



**PAINÉIS DE MADEIRA DE EUCALIPTO: ESTUDO DE  
CASO DE ESPÉCIES E PROCEDÊNCIAS**

**José Benedito Guimarães Júnior**

**2008**

**JOSÉ BENEDITO GUIMARÃES JÚNIOR**

**PAINÉIS DE MADEIRA DE EUCALIPTO: ESTUDO DE  
CASO DE ESPÉCIES E PROCEDÊNCIAS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Guimarães Júnior, José Benedito.

Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies e  
procedências / José Benedito Guimarães Júnior. – Lavras : UFLA, 2008.  
95 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Compensado. 2. Aglomerado convencional. 3. Eucalipto. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.83

**JOSÉ BENEDITO GUIMARÃES JÚNIOR**

**PAINÉIS DE MADEIRA DE EUCALIPTO: ESTUDO DE  
CASO DE ESPÉCIE E PROCEDÊNCIAS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da madeira para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 27 de março de 2008

Profa. Dra. Angélica de Cássia Oliveira Carneiro	UFV
Prof. Dr. Fábio Akira Mori	UFLA
Prof. Dr. Setsuo Iwakiri	UFPR

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

A minha avó (*in memoriam*), Elza de Castro Ribeiro.

***OFEREÇO***

Ao meu pai, José Benedito Guimarães e a minha mãe, Maria Graças Ribeiro.

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelas graças e bênçãos concedidas.

Aos meus pais, minhas irmãs, Bárbara e Sarah, meu sobrinho Samuel e minha namorada, Márcia, pela presença e apoio constantes na minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade oferecida tanto na minha formação de graduação quanto no mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa.

À Fundação de Apoio a Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

Ao professor Lourival Marin Mendes, pela sempre presente orientação, tendo sido muito mais que um orientador, mas um grande amigo.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais, em especial do setor de Ciência e Tecnologia da Madeira, Fábio Akira, Paulo Trugilho, José Reinaldo e José Tarcísio.

Ao Héber e a sua esposa, Taciana, os quais foram fundamentais na realização deste trabalho.

Aos meus colegas de UEPAM: Meire, Carol, Lílian e Luana.

Aos meus amigos Rafael e Amanda, por serem tão companheiros e me ajudarem sempre.

A minha amiga do coração, Renata, por dividir as horas de trabalho e transformá-las em momentos agradáveis.

Aos meus colegas de pós: Livia, Victor, Marcelo, Renata Renzo, Iedo, Raiana, Selma, Clécio, Nerci, Paulo, Carol e Marina.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos.....	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
3.1 Painéis de madeira compensada.....	4
3.1.1 Trabalhos laboratoriais realizados.....	8
3.1.2 Fatores que influenciam a laminação e propriedades dos compensados.....	12
3.2 Painéis aglomerados.....	14
3.2.1 Propriedades dos painéis aglomerados.....	15
3.2.2 Trabalhos pesquisados de painéis aglomerados.....	19
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1 Material de estudo.....	24
4.2 Amostragem.....	25
4.3 Massa específica básica da madeira.....	26
4.4 Análise química da madeira.....	26
4.5 Confeção dos painéis os compensados multilaminados.....	27
4.5.1 Delineamento experimental para os painéis compensados.....	32
4.6 Manufatura dos painéis aglomerados convencionais.....	33
4.6.1 Delineamento experimental para painéis aglomerados.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41

5.1 Propriedades da madeira.....	41
5.1.1 Análise química da madeira.....	41
5.1.2 Massa específica básica.....	44
5.2. Propriedades dos painéis compensados.....	46
5.2.1 Umidade.....	46
5.2.2 Massa específica aparente.....	47
5.2.3 Absorção de água total.....	49
5.2.2 Propriedades mecânicas .....	51
5.2.2.1 Flexão estática.....	51
5.2.2.2 Resistência ao Cisalhamento.....	56
5.3 Propriedades dos painéis aglomerados.....	62
5.3.1 Propriedades físicas.....	62
5.3.1.1 Massa específica e razão de compactação.....	62
5.3.1.2 Absorção e inchamento após 2 e 24 horas de imersão.....	64
5.3.2 Propriedades mecânicas.....	70
5.3.2.1 Ligação interna.....	70
5.3.2.2 Flexão estática.....	71
5.3.2.4 Compressão.....	75
5 CONCLUSÕES.....	77
6 RECOMENDAÇÕES.....	79
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	87



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>FIGURA 1</b> <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> , respectivamente.....	24
<b>FIGURA 2</b> Retiradas dos corpos-de-provas para análise química e de densidade.....	25
<b>FIGURA 3</b> Tanque no qual foram acondicionadas as toras.....	27
<b>FIGURA 4</b> Torno laminador da madeira.....	29
<b>FIGURA 5</b> Processo de guilhotinagem das lâminas.....	30
<b>FIGURA 6</b> Moinho martelo utilizado para a geração de partículas.....	34
<b>FIGURA 7</b> Aplicador de resina do DCF/UFLA.....	35
<b>FIGURA 8</b> Caixa formadora do colchão.....	35
<b>FIGURA 9</b> a- Pré-prensa, b- Prensa hidráulica.....	36
<b>FIGURA 10</b> Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis para corte e avaliação das propriedades.....	37
<b>FIGURA 11</b> Equipamento para testes mecânicos computadorizado .....	38

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>TABELA 1</b> Análise química da madeira de procedências de <i>Eucalyptus grandis</i> .....	41
<b>TABELA 2</b> Análise química da madeira de procedências de <i>Eucalyptus cloeziana</i> .....	42
<b>TABELA 3</b> Análise química da madeira de procedências de <i>Eucalyptus saligna</i> .....	42
<b>TABELA 4</b> Análise química das espécies de eucalipto.....	43
<b>TABELA 5</b> Valores médios de densidade, segundo as espécies e procedências do material .....	45
<b>TABELA 6</b> Valores médios de teor de umidade em painéis de compensado, em função das espécies e da procedência do material.....	46
<b>TABELA 7</b> Valores médios de massa específica aparente, a 12% de umidade em painéis de compensado, segundo as espécies e procedência estudadas.....	48
<b>TABELA 8</b> Valores médios de absorção de água para painéis de compensado, para as espécies e as procedências estudadas.....	49
<b>TABELA 9</b> Valores médios de módulo de elasticidade no teste de flexão paralela, segundo as espécies e a procedência.....	52
<b>TABELA 10</b> Valores médios de Módulo de elasticidade, no teste de flexão perpendicular, segundo as espécies e procedências.....	53
<b>TABELA 11</b> Valores médios de Módulo de ruptura, no teste de flexão paralela, segundo as espécies e procedências.....	54
<b>TABELA 12</b> Valores médios de módulo de ruptura no teste de flexão perpendicular, segundo as espécies e a procedência.....	55
<b>TABELA 13</b> Valores médios de resistência ao cisalhamento (seco), em função das espécies e da procedência.....	57

<b>TABELA 14</b> Valores médios de resistência ao cisalhamento (úmido), em função das espécies e da procedência.....	58
<b>TABELA 15</b> Valores médios de resistência ao cisalhamento (pós-fervura), em função das espécies e da procedência.....	59
<b>TABELA 16</b> Requisitos de colagem .....	61
<b>TABELA 17</b> Valores médios de densidade do painel, segundo espécies e procedências.....	62
<b>TABELA 18</b> Valores médios de razão de compactação, segundo espécies e procedências.....	63
<b>TABELA 19</b> Valores médios de absorção de água em percentagem em duas horas, no teste de absorção, segundo as espécies e procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.....	65
<b>TABELA 20</b> Valores médios de absorção de água em percentagem em vinte e quatro horas, no teste de absorção, segundo as espécies e procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.....	66
<b>TABELA 21</b> Valores médios de inchamento em espessura em percentagem em 2 horas, segundo as espécies e procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.....	68
<b>TABELA 22</b> Valores médios de inchamento em espessura em percentagem em 24 horas, no teste de absorção, segundo as espécies e procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.....	69
<b>TABELA 23</b> Valores médios de ligação interna em kgf/cm <sup>2</sup> , segundo as espécies e procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.....	71
<b>TABELA 24</b> Valores médios de módulo de elasticidade em kgf/cm <sup>2</sup> , no teste de flexão, segundo as espécies e procedência dos materiais ajustados para a densidade dos painéis.....	72

<b>TABELA 25</b> Valores médios de módulo de ruptura em kgf/cm <sup>2</sup> , no teste de flexão, segundo as espécies e procedência dos materiais ajustados para a densidade dos painéis.....	74
<b>TABELA 26</b> Valores médios de força, em kgf/cm <sup>2</sup> , no teste de compressão, segundo as espécies e procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.....	76

## RESUMO

GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito. **Painéis de madeira de eucalipto: Estudo de caso de espécies e procedências**. 2008. 95p. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de realizar a avaliação de quinze procedências, advindas de espécies de *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, na confecção de painéis compensados multilaminados e aglomerados convencionais. Foram mensuradas, inicialmente, a densidade básica e a composição química das árvores. Confeccionaram-se 6 painéis por modalidade de chapa, para cada procedências. Utilizou-se, nos laminados, adesivo fenol-formaldeído com gramatura de 320g/m<sup>2</sup>, ciclo de prensagem de 15kgf/cm<sup>2</sup>, 150°C por 10 minutos. Nos particulados, utilizou-se uréia-formaldeído com 8% do peso do painel e ciclo de prensagem de 40kgf/cm<sup>2</sup>, 160°C, por 8 minutos. Nos testes físicos dos compensados, destaque para as espécies de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*. Para os testes mecânicos, no que se refere a MOR paralelo, apenas algumas procedências conseguiram atingir as exigências da norma. Já no teste comparativo entre tensão de cisalhamento e falha na madeira, as procedências 10634, 48 e 9753 não satisfizeram aos valores estabelecidos. Os testes físicos, nos painéis aglomerados, apresentaram como destaque as espécies de *Eucalyptus cloeziana*, com menor absorção de água. No inchamento em espessura, a procedência de *Eucalyptus grandis* com melhor desempenho foi a 43. Nas propriedades mecânicas, destaque para *Eucalyptus cloeziana* no que se refere à compressão e MOE, e para *Eucalyptus grandis*, para as propriedades de MOE e MOR, destacando sua procedência de número 10695.

**Palavras-chave:** Eucalipto, aglomerado, compensado.

<sup>1</sup> Comitê orientador: Lourival Marin Mendes (Orientador) – UFLA, Fábio Akira Mori e José Roberto Scolforo (Co-orientador)

## ABSTRACT

GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito. **Boards produced with Wood of eucalyptus: Case study of species and provenances**. 2008. 95p. Dissertation (Master in Wood Science and Tecnology) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.

This work aimed at the evaluation of fifteen provenances coming from species of *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*, in the manufacture of plywoods and particle boards. The basic density and chemical composition of the trees were measured initially. Six boards per modality of plate for each provenance were manufactured. In the veneers, phenol-formaldehyde resin with grammage of 320g/m<sup>2</sup> with a pressing cycle of 15kfg/cm<sup>2</sup>, 150 C per ten minutes was utilized. In the particle boards, urea-formaldehyde with 8% weight of the board and pressing cycle of 40kfg/cm<sup>2</sup>, 160C for 8 minutes utilized. In the physical tests of the plywoods, distinction for the species of *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*. For the mechanical tests, what parallel MOR is concerned, only some provenances managed to reach the demands of the norm; while in the comparative test between shear stress and wood failure, provenances 10634, 48 and 9753 did not meet any of the values established. The physical tests, in the particleboards, presented as a distinction the species of *Eucalyptus cloeziana* with decreased water absorption. In the thickness swelling, the precedence of *Eucalyptus grandis* with best performance was the 43 one. In the mechanical properties, distinction for *Eucalyptus cloeziana* as far as both compression and MOE are concerned, and for *Eucalyptus grandis* in the properties of MOE and MOR, standing out its origin of number 10695.

Key words: Eucalyptus, particle board, plywood

<sup>2</sup> Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Adviser) – UFLA, Fábio Akira Mori and José Roberto Scolforo (Co-adviser).

## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira reconstituída representam, atualmente, uma forma de maximizar a produção florestal. Isso no sentido do uso múltiplo da floresta, no qual as partes mais nobres destinam-se a fins mais lucrativos como, por exemplo, a laminação ou o faqueamento, enquanto aquelas com diâmetros e ou qualidades inferiores poderão ser destinadas a particulados.

A grande vantagem da diminuição das dimensões da madeira e de sua posterior reconstituição em painéis é a redução ou a eliminação da anisotropia, de fatores que reduzem a resistência, como nós e inclinação da grã, e menor variabilidade entre peças.

Um fator de interesse nos reconstituídos está no fato de eles apresentarem características físicas e mecânicas flexíveis em relação à madeira maciça e possibilitarem a interferência em algumas variáveis de processamento, como temperatura de cozimento de toras, secagem de lâminas, densidade de painéis, razão de compactação e ciclo de prensagem, dentre outros.

Nesse sentido, os painéis reconstituídos estão substituindo os produtos tradicionalmente usados e vários tipos vêm ganhando espaço comercial, em virtude da melhor relação preço/desempenho e da crescente conscientização dentro da sociedade moderna de que não é mais viável a convivência com processos que utilizam reservas florestais, com níveis elevados de perdas. Por essa razão, o mercado internacional de produtos florestais vem se expandindo, movimentando, anualmente, cifras da ordem de bilhões de dólares.

Pela dificuldade cada vez maior de se obter madeira oriunda de florestas nativas, surgiram, como alternativa, espécies do gênero *Eucalyptus*, devido, principalmente, ao seu rápido crescimento .

Os estudos de espécies e procedências vêm ganhando importância, tendo em vista a variabilidade natural e a adequação destes aos diversos usos

tecnológicos, principalmente no que se refere aos painéis reconstituídos. As variações existentes entre espécies, procedências, famílias e clones podem oferecer uma oportunidade de alterar características importantes na madeira, na busca de se produzir matéria-prima com qualidade adequada aos processos e produtos. As características mais importantes e consideradas limitantes à viabilização do emprego do eucalipto se encontram sob moderado a alto controle genético, tornando possível alterar seus valores, a fim de encontrar a qualidade necessária para o uso industrial. Certas características são mais influenciadas por fatores não genéticos, em que o manejo pode ser mais efetivo na sua melhoria.

Neste contexto, este trabalho vem colaborar com pesquisas já existentes, estudando três espécies de eucalipto provenientes de um teste de procedências instalado no Campus da Universidade Federal de Lavras.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a qualidade de madeira de três espécies de eucalipto de diferentes procedências, para a produção de compensados e aglomerados convencional.

### **2.2 Específico**

- ✓ Verificar a viabilidade de confecção dos painéis compensados e aglomerados a partir de cada material genético.
- ✓ Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos produtos obtidos.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Painéis de madeira compensada

O processamento mecânico da madeira remonta aos primórdios do ser humano e seu desenvolvimento acompanhou a evolução da civilização humana, partindo dos primeiros instrumentos rudimentares até chegar aos equipamentos computadorizados da atualidade. Esse processo produtivo de obtenção de lâminas de madeira iniciou-se no Antigo Egito, há cerca de 3000 anos a.C. e destinava-se à confecção de peças de mobiliário pertencentes aos reis e aos príncipes, em que madeiras valiosas, como o ébano, eram transformadas em lâminas (Albuquerque, 1995).

As primeiras indústrias a produzir lâminas de madeira surgiram na Alemanha, em meados do século XIX. O rápido desenvolvimento e o aperfeiçoamento nos tornos laminadores contribuíram para a evolução da indústria de compensados. O emprego das lâminas de madeira tornou-se mais significativo a partir dos séculos XVIII e XIX, quando famosas peças de mobiliário foram confeccionadas. Entre estas, o "Bureau de Campagne", de Napoleão, folheada com jacarandá-da-baía e a introdução do compensado na confecção de pianos de cauda, realizada por Steinway, um renomado fabricante americano de pianos, em 1860. O grande avanço, no que se refere à tecnologia de laminação, se deu com a primeira e a segunda guerras mundiais, quando surgiram novos adesivos, e ocorreu o desenvolvimento e a automação dos sistemas de produção contínua, proporcionando uma gama crescente de produtos de qualidade superior e de menores custos (Albuquerque, 1999).

Iwakiri (2005) define a lâmina de madeira como material produzido pela ação de corte, por meio de uma "faca específica", em peças variando de 0,13 a 6,35mm de espessura.

O processo de laminação passa por algumas fases, tendo início na preparação das toras com o descascamento, o seccionamento, o aquecimento e, posteriormente, o desenrolamento da tora em lâminas, o transporte, a guilhotinagem e a secagem.

O compensado de uso exterior é definido como painel produzido com colagem à “prova d’água”, apresentando características de alta resistência mecânica e destinado a aplicações que requerem alta resistência à umidade ambiente e ao contato direto com a água (Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 2001).

Segundo Marra (1992), o tipo de adesivo mais adequado para a fabricação deste tipo de compensado é a fenol-formaldeído, em função de suas características de maior resistência e durabilidade em condições extremas de exposição à umidade.

O principal uso de lâminas de madeira é como matéria-prima para a indústria de compensado, cujos painéis são destinados à construção civil, fabricação de móveis, pisos e embalagens. As lâminas são utilizadas também na fabricação de fósforos e suas embalagens, palitos para sorvetes, revestimentos de móveis e outras superfícies (Tsoumis, 1991).

A ampla utilização do compensado se justifica por suas características mecânicas e a sua adaptação a uma gama de usos, tais como a construção civil e a indústria moveleira (Tomaseli, 1999).

O parque nacional voltado para a produção de compensado possui 300 unidades industriais. A capacidade instalada representada por estas unidades é de, aproximadamente, 2,2 milhões de m<sup>3</sup>/ano e as 40 maiores indústrias respondem por pouco mais de 60% desta capacidade instalada.

Albuquerque (1997), citado por Mendes et al. (2003), relata que o setor florestal brasileiro contribui com 5% do PIB nacional. Segundo este autor, essa participação é muito pequena, tendo em vista o grande potencial do país.

A produção de compensados no Brasil vem aumentando desde a última década, chegando a bater recorde, em volume, de 3,8 milhões de metros cúbicos, no ano de 2004. Tal acréscimo na produção está diretamente relacionado com as exportações.

O Brasil é um grande fornecedor de compensado para os EUA. Por isso, havendo qualquer aumento da demanda por parte daquele país, o preço brasileiro aumenta proporcionalmente mais que os preços dos demais exportadores (Ribeiro, 2003).

Entretanto, inexpressivos investimentos tecnológicos realizados recentemente nas unidades produtoras de compensado, bem como a deficitária estrutura de produção e os elevados custos com matéria-prima (nativas da região Norte), caracterizam-se como fatores limitantes ao desenvolvimento desta atividade no Brasil (Mendes, 2003). Além dessa dificuldade interna, fatores externos também influenciam, como aqueles estudados por Noce et al. (2006), relatando as características do mercado internacional de compensados, considerando a concentração de países, no que se refere às exportações, no período de 1998 a 2002. Estes autores observaram que a estrutura do mercado internacional de compensados é caracterizada pela concentração e desigualdade, favorecendo o uso de práticas anticompetitivas.

Quanto à madeira utilizada na produção, cerca de 60% dos compensados produzidos são manufaturados a partir de árvores tropicais, e o restante vem de florestas plantadas das regiões Sul e Sudeste (ABIMCI, 1999).

Zugmann (1998) afirma que 70% dos compensados produzidos no Brasil são manufaturados com madeiras de florestas tropicais nativas e a produção de compensado com madeira de *Pinus* spp vem crescendo, sendo responsável por 30% restante da produção nacional.

Bortoletto Júnior (2003) afirma que a utilização de folhosas nativas, o custo de exploração, as grandes distâncias a serem vencidas com o transporte de

toras, de lâminas ou de compensados até os grandes centros de consumo e as fortes pressões ambientalistas em relação à origem da madeira, além da necessidade de certificação, são fatores que encarecem os custos, podendo ser restritivos à plenitude de mercado de compensados tropicais e justificam, momentaneamente, a tendência de substituição por florestas plantadas.

ABIMCI (1999) relata que a madeira de pinus, a médio prazo, não cobrirá a demanda, levando a uma problemática para as indústrias dependentes desse tipo de matéria-prima. Essas conseqüências já começam a ser sentidas como fruto das reduzidas taxas de plantio, nos anos de 1980 e 1990 (SBS, 2000).

Diante do exposto, constata-se que a madeira de eucalipto seria a melhor alternativa de substituição da madeira de Pinus. Contudo, isso não se mostra verdadeiro devido à existência de paradigmas preconceituosos sobre a madeira de eucalipto no que se refere às questões ambientais, aliada à realização de um número reduzido de pesquisas sobre laminação e compensados, haja vista a grande gama de espécies, procedências e clones, dentro do gênero *Eucalyptus*.

Assis (1999) afirma que o eucalipto, por ser um gênero de rápido crescimento, se apresenta como opção potencial das mais importantes, principalmente por possuir uma diversidade de espécies, podendo atender a requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira.

Com relação às espécies de rápido crescimento, apresenta vantagens em termos de maior incremento volumétrico da madeira. Todavia, essa característica reflete em algumas limitações técnicas relacionadas à mesma, sobretudo quanto à densidade e à porosidade (Marra 1992; Tsoumis, 1991).

Jankowsky (1995) e Ponce (1997, citados por Assis (1999) e Almeida (2004), relatam que, apesar de suas vantagens, a madeira de eucalipto apresenta restrições próprias ao uso de florestas jovens, nas quais os níveis de tensão de crescimento se mostram mais pronunciados que nas florestas mais velhas. Essas

tensões geram, normalmente, defeitos de secagem e rachaduras, podendo resultar em perdas significativas de madeira. Além disso, outros elementos anatômicos da madeira podem depreciá-la quanto ao uso tecnológico, tais como a presença de madeira juvenil, nós e bolsas de resina, dentre outros.

### **3.1.1 Trabalhos laboratoriais realizados**

De acordo com Bortoletto Júnior (2003), o início dos estudos realizados no Brasil se deu na ESALQ/USP, com a produção de lâminas e compensados a partir da madeira de eucalipto de algumas espécies. Este estudo foi realizado por Jankowsky, em 1979, no qual foi utilizada madeira de *Eucalyptus saligna* Sn., *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden. Esta última espécie gerou compensados com lâminas de alta densidade, resistência e estabilidade. As demais geraram lâminas que não se enquadraram ao processo de confecção do painel compensado.

Jankowsky & Aguiar (1983) geraram lâminas para a confecção de compensados com madeira de *Eucalyptus triantha* Link., *Eucalyptus microcorys* F. Muell, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, com 10 anos de idade. Obtiveram sucesso na laminação e confecção de painel as espécies de *Eucalyptus triantha* Link. e *Eucalyptus saligna*.

Gaiotto (1993), trabalhando com espécies de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*, mostrou ser possível tanto o processo de laminação quanto de confecção do painel, porém, estas lâminas seriam mais adequadas para uso no miolo do mesmo.

Pio (1996), avaliando a madeira de *Eucalyptus scabra* (Dun-cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) como fontes de matéria-prima para a laminação e a obtenção de compensados, observou que as perdas ocasionadas pelo processo de desenrolamento da madeira, para as espécies estudadas, ficaram muito próximas

às obtidas com *Pinus elliottii*. Já com os painéis compensados produzidos, o autor concluiu que eles possuem potencial para serem utilizados comercialmente.

Aguiar (1986), em trabalho com a laminação de madeira de *Eucalyptus grandis* e sua posterior reconstituição em compensados, concluiu serem possíveis ambos os eventos. Este mesmo autor ainda salienta que as lâminas produzidas a partir deste material genético se prestariam, na grande maioria dos casos, para utilização no miolo do painel compensado.

Interamnense (1998) trabalhou com a utilização da madeira de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL), *Eucalyptus maculata* (HOOK) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata*, na produção de lâminas e compensados. A espécie de *Eucalyptus punctata* apresentou grandes perdas na laminação (82,43%), inviabilizando a confecção de compensados a partir desta madeira. O autor concluiu, a partir das propriedades físico-mecânicas, que os painéis produzidos a partir de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL), *Eucalyptus maculata* (HOOK) têm potencial para serem utilizados comercialmente.

Iwakiri (1999b) testou a qualidade de colagem de lâminas em compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta* com três diferentes formulações de adesivo uréia-formaldeído. As chapas produzidas com lâminas de *Eucalyptus cloeziana* apresentaram valores superiores de MOE e MOR em relação às chapas de *Eucalyptus robusta*. Os valores de resistência na linha de cola não apresentaram diferenças pronunciadas entre as duas espécies estudadas. As formulações de adesivo com maior proporção de sólidos resinosos aumentaram substancialmente os valores de MOR e resistência na linha de cola. Para o MOE, essa diferença não foi tão pronunciada.

Iwakiri (1999a) pesquisou influências de diferentes composições de lâminas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* sobre o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática de compensados estruturais. Ele observou que MOE e MOR das chapas de eucalipto com três

lâminas centrais, dispostas no sentido paralelo entre si e em relação à capa, foram superiores em relação às chapas produzidas com lâminas de pinus, com mistura de lâminas de pinus e eucalipto e também em relação à composição de lâminas cruzadas. A resistência e a rigidez das chapas no sentido paralelo às fibras foram em torno de 60% maiores que no sentido perpendicular às fibras. A maior resistência da madeira de eucalipto em relação à madeira de pinus influenciou positivamente na composição dos compensados.

Bortoletto Júnior (2003) produziu compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus* e, após a avaliação das suas propriedades físico-mecânicas, concluiu que os compensados de todas as espécies avaliadas poderiam ser destinados ao uso externo, com exceção do de *Eucalyptus citriodora*, restrito ao uso intermediário. Contudo, deve-se relatar que o adesivo é fator de suma importância na avaliação desse teste e os resultados refletem as características tanto do adesivo quanto do material genético. Os compensados podem ser utilizados na construção, na fabricação de formas de concreto e destinados ao uso naval, neste caso restrito a condições de uso nas quais os painéis não sejam solicitados à flexão estática perpendicular, devido aos valores de MOE que não atendem aos requisitos das Normas Brasileiras NBR 9531 (1986) e NBR 9532 (1986).

Almeida (2004) estudou compensados a partir da madeira de clones do híbrido entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com o objetivo de avaliar a viabilidade de produção de compensados além de verificar o efeito de clone, do adesivo e do tempo de prensagem. Ele concluiu ser possível realizar a laminação e a manufatura de laminados a partir desse híbrido. Observou, ainda, que não houve interação entre os fatores em estudo, mas que eram significativos os clones estudados e os tempos de prensagem, ambos inferindo nos resultados dos testes físico-mecânicos.



Bortoletto Júnior & Garcia (2004), trabalhando com compensados e OSB industriais, realizaram testes de flexão estática, visando à substituição daquele por este tipo de material. Esses autores concluíram que a substituição direta do compensado por OSB não é recomendável porque, embora esses painéis possam apresentar propriedades físicas similares como à massa específica aparente, eles também apresentaram propriedades mecânicas diferenciadas. Isso indica que a substituição deve ser precedida de estudos aprofundados que levem em consideração a magnitude das propriedades requeridas pelos produtos em uso.

Iwakiri et al. (2006) avaliaram a qualidade de compensados de *Eucalyptus grandis* para uso exterior com duas formulações de adesivo fenólico e estes foram comparados com laminados de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Concluíram, pelos ensaios de cisalhamento na linha de cola, que não houve diferenças significativas entre as espécies estudadas. O módulo de elasticidade e o módulo de ruptura apresentaram-se estatisticamente iguais a *Araucaria angustifolia* e superiores em relação ao *Pinus taeda*. Quanto às duas formulações de adesivo utilizadas, não houve diferenças significativas entre os testes avaliados, com exceção da resistência na linha de cola para o teste úmido.

Iwakiri et al. (2006) avaliaram a qualidade dos painéis compensados do tipo “combi”, por meio da utilização de lâminas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus maculata* como capa e contracapa, e lâminas de *Pinus taeda* como miolo, visando à sua aplicação como piso laminado com montagem direta. Os painéis foram produzidos com adesivo fenol-formaldeído e melamina-uréia-formaldeído. As avaliações do coeficiente de redução em espessura, resistência da linha de cola, flexão estática e dureza Janka demonstraram que os painéis produzidos com capa e contracapa de *Eucalyptus maculata* e miolo com *Pinus taeda*, com uso tanto de adesivo fenol-formaldeído quanto de melamina-uréia-formaldeído, foram os que apresentaram melhores propriedades para uso como

piso laminado de madeira. Os resultados indicam, ainda, a possibilidade de utilização do processo de “montagem direta” para a fabricação de pisos laminados.

Jaeger e Ziger (2007) realizaram trabalho avaliando as propriedades mecânicas de dois tipos de painéis compensados, sendo um produzido com lâminas alternadas de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda*, e o outro inteiramente com *Eucalyptus dunnii*. Dessa forma, concluíram que os compensados constituídos de *Eucalyptus dunnii* demonstraram melhores resultados, comparativamente àqueles fabricados com lâminas mistas. Eles ainda observaram que a utilização conjunta das duas espécies provocava, nos painéis, deficiências na linha de cola, durante o pré-tratamento. Aqueles que apresentaram utilização de apenas eucalipto na sua constituição resultaram em maior fragilidade na linha de cola no teste de cisalhamento pós-fervura, o que levou os autores a concluírem que sua utilização deverá priorizar ambientes internos.

### **3.1.2 Fatores que influenciam a laminação e as propriedades dos compensados**

As características tecnológicas da madeira adequada para laminação estão relacionadas, principalmente, com os seguintes fatores: densidade da madeira (baixa a média), características do fuste (diâmetro e forma) e grã direita a levemente inclinada (Tsoumis, 1991).

Os fatores relacionados ao processo, como aquecimento das toras, têm a finalidade de aumentar a plasticidade da madeira, tornando-a mais flexível e de minimizar as fendas superficiais da lâmina. O amolecimento da madeira é atribuído a mudanças físicas da lignina e das substâncias peptídicas. O aquecimento melhora as condições de laminação, principalmente em madeiras duras e a obtenção de lâminas espessas. Devido ao amolecimento de nós, a

durabilidade da faca será mais prolongada. Outro aspecto importante é a uniformização da temperatura da madeira em diferentes estações do ano, bem como a adequação da temperatura a diferentes tipos de espécies e diâmetros.

Além destes fatores, Lutz (1978) ressalta, ainda, as condições operacionais do equipamento, tais como: velocidade de corte, ajuste da geometria da faca e barra de pressão, afiação da faca, entre outros. Quanto aos aspectos relacionados à produtividade, Baldwin (1981) e Sellers (1985) destacam a importância da qualidade da tora, no que se refere à retinidade, e ao fator de conicidade do fuste, diâmetro da tora, ausência de fendas de topo e aquecimento da madeira, como fatores primordiais para a obtenção de lâminas de qualidade e de maior rendimento na laminação. Segundo os autores, menor fator de conicidade, maior diâmetro da tora e menor rolo resto são parâmetros básicos para maior rendimento da laminação.

A secagem de lâminas de madeira é um processo de retirada de água até um determinado teor de umidade, com mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de forma técnica e economicamente viável para uso a que se destina. O objetivo básico da secagem de lâminas é oferecer condições adequadas para a sua colagem e a formação de painéis.

Para colagem com a resina uréia-formaldeído, as lâminas devem ser secas com teor de umidade na faixa de 10% a 12%, enquanto que, para a resina fenol-formaldeído, o teor de umidade das lâminas deve ser na faixa de 4% a 8%.

Baldwin (1981) descreve que o tipo, a quantidade e a composição do adesivo, assim como os procedimentos empregados na colagem de lâminas, são de importância fundamental na qualidade das chapas compensadas.

Marra (1992) cita que, nos aspectos que dizem respeito à composição do adesivo, as diferentes proporções de resina, de extensor, de água e de catalisador estão relacionadas diretamente com a resistência da linha de cola das chapas produzidas. Quanto maiores as proporções de resina, em partes por peso do

adesivo na sua formulação, a qualidade da ligação adesiva será superior. Na condição inversa, com maior grau de extensão, o custo final do adesivo será inferior, no entanto, a qualidade da ligação também será inferior.

O tempo de montagem, que é o período de tempo decorrido entre a aplicação do adesivo e o momento em que a prensa é fechada, também afeta a qualidade do painel. O tempo de montagem deve ser programado de tal maneira que permita a transferência do adesivo da lâmina com cola para a lâmina sem cola, a penetração do adesivo nos poros das lâminas (Iwakiri, 2005c).

O ciclo de prensagem é fator de grande influência nas propriedades dos compensados. A temperatura de prensagem leva em consideração a característica do adesivo em função de sua cura. O tempo se refere ao período necessário para que a linha de cola mais interna receba temperatura que propicie sua solidificação, enquanto a pressão exercida pela prensa é função direta da densidade da madeira que está gerando o compensado.

### **3.2 Painéis aglomerados**

Os painéis aglomerados foram desenvolvidos na Alemanha, em 1940, durante o período da Segunda Guerra Mundial, quando a escassez de madeira de boa qualidade e com diâmetros suficientes levou ao desenvolvimento desse tipo de tecnologia. Tão logo foi concebido e foi iniciada a sua produção, a mesma estagnou, pelo fato de o adesivo utilizado se basear totalmente em matéria-prima advinda da indústria petrolífera, e essa ser prioridade de guerra. Após este período, as indústrias de aglomerado avançaram muito, principalmente em países como Alemanha e Estados Unidos, os quais contribuem, respectivamente, com 17% e 14% da produção mundial.

Segundo a ABIPA (2002), no Brasil, existem, atualmente, sete grandes empresas que produziram, em 2001, mais de 1,8 milhão de metros cúbicos de chapas, correspondendo a cerca de 2% da produção mundial. Esse valor mostra

que os painéis particulados têm muito espaço ainda para crescimento, haja vista o potencial florestal brasileiro, principalmente no que se refere à madeira advinda de reflorestamento. Na atualidade, o painel aglomerado é uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro.

### **3.2.1 Propriedades dos painéis aglomerados**

Maloney (1993), citado por Iwakiri (2005c), relata que os aglomerados convencionais apresentam as seguintes vantagens em relação à madeira maciça: minimização dos efeitos de anisotropia, possibilidade de eliminação de fatores que diminuem a resistência da madeira, menores exigências no que se refere à matéria-prima, por meio do controle das variáveis de produção pode-se adequar às propriedades físico-mecânicas do painel. As desvantagens desses elementos são: superfície e bordas grosseiras, baixa qualidade na usinagem, não se adequam à introdução de pregos, pode se esfarelar com uso inadequado de dobradiças e parafusos e apresentam baixa resistência à umidade. Apesar dos problemas mencionados acima, com o decorrer do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como o uso de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamento mais eficientes, visando minimizar tais problemas.

Os painéis aglomerados caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas que, secas e misturadas com adesivo sintético termofixo e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob calor e pressão, gerando um painel (Moslemi, 1974; Tsoumis, 1991).

A espécie florestal é uma das mais importantes variáveis presentes para o processamento, pois interage com as demais. Sua importância está relacionada à disponibilidade como matéria-prima, além de ser limitante quanto ao tipo de partícula a ser produzido, economicamente.

Zobel & Van Buijtenen (1989) relatam que há variação entre e dentro da espécie, tornando-a mais heterogênea. Todavia, essa heterogeneidade é

diminuída, em sua maior parte, quando o material é reduzido a partículas e posteriormente reconstituído.

Existe relação inversa entre a espécie utilizada e a razão de compactação do painel. Este indica o grau de densificação das partículas de madeira na estrutura do painel, afetando a qualidade e a propriedades destes.

A massa específica é considerada a propriedade física da madeira mais importante relacionada à espécie, sendo fator determinante na utilização da matéria-prima para a confecção de painéis (Kelly, 1977).

Maloney (1993) relata que painéis, quando produzidos com espécies de baixa densidade, apresentam, normalmente, maior resistência à flexão, à tração, ao módulo de elasticidade (MOE) e à ligação interna, quando comparados a painéis confeccionados com madeira de espécies de alta massa específica. Isso, comparando-se chapas de igual densidade, em virtude de madeiras de baixa massa específica produzirem maior área de partículas, aumentando a quantidade aplicada de adesivo, tendo também maior área de contato entre elas, em razão do maior número destas para um mesmo peso, o que conduz à formação de chapas com maior resistência mecânica. Já as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura passam a ter valores maiores. Isso porque existe um maior número de partículas sendo comprimidas e, com a presença de água em sua estrutura, essas tensões são liberadas em maior quantidade.

Madeiras de menores densidades levam à produção de painéis dentro de uma faixa adequada de massa específica, além de apresentarem propriedades de resistência maiores que espécies de maior massa específica (Maloney, 1993).

Para Lynam (1959), a massa específica da madeira tem efeitos tanto sobre o volume de matéria-prima utilizada quanto sobre a quantidade de adesivo a ser aplicada. Painéis de igual massa específica podem ser feitos com menor volume de madeira densa do que madeira mais leve, em razão de permitir menor compressibilidade.

Quimicamente, se podem destacar na madeira os extrativos, que se apresentam como fator que influenciam na produção de chapas aglomeradas. Nos casos em que os tipos de extrativos e suas variações quantitativas representam uma importante parte no processo produtivo, problemas podem ocorrer no consumo de adesivo e na sua taxa de cura. Adicionalmente, podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados, bem como problemas relacionados com o estouro de painéis durante a prensagem. Tais problemas devem ser avaliados quando são utilizadas espécies que possuem extrativos que afetem negativamente o processo de composição do painel (Maloney, 1993).

Esses elementos não fazem parte da estrutura da madeira e incluem taninos e outros polifenólicos, substâncias corantes, óleos essenciais, gorduras, adesivos, graxas, gomas, amido, etc. Os extrativos na madeira variam, em proporção quantitativa, de 5% a 30% e podem ser removidos por solventes adequados (Sjostron, 1993).

Diversas pesquisas têm sido conduzidas, ao longo dos anos, sobre as variações e os tipos de extrativos nas espécies. Muito pouco dessas informações tem sido relacionada à manufatura de painéis de partículas de madeira (Maloney, 1993).

Espécies com baixo conteúdo de extrativos são as mais desejadas para a produção de aglomerados convencionais. Em geral, as espécies de alto teor de extrativos são propensas a estouros no final do ciclo de prensagem. Os extrativos podem também interferir na cura do adesivo, além de resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (Cloutier, 1998).

A acidez da madeira é uma outra importante variável que requer atenção, sendo avaliada pelo nível de pH e pela capacidade compensadora. Condições químicas apropriadas devem ser determinadas na montagem do painel, para a cura do adesivo propriamente dita, pois isso é importante, principalmente nas

empresas que empregam adesivos de uréia-formaldeído. Essas condições são dependentes, em parte, de certa extensão de acidez no processo de cura (Maloney, 1993).

Para a propriedade massa específica dos painéis, pode-se dizer que, de modo geral, os painéis aglomerados são confeccionados no intervalo de 0,4 a 0,8 g/cm<sup>3</sup>. A massa específica do painel está relacionada com a massa específica da madeira e a taxa de compressão, além da umidade do colchão e outros fatores, exercendo influências nas propriedades mecânicas.

Alguns autores, como Kollmann et al. (1975) e Haselein (1989), confirmam terem encontrado relação linear positiva entre a massa específica da chapa e as propriedades de resistência à flexão (MOE e MOR).

Albuquerque (2002), estudando painéis aglomerados com densidades de 0,5; 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, constatou aumento nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura, para painéis com maiores densidades. Por outro lado, os valores de absorção de água diminuíram com o aumento na densidade dos painéis.

Haselin et al. (2002) obtiveram MOE que ficou no intervalo de 19.006 e 30.303 kgf/cm<sup>2</sup>, para as massas específicas de painéis variando de 0,68 a 0,72 g/cm<sup>3</sup>, para materiais de *Pinus ellioti*.

Uma classificação dos painéis aglomerados foi realizada com base na massa específica dos mesmos, sendo: painéis de baixa densidade, aqueles abaixo de 0,59 g/cm<sup>3</sup>; de média densidade, aqueles dentro do intervalo de 0,59 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> e os de alta massa específica, acima de 0,80 g/cm<sup>3</sup> (Iwakiri, 2005c).

Outra variável fundamental na confecção dos particulados se refere à razão de compactação, que pode ser definida como o quociente da massa específica do painel pela da madeira. Normalmente, quanto maior for essa variável, as propriedades mecânicas são melhoradas. Já as propriedades físicas são desfavorecidas, em virtude da maior quantidade de partículas sofrendo



compressão. Quando a água entra nesta estrutura, causa liberação dessas forças, promovendo maiores inchamento em espessura e absorção de água. Vital et al. (1974) concluíram que painéis com maior razão de compactação (1,6) apresentaram menor absorção de água que painéis com menor razão de compactação (1,2). Eles consideraram a redução na porosidade e o aumento na quantidade de material lenhoso, como prováveis causas da menor taxa de absorção de água.

Kelly (1977) relatou que a geometria das partículas é um parâmetro importante na produção de painéis aglomerados. As dimensões têm que ser controladas para se obter maior homogeneidade, que irá influenciar na área da superfície específica e, por conseqüência, no consumo de adesivo e nas propriedades dos painéis.

Para Maloney (1993) e Moslenni (1974), partículas de tamanhos menores requerem maior quantidade de resina para seu perfeito encolamento, uma vez que estas partículas apresentam maior área específica exposta. Para o mesmo autor, com a utilização de uma mesma quantidade de adesivo, painéis com partículas maiores apresentarão maiores valores de ligação interna, devido à maior quantidade de resina por unidade de área específica.

### **3.2.2 Trabalhos pesquisados de painéis aglomerados**

Iwakiri et al. (1999c) avaliaram a influência da inclusão de lâminas de madeira na composição estrutural de chapas de partículas aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm. Foram utilizadas partículas destinadas à produção industrial de aglomerados, lâminas de madeira de 1,6mm de espessura e adesivo à base de uréia-formaldeído. Os resultados demonstraram melhor comportamento das chapas, em termos de estabilidade dimensional e resistência mecânica, com a inclusão de lâminas na sua composição estrutural.

Iwakiri et al. (2000) avaliaram a viabilidade de utilização da madeira de *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis*, na forma de resíduos de processamento em serrarias, para a produção de painéis de madeira aglomerada. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de  $0,75\text{g/cm}^3$  e com teor de adesivo de 8% ou 12%. Os resultados dos ensaios indicaram que os painéis produzidos com a madeira destas espécies de eucalipto apresentam propriedades físico-mecânicas satisfatórias. Os painéis produzidos com 12% de adesivo apresentaram melhores resultados que os painéis com 8%. Com base nas propriedades mecânicas, o *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* foram as espécies que apresentaram melhor comportamento para a produção de painéis de madeira aglomerada.

Iwakiri et al. (2001) desenvolveram pesquisa para avaliar o potencial de utilização de cinco espécies de pinus tropicais para a produção de chapas de madeira aglomerada. Os particulados foram produzidos com adesivo uréia-formaldeído, com massa específica nominal de  $0,70\text{g/cm}^3$ . As chapas de *Pinus caribaea* apresentaram maiores valores médios de absorção de água e inchamento em espessura. O *Pinus tecunumanni* foi a espécie que apresentou maior ligação interna das chapas, com  $10,54\text{kgf/cm}^2$ . Para os módulos de elasticidade e ruptura, não foram constatadas diferenças estatísticas entre as espécies. Os autores ainda concluíram que todas as propriedades mecânicas ficaram acima daquelas exigidas em norma, sendo isso um bom indicativo do potencial dessas espécies na confecção de aglomerados.

Iwakiri et al. (2004) avaliaram o comportamento da madeira de *Grevillea robusta* na produção de painéis de madeira aglomerada. Os painéis foram produzidos em densidades de  $0,60$  e  $0,80\text{ g/cm}^3$  e conteúdo de adesivo de 6% e 8%. Os autores concluíram que, pelas propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados com densidade de  $0,80\text{ g/cm}^3$  e conteúdo de adesivo de 8%,

eles podem ser utilizados como fonte alternativa de matéria-prima para a produção de painéis aglomerados.

Iwakiri et al. (2005b) estudaram a influência da alta densificação do painel e de uso de adesivos alternativos para a produção de painéis de madeira aglomerada. Foram produzidos painéis com densidades de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e 1,0 g/cm<sup>3</sup>, utilizando adesivos uréia-formaldeído (UF), melamina-uréia-formaldeído (MUF), fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF) e fenol-formaldeído (PF). Os resultados demonstraram que o aumento na densidade do painel levou ao incremento das propriedades mecânicas e reduziu a estabilidade dimensional. Os painéis produzidos com adesivo PF apresentaram propriedades físicas e mecânicas superiores. Por outro lado, adesivo PMUF demonstrou ser alternativa técnica e economicamente viável para a produção de painel aglomerado para uso exterior.

Pesquisa realizada por Dacosta et al. (2005) avaliou a estabilidade dimensional de painéis aglomerados confeccionados com resíduos de serraria e marcenaria de madeira *Pinus elliottii* Engelm. Chapas com densidades nominais de 0,6 e 0,7 g/cm<sup>3</sup> foram produzidas com dois tipos de resíduos, cavacos e maravalhas, utilizados puros ou misturados. O adesivo empregado na confecção das chapas foi à base de uréia-formaldeído em proporções de 4%, 8% e 12%. Os autores concluíram que a variável que exerceu maior influência na absorção de água e no inchamento em espessura foi o teor de adesivo, seguido da densidade, e da proporção e tipo de material. Constatou-se que, aumentando-se a proporção de cavacos, a absorção e o inchamento aumentaram. O cavaco foi o material que apresentou os resultados menos satisfatórios nessas propriedades.

Iwakiri et al. (2005a) avaliaram a influência da densidade do painel e do adesivo melamina-uréia-formaldeído (MUF) sobre as propriedades do painel aglomerado, visando aplicações semi-estruturais. Estes painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e 0,90 g/cm<sup>3</sup>, utilizando adesivo uréia-

formaldeído como testemunha e melamina-uréia-formaldeído. Os autores concluíram que as partículas finas destinadas às camadas externas de painéis aglomerados podem ser utilizadas para a fabricação de painéis homogêneos de alta densidade, destinados a aplicações semi-estruturais, tais como piso para habitações.

Pedrazzi et al. (2006) procurou avaliar a qualidade de chapas aglomeradas fabricadas com resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna*, resultantes da picagem das toras para a confecção de cavacos utilizados na produção de celulose. As chapas foram produzidas com dois tipos de resíduos, palitos e serragem, sendo utilizados puros. O adesivo usado foi à base de uréia-formaldeído, em proporções de 4%, 8% e 12%, com base na massa seca das partículas, e as densidades nominais das chapas foram de 0,55; 0,65 e 0,75 g/cm<sup>3</sup>. Os resultados levaram os autores a concluir que, usando-se tanto partículas tipo palitos quanto serragem com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades, podem ser produzidas chapas com qualidade satisfatória.

Brito et al. (2006) estudaram as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça (partículas convencionais) e partículas oriundas de maravalhas (maravalhas processadas), e dois teores de adesivo uréia-formaldeído, 6% e 8% (base peso seco). Os autores salientaram que a adição de maravalhas às partículas convencionais demonstrou bom potencial para a produção de chapas de aglomerados e que o aumento do teor de adesivo de 6% para 8% não contribuiu para melhorar as propriedades dos particulados.

Cabral et al. (2007) determinaram as propriedades de chapas de madeira aglomerada confeccionadas com partículas geradas de maravalhas e flocos de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*. Os eucaliptos estudados eram provenientes de duas localidades. Utilizou-se adesivo de uréia-formaldeído na proporção de 8%. As chapas confeccionadas com partículas

processadas de flocos e contendo maior quantidade de madeira de eucalipto apresentaram maior absorção de água, inchamento e expansão linear. Os valores médios de tração perpendicular, módulo de ruptura e módulo de elasticidade foram maiores nas chapas confeccionadas com partículas de flocos processados. Os particulados confeccionados com madeiras da região de Três Marias, MG, apresentaram maiores resistências à compressão paralela, à tração perpendicular e ao módulo de ruptura.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material de estudo

Neste estudo, foram utilizadas árvores de diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* (Figura 1), que apresentavam a idade de 31 anos quando foram abatidas. Elas faziam parte do Programa de Introdução de Espécies e Procedências de Eucalipto, no Sul de Minas Gerais. Este programa integra o projeto de desenvolvimento de Pesquisa Florestal do antigo IBDF/PRODEPEF. Em Lavras, MG, ele foi instalado na Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), hoje Universidade Federal de Lavras (UFLA).



FIGURA 1 *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente.

A cidade de Lavras, no Sul de Minas, localiza-se nas coordenadas 21°14'S de latitude e longitude 45°00'W, à altitude média de 900 m. A precipitação média anual está em torno de 1.400 mm e a temperatura média anual é de 19,4° C.

## 4.2 Amostragem

Das espécies avaliadas, duas procedências eram de *Eucalyptus cloeziana*, três de *Eucalyptus saligna* e dez de *Eucalyptus grandis*, totalizando quinze procedências. Foram utilizadas amostras obtidas de quatro árvores para cada uma das procedências. Na seleção, foi tomado o cuidado de escolher somente árvores que apresentassem o fuste mais linear e que estivessem em bom estado fitossanitário.

Após o abate, o fuste das árvores foi dividido em secções menores, em percentagens em relação à sua altura comercial (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Nestes locais, foram também retirados discos para a determinação da massa específica básica e a análise química

Cada disco foi seccionado em quatro partes, tendo sido utilizadas duas cunhas opostas para a densidade e as outras duas para a análise química. As cunhas destinadas à densidade básica foram subdivididas em cinco pedaços cada. Para a análise química da madeira, foi necessário que a mesma fosse transformada em serragem, para facilitar a penetração e a ação dos reagentes químicos. Essa amostragem no disco pode ser visualizada na Figura 2.



FIGURA 2 Retirada dos corpos-de-prova para análise química e de densidade básica.

### **4.3 Massa específica básica da madeira**

Para os corpos-de-prova adquirirem o máximo volume permitido por sua estrutura, eles foram imersos, algumas horas após o abate, em um dessecador com água destilada. Em seguida, foi calculado o volume imerso de cada corpo-de-prova. Foi utilizado, para isso, um béquer com água destilada, suporte universal e garra para procedimento de análise.

Após a obtenção do volume, os corpos-de-prova foram levados para uma estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ , até atingirem massa constante. Dessa forma, o cálculo foi feito por meio da divisão entre massa absolutamente seca pelo volume saturado.

### **4.4 Análise química da madeira**

As cunhas foram transformadas em palitos e, posteriormente, levadas para o moinho e transformadas em serragem. Esta foi separada em peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, utilizando-se para a análise somente a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh. As amostras foram armazenadas em saco plástico e frasco. Elas foram, então, levadas para sala de climatização, com temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e umidade de 65%, por 7 dias, para reduzir as variações de umidade do material.

Amostras foram preparadas para a determinação das substâncias químicas presentes na madeira, utilizando-se as normas técnicas ABNT (1998) e TAPPI (1994):

- ✓ teor de extrativos totais – NBR 7987 T204 om-88;
- ✓ teor de solúveis em água fria e quente – NBR 7988;
- ✓ teor de lignina – T222 om-88;
- ✓ teor de cinzas – T211 om-93.
- ✓ teor de holocelulose – por diferença.



#### 4.5 Confeção dos painéis compensados multilaminados

Depois de abatidas, as toras de cada árvore que apresentassem diâmetro que se adequasse à obtenção de lâminas (até 50cm em função da capacidade do torno) foram levadas para um tanque com água. Ali ficavam submersas até o momento da laminação, para se obter a diminuição das liberações de tensão de crescimento que poderiam depreciar o rendimento da laminação em função do aumento das rachaduras de topo e o conseqüente desprendimento das garras do torno, não conseguindo, a madeira, ser laminada até o limite de seu diâmetro. Pode-se destacar que esse procedimento visou manter a umidade da madeira vinda do campo, além de prevenir o ataque de alguns tipos de xilófagos. Na Figura 3 pode-se observar o tanque no qual foram depositadas as toras vindas do campo.



FIGURA 3 Tanque no qual foram acondicionadas as toras.

Antes do processo de obtenção das lâminas, fez-se o aquecimento das toras, à temperatura de 66°C, em um tanque com água aquecida por meio de resistência elétrica, por um período de 72 horas, conforme recomendação de Iwakiri (2005c). As toras foram seccionadas no comprimento de 1,2m, em função das dimensões do tanque. Este procedimento de aquecimento se fez necessário para que a lignina se tornasse mais “maleável” e o processo se realizasse com maior facilidade. A obtenção dessa temperatura de aquecimento da tora levou em consideração a densidade da madeira utilizada, o diâmetro da tora, a temperatura inicial e final da madeira, o gradiente de temperatura e o teor de umidade da mesma.

Para a obtenção de lâminas utilizou-se torno laminador, obtendo-se lâminas com espessura de 2 mm. Esse equipamento pode ser visto na Figura 4. Neste processo foram observadas perdas geradas pelo descascamento, arredondamento e rolo-resto. Com os resíduos gerados pela conicidade, obtiveram-se as partículas do tipo “sliver”, que foram utilizadas na confecção de painéis aglomerados.



FIGURA 4 Torno laminador da madeira

Após a laminação, as lâminas foram colocadas sobre suportes (bobinas), de onde foram levadas para a guilhotina, para se adequarem às dimensões dos compensados (480mm x 480mm). O processo de guilhotinagem utilizado é mostrado na Figura 5.



FIGURA 5 Processo de guilhotinagem das lâminas

As lâminas foram secas à temperatura ambiente em pilhas, sendo tabicadas umas sobre as outras; posteriormente, foi colocado um peso sobre a pilha para evitar o empeno destas. Depois de atingirem a umidade de equilíbrio higroscópico, as lâminas foram levadas à estufa com circulação forçada de ar para secagem até 8%, com base no peso seco. Depois de secas, foram armazenadas em sacos plásticos para isolamento do ambiente e manutenção da umidade, até o momento de confecção do compensado. A secagem é de suma importância para que ocorra boa colagem, evitando-se que ocorra a delaminação do painel durante a prensagem. Quando não secas corretamente, ocorre a geração de bolsas de vapor d'água que, quando da liberação da pressão, levam ao estouro do compensado, além de interferir na cura do adesivo.

Na formação do painel, foram utilizadas cinco lâminas cruzadas. Essas lâminas foram aleatoriamente amostradas dentro de cada uma das procedências. Foram confeccionados seis painéis compensados por procedência.

Fez-se seleção das lâminas, tendo as melhores sido utilizadas nas faces. No miolo, aproveitaram-se as de qualidade inferior. O adesivo utilizado na

colagem foi fenol-formaldeído com gramatura de 320g/m<sup>2</sup>, com teor de sólidos de 51,49%, pH de 12,86, viscosidade de 590Cp e Gel Time de 10,22 minutos. A aplicação foi feita com espátula, espalhando-se de forma mais uniforme possível nas lâminas. Depois de formado o painel, o mesmo ficou em repouso por um período de quinze minutos, com um peso sobre ele, no que é chamado tempo de assemblagem, para que o adesivo pudesse ser absorvido pelos espaços vazios das lâminas e também para aumentar o contato entre as superfícies a serem aderidas, auxiliando a colagem final.

O ciclo de prensagem utilizado foi com temperatura de 150°C, pressão específica de 15kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem de 10 minutos.

Os compensados, após a prensagem, foram aclimatados e, posteriormente, esquadrejados, sendo retirados os corpos-de-prova, segundo as especificações da norma da ABNT 31:000.05-001/2. Esses corpos-de-prova foram acondicionados à temperatura e umidade relativa constantes, respectivamente de 20°C e 65%.

Após a estabilização, realizaram-se os ensaios físico-mecânicos, de acordo com as recomendações da norma ABNT 31:000.05-001/2.

#### A) PROPRIEDADES MECÂNICAS:

- ✓ flexão estática com a direção das fibras das lâminas das capas paralela ao comprimento do corpo-de-prova;
- ✓ flexão estática com a direção das fibras das lâminas das capas perpendicular ao comprimento do corpo-de-prova;
- ✓ resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento em condição seca, úmida e pós-fervura.

#### B) PROPRIEDADES FÍSICAS:

- ✓ massa específica;
- ✓ umidade;
- ✓ absorção de água total.

Os testes mecânicos foram conduzidos na máquina de ensaio universal (EMIC DL-30000). Os testes físicos foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM).

#### 4.5.1 Delineamento experimental para os painéis compensados

Foi considerado um delineamento inteiramente casualizado, com 6 repetições, em que os tratamentos foram arrançados em um esquema hierárquico, estudando-se três espécies com diferentes procedências dentro de espécies. Considerou-se o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

$y_{ijk}$  é o valor da variável analisada da  $i$ -ésima espécie e  $j$ -ésima procedência na  $k$ -ésima repetição, com  $k = 1, \dots, 6$ ;

$\mu$  é a constante inerente a cada observação;

$A_i$  é o efeito da  $i$ -ésima espécie, com  $i = 1, 2, 3$ ;

$B_{j(i)}$  é o efeito da  $j$ -ésima procedência dentro da  $i$ -ésima espécie, com  $j = 1, \dots, n_i$ , em que  $n_i$  é o número de procedências da espécie  $i$ ;

$\varepsilon_{ijk}$  é o erro da parcela da  $i$ -ésima espécie e  $j$ -ésima procedência na  $k$ -ésima repetição, com média zero e variância comum  $\sigma^2$ .

#### **4.6 Manufatura dos painéis aglomerados convencionais**

Foram confeccionados seis painéis, para cada procedência avaliada, totalizando noventa painéis aglomerados. As dimensões e a massa específica nominais foram, respectivamente, de 480 mm x 480 mm x 15 mm e 0,70 g/cm<sup>3</sup>.

O adesivo utilizado foi a uréia-formaldeído, com teor de sólidos de 65,06%, pH de 8,42, viscosidade de 480Cp e Gel Time de 51 segundos. Foram aplicados 8% de adesivo à base de peso seco das partículas. Da mesma forma, foi aplicada a emulsão de parafina a 1% de sólidos resinosos.

As toras com diâmetros especificados foram utilizadas para a laminação e, com as perdas geradas no processo, devido ao arredondamento da mesma, foram empregadas na geração de partículas do tipo “sliver”. O moinho martelo, equipamento responsável pela geração das partículas para confecção do painel aglomerado convencional, é mostrado na Figura 6.



FIGURA 6 Moinho martelo utilizado para a geração de partículas

As partículas foram peneiradas e secas até o conteúdo de umidade de 3%, com base na massa seca. Para tanto, foi utilizada estufa com circulação de ar forçada.

O adesivo e a parafina foram aplicados nas partículas em um encolador do tipo tambor giratório. Foram utilizadas duas pistolas na operação. Primeiramente, aplicou-se o adesivo, que foi colocado em um recipiente acima do nível do encolador para que, por meio da força da gravidade e do ar comprimido, pudesse ser aspergida nas partículas. Em seguida, fez-se a troca da pistola para aplicação da parafina, que foi colocada em um recipiente dentro da encoladeira, sendo lançada nas partículas utilizando-se ar comprimido. Na Figura 7 é mostrado o aplicador de adesivo e parafina.





FIGURA 7 Aplicador de adesivo do DCF/UFLA.

As partículas, após saírem do tambor giratório, foram conduzidas a uma caixa formadora do colchão com as dimensões de 480mm x 480mm, como ilustrado na Figura 8, para se ajustarem à largura e ao comprimento do painel.



FIGURA 8 Caixa formadora do colchão

O painel foi conduzido à pré-prensagem, que foi realizada em uma prensa manual, com o objetivo de dar uma melhor conformação ao colchão e

aumentar contato entre as partículas, promovendo melhor colagem final. Nesta fase, a pressão utilizada foi de  $8\text{kgf/cm}^2$ , por um período de, aproximadamente, 2 minutos. Em seguida, o colchão foi levado a uma prensa hidráulica, na qual foi feita a prensagem propriamente dita. O ciclo de prensagem utilizado foi com a temperatura de  $160^\circ\text{C}$ , tempo de 8 minutos e pressão específica de  $40\text{kgf/cm}^2$ . A pré-prensa e a prensa hidráulica são mostradas na Figura 9.



FIGURA 9 a) Pré-prensa; b) prensa hidráulica.

Após aclimatação, foram retirados os corpos-de-prova realizados por meio do uso de uma serra circular esquadrejadeira. Inicialmente, foram retirados cerca de 2 cm de cada extremidade dos painéis. A distribuição dos corpos-de-prova em cada painel para a avaliação das propriedades é apresentada na Figura 10.

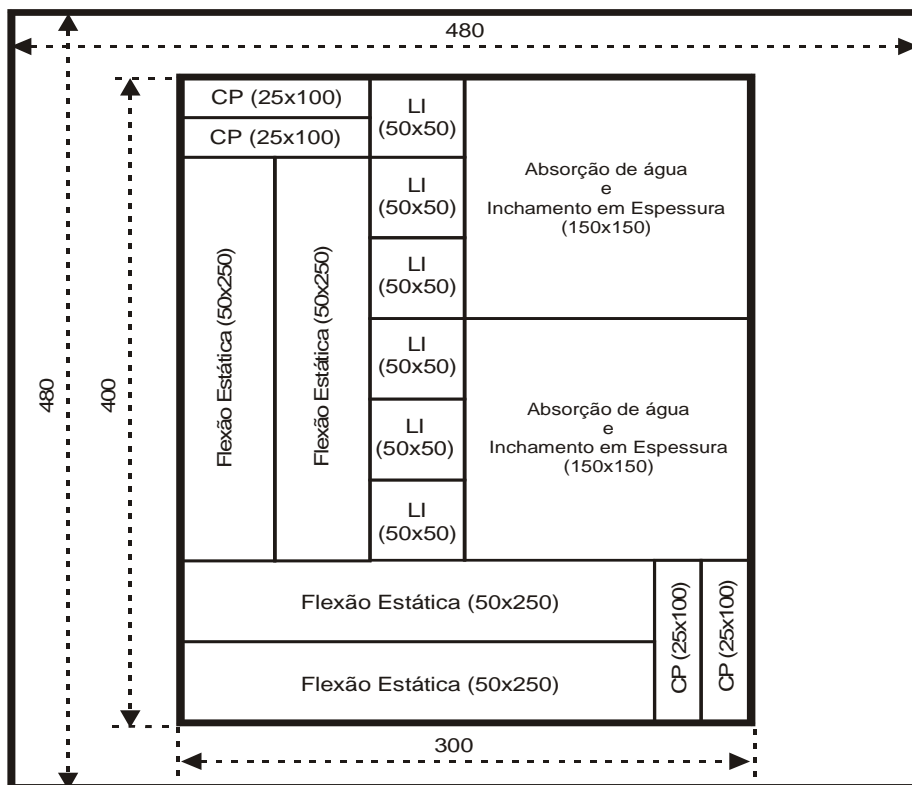


FIGURA 10 Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis para corte e avaliação das propriedades (unidades em mm).

Após a retirada dos corpos-de-prova dos painéis, os mesmos foram empilhados e mantidos em câmara de climatização, à temperatura de 20°C e a 65% de umidade relativa, até atingirem peso constante, de acordo com a norma ASTM 1037.

As seguintes propriedades físico-mecânicas foram determinadas, de acordo com as normas ASTM e DIN:

A) PROPRIEDADES MECÂNICAS:

- ✓ flexão estática (MOE): norma DIN 52362, 1982;
- ✓ flexão estática (MOR): norma DIN 52362, 1982;
- ✓ compressão paralela (CP): norma ASTM 1980:D1037-34.22;
- ✓ ligação interna (LI): norma ASTM 1980: D1037-28.

B) PROPRIEDADES FÍSICAS:

- ✓ absorção de água (AA): norma ASTM 1980:D1037-100;
- ✓ inchamento em espessura (IE): norma ASTM 1980:D1037-100.

Os testes mecânicos foram conduzidos na máquina de ensaio universal (EMIC DL-30000), mostrada na Figura 11. Os testes físicos foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (Uepam).



FIGURA 11 Equipamento para testes mecânicos computadorizados.

#### 4.6.1 Delineamento experimental para os painéis aglomerados

Foi considerado um delineamento inteiramente casualizado, com 6 repetições, em que os tratamentos foram arranjados em um esquema hierárquico, estudando-se três espécies com diferentes procedências dentro de espécies. Neste experimento, foram analisadas absorção de água em 2 e em 24 horas, inchamento em espessura em 2 e em 24 horas, ligação interna, módulos de elasticidade e ruptura e compressão. Suspeitando-se que a densidade (X) poderia afetar as propriedades do painel, procedeu-se a uma análise de covariância, com as médias ajustadas para a densidade do painel.

Considerou-se o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_{j(i)} + \beta(X_{ijk} - \bar{X}_{\dots}) + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

$y_{ijk}$  é o valor da variável analisada da i-ésima espécie e j-ésima procedência na k-ésima repetição, com  $k = 1, \dots, 6$ ;

$\mu$  é a constante inerente a cada observação;

$A_i$  é o efeito da i-ésima espécie, com  $i = 1, 2, 3$ ;

$B_{j(i)}$  é o efeito da j-ésima procedência dentro da i-ésima espécie, com  $j = 1, \dots, n_i$ , em que  $n_i$  é o número de procedências da espécie i;

$\beta$  é o coeficiente de regressão linear entre as variáveis analisadas e a densidade do painel (X);

$X_{ijk}$  é a densidade do painel da i-ésima espécie e j-ésima procedência na k-ésima repetição;

$\bar{X}_{\dots}$  é a densidade média dos painéis do experimento;

$\varepsilon_{ijk}$  é o erro da parcela da  $i$ -ésima espécie e  $j$ -ésima procedência na  $k$ -ésima repetição, com média zero e variância comum  $\sigma^2$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Propriedades da madeira

#### 5.1.1 Análise química da madeira

Os valores da análise química para as procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna* estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente. Já para as espécies, os valores são observados na Tabela 4. Nota-se que, entre as procedências analisadas de todas as espécies, não foi significativo o teste de média, enquanto que, entre espécies, foi para extrativos totais e holocelulose.

TABELA 1 Análise química da madeira de procedências de *Eucalyptus grandis*

Procedência	Extrativos			
	totais*	Lignina*	Cinzas*	Holocelulose*
10696	7,66 A	28,57 A	0,14 A	63,78 A
8535	9,13 A	30,78 A	0,14 A	60,10 A
9753	7,49 A	30,03 A	0,18 A	62,47 A
10695	6,77 A	29,25 A	0,15 A	63,98 A
48	8,61 A	28,12 A	0,19 A	63,27 A
47	9,52 A	29,96 A	0,20 A	60,52 A
45	7,83 A	32,75 A	0,17 A	59,43 A
9789	8,37 A	28,32 A	0,22 A	63,32 A
10634	8,00 A	30,05 A	0,21 A	61,95 A
43	6,55 A	27,27 A	0,25 A	66,19 A

\*Valores na tabela apresentados em percentagem.

Os maiores valores de extrativos totais foram observados para *Eucalyptus cloeziana*, com 11,13%. *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* apresentaram, respectivamente, 7,87% e 7,99%. Estes valores ficaram acima daqueles encontrados por Silva (2002), que estudou a espécie de *Eucalyptus grandis* obtendo valor de 4% e por Oliveira & Della Lúcia (1994), que relataram 4,6% para essa mesma espécie. Já Trugilho et al. (2001), encontraram valores de

extrativos totais para clones de *Eucalyptus grandis* na faixa de 4,87% a 7,61% e, para *Eucalyptus saligna*, encontraram variação de 6,50 e 7,54%. Existe influência dos extrativos na performance da ligação adesiva, ou seja, em materiais genéticos nos quais estes ocorrem em altas porcentagens, maiores serão as chances de ocorrência de uma linha de cola mais fragilizada, além de haver possibilidade de estouros durante o ciclo de prensagem.

TABELA 2 Análise química da madeira de procedências de *Eucalyptus cloeziana*

Procedência	Extrativos totais	Lignina	Cinzas	Holocelulose
9785	10,54 A	29,49 A	0,17 A	59,97 A
97852	11,90 A	29,83 A	0,26 A	58,26 A

\*Valores na tabela colocados em percentagem.

Para lignina, os valores médios encontrados foram de 29,51%, para *Eucalyptus grandis*, sendo a variação entre as procedências de 27,27% e 32,75%. Para *Eucalyptus cloeziana*, obteve-se média de 29,66%, enquanto, para *Eucalyptus saligna*, os valores foram de 29,40%. Estes valores estão acima dos encontrados por Shimoyama (1990) que, para *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, obteve, respectivamente, 23,6% e 23,9%. A lignina é fator fundamental no processo de laminação da madeira, uma vez que o aquecimento da tora leva a um “amolecimento” da mesma, facilitando a laminação. Portanto, madeira com altos teores desse componente químicos iria requerer temperaturas ou tempos maiores de aquecimento, para a adequada laminação.

TABELA 3 Análise química da madeira de procedências de *Eucalyptus saligna*

Procedência	Extrativos totais	Lignina	Cinzas	Holocelulose
7808	7,44 A	29,24 A	0,18 A	63,33 A
7785	7,84 A	30,03 A	0,21 A	62,14 A
10698	8,34 A	28,93 A	0,19 A	62,73 A

\*Valores na tabela colocados em percentagem.



Para cinzas, observou-se variação, entre as procedências de *Eucalyptus grandis*, de 0,14% a 0,25%, tendo, para essa espécie, o valor sido de 0,18%. Para *Eucalyptus cloeziana*, o teor de cinzas médio foi de 0,21%. Já para *Eucalyptus saligna*, a variação entre as procedências foi de 0,18% a 0,21%, sendo, para essa espécie, de 0,19%. Estes valores estão coerentes com os obtidos por Trugilho et al. (2001) que, trabalhando com clones de eucalipto, encontraram valores entre 0,10% e 0,25%. Altos valores desse componente químico podem afetar o pH e, dessa forma, interferir na ligação adesívica, além de levar ao desgaste das peças cortantes do torno laminador e moinho martelo.

TABELA 4 Análise química das espécies de eucalipto

Procedências	Extrativos totais*	Lignina*	Cinzas*	Holocelulose*
<i>E. grandis</i>	7,99 A	29,34 A	0,1870 A	62,66 B
<i>E. saligna</i>	7,87 A	29,4 A	0,1925 A	62,73 B
<i>E. cloeziana</i>	11,13 B	26,64 A	0,2043 A	59,23 A

\* Valores em porcentagem.

Para holocelulose, a variação dos dados entre as procedências de *Eucalyptus grandis* foi de 66,19% e 59,43%. A amplitude obtida nas procedências de *Eucalyptus saligna* foi de 62,14% e 63,33%. Já para as de *Eucalyptus cloeziana*, os dados ficaram entre 59,97% e 58,26%.

Entre as espécies avaliadas, os maiores valores foram observados para as de *Eucalyptus grandis*, com 62,66% e para *Eucalyptus saligna*, com 62,73%.

Shimoyama (1990), estudando várias espécies de eucalipto, obteve valores de holocelulose variando entre 62,85% e 71,80%, que são similares aos obtidos neste trabalho.

### **5.1.2 Massa específica básica**

De acordo com os valores da Tabela 6, verifica-se que a massa específica básica não diferiu, estatisticamente, entre as procedências de cada espécie, mostrando que, mesmo sendo um material genético heterogêneo, o mesmo apresenta certa homogeneidade para essa propriedade física. Já para espécie, pode-se inferir que *Eucalyptus cloeziana* apresentou a maior média para essa característica, com valor de 0,73g/cm<sup>3</sup>. Para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, não foram observadas diferenças entre as médias, as quais apresentaram valores médios, respectivamente, de 0,59 e 0,61 g/cm<sup>3</sup>.

Walker (1993) afirma que espécies adequadas para a laminação, e por consequência para a geração de partículas, tendem a apresentar massa específica básica entre 0,38 e 0,70 g/cm<sup>3</sup>, com preferência para aquelas com 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Nesse sentido, pode-se inferir que as espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* estão dentro dessa faixa. Para *Eucalyptus cloeziana*, observaram-se valores acima do adequado, o que pode dificultar a laminação.

TABELA 5 Valores médios de densidade da madeira (entre parênteses, o erro padrão da média), segundo as espécies e procedência do material.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E.cloeziana</i> (g/cm <sup>3</sup> )	<i>E.grandis</i> (g/cm <sup>3</sup> )	<i>E.saligna</i> (g/cm <sup>3</sup> )
9785	0,71 (0,02) A	---	---
97852	0,75 (0,02) A	---	---
43	---	0,56 (0,02) A	---
45	---	0,59 (0,03) A	---
47	---	0,60 (0,03) A	---
48	---	0,58 (0,03) A	---
8535	---	0,54 (0,02) A	---
9753	---	0,61 (0,03) A	---
9789	---	0,62 (0,02) A	---
10634	---	0,59 (0,02) A	---
10695	---	0,60 (0,02) A	---
10696	---	0,61 (0,03) A	---
7785	---	---	0,63 (0,02) A
7808	---	---	0,64 (0,02) A
10698	---	---	0,57 (0,03) A
Média Espécies <sup>1</sup>	0,73 (0,02) a	0,59 (0,01) b	0,61 (0,01) b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Contudo, pode-se considerar que a faixa sugerida por Walker (1993) constitui um parâmetro mais apropriado para inferir sobre a facilidade em laminar uma determinada espécie de madeira do que propriamente um indicativo da qualidade das lâminas que podem ser geradas pela espécie, não se traduzindo como uma restrição pré-determinada às madeiras de alta densidade (Bortoletto Júnior, 2003).

Keinert Júnior (1994) avaliaram a massa específica básica de madeira de duas procedências de *Eucalyptus grandis*, encontrado valores de 0,49 e 0,52 g/cm<sup>3</sup>. Os resultados obtidos para as procedências dessa espécie, neste trabalho, ficaram ligeiramente acima deste valor.

Bortoletto Júnior (2003), trabalhando com 11 espécies de eucaliptos, encontrou, para o *Eucalyptus saligna* com idade de 23 anos, massa específica básica de 0,56 g/cm<sup>3</sup>, o que está muito próximo do obtido neste trabalho.

## 5.2 Propriedades dos painéis compensados

### 5.2.1 Umidade

Pelos dados da Tabela 6, observam-se os valores de umidade obtidos para as diferentes espécies e procedências. Esta propriedade avaliada é de suma importância, pois causará influência sobre a massa específica, bem como sobre as propriedades mecânicas do compensado.

TABELA 6 Valores médios de teor de umidade (entre parênteses, erro padrão da média) em painéis de compensado, em função das espécies e da procedência do material.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (%)	<i>E. grandis</i> (%)	<i>E. saligna</i> (%)
9785	9,81 (0,77) A	---	---
97852	9,93 (0,62) A	---	---
43	---	9,53 (0,88) A	---
45	---	9,44 (0,68) A	---
47	---	9,95 (0,76) A	---
48	---	8,77 (0,76) A	---
8535	---	9,41 (0,68) A	---
9753	---	10,00 (0,76) A	---
9789	---	9,66 (0,76) A	---
10634	---	9,49 (0,68) A	---
10695	---	10,39 (0,62) A	---
10696	---	9,64 (0,76) A	---
7785	---	---	9,64 (0,62) A
7808	---	---	9,91 (0,68) A
10698	---	---	8,72 (0,57) A
Média Espécies <sup>1</sup>	9,87 (0,49) a	9,63 (0,23) a	9,42 (0,36) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Estatisticamente, não foram observadas diferenças entre as médias. Observa-se que a umidade não foi afetada significativamente, tanto pela espécie quanto pelas procedências.

Kollmann et al. (1975) observaram o teor de umidade em diferentes compensados, depois de armazenados a umidade de 65% e temperatura de 20°C, entre 7,3% a 12,7%, tendo a média sido de 10%. Pereyra (1994) encontrou média para umidade em painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* (MAID) de 8,72%, tendo o intervalo verificado por ele sido de 8,20% a 9,08%. Dessa forma, as umidades encontradas neste trabalho foram similares àquelas citadas na literatura.

### **5.2.2 Massa específica aparente**

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios da massa específica aparente dos compensados obtidos para cada uma das procedências e espécies. Nota-se que, para as procedências de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*, não houve diferenças significativas na massa específica aparente. As espécies de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna* mostraram maiores valores dessa característica, sendo, respectivamente, de 0,95 e 0,93g/cm<sup>3</sup>.

Os resultados visualizados neste trabalho ficaram próximos daqueles encontrados na literatura, tais como os de Bortoletto Júnior (2003), com valores de massa específica no intervalo de 0,767 g/cm<sup>3</sup> a 0,999 g/cm<sup>3</sup>, para compensados de 11 diferentes espécies de eucalipto. Iwakiri (2006) encontrou, para essa propriedade, valor médio de 0,79 g/cm<sup>3</sup>, em compensados de *Eucalyptus grandis*.

TABELA 7 Valores médios de massa específica aparente, a 12% de umidade (entre parênteses, erro padrão da média), em painéis de compensado, segundo as espécies e procedência estudadas.

Procedências	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (g/cm <sup>3</sup> )	<i>E. grandis</i> (g/cm <sup>3</sup> )	<i>E. saligna</i> (g/cm <sup>3</sup> )
9785	0,95 (0,02) A	---	---
97852	0,95 (0,02) A		
43	---	0,85 (0,03) A	---
45	---	0,81 (0,02) BC	---
47	---	0,86 (0,03) A	---
48	---	0,83 (0,03) BC	---
8535	---	0,72 (0,02) C	---
9753	---	0,83 (0,02) BC	---
9789	---	0,85 (0,03) AB	
10634	---	0,84 (0,02) AB	---
10695	---	0,86 (0,02) A	---
10696	---	0,87 (0,03) A	---
7785	---	---	0,98 (0,03) A
7808	---	---	0,90 (0,03) A
10698	---	---	0,91 (0,02) A
Média Espécies <sup>1</sup>	0,95 (0,02) a	0,83 (0,01) b	0,93 (0,01) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

De acordo com Kollmann et al. (1975), a massa específica do compensado depende da espécie de madeira, da umidade das lâminas, da temperatura e da pressão de prensagem utilizadas na manufatura. Ela é maior do que a da madeira que o originou, quando não são aplicadas pressões elevadas.

O uso de temperatura na prensagem provoca o amolecimento da lignina, resultando em redução da resistência à compressão perpendicular às fibras e a pressão de prensagem ocasiona compactação devido ao efeito da redução dos espaços vazios das células que compõem a madeira. Tal efeito tem como resultado prático redução de espessura das lâminas individuais e do compensado em relação à madeira que o originou, além de conferir tensões internas que ficam retidas no painel após a prensagem. Assim, ocorre diminuição do volume das

lâminas que compõem o compensado, sendo que a massa permanece constante, gerando, então, um painel com massa específica maior do que aquela apresentada pela madeira que o originou.

### 5.2.3 Absorção de água total

O compensado, quando absorve água, provoca inchamento em espessura e liberação das tensões internas de compressão retidas após a prensagem que, por sua vez, influenciam a estabilidade dimensional da chapa. Dessa forma, valores menores dessa propriedade física são desejados.

O resultado de absorção de água total realizado para as espécies e procedências encontra-se na Tabela 8.

TABELA 8 Valores médios de absorção de água (entre parênteses, erro padrão da média) para painéis de compensado, para as espécies e as procedências estudadas.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (%)	<i>E. grandis</i> (%)	<i>E. saligna</i> (%)
9785	24,99 (1,97) A	---	---
97852	23,17 (1,80) A	---	---
43	---	36,63 (2,54) AB	---
45	---	28,95 (1,97) B	---
47	---	28,66 (2,20) B	---
48	---	41,73 (1,97) A	---
8535	---	35,86 (1,97) AB	---
9753	---	35,94 (2,54) AB	---
9789	---	26,68 (2,20) B	---
10634	---	28,78 (1,80) B	---
10695	---	33,53 (1,80) AB	---
10696	---	34,19 (2,54) AB	---
10698	---	---	30,33 (1,97) A
7785	---	---	24,09 (1,80) A
7808	---	---	29,40 (1,97) A
Média Espécies <sup>1</sup>	24,08 (1,33) b	33,09 (0,69) a	27,94 (1,11) b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

As procedências de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna* não apresentam diferença estatística no que se refere a essa propriedade física. Para as procedências de *Eucalyptus grandis* avaliadas, observou-se que as que absorveram, em média, menos água foram 9789, com 26,68%; 47, com 28,66%; 10634, com 28,78% e a 45 com 28,95%. Estas foram iguais estatisticamente a 43, 8535, 9753, 10695 e 10696. Quanto às espécies analisadas, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna* foram as que absorveram menos água, com médias, respectivamente, de 24,08% e 27,94%.

A espécie que mais absorveu água (*Eucalyptus grandis*) foi aquela que apresentou a menor densidade básica da madeira. Isso pode ser explicado em virtude do material com maior massa específica básica ter potencial de apresentar maior porosidade e, dessa forma, poder ser ocupada com maior quantidade de água.

Pereyra (1994) encontrou valores de absorção de água variando entre 39,45% e 47,96%, com média de 44,09%, trabalhando com madeira de *Eucalyptus dunnii* (MAID). Almeida (2004), trabalhando com clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, encontrou valores de absorção de água total entre 35,87% e 44,92%.

Kollmann e Schneider (1963), citados por Kollmann et al. (1975) e Pereyra (1994), afirmam que a utilização de altas temperaturas na secagem das lâminas e na prensagem a quente do compensado reduz a capacidade de sorção. Nesse sentido, pode-se relatar que a interferência nestes fatores pode melhorar a absorção de água do painel compensado.



## **5.2.2 Propriedades mecânicas dos compensados**

### **5.2.2.1 Flexão estática**

Este ensaio foi realizado com a finalidade avaliar a resistência (módulo de ruptura-MOR) à flexão e à rigidez (módulo de elasticidade - MOE) do compensado, e tais propriedades são as de maior importância no uso construtivo e estrutural do painel.

Os valores médios de módulo de elasticidade paralela e perpendicular para as procedências e espécies estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 9 e 10.

Não houve diferenças significativas entre os valores das médias, tanto para as procedências quanto para as espécies, no que se refere ao teste paralelo e perpendicular à grã da capa. Observa-se que MOE paralelo foi ligeiramente maior que o MOE perpendicular.

Os resultados obtidos para o teste paralelo foram inferiores aos valores encontrados por Keinert Júnior (1994), para compensados de *Eucalyptus grandis* (156.094 kgf/cm<sup>2</sup>), Iwakiri et al. (2000), para *Eucalyptus saligna* (122.017 kgf/cm<sup>2</sup>) e Pedrosa (2003), para *Eucalyptus dunnii* (132.814 kgf/cm<sup>2</sup>). Para o teste realizado perpendicularmente à grã da capa, os valores encontrados foram superiores aos observados por Bortoletto Júnior et al. (2003), na qual verificaram-se, para diversas espécies de eucaliptos, valores variando de 34.861 a 55.949kgf/cm<sup>2</sup>.

TABELA 9 Valores médios de módulo de elasticidade (entre parênteses, erro padrão da média), no teste de flexão paralela, segundo as espécies e a procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. grandis</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. saligna</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
9785	63.615,5 (14.645,8) A	---	---
97852	90.084,0 (11.958,2) A	---	---
43	---	91.815,3 (14.645,8) A	---
45	---	69.372,0 (11.958,2) A	---
47	---	59.977,5 (16.758,6) A	---
48	---	58.243,7 (11.958,2) A	---
8535	---	74.150,3 (11.958,2) A	---
9753	---	62.488,0 (14.645,8) A	---
9789	---	77.885,8 (14.645,8) A	---
10634	---	58.014,8 (11.958,2) A	---
10695	---	83.054,9 (11.958,2) A	---
10696	---	54.961,2 (14.645,8) A	---
7785	---	---	49.947,3 (13.683,3) A
7808	---	---	55.409,0 (16.758,6) A
10698	---	---	86.414,7 (13.683,3) A
Média Espécies <sup>1</sup>	76.849,7 (9.453,8) a	65.756,5 (4.227,8) a	63.923,7 (8.533,1) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

A norma NBR 31.000.001/2:2001 estabelece valores de MOE paralelo para compensado do tipo forma de concreto (FOR), com a utilização de cinco lâminas na sua constituição de, no mínimo, 51.000kgf/cm<sup>2</sup>, enquanto, para o perpendicular, é de, no mínimo, 25.493 kgf/cm<sup>2</sup>. Desse modo, apenas a procedência 7785 de *Eucalyptus saligna* não atingiu o mínimo estabelecido para módulo de elasticidade paralelo às fibras da capa, com 49.947,3kgf/cm<sup>2</sup>. As demais procedências apresentaram valores acima dos exigidos.

TABELA 10 Valores médios de módulo de elasticidade (entre parênteses, erro padrão da média), no teste de flexão perpendicular, segundo as espécies e procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. grandis</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. saligna</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
97852	60.012,7 (13.683,3) A	---	---
9785	60.594,0 (16.758,6) A	---	---
43	---	48.912,0 (16.758,6) A	---
45	---	62.516,9 (13.683,3) A	---
47	---	27.579,4 (14.645,8) A	---
48	---	47.768,1 (13.683,3) A	---
8535	---	67.783,1 (13.683,3) A	---
9753	---	72.228,4 (16.758,6) A	---
9789	---	36.210,0 (13.683,3) A	---
10634	---	55.198,5 (13.683,3) A	---
10695	---	57.333,4 (13.683,3) A	---
10696	---	64.610,0 (16.758,6) A	---
7785	---	---	54.808,9 (11.958,2) A
7808	---	---	52.193,6 (14.645,8) A
10698	---	---	64.445,0 (11.958,2) A
Média Espécies <sup>1</sup>	60.303,3 (10.817,6) a	57.053,8 (4.740,0) a	57.149,2 (7.457,3) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Os resultados médios para módulo de ruptura paralelo e perpendicular, para as procedências e espécies, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 11 e 12. Os valores de MOR, tanto perpendicular quanto paralelo à grã da capa, no que se refere às procedências e a espécies, não apresentaram efeitos significativos.

TABELA 11 Valores médios de módulo de ruptura (entre parênteses, erro padrão da média), no teste de flexão paralela, segundo as espécies e procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. grandis</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. saligna</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
9785	394,0 (60,7) A	---	---
97852	503,3 (49,6) A	---	---
43	---	465,7 (60,7) A	---
45	---	445,0 (49,6) A	---
47	---	253,5 (60,7) A	---
48	---	273,8 (49,6) A	---
8535	---	434,2 (49,6) A	---
9753	---	331,5 (60,7) A	---
9789	---	461,5 (60,7) A	---
10634	---	390,5 (49,6) A	---
10695	---	480,1 (49,6) A	---
10696	---	311,1 (60,7) A	---
7785	---	---	341,3 (60,8) A
7808	---	---	442,0 (74,5) A
10698	---	---	448,0 (60,8) A
Média Espécies <sup>1</sup>	448,7 (39,2) a	384,7 (17,5) a	410,4 (37,9) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Os resultados obtidos para resistência à ruptura paralela à grã da capa foram inferiores aos obtidos por Interamense (1998), para compensados de *Eucalyptus cloeziana* (941 kgf/cm<sup>2</sup>) e *Eucalyptus maculata* (836 kgf/cm<sup>2</sup>), e Keinert Júnior (1994), para *Eucalyptus grandis* (656 kgf/cm<sup>2</sup>) e Pedrosa (2003), para *Eucalyptus dunnii* (669 kgf/cm<sup>2</sup>). No sentido perpendicular, a resistência média foi inferior àquela encontrada por Bortoletto Júnior (2003), trabalhando com diversas espécies de eucaliptos, com valores entre de 467 a 648kgf/cm<sup>2</sup>.

A norma NBR 31.000.001/2:2001 estabelece valores mínimos de MOR paralelo para compensados tipo forma de concreto (FOR) de 459 kgf/cm<sup>2</sup>. Somente as procedências 97852 de *Eucalyptus cloeziana*, e 43, 9789 e 10695 de *Eucalyptus grandis* atenderam ao mínimo exigido. No que se refere às espécies, nenhuma delas se apresentou com valor suficiente para satisfazer às exigências mínimas.

Todas as espécies e procedências para MOR perpendicular à grã da capa apresentaram resultados acima do mínimo estabelecido em norma (306kgf/cm<sup>2</sup>).

TABELA 12 Valores médios de módulo de ruptura (entre parênteses, erro padrão da média), no teste de flexão perpendicular, segundo as espécies e a procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. grandis</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. saligna</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
9785	409,0 (74,5) A	---	---
97852	370,7 (60,8) A	---	---
43	---	306,0 (74,5) A	---
45	---	431,3 (60,8) A	---
47	---	334,0 (74,5) A	---
48	---	331,3 (60,8) A	---
8535	---	400,3 (60,8) A	---
9753	---	311,5 (74,5) A	---
9789	---	314,0 (60,8) A	---
10634	---	371,0 (60,8) A	---
10695	---	394,0 (60,8) A	---
10696	---	409,0 (74,5) A	---
7785	---	---	361,3 (49,6) A
7808	---	---	364,1 (60,7) A
10698	---	---	369,0 (49,6) A
Média	389,8 (48,1) a	360,2 (21,1) a	364,8 (30,9) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

A resistência dos compensados à flexão estática reflete em muito a densidade da madeira da qual veio o painel. Essa tendência pode ser observada entre os valores obtidos pelas espécies. Desse modo, compensados com maiores densidade apresentaram resultados superiores de flexão estática (MOE e MOR).

#### **5.2.2.2 Resistência ao cisalhamento**

O ensaio de cisalhamento tem como finalidade avaliar a qualidade da linha de colagem e classificar o compensado segundo o local de utilização, ou seja, se o mesmo pode ser destinado ao uso interior (avaliado no ensaio seco), intermediário (avaliado no ensaio úmido) ou exterior (avaliado no ensaio pós-fervura). Além da tensão de ruptura, se obtém o percentual de falha na madeira, avaliado de forma subjetiva, cujo valor complementa os resultados do ensaio de cisalhamento.

Os resultados dos ensaios de resistência da linha de colagem ao esforço do cisalhamento, realizados na condição seca, úmida e pós-fervura, são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 13, 14 e 15.

Não houve efeito significativo das procedências na resistência ao cisalhamento no estado seco. Para as espécies avaliadas, *Eucalyptus saligna* foi o que apresentou o maior valor médio, com 14,96 kgf/cm<sup>2</sup>. Esta foi estatisticamente igual à *Eucalyptus cloeziana*.

TABELA 13 Valores médios de resistência ao cisalhamento (seco), em função das espécies e da procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. grandis</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. saligna</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
9785	13,12 (33,33*) A	---	---
97852	15,83 (83,33) A	---	---
43	---	15,16 (66,67) A	---
45	---	11,51 (88,33) A	---
47	---	12,28 (81,67) A	---
48	---	12,52 (37,50) A	---
8535	---	12,43 (45,71) A	---
9753	---	11,76 (50,00) A	---
9789	---	13,39 (52,50) A	---
10634	---	9,95 (36,25) A	---
10695	---	14,73 (77,14) A	---
10696	---	11,27 (55,00) A	---
7785	---	---	15,88 (70,00) A
7808	---	---	13,66 (43,33) A
10698	---	---	15,33 (40,00) A
Média Espécies <sup>1</sup>	14,47 (66,67) ab	12,50 (60,20) b	14,96 (52,11) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

\* Falhas na madeira em percentagem.

Observa-se, para resistência no cisalhamento no estado úmido, que não houve diferenças significativas para as procedências avaliadas dentro de sua respectiva espécie. No que se refere às espécies, maior resistência foi observada para *Eucalyptus cloeziana*, com 19,28 kgf/cm<sup>2</sup>. As outras espécies se mostraram estatisticamente iguais, tendo, para *Eucalyptus grandis*, sido encontrado o valor de 12,97 kgf/cm<sup>2</sup> e, para *Eucalyptus saligna*, 14,01 kgf/cm<sup>2</sup>.

TABELA 14 Valores médios de resistência ao cisalhamento (úmido), em função das espécies e da procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. grandis</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. saligna</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
9785	20,99 (50,00*) A	---	---
97852	17,58 (43,33) A	---	---
43	---	10,95 (80,00) A	---
45	---	11,47 (50,00) A	---
47	---	10,72 (16,67) A	---
48	---	9,63 (20,00) A	---
8535	---	15,12 (37,50) A	---
9753	---	15,60 (55,00) A	---
9789	---	14,70 (52,00) A	---
10634	---	13,26 (67,50) A	---
10695	---	12,92 (70,00) A	---
10696	---	15,38 (3,33) A	---
7785	---	---	14,04 (34,29) A
7808	---	---	14,37 (5,00) A
10698	---	---	13,63 (83,33) A
7785	19,28 (46,67) a	12,97 (48,64) b	14,01 (32,50) b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

\* Falhas na madeira em percentagem.

Para o teste de resistência ao cisalhamento realizado após pós-fervura dos corpos-de-prova, constatou-se que, para as procedências de *Eucalyptus cloeziana*, não houve diferenças entre as médias avaliadas. Para *Eucalyptus grandis*, observaram-se os maiores valores médios nas procedências 45, 47, 8635, 10634, 10695, 9789, com tensões, respectivamente, de 13,76; 11,63; 11,60; 12,68; 11,33 e 11,31 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo estas estatisticamente iguais as procedências 43, 9753 e 10696. Nas procedências de *Eucalyptus saligna*, a que apresentou o maior valor foi a 7785, com valor médio de 14,82kgf/cm<sup>2</sup>, sendo estatisticamente igual a 7808. A espécie que apresentou a maior resistência ao



cisalhamento para essa propriedade foi a de *Eucalyptus cloeziana*, com tensão de 17,08 kgf/cm<sup>2</sup>.

TABELA 15 Valores médios de resistência ao cisalhamento (pós-fervura), em função das espécies e da procedência

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. grandis</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<i>E. saligna</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
9785	15,92 (30,00*) A	---	---
97852	18,23 (26,67) A	---	---
43	---	9,19 (66,67) AB	---
45	---	13,76 (36,67) A	---
47	---	11,63 (42,00) A	---
48	---	6,57 (28,57) B	---
8635	---	11,60 (18,00) A	---
9753	---	8,79 (10,00) AB	---
9789	---	11,31 (58,00) A	---
10634	---	12,68 (20,00) A	---
10695	---	11,33 (36,25) A	---
10696	---	9,10 (65,00) AB	---
7785	---	---	14,82 (52,00) A
7808	---	---	13,48 (40,00) AB
10698	---	---	8,81 (50,00) B
Média Espécies <sup>1</sup>	17,08 (28,33) a	10,60 (34,94) b	12,37 (46,25) b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

\* Falhas na madeira em percentagem.

Analisando-se os ensaios de cisalhamento, nota-se que, para as espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, ocorreu um decréscimo dos valores de tensão no sentido seco/úmido/pós-fervura. Para *Eucalyptus cloeziana*, observa-se uma tensão baixa para ensaio a seco, alta para úmido e intermediário para a pós-fervura. Isso mostra que essas procedências analisadas pertencentes à espécie de *Eucalyptus cloeziana* seriam as mais indicadas, em comparação às demais, para a utilização em ambientes com umidades mais elevadas.

Os valores obtidos para resistência ao cisalhamento ficaram próximos àqueles encontrados por Pereyra (1994). Trabalhando com o adesivo fenol-formaldeído com gramatura de 330 g/cm<sup>2</sup>, este autor verificou valores entre 8,36 kgf/cm<sup>2</sup> e 17,75 kgf/cm<sup>2</sup>, para o teste realizado na condição seca. O mesmo autor observou, para este teste com corpos-de-prova expostos à umidade, valor no intervalo entre 5,81 e 12,34 kgf/cm<sup>2</sup>.

Bortoletto Júnior (2003) encontrou valores de resistência ao cisalhamento seco de 24,78 kgf/cm<sup>2</sup> para compensados de diferentes espécies de eucalipto. Na condição úmida, observou valores médios de 25,54 kgf/cm<sup>2</sup>, enquanto que, para os corpos-de-prova expostos à fervura, valores médios de resistência de 25,54 kgf/cm<sup>2</sup>. Estes valores estão acima dos verificados neste trabalho, visto que este autor utilizou gramatura maior para seus painéis (360g/m<sup>2</sup>).

Almeida (2002), avaliando a resistência ao cisalhamento em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com a utilização de gramatura de 320 e 360g/m<sup>2</sup>, obteve valores, no teste a seco, variando de 16,73 a 20,71 kgf/cm<sup>2</sup>. No teste com presença de umidade, observou entre 12,04 e 15,82 kgf/cm<sup>2</sup>. Quando comparados a este trabalho, nota-se que, para a condição seca, este apresentou médias menores; já para o teste na condição úmida, os painéis gerados neste trabalho apresentaram, na grande maioria, valores maiores. Iwakiri et al. (2006), trabalhando com diferentes espécies florestais, incluindo a de *Eucalyptus grandis*, encontraram valores de tensão no cisalhamento quando da condição de pós-fervura, na ordem de 12,03 e 12,50 kgf/cm<sup>2</sup>. Os valores encontrados para esta propriedade, no presente trabalho, foram, na sua maioria, superiores a estes.

Os painéis compensados, para serem considerados de uso exterior, intermediário e interior, devem estar em conformidade com os valores da Tabela 16, que são as exigências da norma EN 314-2 de 1993, mostrando o valor

mínimo de falhas para uma determinada tensão de ruptura. Dessa forma, pode-se inferir que, à medida que aumenta a tensão de ruptura, a exigência, em termos de falha na madeira, reduz, até o momento em que pode ser desprezada, ou seja, quando a tensão de ruptura for suficientemente alta (igual ou maior que 10,2 kgf/cm<sup>2</sup>). A maioria dos dados apresentou valores de tensão acima de 10,2 kgf/cm<sup>2</sup>, não tendo exigências quanto à falha na madeira. Aqueles que não se enquadraram na norma foram algumas procedências de *Eucalyptus grandis*. No caso do teste a seco, foi a procedência de número 10634; já para o teste úmido, a procedência 48 e, para pós-fervura, as procedências 9753 e 48.

TABELA 16 Requisitos de colagem (valores médios).

Tensão de ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	Falha na madeira (%)
$2,04 \leq TR < 4,08$	$\geq 80$
$4,08 \leq TR < 6,12$	$\geq 60$
$6,12 \leq TR < 10,2$	$\geq 40$
$10,2 \leq TR$	Sem exigência

Fonte: EN 314-2 (1993).

### 5.3 Propriedades dos painéis aglomerados

#### 5.3.1 Propriedades físicas

##### 5.3.1.1 Massa específica e razão de compactação

Os valores médios de massa específica aparente das chapas aglomerados são apresentados na Tabela 17.

TABELA 17 Valores médios massa específica do painel (entre parênteses, erro padrão da média), segundo as espécies e a procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i> (g/cm <sup>3</sup> )	<i>E. grandis</i> (g/cm <sup>3</sup> )	<i>E. saligna</i> (g/cm <sup>3</sup> )
9785	0,61 (0,02) A	---	---
97852	0,64 (0,02) A	---	---
43	---	0,57 (0,02) AB	---
45	---	0,63 (0,02) A	---
47	---	0,62 (0,02) A	---
48	---	0,60 (0,02) AB	---
8535	---	0,65 (0,02) A	---
9753	---	0,61 (0,02) AB	---
9789	---	0,63 (0,02) A	---
10634	---	0,53 (0,02) B	---
10695	---	0,64 (0,02) A	---
10696	---	0,62 (0,02) A	---
7785	---	---	0,61 (0,02) A
7808	---	---	0,60 (0,02) A
10698	---	---	0,64 (0,02) A
Média Espécies <sup>1</sup>	0,62 (0,01) a	0,61 (0,01) a	0,61 (0,01) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Para as procedências de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*, não houve diferenças entre as densidades avaliadas. De modo geral, observa-se que, para a espécie de *Eucalyptus grandis*, as procedências tiveram efeito significativo sobre a densidade. Entre as espécies, os valores variaram de 0,61 a 0,62 g/cm<sup>3</sup>, não diferindo entre si. Os baixos valores de densidade observados,

tendo como base aquela nominal (0,70g/cm<sup>3</sup>), podem ser atribuídos à especificidade das condições laboratoriais em relação ao processo industrial, com perdas de materiais durante o manuseio das partículas nas etapas de aplicação de adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis

A razão de compactação dos painéis aglomerados, em função das procedências e espécies, é mostrada na Tabela 18.

TABELA 18 Valores médios de razão de compactação (entre parênteses, erro padrão da média), segundo as espécies e a procedência.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	0,85 (0,03) A	---	---
97852	0,85 (0,03) A	---	---
43	---	1,01 (0,03) B	---
45	---	1,06 (0,03) AB	---
47	---	1,03 (0,03) B	---
48	---	1,03 (0,03) B	---
8535	---	1,18 (0,03) A	---
9753	---	1,00 (0,03) B	---
9789	---	1,02 (0,03) B	---
10634	---	0,90 (0,03) C	---
10695	---	1,08 (0,03) AB	---
10696	---	1,01 (0,03) B	---
7785	---	---	0,97 (0,03) B
7808	---	---	0,94 (0,03) B
10698	---	---	1,12 (0,03) A
Média Espécies <sup>1</sup>	0,85 (0,02) b	1,03 (0,01)a	1,01 (0,02) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Pode-se observar que, para as procedências de *Eucalyptus cloeziana*, não houve diferença estatística entre as médias analisadas. Para as de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, houve diferenças estatísticas entre as procedências. No que se refere à espécie, o maior valor observado foi para *Eucalyptus saligna*

e *Eucalyptus grandis*, com, respectivamente, 1,01 e 1,03. Para *Eucalyptus cloeziana*, foi observado razão de compactação de 0,85.

A razão de compactação é dada pelo quociente da densidade do painel pela da madeira. É um importante parâmetro, pois, quando ela é alta, indica que as características mecânicas acabam sendo melhoradas (ligação interna, compressão, flexão). Em contrapartida, as características físicas são depreciadas, pois existe maior quantidade de partículas a sofrer compressão e, quando expostas à umidade, essas forças são liberadas, causando maiores alterações dimensionais. A faixa ideal é aquela acima de 1,3 (Iwakiri, 2005c). Dessa forma, nenhuma das procedências e espécies avaliadas apresentou valor igual ou superior a este. Isso pode ser justificado pela perda de densidade do painel.

#### **5.3.1.2 Absorção de água e inchamento em espessura após 2 e a 24 horas de imersão**

Na Tabela 9A observam-se os resultados da análise de covariância para absorção de água após 2 e 24 horas, considerando a densidade dos painéis como co-variável. Os resultados experimentais mostram que os resíduos, para as duas variáveis analisadas, seguem uma distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk, p-valor de 0,1616 e 0,2969 para absorção de água, após 2 e 24 horas, respectivamente. A regressão linear não significativa (p-valor = 0,9373), para absorção de água após 2 horas, indica que não existe relação linear entre esta variável e a densidade dos painéis. O mesmo foi observado para a variável absorção de água, após 24 horas (p-valor = 0,7279).

Os dados das Tabelas 19 e 20 representam os valores observados para as espécies e procedências estudadas com relação à absorção de água após 2 e 24 horas, respectivamente. Para a absorção de água após 2 horas de imersão, não houve diferença estatística para as procedências de *Eucalyptus cloeziana* e

*Eucalyptus saligna*. Analisando-se as diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, nota-se que a 10695 apresentou menor média para absorção de água, com 34,88%, sendo estatisticamente igual a 45, 9753, 9789 e 10634. A espécie que apresentou menor média para absorção de água foi a *Eucalyptus saligna*, com 45,66%, sendo estatisticamente igual à *Eucalyptus grandis*.

TABELA 19 Valores médios de absorção de água, em percentagem (entre parênteses, erro padrão da média), em 2 horas, no teste de absorção, segundo as espécies e a procedência do material, ajustados para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	61,05 (5,08) A	---	---
97852	61,62 (5,08) A	---	---
43	---	62,91 (5,21) AB	---
45	---	45,67 (5,10) ABC	---
47	---	58,72 (5,08) AB	---
48	---	55,20 (5,09) AB	---
8535	---	64,99 (5,15) A	---
9753	---	52,75 (5,12) ABC	---
9789	---	39,73 (5,08) BC	---
10634	---	51,18 (5,08) ABC	---
10695	---	34,88 (5,09) C	---
10696	---	71,43 (5,14) A	---
7785	---	---	45,04 (5,08) A
7808	---	---	50,09 (5,08) A
10698	---	---	41,86 (5,21) A
Média Espécies <sup>1</sup>	61,34 (3,59) a	53,75 (1,61) ab	45,66 (2,94) b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Para a absorção de água após 24 horas, nota-se a mesma tendência observada para de 2 horas após absorção, não tendo as procedências de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna* apresentado diferenças estatísticas entre suas médias. Para *Eucalyptus grandis*, a procedência que demonstrou menor valor médio foi a 9789, com 72,83%. Esta foi estatisticamente igual às de

número 43, 45, 47, 48, 9753, 10695 e 10696. Entre as espécies, *Eucalyptus saligna* apresentou menor valor médio para absorção após 24 horas de imersão, com 71,16%, sendo estatisticamente igual à *Eucalyptus cloeziana*.

TABELA 20 Valores médios de absorção de água em percentagem (entre parêntesis, erro padrão da média) em 24 horas, no teste de absorção, segundo as espécies e a procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	74,19 (3,67) A	---	---
97852	80,11 (3,67) A	---	---
43	---	88,99 (3,80) ABC	---
45	---	74,08 (3,69) BC	---
47	---	84,94 (3,67) ABC	---
48	---	73,94 (3,68) BC	---
8535	---	92,15 (3,73) AB	---
9753	---	77,62 (3,70) ABC	---
9789	---	72,83 (3,67) C	---
10634	---	93,41 (3,67) A	---
10695	---	77,76 (3,68) ABC	---
10696	---	86,96 (3,72) ABC	---
7785	---	---	65,07 (3,67) A
7808	---	---	71,41 (3,67) A
10698	---	---	77,01 (3,73) A
Média Espécies <sup>1</sup>	77,15 (2,60) ab	82,27 (1,16) a	71,16 (2,12) b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Essa variação da absorção de água é reflexo, principalmente, da razão de compactação. De maneira geral, pode-se dizer que existe uma tendência de que chapas com maiores taxa de compactação apresentam maiores valores de absorção de água.

Em pesquisa realizada por Iwakiri et al. (2001), para painéis de madeira aglomerada com cinco espécies de pinus, os valores médios obtidos foram na faixa de 68,82% a 83,60%, para absorção de água após 2 horas e de 78,69% a



93,81%, para absorção de água após 24 horas. Os resultados obtidos para painéis produzidos com espécies de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii* mostraram valores médios de absorção de água que variaram na faixa de 42,09% a 71,75%, para duas horas de imersão e de 73,12% a 80,05%, para 24 horas (Iwakiri et al., 1996). O comportamento das espécies e procedências de eucalipto utilizadas nesta pesquisa foi satisfatório, em comparação aos resultados encontrados na literatura.

Na Tabela 10A observam-se os resultados da análise de covariância para inchamento em espessura após 2 e 24 horas, considerando a densidade dos painéis como co-variável. Os resultados experimentais mostram que os resíduos, para as duas variáveis analisadas, seguem uma distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk, p-valor de 0,4359 e 0,8272 para inchamento, após 2 e 24 horas, respectivamente. A regressão linear não significativa (p-valor = 0,8237), para inchamento após 2 horas, indica que não existe relação linear entre esta variável e a densidade dos painéis. O mesmo foi observado para a variável inchamento em espessura, após 24 horas (p-valor = 0,0589).

Nas Tabelas 21 e 22 estão apresentados os valores médios de inchamento em espessura em 2 e 24 horas, respectivamente, para espécies e procedências de eucalipto.

Observa-se, pelos dados da Tabela 21, que o inchamento em espessura após 2 horas não foi afetado pela espécie. Para as procedências de *Eucalyptus cloeziana*, observou-se o menor valor para a 97852, com 14,24%. Para *Eucalyptus grandis*, destaque para as de número 43, 48, 10634 e 10695, com valores de 12,82, 13,27, 11,69 e 12,78 % respectivamente. Estes valores foram iguais estatisticamente a de número 10696. A procedência 7785 de *Eucalyptus saligna* foi a que apresentou menor média em inchamento após 2 horas, com valor médio de 13,69%, sendo estatisticamente igual a 10698.

TABELA 21 Valores médios de inchamento em espessura em percentagem (entre parênteses, erro padrão da média) em 2 horas, segundo as espécies e a procedência do material, ajustados para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	17,32 (0,86) A	---	---
97852	14,24 (0,86) B	---	---
43	---	12,82 (0,88) D	---
45	---	17,98 (0,86) ABC	---
47	---	21,51 (0,86) A	---
48	---	13,27 (0,86) D	---
8535	---	21,06 (0,87) AB	---
9753	---	18,37 (0,87) ABC	---
9789	---	18,37 (0,86) ABC	---
10634	---	11,69 (0,86) D	---
10695	---	12,78 (0,86) D	---
10696	---	17,15 (0,87) BCD	---
7785	---	---	13,69 (0,86) B
7808	---	---	18,67 (0,86) A
10698	---	---	17,86 (0,88) AB
Média Espécies <sup>1</sup>	15,78 (0,61) a	16,50 (0,27) a	16,74 (0,49) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Na Tabela 22, para o inchamento em espessura após 24 horas, nota-se a mesma tendência entre as espécies estudadas, não apresentando diferenças significativas entre si. Entre as procedências de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*, não foram observadas diferenças significativas entre suas médias. Para *Eucalyptus grandis*, manteve-se com menor valor médio de inchamento a de número 43, com 18,76%, sendo estatisticamente igual a 45, 47, 48, 9753, 9789, 10634 e 10695.

Os resultados de inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão, foram menores que aqueles encontrados por Iwakiri et al. (2001), estudando cinco espécies de pinus. O mesmo autor (2000), trabalhando com espécies de eucalipto oriundas do aproveitamento de serrarias, obteve, para essa propriedade,

valores de 12,38% a 30,60%, após 2 horas e de 23,50% a 38,81%, após 24 horas, valores acima dos obtidos nesta pesquisa.

TABELA 22 Valores médios de inchamento em espessura, em percentagem (entre parênteses, erro padrão da média), em 24 horas, segundo as espécies e a procedência do material, ajustados para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	27,20 (2,14) A	---	---
97852	21,73 (2,14) A	---	---
43	---	18,76 (2,20) C	---
45	---	23,93 (2,15) BC	---
47	---	27,90 (2,14) ABC	---
48	---	21,62 (2,15) BC	---
8535	---	38,17 (2,18) A	---
9753	---	29,09 (2,16) ABC	---
9789	---	26,47 (2,14) BC	---
10634	---	21,88 (2,14) BC	---
10695	---	24,02 (2,15) BC	---
10696	---	31,59 (2,17) AB	---
7785	---	---	22,78 (2,14) A
7808	---	---	29,32 (2,14) A
10698	---	---	29,36 (2,20) A
Média Espécies <sup>1</sup>	24,46 (1,52) a	26,34 (0,68) a	27,15 (1,24) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância

Pode-se ainda dizer que os valores obtidos neste trabalho ficaram abaixo das exigências da norma americana CS 236-66, para painéis aglomerados com densidades de 0,60 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, confeccionados com adesivo uréia-formaldeído, que estabelece valor máximo de 35% para absorção após 24 horas.

Portanto, todas as procedências e as espécies avaliadas neste trabalho apresentaram boas características de estabilidade dimensional, em virtude do material genético utilizado, da aplicação da emulsão de parafina e, principalmente, da densidade baixa do painel, que levou à conseqüente redução

na razão de compactação, culminando com a melhora nas propriedades físicas do mesmo.

### **5.3.2 Propriedades mecânicas**

#### **5.3.2.1 Ligação Interna**

O ensaio de ligação interna afere o grau de adesão entre as partículas, em amostras submetidas a esforço de tração perpendicular. A ruptura, que normalmente ocorre na porção média da sua espessura, corresponde à região de inferior nível de densidade e ligação entre as partículas (Iwakiri, 1989).

Na Tabela 11A observam-se os resultados da análise de covariância para ligação interna, considerando a densidade dos painéis como co-variável. Os resultados experimentais mostram que os resíduos, para as duas variáveis analisadas, seguem uma distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk, p-valor de 0,2717. A regressão linear não significativa (p-valor = 0,0802) indica que não existe relação linear entre esta variável e a densidade dos painéis.

Os dados apresentados na Tabela 23 são referentes às tensões obtidas no teste de ligação interna. Observa-se que não houve diferenças significativas entre os valores médios de ligação interna, tanto entre espécies quanto entre procedências. Isso dá um indicativo de que a colagem do painel foi homogênea para todos os materiais genéticos testados.

Em trabalho realizado por Pedrazzi (2006), com utilização de 8% de adesivo uréia-formaldeído e densidade de  $0,65\text{g/cm}^3$  do painel, foram relatados valores de  $1,75\text{kgf/cm}^2$  e  $1,35\text{kgf/cm}^2$ , com a utilização de resíduos de *Eucalyptus saligna*, gerados pela indústria de celulose, ficando abaixo dos obtidos por este trabalho. A norma de comercialização americana CS 236-66 (1968) para painéis de baixa densidade, com colagem a base de uréia-formaldeído, estabelece valores de  $2,10\text{kgf/cm}^2$ . Os encontrados para as espécies e procedências se mostraram acima dessas exigências.

TABELA 23 Valores médios de ligação interna, em kgf/cm<sup>2</sup> (entre parênteses, erro padrão da média), segundo as espécies e a procedência do material, ajustados para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	3,18 (0,22) A	---	---
97852	3,01 (0,22) A	---	---
43	---	2,53 (0,23) A	---
45	---	3,08 (0,22) A	---
47	---	2,80 (0,22) A	---
48	---	3,04 (0,22) A	---
8535	---	2,76 (0,23) A	---
9753	---	2,89 (0,22) A	---
9789	---	2,99 (0,22) A	---
10634	---	2,69 (0,22) A	---
10695	---	3,57 (0,22) A	---
10696	---	2,69 (0,23) A	---
7785	---	---	2,97 (0,22) A
7808	---	---	2,61 (0,22) A
10698	---	---	2,89 (0,23) A
Média Espécies <sup>1</sup>	3,09 (0,16) a	2,90 (0,07) a	2,82 (0,13) a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância

### 5.3.2.2 Flexão estática

Na Tabela 13A observam-se os resultados da análise de covariância para MOE e MOR, considerando a densidade dos painéis como co-variável. Os resultados experimentais mostram que os resíduos, para as duas variáveis analisadas, seguem uma distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk, p-valor de 0,0876 e 0,0530 para MOE e MOR, respectivamente. A regressão linear não significativa (p-valor = 0,5457), para MOE, indica que não existe relação linear entre esta variável e a densidade dos painéis. O mesmo foi observado para a variável MOR (p-valor = 0,3362).

Na Tabela 24 observam-se os valores de módulo de elasticidade (MOE) para os painéis aglomerados produzidos a partir de diferentes procedências e espécies de eucalipto.

TABELA 24 Valores médios de modulo de elasticidade, em kgf/cm<sup>2</sup> (entre parênteses, erro padrão da média), no teste de flexão, segundo as espécies e a procedência dos materiais, ajustados para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	8.313,5 (695,7) A	---	---
97852	7.812,7 (695,3) A	---	---
43	---	7.710,1 (714,6) AB	---
45	---	8.911,1 (698,9) AB	---
47	---	8.682,4 (695,9) AB	---
48	---	9.056,0 (697,9) AB	---
8535	---	8.602,8 (706,4) AB	---
9753	---	6.744,5 (701,8) B	---
9789	---	9.476,3 (696,3) AB	---
10634	---	8.791,3 (696,3) AB	---
10695	---	10.537,8 (698,1) A	---
10696	---	9.367,7 (704,4) AB	---
7785	---	---	7.590,1 (695,7) A
7808	---	---	6.670,4 (695,9) A
10698	---	---	7.774,5 (714,1) A
Média Espécies <sup>1</sup>	8.063,1 (492,0) b	8.788,0 (220,3) a	7.345,0 (402,8) ab

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância

Pela análise dos resultados, verifica-se que não houve diferenças significativas entre as médias analisadas para as procedências de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*, enquanto para *Eucalyptus grandis* foi observado maior valor médio para a de número 10695, com 10537,8kgf/cm<sup>2</sup>, sendo esta estatisticamente igual a 43, 45, 47, 48, 8535, 9789, 10634 e 10696. Para as

espécies, maior valor foi observado para *Eucalyptus grandis*, sendo estatisticamente igual ao valor encontrado para *Eucalyptus cloeziana*.

Iwakiri et al. (2000), utilizando resíduos de serraria na manufatura de aglomerados de eucalipto com 8% de adesivo, obtiveram, para essa propriedade, valores de 17737,63 e 22068,85kgf/cm<sup>2</sup>. Pedrazzi et al. (2006) obtiveram valores de MOE entre 10.143 e 14.774kgf/cm<sup>2</sup> para tratamento com 8% de adesivo, utilizando serragem de madeira de eucalipto. Os valores obtidos por esses estudos foram maiores que os deste trabalho. Da mesma forma, os resultados dessa propriedade se mostraram abaixo das exigências da norma de comercialização americana para painéis de madeira aglomerada com baixa densidade, com uso de adesivo uréia-formaldeído (10.500kgf/cm<sup>2</sup>).

Observam-se, na Tabela 25 valores de módulo de ruptura (MOR) para os painéis aglomerados. Pode-se dizer que, para MOR, não houve diferenças significativas entre as médias, dentro das procedências de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*; já para *Eucalyptus grandis*, maior valor foi encontrado para 10695, com 230,1kgf/cm<sup>2</sup>, sendo estatisticamente igual a 43, 45, 47, 48, 8535, 9789, 10634 e 10696. Quanto às espécies, pode-se inferir que a mais resistente foi a de *Eucalyptus grandis*, com 179,1kgf/cm<sup>2</sup>.

TABELA 25 Valores médios de módulo de ruptura, em kgf/cm<sup>2</sup> (entre parênteses, erro padrão da média), no teste de flexão, segundo as espécies e a procedência dos materiais, ajustados para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	166,5 (14,9) A	---	---
97852	139,2 (14,9) A	---	---
43	---	146,7 (15,3) AB	---
45	---	196,8 (15,0) AB	---
47	---	167,4 (14,9) AB	---
48	---	193,8 (14,9) AB	---
8535	---	175,5 (15,2) AB	---
9753	---	135,0 (15,1) B	---
9789	---	184,6 (14,9) AB	---
10634	---	177,8 (14,9) AB	---
10695	---	230,1 (14,9) A	---
10696	---	183,0 (15,1) AB	---
7785	---	---	150,7 (14,9) A
7808	---	---	127,2 (14,9) A
10698	---	---	164,4 (15,3) A
Média Espécies <sup>1</sup>	152,8 (10,5) b	179,1 (4,7) a	147,5 (8,6) b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Iwakiri et al. (2001), confeccionando aglomerados a partir de madeira de diferentes espécies de pinus, encontraram valores de MOR entre 171,83 e 215,42kgf/cm<sup>2</sup>. Os mesmos autores (2000), trabalhando com resíduos de serraria gerados por madeira de diferentes espécies de eucalipto, encontraram valores de MOR entre 74,13 e 158,54kgf/cm<sup>2</sup>. A norma de comercialização CS 236-66 (1968) coloca valores mínimos para essa propriedade de 98kgf/cm<sup>2</sup>, para painéis aglomerados confeccionados com uréia-formaldeído e de baixa densidade. Os resultados observados no presente trabalho ficaram próximos aos encontrados na literatura e acima daqueles referenciados na norma.



#### 5.3.2.4 Compressão

Na Tabela 12A são apresentados os resultados da análise de covariância para o teste de compressão, considerando a densidade dos painéis como covariável. Os resultados experimentais mostram que o resíduo, para esta variável analisada, seguem uma distribuição normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk, p-valor de 0,7425. A regressão linear foi significativa (p-valor = 0,0088). O teste de compressão indica que existe uma relação linear entre esta variável e a densidade dos painéis. A estimativa do coeficiente de regressão linear ( $\hat{b} = 77,68$ ) indica que, para o aumento de  $0,1 \text{ g/cm}^3$  na densidade dos painéis, há um aumento de  $7,768 \text{ Kgf/cm}^2$  no teste de compressão.

Pelos dados da Tabela 26 observam-se os valores médios de compressão para os painéis aglomerados. Nota-se que não houve diferenças significativas tanto para as procedências. Para espécies, observa-se maior valor médio de tensão na compressão para *Eucalyptus cloeziana*, sendo estatisticamente igual ao valor observado para *Eucalyptus saligna*.

Para as procedências de *Eucalyptus cloeziana*, observou variação de 58,02 a 66,64kgf/cm<sup>2</sup>, tendo média de 62,33kgf/cm<sup>2</sup>. Em *Eucalyptus grandis*, encontrou-se variação de 44,70 a 59,73kgf/cm<sup>2</sup>, tendo a espécie apresentado valor de 52,84kgf/cm<sup>2</sup>. Já para *Eucalyptus cloeziana*, a amplitude foi de 52,34 a 58,97kgf/cm<sup>2</sup>, com média de 55,00kgf/cm<sup>2</sup>.

TABELA 26 Valores médios de força, em kgf/cm<sup>2</sup>, no teste de compressão (entre parênteses, erro padrão da média), segundo as espécies e a procedência do material, ajustadas para a densidade dos painéis.

Procedência	Espécies <sup>1</sup>		
	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. saligna</i>
9785	58,02 (4,53) A	---	---
97852	66,64 (4,53) A	---	---
43	---	48,58 (4,65) A	---
45	---	59,73 (4,55) A	---
47	---	44,70 (4,53) A	---
48	---	58,49 (4,54) A	---
8535	---	46,69 (4,60) A	---
9753	---	49,37 (4,57) A	---
9789	---	53,26 (4,53) A	---
10634	---	53,20 (4,53) A	---
10695	---	55,95 (4,54) A	---
10696	---	58,41 (4,58) A	---
7785	---	---	53,69 (4,53) A
7808	---	---	58,97 (4,53) A
10698	---	---	52,34 (4,65) A
Média Espécies <sup>1</sup>	62,33 (3,20) a	52,84 (1,43) b	55,00 (2,62) ab

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância

## 6 CONCLUSÕES

- ✓ As propriedades físicas dos compensados estão de acordo com as referências, com destaque para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*.
- ✓ Para MOE paralelo, todas as procedências e espécies se adequaram à norma, com exceção da 7785 de *Eucalyptus saligna*.
- ✓ No MOR paralelo, as procedências 97852 de *Eucalyptus cloeziana* e 43, 9789 e 10695 de *Eucalyptus grandis* atingiram as exigências da norma. Na posição perpendicular, todas as espécies e procedências avaliadas satisfizeram à mesma norma.
- ✓ No teste de cisalhamento seco e a úmido, as espécies de destaque foram, respectivamente, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. Para o teste pós-fervura, foram encontradas médias superiores dentro de *Eucalyptus grandis*, nas procedências 45, 9789, 10634 e 10695 e para a de 7785 dentro de *Eucalyptus saligna*. Quanto à espécie, *Eucalyptus saligna* mostrou melhor valor para teste a seco, enquanto, para úmido e pós-fervura, foram obtidos maiores valores para *Eucalyptus cloeziana*.
- ✓ No teste de cisalhamento, algumas procedências de *Eucalyptus grandis* não atingiram a combinação mínima de tensão de cisalhamento x falha na madeira exigida em norma, sendo a de número 10634, para o teste a seco; 48, para o teste a úmido e 9753 e 48, para a pós-fervura.
- ✓ Propriedades físicas dos painéis aglomerados se mostraram adequadas às normas e abaixo de referência. As propriedades mecânicas apresentaram-se dentro das exigências de norma, com exceção do MOE.

- ✓ A espécie de *Eucalyptus saligna* apresentou melhor desempenho na absorção de água.
- ✓ *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna* se destacaram no teste de compressão.
- ✓ Os maiores valores obtidos para MOE foi para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis*, enquanto para MOR foi destaque *Eucalyptus grandis*.
- ✓ A procedência 10695 dentro da espécie de *Eucalyptus grandis* foi a que se destacou, com melhores valores de MOE e MOR, além de valores nas propriedades físicas baixas

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se a pesquisa das variáveis do processamento. Nos aglomerados, estudo da percentagem de parafina, adesivo e ciclo de prensagem e, para os compensados, também relacionado ao ciclo de prensagem e a diferentes gramaturas de adesivo. Ao fim, ter-se-iam, para cada material genético, parâmetros ótimos para a confecção das chapas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, O. J. R. **Método para controle das rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-maiden, visando a produção de lâminas por desenrolamento.** 1986. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. Processamento mecânico da madeira na evolução humana. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, v. 4, n. 23, p. 36-37, jul./ago. 1995.
- ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M. OSB: aspectos de produção, uso e vantagens sobre outros painéis. **Revista da madeira**, Curitiba, n. 44, p. 22 – 26, 1999.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Intervenções de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados.** 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- ALMEIDA, R. R. **Potencial da madeira de clones do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados.** 2002. 80p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 65, jun. 2004.
- ASSIS, T. F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALYPTO, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV/DEF/SIF/IEF, 1999. p. 61-72.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas técnicas. ABNT. NBR-9533.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/CB-31-** Projeto de Normas 31.000.05.001/1. Chapas de madeira compensada. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto** 31:000.05-001/1:2004. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA. **Estudo setorial**. Curitiba, 1999. 54p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Relatório setorial**. São Paulo, 2002.

BALDWIN, R.F. **Plywood manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981. 326 p.

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

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Bending strength and stiffness properties of OSB and plywood panels. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, July/Aug. 2004.

BRITO, E.O.; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J.N.; BATISTA, D.C. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Revista Scientia Forestalis**, n. 72, p. 17-21, dez. 2006.

CABRAL, C. P.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Propriedade de chapas de aglomerado confeccionados com mistura de partículas de *Eucalyptus spp* e *Pinus elliotti*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 100 -107, set./out. 2007.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (osb): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

COMMERCIAL STANDARD. **Mat formed wood particle board:** (CS -236-66), San Francisco, 1968.

DACOSTA, L. P. E.; HASELIN, C. R.; SANTINIM, E. J.; SHENNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduo do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005.

GAIOTO, M. R.; WATAI, L. T.; JANKOWSKY, I. P. Avaliação experimental do compensado de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1989, Curitiba. **Anais..** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v. 2, p. 595-599.

GAIOTTO, M. R. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus salignas* e *Eucalyptus urophylla* para produção de lâminas.** 1993. 119 p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Botucatu, SP.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* w. Hill ex- maiden) e embaúba (*Cecropia* sp.).** 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLING, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, jun. 2002.

INTERAMNENSE, M. T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. Muell), *Eucalyptus maculata* (Hook) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para a produção de painéis compensados.** 1998. 81 p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus*.** 1989. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: Abril, 2005.

IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J.; FOFANO JÚNIOR, A.; FABROWSKI, F.; TORREÃO, M. Produção de chapas de partículas de madeira de *Pinus elliotii* e *Eucalyptus dunnii*. **Agrárias**, Curitiba, v. 15, p. 34-41, 1996.



IWAKIRI, S.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*.

**Revista Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 19-24, 1999a.

IWAKIRI, S.; PEREIRA, S. J.; NIGOSKI, S. Avaliação da qualidade de colagem em compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta*.

**Revista Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 45-50, 1999b.

IWAKIRI, S.; COSTA, A. F.; KLITZER, R. J.; NIELSEN, I. R.; ALBERTINE, R. A. R.; NIEFE, I. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm. com inclusão laminar. **Revista Cerne**, v. 5, n. 2, p. 086-094, 1999c.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Revista Scientia Agraria**, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. M. R.; MATOSKI, S. R.; LEONHARDT, G.; CARON, J. **Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais**. Revista Floresta e Ambiente, v. 8, n.1, p.137 - 142, jan./dez. 2001

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. C.; MENEZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, C. A.; VERNON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6,3 p. 883 a 887, 2004.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JÚNIOR, A. A.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de adesivo melamina-uréia-formaldeído. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005a.

IWAKIRI, S.; COPRARA, A. C.; SAKS, D. C. O.; GUIANTES, F. P.; FRANSONI, J. A.; KRAMBEK, L. B. P.; RIGATO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de adesivos.

**Revista Scientia Forestalis**, n. 68, p. 39-43, ago. 2005b.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Abril, 2005c.

IWAKIRI, S.; NETO, A.; ALMEIDA, B. C.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUIANTE, F. P.; RIGATTO, P. A.; BETEGA, P. B. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006a.

IWAKIRI, S; STINGHEN, A. B. M; NUNES, E. L. S; ZAMARIAN, E. H. C; U; ADRIAZOLA, M. K. O. tilização de lâminas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus maculata* como alternativa para a produção de piso laminado com montagem direta. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 3, set./dez. 2006b.

JAEGER, P.; ZIGER, M. Avaliação das propriedades mecânicas de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus dunnii/Pinus taeda*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 329-338, 2007.

JANKOWSKY, I. P.; AGUIAR, O. J. R. Manufatura de painéis compensados com *Eucalyptus*: caracterização de diversas espécies. **Floresta**, v. 1, p. 41, n. 4, p. 46-53, 1983.

KEINERT JR., S. **Laminação, produção e testes de compensados a partir de *Eucalyptus spp***: relatório de pesquisa. Curitiba: CNPq, 1994. 93 p.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: U.S. For. Prod. Lab., 1977. 66 p. (General Technical Report FPL, 10).

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II** - wood based materials. New York: Spring/Berlin Heidelberg, Verlag, 1975. 703 p.

LYNAM, F. C. Factores influencing the properties of wood chipbord. **Wood**, n. 24, p. 18-20, 1959.

LUTZ, J. F. **Wood veneer log selection, cutting and drying**. [S.l.]: USDA, 1978. (USDA Technical Bulletin, 1577).

MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. 2.ed. São Francisco: M. Freeman , 1993. 689 p.

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

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University, 1974.

NOCE, R.; CARVALHO, R. M. M. A.; CANTO, J. L.; SILVA, M. L.; MENDES, L. M. Medida da desigualdade do mercado internacional de compensado. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 001, p. 107-110, 2006.

OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LÚCIA, R. M. **Teores de extrativos de 27 espécies de madeiras nativas do Brasil ou aqui introduzidas**. Viçosa, MG: SIF, 1994. 5 p.

PEDRAZZI, C.; HASILEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Revista Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.

PEDROSA, A. L. **Desempenho estrutural de vigas “i” constituídas por PLP e compensado de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus spp.*** 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

PEREYRA, O. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados**. 1994. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

PIO, N. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados**. 1996. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

RIBEIRO, I. S. A. **Análise do mercado internacional de compensado**. 2003. 177p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SELLERS, J.R. T. **Plywood adhesive technology**. New York: M. Dekker, 1985. 661 p

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Contribuição do grupo de trabalho “madeira e floresta” ao fórum de competitividade da cadeia produtiva da indústria de madeira e móveis do MDIC**. São Paulo, 2000. 33 p.

SJOSTROM, F. **Wood chemistry fundamentals and application**. New York: Academic, 1993. 223 p.

SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maind.** 2002. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **Testing and methods**. Atlanta, 1994.

TOMASELI, I. Tendências de mudanças na indústria de painéis. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 43, p. 36-42, 1999.

TRUGILHO, P. F; LIMA, J. T; MORI, F. A; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood. Structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

VITAL, B.R.; LEHMANN, N.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 377-416.

ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**. Berlin: Springer. 1989. 290 p.

ZUGMAN, I.C. Estrutura das indústrias e comércio de madeira compensada e laminada no Brasil e no mundo. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa, MG: SIF/UFV/DEF, 1998. p.49-54.

## ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Análise de variância para o teste de absorção de água, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.....	90
TABELA 2A Análise de variância para densidade, para painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.....	90
TABELA 3A Análise de variância para o teor de umidade, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.....	90
TABELA 4A Análise de variância para tensão na fervura, no teste de cisalhamento, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.....	91
TABELA 5A Análise de variância para tensão a seco, no teste de cisalhamento, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.....	91
TABELA 6A Análise de variância para tensão em úmido, no teste de cisalhamento, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.....	91

TABELA 7A	Análise de variância para o teste de flexão paralela, em que as variáveis módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) foram analisadas segundo os tratamentos estudados.....	92
TABELA 8A	Análise de variância para o teste de flexão perpendicular, em que as variáveis módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) foram analisadas segundo os tratamentos estudados.....	92
TABELA 9A	Análise de co-variância para absorção de água em 2 (AA2h) e em 24 (AA24h) horas, tendo a densidade do painel como co-variável.....	92
TABELA 10A	Análise de co-variância para inchamento em espessura, em 2 (IE2h) e em 24 (IE24h) horas, tendo a densidade do painel como co-variável.....	93
TABELA 11A	Análise de co-variância para teste de ligação interna, tendo a densidade do painel como co-variável.....	93
TABELA 12A	Análise de co-variância para força, em $\text{kgf/cm}^2$ , no teste de compressão, tendo a densidade do painel como co-variável.....	94
TABELA 13A	Análise de co-variância para módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), em $\text{kgf/cm}^2$ , tendo a densidade do painel como co-variável. ....	94

TABELA 14A Análise de variância para a razão de compactação (RC) e a densidade do painel (DENS), analisadas segundo os tratamentos estudados.....95

TABELA 15A Análise de variância para a densidade da madeira (DENSM), analisada segundo os tratamentos estudados.....95

TABELA 1A Análise de variância para o teste de absorção de água, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
		Absorção água
Espécies	2	415,0280 (< 0,0001)
Procedência d. Esp.	12	87,8066 (< 0,0001)
Erro	56	19,4200
CV (%)		14,51
Pr < W		0,2090

TABELA 2A Análise de variância para densidade, para painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
		Densidade
Espécies	2	0,1066 (< 0,0001)
Procedência d. Esp.	12	0,0098 (0,0028)
Erro	68	0,0033
CV (%)		6,72
Pr < W		0,2991

TABELA 3A Análise de variância para o teor de umidade, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
		Umidade
Espécies	2	0,6535 (0,7544)
Procedência d. Esp.	12	1,0559 (0,9308)
Erro	73	2,3072
CV (%)		15,81
Pr < W		0,0505



TABELA 4A Análise de variância para tensão na fervura, no teste de cisalhamento, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Tensão fervura
Espécies	2	107,0316 (0,0002)
Procedência d. Esp.	12	21,0267 (0,0493)
Erro	73	10,6188
CV (%)		26,98
Pr < W		0,6650

TABELA 5A Análise de variância para tensão a seco, no teste de cisalhamento, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Tensão seco
Espécies	2	45,3872 (0,0412)
Procedência d. Esp.	12	13,0159 (0,4926)
Erro	73	13,5102
CV (%)		27,69
Pr < W		0,0547

TABELA 6A Análise de variância para tensão em úmido, no teste de cisalhamento, em painéis de compensado, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Tensão úmido
Espécies	2	102,2676 (0,0004)
Procedência d. Esp.	12	14,3370 (0,2635)
Erro	73	11,2682
CV (%)		24,34
Pr < W		0,2000

TABELA 7A Análise de variância para o teste de flexão paralela, em que as variáveis módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) foram analisadas segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Espécies	2	578.735.436,0 (0,2793)	11.018,2892 (0,2455)
Procedência d. Esp.	12	614.513.028,0 (0,2213)	14.376,4653 (0,0817)
Erro	23	428.997.320,0	7.374,9424
CV (%)		31,26	21,85
Pr < W		0,0554	0,8882

TABELA 8A Análise de variância para o teste de flexão perpendicular, em que as variáveis: módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) foram analisadas segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Espécies	2	144.670.183,0 (0,7750)	8.085,6048 (0,4929)
Procedência d. Esp.	12	423.620.028,0 (0,6882)	5.948,3376 (0,8696)
Erro	24	561.702.536,0	11.095,9097
CV (%)		40,41	28,08
Pr < W		0,1398	0,0644

TABELA 9A Análise de co-variância para absorção de água em 2 (AA2h) e em 24 (AA24h) horas, tendo a densidade do painel como co-variável.

Fonte de variação	gl	Quadrado Médio (p-valor)	
		AA2h <sup>1</sup>	AA24h
Regressão linear	1	0,0003 (0,9373)	9,8413 (0,7279)
Espécie ajustado	2	0,3355 (0,0026)	876,2460 (<0,0001)
Procedência dentro espécie ajustado	12	0,2323 (<0,0001)	326,3176 (<0,0001)
Erro ajustado	74	0,0519	80,6959
<sup>2</sup> Pr < W		0,1616	0,2969
CV <sub>aj</sub> (%)		5,79	11,32

1-variável transformada por  $\log(y)$ ; 2-teste de Shapiro-Wilk para normalidade.

TABELA 10 A Análise de co-variância para inchamento em espessura, em 2 (IE2h) e em 24 (IE24h) horas, tendo a densidade do painel como co-variável.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		IE2h	IE24h
Regressão linear	1	2,7189 (0,4359)	1,3215 (0,8272)
Espécie ajustado	2	3,5529 (0,4523)	26,6850 (0,3841)
Procedência dentro espécie ajustado	12	65,4545 (<0,0001)	160,5887 (<0,0001)
Erro ajustado	74	4,4308	27,5262
<sup>1</sup> Pr< W		0,8237	0,0589
CV <sub>aj</sub> (%)		12,79	19,98

1-teste de Shapiro-Wilk para normalidade

TABELA 11 A Análise de co-variância para teste de ligação interna, tendo a densidade do painel como co-variável.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
		Ligação Interna <sup>1</sup>
Regressão linear	1	0,1075 (0,0802)
Espécie ajustado	2	0,0174 (0,6021)
Procedência dentro espécie ajustado	12	0,0443 (0,2381)
Erro ajustado	74	0,0342
<sup>2</sup> Pr< W		0,2717
CV <sub>aj</sub> (%)		17,57

1-variável transformada por  $\log(y)$ ; 2 - teste de Shapiro-Wilk para normalidade.

TABELA 12 A Análise de co-variância para força, em kgf/cm<sup>2</sup>, no teste de compressão, tendo a densidade do painel como co-variável.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Compressão	
Regressão linear	1	889,4928 (0,0088)	
Espécie ajustado	2	451,0011 (0,0302)	
Procedência dentro ESPÉCIE ajustado	12	157,4879 (0,2473)	
Erro ajustado	74	122,8324	
<sup>1</sup> Pr< W		0,7425	
CV <sub>aj</sub> (%)		20,32	

1 - teste de Shapiro-Wilk para normalidade.

TABELA 13 A Análise de co-variância para módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), em kgf/cm<sup>2</sup>, tendo a densidade do painel como co-variável.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		<sup>1</sup> MOE	<sup>1</sup> MOR
Regressão linear	1	3,8 x 10 <sup>-7</sup> (0,5457)	0,00006 (0,3362)
Espécie ajustado	2	67,8 x 10 <sup>-7</sup> (0,0024)	0,00049 (0,0006)
Procedência dentro espécie ajustado	12	20,5 x 10 <sup>-7</sup> (0,0370)	0,00017 (0,0030)
Erro ajustado	74	10,3 x 10 <sup>-7</sup>	0,00006
<sup>2</sup> Pr< W		0,0876	0,0530
CV <sub>aj</sub> (%)		9,16	9,92

1-variáveis transformadas por  $1/\sqrt{y}$ ; 2-teste de Shapiro-Wilk para normalidade.

TABELA 14A Análise de variância para a razão de compactação (RC) e a densidade do painel (DENS), analisadas segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		RC	DENS
Espécies	2	0,1498 (<0,0001)	0,0013 (0,4429)
Procedência d. esp.	12	0,0306 (<0,0001)	0,0055 (0,0006)
Erro	72	0,0046	0,0016
CV (%)		6,74	6,59
Pr < W		0,1500	0,1052

TABELA 15A- Análise de variância para a densidade da madeira (DENS<sub>M</sub>), analisada segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
		DENS <sub>M</sub>
Espécies	2	0,0520 (<0,0001)
Procedência d. Esp.	12	0,0025 (0,2475)
Erro	35	0,0019
CV (%)		7,15
Pr < W		0,9810