; TFG: Tempo de Formação de Gel; Dens.: Densidade.

### 4.2 Produção dos painéis compensados

Os painéis compensados foram produzidos com a resina sintética ureia-formaldeído e lâminas de madeira das espécies *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis*. As principais etapas do processo produtivo foram: climatização das lâminas, preparo e aplicação do adesivo, montagem, pré-prensagem, prensagem a quente e acondicionamento dos painéis.

A Tab. 2 apresenta o delineamento experimental com os tratamentos empregados para produção dos painéis de madeira compensada.

Tabela 2 – Plano experimental empregado para produção dos painéis de madeira compensada

<b>Tratamento</b>	<b>Composição (<i>capa / miolo / contra capa</i>)</b>	<b>Adesivo</b>
<b>T1</b>	<i>Pinus / Pinus / Pinus</i> (testemunha)	Ureia-formaldeído
<b>T2</b>	<i>Eucalyptus / Eucalyptus / Eucalyptus</i>	Ureia-formaldeído
<b>T3</b>	<i>Pinus / Eucalyptus / Pinus</i>	Ureia-formaldeído
<b>T4</b>	<i>Eucalyptus / Pinus / Eucalyptus</i>	Ureia-formaldeído

O tratamento 1 (T1) foi selecionado como testemunha em função de ser o painel de madeira compensada convencionalmente industrializado e comercializado no Brasil. Para a confecção dos painéis compensados utilizaram-se lâminas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis* com espessura nominal de 2mm e teor de umidade médio de 9%. Foram produzidos um total de 8 painéis, com duas repetições por tratamento, constituídos por 3 lâminas e dimensões nominais de 50 x 50 x 0,6cm.

#### **4.2.1 Processo de colagem**

A produção do adesivo obedeceu à seguinte formulação (Tab. 3), em partes por peso: 100 (resina ureia-formaldeído – UF) : 50 (farinha) : 50 (água) : 7 (catalisador). De acordo com Iwakiri (2005), tal formulação é apropriada para produção de compensados destinados ao mercado interno.

Como catalisador foi empregado uma solução de sulfato de amônia  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a 25% na proporção mencionada anteriormente.

Tabela 3 – Formulação da batida de cola empregada para confecção do adesivo à base de resina ureia-formaldeído

<b>Ingredientes</b>	<b>Formulação (partes por peso)</b>	<b>Proporção (%)</b>	<b>Quantidade por tratamento (g)</b>
<b>Resina</b>	100	48,3	96,62
<b>Farinha de trigo</b>	50	24,2	48,31
<b>Água</b>	50	24,2	48,31
<b>Catalisador</b>	7	3,4	6,76
<b>Total</b>	207	100	200

A gramatura de adesivo empregada foi de 160g/m<sup>2</sup> em linha simples de aplicação, totalizando 80g por painel e, conseqüentemente, 200g por tratamento incluindo a margem de perda. O adesivo foi espalhado com o auxílio de uma espátula, de forma uniforme, em apenas uma face da lâmina (linha simples).

#### **4.2.2 Condições de prensagem**

Depois de aplicado o adesivo, as lâminas foram sobrepostas alternadamente e pré-prensadas por 5 minutos, com a utilização de chapas de ferro em ambos os lados do painel.

Após a pré-prensagem os painéis foram encaminhados para o processo de prensagem a quente, utilizando-se uma prensa hidráulica com capacidade de 160 toneladas, marca Hidraumak, modelo PK4 – 160, com controle dos parâmetros por meio de CLP (Controle Lógico Programável), pratos planos horizontais e aquecimento elétrico. O ciclo de prensagem obedeceu aos seguintes parâmetros:

- Tempo de montagem do painel: 10 minutos;
- Temperatura da prensa: 110°C;
- Pressão específica: 10kgf/cm<sup>2</sup>;
- Tempo de fechamento da prensa: 5 segundos;
- Tempo de prensagem: 5 minutos.

### 4.3 Ensaio físico-mecânico

Posteriormente ao processo produtivo, os painéis foram encaminhados a uma câmara climatizada, onde permaneceram durante uma semana, até a estabilização do teor de umidade a um valor próximo a 12%, o qual é indicado pela norma utilizada no experimento. Após o acondicionamento, os compensados foram conduzidos à marcenaria, onde foram realizados os cortes para a retirada dos corpos de prova de acordo com o *layout* de corte apresentado na Fig. 10.

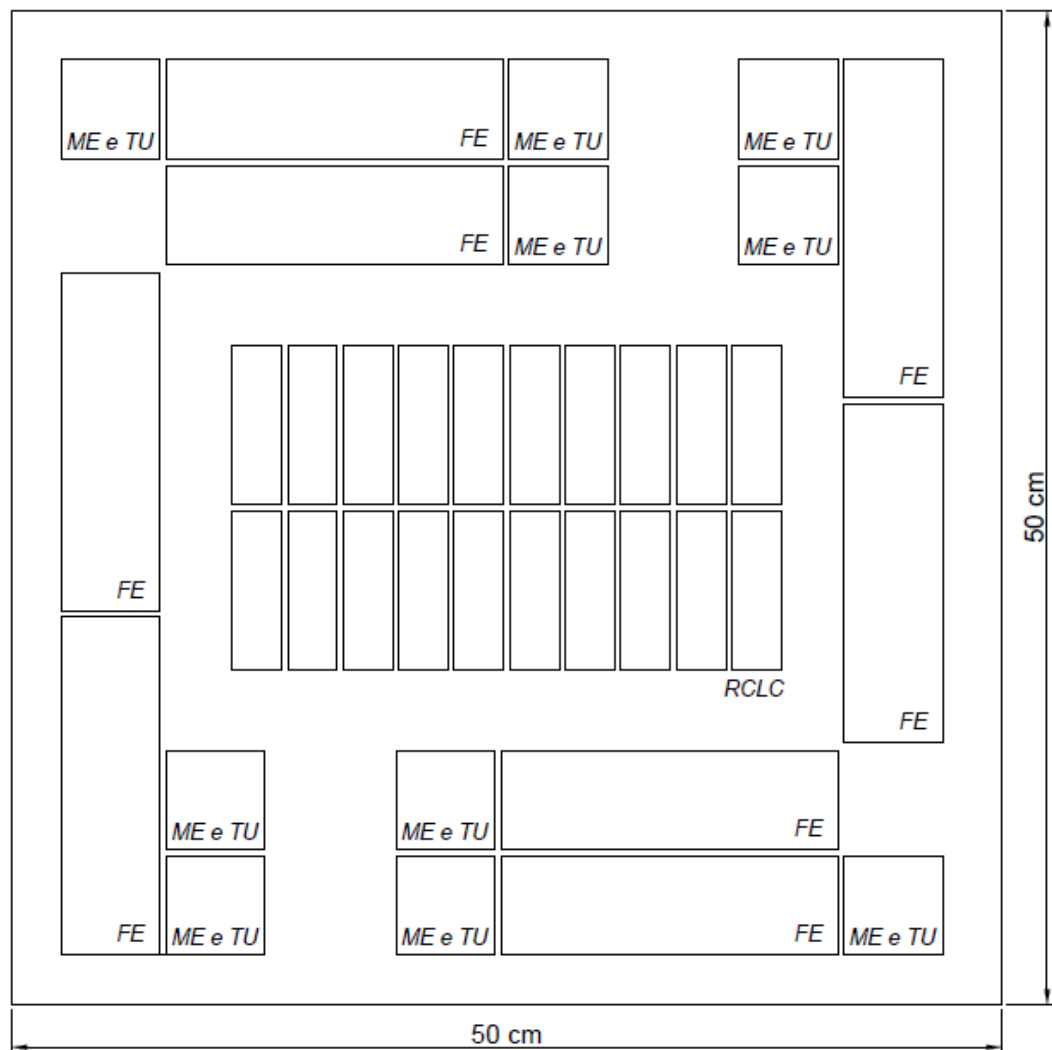


Figura 10 – Esquema de distribuição dos corpos de prova para avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados.

\* ME = massa específica; TU = teor de umidade, FE = flexão estática; RCLC = resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Após a obtenção dos corpos de prova, foram realizados os ensaios físicos e mecânicos (Tab. 4) no Laboratório de Propriedades Mecânicas da Madeira – UFPel, em uma máquina universal de ensaios, marca EMIC, modelo DL 30, seguindo o disposto pelas normas europeias.

Tabela 4 – Ensaios físicos e mecânicos realizados nos painéis compensados e quantidade de corpos de prova amostrados

<b>Ensaio</b>	<b>C.P.* por painel</b>	<b>C.P. Totais</b>
<b>Massa específica</b>	10	80
<b>Teor de umidade</b>	10	80
<b>Flexão estática</b>	8	64
<b>Cisalhamento na linha de cola</b>	20	160

\* C.P. corpo de prova

#### 4.3.1 Massa específica aparente

Para determinação da massa específica aparente foi empregada a Norma EN 323 (1993). Para este teste foram obtidos corpos de prova de 5 x 5cm.

A massa específica aparente foi determinada por meio da equação apresentada a seguir:

$$Mea = \frac{m}{c \times l \times e} \times 100 \quad (1)$$

, onde:

$Mea$  = Massa específica aparente ( $g/cm^3$ );

$m$  = 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).

### 4.3.2 Teor de umidade

O teor de umidade dos painéis compensados foi realizado de acordo com as determinações da Norma EN 322 (1993). Para este teste foram obtidos corpos de prova de dimensões 5 x 5cm.

Por meio da equação a seguir foi determinado o teor de umidade:

$$Tu = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (2)$$

, onde:

$Tu$  = Teor de umidade (%);

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

$Ms$  = Massa do corpo de prova após ser seco em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  (g).

### 4.3.3 Resistência à flexão estática (MOR e MOE)

Os ensaios de resistência à flexão estática obedeceram à Norma EN 310 (1993). Os corpos de prova foram cortados de acordo com as seguintes dimensões 5 x 17cm.

O Módulo de Ruptura (MOR) e o Módulo de Elasticidade (MOE), paralelos e perpendiculares à grã das lâminas da capa, foram determinados pelas equações apresentadas a seguir:

$$MOR = \frac{3 \times F_{m\acute{a}x} \times L}{2 \times l \times e^2} \quad (3)$$

, onde:

$MOR$  = Módulo de Ruptura (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$  = carga de ruptura (N);

$L$  = amplitude do vão (mm) = 20 x espessura do painel;

$l$  = Largura da amostra (mm);

$e$  = espessura (mm).

$$MOE = \frac{F_i \times L^3}{4 \times l \times e^3 \times d_i} \quad (4)$$

, onde:

$MOE$  = Módulo de elasticidade (MPa);

$F_i$  = Carga no limite de proporcionalidade (N);

$L$  = Amplitude do vão (mm);

$l$  = largura da amostra (mm);

$e$  = espessura da amostra (mm);

$d$  = deslocamento no limite de proporcionalidade (mm).

A Fig.11 ilustra o ensaio de resistência à flexão estática empregado para determinação do MOR e MOE.



Figura 11 – Ensaio de resistência à flexão estática.

#### 4.3.4 Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira

Os ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento foram realizados de acordo com a Norma EN 314-1 (1993), e a percentagem de



falha na madeira foi realizada conforme a Norma EN 314-2 (1993). Os corpos de prova tiveram dimensões de 2,5 x 8cm e distância entre sulcos de 2,5cm. Foram realizados ensaios seco e úmido (imersão dos corpos de prova em água durante 24 horas).

Para a determinação da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento foi empregada a equação a seguir:

$$Tr = \frac{F_{m\acute{a}x}}{a \times b} \quad (5)$$

, onde

$Tr$  = Tensão de ruptura (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$  = Carga de ruptura (N);

$a$  = distância entre sulcos (mm);

$b$  = largura do corpo de prova (mm).

A Fig. 12 apresenta o ensaio de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento.



Figura 12 – Ensaio de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento.

#### 4.5 Análise estatística

O delineamento empregado foi inteiramente casualizado com duas repetições, onde o efeito avaliado foram as diferentes composições dos painéis compensados.

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de Hartley.

Após os ensaios dos corpos de prova, os valores médios referentes a cada variável resposta avaliada foram submetidos à análise de covariância. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, foi possível aplicar-se o teste Tukey ao nível 5% de significância para comparação entre as médias dos tratamentos avaliados.

A utilização da análise de covariância neste estudo se justifica pela diferença da variável massa específica aparente entre os painéis produzidos em função de características intrínsecas das espécies avaliadas, havendo desta forma, a necessidade de ajuste dos valores das propriedades observadas em torno de uma massa específica média encontrada para todo conjunto de dados.

O programa estatístico utilizado para o processamento das variáveis foi o *Statgraphics Centurion* versão XV.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Propriedades dos painéis de madeira compensada

#### 6.1.1 Propriedades físicas

Na Tab. 5 são apresentados os valores médios de massa específica e teor de umidade para os quatro tratamentos analisados.

Tabela 5 – Valores médios de massa específica (ME) e teor de umidade (TU) dos painéis produzidos com resina ureia-formaldeído

Tratamento	N	ME (g/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	N	TU (%)	C.V. (%)
T1 (Pt) - testemunha	20	0,69 <sup>a*</sup>	6,8	20	9,5 <sup>a</sup>	3,3
T2 (Et)	20	0,74 <sup>bc</sup>	4,9	20	9,4 <sup>a</sup>	4,4
T3 (Pt / Et / Pt)	20	0,71 <sup>ab</sup>	7,9	20	9,7 <sup>a</sup>	4,3
T4 (Et / Pt / Et)	20	0,77 <sup>c</sup>	7,6	19	9,6 <sup>a</sup>	2,9

\* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Nota: Pt = *Pinus taeda*; Et = *Eucalyptus tereticornis*; C.V. = coeficiente de variação; N = número de corpos de prova.

Os valores médios encontrados para a variável massa específica variaram de 0,69 (T1) a 0,77g/cm<sup>3</sup> (T4). Por meio da Tab. 5 observa-se uma diferença estatisticamente significativa entre os resultados encontrados para massa específica nos quatro tratamentos avaliados (ANOVA – APÊNDICE A).

Os painéis do tratamento 4 apresentaram massa específica superior quando comparados aos tratamentos 1 (testemunha) e 3, entretanto, os painéis com a composição homogênea de eucalyptus (T2) apresentaram comportamento similar.

De acordo com Kollman et al. (1975 apud ALMEIDA, 2009; POLLNOW, 2010), a massa específica do compensado depende da espécie da madeira, umidade das lâminas, temperatura e pressão de prensagem, utilizadas na manufatura. Estes parâmetros explicam o fato do tratamento 4 ter apresentado resultado superior em relação aos outros tratamentos.

Os resultados observados para o teor de umidade não apresentaram diferença estatisticamente significativa nos quatro tratamentos avaliados (ANOVA –

APÊNDICE B), estando de acordo com o valor máximo exigido pelo PNQM – Programa Nacional de Qualidade da Madeira (2004), que é de 18%. Segundo Almeida et al. (2004b), esse resultado pode indicar que o período de climatização dos painéis, antes dos ensaios, foi adequado para tornar equânimes os seus teores de umidade.

## 6.1.2 Propriedades mecânicas

### 6.1.2.a Flexão estática (MOR e MOE)

Na Tab. 6 são apresentados os resultados encontrados para o módulo de ruptura (MOR) nos sentidos paralelo e perpendicular à grã das lâminas externas do compensado.

Tabela 6 – Valores médios encontrados para o módulo de ruptura (MOR) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina da capa

Tratamento	N	MOR Paralelo (MPa)	C.V. (%)	N	MOR Perpend. (MPa)	C.V. (%)
T1 (Pt) - testemunha	8	64,3 <sup>a*</sup>	43,6	7	18,1 <sup>a</sup>	28,0
T2 (Et)	8	87,2 <sup>a</sup>	26,1	8	23,2 <sup>a</sup>	08,6
T3 (Pt / Et / Pt)	8	65,2 <sup>a</sup>	27,4	8	18,4 <sup>a</sup>	19,3
T4 (Et / Pt / Et)	8	77,9 <sup>a</sup>	18,6	8	16,5 <sup>a</sup>	26,1

Nota: Pt = *Pinus taeda*; Et = *Eucalyptus tereticornis*; C.V. = coeficiente de variação; N = número de corpos de prova;

\* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios encontrados para a variável módulo de ruptura no sentido paralelo variaram de 64,3 (T1) a 87,2MPa (T2) e para o módulo de ruptura perpendicular variaram de 18,1 (T1) a 23,2MPa (T2). Este comportamento reflete uma tendência de aumento de 36% entre o painel testemunha, produzido apenas com madeira de pinus (T1), e o painel produzido com madeira de eucalipto (T2), para a variável MOR paralelo. Entretanto, os valores de MOR perpendicular apresentaram resultados com uma tendência de aumento de 40% entre os dois tratamentos homogêneos (T1 e T2).

Com base na Tab. 6, também pode-se notar que não há diferença estatisticamente significativa entre os módulos de ruptura paralelo e perpendicular (ANCOVA – APÊNDICE C e D) observados nos quatro tratamentos avaliados.

Com relação à combinação de lâminas de pinus e eucalipto, os compensados constituídos com lâminas de eucalipto na capa (T4) apresentaram resultados com tendências superiores para o MOR perpendicular do que aqueles formados por lâminas de pinus na capa (T3).

Observou-se também que o MOR dos painéis no sentido paralelo à grã apresenta uma tendência de ser em torno de 74% superior em relação ao sentido perpendicular, demonstrando a influência da maior resistência da madeira no sentido paralelo à grã em relação ao sentido perpendicular, na composição do painel.

Almeida et al. (2004b) em estudo que abordou a produção de compensados composto por 5 lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, encontrou valores médios para MOR paralelo de 85,6MPa e para MOR perpendicular 38,9MPa, valores similares ao observado para a madeira de eucalipto no presente estudo, mesmo em uma composição com balanceamento diferenciado (três camadas).

Entretanto, Iwakiri et al. (2001) observou, para compensados de *Pinus taeda* produzidos com adesivo ureico e composto por 5 camadas, um valor médio para o MOR de 31,4MPa sendo inferiores aos encontrados para MOR paralelo e superiores aos MOR perpendiculares encontrados neste estudo.

Para compensados de 5 camadas utilizados como forma de concreto, os valores exigidos pela norma DIN 68792 (1971) são de 45,01MPa para o MOR paralelo e de 30,01MPa para o MOR perpendicular (ALMEIDA et al., 2004b). Confrontando-se os resultados observados na Tab. 6 com os valores exigidos pela norma citada acima, é possível afirmar que o MOR paralelo de todos os compensados obtidos no presente estudo também se enquadra plenamente dentro destas exigências, mesmo sendo um compensado produzido com resina ureica o que não lhe proporciona resistência estrutural e a umidade. Entretanto, o MOR perpendicular encontrado está abaixo do esperado, porém deve-se levar em consideração que os painéis produzidos foram constituídos por 3 lâminas e não por 5 como o estudo comparativo.

Os resultados encontrados para o módulo de elasticidade (MOE) nos sentidos paralelo e perpendicular à grã das lâminas externas do compensado estão representados na Tab. 7.

Tabela 7 – Valores médios encontrados para o módulo de elasticidade (MOE) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina de capa.

Tratamento	N	MOE Paralelo (MPa)	C.V. (%)	N	MOE Perpend. (MPa)	C.V. (%)
<b>T1 (Pt) - testemunha</b>	8	10.089,5 <sup>ab*</sup>	28,2	7	592,8 <sup>a</sup>	36,2
<b>T2 (Et)</b>	8	12.709,4 <sup>b</sup>	13,0	8	875,2 <sup>a</sup>	06,1
<b>T3 (Pt / Et / Pt)</b>	8	7.727,6 <sup>a</sup>	30,3	8	551,7 <sup>a</sup>	24,4
<b>T4 (Et / Pt / Et)</b>	8	11.397,2 <sup>b</sup>	08,5	8	617,2 <sup>a</sup>	24,6

Nota: Pt = *Pinus taeda*; Et = *Eucalyptus tereticornis*; C.V. = coeficiente de variação; N = número de corpos de prova.

\* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios encontrados para a variável módulo de elasticidade paralelo variaram de 7.727,6 (T3) a 12.709,4MPa (T2), resultando em um aumento de 64,5%, e para o módulo de elasticidade perpendicular variaram de 551,7 (T3) a 875,2MPa (T2), resultando em uma tendência de aumento de 59%.

De acordo com a Tab. 7 os valores para o módulo de elasticidade paralelo dos compensados tiveram diferença estatisticamente significativa (ANCOVA – APÊNDICE E). Entretanto, para os valores de módulo de elasticidade perpendicular não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas (ANCOVA – APÊNDICE F).

Tanto para o módulo de elasticidade paralelo quanto para o perpendicular, os painéis do tratamento 2 apresentaram valores superiores aos demais, entretanto, os painéis do tratamento 3 apresentaram resultados menos satisfatórios para esta variável resposta.

Em pesquisa desenvolvida por Iwakiri et al. (2001) foram observados valores médios para MOE de 6.039,85MPa, para compensados constituídos com madeira de *Pinus taeda*, 5 lâminas e produzidos com resina ureia-formaldeído, sendo inferiores aos encontrados para MOE paralelo e superiores aos MOE perpendiculares encontrados neste estudo.

Bortoleto Jr. e Belini (2002), em estudo sobre manufatura de compensados com adesivo ureico a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), encontraram valores médios para o MOE paralelo e MOE perpendicular de 6301,07 e 1667,13MPa, respectivamente.

### 6.1.2.b Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira

Na Tab. 8 encontram-se os valores médios para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira para o teste seco dos painéis compensados produzidos com resina ureia-formaldeído.

Tabela 8 – Valores médios encontrados para o teste seco de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento (RLC)

Tratamento	N	RLC (MPa)	C.V. (%)	Falha (%)
<b>T1 (Pt) - testemunha</b>	19	1,0 <sup>a</sup>	22,6	25,0
<b>T2 (Et)</b>	20	1,0 <sup>a</sup>	28,3	51,6
<b>T3 (Pt / Et / Pt)</b>	20	1,1 <sup>a</sup>	22,9	62,5
<b>T4 (Et / Pt / Et)</b>	19	1,0 <sup>a</sup>	16,6	28,5

Nota: Pt = *Pinus taeda*; Et = *Eucalyptus tereticornis*; C.V. = coeficiente de variação; N = número de corpos de prova.

\* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios encontrados para a variável resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento (RLC) variaram de 1,0 a 1,1MPa. De acordo com a Tab. 8, pode-se observar que não ocorreu diferença estaticamente significativa para o ensaio realizado a seco entre os quatro tratamentos avaliados (ANCOVA – APÊNDICE G).

A Tab. 9 a seguir estipula os requisitos de colagem para resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento, de acordo com a norma europeia EN 314-2 (1993).

Tabela 9 – Requisitos de colagem para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento

Tensão de ruptura ao cisalhamento (MPa)	Ruptura na madeira (%)
$0,196133 \leq TR \leq 0,4020726$	$\geq 80$
$0,4020726 \leq TR \leq 0,5982056$	$\geq 60$
$0,5982056 \leq TR \leq 1,0002783$	$\geq 40$
$1,0002783 \leq TR$	Sem exigência

Fonte: EN 314-2 (1993) adaptado pela Autora, 2012.

Com base nos requisitos da norma EN 314-2 (1993), os valores encontrados para o ensaio de resistência ao cisalhamento da linha de cola a seco obedecem aos valores estabelecidos para ruptura na madeira, comprovando desta forma que a colagem realizada foi satisfatória.

Iwakiri et al. (2001) observaram valores médios para RLC seco de 1,6MPa, para compensados constituídos com madeira de *Pinus taeda*, 5 lâminas e produzidos com resina ureia-formaldeído, sendo ligeiramente superiores aos encontrados neste estudo.

Almeida et al. (2004b) produzindo compensados composto por 5 lâminas da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, encontrou valores médios para RLC, teste seco, variando de 1,96 a 1,56MPa, valores ligeiramente superiores aos observados para a madeira de eucalipto e sua combinação confeccionado no presente estudo. Este fato que pode ser justificado em função da composição balanceada (em cinco camadas), além da qualidade da lâmina obtida, bem como características intrínsecas dos híbridos estudados pelos autores.

A Tab. 10 apresenta os valores médios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira para o teste úmido dos painéis compensados produzidos com resina ureia-formaldeído.



Tabela 10 – Valores médios encontrados para o teste úmido da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento (RLC)

Tratamento	N	RLC (MPa)	C.V. (%)	Falha (%)
<b>T1 (Pt) - testemunha</b>	20	0,6 <sup>a*</sup>	18,62	18,00
<b>T2 (Et)</b>	19	0,8 <sup>a</sup>	27,23	16,50
<b>T3 (Pt/Et/Pt)</b>	20	0,7 <sup>a</sup>	22,79	17,50
<b>T4 (Et/Pt/Et)</b>	20	0,7 <sup>a</sup>	29,53	34,50

\* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Nota: Pt = *Pinus taeda*; Et = *Eucalyptus tereticornis*; C.V. = coeficiente de variação; N = número de corpos de prova.

Os valores médios encontrados para a variável resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento (RLC) variaram de 0,6 a 0,8MPa, apresentando uma tendência de aumento em 36%.

Conforme a Tab. 10 nota-se também que não ocorreu diferença estatisticamente significativa no teste úmido (ANCOVA – APÊNDICE H) para a resistência dos compensados entre os quatro tratamentos avaliados.

Os painéis do tratamento 2, produzidos apenas com madeira de eucalyptus apresentaram uma tendência de resistência superior quando comparados aos painéis do tratamento 1, produzidos apenas com pinus, onde, de modo geral, foi observada a resistência média menos satisfatória.

O Catálogo Técnico para Compensado de Pinus (ABIMCI, 2002) tem como valor mínimo para RLC do ensaio úmido o valor de 11kgf/cm<sup>2</sup>, que corresponde a 1,08MPa, no entanto, esses requisitos são para painéis de cinco lâminas e 9 mm de espessura.

Os adesivos à base da resina ureia são do tipo que perde a resistência quando submetidos a condições de umidade por um período de tempo relativamente curto, e essa resistência jamais é recuperada. Conseqüentemente, exposição repetida em condições de alta umidade, é prejudicial para as uniões feitas com ureia, que eventualmente irão falhar (PETERSON, 1964 apud OLIVEIRA e FREITAS, 1995).

Todos os painéis compensados do presente estudo são compostos por três lâminas e duas linhas de cola. Nota-se então, que as lâminas que compõem os painéis são de pequena espessura, podendo ser facilmente afetadas pela imersão

em água. Esse fato pode ser comprovado pela análise das falhas da madeira. Na maioria dos casos a ruptura ocorreu na linha de cola. Conforme a norma, isso demonstraria que a colagem foi insatisfatória.

## 7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados observados, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- ✓ Os painéis de madeira compensada produzidos apenas com lâminas de pinus apresentaram massa específica aparente inferior aos produzidos com capa de eucalipto e miolo de pinus;
- ✓ Os valores médios encontrados para a variável teor de umidade, em todos os tratamentos, apresentaram-se de acordo com o valor máximo permitido pelo Programa Nacional de Qualidade da Madeira – PNQM;
- ✓ Nos painéis produzidos apenas com lâminas de eucalipto, os valores médios para o MOE e MOR, paralelo e perpendicular, apresentaram uma tendência de serem superiores aos demais tratamentos, demonstrando a influência da maior resistência da madeira de eucalipto em relação à de pinus;
- ✓ O MOR e MOE dos painéis no sentido paralelo a grã apresentaram uma tendência de aumento no sentido perpendicular, demonstrando a influência da direção da grã na resistência do compensado;
- ✓ Os valores obtidos para o ensaio de resistência ao cisalhamento seco estão de acordo com os valores estabelecidos pela norma EN 314-2 (1993), comprovando que a colagem foi satisfatória;
- ✓ Para os valores médios encontrados para o teste úmido de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento, os painéis produzidos apenas com eucalipto apresentaram uma tendência de aumento da resistência quando comparados aos produzidos apenas com madeira de pinus;
- ✓ De modo geral, os painéis de madeira compensada produzidos no presente estudo apresentaram resistência física e mecânicas satisfatórias

para seu emprego como painéis decorativos (produção de móveis e revestimento de superfícies);

- ✓ O atrativo estético da madeira de *Eucalyptus tereticornis*, em função de sua coloração e desenho, pode acarretar na ausência de acabamento dos painéis produzidos com lâminas de madeira nativa.

## Referências

- ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Artigo técnico nº7**. Curitiba, 2003. 6p.
- ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Artigo técnico nº20**. Curitiba, 2004. 3p.
- ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial, Ano Base: 2006**. Curitiba, 2007. 44p.
- ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Catálogo técnico painéis de compensado de pinus**. Curitiba, 2002. 4p.
- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011, Ano Base: 2010**. Brasília: 2011. 130p.
- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2012, Ano Base: 2011**. Brasília: 2012. 150p.
- AGEFLOR. Associação Gaúcha de Empresas Florestais. O ciclo do *Pinus*, 2009. Disponível em: <[http://www.ageflor.com.br/upload/biblioteca/AN\\_Verde\\_Pinus\\_em\\_S\\_C.pdf](http://www.ageflor.com.br/upload/biblioteca/AN_Verde_Pinus_em_S_C.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2012.
- AGEFLOR. Associação Gaúcha de Empresas Florestais. Glossário. *Pinus*, 2009. Disponível em: <<http://www.ageflor.com.br/glossario.php?l=P>>. Acesso em: 17 nov. 2012.
- AGUIAR, A. V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. Espécies de pinus mais plantadas no Brasil, 2011. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus\\_2ed/Especies\\_Pinus\\_elliottii.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/Especies_Pinus_elliottii.html)>. Acesso em: 25 fev. 2013.
- ALMEIDA, R. R; BORTOLETTO JÚNIOR, G; JANKOWSKY, I.P. Produção de lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.65, jun., 2004a.
- ALMEIDA, R. R; BORTOLETTO JÚNIOR, G; JANKOWSKY, I.P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente**, n.1, p.14-24, 2004b.
- ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá**. 2009. 86p. Dissertação (Pós Graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2009.

ALVES, G. K. A., SINAI, M. C. F. **Os dormentes ferroviários, seu tratamento e o meio ambiente**. Mestrado em Engenharia de Transportes – Instituto Militar de Engenharia – IME– Rio de Janeiro - RJ – Brasil. 2005.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em *Pinus taeda* L. Influência da idade e classe de produtividade**. 2006. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 2006.

ARRUDA, L. M.; GONÇALEZ, C. J.; MENEZZI, C. H. S.; MELO, R. R. Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* huber exducke) modificadas termomecanicamente. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 02, n. 01, p. 29-42, Maio, 2011.

ASSIS, T.F. **Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira**. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, Viçosa, 1999.

BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Relatório Anual 2008**. Rio de Janeiro, 2008. 151p.

BORTOLETTO JÚNIOR, 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, v.8, n.2, p.1-16, 2002.

BORTOLETTO JÚNIOR, 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.

BORTOLLETO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **R. Árvore**, Viçosa, v.28, n.4, p.563-570, 2004.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. Eucalipto, 2012. Disponível em:< <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136>>. Acesso em: 04 jan. 2013.

BRASIL, A. A. **As exportações brasileiras de painéis de madeira**. 2002. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002.

CABRAL, M. B. **Qualidade de painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos por indústrias na região de Irati-PR**. 42 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati-PR. 2011.

CHAGAS, F; GONCALVES R; MATTOS R; **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Estudo Setorial BNDES. Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

CHIARAMONTI, B. ALMEIDA, J. A. P. L.; B. HIGUTI, K. A.; ROSOLEM, V. H. **Quantificação dos principais equipamentos de uma empresa produtora de painéis compensados**. 46 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Itapeva-SP. 2010.

CIFLORESTAS. Centro de Inteligência em Florestas. Eucalipto. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=eucalipto>>. Acesso em: 04 dez. 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROPEAN STANDARD EN 310. **Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending streng**. Bruxelas. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROPEAN STANDARD EN 314-1. **Plywood – bonding quality: part 1 - test methods**. CEN members, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROPEAN STANDARD EN 314-2. **Plywood – bonding quality: part 2 - requirements**. CEN members, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROPEAN STANDARD EN 322. **Determination of moisture content**. CEN members, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROPEAN STANDARD EN 323. **Determination of board density**. CEN members, 1993.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Standard Download. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

FERREIRA, A. R.; JOÃO D. M.; GODOY, L. P. **A utilização da matéria-prima eucalipto na indústria moveleira como estratégia para o desenvolvimento sustentável**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Responsabilidade Socioambiental das Organizações Brasileiras, 4, 2008, Niterói, Rio de Janeiro.

FERREIRA, E. **Utilização dos polifenóis da casca de Pinus para produção de adesivos para compensados**. 2004. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2004.

FERREIRA, E. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tanino de acácia negra**. 2010. 212p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2010.

IWAKIRI, S.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas de compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p.19-24, 2000.

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

IWAKIRI, S.; SILVA, J. C.; SILVA, R. M.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia-formaldeído. **Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p.371-375, 2002.

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

IWAKIRI, S.; NETO, A. R.; ALMEIDA, B. C de.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; RIGATTO, P. A.; BETTEGA, W. P. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 004, p.437- 443, 2006.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. REMADE. Produção de painéis compensados multilaminados de *Eucalyptus*. **Revista da Madeira**. n 111, p. 92, 2008.

IWAKIRI, S.; SANCHES, F. G.; POTULSKI, D. C.; SILVA, J. B. da; ANDRADE, M. de; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de pinus tropicais e eucalipto na produção de painéis compensados uréicos. **Floresta**, Curitiba, v.42, n. 2, p. 277-284, 2012.

JANKOWSKY, I. P. Manufatura de painéis compensados com madeira de *Eucalyptus* spp: resultados preliminares. **Circular técnica IPEF**, Piracicaba, 82: 1-4. 1979.

JANKOWSKY, I. P. Variação da resistência à flexão estática do compensado de pinus caribaea var. Hondurensis, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem. **IPEF**. 1980. 7p.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2000.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag. v.2, 1975. 703p.

LIMA, N. N.; PIO, N. S.; CUNHA, U. S.; FERNANDO FILHO, C. L.; JOSÉ FILHO, B. Influência da gramatura na resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dawyer e *Eperua oleifera* Ducke. **Revista ACTA Amazônica**. Departamento de Ciências Florestais. UFAM. vol. 41,p 83 – 90. 2010.

LORENZI, H; SOUZA, H. M; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas do Brasil: Madeiras, ornamentais e aromáticas**. Instituto Plantarum. 2003. 368p.



MADECAUS. Madeiras e Ferragens. Disponível em: <[http://www.madecaus.com.br/site/index.asp?op=2&area=Compensados&chave=134&codigo=131&idioma=1&subarea=Decorativo&cod\\_info=426](http://www.madecaus.com.br/site/index.asp?op=2&area=Compensados&chave=134&codigo=131&idioma=1&subarea=Decorativo&cod_info=426)>. Acesso em: 30 nov. 2012.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principle in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MACEDO, A.; ROQUE, C. A. **Painéis de madeira**. Rio de Janeiro: BNDES, setorial, 1997.

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento nas lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii***. Eng. Curitiba, 1986. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MILTON JÚNIOR, G. ST 402. **Resistência dos materiais**. 2003. 6p.

MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; CARDOSO, M. G. Utilização do eucalipto e madeiras nativas no armazenamento de aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, Campinas, set-dez, 2003.

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. **Revista Instituto Florestal**. São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70. 2006.

OLIVEIRA, J. T. S.; FREITAS, A. R. Painéis a base de madeira. Boletim **técnico da escola politécnica da USP**. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 44p. São Paulo-SP, 1995.

PAULO JÚNIOR, A.; DELLY FILHO, O., COSTA, D. R. Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.28-35, jan./abr. 2006.

PIO, N. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-Cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados**. 1996. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PIZZI, A; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 1994. 680p.

POLLNOW, R. K. **Painéis de *Pinus taeda* produzidos com resina ureia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino compensados**. 53p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS. 2010.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafio e perspectivas. In: **Anais do Seminário Internacional de Utilização de Eucalipto Para Serraria**, 1995, São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo, 1995. 9p.

Portal São Francisco. A cultura do *pinus*: Uma perspectiva e uma preocupação. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/pinus/pinus-3.php>>. Acesso em 15 nov. 2012.

POSTAL. Compensado multilaminado decorativo. Disponível em:<<http://www.postalcompensados.com.br/br/produto.compensado-multilaminado-decorativo.php>>. Acesso em: 01 dez. 2012.

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

REMADE. Revista da Madeira. Eucalipto. Mercado aponta uso do eucalipto para móveis, 2007. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1053&subject=Eucalipto&title=Mercado%20aponta%20uso%20do%20eucalipto%20para%20m%c3%b3veis](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1053&subject=Eucalipto&title=Mercado%20aponta%20uso%20do%20eucalipto%20para%20m%c3%b3veis)>. Acesso em: 04 dez. 2012.

RIBEIRO, S. T. **Produção de painéis compensados de *Pinus taeda* com resina ureia-formaldeído utilizando diferentes extensores**. 2008. 20f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. Curitiba, 2000. 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RUA DIREITA. Máquinas. Prensa Hidráulica a Quente: A produção de máquinas contraplacado. Disponível em: <<http://br.ruadireita.com/75989/prensa-hidraulica-a-quente-a-producao-de-maquinas-de-contraplacado/>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

SAF. Society of American Foresters. Grownig better all the time. Forests and Forestry in the America: An Encyclopedia. Disponível em:<[http://wiki.safnet.org/index.php/Wood\\_Panel\\_Products](http://wiki.safnet.org/index.php/Wood_Panel_Products)>. Acesso em: 06 nov. 2012.

SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura. As plantações de Eucalipto no Brasil. Disponível em:<[http://www.sbs.org.br/destaques\\_plantacoesnobrasil.htm](http://www.sbs.org.br/destaques_plantacoesnobrasil.htm)>. Acesso em: 06 nov. 2012.

SHIMIZU, J.Y., *Pinus* na silvicultura brasileira, 2011. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/cepef/artigos/Pinus%20na%20silvicultura%20brasileira.pdf>> Acesso em: 05 nov. 2012.

SOUZA, R. A. T. M. **Análise do fluxo de transporte rodoviário de toras curtas de eucalipto para algumas indústrias de celulose e de chapas de composição no estado de São Paulo**. 2000.114p. Tese (Doutorado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo.

STELLA, J. C. **A influência de variáveis do ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensados de paricá (*Schizolobium amazonicum*)**. 2009. 51p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-RS. 2009.

THE ROYAL BOTANIC GARDENS & DOMAIN TRUST, 2012. Disponível em:<[http://www.rbgsyd.nsw.gov.au/science/Evolutionary\\_Ecology\\_Research/Ecology\\_of\\_Cumberland\\_Plain\\_Woodland/woodland\\_plants/eucalyptus\\_tereticornis](http://www.rbgsyd.nsw.gov.au/science/Evolutionary_Ecology_Research/Ecology_of_Cumberland_Plain_Woodland/woodland_plants/eucalyptus_tereticornis)>. Acesso em: 08 jan. 2013.

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

UNESP. Universidade Estadual de Paulista. Departamento de Física. Massa específica dos sólidos. Disponível em:<<http://www.rc.unesp.br/igce/fisica/ervino/textos/massaespsol.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2012.

WEBER, C. **Estudo sobre a viabilidade do uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para a produção de painéis aglomerados**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

## **Apêndices**

APÊNDICE A – Análise de variância para variável massa específica nos tratamentos avaliados

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	0,0870138	3	0,0290046	11,38	0
Dentro dos grupos	0,193685	76	0,00254849		
<b>Total</b>	<b>0,280699</b>	<b>79</b>			

APÊNDICE B – Análise de variância para variável teor de umidade nos tratamentos avaliados

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	0,676026	3	0,225342	1,75	0,16
Dentro dos grupos	9,66212	75	0,128828		
<b>Total</b>	<b>10,3381</b>	<b>78</b>			

APÊNDICE C – Análise de covariância para variável módulo de ruptura paralelo nos tratamentos avaliados

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
<b>Covariável</b>					
<b>Massa específica</b>	12,9727	1	12,9727	0,03	0,87
<b>Efeito principal</b>					
<b>Tratamento</b>	2695,11	3	898,369	1,89	0,15
<b>Resíduo</b>	12813,4	27	474,57		
<b>Total corrigido</b>	<b>15723,2</b>	<b>31</b>			

APÊNDICE D – Análise de covariância para variável módulo de ruptura perpendicular nos tratamentos avaliados

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
<b>Covariável</b>					
<b>Massa específica</b>	31,6552	1	31,6552	2,23	0,15
<b>Efeito principal</b>					
<b>Tratamento</b>	165,28	3	55,0934	3,89	0,02
<b>Resíduo</b>	368,569	26	14,1757		
<b>Total corrigido</b>	<b>598,008</b>	<b>30</b>			

APÊNDICE E – Análise de covariância para variável módulo de elasticidade paralelo nos tratamentos avaliados

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
<b>Covariável</b>					
<b>Massa específica</b>	3,07258E7	1	3,07258E7	9,19	0,00
<b>Efeito principal</b>					
<b>Tratamento</b>	6,29385E7	3	2,09795E7	6,28	0,00
<b>Resíduo</b>	9,0228E7	27	3,34178E6		
<b>Total corrigido</b>	2,29271E8	31			

APÊNDICE F – Análise de covariância para variável módulo de elasticidade perpendicular nos tratamentos avaliados

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
<b>Covariável</b>					
<b>Massa específica</b>	28587,1	1	28587,1	1,34	0,26
<b>Efeito principal</b>					
<b>Tratamento</b>	326404,	3	108801,	5,09	0,00
<b>Resíduo</b>	556269,	26	21395,0		
<b>Total corrigido</b>	1,09541E6	30			

APÊNDICE G – Análise de covariância para variável resistência na linha de cola teste seco nos tratamentos avaliados

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
<b>Covariável</b>					
<b>Massa específica</b>	0,00701067	1	0,00701067	0,13	0,72
<b>Efeito principal</b>					
<b>Tratamento</b>	0,222258	3	0,0740862	1,33	0,27
<b>Resíduo</b>	4,05399	73	0,0555341		
<b>Total corrigido</b>	4,28985	77			

APÊNDICE H – Análise de covariância para variável resistência na linha de cola teste úmido nos tratamentos avaliados

<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrado médio</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Covariável</b>					
<b>Massa específica</b>	0,204087	1	0,204087	6,75	0,01
<b>Efeito principal</b>					
<b>Tratamento</b>	0,64456	3	0,214853	7,11	0,00
<b>Resíduo</b>	2,23636	74	0,0302211		
<b>Total corrigido</b>	2,94234	78			