

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

**QUALIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA  
COMPENSADA FABRICADOS COM LÂMINAS DE  
MADEIRA DE *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* E  
*Eucalyptus urograndis***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SANDRA KAZMIERCZAK**

**IRATI-PR  
2012**

**SANDRA KAZMIERCZAK**

**QUALIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA FABRICADOS COM  
LÂMINAS DE MADEIRA DE *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus  
urograndis***

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. Dr. Éverton Hillig  
Orientador

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri  
Co-Orientador

IRATI – PR  
2012

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

K19q KAZMIERCZAK, Sandra  
Qualidade de painéis de madeira compensada fabricados com lâminas de madeira de *Eucalyptus Saligna*, *Eucalyptus Dunnii* E *Eucalyptus Urograndis* / Sandra Kazmierczak. – Irati, PR : UNICENTRO, 2012.

82f.

ISBN

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro - Oeste, PR. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais

Orientador: Prof. Dr. Éverton Hillig

Coorientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Eucalipto. 3. Compensados – painéis de madeira. I. Hillig, Éverton. II. Iwakiri, Setsuo. III. Título.

CDD 20ª 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 41

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 a mestranda **Sandra Kazmierczak** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "Qualidade de painéis de madeira compensada fabricados com lâminas de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis*", é de parecer favorável à APROVAÇÃO da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 27 de agosto de 2012.



Dr. Celso Edmundo Foelkel  
Pesquisador  
Primeiro Examinador



Dr. Roberto Pedro Bom  
Universidade da Cidade de União da Vitória  
Segundo Examinador



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

Ao meu amado esposo José Bernardo, pelo amor, paciência, companheirismo e auxílio nos momentos difíceis e aos meus pais Sérgio e Mari Célia, pela confiança e carinho.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser o maior iluminador e estar sempre presente ajudando em todas as dificuldades, abençoando a mim e toda minha família. Obrigada.

Ao meu marido José Bernardo pela compreensão, amor e confiança, aos meus queridos e amados pais Sergio Kazmierczak e Mari Célia Kazmierczak, pelo apoio e incentivo, a quem dedico esta dissertação.

À minha mãe Mari Célia e meu esposo José Bernardo, pela imensa ajuda durante a confecção dos painéis e preparação dos corpos de prova.

Ao professor Éverton Hillig pela sua incansável atenção, orientação, conselhos, ensinamentos e paciência, contudo pela bela amizade que proporcionou durante essa jornada acadêmica.

Ao professor co-orientador Setsuo Iwakiri da Universidade Federal do Paraná pelo apoio e ensinamentos prestados, ao me receber à Universidade.

Aos professores Roberto Pedro Bom e Celso Foelkel por fazer parte da banca examinadora colaborando com suas valiosas experiências.

Ao meu amigo, sócio, chefe, ou melhor, “irmão de coração”, Cesar Luiz Dahmer, pelo imenso apoio, generosidade e compreensão durante essa longa fase de estudo, idealizou e sonhou comigo para realização dessa pesquisa, hoje dedico a você essa dissertação e agradeço.

Ao amigo Adélcio Valerio Coloda que colaborou com a pesquisa doando as toras e resina para efetuar este estudo.

Aos funcionários da Empresa Coloda Compensados LTDA, que foram sempre prestativos auxiliando no processo industrial quanto à laminação e secagem das lâminas.

A amiga de laboratório Fernanda Szekut, pelo auxílio durante os trabalhos de ensaios e coleta de dados.

À minha sogra Ivanir Ferencz, pela paciência e compreensão.

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

À todos os estudantes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela amizade, conversas e discussões, em especial à Heloisa.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
3.1 ESTUDO DO GÊNERO.....	4
3.1.1 Histórico do Eucalipto .....	4
3.1.2 Demanda de consumo de eucalipto no Brasil .....	5
3.1.3 Características da madeira do eucalipto.....	6
3.1.4 Tensões de crescimento.....	8
3.1.5 Massa específica básica da madeira.....	10
3.2 Espécies Utilizadas .....	11
3.2.1 <i>Eucalyptus saligna</i> .....	11
3.2.2 <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	12
3.2.3 <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> ( <i>E. urograndis</i> ).....	13
3.3 HISTÓRICO DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA .....	13
3.3.1 Painel de madeira compensada.....	14
3.3.2 Qualidade de painéis de madeira compensada .....	15
3.4 ADESIVO .....	18
3.4.1 Conceito de adesivo .....	18
3.4.2 Adesivo fenol-formaldeído.....	18
3.4.3 Tempo de gelatinização “gel time” .....	19
3.4.4 Viscosidade.....	19
3.4.5 Teor de sólidos.....	20
3.5 PRODUÇÃO DE LÂMINAS E DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA .....	20
3.5.1 Aquecimento das toras .....	20
3.5.2 Processo de laminação .....	21
3.5.3 Secagem das lâminas .....	22
3.5.4. Colagem de painéis de madeira compensada multilaminado.....	23
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
4.1 MODELO EXPERIMENTAL .....	25
4.2. OBTENÇÃO DAS TORAS .....	26
4.3. COZIMENTO DAS TORAS .....	27
4.4. LAMINAÇÃO E SECAGEM.....	27
4.5. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA.....	29
4.5.1 Climatização dos painéis.....	33

4.5.2	Confecção dos corpos de prova .....	33
4.6	ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.....	34
4.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	41
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
5.1	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	42
5.2	VISCOSIDADE DA BATIDA DE COLA.....	42
5.3	MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS .....	43
5.4	AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL DOS PAINÉIS .....	45
5.5	ANÁLISE FATORIAL PARA ESTABILIDADE DIMENSIONAL .....	47
5.5.1	Absorção de água.....	48
5.5.2	Inchamento (I) e Inchamento mais recuperação em espessura (IR) .....	49
5.6	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	52
5.7	ANÁLISE FATORIAL PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	56
5.7.1	Resistência ao Cisalhamento na Linha de Cola.....	57
5.7.2	Falha na madeira.....	58
5.7.3	Flexão estática (MOR – MOE).....	59
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>69</b>	
<b>ANEXO II .....</b>	<b>72</b>	
<b>ANEXO III .....</b>	<b>76</b>	
<b>ANEXO IV .....</b>	<b>81</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Laminação das toras.....	28
Figura 2. Qualidade das lâminas secas.....	29
Figura 3. Processo de preparo do adesivo .....	31
Figura 4. Disposição e espessura das lâminas .....	31
Figura 5. Produção dos painéis compensados .....	32
Figura 6. Croqui de localização dos corpos-de-prova .....	34
Figura 7. Máquina universal de ensaios mecânicos .....	35
Figura 8. Ensaio de resistência ao esforço de cisalhamento na linha de cola .....	40
Figura 9. Variação das médias de IR por teor de sólido e composição dos painéis .....	50
Figura 10. Variação das médias de IR por composição de painéis e teor de sólido .....	51
Figura 11. Valores de MOR em função de MOE ajustados por regressão linear .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das espécies de eucalipto mais plantadas na região Sul e Centro-sul do Paraná.....	8
Tabela 2. Requisitos da Norma Europeia para classificação de compensados .....	16
Tabela 3. Requisitos Norma DIN para forma de concreto .....	16
Tabela 4. Delineamento experimental. ....	26
Tabela 5. Parâmetros técnicos do adesivo.....	29
Tabela 6. Proporção de adesivo e extensor por teor de sólido. ....	30
Tabela 7. Valores de massa específica por tora e por essência, com seus respectivos DAP's. ....	42
Tabela 8. Viscosidade da batida de cola por batelada. ....	43
Tabela 9. Média e análise de variância da massa específica e teor de umidade por tratamento. ....	44
Tabela 10. Valores médios por tratamento para propriedades físicas. ....	46
Tabela 11. Média e Análise de variância das propriedades físicas em função da composição da chapa e do teor de sólido .....	48
Tabela 12. Valores médios por tratamento para propriedades mecânicas .....	53
Tabela 13. Média e Análise de variância das propriedades mecânicas em função da composição da chapa e do teor de sólido .....	57

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- AA – Absorção de água
- ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente
- ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANOVA – Análise de Variância
- ASTM – American Society for Testing and Materials
- ANSI – American National Standards Institute
- BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel
- DAP – Diâmetro à altura do peito
- DIN – Deutsches Institut für Normung
- EN – European Standard
- ES – *Eucalyptus saligna*
- ED – *Eucalyptus dunnii*
- EU – *Eucalyptus urograndis*
- ES/ED – *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*
- EU/ES – *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus saligna*
- ED/EU – *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis*
- FF – Fenol Formaldeído
- I – Inchamento em espessura
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
- ISO – International Organization for Standardization
- IR – Inchamento mais Recuperação em Espessura
- Kgf – Quilograma força
- MDF – Medium Density Fiberboard
- Mea – Massa específica aparente
- MOR – Módulo de Ruptura
- MOE – Módulo de Elasticidade
- MPa – Mega Pascal
- OSB – Oriented Strand Board
- PNQM – Programa Nacional de Qualidade da Madeira
- RCL – Resistência a Linha de Cola
- TU – Teor de Umidade

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a qualidade de painéis de madeira compensada produzidos com lâminas de madeira das espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e do híbrido *Eucalyptus urograndis*, em diferentes composições, como alternativa de uso dessas espécies, buscando melhor qualidade quanto às propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados. Para avaliação da qualidade e de suas propriedades físicas e mecânicas, foram produzidos painéis com dimensão de 500 x 500 x 14 mm, compostos por sete camadas de lâminas. O adesivo usado foi à base de fenol-formaldeído (FF) com teor de sólido na batida de cola de 28%, 32%, 36% e gramatura nominal de 360 g/m<sup>2</sup> em linha dupla. A prensagem dos painéis foi realizada em prensa de prato maciço com temperatura de 130°C, 12 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão e tempo de prensagem de 15 minutos. Foi analisada a massa específica, a umidade de equilíbrio, a absorção de água, o inchamento em espessura, o cisalhamento da linha de cola, o MOR e o MOE à flexão estática. As análises permitiram avaliar o efeito da utilização da madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis* na fabricação dos painéis de madeira compensada, utilizando diferentes proporções na batida de cola e diferentes composições de espécies. Os resultados foram também comparados aos requisitos das normas ABNT 31:000.05 (2001), European Standard EN 314-2 (1993) e Deutsches Institut für Normung – DIN 68792 (1979). Para as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, as três espécies apresentaram valores superiores aos exigidos pela norma. Os valores das propriedades de cisalhamento da linha de cola, MOR e MOE foram superiores para painéis de *Eucalyptus saligna* e quando em misturas com lâminas das madeiras de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis*. Para os painéis de *Eucalyptus dunnii* verificou-se menores valores de propriedades mecânicas, com tendência de aumento quando em misturas com lâminas das demais espécies. Pode-se concluir que os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* e de *Eucalyptus urograndis* apresentaram bons resultados tanto no uso individual como em mistura com outras espécies, classificando seu uso para construção civil.

Palavras-Chave: Eucalipto, Laminação, Painéis de Madeira, Compensados.

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the quality of plywood panels produced with wood veneer species of *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus urograndis* hybrid in different compositions, as an alternative use of these species, seeking better quality for physical properties and mechanical properties of the boards manufactured. To assess the quality and its physical and mechanical properties were produced panels with dimensions 500 x 500 x 14 mm, composed of seven layers of blades. The adhesive used was based on phenol-formaldehyde (PF) with solid content of the glue hit 28%, 32%, 36% and nominal weight of 360 g / m<sup>2</sup> in double line. The pressing of the panels was performed on massive plate with press temperature of 130 ° C, 12 kgf / cm<sup>2</sup> pressure and pressing time of 15 minutes. We analyzed the specific weight, the equilibrium moisture content, water absorption, the thickness swelling, the shear glue line, the MOE and MOR static bending. The analysis allows to evaluate the effect of the use of *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus urograndis* in the manufacture of plywood panels, using different beat glue proportions and different compositions of species. The results were also compared to the requirements of ABNT 31:000.05 (2001), European Standard EN 314-2 (1993), and Deutsches Institut für Normung - DIN 68 792 (1979). For the properties of water absorption and thickness swelling, the three species had higher values than those required by the standard. The values of the shear properties of the glue line, MOR and MOE were superior to panels of *Eucalyptus saligna* and when blended with blades for *Eucalyptus dunnii* *Eucalyptus urograndis*. For panels *Eucalyptus dunnii* found to lower values of mechanical properties, with an upward trend when in mixtures with other species blades. It can be concluded that the panels produced with blades of *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus urograndis* showed good results in both single use and in mixture with other species, sorting their use building construction.

Keywords: Eucalyptus, Laminating, Wood Panels, Plywood.

## 1. INTRODUÇÃO

O compensado é considerado um produto sólido, com restrições de natureza ambiental que tendem a aumentar cada vez mais, por consequência da baixa disponibilidade de toras de maior diâmetro usadas na laminação, em especial provenientes de espécies nativas.

Devido ao custo elevado e às restrições ambientais, o mercado tende a reduzir a oferta de madeira compensada obtida de espécies nativas em todo o mundo. Nas últimas décadas, as indústrias têm utilizado madeira de espécies de reflorestamento e de toras de pequeno diâmetro. Além disso, se sente a necessidade da minimização da geração de resíduos e da redução de custos.

Espécies florestais de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus*, são potenciais substitutos da madeira oriunda de mata nativa para a obtenção de produtos sólidos, como os gerados em serrarias ou os usados para laminação. Inúmeros são os atributos que tornam importante o gênero *Eucalyptus* como fonte de matéria-prima fabril, como por exemplo, a sua capacidade produtiva, a adaptabilidade a diversos ambientes e, sobretudo, a diversidade de espécies, o que possibilita atender a requisitos tecnológicos dos mais variados segmentos da produção industrial madeireira (ASSIS, 1999).

As espécies do gênero *Eucalyptus* são de fundamental importância ao desenvolvimento sócio-econômico do setor industrial florestal, devido à grande capacidade de adaptabilidade ao rápido crescimento e ao fato de sua madeira apresentar características físicas e mecânicas favoráveis ao desenvolvimento de produtos, tais como: celulose, carvão, energia, faqueados, laminados, moirões e serrados. Atualmente, algumas espécies têm sido pesquisadas no que diz respeito à produção de lâminas e painéis.

De acordo com Interamnense (1998), os motivos mais relevantes que restringem a sua utilização para essa finalidade são a existência de certas características indesejáveis, sendo as mais importantes a ocorrência de colapso durante a secagem e a presença das tensões de crescimento.

Nas regiões sul e centro-sul do estado do Paraná estão localizadas indústrias voltadas à produção de painéis compensado, que utilizam matéria-prima oriunda de reflorestamentos e espécies nativas. O mercado nacional, e principalmente o internacional, vêm exigindo dos fabricantes produtos com menor custo de produção e maior qualidade, o que implica diretamente no uso de matéria-prima adequada a atingir esses dois requisitos.

A busca por qualidade em produtos à base de madeira, de forma geral, está na associação de um conjunto de características que conferem aptidão para determinado uso final. O eucalipto, por apresentar vantagens como rápido crescimento volumétrico, boa forma, boa aceitação no mercado e fácil reprodução, torna-se uma espécie de grande potencial para uso nesse setor industrial.

Hoje, sabe-se por experiência profissional, que a espécie *Eucalyptus dunnii* é pouco utilizada para confecção de painéis compensados e, devido à escassez de sua madeira no mercado, existe a necessidade de serem pesquisadas formas alternativas de sua utilização. As espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e o híbrido *Eucalyptus urograndis*, já adaptadas ao clima da região sul, atualmente são usadas com maior e menor frequência na produção de compensados, como nova alternativa de consumo e mercado, gerando um maior interesse no seu plantio.

O gênero *Eucalyptus* compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas bastante diferenciadas. Isso possibilita substituição no uso de várias espécies nativas, especialmente na região sul e sudeste. No entanto, um reduzido número de espécies tem sido plantado em escala comercial. Duas estratégias podem ser empregadas quando o objetivo é produzir madeira de alta qualidade. A primeira, mais utilizada, consiste em melhorar geneticamente a qualidade da madeira das espécies mais plantadas, como *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* na região sul e sudeste e o híbrido *Eucalyptus urograndis*, que predomina na região sudeste do país. A segunda alternativa é a identificação de espécies produtoras de madeira de características satisfatórias para o uso que se pretende, com aumento da produtividade, resistência física e mecânica e qualidade.

Dessa forma, esse estudo trata da utilização das espécies *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus saligna* e do híbrido *Eucalyptus urograndis* como fontes de matéria-prima para painéis compensados, tanto no seu uso isolado quanto em composições mistas.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a qualidade de painéis de madeira compensada produzidos com lâminas de madeira das espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e do híbrido *Eucalyptus urograndis*, utilizando diferentes proporções de adesivo na batida de cola.

### 2.2 Objetivos Específicos

- a) Produzir lâminas de madeira das espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis*;
- b) Produzir painéis de madeira compensada com essas lâminas;
- c) Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos;
- d) Comparar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com diferentes composições de lâminas, de cada uma das espécies e de misturas entre elas;
- e) Comparar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com diferentes percentuais de adesivo na batida de cola;
- f) Analisar melhores alternativas de composição de madeira para fabricação de compensado para uso no setor industrial.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ESTUDO DO GÊNERO

##### 3.1.1 Histórico do Eucalipto

O eucalipto foi descoberto pelos ingleses na Austrália, em 1788. Algumas publicações fazem referência também à Nova Zelândia, à Tasmânia e a ilhas vizinhas.

A disseminação de sementes de eucaliptos no mundo começou no início do século XIX. Na América do Sul, o primeiro país a introduzir o eucalipto foi o Chile em 1823 e, posteriormente, a Argentina e o Uruguai. Por volta de 1850, países como Portugal, Espanha e Índia começaram a plantar o eucalipto. As primeiras mudas chegaram ao Brasil em 1868, sendo que a introdução do gênero tomou impulso no início do século XX.

O gênero *Eucalyptus* possui cerca de 700 espécies já descritas. As espécies mais comuns no Brasil atingem de 20 a 60 metros de altura, mas há espécies de porte maior como o *Eucalyptus regnans*, cujo caule chega a 90 metros, com 7,5 m de circunferência na base. Existem cerca de 700 espécies adaptadas a diversas condições de solo e clima. Dessa grande variedade de espécies, apenas duas não são originárias da Austrália. A maioria das espécies conhecidas são árvores típicas de florestas altas, atingindo alturas que variam de 20 a 60 metros. As menores árvores atingem alturas entre 10 e 25 metros.

Os eucaliptos se desenvolvem com grande rapidez e, por volta do quinto ano, já permitem um primeiro corte do tronco para o aproveitamento da madeira, depois do que voltam a vegetar. Por crescer rapidamente, tolerar cortes sucessivos e fornecer matéria-prima para diversos fins, o eucalipto tornou-se uma das árvores mais comumente cultivadas.

O eucalipto possui rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e é aplicado em diferentes processos e com diversas finalidades, como produção de celulose, papel, postes, energia, chapas, lâminas, compensados, aglomerados, carvão vegetal, madeira serrada e móveis; além de outros produtos como óleos essenciais e mel, alcançando grande importância econômica para o País.

A importância econômica do gênero deve-se à versatilidade de suas aplicações econômicas aliadas a uma taxa de crescimento rápido, garantindo assim o crescente interesse pela produção que visa a atender a demanda de madeira para a produção de celulose e papel, combustível e madeira para construções (MACRAE e VAN STADEN, 1990).

As principais espécies cultivadas atualmente no Brasil incluem o *Eucalyptus grandis*, o *Eucalyptus camaldulensis*, o *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus urophylla*, entre outras. Além disso, foram desenvolvidos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*).

Na região sul do Brasil predomina o cultivo do *Eucalyptus dunnii* e o *Eucalyptus benthamii* por apresentar melhor resistência a baixas temperaturas.

Em relação ao clima do Brasil para o cultivo do eucalipto, há duas regiões (tropical e subtropical) consideradas favoráveis. O clima é considerado o primeiro parâmetro limitante do uso das espécies de eucalipto para o plantio. E, não menos importante, está a finalidade do uso da madeira (matéria prima) do eucalipto.

RECH (2007) aponta a utilização dessa matéria prima como garantia de suprimento para as indústrias de papel e celulose, siderurgia a carvão vegetal, lenha, serrados, compensados, lâminas e painéis reconstituídos (aglomerados, chapas de fibra e MDF).

### 3.1.2 Demanda de consumo de eucalipto no Brasil

O mercado florestal tem melhorado muito, motivado pelo crescimento da economia internacional e brasileira. No mercado de papel, o Brasil foi o 10º produtor mundial, com produção de 9,9 milhões de toneladas em 2011. Por outro lado, no mercado de celulose, o Brasil produziu, no mesmo ano, 14 milhões de toneladas, ocupando a quarta posição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2011).

Quanto à distribuição da área total plantada de *Eucalyptus* das associadas individuais da ABRAF por segmento industrial, destaca-se a participação dos segmentos de Papel e Celulose e Siderurgia a Carvão Vegetal, com 71,2% e 18,4%, respectivamente seguidos por Painéis de Madeira Industrializada com 6,8% e Produtores Independentes com 3,6% (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF, 2012).

Conforme análise de cenários do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BUAINAIN; BATALHA, 2007), a área total plantada de eucaliptos deverá chegar, em 2020, a pouco mais de 10 milhões de hectares. Mas considerando os ganhos de produtividade, o rendimento florestal deverá ser suficiente para atender à demanda e ao consumo projetado de madeira industrial, que para 2020, será superior a 280 milhões de m<sup>3</sup>. Desse total, a maior parte (49 %) será representada pela madeira de eucalipto. “O consumo se concentrará nas

regiões sul e sudeste do País, onde para as madeiras de espécies plantadas (pinus e eucalipto), o setor de celulose e papel continuará a ser o principal demandante”.

De acordo com Rech (2007), a produtividade de eucalipto no Brasil tem atingido índices cerca de dez vezes maiores dos obtidos nos países líderes deste mercado. Porém, se observam mudanças no mercado relacionadas ao aumento da demanda por madeira que, sem a oferta correspondente, conduz à elevação dos preços. Para o autor, diferente do projeto agrícola, este tipo de projeto de plantação de eucalipto, não produz reflexos imediatos no aumento da oferta, pois do plantio à colheita, o período é de seis a sete anos. Nesse intervalo de tempo, os preços continuam se elevando.

Sob os aspectos positivos do eucalipto ou da eucaliptocultura, Rech (2007), salienta o fato de ser uma planta exótica sem restrição legal para o corte, podendo ser plantada em locais diversos e em diferentes escalas para a produção de lenha, carvão, celulose, desdobros, móveis, construções, apicultura, óleos, taninos e quebra-ventos.

Segundo Couto e Dubé *apud* Couto, (2003), um argumento bastante utilizado era o de que as plantações de eucalipto são responsáveis pela degradação do solo e assoreamento dos mananciais hídricos, fato que não mais pode ser comprovado a partir de 1994, quando as práticas silviculturais extinguiram o uso da queima e do preparo convencional do solo para plantação de eucaliptos.

Em meio a essas controvérsias, o mercado vai manifestando sua demanda crescente, uma vez que o aumento da produção global de madeira serrada de folhosas passou de 100 milhões/m<sup>3</sup>ano em 1970, para 132 milhões/m<sup>3</sup>ano em 1990. Em 2001, a produção caiu para menos de 100 milhões/m<sup>3</sup>ano, como consequência do aumento das pressões ambientais e aumento de madeira oriunda de florestas plantadas de coníferas (Pinus) (RECH, 2007).

### 3.1.3 Características da madeira do eucalipto

No Brasil, o cultivo do eucalipto tem-se destacado pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e, algumas espécies têm demonstrado índices de resistência às baixas temperaturas da região sul do país.

MONTEIRO (1990) afirma que, na região sul do Brasil, as baixas temperaturas e as geadas criam grandes restrições na ampla utilização das terras para o cultivo do eucalipto, e entre as espécies que apresentam maior tolerância ao frio está o *E. dunnii*.

Com base nessa característica, algumas empresas vêm elaborando programas de pesquisas em avaliação silvicultural e de melhoramento para essa espécie. BARRICHELO (1983) relata que a madeira de *E. dunnii* com oito anos de idade apresenta massa específica básica de 0,52 g/cm<sup>3</sup>.

A possibilidade de utilização da madeira de *E. dunnii* significa mais uma alternativa silvicultural, especialmente para as empresas localizadas nas região sul e sudeste do Brasil.

Segundo Pereira *et al.* (2000) a madeira de *E. dunnii* é considerada de baixa durabilidade, com massa específica básica ao redor de 0,61 g/cm<sup>3</sup> e de qualidade inferior às de *E. saligna* e *E. microcorys*, quando utilizada como madeira serrada.

IWAKIRI *et al.* (2008), concluíram que tanto *E. grandis* quanto *E. dunnii* têm grande probabilidade de uso para a produção de painéis OSB – Oriented Strand Board no Brasil. Recomendam a utilização da madeira de *E. dunnii*, individualmente, ou em mistura com a madeira de *Pinus elliottii*, na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada, o que contribui para incrementar o volume de matéria-prima a ser disponibilizada.

De acordo com Rocha *et al.* (2004), a madeira de folhosas normalmente apresenta distribuição dos elementos celulares bastante característica. As dificuldades encontradas na identificação das espécies de eucalipto quando se analisa morfologia externa são da mesma forma encontrada quando se utiliza a anatomia da madeira (COZZ e RODRIGUEZ, 1959).

A madeira de eucalipto apresenta características que limitam o seu uso na fabricação de diversos produtos, principalmente no que se refere à produção de lâminas. Entre estes, destacam-se as tensões de crescimento, fibras reversas, elevada retratibilidade e presença de colapso durante a secagem (FAO, 1981).

As tensões de crescimento têm demonstrado ser o principal fator a ser considerado no desdobro utilizando-se desse gênero, em especial a espécie *Eucalyptus dunnii* (SEVERO 1998).

As madeiras de grande número de espécies de eucalipto não apresentam diferenças marcantes em suas características anatômicas que permitam uma identificação rápida e segura. A Tabela 1 apresenta as características das espécies de eucalipto mais plantadas na região sul e centro-sul do Paraná.

**Tabela 01** – Características das espécies de eucalipto mais plantadas na região sul e centro-sul do Paraná

<b>LOCALIZAÇÃO DA PROPRIEDADE AGRÍCOLA</b>	<b>USO DA MADEIRA</b>	<b>EUCALIPTO INDICADO</b>	<b>COMPORTAMENTO DA ESPÉCIE</b>
Em regiões sujeitas a geadas severas e frequentes.	Fins energéticos (fonte de energia ou carvão vegetal) e serraria.	<i>E. dunnii</i>	Apresenta rápido crescimento e boa forma das árvores. Apresenta dificuldades na produção de sementes.
Em regiões sujeitas a geadas severas e frequentes.	Fins energéticos (fonte de energia ou carvão vegetal).	<i>E. benthamii</i>	Boa forma do fuste, intensa rebrota, fácil produção de sementes. Requer volume alto de precipitação pluviométrica anual.
Em regiões livres de geadas severas.	Fins energéticos (fontes de energia ou carvão vegetal), celulose de fibra curta, construções civis e serraria.	<i>E. grandis</i>	Maior crescimento e rendimento volumétrico das espécies. Aumenta a qualidade da madeira com a duração do ciclo.
Em regiões livres de geadas severas.	Uso geral.	<i>E. urophylla</i>	Crescimento menor que <i>E. grandis</i> , boa regeneração por brotação de cepas.
Em regiões livres de geadas severas.	Fins energéticos, laminação, estruturas, caixotaria, postes, escoras, mourões, celulose.	<i>E. saligna</i>	Madeira mais densa quando comparado ao <i>E. grandis</i> menos suscetível à deficiência de Boro
Em regiões livres de geadas severas.	Fins energéticos, serraria, laminação postes, dormentes, mourões, estruturas, construções.	<i>E. urograndis</i>	Madeira de bom crescimento baseada na modalidade clonal de melhoramento genético, recomendado para regiões de déficit hídrico anual elevado.

Fonte: MACHADO, 2009, p. 21.

### 3.1.4 Tensões de crescimento

De acordo com Kubler (1987), as tensões de crescimento representam um tipo especial de tensão, que ajudam a manter o equilíbrio da árvore. O autor cita ainda que essa tensão é gerada durante o crescimento da mesma e, não deve ser confundida com a tensão resultante

do peso da copa da árvore ou com a tensão de sua seiva. As tensões de crescimento existentes na madeira são forças desenvolvidas no interior dos troncos das árvores vivas. Esse fenômeno tem origem na camada cambial, durante a formação da madeira. Os efeitos dessas tensões são observados nas seções transversais dos topos das árvores recém-abatidas e também quando da toragem. Trata-se de rachaduras no sentido dos raios, tendo como origem pontos próximos à medula, Kubler (1987).

Diante do fato, a utilização da madeira de eucalipto fica limitada, sendo essas tensões mais notáveis em florestas jovens do que em florestas adultas, devido a diversos fatores como a proporção de lenho juvenil no tronco e grã espiralada.

Em geral estas tensões se manifestam após o abate da árvore e traçamento em toras, ocasionando as fendas a partir do topo e seu uso na forma de madeira sólida prejudicando a qualidade e rendimento das toras.

Segundo Kubler (1988), o manejo adequado em reflorestamento de eucalipto como o efetivo desbaste pode compor um fator a ser considerado quando se procura a diminuição das tensões de crescimento em um povoamento. O autor ainda afirma que essa prática pode minimizar tensões de crescimento ao manter uma taxa de crescimento constante e condições de crescimento estáveis. Algumas técnicas vêm sendo estudadas na tentativa de minimizar os efeitos das tensões de crescimento.

Severo e Tomaselli (2000), em pesquisa sobre as tensões de crescimento em *E. dunnii*, concluíram que o anelamento da árvore com posterior vaporização das toras proporcionou redução significativa nas tensões de crescimento, pelo fato da ação simultânea exercida por calor e umidade na madeira, provocando, dessa forma, a plasticização da lignina e o consequente relaxamento das tensões.

PEREYRA (1994) estudou a utilização da madeira de *Eucalyptus dunnii* na confecção de painéis de madeira compensada. A laminação de tora foi procedida pelo aquecimento sob três diferentes temperaturas (50°C, 65°C e 80°C) e o tempo de aquecimento variou de acordo com o diâmetro da tora. Os resultados, quanto ao rendimento das toras, foram melhores para temperaturas de aquecimento entre 65 e 80°C.

Outra prática adotada como alternativa para minimizar os efeitos da tensão de crescimento é a fabricação de produtos de madeira através do processo de colagem, como por exemplo, os compensados multilaminados, sarrafeados, aglomerados, etc.

Alguns aspectos importantes devem ser considerados no uso da madeira de eucalipto como a aplicação de métodos para minimização dos efeitos das tensões de crescimento; uso da tecnologia de colagem para reduzir os efeitos da instabilidade dimensional da madeira; valorização das características vantajosas da sua madeira como maior massa específica básica, resistência e durabilidade (REMADE, 2008).

### 3.1.5 Massa específica básica da madeira

O conhecimento da massa específica básica é de extrema importância para agregar valor à madeira e proporcionar o seu correto dimensionamento e sua utilização. Oliveira et. al (1988), mencionam que a massa específica básica da madeira possui um caráter muito complexo e é determinada por vários fatores, entre eles, o diâmetro das células e a espessura da parede celular, as proporções de lenho inicial e tardio, e não menos importante o conteúdo de extrativos na madeira. Os mesmos autores Oliveira et al (1997) citam que a massa específica básica é a mais importante propriedade na definição da qualidade, uma vez que está relacionada às características química, física, mecânica e anatômica da madeira.

Alguns autores como Oliveira (1988), Latorraca e Albuquerque (2000) e Cruz et al. (2003) mencionam que a massa específica básica é a característica mais utilizada em pesquisas relacionadas à qualidade da madeira, sendo esta a mais importante e a que melhor se relaciona com as demais propriedades.

LOBÃO et al. (2004) afirmam que a resistência mecânica da madeira é influenciada diretamente pela massa específica básica do material. De acordo com Vale et al. (1992), o conhecimento da variação da massa específica básica nos sentidos axial e radial pode determinar seu uso, os autores citam também que a massa específica básica pode variar de uma espécie para a outra, dentro de uma mesma espécie e na direção radial e axial de uma mesma árvore.

De acordo com Souza et al. (1979), para o gênero *Eucalyptus*, a massa específica básica variar com a idade, com o vigor da espécie, com o local onde crescem (clima e sítio), com o tipo de manejo imposto ao povoamento, com a taxa de crescimento e, na mesma árvore, ainda varia no sentido base-topo e na distância medula casca, variando também dentro de uma mesma espécie. Afirmam ainda que a massa específica básica, de forma geral, aumenta com a idade, sendo de forma mais intensa na fase juvenil.

Práticas silviculturais e manejo adequado também proporcionam alterações na madeira a ponto de influenciar sobre a massa específica básica e a qualidade do produto final (Zobel, 1992).

VITAL e DELLA LUCIA (1987), estudando o efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira em árvores de *E. grandis* e *E. urophylla*, com 4,3 anos de idade, afirmam que não houve efeito significativo do espaçamento na massa específica básica média das árvores e na altura do DAP, havendo um ligeiro decréscimo da média nos discos nas alturas crescentes. Os autores afirmam que podem ocorrer alterações na qualidade da madeira, como aumento do número e tamanho de nós, que por sua vez podem influir diretamente nas propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Segundo Adorno e Garcia (2003), que estudaram correlações lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *E. grandis* e *E. urophylla* ambas com 8 anos de idade, para o *E. urophylla*, a massa específica básica apresentou uma correlação inversa com as variáveis do processamento mecânico da madeira, podendo dizer que através da massa específica básica é possível conhecer e propor soluções em programas de melhoramento genético que visam a redução das flechas observadas durante o desdobro das árvores.

De acordo com Downes *et al.* (1997), as dimensões das fibras interferem diretamente na massa específica básica da madeira. Assim, fibras maiores e com paredes mais espessas podem indicar madeiras mais pesadas, embora esta propriedade também possa ser influenciada pela frequência, diâmetro dos vasos e volume dos raios.

## 3.2 Espécies Utilizadas

### 3.2.1 *Eucalyptus saligna*

O *Eucalyptus saligna* é uma árvore de tamanho alto a muito alto, atingindo 30 a 55 m de altura, com excelente forma do fuste e copa que chega alcançar 1/2 a 1/3 da altura total da árvore. A distribuição natural da espécie situa-se entre as latitudes de 28 a 35°S, em altitudes desde o nível do mar até 1.000 m (MORA e GARCIA, 2000).

Segundo Wachira (1994), para melhor desenvolvimento dessa espécie a ocorrência de chuva anual deve situar-se entre 800 a 1.200mm, uniformemente distribuídas durante o ano,

ou concentradas no verão. O autor menciona sobre a tolerância a temperaturas máximas do mês mais quente entre 28 a 30°C e das mínimas do mês mais frio entre 3 a 4°C. As geadas podem ocorrer numa intensidade de 5 a 10 dias/ano.

As características da espécie *E. saligna* a tornam indicada para diversos usos em diferentes setores como: laminação, móveis, serrados, estruturas, caixotaria, postes, escoras, mourões, celulose e carvão (FERREIRA, 1979).

Segundo Ferreira (1979) a madeira do *E. saligna* está classificada como de média massa específica básica, entre 0,45 até 0,60 g/cm<sup>3</sup>. A massa específica básica varia entre locais e dentro de uma mesma população devido a fatores genéticos e ambientais. Essa variabilidade foi constatada nos trabalhos de FERREIRA (1968,1970) e BRASIL (1972) com árvores de *Eucalyptus saligna*.

### 3.2.2 *Eucalyptus dunnii*

*Eucalyptus dunnii* tem-se destacado no Brasil principalmente na região sul, pelo seu rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência a geadas não muito severas.

Na região, em especial no estado do Paraná e de Santa Catarina, regiões propícias ao inverso rigoroso, com altitudes entre 500 e 1.000m, essa espécie tem demonstrado boa tolerância às geadas (Embrapa, 1988). Essa característica foi confirmada por Oliveira (1988) que comparou o crescimento de 31 espécies de eucaliptos na região de Três Barras, SC.

De acordo com Bootle (1983), a qualidade dessa espécie é inferior à de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus microcroys* quando utilizada para construções leves e serraria, considerada de baixa durabilidade, com massa específica básica ao redor de 0,61g/m<sup>3</sup>.

No Brasil, entretanto, sob condições de povoamentos implantados, sua madeira apresenta massa específica básica e composição química semelhante à de *Eucalyptus grandis*, com teor de lignina ligeiramente inferior, e produz celulose de boa qualidade (BARRICHELO e BRITO 1976).

### 3.2.3 *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (*E. urograndis*)

O *Eucalyptus urograndis* é um híbrido desenvolvido no Brasil, através do cruzamento do *E. grandis* x *E. urophylla* com objetivo de obter plantas com melhor qualidade, bom crescimento e resistência a doenças. Com características do *E. grandis*, obteve um leve aumento na massa específica básica da madeira, melhorias no rendimento e nas propriedades físicas da celulose e adaptação e resistência a doenças (OLIVEIRA, 1997).

Segundo Costa (2011), as árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, (*E. urograndis*) formam lenho de maior massa específica básica em relação às suas espécies originais, em torno de 0,56 g/cm<sup>3</sup>, apresentando elevada taxa de crescimento volumétrico.

Segundo Carvalho (2000), o objetivo do cruzamento dessas duas espécies foi obter plantas com um bom crescimento, características do *E. grandis* e um leve aumento da massa específica básica da madeira e melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose, característica do *E. urophylla*.

Para Gouvêa et al. (1997) a rusticidade, propriedades da madeira e resistência ao déficit hídrico do *E. urophylla* fazem com que as plantas desta espécie possuam alto potencial para programas de hibridação com *E. grandis*, que possui um bom desenvolvimento silvicultural, sendo possível obter material mais homogêneo e com qualidade de madeira desejáveis.

## 3.3 HISTÓRICO DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

O compensado é o painel de madeira mais antigo já produzido em escala comercial. O desenvolvimento da produção de lâminas de madeira ocorreu inicialmente nos Estados Unidos e na Europa no final do século XIX e foi à base para o surgimento da indústria de painéis de madeira compensada (OLIVEIRA, 1988; ALBUQUERQUE, 1999; TOMASELLI, 1999).

O surgimento de resinas sintéticas (uréia-formaldeído e fenol-formaldeído) na década de 50 permitiu o maior desenvolvimento dos painéis de madeira compensada, garantindo uma colagem mais resistente entre as lâminas de madeira (ZUGMAN, 1998).

Segundo Noack (1978), a utilização de cola mais resistente permitiu que o compensado tivesse também uso externo, sendo empregado como matéria-prima para construção de barcos e formas para concreto.

No Brasil, as indústrias de painéis de madeira compensada iniciaram sua produção no início do século XX. As primeiras indústrias iniciaram-se na região sul, industrializando exclusivamente o Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*), sendo que essa produção atendia o consumo do mercado interno. A partir da década de 70 as exportações apresentam maior crescimento, destacando-se Estados Unidos, Reino Unido, Porto Rico e Alemanha.

Nesta época, começaram a ser usado às madeiras de folhosas, provenientes da região norte do Brasil, inicialmente, só para a produção de lâminas de miolo, reservando-se o Pinho, que já estava escasso e se tornando pouco competitivo, para capas.

Por esse fato, muitas empresas migraram para a região norte do Brasil, passando a utilizar madeiras tropicais da Amazônia como fonte de matéria-prima. Foi quando o Governo Federal iniciou uma política de incentivos fiscais para o plantio de florestas de rápido crescimento. As espécies mais utilizadas no sul do país foram do gênero *Pinus* (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), espécies estas originárias da costa leste dos Estados Unidos da América, e que se adequaram muito bem na região devido ao clima e ao tipo de solo (ABIMCI 2003).

### 3.3.1 Painel de madeira compensada

O painel de madeira compensada é composto de numerosas camadas delgadas de lâminas de madeira, normalmente em número ímpar de lâminas, coladas entre si.

Segundo Intramnense (1998), o painel de madeira compensada é formado por lâminas de madeira, justapostas em camadas ímpares, coladas entre si de maneira que a direção da grã de camadas adjacentes forme um ângulo de 90° entre si, as quais são submetidas a uma colagem sob prensagem aquecida.

Para Mendes, citado por Iwakiri (2005), compensado é um conjunto de folhas de madeira (lâminas) arranjado previamente, de modo que o sentido das fibras de uma lâmina seja posicionado em sentido perpendicular aos das lâminas adjacentes, e colados sob efeito da pressão e temperatura.

São encontrados no mercado três tipos: laminados, sarrafeados e multissarrafeados. Os primeiros são produzidos com finas lâminas de madeira prensada. No compensado sarrafeado,

o miolo é formado por vários sarrafos de madeira, colados lado a lado. O multissarrafeado é considerado o mais estável. Seu miolo compõe-se de lâminas prensadas e coladas na vertical, fazendo uma espécie de “sanduíche”.

Segundo Revista da Madeira (1997), o compensado é produzido sob duas principais especificações: a) para uso interno com colagem à base de resina uréia-formaldeído, sendo utilizado basicamente nas indústrias moveleiras; b) para uso externo com colagem à base de resina fenol-formaldeído, sendo normalmente utilizadas na construção civil, assoalhos e carrocerias de caminhão.

### 3.3.2 Qualidade de painéis de madeira compensada

Os padrões de qualidade dos painéis e também suas especificações são definidas pelas normas existentes em cada país. No Brasil, a norma existente atualmente foi elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT). Recentemente, a norma ABNT passou por uma revisão técnica coordenada pela ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (IWARIKI, 2005).

As normas internacionais são bastante utilizadas, principalmente para comercialização de produtos em nível de exportação. Existem normas quanto aos procedimentos para ensaios físicos-mecânicos, tais como:

Norma alemã – DIN;

Norma americana – ASTM;

Norma brasileira – ABNT;

Norma européia – EN, entre outras.

A Norma Brasileira NBR 9531 (ABNT, 1986), não especifica nenhum valor de referência para tensão de ruptura no ensaio de cisalhamento e exige um mínimo de percentual de falha da madeira de 60 e 80 % para classificar o compensado para uso interno, intermediário e externo. Essa norma encontra-se em processo de revisão e nova adaptação, com tendência para vir adotar os requisitos da norma europeia European Standard – EN 314-2 (1993), conforme descrita na Tabela 2.

**Tabela 2.** Requisitos da Norma Europeia para classificação de painéis de madeira compensada

Resistência da colagem a esforço de cisalhamento	
Tensão de ruptura (MPa)	Falha na madeira (%)
$0,2 \leq f_v < 0,4$	$\geq 80$
$0,4 \leq f_v < 0,6$	$\geq 60$
$0,6 \leq f_v < 1,0$	$\geq 40$
$1,0 \leq f_v$	sem exigência

Fonte: EN 314-2 (1993).

O mesmo procede para a Norma Brasileira NBR 9533 (ABNT, 1986), que também não especifica nenhum valor de referência para resistência à flexão estática que permita classificar o compensado para recomendações de uso interno, intermediário e externo.

Os requisitos exigidos pela norma Deutsches Institut für Normung – DIN 68792 (1979), para utilização de compensados como forma de concreto são apresentados pela Tabela 3. Registra-se que há uma forte tendência para a norma brasileira, vir adotar as especificações da norma DIN, para compensados de uso em formas de concreto.

**Tabela 3:** Requisitos Norma DIN para forma de concreto

Direção das fibras externas	Número de lâminas	Especificação mínima à flexão estática	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)
Paralela ao vão	3	75	8500
	5	45	5000
	acima de 5	35	4000
Perpendicular ao vão	3	20	2000
	5	30	2500
	acima de 5	40	4500

Fonte: DIN 68792 (1979)

Têm-se os requisitos mínimos para auxílio quanto à avaliação e controle de qualidade de painéis compensados, onde são analisadas e comparadas suas propriedades mecânicas e eventuais defeitos de fabricação.

De acordo com Iwakiri (2005), que descreve a classificação de painéis de madeira em forma genérica realizada com base no local de utilização e de acordo com o adesivo que foi utilizado na produção dos painéis.

São classificados para uso Interior (IR), painéis utilizados em locais protegidos da ação d'água ou alta umidade, colados com adesivo à base de uréia-formaldeído. Os painéis classificados para uso Intermediário (IM) são utilizados em locais com alta umidade relativa podendo algumas vezes receber a ação de água, colados com adesivos a base de melamina-uréia-formaldeído. Para uso Externo (EX) são painéis classificados quando utilizados em ambientes externos ou fechados que são submetidos a umedecimento e secagem ou ação d'água, colados com adesivos a base de fenol-formaldeído.

IWARIKI (2005) também classifica os painéis de madeira compensadas de acordo com a norma NBR3 – INMETRO, com diferentes tipos de uso.

Os painéis de madeira compensada de uso geral são painéis multilaminados, cujo adesivo empregado na sua fabricação se restringe ao uso interno; comum o uso em indústrias moveleiras.

Os painéis de madeira compensada para forma de concreto são painéis, cuja colagem é a prova d'água, admitindo seu uso para ambientes externos, seu uso é bastante empregado na construção civil.

Os painéis de madeira compensada decorativos são painéis que recebem nas suas superfícies, lâminas faqueadas, sua colagem deve ser do tipo intermediário, o uso final deste produto direciona-se principalmente a fabricação de móveis.

Os painéis de madeira compensada industrial são classificados com menores restrições em termos de aparência, o adesivo utilizado deve ser do tipo a prova d'água, sua utilização é muito ampla, destacando-se as embalagens.

Os painéis de madeira compensada naval são painéis de utilização em uso exterior, sua colagem deve ser a prova d'água, com alta resistência mecânica e montagem perfeita. Seu uso destina-se em aplicações que exigem contato direto com a água, exemplo a construção naval.

Os painéis de madeira compensada sarrafeado são produzidos cujo miolo é formado por sarrafos, sua colagem é classificada do tipo interior de aplicação basicamente à indústria moveleira.

### 3.4 ADESIVO

#### 3.4.1 Conceito de adesivo

Adesivos são substâncias que quando interpostas entre duas superfícies, de natureza igual ou diferente, são capazes de uni-las através de forças atrativas (química, mecânica ou ambas) com resultado final de resistência que superem os próprios substratos.

Para Iwakiri (2005), adesivo é um material com propriedades aderentes com capacidade de manter unidos outros materiais em suas superfícies.

A colagem de madeiras envolve o conhecimento de três conceitos iniciais, a saber, (ABIMCI, 2003):

- Adesão – fenômeno físico-químico que promove um mecanismo de interação entre superfícies sólidas;
- Adesivo – material com propriedades aderentes, isto é, uma substância capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies;
- Aderente – termo usado para sólidos (madeira) unidos por adesivos.

Vários tipos de adesivos podem ser utilizados na união de peças de madeira, mas o desempenho satisfatório depende da consideração de fatores físicos e químicos do adesivo e do substrato.

#### 3.4.2 Adesivo fenol-formaldeído

De acordo com Iwariki (2005), os adesivos fenol-formaldeído são resinas condensadas à base de Fenol e Formol apresentadas em solução aquosa. Seu uso se destina principalmente à produção de compensados à prova d'água, painéis de fibras (duras), painéis aglomerados estruturais, entre outros. Apresenta coloração marrom avermelhado, teor de sólidos entre 48 a 51%, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade entre 300 a 600 cP e temperatura de cura na faixa de 130 a 150° C.

Para esta resina, recomenda-se evitar a exposição da mesma a temperaturas elevadas por tempos prolongados, pois isso diminui o tempo de vida útil. As resinas fenólicas não necessitam de catalisadores, o que permite o uso da cola batida até horas após o seu preparo. Porém, o ideal é que a cola batida seja utilizada em até 6 horas.

Segundo ABIMCI (2003), os adesivos são normalmente líquidos que necessitam, para sua cura, temperaturas iguais ou superiores a 140°C. São fornecidos também em forma de pó e em forma de película, eliminando operações de mistura e espalhamento. Há também formulações especiais para curas a temperaturas intermediárias (125°C - 140°C) e certas resinas catalisadas com ácidos são capazes de curar à temperatura ambiente (20°C). O uso de extensores como farinha de casca de nozes, farinha de trigo, pó de serra ou pó de sangue solúvel evitam excessivas penetrações das resinas na madeira. As resinas fenólicas sintéticas são formadas pela reação de condensação entre o formaldeído e fenol, podendo ser classificadas em: resina fenólica curável à alta temperatura e resina fenólica curável à temperatura intermediária.

#### 3.4.3 Tempo de gelatinização “gel time”

É o tempo que uma determinada porção de resina leva para gelatinizar, ou seja, converte-se de líquido para sólido, submetida a uma determinada temperatura.

Para Iwakiri (2005), o tempo de “gel time” corresponde desde a preparação do adesivo para aplicação, que inclui as adições de catalisador, extensores, etc, até o ponto de endurecimento, ou fase de gel, quando atinge a máxima elasticidade.

A importância da velocidade está relacionada à vida útil do adesivo, quando se atinge o ponto de máxima viscosidade admissível para a sua aplicação. Está também relacionada à reatividade do adesivo, que por sua vez, influenciará no tempo de prensagem (ALBUQUERQUE et al., 2005).

#### 3.4.4 Viscosidade

A viscosidade é o grau de fluidez da resina, ou seja, caracteriza a existência de atrito entre moléculas de um fluido e que se manifesta através do escoamento.

Segundo Iwakiri (2005), a viscosidade pode ser utilizada também como critério de idade das resinas devido ao aumento de sua viscosidade, em função do tempo. Adesivos com alta viscosidade geram maior dificuldade de espalhamento devido à baixa fluidez, menor penetração na estrutura capilar da madeira, com a formação da linha de cola mais espessa, ocasionando ligação insuficiente no sistema madeira – adesivo e qualidade de colagem

inferior. Isso significa maior período de tempo em que o adesivo está armazenado, dimensionando assim sua “idade”. Na condição de baixa viscosidade, o adesivo pode apresentar maior penetração e sua absorção pela madeira também é maior, sendo que em situações extremas pode resultar em linha de cola faminta ou de absorção excessiva pela madeira.

#### 3.4.5 Teor de sólidos

O teor de sólidos é definido como a quantidade de sólido contido na resina. A resina é composta por sólidos e líquidos voláteis (constituídos de solventes orgânicos). Com a prensagem a quente, ocorre a evaporação dos componentes líquidos e a solidificação da resina, formando a linha de cola, que é responsável pela ligação entre os substratos e a transferência de tensões geradas no sistema madeira. (IWARIKI et al., 2005).

### 3.5 PRODUÇÃO DE LÂMINAS E DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

#### 3.5.1 Aquecimento das toras

O cozimento tem sido o tratamento mais empregado antes das toras serem laminadas. O aquecimento combinado com alto teor de umidade tem um efeito de tornar a madeira mais macia, deixando-a mais flexível e diminuindo a ocorrência de fendilhamento. Lâminas mais uniformes e lisas podem ser produzidas se a madeira for previamente aquecida, facilitando no processo de laminação, principalmente em madeiras de média a alta densidade.

Fatores como tempo de cozimento das toras, teor de umidade e temperatura no ato da laminação, regulagem do torno, massa específica da madeira e manutenção do torno (como a substituição das facas no tempo correto) influencia diretamente na qualidade das lâminas. Devido ao amolecimento dos nós, o aquecimento melhora a vida da faca e diminui a rugosidade das lâminas em torno dos nós.

Segundo Medina (1996), o tempo de cozimento depende diretamente da massa específica básica da madeira, do diâmetro das toras e da temperatura do vapor. O autor esclarece que do ponto de vista econômico, o maior ganho com o aquecimento de toras foi o incremento do rendimento em termos de qualidade.

INTERAMNENSE (1998) cita que um controle preciso na uniformidade da espessura das lâminas na laminação faz-se necessário para que se possa ter uma colagem eficiente, um lixamento controlado e um maior controle na espessura final do painel compensado.

Quando o acabamento da superfície da lâmina não é muito importante, como para compensados estruturais ou para embalagens, muitas vezes o cozimento pode ser desnecessário (UMAÑA e BRITO, 2004).

### 3.5.2 Processo de laminação

Existem basicamente dois tipos de cortes que são empregados na produção de lâminas: corte radial aos anéis de crescimento e corte tangencial aos anéis de crescimento. O equipamento usado é torno desenrolador, classificado em dois tipos: torno com fuso, no qual as toras são fixadas por garras nas duas extremidades da tora que exercem o movimento de rotação contra o gume da faca e torno sem fuso que possui sistema centrador e carregador automático das toras, possibilitando melhor rendimentos na obtenção de lâminas. Ambos os equipamentos são utilizados para produção de lâminas para compensado. As toras destinadas à faqueadeira são normalmente transformadas em blocos ou pranchões e após são laminadas através de cortes planos. Este equipamento é utilizado exclusivamente para produção de lâminas destinadas às faces dos compensados decorativos.

Segundo Iwakiri (2005), cerca de 90% da produção de lâminas para compensado são produzidas em torno desenrolador através do processo de desenrolamento ou desfolhamento da tora.

De acordo com Umaña e Brito (2004), fatores como a temperatura, o tempo de cozimento de toras, o teor de umidade, a regulagem do torno, a substituição das facas em tempo certo, a qualidade da tora e a densidade da madeira entre outros, influenciam diretamente na qualidade das lâminas.

Numerosos defeitos podem aparecer durante a produção de lâminas, tais como: manchas superficiais devido à presença de fungos atribuída às condições inadequadas de armazenamento, desuniformidade de espessura causada pelo ângulo da faca menor que o recomendado, aspereza da superfície quando há desgaste na faca, lâminas rugosas que podem ser atribuídas à compressão insuficiente da barra de pressão, laminação de tora fria ou ainda a utilização de faca sem fio.

Segundo Pio (1995), os problemas mais frequentes encontrados durante o processo na laminação são lâminas felpudas, lâminas desbitoladas e lâminas escamosas. Estes problemas afetam diretamente a indústria de compensados, ocasionando baixa qualidade dos produtos e acúmulo de matéria-prima secundária, ou seja, consumo excessivo do adesivo e de lixas, material que tem influência considerável no custo do compensado.

### 3.5.3 Secagem das lâminas

Logo após a laminação o teor de umidade das lâminas é bastante elevado e pode variar desde 40% a 100%, em razão das condições impostas para a sua obtenção.

Para Iwakiri (2005), essa alta umidade das lâminas, além de ser indesejável para a colagem torna o material muito propício para o ataque de fungos. Para se evitar qualquer perda por defeitos e permitir sua rápida industrialização, a secagem das lâminas é fator de máxima importância e urgência.

O objetivo básico da secagem de lâminas é oferecer condições adequadas de colagem. Como a maior parte dos adesivos perde água durante seu endurecimento, quanto maior o teor de umidade da madeira maior o tempo necessário para a colagem. Para que a colagem em prensa quente seja eficiente utilizando adesivo uréia-formol, é necessário que o teor de umidade da madeira esteja entre 10 a 12%, no entanto a utilização de adesivo fenol-formol permite a colagem de lâminas com teor de umidade de 6 a 8%.

UMAÑA e BRITO (2004), mencionam diferentes processos de secagem de lâminas. O método mais empregado é de sistemas de movimentação de lâminas por esteiras ou rolos, em que as operações de carregamento e descarregamento são contínuas, sendo chamado de secagem artificial. Outro método utilizado por indústrias de pequeno porte é a secagem natural ou secagem ao ar livre. Neste caso, fator limitante são as condições climáticas do local, pois dependendo da temperatura e da umidade relativa do ar, o tempo de secagem, pode ser aumentado. As lâminas podem não atingir a umidade final adequada para colagem, além de propiciar o ataque de fungos.

Qualquer que seja o método utilizado para a secagem de lâminas, as indústrias devem ater-se as características final do produto. Para Interamnense (1998), independente do processo de secagem, as lâminas devem obter teor de umidade uniforme, sem alteração da

cor, livres de fendas e rachaduras, mínima contração e sem ondulações, proporcionando boas condições de colagem.

#### 3.5.4. Colagem de painéis de madeira compensada multilaminado

Tanto as madeiras de folhosas como as de coníferas, possuem elementos celulares para circulação de fluídos em seu interior. Os vasos nas folhosas e os traqueídes nas coníferas permitem a circulação da água e nutrientes do solo até a extremidade da planta e os raios permitem a difusão da água e nutrientes. Esses elementos tornam a madeira porosa, portanto quanto maior for a porosidade da madeira mais facilmente se processa a colagem. De acordo com Marra (1992), um bom processo de colagem dos painéis e a resistência da linha de cola estão atrelados à baixa massa específica e a alta permeabilidade da madeira.

A diferença de massa específica entre o lenho inicial e o lenho tardio em madeiras coníferas de rápido crescimento são fatores limitantes na colagem com lâminas destas espécies. Segundo Kollmann et al. (1975), a massa específica da madeira de coníferas está relacionada à porcentagem relativa e à variabilidade do lenho inicial e tardio.

A junção das lâminas ocorre pelo fato de nem sempre as lâminas apresentarem larguras finais da dimensão do painel. No entanto, essas lâminas são utilizadas normalmente para formação do miolo ou em algumas circunstâncias poderão ser utilizadas para formar a capa do compensado.

Para o sucesso de colagem de painéis de madeira é necessário conhecer a exigência em qualidade do produto final. Com base nessa informação se fará a escolha do adesivo mais adequado. A formulação do adesivo é definida em função do tipo de resina e dos níveis de qualidade requeridos do compensado. Segundo Iwakiri (2005), além da quantidade de cada um dos componentes da cola, alguns cuidados com o processo de aplicação são fundamentais para a produção de painéis de madeira. As principais fontes de variação e de controle da qualidade em um processo de colagem são quantidade de adesivo, distribuição uniforme, tempo de montagem, pressão específica e prensagem. Outro fator importante para a qualidade no processo de colagem é o monitoramento do tempo, que vai desde a aplicação do adesivo e montagem do painel até a prensagem. Espera-se que esse tempo não ultrapasse o recomendado pelo fabricante, haja vista que cada adesivo apresenta uma especificação de tempo em aberto.

Para as resinas a base de uréia-formaldeído a temperatura da prensa deve estar na faixa de 95 a 120 °C e, para resinas a base de fenol-formaldeído entre 125 a 150 °C. O tempo de prensagem é o tempo decorrido desde o fechamento da prensa até a sua abertura, e deverá ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura de 110 °C, permanecendo fechada durante o mínimo de três minutos. No entanto, quando não se disponibiliza de equipamentos para assegurar esta recomendação, segue a regra de que o tempo de permanência na prensa seja de 1 min/mm.

A pressão tem a função transferir o adesivo de uma lâmina para outra e assegurar um contato adequado entre as lâminas. Também proporciona a redução dos espaços vazios da madeira devido à compressão, melhorando a difusão de calor a partir da superfície até o centro do painel (IWAKIRI 2005).

Para Jankowsky (1980), a pressão é o fator que influencia diretamente na qualidade da colagem, pois proporciona o contato entre as peças a serem coladas. De acordo com o autor, sem a pressão correta não haverá uma boa união entre as peças, sendo aquela dependente de variáveis como densidade da madeira e dimensões das peças.

Segundo Iwakiri (2005), a pressão recomendada para prensagem de painéis constituídos de lâminas de madeira de baixa massa específica deve ser na faixa de 6 a 10 kgf/cm<sup>2</sup>, e para lâminas de madeira de maior massa específica, na faixa de 10 a 15 kgf/cm<sup>2</sup>. Para painéis constituídos de lâminas de várias espécies, a pressão deve ser regulada com base na espécie de menor massa específica.

No processo de colagem de painéis de madeira compensada muitas são as características que devem ser observadas como: a qualidade da madeira, a qualidade do rolo aplicador, a distribuição das linhas de cola, o controle da temperatura ao longo dos pratos e outras inúmeras variáveis que no dia-a-dia tornam-se essenciais para o controle da qualidade.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MODELO EXPERIMENTAL

Os painéis confeccionados variaram com os fatores; tipo de lâmina e teor de sólidos de adesivo, configurando assim um experimento fatorial. Para o fator teor de sólido na batida de cola, foram usadas três formulações de adesivo sendo com:

- 28% teor de sólido;
- 32% teor de sólido;
- 36% teor de sólido.

Para o fator composição de espécies, foram usados seis arranjos para os teores de sólidos de 28 e 32% e três arranjos para o teor de sólido 36%. Por motivo técnico ocorrido na prensa, não foi possível finalizar a prensagem dos painéis de composição pura para o teor de sólido de 36% na batida de cola. As composições dos painéis de madeira compensada foram estabelecidas pelo seguinte critério:

- *Eucalyptus saligna* (capa e miolo) puro;
- *Eucalyptus dunnii* (capa e miolo) puro;
- *Eucalyptus urograndis* (capa e miolo) puro;
- *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii* (capa e miolo) misto;
- *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus saligna* (capa e miolo) misto;
- *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis* (capa e miolo) misto.

A Tabela 4 ilustra os arranjos montados para cada teor de sólidos conforme modelo experimental com a descrição dos tratamentos. O modelo experimental contempla quinze tratamentos com três repetições, totalizando quarenta e cinco painéis.

**Tabela 4:** Delineamento experimental

Tratamentos	Composição das lâminas (Capa/Miolo)	Teor de sólidos	N. de painéis
T1	<i>E. saligna</i>	28	3
T2	<i>E. saligna</i>	32	3
T3	<i>E. dunnii</i>	28	3
T4	<i>E. dunnii</i>	32	3
T5	<i>E. urograndis</i>	28	3
T6	<i>E. urograndis</i>	32	3
T7	<i>E. saligna/E. dunnii</i>	28	3
T8	<i>E. saligna/E. dunnii</i>	32	3
T9	<i>E. saligna/E. dunnii</i>	36	3
T10	<i>E. urograndis/E. saligna</i>	28	3
T11	<i>E. urograndis/E. saligna</i>	32	3
T12	<i>E. urograndis/E. saligna</i>	36	3
T13	<i>E. dunnii/E. urograndis</i>	28	3
T14	<i>E. dunnii/E. urograndis</i>	32	3
T15	<i>E. dunnii/E. urograndis</i>	36	3
			<b>45</b>

#### 4.2. OBTENÇÃO DAS TORAS

O material utilizado neste trabalho foi obtido de plantios na região centro-sul do Estado do Paraná. Foram colhidas duas árvores de cada espécie, *E. saligna*, *E. dunnii* e *E. urograndis*, sendo utilizadas as duas primeiras toras de cada árvore, com 1,85 cm, para o processo de laminação.

Das extremidades de cada tora foram retirados discos, com cinco cm de espessura, para determinação da massa específica básica da madeira. Dos discos, foram retiradas duas cunhas, opostas entre si, e com ângulo de 30° para uso na determinação da massa específica básica. Essa determinação foi realizada com base na Norma NBR 7190 (ABNT, 1997) utilizando o método da balança hidrostática para obtenção do volume saturado.

#### 4.3. COZIMENTO DAS TORAS

O cozimento das toras foi realizado para amolecer as fibras da madeira, favorecendo o melhor acabamento nas superfícies das lâminas e facilitando no processo de laminação. Fatores como tempo de cozimento das toras, o teor de umidade e temperatura no ato da laminação, regulagem do torno, a massa específica da madeira, e a manutenção do torno como a substituição das facas no tempo correto influenciam diretamente na qualidade das lâminas.

As toras de *E. dunnii* por serem originárias de reflorestamento não comercial, sem devidas práticas silviculturais, foram destinadas à vaporização com intuito de aliviar as tensões de crescimento e elasticizar a madeira, favorecendo o melhor acabamento nas superfícies das lâminas e facilitando no processo de laminação. O tratamento foi realizado em câmara apropriada, durante um período de 12 horas, na temperatura de 70 a 80°C, com objetivo de aliviar as tensões e proporcionar melhor qualidade das lâminas. As toras de *E. saligna* e *E. urograndis*, obtidas de reflorestamento comercial, não foram submetidas ao processo de aquecimento sendo laminadas logo após o efetivo corte e traçamento.

#### 4.4. LAMINAÇÃO E SECAGEM

O processo de laminação das toras ocorreu em um torno laminador de marca Thons Benato, instalado na empresa Compensados Coloda ME, situada na cidade de Bituruna- PR. Foram processadas lâminas com dimensões de 1,70 cm de comprimento e espessura nominal de 2,2 mm.

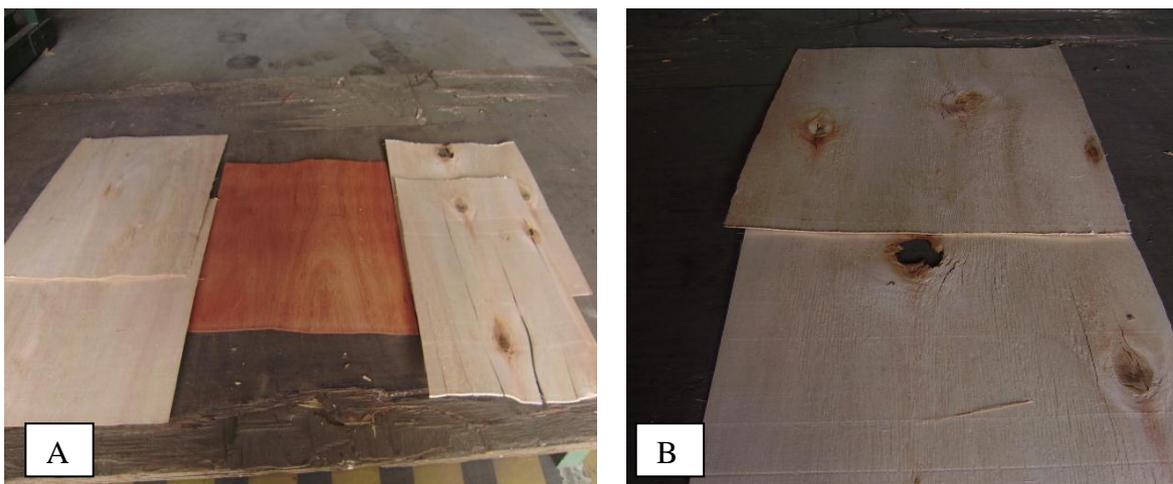
A regulagem do torno obedeceu aos seguintes parâmetros: ângulo de afiação da faca de 21°; ângulo da faca de 90°00' variando automaticamente para 89°00'; abertura horizontal de 1,8 mm e abertura vertical de 0,45 mm. A Figura 1 ilustra as etapas do processo de laminação efetuada neste estudo em processo industrial.



**Figura 1.** Laminação das toras. A) posicionamento da tora no torno; B) início da laminação; C) momento da laminação da tora; D) lâmina na esteira para guilhotinar.

Foi necessário traçar as toras para dimensão de 1,75 cm, haja vista a perda de 0,25cm de cada lado com o corte dos canivetes, e assim obter lâminas com comprimento nominal de 1,70cm. Após este processo, as lâminas foram separadas em três lotes de acordo com a espécie e posteriormente destinadas ao processo de secagem, sendo retiradas com umidade entre 6 a 8%.

A Figura 02 ilustra as amostras de lâminas secas por espécie. Podem-se observar as lâminas de espécie *E. dunnii* tiveram qualidade inferior em relação às outras duas espécies em estudo.



**Figura 2.** Qualidade das lâminas secas. A) Lâminas de *E. urograndis*, *E. saligna* e *E.dunnii*. B) Lâminas de *E. dunnii*.

#### 4.5. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

O adesivo utilizado foi fenol-formaldeído com parâmetros conforme laudo técnico específico do fornecedor da resina Tabela 5.

**Tabela 5.** Parâmetros técnicos do adesivo.

PARÂMETROS	RESINAS FENÓLICAS
Teor de Sólido (1g/3h/105°C)	48 – 51 %
Viscosidade Brokf (25°C)	400 – 800 cP
pH (25°C)	11,5 – 13,0
Gel Time	6 – 11 minutos
Massa específica (25°C)	1,19 – 1,25 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Momenitive, 2012.

A Tabela 6 ilustra a proporção de adesivo e extensor por teor de sólido. O preparo da cola teve mistura de resina com extensores de trigo e água, adaptando cada batida à formulação de teor de sólido para as três diferentes proporções:

- 28% teor de sólido na batida de cola
- 32% teor de sólido na batida de cola
- 36% teor de sólido na batida de cola

**Tabela 6.** Formulações das batidas de cola

Teor de sólido (%)	Adesivo (kg)	Trigo (kg)	Água (kg)	Total
28	5	2	1,75	8,75
32	5	1,5	1,12	7,62
36	5	1	0,75	6,75

A determinação do teor de sólidos da batida de cola é baseada no percentual de teor de sólidos da resina constante no laudo técnico do fornecedor. O cálculo do teor de sólido da batida de cola foi realizado conforme equação 1.

$$TSbc = \frac{(R \times TSr)}{(R+T+A)} \quad (1)$$

Onde:

TSbc = Teor de sólido da batida de cola (%);

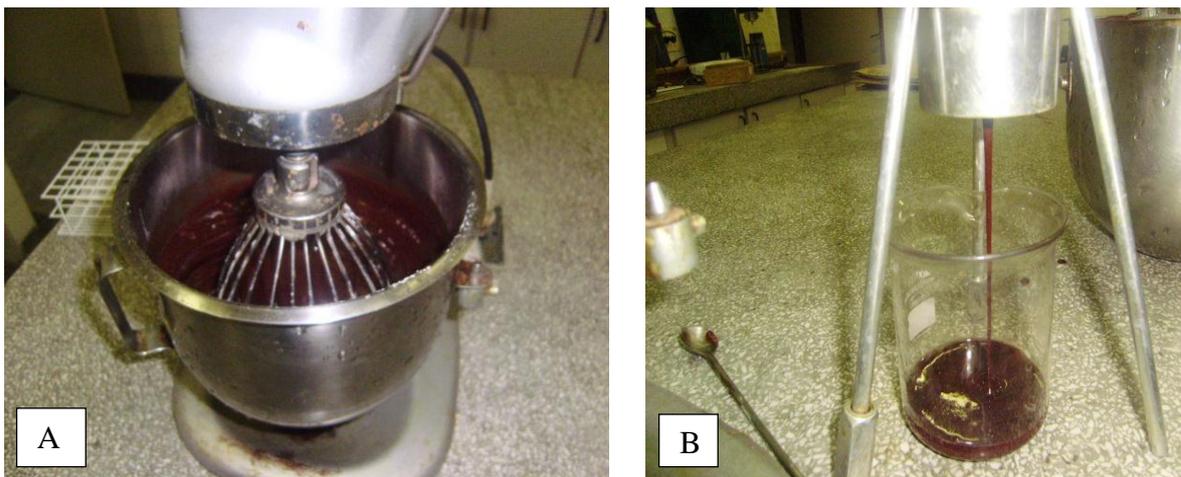
R = Resina (kg);

TSr = Teor de sólido da resina (%);

T = Trigo (kg);

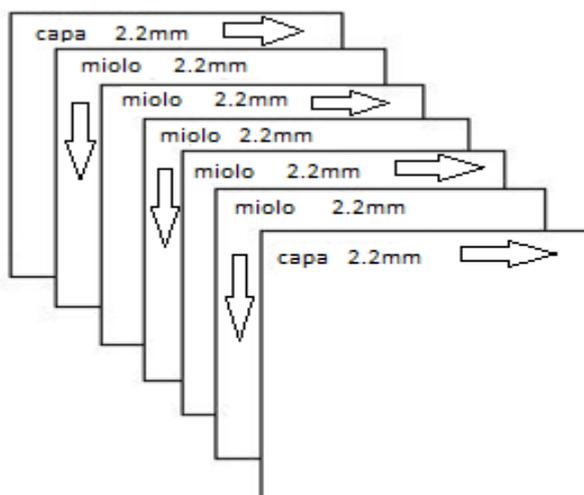
A = Água.

Para cada teor de sólido ilustrado na Tabela 6 foram efetuadas três batidas de cola utilizando batedeira elétrica para homogeneização do adesivo com o extensor. Para a determinação da viscosidade foi utilizado um copo Ford número 8 e um cronômetro, verificando-se que a viscosidade da cola ficou entre 42 a 53 segundos. Para determinação da gramatura foi utilizado uma balança digital. A gramatura dos painéis foi de 360 g/m<sup>2</sup> linha dupla, conforme ilustra a Figura 3.



**Figura 3.** Processo de preparo do Adesivo. A) Batida de cola; B) conferência da viscosidade.

Foram produzidos quarenta e cinco painéis de madeira compensada com espessura de 14 mm utilizando sete camadas de lâminas de madeira, com dimensões de 50 x 50 cm, composto por lâminas das espécies de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis* e mistura entre elas, conforme ilustra Figura 4.



**Figura 4.** Disposição das fibras e espessura das lâminas

O processo de manufatura dos painéis foi realizado no laboratório de Tecnologia da Madeira (UFPR). Para a confecção dos painéis foram utilizadas sete lâminas sobrepostas entre si de modo que a direção das fibras das lâminas ficasse perpendicularmente alinhada com a camada adjacente. Foi utilizado adesivo a base de fenol-formaldeído e o espalhamento da cola foi manual com auxílio de uma espátula.

Antes da prensagem propriamente dita, os painéis foram pré-prensados e, posteriormente, estabilizaram por um tempo de duas horas de montagem. A prensa utilizada tem pratos maciços, de marca Omeco, com dimensões de 50 cm x 50 cm. O processo de produção dos painéis é apresentado na Figura 5, que ilustra a medição da gramatura, o espalhamento de cola, pré-prensagem e montagem e, finalizando com a prensagem a quente.



**Figura 5.** Produção dos Painéis Compensados. A) medição de gramatura; B) aplicação da cola na lamina; C) pré-prensagem e montagem D) prensagem a quente.

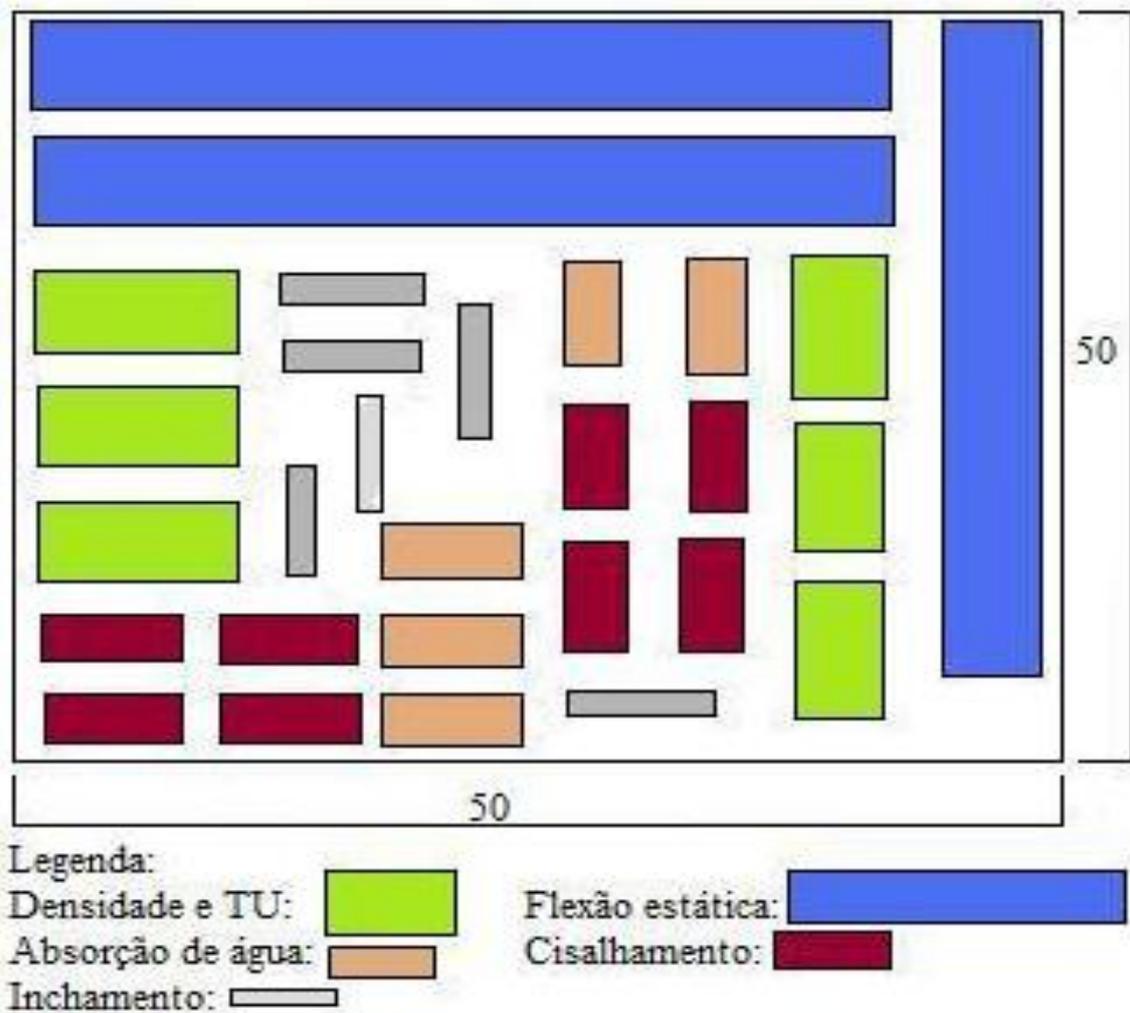
A pré-prensagem e montagem tem como função a transferência da cola de uma camada para outra, melhorando a distribuição do adesivo e manuseio dos painéis. O tempo de montagem e pré-prensagem foram entre vinte e vinte e cinco minutos. Logo após, os painéis foram prensados à temperatura de 130°C, com 12 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão e tempo de prensagem de 15 minutos, com tempo máximo de carregamento e calagem de dois minutos.

#### 4.5.1 Climatização dos painéis

Seguindo as recomendações da NBR 9489/86, os painéis confeccionados foram levados à câmara de climatização sob condições ambientais controladas (temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  a umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ ) com a finalidade de obter o teor de umidade adequado (umidade de equilíbrio). Após, foram esquadrejados para em seguida serem retirados os corpos de prova para os testes laboratoriais.

#### 4.5.2 Confeção dos corpos de prova

Após a climatização dos painéis e antes da confecção dos corpos de prova, os painéis foram esquadrejados, sendo eliminados 2,5 cm de cada lado. Em seguida foram cortados os corpos-de-prova, para posteriormente serem acondicionados em uma câmara climática à temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem umidade de equilíbrio à aproximadamente 12%, conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986). Os corpos de prova destinados aos ensaios de flexão estática e cisalhamento passaram por um processo de lixamento com a finalidade de tornar as superfícies lisas. A manufatura dos painéis e a confecção dos corpos de prova para a realização dos ensaios físicos e mecânicos foram efetuados no Laboratório de Painéis de Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba. Foram realizados cortes para obtenção de corpos-de-prova para os ensaios físicos de determinação da massa específica, determinação do teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura e para os ensaios mecânicos de flexão estática e cisalhamento na linha de cola. Os corpos-de-prova foram retirados da região central e das regiões laterais de cada painel, conforme esquema de corte apresentado na Figura 6.



**Figura 6.** Croqui de localização dos corpos-de-prova

#### 4.6 ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

Todos os ensaios foram realizados com base nas normas ABNT (2001), para madeiras compensadas, métodos de ensaios.

As amostras extraídas de cada painel foram submetidas aos ensaios físicos e mecânicos. Para avaliar a qualidade dos painéis produzidos, realizaram-se os ensaios físicos de teor de umidade, massa específica, absorção d'água e inchamento em espessura e os ensaios mecânicos de flexão estática e cisalhamento à linha de cola.

Os ensaios mecânicos foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL 30000, eletromecânica, capacidade 300 kN pertencente ao Laboratório de

Propriedades da Madeira da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), ilustrada na Figura 7.



**Figura 7.** Máquina universal de ensaios mecânicos.

#### 4.6.1 Determinação do teor de umidade

Por definição da ABNT, teor de umidade é a massa de água contida no compensado, expressa como uma porcentagem da massa seca. A umidade dos corpos-de-prova foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 9484/86, que corresponde ao teor de umidade de equilíbrio do compensado acondicionado na câmara de climatização, à temperatura de  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65\pm 5\%$ . Para este ensaio foram dimensionados seis corpos-de-prova por painel, com as seguintes dimensões: 100 x 50 mm. O teor de umidade foi calculado com a equação 2.

$$TU = \frac{MU - MS}{MS} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

TU= Teor de umidade (%);

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

Ms = Massa do corpo de prova após ser seco em estufa à (103±2)°C.

#### 4.6.2 Determinação da massa específica aparente

Segundo ABNT (1986) a massa específica aparente é a razão entre a massa, expressa em gramas, do corpo de prova e seu volume, em centímetros cúbicos, determinados na mesma condição de umidade. O método de determinação da massa específica aparente do compensado foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 9485/86. Os corpos-de-prova utilizados neste ensaio foram os mesmos do ensaio de determinação do teor de umidade. Eles foram acondicionados em uma câmara de climatização à temperatura de 20±1°C e umidade relativa de 65±5%. A massa específica aparente de cada corpo de prova foi determinada de acordo com a equação 3.

$$Mea = \frac{m}{c.l.e} \quad (3)$$

Onde:

Mea = Massa específica aparente (g/cm³);

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).

#### 4.6.3 Determinação da absorção d'água

Para a determinação da absorção em água (AA), procedeu-se conforme a norma ABNT NBR 9486/86. Os corpos-de-prova com dimensões de 75 x 25 mm foram secos em

estufa a uma temperatura constante de  $(50\pm 2)^{\circ}\text{C}$  e em seguida foram pesados. Posteriormente foram imersos em água por 24 horas e procedeu-se nova pesagem.

A absorção em água após 24 horas foi calculada de acordo com a equação 4.

$$A = \frac{M_f - M_i}{M_i} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

A = Quantidade de água absorvida (%);

M<sub>f</sub> = Massa final do corpo de prova (g);

M<sub>i</sub> = Massa inicial do corpo de prova (g).

#### 4.6.4 Inchamento (I) e Inchamento mais recuperação em espessura (IR)

Por definição da ABNT, o inchamento é o acréscimo da espessura do painel de compensado, quando submetido à absorção de água. Já a recuperação da espessura é a capacidade do painel de compensado de readquirir a espessura inicial após a imersão em água e posterior secagem.

Para determinação do inchamento e do inchamento mais recuperação da espessura, após a absorção de água pelo compensado, utilizou-se a norma ABNT NRB 9535/86.

Neste trabalho calculou-se o inchamento e o inchamento mais recuperação da espessura, após a absorção de água pelo compensado. Para isso, utilizou-se a norma ABNT NRB 9535/86, adaptada. Essa adaptação foi necessária, pois a equação de recuperação de espessura citada na referida norma não coincide com a definição dada na mesma norma. Assim, a equação de recuperação de espessura da norma NBR 9535/86 foi usada para expressar o inchamento em espessura.

De cada painel foram retirados seis corpos-de-prova, com dimensões de 60 x 10 mm, acondicionados em câmara climática a  $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$  e  $(65\pm 5)\%$  de umidade relativa. Estes corpos-de-prova foram separados em duas séries de dois, sendo uma série a de controle. Após a primeira medição de espessura, no centro de cada corpo-de-prova, os utilizados como controle foram secos em estufa a  $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$  por 24h, e medidos novamente. A outra série de corpos-de-prova foi imersa em água destilada a  $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$  por 24h. Após este período, os

corpos-de-prova foram medidos, secos em estufa a  $(103\pm 2)^\circ\text{C}$  por 24h, e medidos novamente. O I e IR foram calculados com as equações 5 e 6.

$$I = \left( \frac{e1 \cdot e5}{e2 \cdot e3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

I = Inchamento (%)

e1 = soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, climatizados (mm);

e2 = soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, secos em estufa (mm);

e3 = soma das espessuras dos corpos-de-prova antes da imersão em água (mm);

e5 = soma das espessuras dos corpos-de-prova após a imersão em água (mm).

$$IR = \left( \frac{e1 \cdot e4}{e2 \cdot e3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (6)$$

IR = Inchamento mais recuperação da espessura (%);

e4 = soma das espessuras dos corpos-de-prova, após a imersão em água, e posterior secagem em estufa (mm).

#### 4.6.5 Ensaio de resistência à flexão estática

O ensaio de flexão estática teve por finalidade avaliar a resistência do (MOR – Módulo de Ruptura) e a Rigidez a Flexão (MOE – Módulo de Elasticidade) do compensado, propriedades de maior importância para definição do uso construtivo e estrutural do painel. A rigidez é um indicador de resistência à deformação do material sob tensão, expressa em termos de módulo de elasticidade. Quanto maior o módulo de elasticidade menor é a deformação sob determinada tensão (MEDINA, 1986).

A determinação da resistência máxima à flexão estática dos painéis compensados

baseou-se na norma ABNT NBR 9533/86. Utilizaram-se três corpos-de-prova por painel, sendo alternados com comprimento na direção paralela à grã, e com comprimento na direção perpendicular à grã das lâminas externas. Os corpos-de-prova foram retirados dos painéis com largura de 75 mm e comprimento igual a 25 vezes o valor da espessura, acrescentado de 50 mm. Estes ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios, modelo EMIC DL 30000.

O Módulo de Ruptura (MOR) foi calculado através da leitura da carga máxima obtida na máquina de ensaio, pela equação 7.

$$MOR = \frac{3 \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot L}{2 \cdot l \cdot e^2} \quad (7)$$

Onde:

MOR = Módulo de ruptura (MPa);

F<sub>máx</sub> = Carga máxima (N);

L = distância entre os centros dos apoios (mm);

l = largura real do corpo-de-prova (mm);

e = espessura real do corpo-de-prova (mm).

E o Módulo de Elasticidade calculado pela equação 8.

$$MOE = \frac{L^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot l \cdot e^3 (S_2 - S_1)} \quad (8)$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade (MPa);

L = distância entre os centros dos apoios (mm);

l = largura real do corpo-de-prova (mm);

e = espessura real do corpo-de-prova (mm);

$F_2 - F_1$  = incremento de carga, no trecho reto da curva carga-deformação determinado em MPa, com precisão de 1%;

$S_2 - S_1$  = incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente à

$F_2 - F_1$ , determinado em mm, com precisão mínima de 0,01 mm.

#### 4.6.6 Ensaio de cisalhamento na linha de cola

O ensaio de cisalhamento na linha de cola é indicado para avaliação da qualidade da união colada em painéis compensados. Para valorização da qualidade da colagem, além da resistência da linha de cola, utiliza-se o aspecto externo da superfície de ruptura através de seus valores médios comparados com as exigências da norma de qualidade.

Os ensaios de resistência na linha de cola aos esforços de cisalhamento foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR ISO 12466-1:2006. Para os ensaios, foram confeccionados quatro corpos-de-prova de cada painel destinados ao teste úmido e mais quatro para o teste seco, não sendo possível executar o ensaio do teste úmido devido a destruição dos corpos-de-prova durante a fervura. A sequência de pré-tratamento seguida foi executada de acordo com a ABNT NBR ISO 12466-2, sendo os corpos-de-prova foram imersos em água durante 24 horas. O ensaio foi executado com os corpos-de-prova úmidos, sendo o excesso de umidade superficial removido. A Figura 8 ilustra o ensaio para resistência a linha de cola.



**Figura 8.** Ensaio de resistência ao esforço do cisalhamento na linha de cola.

O cálculo da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento na tração foi realizado de acordo com a equação 9.

$$Tr = \frac{F_{máx}}{a \cdot b} \quad (9)$$

Onde:

Tr = Tensão de ruptura (MPa);

F<sub>máx</sub> = carga de ruptura (MPa);

a = distância entre sulcos (cm);

b = largura do corpo de prova (cm).

#### 4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após finalizar a fase de experimentação, foi efetuada a análise estatística em cada conjunto de dados com a finalidade de verificar as diferenças existentes em cada um deles, e mostrar características que de alguma forma influenciaram nas propriedades dos painéis produzidos.

A análise das propriedades físicas e mecânicas dos painéis ocorreu em duas partes: análise dos tratamentos e análise de variância (ANOVA) fatorial, considerando os fatores misturas de espécies e teor de sólido da batida de cola, com 95% de significância.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

O valor médio da massa específica básica da madeira de cada tora foi calculado pela média ponderada em função do volume da tora. Os valores médios de cada tora e a média de cada espécie são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Valores de massa específica básica por tora e por espécie, com seus respectivos DAP's

Essência	Tora	Idade (anos)	Meb (g/cm <sup>3</sup> )	DAP (cm)
<i>E. saligna</i>	1	19	0,58	17,20
<i>E. saligna</i>	2	19	0,56	16,90
<i>E. saligna</i>	3	19	0,55	17,80
Média			0,56	17,30
<i>E. dunnii</i>	1	20	0,61	18,30
<i>E. dunnii</i>	2	20	0,58	17,60
<i>E. dunnii</i>	3	20	0,58	17,50
Média			0,59	17,80
<i>E. urograndis</i>	1	12	0,48	16,40
<i>E. urograndis</i>	2	12	0,49	15,80
<i>E. urograndis</i>	3	12	0,50	16,90
Média			0,49	16,37
			0,55	17,23

Notas: Meb: massa específica básica, DAP: diâmetro na altura do peito.

Segundo Walker (1993), citado por Almeida (2002), as espécies adequadas para laminação tendem a apresentar massa específica básica entre 0,38 a 0,70g/cm<sup>3</sup>, com preferência para aquelas com massa específica básica de 0,50g/cm<sup>3</sup>.

Com base nessa informação, pode-se dizer que a massa específica básica apresentada para o clone *E. urograndis* foi o que apresentou melhor média, porém as espécies *E. dunnii* e *E. saligna*, apresentaram médias de massa específica básica de madeira dentro do recomendado para laminação.

### 5.2 VISCOSIDADE DA BATIDA DE COLA

Os valores de viscosidade para cada batelada de cola produzida, por teor de sólido utilizado, são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Viscosidade da batida de cola por batelada

Teor de sólido (%)	Batelada	Tempo (segundos)
28	1	43''
28	2	45''
28	3	44''
32	1	45''
32	2	53''
32	3	46''
36	1	51''
36	2	48''
36	3	42''

Verificou-se que a viscosidade de todas as bateladas ficou dentro dos padrões estipulados no estudo e citados pela literatura. Se a viscosidade for baixa, haverá alta absorção do adesivo pela madeira, o que resultará em uma linha de cola faminta. Em caso de ser alta, poderá dar origem a uma linha de cola espessa, originando uma penetração insuficiente do adesivo na estrutura da madeira, não ocorrendo à interligação entre a cola e a superfície da lâmina ocasionando uma baixa qualidade de colagem.

### 5.3 MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS

Segundo Kollmann et al.(1975) citado por Almeida (2002), a massa específica do compensado depende da espécie da madeira, da umidade das lâminas, da temperatura e da pressão de prensagem utilizada na manufatura do painel, que é cerca de 5% a 10% maior do que a da madeira original, quando não se aplica pressões elevadas. A Tabela 9 apresenta as médias de massa específica e de teor de umidade dos painéis separadas por tratamento.

**Tabela 9.** Média e análise de variância da massa específica e teor de umidade por tratamento

Tratamento	Composição	Teor de sólido (%)	Mea (g/cm <sup>3</sup> )	TU (%)
T1	ES	28	0,8313 e	9,451 ab
T2	ES	32	0,8235 e	9,053 a
T3	ED	28	0,6682 ab	10,980 cdef
T4	ED	32	0,6714 ab	11,030 cdef
T5	EU	28	0,6054 a	10,178 bcd
T6	EU	32	0,6042 a	10,416 bcde
T7	ES/ED	28	0,6947 ab	10,731 bcde
T8	ES/ED	32	0,6324 ab	11,143 def
T9	ES/ED	36	0,6701 ab	11,468 f
T10	EU/ES	28	0,7504 cd	11,100 def
T11	EU/ES	32	0,7929 de	10,077 bc
T12	EU/ES	36	0,7713 de	10,755 cdef
T13	ED/EU	28	0,6231 a	11,415 ef
T14	ED/EU	32	0,6181 a	11,447 def
T15	ED/EU	36	0,6640 ab	10,68 cdef

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade de erro; TU: Teor de umidade; ES: *E. saligna*; ED: *E. dunnii*; EU: *E. urograndis* ES/ED: *E. saligna* e *E. dunnii*; EU/ES: *E. urograndis* e *E. saligna*; ED/EU: *E. dunnii* e *E. urograndis*.

Conhecer o valor da massa específica aparente é importante uma vez em que essa variável exerce influência sobre as demais propriedades físicas e mecânicas do compensado.

Analisando as médias de massa específica e teor de umidade na Tabela 9, verifica-se que os painéis produzidos com lâminas de *E. saligna* apresentaram valores de médias maiores para massa específica e menores para teor de umidade, porém quando produzidos com *E. urograndis* as médias de massa específica não diferiram estatisticamente entre si. Os painéis compostos por *E. urograndis* apresentaram valores de médias menores para massa específica e, quando produzidos com lâminas de *E. dunnii* apresentaram valores de médias maiores para teor de umidade.

Os painéis produzidos com *E. saligna* apresentaram médias maiores de massa específica aparente em relação aos outros painéis, embora a massa específica da madeira desse espécie tenha apresentado valores intermediários (Tabela 7). Os fatores anatômicos como dimensão das fibras, diâmetro dos vasos, volume dos raios e porosidade pode ter

ocasionado influência significativa nos resultados, além da massa específica do adesivo e condições de manufatura dos painéis.

Para Bortoletto Junior (2000), o uso de altas temperaturas na prensagem do painel provoca o amolecimento da lignina, resultando em redução da resistência à compressão perpendicular às fibras. A pressão de prensagem ocasiona compactação devido ao efeito de redução dos espaços vazios das células que compõem a madeira. Tal efeito provoca a redução de espessura das lâminas individuais ou do próprio painel que elas compõem, bem como o aumento da massa específica do compensado em relação à da madeira que lhe originou.

Confrontado os resultados encontrados para teor de umidade dos painéis, verifica-se que as médias encontram-se de acordo com o requisito máximo exigido pelo PNQM, que é de 18%.

#### 5.4 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL DOS PAINÉIS

Os valores médios para cada propriedade física (absorção d'água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura) são apresentados na Tabela 10 para cada tratamento efetuado neste estudo.

**Tabela 10.** Valores médios por tratamento para propriedades físicas

Tratamento	Composição	Teor de sólido (%)	AA (%)	I (%)	IR (%)
T1	ES	28	25,280	15,026	9,415
T2	ES	32	26,274	14,985	8,695
T3	ED	28	22,726	6,613	4,991
T4	ED	32	23,316	8,140	8,117
T5	EU	28	22,995	12,918	7,226
T6	EU	32	23,304	13,938	5,207
T7	ES/ED	28	24,075	10,486	9,793
T8	ES/ED	32	25,720	14,769	10,701
T9	ES/ED	36	26,321	13,066	9,373
T10	EU/ES	28	23,894	12,670	8,167
T11	EU/ES	32	22,749	13,688	7,458
T12	EU/ES	36	25,112	14,865	7,065
T13	ED/EU	28	23,977	13,477	7,479
T14	ED/EU	32	23,432	14,696	8,008
T15	ED/EU	36	22,460	12,290	6,974
CV (%)			8,2	22,74	22,45

Notas: AA: Absorção d'água; I: Inchamento em espessura; IR: Inchamento mais recuperação em espessura; ES: *E. saligna*; ED: *E. dunnii*; EU: *E. urograndis*; ES/ED: *E. saligna* e *E. dunnii*; EU/ES: *E. urograndis* e *E. saligna*; ED/EU: *E. dunnii* e *E. urograndis*.

Os valores das médias da absorção de água variaram de 22,460% (T15) à 26,321% (T9). Os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* apresentaram maiores valores

de médias, tanto em condição pura quanto em composição mista. Os valores médios encontrados para inchamento em espessura variaram de 6,613% (T3) à 15,026% (T1) e os valores de inchamento mais recuperação em espessura variaram de 4,991% (T3) à 10,701% (T8). Nota-se que a espécie de *Eucalyptus dunnii* apresentou menores valores de médias, tanto para inchamento em espessura quanto, para inchamento mais recuperação em espessura.

Para Medina (1896), durante a prensagem dos compensados se produz um incremento de massa específica e das tensões internas, fatos que afetam a estabilidade dimensional na direção da compressão em fase de posteriores variações de umidade, às quais o compensado pode ficar exposto. Quando o compensado absorve água e incha parte das tensões internas são liberadas e, devido a isso, quando o compensado é seco não retorna mais a sua espessura original.

Para essas propriedades analisadas não há padrão de referência especificado nas normas, no entanto os resultados encontrados foram próximos com os de Keinert Júnior e Interamnense (1994), que avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de *E.viminalis* e *E. robusta* para manufaturas de lâminas e compensados.

## 5.5 ANÁLISE FATORIAL PARA ESTABILIDADE DIMENSIONAL

A Tabela 11 apresenta as médias e o resultado da análise de variância dos efeitos dos fatores teor de sólidos e composição dos painéis, para ensaios de absorção de água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação.

Verificou-se que houve diferença estatística significativa entre as médias dos painéis produzidos com diferentes teores de sólido da batida de cola para inchamento em espessura e inchamento mais recuperação. Para o fator composição, houve diferença entre as médias para as três propriedades analisadas. Ainda, verificou-se que somente para a variável inchamento mais recuperação (IR) a interação entre os fatores teor de sólido e composição do painel foi estatisticamente significativa (ver anexo II).

**Tabela 11.** Média e análise de variância das propriedades físicas em função da composição do painel e do teor de sólidos

Fatores	Teor de sólido	AA	I	IR
		Média (%)	Média (%)	Média (%)
1	28	23,825 a	11,865 a	8,462 b
	32	24,133 a	13,369 b	7,414 a
Composição				
2	ES	25,777 a	15,006 b	7,202 ab
	ED	23,021 a	7,376 a	8,406 b
	EU	23,149 a	13,427 b	6,216 a
	ES/ED	24,897 a	12,627 b	10,247 c
	EU/ES	23,321 a	13,178 b	7,812 b
	ED/EU	23,704 a	14,086 b	7,743 b

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de F e para as composições, havendo diferença o Teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade de erro; AA: Absorção d'água; I: Inchamento em espessura; IR: Inchamento mais recuperação em espessura; ES: *E. saligna*; ED: *E. dunnii*; EU: *E. urograndis* ES/ED: *E. saligna* e *E. dunnii*; EU/ES: *E. urograndis* e *E. saligna*; ED/EU: *E. dunnii* e *E. urograndis*.

### 5.5.1 Absorção de água

O compensado quando absorve água provoca o inchamento em espessura e a liberação das tensões internas de compressão retidas após a prensagem que, por sua vez, influenciam a estabilidade dimensional da chapa (INTERAMNENSE 1998).

Para o fator teor de sólidos, a análise de variância mostrou que os níveis de teor de sólido na batida de cola não são estatisticamente diferentes, mostrando que as proporções de teor de sólido não influenciaram na variável absorção d'água.

No fator composição, também não há diferença estatística entre os tratamentos. Os resultados encontrados nesta pesquisa para absorção de água, comparados com a literatura, foram semelhantes aos encontrados por Dias (2005) em estudo Aplicação de Resina Poliuretana á Base de Mamona na Fabricação de Painéis de Madeira Compensada e Aglomerada.

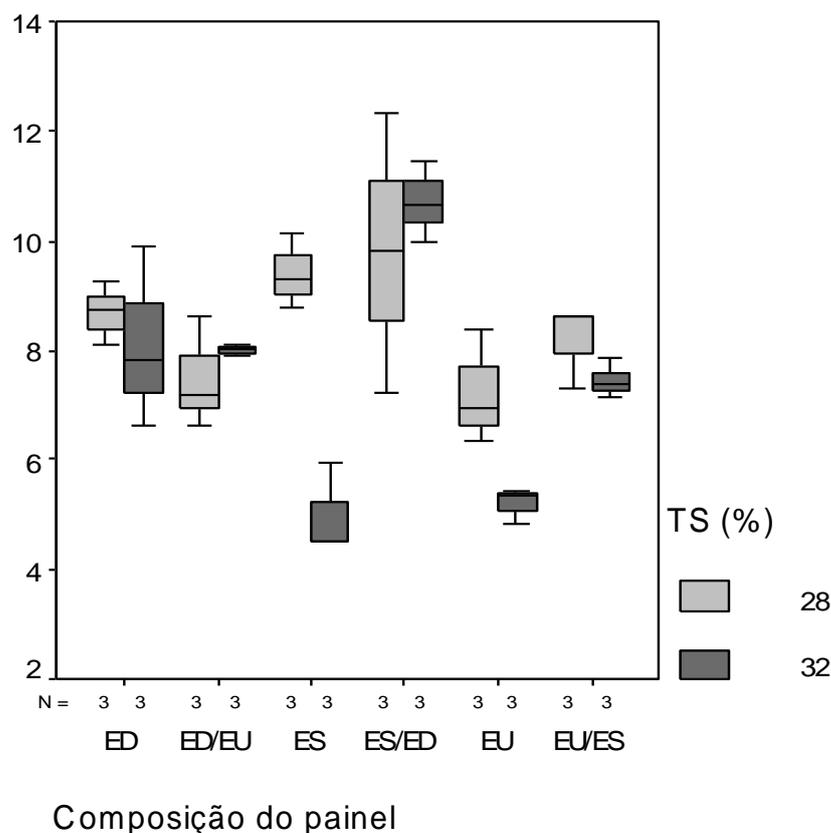
### 5.5.2 Inchamento (I) e Inchamento mais recuperação em espessura (IR)

Com relação ao inchamento em espessura (I), os painéis com teor de sólido da batida de cola de 28% apresentaram melhor resistência ao inchamento. Entre as misturas, a análise de variância mostrou que existem diferenças estatísticas significativas. A composição que apresentou menor valor de inchamento em espessura foi dos painéis produzidos com *Eucalyptus dunnii* e as que apresentaram maior valor de inchamento em espessura foram dos painéis produzidos com *Eucalyptus saligna*.

Para inchamento mais recuperação em espessura (IR), na comparação entre os dois níveis de teor de sólido na batida de cola, pôde-se perceber que houve diferença estatística significativa. A melhor média foi apresentada pelos painéis com teor de sólido de 32%. Para o fator 2, a análise de variância mostrou que existe diferenças estatísticas significativas. A melhor média foi apresentada pelos painéis de *Eucalyptus urograndis* (IR = 6,22%). Já os painéis compostos por *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii* apresentaram média de 10,25%. Este resultado é explicado pelo fato dos painéis de lâminas de *E. dunnii* apresentarem valor médio de massa específica intermediário em relação aos painéis de lâminas das demais espécies estudadas e, quando em mistura com a espécie *E. saligna*, apresentam maior valor da massa específica, mostrando que houve influência da massa específica e das propriedades anatômicas dessas espécies nas características dos painéis.

Nessa análise, as médias obtidas para as composições puras e mistas causam pouca diferença na estabilidade dimensional das chapas. A composição *E. saligna* apresentou maior valor de média que pode ser explicado pela maior massa específica apresentada por esses painéis.

Houve interação entre os fatores teor de sólido e composição do painel para a variável inchamento mais recuperação (IR), conforme Análise de Variância do Anexo II. Dessa forma, realizou-se uma análise da variação das médias de IR de cada teor de sólido em cada composição e uma análise da variação das médias de cada composição em cada teor de sólido que podem ser visualizadas nas Figuras 9 e 10, respectivamente.



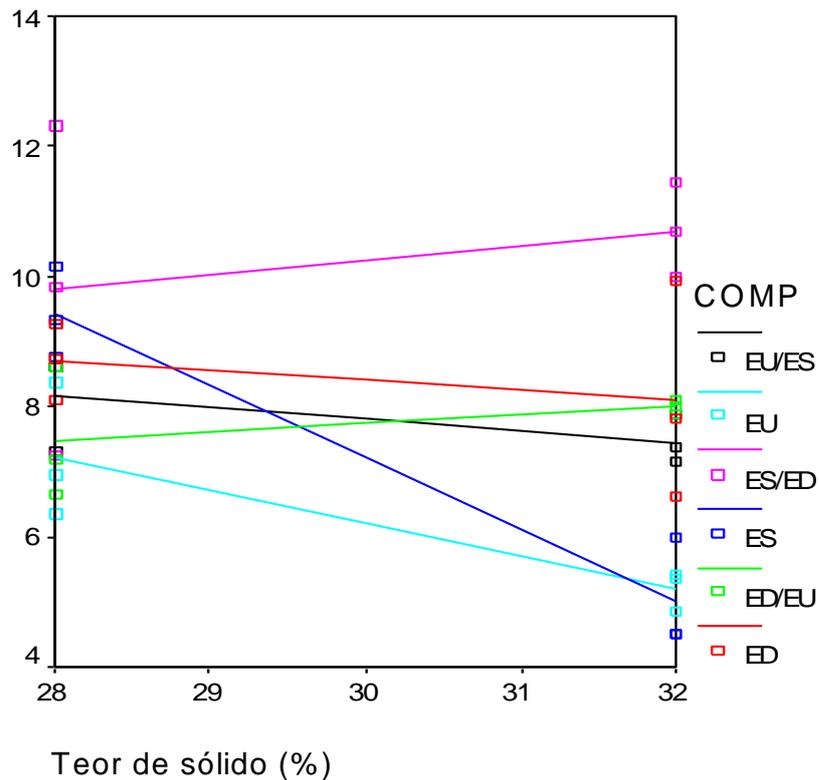
**Figura 9.** Variação das médias de IR de cada teor de sólido em cada composição dos painéis.

Notas: TS = Teor de sólido; ES = *E. saligna* ED = *E. dunnii*; EU = *E. urograndis*.

Analisando a Figura 9 é possível verificar que todos os painéis fabricados em composições puras (ED, ES, EU) apresentaram variação de IR semelhante, todos tendo maior IR para um menor teor de adesivo. Essa variação segue a lógica de que um maior teor de adesivo promoveu um menor valor de inchamento mais recuperação, que expressa o percentual de inchamento do painel após ter sido submetido à saturação por água e posterior secagem em estufa.

Por outro lado, para as composições mistas que continham lâminas de *Eucalyptus dunnii* a variação de IR não seguiu essa lógica, sendo que com o aumento do teor de sólido do adesivo de 28 para 32% ocorreu um aumento de IR. Ainda, pode-se também observar que a diferença de médias entre o IR dos teores de sólido de 28 e 32% é menor na composição ED,

em relação às composições ES e EU. Com isso, conclui-se que há uma influência das características das lâminas de *E. dunnii* que interferem no inchamento mais recuperação. Esse fato foi mais pronunciado nas composições mistas que usaram essa espécie, demonstrando que para as lâminas dessa espécie o teor de sólido de 32% não foi adequado.



**Figura 10.** Variação das médias de IR de cada composição dos painéis em cada teor de sólido.

Notas: ES = *E. saligna* ED = *E. dunnii*; EU = *E. urograndis*.

A análise da Figura 10 confirma a análise anterior de que para todas as composições puras um aumento do teor de sólido da batida de cola diminuiu o inchamento mais recuperação, pois todas as linhas de tendência mostram isso. A interação verificada entre os dois fatores nessa propriedade se deve à variação do IR para os painéis mistos que usaram lâminas de *E. dunnii* já discutida em relação à Figura 9.

Os resultados deste estudo para médias de inchamento em espessura e inchamento

mais recuperação em espessura, foram próximos aos encontrados no estudo realizado com *E.viminalis* e *E. robusta* por Keinert Júnior e Interamnense (1994).

MEDINA (1986), afirma que, ao aumentar o tempo de prensagem aumenta a compressão, e conseqüentemente aumentam as tensões internas. Assim, para tempos mais longos de prensagem serão encontrados maiores valores de inchamento mais recuperação em espessura. O tempo de prensagem para este estudo foi de 15 minutos para painéis com espessura dimensional de 14mm, o que pode ter contribuído para a boa performance dos painéis nessa propriedade.

KOLLMANN *et al.* (1975) citado por Pio (1996), afirmaram que para temperaturas de prensagem acima de 140° C o tempo de prensagem deixou de afetar significativamente o inchamento dos painéis, entretanto abaixo dessa temperatura um aumento do tempo de prensagem ocasionou uma diminuição do Inchamento. Nesse estudo, a temperatura de prensagem foi de 130°C.

## 5.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

Os valores médios para cada propriedade mecânica (cisalhamento, MOE e MOE à flexão estática) são apresentados na Tabela 12 para cada tratamento efetuado neste estudo.

**Tabela 12.** Valores médios por tratamento para propriedades mecânicas

Tratamento	Composição	Teor de sólido (%)	RLC (MPa)	FM (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
T1	ES	28	1,292	59,17	49,793	9031,945
T2	ES	32	1,567	70,83	39,271	6056,650
T3	ED	28	0,667	44,17	35,101	5884,370
T4	ED	32	0,792	40,00	28,546	5508,104
T5	EU	28	1,942	83,33	42,860	6075,153
T6	EU	32	2,133	84,17	42,923	6474,020
T7	ES/ED	28	1,133	51,67	31,600	5418,767
T8	ES/ED	32	1,567	54,17	41,545	6180,961
T9	ES/ED	36	1,017	55,00	33,828	6584,127
T10	EU/ES	28	2,900	85,00	50,038	7745,236
T11	EU/ES	32	1,733	80,83	47,161	6661,645
T12	EU/ES	36	1,817	77,5	46,692	7115,540
T13	ED/EU	28	1,433	70,83	45,720	7164,877
T14	ED/EU	32	1,808	83,33	40,067	5226,765
T15	ED/EU	36	1,383	71,67	48,731	6693,234
CV (%)			34,42	25,09	21,39	20,31

Notas: RLC: Ruptura à linha de cola; FM: Falha na madeira; MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidade; ES: *E. saligna*; ED: *E. dunnii*; EU: *E. urograndis*; ES/ED: *E. saligna* e *E. dunnii*; EU/ES: *E. urograndis* e *E. saligna*; ED/EU: *E. dunnii* e *E. urograndis*.

A Tabela 12 mostra que as médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola (RLC) variaram de 0,667 MPa (T3) à 2,900 MPa (T10). Os tratamentos que usaram lâminas de *Eucalyptus dunnii* apresentaram menores valores médios e, os painéis mistos de lâminas de *Eucalyptus urograndis*, *Eucalyptus saligna* apresentaram maiores valores médios de RLC.

Os resultados apresentados para resistência na linha de cola comparados com os parâmetros da norma europeia EN 314-2, mostraram que os tratamentos (T3 e T4), compostos por lâminas de madeira *Eucalyptus dunnii*, não atingiram o nível de exigência citada pela norma. A norma europeia relaciona o valor médio de RLC com o valor médio de percentagem de falha na madeira. Na medida em que aumenta o valor RLC, a exigência de falhas na madeira diminui, sendo que para valores iguais ou superiores a 1,0 MPa não há mais exigência para percentagem de falha na madeira.

Todos os demais tratamentos apresentaram valores médios de RCL e de falha na madeira acima dos parâmetros exigidos pela norma EN 314-2.

Nesta pesquisa, os resultados dos ensaios da tensão de ruptura na linha de cola (RLC) e do percentual de falha na madeira, obtidos no ensaio de resistência da colagem ao esforço de cisalhamento, foram realizados apenas para a condição seca. Isso porque os corpos-de-prova utilizados no ensaio úmido sofreram delaminação durante a fervura, comprometendo a execução do ensaio, e tendo de ser descartados.

PEREYRA (1994), em estudo sobre a utilização da madeira *Eucalyptus dunnii* na confecção de painéis compensados, concluiu que é possível produzir compensados a partir de madeira de *Eucalyptus dunnii* e que a espécie é de alto potencial de utilização como matéria-prima para essa finalidade. Entretanto, a colagem entre as lâminas apresentou pouca resistência à água, mesmo utilizando resina à base de fenol-formaldeído, o que levou o autor a concluir que o painel produzido em seu trabalho mostrou inadequado para uso externo.

Nesse estudo, da mesma forma, nenhuma composição apresentou painéis com condições de uso externo, tendo em vista que não é possível efetuar o ensaio de resistência na linha de cola após fervura.

Na Tabela 12, verificou-se que, tanto para os painéis de *Eucalyptus dunnii* (tratamento T4), quanto para os painéis com mistura de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*, (tratamentos T7 e T9) os valores médios de MOR à flexão estática foram inferiores em comparação com os demais tratamentos. Os valores médios obtidos para os tratamentos (T4, T7 e T9) foram mais baixos e semelhantes indicando uma tendência de redução dessa propriedade para os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus dunnii*. Essa diferença pode ser atribuída, em parte, aos menores valores médios de resistência da linha de cola dos painéis de *Eucalyptus dunnii* resultante da menor mobilidade do adesivo no processo de

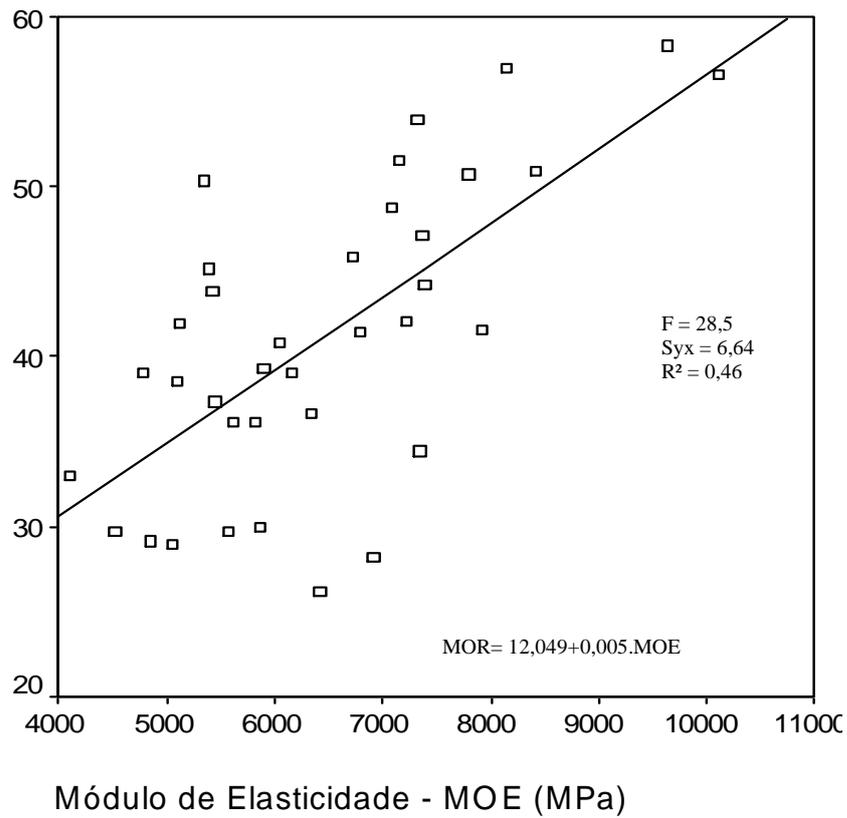
formação da ligação adesiva entre as lâminas, em função de sua massa específica e menor porosidade da sua madeira.

Os valores médios de MOR para os tratamentos (T4, T7 e T9) não atingiram os requisitos mínimos exigidos pela norma DIN 687292 (1979), para compensados de uso em forma de concreto.

A Tabela 12 mostra que as médias de módulo de elasticidade (MOE) variaram de 5226,765 MPa (T14) a 9031,945 MPa (T1). Os tratamentos que usaram lâminas de *Eucalyptus saligna* apresentaram maiores valores médios e, os painéis mistos de lâminas de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis* apresentaram menores valores médios de MOE.

Comprando os valores médios de módulo de elasticidade (MOE) com os parâmetros da norma DIN 687292 (1979), verifica-se que todos os tratamentos atingiram o nível mínimo de exigência citado pela norma, para compensados de uso em forma de concreto.

Verificou-se que há uma relação entre MOR e MOE. A Figura 11 apresenta o valor de médias do MOR em função do MOE, observados e ajustados por regressão linear. Pode-se visualizar graficamente que houve correlação significativa entre essas duas variáveis, onde o MOR pode ser estimado por regressão linear em função do MOE, com coeficiente de determinação igual 0,46, isso significa que 46% da variação do MOR é explicada pela variação do MOE, ou vice-versa.



**Figura 11.** Valores de MOR em função de MOE, ajustados por regressão linear.

### 5.7 ANÁLISE FATORIAL PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS

A Tabela 13 apresenta as médias e o resultado da análise de variância dos efeitos dos fatores teor de sólido da batida de cola e composição dos painéis para ensaios de resistência ao cisalhamento na linha de cola e flexão estática.

**Tabela 13.** Média e análise de variância das propriedades mecânicas em função da composição do painel e do teor de sólidos

Fatores	Teor de sólido	RLC	FM	MOR	MOE
		Média (MPa)	Média (%)	Média (MPa)	Média (MPa)
1	28	1,56 a	65,69 a	42,52 a	6886,72 a
	32	1,60 a	68,86 a	39,92 a	6018,02 a
Composição					
2	ES	1,43 ab	65,00 b	44,53 b	7544,29 b
	ED	0,73 a	42,08 a	31,82 a	5696,23 a
	EU	2,04 b	83,75 c	42,89 bc	6274,58 ab
	ES/ED	1,35 ab	52,91 a	36,57 ab	5799,86 a
	EU/ES	2,32 b	82,91 c	48,60 c	7203,44 b
	ED/EU	1,62 ab	77,08 c	42,89 bc	6195,82 ab

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de F e para o fator composição de espécies, havendo diferença o Teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade de erro. RLC: Ruptura à linha de cola; FM: Falha na madeira; MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidade ES: *E. saligna*; ED: *E. dunnii*; EU: *E. urograndis*. ES/ED: *E. saligna* e *E. dunnii*; EU/ES: *E. urograndis* e *E. saligna*; ED/EU: *E. dunnii* e *E. urograndis*.

### 5.7.1 Resistência ao Cisalhamento na Linha de Cola

Para resistência na linha de cola (RLC), a análise do fator teor de sólido da batida de cola mostra que os valores médios obtidos para as duas proporções não diferiram estatisticamente entre si. No entanto no fator composição os painéis com lâminas da espécie *Eucalyptus dunnii* apresentaram menor valor médio (RLC = 0,73Mpa), mas que não diferiu estatisticamente da maioria das outras composições, exceto a composição pura de *Eucalyptus urograndis* e a composição mista das espécies *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus saligna* que apresentaram maior valor médio de 2,32 Mpa mas que também não diferiram das demais composições. Vale ressaltar que a espécie *Eucalyptus urograndis* apresentou menor valor de médias para massa específica, no entanto, demonstrou maior valor para propriedade de resistência ao esforço de cisalhamento na linha de cola. Ao contrário para composição pura de *Eucalyptus saligna* que apresentou valores menores de RLC do que a composição pura de *Eucalyptus urograndis* sendo que a massa específica das duas espécies é semelhante. Neste caso outros fatores como extrativos, ph, características anatômicas podem ocasionar influência nos valores encontrados na Tabela 13.

De modo geral, os resultados indicaram que não houve influência dos diferentes teores de sólido da batida de cola (formulações com 28% e 32%). Essa constatação é muito importante sob o ponto de vista econômico, tendo em vista que a redução da proporção de resina fenol-formaldeído na composição da batida de cola não reduziu os valores de (RLC) dos painéis.

Os conceitos apresentados por Marra (1992) podem explicar as tendências observadas para manter a resistência da linha de cola com a redução do teor de sólidos da batida de cola, como relacionadas à redução na sua viscosidade, resultando em melhor “ancoragem” entre a linha de cola e a superfície de colagem das lâminas. Esse mesmo conceito da “ancoragem” pode ser aplicado para os painéis de *E. dunnii*, produzidos com lâminas mais densas, que apresentaram valores inferiores de resistência da linha de cola em comparação aos painéis de *E. urograndis*. Nesse caso, a madeira mais densa apresenta menor porosidade, prejudicando as ações de mobilidade do adesivo e o processo de “ancoragem” entre a linha de cola e as lâminas adjacentes.

### 5.7.2 Falha na madeira

Para falha na madeira (FM), a análise do fator teor de sólido da batida de cola mostra que os valores médios obtidos para as duas proporções não diferiram estatisticamente entre si.

A análise do fator composição mostra que os painéis compostos por lâminas da espécie *E. dunnii* apresentaram menor valor de média para falha na madeira. Os painéis compostos por lâminas da espécie *E. urograndis* apresentaram maior valor de média enquanto a composição pura de *E. saligna* apresentou valor de média intermediário. Tanto as composições puras, como as composições mistas, seguiram a mesma tendência verificada nas médias de RLC, mostrando que a massa específica da madeira e demais fatores como características anatômicas, pH e demais extrativos ocasionou influência significativa nos resultados encontrados no fator falha da madeira (FM), comprovando a semelhança nas médias de RCL.

Em geral, os valores médios apresentados pela Tabela 13 comparados com valores médios encontrados na literatura foram satisfatórios, atendendo os requisitos mínimos citados pela norma europeia EN 314-2 (1993).

### 5.7.3 Flexão estática (MOR – MOE)

A análise das médias de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, apresentados na Tabela 13, mostra que para o fator teor de sólido, não foram constatadas diferenças estatísticas significativas para os painéis produzidos com diferentes formulações do adesivo. Isso é importante sob o ponto de vista econômico, tendo em vista que dentro da faixa de teor de sólidos definida neste estudo, o aumento na proporção de resina fenol-formaldeído na batida de cola não resultou em aumento significativo da resistência dos painéis nos ensaios de flexão estática.

No fator composição, os painéis produzidos com lâminas de *E. urograndis* em mistura com *E. saligna* foram os que atingiram maior valor de médias para MOR, não apresentando diferença estatisticamente significativa das composições de *E. urograndis* puro. Isso demonstra uma forte influência positiva no MOR quando do uso das lâminas de *Eucalyptus urograndis* na composição dos painéis. Por outro lado, os painéis confeccionados com *E. dunnii* puro apresentaram o menor valor médio de MOR, que não diferiram estatisticamente da composição *E. saligna* x *E. dunnii*.

De acordo com trabalho sobre Produção de Paineis Compensados Estruturais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* apresentado por Iwariki (2006), constatou-se com relação ao MOR, que não houve diferença entre as médias obtidas para painéis produzidos com diferentes formulações de adesivo. Os painéis produzidos com lâminas da espécie *Eucalyptus dunnii*, apresentaram médias de MOR inferiores às mínimas estabelecidas pela norma DIN 68792 (1979), especificação de uso para forma de concreto.

De forma geral, verificou-se um desempenho inferior das lâminas da espécie *Eucalyptus dunnii* em todas as propriedades mecânicas, fato atribuído, em parte, por serem produzidas com madeira de qualidade inferior, extraída de floresta sem práticas de manejo.

As médias de módulo de elasticidade (MOE) apresentadas no fator composição mostram que os painéis de lâminas de espécie *E. saligna* apresentaram maior valor de médias, sendo que não houve diferença estatística dessa composição da maioria das demais, exceto das composições de *E. dunnii* puro e da mistura de *E. saligna* com *E. dunnii*. Essas composições apresentaram menor valor de MOE, que não diferiram estatisticamente da média de MOE dos painéis confeccionados com lâminas de *E. dunnii* x *E. urograndis*.

Os valores para módulo de elasticidade (MOE) apresentaram médias satisfatórias comparadas ao requisito mínimo exigido pela norma DIN 68792 (1979), especificação para uso de painéis forma de concreto. O desempenho atribuído à espécie *Eucalyptus dunnii*, também no MOE deve-se ao fato de ser produzido com lâminas de menor qualidade, devido a madeira ser extraída de floresta sem manejo adequado.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nas análises efetuadas e resultados obtidos durante o desenvolvimento desta pesquisa é possível apresentar as seguintes conclusões:

- Para as propriedades físicas no quesito absorção de água não houve influência dos índices de teor de sólido na batida de cola, no entanto para inchamento e inchamento mais recuperação em espessura houve influência da proporção de sólido na batida de cola, sendo que os painéis produzidos com 28% de teor de sólido incharam menos. Em relação às composições de espécies, os painéis produzidos com lâminas de madeira de *Eucalyptus dunnii* tiveram destaque, devido ao menor inchamento em relação à todas outras composições.
- Para as propriedades mecânicas, o teor de sólido do adesivo na batida de cola não influenciou estatisticamente nas propriedades, demonstrando que seu aumento não melhorou a resistência dos painéis. O fator composição dos painéis influenciou todas as propriedades analisadas, sendo que, de forma geral, verificou-se um desempenho inferior das lâminas da espécie *Eucalyptus dunnii*. Esse fato foi atribuído, em parte, por serem lâminas produzidas com madeira de qualidade inferior, extraída de floresta sem práticas de manejo.
- Em geral, os painéis atenderam os requisitos das normas usadas como padrão nas propriedades mecânicas, exceto os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus dunnii*, tanto puros como em misturas, que não atenderam os requisitos de resistência na linha de cola e de módulo de ruptura.
- Pode-se concluir que os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* e de *Eucalyptus urograndis* apresentaram bons resultados tanto no uso individual como em mistura com outras espécies.

Os resultados e conclusões obtidos neste trabalho permitem que sejam realizadas as seguintes recomendações:

- Testar o uso de maior teor de sólido ativo na batida de cola e maior quantidade de cola para painéis produzidos com lâminas de espécie *Eucalyptus dunnii*, com o intuito de aumentar os valores médios de MOR e MOE e atender os padrões de qualidade internacionais.

- Analisar outras variáveis na manufatura dos painéis e, testar o uso de lâminas de *Eucalyptus sp* em misturas com outras espécies (exóticas e nativas), com o objetivo de aumentar a qualidade da colagem e produzir painéis com características para uso externo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

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

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

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/CB-31 – Projeto de Normas 31:000.05.001/1. Chapas de madeira compensada. 2001.

ALBUQUERQUE, C.E.C. de; IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S. Adesão e adesivos. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. p. 1-30.

ALBUQUERQUE, C.E.C. Da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revista da Madeira**, n.45, p.26-28, 1999.

ALMEIDA, R.R. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de lâminas e manufaturas de painéis compensado.** Piracicaba, 2002. 97p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo.

ALZATE, S.B.A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla*.** 2004. 133p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ANDRADE, M. **Manual de Técnicas de Colagem de Madeira com Resinas Ureicas e Fenólicas.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Programa nacional da qualidade da madeira tropical e pinus.** Disponível em: <http://www.abimci.com.br>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial**. Curitiba. ABIMCI, 2004.

ASSIS, T. F. Aspecto do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Workshop...** Viçosa: DEF/SIF/UFV/IEF, 1999 p 61 - 72.

BARRICHELO, L.E.G. e BRITO, J.O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel**. Brasília, PRODEPEF, 1976. 145p. (Série Divulgação, 13).

BRASIL. M.A.M. e FERREIRA. 1971. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. Revista IPEF. Piracicaba. S.P. 2/3: 129-149.

BAENA, E. S. Aspectos econômicos, sociais e ambientais da cultura de *Eucalyptus* spp. In: **I Encontro Sobre o Plantio e Manejo de *Eucalyptus* no Norte Pioneiro**, 2007. Disponível em <http://www.forestbrazil.com.br/portal/artigos.php>. Acesso em maio de 2012.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.337-343. Acesso em junho de 2010.

CARVALHO, A.M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. Piracicaba, 2000. 128p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo.

COMPENSADOS. IN: SEMINÁRIO DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS TROPICAIS DE POVOAMENTOS ARTIFICIAIS NA INDÚSTRIA MADEIREIRA. Curitiba, 1998. **Anais**. Curitiba: FUPEF, 1978. p. 71-79.

CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*. 1997: Salvador. **Proceedings**, Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p.106-110.

COSTA. A.J. **Qualidade da madeira de *E. urograndis* plantado no Distrito Federal, para a produção de celulose Kraft**. Universidade de Brasília. Brasília, fevereiro – 2011 (Dissertação de Mestrado).

COZZO, D. e RODRIGUEZ, E.M. - Anatomia comparada de la mader de 14 espécies de ***Eucalyptus*** cultivadas en la Argentina. **Revista de la Facultad de Agronomia y Veterinaria**, Buenos Aires, 14: 416-44, 1959.

CRUZ, F. **Encurralados pelo eucalipto.** 2007. Disponível em [http://www.asabrazil.org.br/portal/Informacoes.asp?cod\\_menu=1520](http://www.asabrazil.org.br/portal/Informacoes.asp?cod_menu=1520) Acesso em 10 de novembro de 2011

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba (SP), 64: 33-37, 2003.

DEUTSCHES INSTITUIT FÜR NORMUNG. **Large are stuttering panels of veneer plywood for concrete and reinforced concrete.** Berlin: Beuth Verlag, 1979 (DIN 68792).

DOWNES, G. M. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties.** Australia: CSIRO Publishing, 1997. 132 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná.** Brasília, 1986, 89p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 17).

EN 314-2: 1996 Colagem do compensado de madeira – Qualidade – Parte 2: Exigências de Teste. European Standard (versão portuguesa), Bruxelas 1996.

EN 310:1993 Painéis derivados de madeira – Determinação do módulo de elasticidade European Standard (versão portuguesa), Bruxelas 1993.

EUCALYPTUS.1997: Salvador. **Procedimento**, Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p.106-110.

F.A.O. **El eucalipto en la repoblacion forestal.** Roma, 1981. 723 p FERREIRA. M. Estudo da variação da densidade básica da madeira em povoamentos de **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden. Tese de Livre-Docência. E.S.A. «Luiz de Queiroz». USP. Piracicaba. SP,1970. 62pp.

FERREIRA, M. **Escolha das espécies de eucaliptos.** Circular técnica IPEF, v. 47,p.130,1979.Disponível em:<<http://www.ipef.com.br/especies/deseucaliptos.html>>Acesso em 22 jan. 2012.

GOUVEA, C.F; MORI, E.S. Seleção fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTS*, Salvador, 1997. **Anuais**. Colombo: EMBRAPA, CNPQ, 1997. v. 1, p.355-360.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS: Salvador,1997 **Procedimento**, Colombo: EMBRAPA-CNPQ. p.106-110.

INTERAMNENSE, M. T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL), *Eucalyptus maculata* (HOOK) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para produção de painéis compensado.** Tese de Mestrado em Ciências Florestais, apresentado à Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1998. Acesso em julho de 2010

IWAKIRI, S. **Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*.** Disponível em: <http://www.bioline.org.br/request?cf06040> Acesso em 13 de julho de 2010.

IWAKIRI, S.; PRATA, G. J. Produção de painéis compensados multilaminados de *Eucalyptus*. Disponível em: <http://www.guiaflorestal.com.br/index.php?pg=lerartigo&id=81> Acesso em maio de 2012.

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

IWAKIRI, S. **Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, 2007.

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.

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 **Circular Técnica** nº 124 IPEF Instituto de pesquisas e estudos florestais. Dezembro/1980.

KEINERT Jr, S. e INTERAMNENSE, M.T. **Laminação , produção e testes de compensados a partir de *Eucalyptus spp*.** Relatório de projeto de pesquisa apresentado ao CNPq. 94 p. Curitiba, PR, 1994.

KOEHLER, H.S. **Estatística Experimental** Curitiba UFPR, 200.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, v. 10, n.3, p.61- 119, 1987.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica (RJ), v. 07, n. 01, p. 279-291, 2000.

LOBÃO, M.S. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

MACRAE, S.; VAN STADEN, J. *In vitro* culture of *Eucalyptus grandis*: effect of gelling agents on propagation. **Journal of Plant Physiology**, v.137, p.249-251, 1990.

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 elliotti* i Engelm.** Tese de Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1986.

MACHADO, F. A. **Silvicultura, plantio de eucalipto** *In:* Revista da Indústria e da Madeira. Ano X, nº 94. Curitiba: Editora Jota, agosto/2009.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MORA, A.L; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** São Paulo: SBS, 2000.112.p

NOACH, D; OLIVEIRA, J.G. Problemas com utilização de madeiras folhosas e tropicais e madeiras de povoamentos artificiais de rápido crescimento na indústria de aglomerados e programa de melhoramento de *Eucalyptus* spp na Rigesa. *In:* SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, 1988, Curitiba. **Anais.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. p. 155-161.

OLIVEIRA, A.D. Determinação da variação dimensional da madeira em clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 90 meses de idade. **IUFRO: CONFERENCE on silviculture and Improvement of Eucalypt.** Salvador. ANUAIS...Colombo: EMBRAPA/CNPF. v. 3, p. 118-125, 1997.

OLIVEIRA, J.T.S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da Pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hill).** 1988. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

PALMA, H. A. L., **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.,** Curitiba. 1994. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná.

PEREYRA, O. **Avaliação de madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensado.** Piracicaba, 1994. 87p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.

PIO, N. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-Cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados.** Tese (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1995.

RECH, C. **Descrição de algumas espécies de eucalipto.** *In:* Revista da Madeira. Edição Especial. Curitiba: Lettech Editora e Gráfica LTDA, 2003.

RECH, C. **Plantações de eucalipto no Brasil.** *In:* Revista da Madeira. Ano 18, nº. 107. Curitiba: Lettech Editora e Gráfica LTDA, setembro/2007.

REVISTA DA MADEIRA. No eucalipto a opção de futuro. n. 31. p.36-39. 1997.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**. 2.ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1971.

SALVADOR, N. **Madeira de eucalipto**. Disponível em <http://salvador.olx.com.br/dormentes-toretetes-postes-toras-de-eucalipto-disponiveis-inclusive-citriodoro-iid-21185840> Acesso em; 22 de julho de 2010.

SEVERO, E.T.D & TOMASELLI, I. Vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii* de duas procedências. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 29-32, 2000.

SEVERO, E.T.D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. 1998, 200p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 54, p. 55-68, 1998.

SILVA, J. C. Novos valores estimulam consumo da madeira de reflorestamento. **Visão agrícola**, Piracicaba - SP, v. 4, n. 2, p. 112-113, 2005.

TOMASELLI, I.; SCHEFFER, L.F. A reação do compensado. **Revista da madeira**, n.45, p. 10-14, 1999.

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

VELÁSQUEZ, J. **Entrevista a Robert Barnden**. 25 de abril de 2006. Disponível em <http://www.celuloseonline.com.br/Entrevista/Entrevista.asp?IDEntrevista=223&iditem=> Acesso em: 13 de julho de 2010.

VALE A.T. Densidade básica média, em função da profundidade de penetração do pino do “Pilodyn” e da classe diamétrica, e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 19, n. 1, p. 80- 91, 1995.

VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.

ZUGMAN, I.C. Estrutura das indústrias e comércio de madeira compensada e laminada no Brasil e no mundo. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS DE SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA. Belo Horizonte, 1998. **Anais**. Belo Horizonte: SIF; UFV; DEF. 1998. p. 49-54.

# **ANEXO I**

**ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE DE DUNCAN  
DA MASSA ESPECÍFICA E UMIDADE DOS PAINÉIS COMPENSADOS**

**ANOVA**

MEA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,263	14	,019	15,050	,000
Within Groups	,037	30	,001		
Total	,301	44			

**MEA**

Duncan<sup>a</sup>

TRAT	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
6	3	,6042				
5	3	,6054				
14	3	,6181				
13	3	,6231				
8	3	,6324	,6324			
15	3	,6640	,6640			
3	3	,6682	,6682			
9	3	,6701	,6701			
4	3	,6714	,6714			
7	3		,6947	,6947		
10	3			,7504	,7504	
12	3				,7713	,7713
11	3				,7929	,7929
2	3					,8235
1	3					,8313
Sig.		,054	,065	,063	,173	,065

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

ANOVA

TU

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	122,615	14	8,758	11,119	,000
Within Groups	200,860	255	,788		
Total	323,474	269			

TU

Duncan

TRAT	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
2	18	9,0528					
1	18	9,4515	9,4515				
11	18		10,0767	10,0767			
5	18		10,1778	10,1778	10,1778		
6	18		10,4160	10,4160	10,4160	10,4160	
15	18			10,6785	10,6785	10,6785	10,6785
7	18			10,7315	10,7315	10,7315	10,7315
12	18			10,7550	10,7550	10,7550	10,7550
3	18			10,9800	10,9800	10,9800	10,9800
4	18			11,0299	11,0299	11,0299	11,0299
10	18				11,0995	11,0995	11,0995
8	18				11,1436	11,1436	11,1436
14	18				11,1467	11,1467	11,1467
13	18					11,4154	11,4154
9	18						11,4682
Sig.		,991	,081	,090	,078	,058	,330

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 18,000.

## **ANEXO II**

**ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE DE DUNCAN  
DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL DOS PAINÉIS COMPENSADOS**

## Univariate Analysis of Variance – Absorção d'água

### Between-Subjects Factors

		N
COMP	ED	6
	ED/EU	6
	ES	6
	ES/ED	6
	EU	6
	EU/ES	6
TS	28	18
	32	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ABS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	45,758 <sup>a</sup>	11	4,160	1,069	,424
Intercept	20699,362	1	20699,362	5320,117	,000
COMP	37,135	5	7,427	1,909	,130
TS	,853	1	,853	,219	,644
COMP * TS	7,770	5	1,554	,399	,844
Error	93,379	24	3,891		
Total	20838,499	36			
Corrected Total	139,137	35			

a. R Squared = ,329 (Adjusted R Squared = ,021)

### TS

Dependent Variable: ABS

TS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
28	23,825	,465	22,865	24,784
32	24,133	,465	23,173	25,092

### ABS

Duncan<sup>a,b</sup>

COMP	N	Subset	
		1	2
ED	6	23,0215	
EU	6	23,1500	
EU/ES	6	23,3219	23,3219
ED/EU	6	23,7043	23,7043
ES/ED	6	24,8977	24,8977
ES	6		25,7773
Sig.		,152	,058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3,891.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b. Alpha = ,05.

## Univariate Analysis of Variance – Inchamento em espessura

### Between-Subjects Factors

		N
COMP	ED	6
	ED/EU	6
	ES	6
	ES/ED	6
	EU	6
	EU/ES	6
TS	28	18
	32	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: INCH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	254,195 <sup>a</sup>	11	23,109	5,948	,000
Intercept	5730,964	1	5730,964	1475,160	,000
COMP	217,838	5	43,568	11,214	,000
TS	20,366	1	20,366	5,242	,031
COMP * TS	15,991	5	3,198	,823	,545
Error	93,239	24	3,885		
Total	6078,398	36			
Corrected Total	347,434	35			

a. R Squared = ,732 (Adjusted R Squared = ,609)

### TS

Dependent Variable: INCH

TS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
28	11,865	,465	10,906	12,824
32	13,369	,465	12,410	14,328

### INCH

Duncan<sup>a,b</sup>

COMP	N	Subset	
		1	2
ED	6	7,3762	
ES/ED	6		12,6277
EU/ES	6		13,1787
EU	6		13,4279
ED/EU	6		14,0865
ES	6		15,0061
Sig.		1,000	,071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed  
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3,885.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b. Alpha = ,05.

## Univariate Analysis of Variance – Inchamento mais recuperação

### Between-Subjects Factors

		N
COMP	ED	6
	ED/EU	6
	ES	6
	ES/ED	6
	EU	6
	EU/ES	6
	TS	28
	32	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: IR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	93,026 <sup>a</sup>	11	8,457	7,136	,000
Intercept	2268,511	1	2268,511	1914,260	,000
COMP	54,644	5	10,929	9,222	,000
TS	9,899	1	9,899	8,353	,008
COMP * TS	28,482	5	5,696	4,807	,003
Error	28,441	24	1,185		
Total	2389,978	36			
Corrected Total	121,467	35			

a. R Squared = ,766 (Adjusted R Squared = ,659)

### TS

Dependent Variable: IR

TS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
28	8,463	,257	7,933	8,992
32	7,414	,257	6,884	7,943

### IR

Duncan<sup>a,b</sup>

COMP	N	Subset		
		1	2	3
EU	6	6,2167		
ES	6	7,2028	7,2028	
ED/EU	6		7,7436	
EU/ES	6		7,8127	
ED	6		8,4060	
ES/ED	6			10,2470
Sig.		,130	,091	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed  
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,185.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b. Alpha = ,05.

## **ANEXO III**

ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE DE DUNCAN  
DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS

## Univariate Analysis of Variance - Cisalhamento

### Between-Subjects Factors

		N
COMP	ED	6
	ED/EU	6
	ES	6
	ES/ED	6
	EU	6
	EU/ES	6
	TS	28
	32	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CISAL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12,046 <sup>a</sup>	11	1,095	1,831	,104
Intercept	89,934	1	89,934	150,403	,000
COMP	9,319	5	1,864	3,117	,026
TS	,014	1	,014	,023	,881
COMP * TS	2,713	5	,543	,907	,493
Error	14,351	24	,598		
Total	116,330	36			
Corrected Total	26,396	35			

a. R Squared = ,456 (Adjusted R Squared = ,207)

### TS

Dependent Variable: CISAL

TS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
28	1,561	,182	1,185	1,937
32	1,600	,182	1,224	1,976

### CISAL

Duncan<sup>a,b</sup>

COMP	N	Subset	
		1	2
ED	6	,729	
ES/ED	6	1,350	1,350
ES	6	1,429	1,429
ED/EU	6	1,621	1,621
EU	6		2,038
EU/ES	6		2,317
Sig.		,078	,062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,598.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b. Alpha = ,05.

## Univariate Analysis of Variance - Falha na Madeira

### Between-Subjects Factors

		N
COMP	ED	6
	ED/EU	6
	ES	6
	ES/ED	6
	EU	6
	EU/ES	6
TS	28	18
	32	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DESFR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9250,521 <sup>a</sup>	11	840,956	8,439	,000
Intercept	163014,063	1	163014,063	1635,821	,000
COMP	8749,479	5	1749,896	17,560	,000
TS	91,840	1	91,840	,922	,347
COMP * TS	409,201	5	81,840	,821	,547
Error	2391,667	24	99,653		
Total	174656,250	36			
Corrected Total	11642,188	35			

a. R Squared = ,795 (Adjusted R Squared = ,700)

### TS

Dependent Variable: DESFR

TS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
28	65,694	2,353	60,838	70,551
32	68,889	2,353	64,033	73,745

### DESFR

Duncan<sup>a,b</sup>

COMP	N	Subset		
		1	2	3
ED	6	42,083		
ES/ED	6	52,917		
ES	6		65,000	
ED/EU	6			77,083
EU/ES	6			82,917
EU	6			83,750
Sig.		,072	1,000	,286

Means for groups in homogeneous subsets are displayed  
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 99,653.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b. Alpha = ,05.

## Univariate Analysis of Variance - MOR

### Between-Subjects Factors

		N
COMP	ED	6
	ED/EU	6
	ES	6
	ES/ED	6
	EU	6
	EU/ES	6
TS	28	18
	32	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MOR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1524,729 <sup>a</sup>	11	138,612	2,694	,021
Intercept	61164,434	1	61164,434	1188,840	,000
COMP	1085,491	5	217,098	4,220	,007
TS	60,823	1	60,823	1,182	,288
COMP * TS	378,415	5	75,683	1,471	,236
Error	1234,772	24	51,449		
Total	63923,936	36			
Corrected Total	2759,501	35			

a. R Squared = ,553 (Adjusted R Squared = ,347)

### TS

Dependent Variable: MOR

TS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
28	42,519	1,691	39,030	46,008
32	39,919	1,691	36,430	43,409

### MOR

Duncan<sup>a,b</sup>

COMP	N	Subset		
		1	2	3
ED	6	31,8239		
ES/ED	6	36,5728	36,5728	
EU	6		42,8917	42,8917
ED/EU	6		42,8939	42,8939
ES	6		44,5322	44,5322
EU/ES	6			48,6000
Sig.		,263	,090	,219

Means for groups in homogeneous subsets are displayed  
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 51,449.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b. Alpha = ,05.

## Univariate Analysis of Variance - MOE

### Between-Subjects Factors

		N
COMP	ED	6
	ED/EU	6
	ES	6
	ES/ED	6
	EU	6
	EU/ES	6
TS	28	18
	32	18

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MOE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	39104692,0 <sup>a</sup>	11	3554972,003	3,093	,010
Intercept	1498793067	1	1498793067	1303,953	,000
COMP	17108029,9	5	3421605,989	2,977	,031
TS	6791768,793	1	6791768,793	5,909	,023
COMP * TS	15204893,3	5	3040978,658	2,646	,048
Error	27586144,1	24	1149422,672		
Total	1565483903	36			
Corrected Total	66690836,2	35			

a. R Squared = ,586 (Adjusted R Squared = ,397)

### TS

Dependent Variable: MOE

TS	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
28	6886,725	252,699	6365,180	7408,270
32	6018,024	252,699	5496,479	6539,570

### MOE

Duncan<sup>a,b</sup>

COMP	N	Subset	
		1	2
ED	6	5696,2372	
ES/ED	6	5799,8644	
ED/EU	6	5195,8217	5195,8217
EU	6	5274,5867	5274,5867
EU/ES	6		57203,4411
ES	6		57544,2978
Sig.		,403	,056

Means for groups in homogeneous subsets are displayed  
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1149422,672.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

b. Alpha = ,05.

## **ANEXO IV**

ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE MOR E MOE

## Regression

**Variables Entered/Removed<sup>b</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	MOE <sup>a</sup>	.	Enter

- a. All requested variables entered.  
 b. Dependent Variable: MOR

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,675 <sup>a</sup>	,456	,440	6,64455

- a. Predictors: (Constant), MOE

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1258,400	1	1258,400	28,503	,000 <sup>a</sup>
	Residual	1501,101	34	44,150		
	Total	2759,501	35			

- a. Predictors: (Constant), MOE  
 b. Dependent Variable: MOR

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	13,191	5,365		2,458	,019
	MOE	,004	,001	,675	5,339	,000

- a. Dependent Variable: MOR