

**ESTUDOS DE VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO
DE PAINÉIS OSB MANUFATURADOS COM
MISTURAS DE MADEIRAS DE CLONES DE
*Eucalyptus spp***

SORAYA APARECIDA MENDES

2005

59145
050446

SORAYA APARECIDA MENDES

**ESTUDOS DE VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB
MANUFATURADOS COM MISTURAS DE MADEIRAS DE CLONES
DE *Eucalyptus spp***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador
Prof. Lourival Marin Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

BIOTECNIA CENTRAL
UFPA
634 97342
MEM
REGISTRO 59145
DATA 30/05/05

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

Mendes, Soraya Aparecida

Estudos de variáveis de produção de painéis OSB manufacturados com misturas de madeiras de clones de *Eucalyptus spp* / Soraya Aparecida Mendes. -- Lavras : UFLA, 2005.

117 p. : il.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Eucalyptus. 2. Clone. 3. Painel OSB. 4. Propriedade física e mecânica. 5. MOEd. 6. Umidade de equilíbrio. 7. Indicação de uso. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD - 634.97342
- 674.1

SORAYA APARECIDA MENDES

**ESTUDOS DE VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB
MANUFATURADOS COM MISTURAS DE MADEIRAS DE CLONES
DE *Eucalyptus spp***

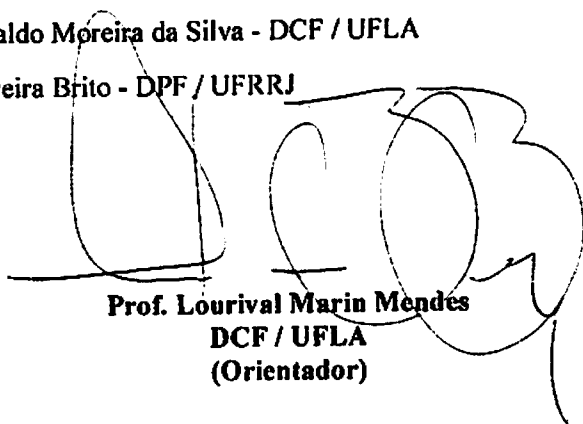
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 28 de Fevereiro de 2005

Prof. Fábio Akira Mori - DCF / UFLA

Prof. José Reinaldo Moreira da Silva - DCF / UFLA

Prof. Edvã Oliveira Brito - DPF / UFRRJ



Prof. Lourival Marin Mendes
DCF / UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida.

À Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

À Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Ao professor Lourival Marin Mendes pelos ensinamentos, paciência, orientação e amizade.

Ao professor Fábio Akira Mori pela amizade, ensinamentos e colaboração prestada no comitê de orientação.

Ao professor Setsuo Iwakiri (UFPR) pelo apoio na manufatura dos painéis e pela co-orientação.

Ao professor Edvá Oliveira Brito (UFRRJ) pela valorosa colaboração prestada no comitê de orientação.

Ao professor José Reinaldo em especial, pela amizade, ensinamentos, orientação e apoio na realização deste trabalho.

Aos professores José Tarcisio Lima e Paulo Fernando Trugilho pela amizade e ensinamentos.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de confecção dos painéis.

Às empresas DYNEA e BORDEN pela doação da resina e revestimento utilizados neste trabalho.

Aos amigos Leopoldo Saldanha pela contribuição na manufatura dos painéis e Daniel Chies pelo carinho, atenção e contribuição para a realização desse trabalho.

Aos amigos Alison e Yustane pela valorosa amizade e contribuição em toda etapa do meu trabalho.

Aos funcionários da Serraria, Vico, Zé Fazenda e Carlinhos pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos funcionários da Marcenaria, Hernani e Gilson, pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório Claré e Ademir (UFPR) pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos acadêmicos Adalberto Caldas, Paulo, Isaias, Samuel, Vanessa e, em especial, a Claudineia pela amizade e contribuição na realização deste trabalho.

Aos amigos Franciane, Graciane, Vanete, Antonio Américo (Juninho), Luciana, Renato, Sergio e Clair pela amizade e companheirismo nas etapas do curso. Estejam certos de que vocês fazem parte da alegria de cumprir esta etapa tão almejada.

Aos meus queridos pais, Vilmar Mendes Pereira e Maria Elizabete Castro Pereira (in memória), minha eterna gratidão pela vida, pela educação, pelo carinho e pelo cuidado e esforço empregados na minha formação.

Aos meus irmãos, Leandro Castro Pereira e Patrícia Castro Mendes Tomaz, pelo convívio e companheirismo.

Aos meus sobrinhos Bárbara e Bruno pelo carinho.

Ao Adriano pelo carinho, apoio e compreensão.

Às minhas amigas Carla, Gabriela e Marcella, que estiveram sempre presentes nos momentos bons e ruins dessa fase.

Aos demais familiares pelo carinho e incentivo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Conceito de painel OSB.....	3
2.2 Aspectos gerais sobre a produção e utilização de painéis OSB	5
2.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis.....	10
2.3.1 Densidade da madeira e da chapa.....	11
2.3.2 Espécie	12
2.3.2.1 Utilização do gênero eucalipto na produção de painéis OSB.....	13
2.3.3 Resina	15
2.3.4 Composição dos painéis.....	16
2.3.5 Revestimento Superficial	19
2.4 Parâmetros de processamento industrial OSB.....	21
2.5 Propriedades dos painéis OSB	23
2.6 Testes não destrutivos por emissão de ondas	25
2.7 Umidade de Equilíbrio.....	27
2.7.1 Equação de Nelson (1983).....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Matéria-prima.....	32
3.1.1 Coleta do material.....	33
3.1.2 Obtenção das partículas	33
3.1.3 Secagem das partículas	35
3.1.4 Determinação da densidade aparente dos clones estudados.....	36
3.2 Manufatura dos painéis.....	37
3.2.1 Agrupamento de clones.....	37
3.2.2 Plano experimental dos painéis produzidos	37
3.2.3 Aplicação de resina e da parafina	38
3.2.4 Formação do colchão.....	40
3.2.5 Prensagem	41
3.2.6 Acondicionamento.....	44
3.3 Determinação das propriedades dos painéis.....	44
3.4 Avaliação não destrutiva por métodos de emissão de ondas para determinação de MOEd para chapas OSB.....	46
3.5 Umidade de equilíbrio	47
3.6 Análise estatística	48

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Densidade da madeira.....	49
4.2 Densidade das chapas.....	50
4.3 Fase 1 – influência da densidade nominal da chapa.....	51
4.3.1 Propriedades mecânicas.....	51
4.3.1.1 Módulos de elasticidade e de ruptura (MOE e MOR).....	51
4.3.1.2 Ligação interna.....	52
4.3.1.3 Compressão paralela.....	54
4.3.2 Propriedades físicas.....	55
4.3.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura.....	55
4.3.2.2 Taxa de não retorno em espessura.....	57
4.4 Fase 2 – influência do tipo de resina.....	58
4.4.1 Propriedades mecânicas.....	58
4.4.1.1 Módulos de elasticidade e ruptura.....	58
4.4.1.2 Ligação interna.....	60
4.4.1.3 Compressão paralela.....	61
4.4.2 Propriedades físicas.....	63
4.4.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura.....	63
4.4.2.2 Taxa de não retorno em espessura.....	65
4.5 Fase 3 – influência da densidade da madeira.....	66
4.5.1 Propriedades mecânicas.....	66
4.5.1.1 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura.....	66
4.5.1.2 Ligação interna.....	68
4.5.1.3 Compressão paralela.....	69
4.5.2 Propriedades físicas.....	70
4.5.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura.....	70
4.5.2.2 Taxa de não retorno em espessura.....	72
4.6 Fase 4 – influência da composição dos painéis.....	73
4.6.1 Propriedades mecânicas.....	73
4.6.1.1. Módulo de elasticidade e módulo de ruptura.....	73
4.6.1.2 Ligação interna.....	75
4.6.1.3 Compressão paralela.....	76
4.6.2 Propriedades físicas.....	78
4.6.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura.....	78
4.6.2.2 Taxa de não retorno em espessura.....	79
4.7 Fase 5 – influência do revestimento superficial das chapas.....	80
4.8 Fase 6 – influência das variáveis estudadas na propagação de ondas de tensão.....	81
4.9 Fase 7 – umidade de equilíbrio.....	84
4.10 Fase 8 – indicação de uso dos painéis OSB feitos com a madeira de clones de <i>Eucalyptus</i>	89

5 CONCLUSÕES	91
5.1 Fase 1 – influência da densidade nominal da chapa	91
5.2 Fase 2 – influência do tipo de resina	91
5.3 Fase 3 – influência densidade da madeira.....	91
5.4 Fase 4 - influência da composição dos painéis.....	92
5.5 Fase 5 - influência do revestimento superficial.....	92
5.6 Fase 6 – SWT – teste de emissão de ondas	92
5.7 Fase 7 – umidade de equilíbrio.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS.....	102

RESUMO

MENDES, Soraya Aparecida. Estudos de variáveis de produção de painéis OSB manufacturados com misturas de madeiras de clones de *Eucalyptus spp.* Lavras: UFLA, 2005, 117 p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.¹

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de utilização de clones de *Eucalyptus spp* na produção de painéis OSB. Em seguida foram determinadas as propriedades físicas, mecânicas, o MOEd, umidade de equilíbrio das chapas OSB e indicação de usos dos painéis, analisando-se as seguintes influencias: 1) densidade da chapa (0,70 e 0,90g/cm³); 2) tipo de resina (FF, PMUF e MUF); 3) densidade da madeira (0,56 e 0,74g/cm³); 4) composição dos painéis (HE e HO); 5) reforço laminar superficial (tegofilm, BP, LNP e LNE); 6) propagação de ondas de tensão; 7) umidade de equilíbrio; 8) indicação de uso. Os resultados demonstraram que as chapas com densidade do painel 0,90 g/cm³, densidade da madeira 0,56g/cm³ e a composição do painel HE apresentaram um aumento nos valores de MOE, MOR e compressão paralela. Os tipos de resina FF e PMUF apresentaram resultados semelhantes, aumentando os valores de MOE. A resina MUF apresentou uma semelhança a resina FF, aumentando os valores de compressão paralela, houve uma redução nos valores de AA e IE para a resina PMUF. O reforço laminar indicou uma tendência a um aumento para MOE e MOR e uma redução para AA e IE. Ocorreram baixos índices de correlação entre MOE e MOEd. Os valores médios obtidos para MOEd foram superiores para as chapas com densidade 0,90g/cm³, HE no sentido paralelo. Para a estimativa da umidade de equilíbrio a equação de Nelson se mostrou eficiente. Os tratamentos apresentaram a mesma estabilidade dimensional, havendo diferença entre desorção e adsorção quando estudada as influencias entre as umidades relativas. Os painéis produzidos de acordo com os tratamentos 3, 4 e 5 podem ser utilizados para uma gama de aplicações, desde que, o fator limitante de aplicações não siga o módulo de elasticidade paralelo e que possam ser utilizados com os módulos de elasticidade paralelos obtidos nos tratamentos propostos neste trabalho.

¹ Comitê Orientador: Prof. Lourival Marin Mendes (Orientador) – UFLA; Prof. Fábio Akira Mori – UFLA; Prof. Setsuo Iwakiri – UFPR.

ABSTRACT

MENDES, Soraya Aparecida. Studies of variables of production of panels OSB manufactured with mixtures of wood of clones of *Eucalyptus spp.* Lavras: UFLA, 2005, 117 p. (Dissertation – Master in Forestry) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais - Brazil.¹

This work had the objective to evaluate the viability of use of clones of *Eucalyptus spp.* in the production of OSB panels. The determination of physical and mechanical properties, MOEd and the equilibrium moisture content of the OSB panels, analyzing the following influences: 1) density of the panel (0.70 and 0.90g/cm³); 2) resin type (FF, PMUF and MUF); 3) density of the wood (0.56 and 0.74g/cm³); 4) composition of the panels (HE and HO); 5) reinforcement of the superficial laminate (tegofilm, BP, LNP and LNE); 6) propagation of tension waves; 7) equilibrium moisture content; 8) indication of use. The results demonstrated that the panels with density of 0.90 g/cm³, density of the wood 0.56g/cm³ and the composition of the panel HE presented an increase in the values of its MOE, MOR and parallel compression. The resin types FF and PMUF presented similar results, increasing the values of its MOE. The resin MUF presented likeness to the resin FF, increasing the values of parallel compression, and a reduction in the values of AA and IE, for the resin PMUF, was observed. The reinforcement of the superficial laminate indicated a tendency of increase for its MOE and MOR and a reduction for AA and IE. Low correlation indexes between MOE and MOEd were observed. Medium values obtained for MOEd were superior for the panels with density 0.90g/cm³, HE in the parallel sense. For the estimation of the equilibrium moisture content, Nelson's equation showed to be efficient. The treatments presented the same dimensional stability, showing difference between desorption and adsorption when the influence among the relative humidity was studied. The produced panels in accordance with treatments 3, 4 and 5 can be used for a gamma of applications, unless, the limiting factor of applications does not follow the parallel modulus of elasticity and that they can be used with the modulus parallel elasticity gotten in the treatments considered in this work.

¹ Comitê Orientador: Prof. Lourival Marin Mendes (Adviser) – UFLA; Prof. Fábio Akira Mori – UFLA; Prof. Setsuo Iwakiri – UFPR.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de produtos de madeira ou de seus derivados apresenta uma série de vantagens em relação a outros materiais na construção civil. A madeira é um material renovável, disponível abundantemente, biodegradável ou durável dependendo do tratamento, reciclável e imobiliza carbono proveniente da atmosfera em sua estrutura.

Para produzir produtos madeireiros consome-se menor quantidade de energia em comparação à produção de aço, plástico, alumínio e materiais à base de cimento. Outras vantagens da madeira são a alta resistência em relação à massa específica e a boa trabalhabilidade.

A utilização de painéis à base de madeira permite, além de manter muitas das vantagens da madeira sólida, adicionar outras como dimensões dos painéis não estritamente relacionadas às dimensões das árvores. Na fabricação de painéis pode-se agregar valor a materiais de baixa aceitação como resíduos de serrarias e desbastes e também há a possibilidade de eliminar muitos defeitos provenientes da anatomia da árvore, como nós, medula, desvios da grã, conferindo ao produto final homogeneidade muito maior que a encontrada na madeira serrada. Pode-se ainda, pela especificação da densidade, controlar a maioria das propriedades, adicionando produtos específicos aos painéis, e aumentar a resistência dos mesmos ao fogo e à biodeterioração.

No final dos anos 90, os painéis reconstituídos, principalmente os particulados, assumiram um papel de destaque no mercado nacional. Foram estes painéis que apresentaram a maior evolução, tanto em termos de volume de produção como de inovações tecnológicas, disponibilizando ao mercado novos produtos, como "MDF" (*Medium Density Fiberboard* - chapas de fibras de média densidade) e o "OSB" (*Oriented Strand Board* - chapas de partículas

orientadas), matéria-prima alternativa para os setores moveleiro e de construção-civil, respectivamente (Saldanha, 2004).

A utilização das chapas OSB tem crescido significativamente e ocupado espaços antes exclusivos dos compensados em virtude de fatores como (1) redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação; (2) o OSB pode ser produzido a partir de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial; (3) a largura dos painéis OSB é determinada pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras, como no caso de compensados; (4) a performance do OSB é atualmente reconhecida pelos grupos normativos, construtores e consumidores (Iwakiri, 1999).

A grande vantagem na produção de OSB, em relação aos produtos concorrentes, está no grau de aproveitamento das toras, sendo que as perdas são mínimas e ocorrem nas fases de geração e secagem das partículas, na forma de finos.

No Brasil, os painéis OSB são produzidos utilizando a madeira do gênero *Pinus*. Esta matéria-prima confere aos painéis propriedades semelhantes às dos produzidos pelas indústrias americanas e canadenses, que são as maiores produtoras mundiais. O grande desafio do setor Florestal Brasileiro, principalmente mineiro, é a utilização do gênero *Eucalyptus* na produção deste tipo de painel.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade de utilização de clones de *Eucalyptus* na produção de painéis OSB.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito de painel OSB

O OSB (Oriented Strand Board) é um painel de partículas de madeira orientadas e coladas com resina resistentes à umidade sob prensagem a quente (Figura 1). Foi desenvolvido para aplicações estruturais, sendo considerado como uma segunda geração dos painéis WAFERBOARD (painéis de partículas denominadas “wafer”). No OSB produzido a partir de partículas (strands) de madeira (Figura 2), durante a formação do colchão de partículas as camadas internas poderão estar dispostas aleatoriamente ou perpendicularmente às camadas externas. Ford- Robertson (1971); Maloney (1996); Lelles e Silva (1998) relatam que a diferenciação em relação aos aglomerados tradicionais refere-se à impossibilidade de utilização de resíduos de serraria na sua fabricação, devido às dimensões de suas partículas. Este painel consiste num produto de destacado crescimento no rol de produtos reconstituídos.

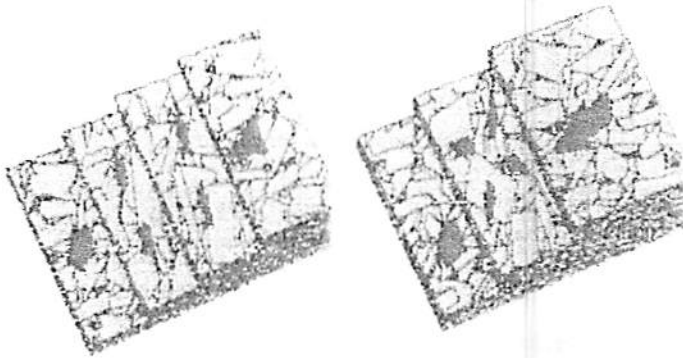


FIGURA 1 – Orientação das partículas strands na produção de OSB (Oriented, 1998).

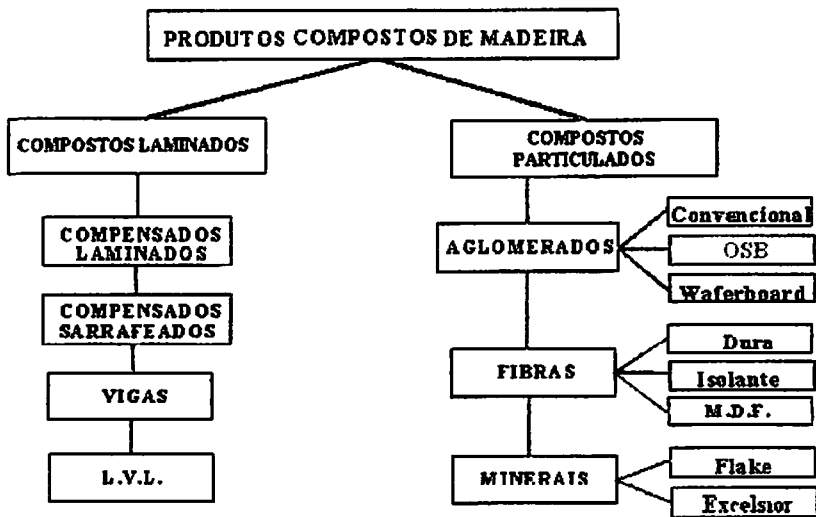


FIGURA 2 – Esquema representativo dos produtos de madeira reconstituída (Mendes et al, 2001).

As principais diferenças entre o waferboard e OSB consistem, primeiramente, na dimensão das partículas wafer e strands, que são mais curtos nos wafers, em torno de 40 x 40mm, e mais alongadas no OSB, 25mm de largura por 80 - 150mm de comprimento. Em segundo lugar, o waferboard e o OSB diferenciam-se entre si na maneira como o colchão é formado. Nos painéis waferboard, as partículas são distribuídas aleatoriamente durante o processo de formação do colchão, numa camada homogênea, enquanto, na formação do colchão em painéis OSB (Figura 1), este é formado por camadas de partículas strands, as quais, nas camadas internas, podem ser aleatórias ou alinhadas perpendiculares à direção da formação do colchão, enquanto, nas camadas externas, o alinhamento é paralelo à direção de formação (Janssens, 1998).

2.2 Aspectos gerais sobre a produção e utilização de painéis OSB

Segundo Cloutier (1998), o OSB é geralmente produzido em espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm. Contudo, pode-se encontrar variações de espessura de até 38,0mm. O OSB é produzido em chapas de 1220 x 2440mm para usos estruturais, mas também é produzido em dimensões de até 3600 x 7320mm para usos industriais.

O OSB é utilizado praticamente em quase todos os usos tradicionais de painéis de partículas e compensados. Ressalta-se que o OSB é desenvolvido para reunir um grande número de especificações. Atualmente, os principais usos do OSB são: forro para telhados; base para paredes e pisos em construções residenciais; empacotamento e engradamento; "pallets" para estocagem a seco; estandes para exibição; armações para mobília; assento e encosto de cadeira; tampos de mesas industriais; painéis de paredes decorativas; miolo para composto destinado a piso de madeira nobre; piso acabado; base para tampo de escrivaninha; construção de depósitos e tanques; tapumes e divisórias; formas descartáveis para concreto; "decks" e plataformas; paredes de carroceria de caminhões; chalés rústicos; cercas e janelas; prateleiras e estantes; alma para vigas em I; painéis de apoio estrutural; painéis estruturais isolantes (miolo de espuma); garagens e barracões de ferramentas (Janssens, 1998).

Segundo Cloutier (1998), OSB é principalmente usado como telhado, parede e base para pisos (Figura 3). É considerado pelas normas de construção canadenses e americanas como material equivalente ao compensado em aplicações estruturais e está substituindo o compensado em tais aplicações.



FIGURA 3 – Aplicação do OSB na construção civil (Masisa, 2004).

As vantagens do OSB em relação ao compensado, segundo Janssens (1998), são as seguintes:

Não apresenta delaminação, espaços internos vazios ou buraco de nó, pois o processo de manufatura não permite a formação de vazios ou buracos de nós. Modernas técnicas de prensagem e resinas evitam as causas da delaminação. Além disso, os painéis devem apresentar boas ligações internas nos testes de tração;

O OSB apresenta resistência similar à do compensado, com características como propriedades de flexão, tração e compressão. O OSB possui uma maior resistência ao cisalhamento em relação ao compensado devido a sua formação homogênea (ele não se desfaz sob tensão de cisalhamento). A resistência do painel não é afetada pela umidade em função de sua exposição ao ambiente, em decorrência de uma construção demorada ou atrasada. Contudo, pode haver um aumento nas dimensões das bordas;

O OSB causa pouco impacto ao meio ambiente quando comparado com o compensado, já que é produzido a partir de toras de pequeno diâmetro, de espécies de rápido crescimento ou de árvores de baixo valor comercial. As modernas fábricas são auto-suficientes na produção de energia para aquecimento e são equipadas para atingir as especificações de controle de poluição do ar;

O painel OSB é de construção uniforme, pois é produzido para ter a mesma qualidade das faces em ambos os lados. As fábricas norte americanas produzem um painel com um fundo de tela, que deixa o painel com uma textura áspera em um dos lados, mais apropriada para condições úmidas de trabalho. Além disso, a superfície do painel pode ser lixada;

Painéis OSB são tão eficientes quanto os compensados, pois são feitos em grandes prensas, de até 3,6 x 7,2m, portanto podem fornecer uma grande faixa de dimensões de produtos para atender a vários usos finais;

OSB é produzido numa ampla faixa de espessuras. A espessura mínima padrão é de 6mm e a máxima, de 38mm. Contudo, as espessuras mais comuns são 9,5mm, 11mm, 12mm, 15mm e 18mm. Espessuras de 15mm ou maiores podem ser produzidas com bordas quadradas ou perfis macho e fêmea;

OSB não tem emissão de gases mensuráveis. As resinas, tanto fenólicas quanto isocianatos, são completamente curadas durante o processo de prensagem; portanto, não há emissão de formaldeído livre do painel acabado. O odor associado ao OSB se restringe somente ao cheiro de madeira recém-cortada.

Janssens (1998) relata que a maioria das indústrias de OSB está localizada na América do Norte (39 – Canadá e 21 - Estados Unidos), sendo essas unidades industriais caracterizadas pela produção em grande escala, atualmente superando 300.000 m³/ano. Segundo Nelson e Kelly (1998), as poucas unidades industriais localizadas fora da América do Norte apresentam uma relativa pequena capacidade de produção, como, por exemplo, uma fábrica

na Escócia com capacidade anual de 115.000 m³/ano e uma outra na França com capacidade de 75.000 m³/ano. Os mesmos autores relatam a existência de cinco pequenas fábricas na China, com baixíssima capacidade de produção em função da escassez de matéria-prima (madeira). Segundo Wolcott et al. (1997), a capacidade instalada da indústria chinesa de OSB varia entre 8.000 a 16.000 m³/ano. Ela é caracterizada quase na totalidade por tecnologia doméstica. Nestas indústrias observam-se equipamentos desenvolvidos praticamente de forma artesanal no próprio país. Entretanto, atualmente existe uma política agressiva de reflorestamento para suprir estas unidades industriais.

A primeira unidade industrial brasileira de OSB tem uma capacidade instalada de 350.000 m³/ano.

A Figura 4 mostra uma comparação entre os custos de produção, mencionados por Maloney (1984), do OSB e dos seus produtos concorrentes no mercado americano de painéis estruturais. Pode-se observar que seus custos são aproximadamente a metade dos compensados produzidos naquele país e praticamente iguais aos do waferboard. Este aspecto, aliado ao ganho em resistência mecânica e à estabilidade dimensional, determinados pelo processo de produção, é fundamental para aumentar a sua participação no mercado em relação aos produtos concorrentes. Dentro deste aspecto, Janssens (1998), fazendo uma revisão sobre a evolução de produção de OSB na América do Norte, relata que, em 1993, as indústrias americanas produziram aproximadamente 7,5 milhões de m³, enquanto a canadense produziu 2,5 milhões de m³. Estes valores mudaram rapidamente desde então e, em 1997, os EUA produziram 10 milhões de m³, enquanto o Canadá produziu 6,0 milhões de m³.

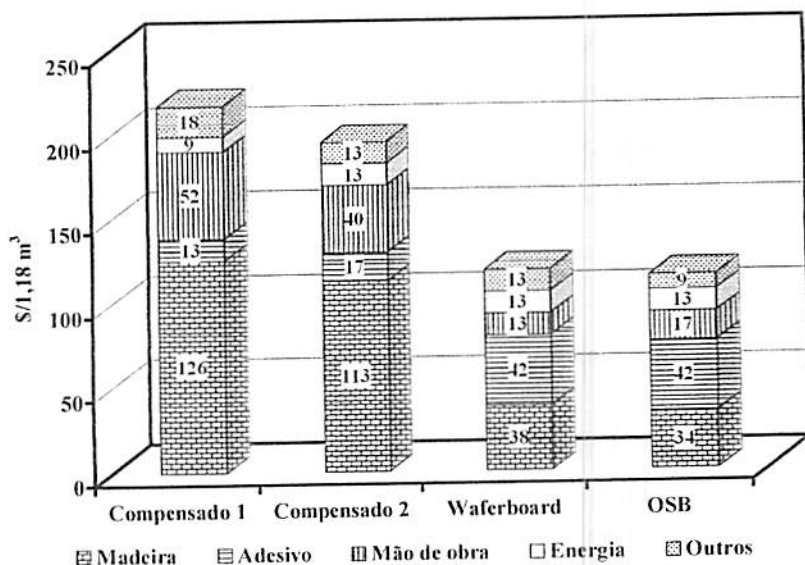


FIGURA 4 – Comparação dos custos de produção entre compensado de coníferas, Waferboard e OSB (FONTE: Maloney, 1984).
 Compensado 1 – Produzido de coníferas do Norte dos EUA.
 Compensado 2 – Produzido de Pinus do sul dos EUA (Southern pine).

Ainda sobre os custos de produção do OSB, Nelson e Kelly (1998) apresentam as seguintes informações: 1 – o capital médio a ser investido na instalação de uma indústria de OSB, com produção de 310.000 m³/ano, nos Estados Unidos ou Canadá, gira em torno de 80 milhões de dólares; 2 – os custos de produção do OSB nos EUA e no Canadá são intermediários entre os altos custos do compensado e os baixos do aglomerado; 3 – a estimativa dos custos variáveis totais de produção de OSB em 1993 foram de US\$ 128 por m³, comparados aos US\$ 173 por m³ dos compensados produzidos de *Southern pine*; 4 – o preço do OSB é 50% menor em relação ao compensado; e 5 – o custo de

produção do OSB é aproximadamente US\$ 70 por m³ menor em relação ao custo de produção do compensado.

No Brasil, segundo o Banco de dados STCP, em 2002 a Masisa obteve uma produção de 150 mil m³, em 2003 – 300 mil m³, e em 2004 – 320 mil m³ estimados.

2.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis

Quase todos os parâmetros mostrados na Tabela 1 interagem entre si. Por conseguinte, a mudança de um desses fatores resultará na alteração de vários outros relacionados com o processo de formação do painel, ou seja, um parâmetro não pode ser considerado isoladamente, como se pudesse ter manipulação independente e fácil, a fim de controlar o processo de formação do painel de forma adequada. Contudo, uma vez aceita a existência desta inter-relação entre um certo número de parâmetros, um alcance mais completo do processo pode ser atingido e a manipulação real pode ser desenvolvida com sucesso para o controle da maior parte do processo (Maloney, 1993).

TABELA 1 – Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB.

INERENTES A MADEIRA	INERENTES AO PROCESSO
Espécies	Densidade dos painéis
Densidade da madeira	Razão de compactação
PH	Composição dos painéis
Teor de umidade	Resina e parafina
Extrativos	Dimensão e orientação das partículas
Local de crescimento	Umidade das partículas
Idade cambial	Tempo de fechamento da prensa e de prensagem
Substâncias estranhas	Temperatura de prensagem
Forma do Tronco	Pressão específica

Fonte: Mendes e Iwakiri (2002)

2.3.1 Densidade da madeira e da chapa

A mais importante variável relativa à espécie, que regula as propriedades da chapa, é a densidade da própria matéria-prima lenhosa. Esta densidade tem sido um importante fator na determinação de que espécies podem ser empregadas na manufatura dos painéis. Em termos gerais, madeiras de densidade mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas (Maloney, 1993, Moslemi, 1974; Kelly, 1977).

De acordo com Maloney (1993), as espécies de madeira com densidade de até $0,55 \text{ g/cm}^3$ são as mais adequadas para produção de chapas de partículas por atingirem razão de compactação entre 1,3 e 1,6, considerada a faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do colchão de partículas até a espessura final da chapa.

Partículas de espécies de madeiras densas, quando compactadas durante a prensagem, produzem uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades das chapas, necessitando, assim, alterar outras variáveis do processamento, como aumentar o teor de resina, o que aumenta o custo de produção (Mendes, 2001). Segundo Kelly (1977), as espécies de menor densidade possibilitam a produção de chapas de média densidade, assegurando uma área de contato satisfatório entre as partículas.

A influência da densidade das chapas sobre as suas propriedades físicas e mecânicas é altamente significativa. Chapas com maior densidade apresentam maior resistência mecânica; no entanto, a estabilidade dimensional é prejudicada.

O inchamento em espessura é maior para chapas de maior densidade devido à maior quantidade de material lenhoso e à maior densificação,

resultando na maior liberação de tensões de compressão impostas durante a prensagem (Moslemi, 1974; Kelly, 1977).

Zhang et al. (1998) encontraram um aumento nas propriedades de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e ligação interna com o aumento da densidade das chapas de 0,60 a 0,70 g/cm³. WU (1999) constatou a mesma tendência de aumento nestas propriedades com o aumento na densidade das chapas na faixa de 0,55 a 1,15 g/cm³, sendo esta de alta densificação.

Mendes (2001) encontrou um aumento nas propriedades de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e compressão paralela para o aumento da chapa de 0,65 a 0,80 g/cm³. Saldanha (2004) constatou que o aumento da densidade da chapa de 0,65 para 0,90 g/cm³ também aumentou os valores para as propriedades de módulo de elasticidade e módulo de ruptura no sentido paralelo e ligação interna.

2.3.2 Espécie

Espécies com baixo conteúdo de extrativos são as mais desejadas para a produção de OSB. 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 da resina, além de resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (Cloutier, 1998).

Mudanças abruptas na densidade e porosidade da madeira resultam em partículas strands mais estreitas, além de uma maior produção de finos. Entretanto, a porosidade difusa em folhosas e coníferas, com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio, é mais indicada para a produção de OSB (Cloutier, 1998).

Outro aspecto de preocupação dos pesquisadores, para a melhoria da qualidade dos painéis OSB, está relacionado com a proporção de madeira juvenil

(Zobel e Sprague, 1998), que é caracterizada por uma maior instabilidade dimensional em relação à madeira adulta.

Quando uma árvore cresce em condições desfavoráveis afeta materialmente a razão de crescimento, os constituintes químicos da estrutura da madeira, as estruturas celulares e a razão cerne-alburno, além de outros fatores associados com o crescimento das árvores. Essas diferenças podem ser evidenciadas entre áreas montanhosas de altitude e vales, áreas ricas e pobres de nutrientes no solo, áreas de densa vegetação rasteira, com solo rochoso e de acordo com a quantidade de precipitação de chuvas, entre outros aspectos (Zobel e Van Buijtenen, 1989).

Uma unidade industrial de painéis de madeira naturalmente tem muito pouco controle sobre a qualidade da matéria-prima que recebe, que pode ter ampla variedade em relação aos locais de crescimento, como aqueles citados acima. Todavia, madeiras aparentemente idênticas devem ser avaliadas com cuidado. Importantes fatores envolvidos são o quanto a matéria-prima pode ser transformada em partículas adequadamente, problemas potenciais na secagem e, talvez, o mais importante, as diferenças em acidez, que afetam a cura da resina durante a prensagem a quente. Estudos revelam que alterações em madeiras da mesma espécie, devidas a variações ambientais, têm afetado muito a taxa de cura da resina, e tais resultados demonstram que o sucesso de uma espécie, proveniente de um determinado local, não é certeza de sucesso se proveniente de outro local (Maloney, 1993).

2.3.2.1 Utilização do gênero eucalipto na produção de painéis OSB

A utilização do gênero *Eucalyptus*, cultivado no Brasil como matéria-prima na indústria de OSB dependerá de pesquisas direcionadas para viabilizar este material. Pode-se observar que a madeira de eucalipto proporcionou baixas

razões de compactação, pois apresenta densidade da madeira mais elevada em relação à faixa ideal recomendada por Cloutier (1998) para produção de painéis OSB (0,25 a 0,45g/cm³). Segundo o mesmo autor, espécies entre 0,45 a 0,55g/cm³ podem ser utilizadas, mas são menos desejadas e mais freqüentemente empregadas em mistura com madeira de densidade mais baixa.

Com o intuito de viabilizar o uso do eucalipto na indústria de OSB, as Universidades e instituições de pesquisa brasileira da área florestal já iniciaram trabalhos de pesquisas. Assim, Gouveia et al. (2000) e Iwakiri e Saldanha (2002) testaram algumas espécies de eucalipto na produção de OSB, sendo que, em ambos os trabalhos o *Eucalyptus grandis* se mostrou o mais adequado para produção de OSB. Pereira (2003) trabalhou com *Eucalyptus urophylla* e recomenda a espécie estudada para a produção de chapas OSB.

Para Iwakiri et al (2004), as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* apresentaram grande potencial para a produção de chapas OSB, resultando em valores médios obtidos para propriedades mecânicas acima do valor mínimo para chapas comerciais estabelecido pela norma CSA (1993), além de comportamento satisfatório em termo de estabilidade dimensional das chapas.

Na Austrália ainda não é produzido OSB; porém, alguma pesquisa já vem sendo desenvolvida em laboratório com a madeira de eucalipto. Freischmidt e Warden (2001) produziram painéis OSB com oito espécies de eucalipto e chegaram à conclusão de que todas as espécies apresentaram o mesmo desempenho quando foram avaliadas as propriedades mecânicas dos painéis. No entanto, o inchamento em espessura dos painéis não apresentou o mesmo desempenho. Eles atribuíram este fato às tensões residuais provocadas durante o processo de prensagem dos painéis e à alta densidade da madeira do eucalipto. Os mesmos autores relatam que estes problemas podem ser solucionados com o desenvolvimento de resinas apropriadas. O CSIRO desenvolveu um tipo de resina fenólica que apresentou um melhor desempenho

em relação às resinas comerciais normalmente utilizadas para produção de OSB. Outro meio de viabilizar a utilização da madeira de eucalipto na produção de OSB seria a mistura com finas partículas de *Pinus radiata*, mencionam os autores.

2.3.3 Resina

A resina FF na forma de pó tem sido atualmente a mais empregada para a produção de painéis OSB, porém um número crescente de indústrias vem utilizando a forma líquida, objetivando reduzir os custos. A resina MDI é utilizada principalmente nas camadas internas das chapas (Cloutier, 1998).

A resina MDI desenvolve dois tipos de ligações, mecânica e química. Este conjunto de ligações resulta em uma adesão muito mais forte em relação a outros tipos de resina. Sua desvantagem é de possuir aderência ao alumínio e alguns tipos de aço, causando problemas no sistema de telas que auxiliam na prensagem e partes da prensa, explicando, assim, sua utilização na camada interna das chapas (Cloutier, 1998).

Os principais tipos de resina utilizados pelas indústrias de painéis reconstituídos de madeira são uréia-formaldeído (UF), fenolformaldeído (FF), melamina-formaldeído (MF) e difenil-metano di-isocianato (MDI) (Marra, 1992).

Por ser o componente de maior custo, torna-se muito importante a definição do tipo e da quantidade de resina a ser utilizada, no sentido de buscar uma otimização na relação custo benefício.

As resinas FF e MF são indicadas para produção de chapas para uso externo ou em ambientes com alta umidade relativa (Moslemi, 1974; Kelly, 1977).

De acordo com as informações técnicas das indústrias, a resina fenol formaldeído é utilizada na faixa de 4 a 6% na produção de chapas OSB (Iwakiri et al 2003).

Estudando chapas “*waferboard*” de *Pinus spp*, Brito (1984) encontrou incremento nas propriedades mecânicas e inchamento em espessura com o aumento do teor de resina fenólica de 4 para 8%. Existe ainda a possibilidade de uso de resina melamina-formaldeído como fortificante, em mistura com a resina uréia formaldeído, para reduzir o custo e melhorar a estabilidade dimensional das chapas. Algumas indústrias produzem resinas compostas de melamina uréia-formaldeído (MUF) e fenolmelamina-uréia-formaldeído (PMUF) como alternativas para produção de chapas com melhor estabilidade dimensional e com custo relativamente inferior.

Saldanha (2004), estudando chapas OSB de *Pinus taeda* com a utilização de resinas PMUF e MUF, não encontrou uma contribuição para melhorar as propriedades de MOE, MOR e ligação interna. Com relação à estabilidade dimensional, as chapas produzidas com resina PMUF apresentaram comportamento similar à chapa com resina FF.

2.3.4 Composição dos painéis

A Tabela 2 mostra as proporções face/miolo utilizadas na manufatura de painéis OSB, tanto em laboratório como comercialmente.

TABELA 2 – Composição dos painéis utilizadas na produção de OSB.

Proporção Face / Miolo / Face	Referência
Camada única	Sobral Filho, 1981
15/70/15*	Geimer, 1982
Camada única	Zhow, 1990
30/40/30 e 25/50/25*	Avramidis e Smith, 1989
33,3/33,3/33,3*	Au et al, 1992
33,3/33,3/33,3*	Macnatt et al, 1992
Camada única	Garcia et al, 1999
20/60/20 e 30/40/30*	Cloutier, 1998
5/90/5 e 10/80/10*	Zhang et al, 1998
Camada única	Wu, 1999
25/50/25, 15/70/15 e 10/80/10*	Murakami et al, 1999
Camada única	Gouveia et al, 2000
25/50/25*	Wang et al, 2000
5/90/5, 15/70/15, 25/50/25 e 25/30/35*	Suzuki e Takeda, 2000
Camada única e 33,3/33,3/33,3*	Mendes et al 2001
30/40/30 e 20/60/20*	Iwakiri et al, 2003
25/50/25*	Gouveia et al, 2003
60/40*	Pereira, 2003
20/60/20*	Iwakiri et al, 2004

* Valores numéricos em percentual da espessura total dos painéis. Fonte: Adaptado de Mendes, 2001.

Quando se aumentou a proporção face/miolo, Avramidis e Smith (1989) observaram uma significativa melhora nas propriedades dos painéis OSB (MOE, MOR e Expansão Linear). Esta tendência foi observada no sentido paralelo à orientação, enquanto, na posição perpendicular, observou-se o contrário, ocorrendo redução de MOE e MOR e aumento na Expansão Linear. Os mesmos

autores não observaram efeito claro da influência das proporções das camadas testadas (tabela 2) nas propriedades de absorção de água (AA) e Inchamento em espessura (IE). Por outro lado, observaram uma diminuição da ligação interna (LI) dos painéis OSB quando a relação face/miolo foi aumentada.

Zhang et al (1998) também encontraram a mesma tendência para aumento da relação face/miolo. Os valores específicos de MOR e MOE foram superiores aos de compensados comerciais. No entanto, houve uma redução de 50 a 70% de MOE e MOR, respectivamente, após o teste de fervura dos painéis OSB.

Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal (face/miolo) é na faixa de 40:60 a 60:40, com base na porcentagem de peso seco das partículas encoladas. Estas proporções são as mais utilizadas pelas Indústrias Canadenses e Americanas de OSB.

Murakami et al. (1999) constataram um incremento no MOR e MOE dos painéis OSB com o aumento da relação face/miolo. Por outro lado, ocorreu uma diminuição no inchamento em espessura e expansão linear, entretanto a ligação interna não é afetada pelo aumento da relação face/miolo.

Suzuki e Takeda (2000) também relatam que as propriedades de flexão estática são altamente afetadas pela proporção das camadas, e que estas propriedades podem ser igualadas no sentido paralelo e perpendicular com 25% de camada externa (25/50/25).

Mendes et al (2003) constataram que a diminuição da relação face/miolo provocou uma redução da diferença entre os valores na direção perpendicular e paralela de MOE, MOR, AA 2 e 24 horas e IE em 2 horas e aumentou os valores da propriedade de Compressão Paralela, tanto na direção paralela como na perpendicular. Para TNRE, concluiu-se que não existe uma relação definida entre a propriedade e a relação face/miolo.

Iwakiri (2003) afirma que a composição da chapa em camadas cruzadas com a relação face/miolo/face de 20/60/20 apresentou melhor balanço de resistência à flexão estática. Tanto para MOE quanto para MOR houve uma redução na diferença entre os sentidos paralelo e perpendicular com o aumento da proporção da camada interna de 0 para 40 e 60 partes.

2.3.5 Revestimento Superficial

O revestimento superficial tem sido uma técnica bastante aplicada para melhoria de resistência mecânica e estabilidade dimensional dos painéis particulados, comercialmente designados como “*Com-ply*”.

Esse produto inicialmente foi desenvolvido pelo *USDA Forest Service*, na década de 70, sendo um painel constituído de um miolo formado por partículas ou flocos de madeira com disposição aleatória ou orientada, com as faces constituídas de lâminas de madeira (Maloney, 1996).

Pesquisas realizadas por Keinert Jr. (1990), Brito (1995) e Iwakiri et al. (1999) demonstraram que a aplicação de lâminas de madeira na superfície de aglomerado convencional aumenta a resistência à flexão estática no sentido paralelo à orientação das fibras das lâminas, além de melhorar a estabilidade dimensional. Biblis e Mangalousis (1983) realizaram investigações sobre alternativas para o uso de algumas espécies de folhosas (*souther oaks*) e misturas com coníferas (*southern pine*). Eles produziram dois lotes de chapas compostas, sendo um com miolo de partículas “*strands*” 100% em carvalho (*oak*) orientado e outro com mistura de 30% *Pinus spp*; ambos os lotes foram revestidos com lâminas de *Pinus spp* (*southern pine*) de aproximadamente 3 mm de espessura, direcionadas perpendicularmente à orientação do miolo.

Após a realização dos testes físico-mecânicos, os autores concluíram que as chapas produzidas com miolo particulado e revestimento laminar têm valores

iguais ou superiores quando comparadas aos compensados estruturais encontrados no mercado local, sendo este tipo de chapa de miolo particulado e revestimento laminar um bom produto para uso estrutural. Biblis, Grigoriou e Carino (1996) observaram melhoras significativas nas propriedades de flexão estática e estabilidade dimensional através do revestimento superficial em chapas de partículas. Em seu estudo, eles utilizaram chapas OSB disponíveis no mercado local em duas espessuras (12 e 18 mm), revestindo-as em ambas as faces com lâminas de *Pinus spp (yellow pine)* de 3mm de espessura encoladas com resina fenólica. O revestimento superficial foi realizado em duas formas: 1) Tipo A, formando uma chapa composta por miolo em OSB de 12mm, lâminas de pinus em ambas as faces com as fibras dispostas paralelamente à orientação das partículas “*strand*”; e 2) Tipo B, chapas com miolo em OSB de 18mm, lâminas em ambas as faces, dispostas perpendicularmente à orientação das partículas “*strand*” do miolo. Os autores relatam que, em flexão estática paralela ao sentido das lâminas para chapas do tipo B, os valores de MOE e MOR foram superiores em 96 e 117%, respectivamente, quando comparadas a chapas OSB comerciais de mesma espessura. Neste mesmo tipo de chapa em flexão perpendicular os valores de MOE e MOR também superaram as chapas comerciais em 8 e 38%, respectivamente. Para o inchamento em espessura, as chapas revestidas promoveram uma substancial redução dos valores percentuais da propriedade quando comparadas às chapas comerciais OSB de mesma espessura.

Saldanha (2004) observou um aumento significativo para os valores de MOE e MOR no sentido perpendicular com o reforço laminar, resultando também em um melhor balanço estrutural entre os sentidos paralelo e perpendicular.

2.4 Parâmetros de processamento industrial OSB

Segundo Cloutier (1998), o processo industrial de produção de OSB pode ser dividido em 10 etapas: 1) Toragem e condicionamento das toras; 2) Descascamento das toras; 3) Geração das partículas strand; 4) Armazenamento das partículas úmidas; 5) Secagem das partículas; 6) Classificação por peneiramento; 7) Mistura dos componentes do colchão; 8) Formação do colchão; 9) Prensagem a quente; e 10) Acabamentos e esquadrejamento final (Figura 5).

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros empregados no processo produtivo das indústrias canadenses de OSB.

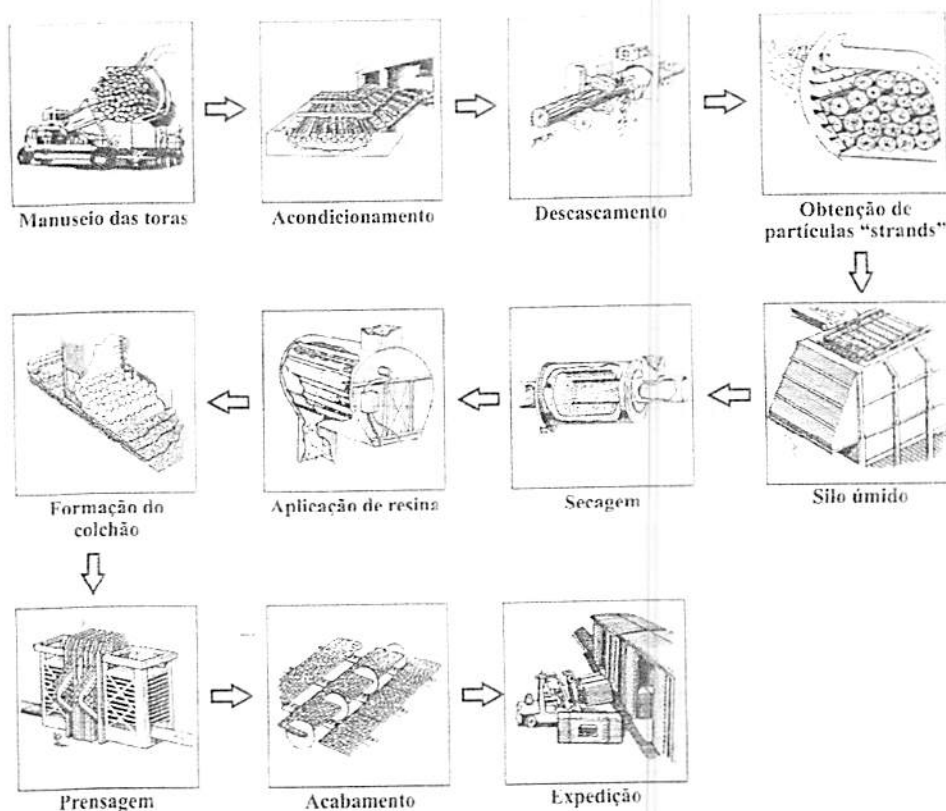


FIGURA 5– Processo industrial de produção de OSB (Oriented, 1998).

TABELA 3 – Parâmetros médios de produção de OSB na indústria Canadense.

PARÂMETROS	CARACTERÍSTICAS
Espécies de madeiras	Álamo (Aspen - <i>Populus tremuloides</i>); Betula (White birch - <i>Betula papyrifera</i>)
Geometria das partículas strands da camada superficial	Largura: 25 mm; Comprimento: 120 a 150 mm; Espessura: 0,5 mm.
Geometria das partículas strands da camada interna	Largura: 19 a 25 mm; Comprimento: 100 a 120 mm; Espessura: 0,5 a 0,8 mm.
Proporção das camadas externa e interna	40:60 a 60:40 baseado na porcentagem através do peso no fornecimento da mistura partícula-adesivo na formação do colchão
Tipo de adesivo	Fenol-formaldeído na forma líquida ou em pó ou difenil metano di-isocianato
Conteúdo de adesivo para as camadas externa e interna	Resinas FF em pó: 2 a 3 % (baseado em peso seco das partículas); Resinas FF líquidas: 3 a 6 % de FF sólido (baseado em peso seco das partículas).
Conteúdo de parafina	0,5 a 1,5 % (baseado no peso seco das partículas).
Conteúdo de umidade do colchão	Para resina FF em pó: camada externa → 5 a 7 %; camada interna → 3 a 5 %; Para resina FF líquida: camada externa → 6 a 8 %; camada interna → 4 a 6 %.
Temperatura de prensagem	200 a 220°C
Tempo de prensagem	3 a 6 min dependendo da espessura da chapa.
Densidade da chapa	630 a 670 kg/m ³

Fonte: Oriented (1998).

2.5 Propriedades dos painéis OSB

O emprego de um painel de madeira em um determinado uso só poderá ser conduzido com economia e segurança se forem conhecidos e levados em conta os valores estatísticos e a dispersão, que definem a variabilidade de suas propriedades (Bauer, 1985). Este conhecimento indispensável é adquirido dos resultados de numerosos ensaios de qualificação do material sobre amostras representativas.

Tais ensaios de qualificação devem levar em consideração todos os fatores de alteração das características do material, as variações que decorrem do procedimento desenvolvido na execução dos ensaios, como a forma, as dimensões dos corpos-de-prova, a velocidade de aplicação das cargas nas solicitações mecânicas e as condições de vinculação dos corpos de prova na máquina de ensaio (Bauer, 1985).

As propriedades físicas mais estudadas são umidade, densidade básica e aparente e estabilidade dimensional (retração ou inchamento).

Dentre as propriedades do painel, a densidade se destaca como o melhor índice para qualificá-lo porque se correlaciona com várias outras características (Hellmeister, 1983).

As propriedades mecânicas são as características de resistência e de elasticidade do painel. Grande número de aplicações de produtos à base de madeira na construção civil exige perfeito conhecimento destas características que são adquiridas através de ensaios de compressão, flexão, tração e cisalhamento (Rodrigues, 2002).

No Canadá, para controle de qualidade dos painéis são utilizadas duas normas: (Canadian Standards Association) a CSA O437.0 e a CSA O325.0. Já nos EUA é utilizada a norma US PS 2-92, similar à CSA O325.0. As principais propriedades físicas e mecânicas definidas na norma CSA O437.0 são

apresentadas na Tabela 4. As propriedades mínimas de flexão estática são definidas para as direções paralela e perpendicular ao comprimento dos painéis. As diferenças observadas entre as duas direções para as categorias O-1 e O-2 são devidas ao grau de orientação das partículas nos painéis. Deve ser ressaltado que as propriedades de flexão obtidas no sentido paralelo ao comprimento dos painéis são superiores àquelas definidas para a categoria R-1, em que as partículas são dispostas de forma aleatória.

TABELA 4 – Propriedades físicas e mecânicas do OSB definido na norma CSA O437-0.

Propriedades	*O-2	*O-1	**R-1
Chapa seca pronta para expedição:			
• Módulo de ruptura paralelo (kgf/cm ²)	290	234	172
• Módulo de ruptura perpendicular (kgf/cm ²)	124	96	172
• Módulo de elasticidade paralelo (kgf/cm ²)	55000	45000	31000
• Módulo de elasticidade perpendicular (kgf/cm ²)	15000	13000	31000
• ligação interna (kgf/cm ²)	3,45	3,45	3,45
Após exposição à umidade:			
• Módulo de ruptura paralelo (kgf/cm ²) (após duas horas de fervura em água)	145	117	86
• Módulo de ruptura perpendicular (kgf/cm ²) (após duas horas de fervura em água)	62	48	86
• Aumento em espessura após duas horas de imersão em água:			
> Espessura abaixo de 12,7 mm	15 %	15 %	15 %
> Espessura acima de 12,7 mm	10 %	10 %	10 %
• Expansão linear (estado seco em estufa a saturado)			
> Paralelo	0,35 %	0,35 %	0,40 %
> Perpendicular	0,50 %	0,50 %	0,40 %

Fonte: Adaptado da CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (1993)

* Categoria O: orientado (OSB); ** Categoria R: aleatório (Waferboard).

TABELA 5 – Propriedades das chapas OSB Masisa-Brasil.

Tipo (nome comercial)	Espessura (mm)	MOE (Kgf/cm ²)		Tração (Kgf/cm ²)	Inchamento 24 h
		paralelo	Perpend.		
OSB Home	6 a 10			3,46	
OSB Multiuso	11 a 18	35690	14276	3,26	20%
	19 a 25			3,05	
Norma	-	EN 310	EN 310	EN 319	PS – 2

Fonte: Adaptado MASISA (2003); MOE – Módulo de elasticidade

2.6 Testes não destrutivos por emissão de ondas

Diversos métodos que utilizam a propagação das ondas de tensão têm sido pesquisados para uso como ferramentas de testes não-destrutivos. A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados nesses casos.

Simplificadamente, pode-se expressar o módulo de elasticidade (dinâmico) obtido pela técnica da propagação de ondas unidirecionais em meio homogêneo e elástico como:

$$MOEd = \delta \times V^2 \times 1/g \quad (1)$$

Em que:

MOEd = Módulo de elasticidade dinâmico (Kgf/cm²);

δ = Massa específica do painel OSB (Kg/m³);

g = Aceleração da gravidade (9,804m/s²);

V = Velocidade da onda longitudinal (cm/s).

A velocidade é obtida pela equação $V = d/t$, (2)

Em que:

V= Velocidade (cm/s);

D = distância entre os transdutores (cm);

t = tempo de propagação (s).

A técnica de aplicação de emissão acústica foi adaptada para a classificação de tábuas que comporão vigas laminadas coladas. A medição da velocidade de propagação das ondas sonoras, em cada tábua, pode permitir o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Estudos neste sentido foram realizados por Puehringer & Matos (1999) com tábuas de *Eucalyptus* spp e por Niederheitmann & Matos (2000) com tábuas de 5 espécies de pinus tropicais. No primeiro caso foram analisadas e determinadas as propriedades de resistência de aproximadamente 200 tábuas de *Eucalyptus* sp com espessura média de 2,5cm, largura de 10cm e comprimento de 1,80m. Obteve-se um tempo de propagação acústica médio, nas amostras testadas, de 338 microssegundos, o equivalente a um MOE médio de 159.000kgf/cm². No segundo estudo, do mesmo modo que a técnica mencionada anteriormente, as tábuas puderam ser classificadas em classes de qualidade e, posteriormente, identificadas para posicionamento em áreas críticas de vigas, aumentando seu desempenho estrutural.

A técnica de aplicação de ondas acústicas em lâminas de madeira para produção e estudos com painéis de lâminas paralelas (PLP) foi utilizada por Matos (1997), Matos & Keinert (1998) e Pio (2002). Os resultados destes estudos demonstraram a existência de elevada correlação entre a determinação do módulo de elasticidade mecânico e o módulo de elasticidade estimado através

de ondas acústicas. Demonstram ainda que a montagem dos painéis, através do uso das lâminas agrupadas por classes de qualidade, em função da velocidade de propagação do som, mostra-se muito eficiente, conferindo elevadas propriedades mecânicas finais aos painéis. As propriedades módulo de elasticidade aparente (MOEa), módulo de ruptura (MOR) e tensão no limite proporcional (TLP) dos painéis de lâminas paralelas - PLP de *pinus* foram superiores, em média, 23%, 11% e 13%, respectivamente, para painéis produzidos de lâminas classificadas em classes de qualidade superior, quando comparados com PLP obtidos de lâminas não classificadas.

Segundo Matos (2002), além da classificação das lâminas para produção de painéis de lâminas paralelas e compensados, esta técnica está sendo usada para avaliar as propriedades de produtos e painéis de madeira, como compensados, aglomerados, chapas de fibras e OSB, permitindo a detecção de defeitos internos e as propriedades de resistência destes produtos.

Mendes et al (2002) encontraram baixo índice de correlação entre MOE obtido na técnica convencional destrutiva e o MOEd obtido pela técnica não destrutiva, sendo que, no geral, os valores de MOEd foram superestimados em relação ao MOE. Este fato talvez seja explicado pelo efeito das espécies e a inclusão da parafina, embora inexistam citações mencionando a influência destas variáveis no MOEd.

2.7 Umidade de Equilíbrio

A madeira e derivados, quando em uso, são expostos à umidade relativa do ar e a temperaturas que variam tanto diariamente quanto em função das estações do ano, o que sempre causa pelo menos pequenas alterações em seu teor de umidade. As variações diárias tendem a afetar a madeira apenas superficialmente, ao passo que aquelas de longo prazo podem causar alterações

nas dimensões e na qualidade da madeira, que comprometem seriamente sua utilização.

Quando em contato com o ar, a madeira absorve ou perde umidade no estado líquido ou de vapor até atingir um equilíbrio, em que trocas se equivalem e o teor de umidade da madeira tende a se estabilizar. Este teor de umidade da madeira, quando em equilíbrio com a umidade relativa do ar, é denominado de Umidade de Equilíbrio (Martins et al., 2003).

Para Ponce & Watai (1985), a umidade de equilíbrio da madeira ocorre quando a umidade da madeira está em equilíbrio com a umidade relativa do ar, ou seja, a madeira não perde nem absorve água do meio.

A importância da umidade de equilíbrio da madeira resume-se na situação de secagem e no emprego da mesma. Para a secagem artificial, o conhecimento do conceito de umidade de equilíbrio da madeira é de vital importância, pois sabendo-se a umidade da madeira e a umidade relativa, pode-se verificar o quão distante se está do equilíbrio, possibilitando o controle racional do processo (Franzoi, 1992).

A umidade de equilíbrio da madeira varia com a umidade relativa da atmosfera que a circunda e também entre diferentes espécies de madeira, entre cerne e alburno da mesma espécie e com o teor de extrativos da madeira. É afetada também pela temperatura, pelas tensões mecânicas e pela história da exposição da madeira (Skaar, 1988).

A importância da umidade de equilíbrio associa-se ao fato de ser este o parâmetro ideal para se estabelecer quando a madeira pode ser considerada seca; o seu teor de umidade deve ser igual ou ligeiramente inferior ao teor de umidade de equilíbrio médio da região em que madeira será utilizada.

A umidade de equilíbrio estimada, por fórmulas, consiste em uma referência interessante no processo de secagem da madeira, principalmente no

controle do processo de secagem ao ar livre (Mendes et al., 1996 e Mendes et al., 1999).

Segundo Lima et al. (1995), é importante considerar que eventuais diferenças entre valores de umidade de equilíbrio estimados e valores observados (reais) devem ser determinados e que, para isso, é necessário conhecer a umidade de equilíbrio real para as principais madeiras utilizadas nas cidades brasileiras.

Vale ressaltar, também, que produtos reconstituídos de madeira apresentam uma higroscopicidade diferente em relação à madeira maciça. Este fato é devido à redução em lâminas e partículas e à posterior incorporação de resinas e parafinas, entre outros produtos. Outro aspecto que contribui para a redução da higroscopicidade destes produtos é a utilização de altas temperaturas e pressão na consolidação final do painel (Wu, 1999).

Neste sentido, Nelson (1983) desenvolveu um modelo baseado na energia livre de Gibbs e determinou, através de análise de regressão, os coeficientes originais desta equação para alguns produtos à base de madeira.

Os parâmetros que definem a isoterma de sorção variam com o processo de sorção e o tipo de produto. A determinação destes parâmetros torna possível utilizar o Modelo Analítico de Nelson como uma ferramenta para prever, por exemplo, a umidade que flui através das paredes de edifícios (Burch et al., 1992) e o gradiente de umidade em painéis de revestimento de mobílias (Wu & Suchsland, 1996).

2.7.1 Equação de Nelson (1983)

Nelson (1983) desenvolveu um modelo baseado na energia livre de Gibbs e determinou, através de análise de regressão, os coeficientes originais

para alguns produtos à base de madeira e também para a madeira de folhosas, coníferas e para a madeira em geral.

A equação de Nelson (1983) é apresentada a seguir:

$$UEH = Mv \left\{ 1,0 - \frac{1}{A} \ln \left[\left(\frac{R \cdot T}{Ww} \right) \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

em que:

UEH = Umidade de equilíbrio higroscópico (%);

RH = Umidade relativa (%);

Ww = Peso molecular da água (18 g/mol);

R = Constante universal dos gases (1,9858 cal/mol/K);

T = Temperatura absoluta (K);

A = Logaritmo natural da energia livre de Gibbs, por grama de água absorvida com a umidade relativa próxima de zero;

Mv = Constante do material aproximado (PSF) para desorção em porcentagem.

A equação acima pode ser simplificada, ficando da seguinte forma:

$$UEH = Mv + B \cdot RH^T \quad (4)$$

em que:

B = -Mv/A e

$$RH^T = \ln \left[\left(- \frac{RT}{Ww} \right) \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right] \quad (5).$$

A teoria de Nelson (1983) e Wu (1999) é um modelo desenvolvido para estimar a umidade de equilíbrio de produtos compostos de madeira, como, por exemplo, Aglomerado, MDF, HPL, HPL(bck), OSB e chapa dura.

Segundo Silva (2004), através dos valores médios de umidade de equilíbrio calculados e observados na temperatura de 30°C e as umidades relativas de 40, 50, 60, 70, 80 e 90%, pode-se verificar que a equação de Nelson (1983) subestima os valores de umidades de equilíbrio, mas estes valores foram bem próximos dos observados na câmara de climatização, mostrando que a equação de Nelson (1983) é eficiente na estimativa da umidade de equilíbrio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

O material utilizado para este estudo foi obtido através de testes clonais cultivados pela Companhia Mineira de Metais – Unidade Agroflorestral Riacho – Município de Vazante/MG. Este material foi coletado num teste clonal de 7,5 a 13,5 anos de idade, conforme descrito na Tabela 6. Estes clones foram cultivados em um sistema agrosilvopastoril (Figura 6). Selecionaram-se 10 entre 34 clones de forma aleatória, sendo um deles em duas idades (clone 4488 e 4494). Dessa forma, foram amostrados 11 materiais genéticos, sendo abatidas 3 árvores por clone.

TABELA 6 – Relação dos materiais genéticos utilizados.

Clone	Idade (anos)	Espaçamento (m)	Local
62	7,5	6x4	ATC-94 F. Bonsucesso
58	7,5	10x4	Q4 – Fazenda Riacho
7	10,5	6x4	Pesq. 91 Fazenda Riacho
36	8,5	10x4	Q1 – 93 – Fazenda Riacho
41 ^A	8,5	10x4	Q1 – 93 – Fazenda Riacho
66	8,5	10x4	Q1 – 93 – Fazenda Riacho
280	7,5	10x4	Q4 – 94 – Fazenda Riacho
299	7,5	10x4	Q4 – 94 – Fazenda Riacho
4488	13,5	3x3	ATC-88 Proj. 81– F. Bonsucesso
4494	7,5	6x4	ATC-94 F. Bonsucesso
2	10,5	6x4	Pesq. 91 F. Bonsucesso

ATC– área de teste clonal; Pesq.– pesquisa; F. Bonsucesso – Fazenda Bonsucesso; Q– quadra; FRI– Fazenda Riacho.



FIGURA 6 – Cultivo em sistema agrosilvopastoril

3.1.1 Coleta do material

Foram coletadas aleatoriamente três árvores de cada clone, sendo as mesmas identificadas corretamente. O diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (HT) das árvores foram mensurados no momento do abate.

3.1.2 Obtenção das partículas

As toras de 2,5m de comprimento obtidas no campo foram conduzidas para a Serraria da UFLA, localizada no Campus Universitário, onde foram desdobradas em tábuas de 20mm de espessura. Estas tábuas foram levadas ao laboratório de usinagem e seccionadas em peças de 85mm de largura, que definiram o comprimento das partículas. As partículas foram geradas em um picador de disco (Figura 7), cujas facas foram ajustadas para gerar partículas com espessuras em torno de 0,60mm (Figura 8).



FIGURA 7 – Processo de geração de partículas.

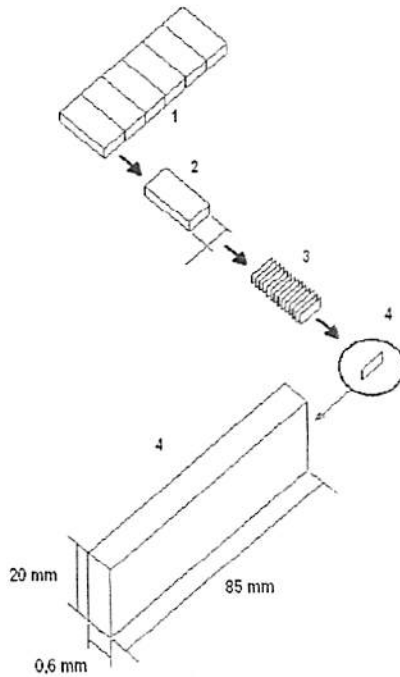


FIGURA 8 – Partículas strand, em que: 1 – Tábua; 2 – Bloco; 3 – Picagem e 4 – Partícula gerada.

3.1.3 Secagem das partículas

As partículas foram levadas para o pátio para secagem ao ar livre, retirando o excesso de umidade (Figura 9). Logo após foram secas até o conteúdo de umidade de 3-4% base massa seca, utilizando uma estufa de laboratório com circulação forçada de ar (Figura 10). As partículas foram secas dentro de caixas com tela para facilitar a circulação do ar.



FIGURA 9 – Estufa utilizada na secagem das partículas.

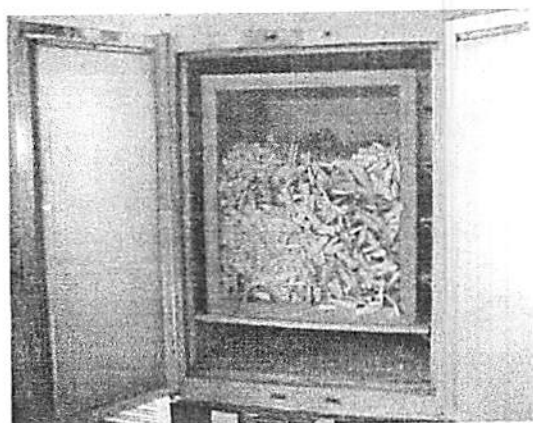


FIGURA 10 – Estufa utilizada na secagem das partículas.

3.1.4 Determinação da densidade aparente dos clones estudados

Foram amostrados 100 gramas de partículas de cada clone. Em seguida, foram determinados a largura, o comprimento, a espessura e o peso de cada partícula.

A densidade aparente do clone foi determinada pela média das densidades de cada partícula:

$$Dp = \frac{M}{L \times C \times E} \quad (6)$$

em que:

Dp = densidade da partícula (g/cm³);

M = massa (g);

C = comprimento (cm);

E = espessura (cm);

L = largura (cm).

$$Dc = \frac{\sum Dp}{N} \quad (7),$$

em que:

Dc = densidade do clone;

$\sum Dp$ = somatório das densidades das partículas;

N = número de partículas.

3.2 Manufatura dos painéis

3.2.1 Agrupamento de clones

As partículas geradas a partir dos clones foram agrupadas em dois grupos, considerando as médias de densidade. No primeiro grupo foram alocados nove clones (7, 36, 58, 62, 280, 299, 4494) com a média de densidade de $0,56 \text{ g/cm}^3$ e, no segundo grupo, dois clones (2, 4488) com a média $0,74 \text{ g/cm}^3$.

3.2.2 Plano experimental dos painéis produzidos

O plano experimental foi dividido em tratamentos, considerando oito fases distintas subsequentes (Figura 11). As chapas padrão serviram como parâmetro de referência, estabelecido com base em estudos realizados anteriormente por Mendes (2001), Iwakiri et al (2003) e Saldanha (2004). As chapas foram produzidas nas seguintes condições (Tabela 7):

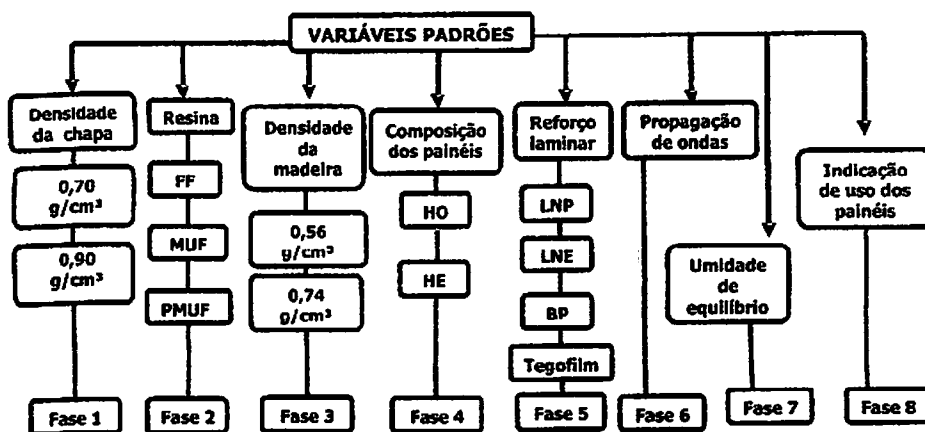


FIGURA 11 – Esquema das variáveis trabalhadas no plano experimental.

TABELA 7 – Plano experimental.

TRATAMENTO	R	Tipo de resina	DP	TP (Min.)	TP (°C)	DM	CP
1	3	M.U.F*	0,7	8	140	0,56	HE
2	3	F.F	0,7	8	180	0,56	HE
3	3	P.M.U.F	0,7	8	180	0,56	HE
4	3	F.F	0,9	8	180	0,56	HE
5	3	F.F	0,9	8	180	0,74	HE
6	3	F.F	0,7	8	180	0,56	HO
7-LN P	1	F.F	0,7	8	180	0,56	HE
8-LN E	1	F.F	0,7	8	180	0,56	HE
9-BP	1	F.F	0,7	8	180	0,56	HE
10-Tegf.	1	F.F	0,7	8	180	0,56	HE

* Na resina MUF usaram-se 15,56g de catalisador (sulfato de amônia).

R: repetições; DP: densidade do painel; TP: Min: Tempo de prensagem; TP: C: Temperatura; DM: densidade da madeira; CP: Composição do painel; HE: painel de camada cruzada e HO: painel de camada única.

3.2.3 Aplicação de resina e da parafina

A partir da aplicação da resina o experimento foi realizado na Universidade Federal do Paraná.

As resinas utilizadas foram fenol-formaldeído (FF), melamina-uréia-formaldeído (MUF) e fenol-melamina-uréia formoldeído (PMUF) (Tabela 8) e aparafina na forma de emulsão (Tabela 9).

TABELA 8 – Características e especificações das resinas utilizadas.

Resina (nome comercial)	Tipo	ITENS						
		1	2 (%)	3 (cP)	4	5 (g/cm ³)	6 (seg.)	7 (%)
CASCOPHEN OS-22	FF	LVV	50 a 52	150 a 200	11 a 13	1,234 a 1,243	15 a 25	-
PREFERE 11T121	MUF	LBL	62 a 64	100 a 200	8,5 a 9,5	1,260 a 1,280	40 a 55	Max. 0,50
PREFERE 13S135	PMUF	-	63 a 65	160 a 240	9,0 a 10,0	1,280 a 1,290	80 a 110	Max. 0,30

1-Aspecto da resina; 2-Teor de sólidos; 3-Viscosidade; 4-pH; 5-Densidade; 6-Gel Time; 7-Formol livre; LVL-Líquido vermelho viscoso; LBL-Líquido branco leitoso; cP-Centpoise; FF Fenol-formoldeído; MUF Melamina-ureia-formoldeído; PMUF Fenol-Melamina-ureia-formoldeído.

Fonte: Certificado de análise físico-químico de resina, DYNEA (2003).

TABELA 9– Características e especificações da emulsão de parafina.

Itens	Met de ensaio	Referência	Resultado
1	Mapa 06	ACTS	60 %
2	Mapa 07	NBR 7353	10
3	Mapa 08	NBR 5849	18 Seg
4	Mapa 16	ACTS	0,93 g/cm ³
5	Mapa 17	ASTM D 721	0,31

1 – Teor de sólidos; 2 – pH; 3 – Viscosidade; 4 – densidade; e 5 – Teor de óleos

As resinas e a parafina foram aplicadas nas partículas em um encolador tipo tambor giratório dotado de um copo graduado para o acondicionamento da quantidade de resina necessária para uma chapa e de uma pistola de baixa pressão, a qual, por aspersão, distribui a resina sobre as partículas. A Figura 12

ilustra a encoladeira utilizada. Foram utilizadas duas pistolas na operação. Primeiramente foi aplicada a resina; em seguida foi feita a troca da pistola para aplicação da parafina.

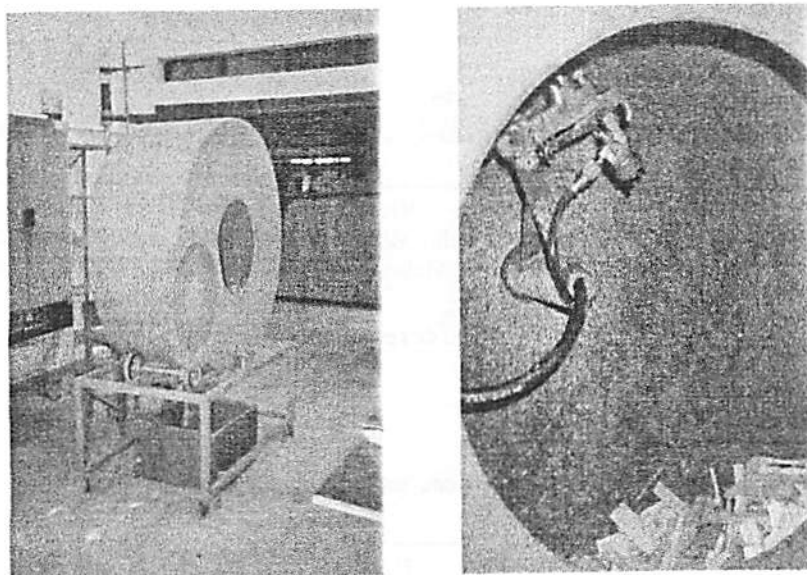


FIGURA 12 – Encoladeira de partículas ilustrando seus detalhes externos e internos.

3.2.4 Formação do colchão

As partículas foram orientadas por uma caixa orientadora de partículas em que foram depositadas as proporções estipuladas para cada camada, a qual é acoplada sobre uma caixa formadora, acondicionando as partículas orientadas (Figura 13).

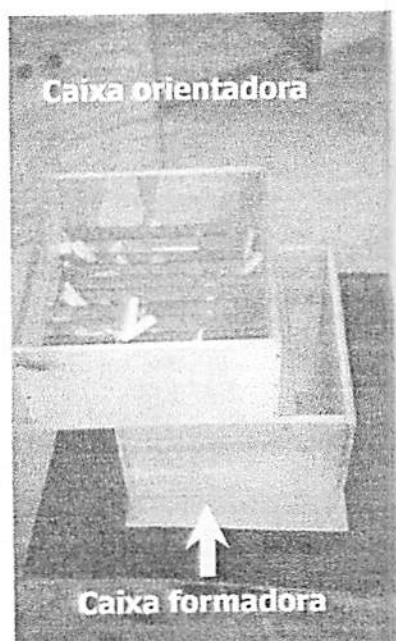


FIGURA 13 – Caixa orientadora de partículas

3.2.5 Prensagem

O colchão foi levado para uma pré-prensagem, em uma prensa manual a frio, ilustrada na Figura 14, proporcionando um entrelaçamento inicial entre as partículas e uma redução do colchão, iniciando o processo de adesão pelo contato mais íntimo das partículas, preparando-o para a prensagem a quente.

3.2.6 Acondicionamento

Após a manufatura dos painéis, estes foram levados para o laboratório de usinagem da madeira na Universidade Federal de Lavras, onde foram esquadrejados, objetivando a retirada das bordas, ajustando suas dimensões para 420 x 420 mm.

Posteriormente os painéis foram empilhados e mantidos em câmara de climatização a temperaturas de 20°C e 65% de umidade relativa até atingirem peso constante. Estas condições são exigidas pelas normas de ensaios para que os resultados sejam padronizados e permitam adequada comparação.

3.3 Determinação das propriedades dos painéis

A Tabela 11 mostra as propriedades avaliadas nos painéis OSB e as normas realizadas para a execução dos ensaios.

TABELA 11 – Propriedades avaliadas nos painéis OSB produzidos com clones de *Eucalyptus* spp.

PROPRIEDADES MECÂNICAS	PROPRIEDADES FÍSICAS
Flexão estática (MOE): norma DIN 52362, 1982	Absorção de água (AA): norma ASTM 1980:D1037-100
Flexão estática (MOR): norma DIN 52362, 1982	Inchamento em espessura (IE): norma ASTM 1980:D1037-100
Compressão paralela (CP): norma ASTM 1980:D1037-34.22	Taxa de não retorno em espessura: norma ASTM 1980:D1037-100
Ligação interna (LI): norma ASTM 1980: D1037-28	Umidade de equilíbrio: (Wu, 1999)

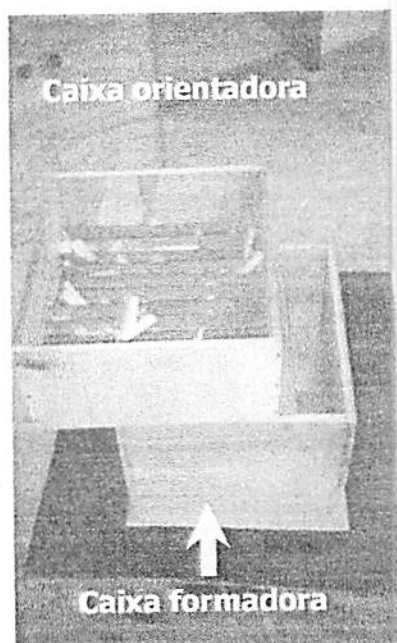


FIGURA 13 – Caixa orientadora de partículas

3.2.5 Prensagem

O colchão foi levado para uma pré-prensagem, em uma prensa manual a frio, ilustrada na Figura 14, proporcionando um entrelaçamento inicial entre as partículas e uma redução do colchão, iniciando o processo de adesão pelo contato mais íntimo das partículas, preparando-o para a prensagem a quente.



FIGURA 14 – Pré-prensagem em prensa manual a frio

A prensagem a quente foi realizada em uma prensa mecânica hidráulica de laboratório com controle de temperatura e pressão (Figura 15).

A temperatura de prensagem foi de 140 °C para o tratamento de resina MUF e de 180 °C para as resinas FF e PMUF. O tempo de prensagem foi de 8 minutos e a pressão específica, de 40 kg/cm².

Para os tratamentos que incluíram revestimento superficial foi colocada uma lâmina em cada uma das faces da chapa, a qual, posteriormente, foi prensada em prensa a quente (Tabela 10). Para a colagem das lâminas naturais de *Pinus* e *Eucalyptus* foram usados resina UF, trigo, água e catalisador.

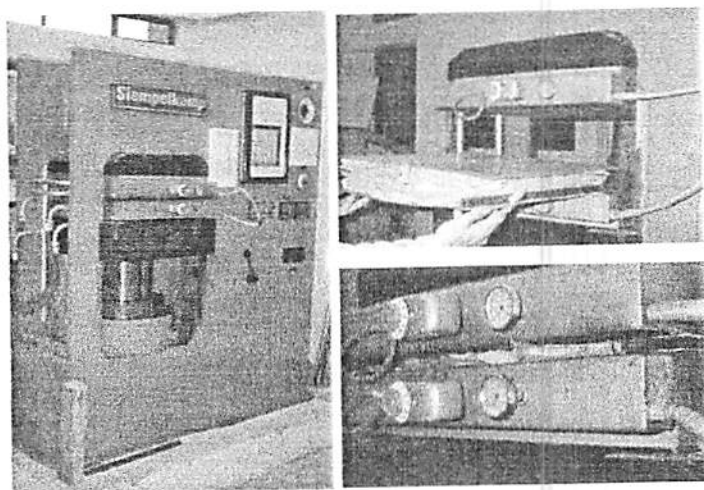


FIGURA 15– Processo de prensagem a quente das chapas.

TABELA 10 - Variáveis e usos de revestimentos superficiais.

Revestimentos superficiais	Pe (Kgf/cm ²)	T°C	TP	Usos
Lâmina natural (Pinus/eucalipto)	> 9	150	4min	Internos (moveis/quartos)
BP	20 - 23	180 - 200	25seg	Externo/Estrutural
Tegofilm	20	170	160seg	Banheiros/cozinha

Fonte: (Dynea, 2003).

Legenda: Pe: Pressão específica; T°C: Temperatura; TP: Tempo de prensagem

3.2.6 Acondicionamento

Após a manufatura dos painéis, estes foram levados para o laboratório de usinagem da madeira na Universidade Federal de Lavras, onde foram esquadrejados, objetivando a retirada das bordas, ajustando suas dimensões para 420 x 420 mm.

Posteriormente os painéis foram empilhados e mantidos em câmara de climatização a temperaturas de 20°C e 65% de umidade relativa até atingirem peso constante. Estas condições são exigidas pelas normas de ensaios para que os resultados sejam padronizados e permitam adequada comparação.

3.3 Determinação das propriedades dos painéis

A Tabela 11 mostra as propriedades avaliadas nos painéis OSB e as normas realizadas para a execução dos ensaios.

TABELA 11 – Propriedades avaliadas nos painéis OSB produzidos com clones de *Eucalyptus* spp.

PROPRIEDADES MECÂNICAS	PROPRIEDADES FÍSICAS
Flexão estática (MOE): norma DIN 52362, 1982	Absorção de água (AA): norma ASTM 1980:D1037-100
Flexão estática (MOR): norma DIN 52362, 1982	Inchamento em espessura (IE): norma ASTM 1980:D1037-100
Compressão paralela (CP): norma ASTM 1980:D1037-34.22	Taxa de não retorno em espessura: norma ASTM 1980:D1037-100
Ligação interna (LI): norma ASTM 1980: D1037-28	Umidade de equilíbrio: (Wu, 1999)

O processo de obtenção dos corpos-de-prova foi realizado através do uso de uma serra circular esquadrejadeira. Os corpos-de-prova de flexão estática e de compressão paralela foram retirados no sentido paralelo e perpendicular em relação à orientação das partículas das camadas externas dos painéis. A distribuição dos corpos-de-prova em cada painel para avaliação das propriedades é apresentada na Figura 16. As características e dimensões dos corpos de prova estão descritos na Tabela 12.

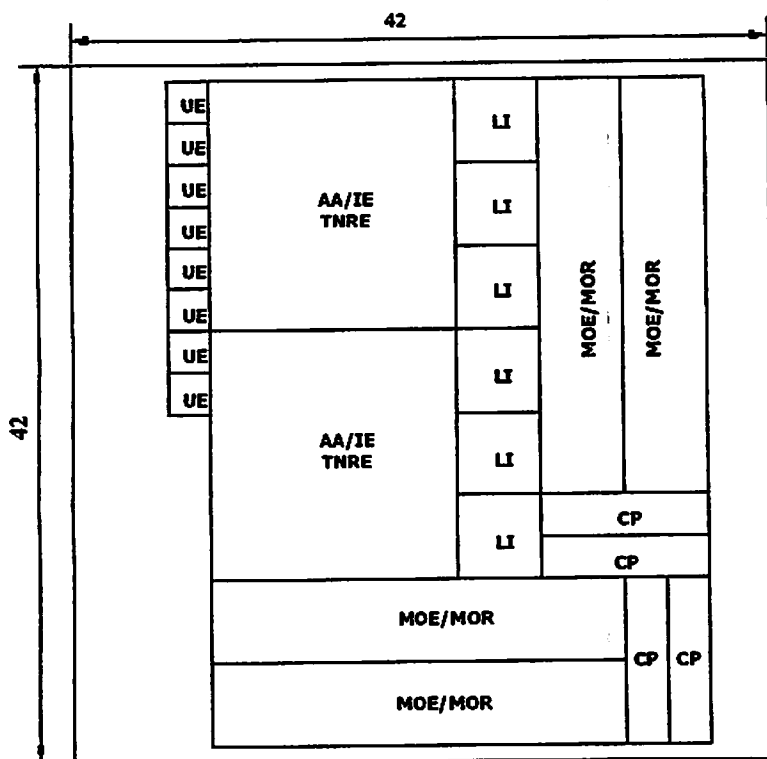


FIGURA 16 – Esquema de distribuição de corpos-de-prova nos painéis para cortes e avaliação das propriedades (unidades em mm).

Legenda: AA: Absorção de água; IE: Inchamento em espessura; TNRE: Taxa de não retorno em espessura; EU: Umidade de equilíbrio; LI: Ligação interna; MOE: Módulo de elasticidade; MOR: Módulo de ruptura; MOEd: Módulo de elasticidade dinâmico; CP: Compressão paralela.

TABELA 12 – Características e dimensões dos corpos de prova.

Propriedades		Nº de corpos de prova	Dimensões dos corpos de prova (mm)	Procedimentos recomendados pelas normas
UE	Física	14	25 x 25	WU, 1999
AA/IE/TNRE		2	150 x 150	ASTM D1037
LI	Mecânica	5	50 x 50	ASTM D1037
CP		4	100 x 25	ASTM D1037
MOE/MOR		3	250 x 50	DIN 52362

3.4 Avaliação não destrutiva por métodos de emissão de ondas para determinação de MOEd para chapas OSB

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) foi utilizado um aparelho para a avaliação não destrutiva por métodos de emissão de ondas de tensão (SWT), conforme ilustrado na Figura 17.

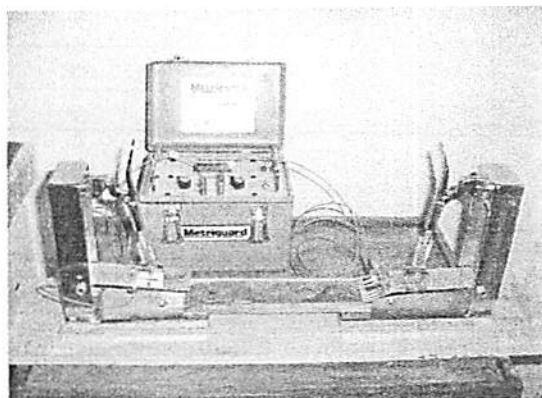


FIGURA 17 - Sistema de aplicação de ondas de tensão utilizado para determinação do módulo de elasticidade dinâmico de OSB – Modelo Metriguard 239A.

Este equipamento determinou o tempo de detecção da passagem da onda. Os tempos registrados em microssegundos foram utilizados no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, por meio da equação $MOEd = \delta \times V^2 \times 1/g$, já detalhada anteriormente.

3.5 Umidade de equilíbrio

As amostras com dimensões de 25 mm de largura por 25 mm de comprimento, segundo a metodologia desenvolvida por Wu (1999), foram pesadas e levadas para uma câmara de climatização, onde foram submetidas a diferentes condições de umidade e à temperatura de 30°C. As condições iniciais de umidade relativa foram 90, 80, 70, 60, 50 e 40% para obter a primeira curva de dessorção. Em seguida, as amostras foram expostas à umidade relativa crescente sob as mesmas condições, para obter a curva de adsorção. Repetiu-se, então, o primeiro procedimento para obter a segunda curva de dessorção. Ao final, as amostras foram levadas à estufa com temperatura em torno de 103°C até atingirem o peso constante (Figura 18), quando foram pesadas novamente para a determinação da umidade.

Determinou-se a histerese, através da razão entre as umidades de equilíbrio da madeira, obtida na curva de adsorção e dessorção (A/D), em que UE1 é a primeira dessorção, UE2 é a adsorção e UE3 é a segunda dessorção, para uma mesma umidade relativa, que variou de 40 a 90%.

Em cada condição de umidade relativa, o peso das amostras foi monitorado com o objetivo de verificar o momento em que se estabelecesse o equilíbrio. Foi considerado como estando na umidade de equilíbrio as amostras de madeira que, após pesagens subseqüentes em intervalos de 24 horas, obtiveram uma variação menor que 1%.

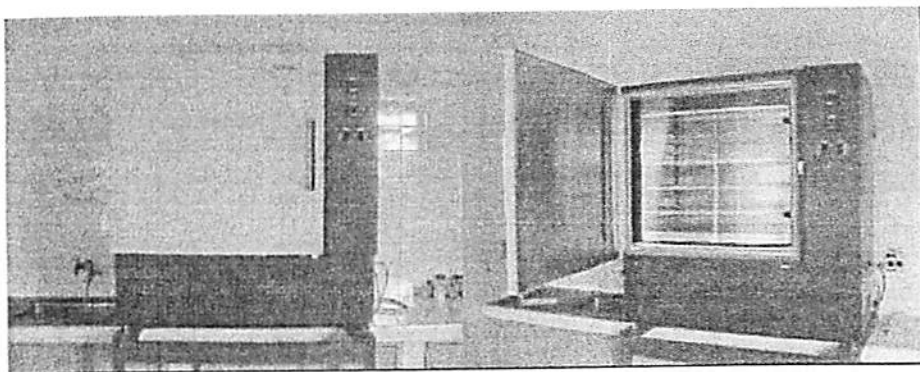


FIGURA 18 - Câmara de climatização utilizada para determinação da umidade de equilíbrio.

Foi ajustada a equação de Nelson (1983) para os tratamentos e, em seguida, feita a comparação dos valores de umidade de equilíbrio calculada pela equação de Nelson e observada na câmara de climatização.

3.6 Análise estatística

Após os ensaios dos corpos-de-prova, os dados referentes a cada fator testado foram submetidos à análise de variância e a teste de médias (Scott-Knott) ao nível de 95% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados de todas as variáveis estudadas, sendo as análises de variâncias correspondentes apresentadas no Anexo B.

4.1 Densidade da madeira

Na Tabela 13 podem ser observados os resultados obtidos para a densidade da madeira dos clones de *Eucalyptus* spp.

A densidade média foi de $0,56 \text{ g/cm}^3$, com coeficiente de variação médio de 7,7%. Nota-se que existe uma amplitude de variação de $0,23 \text{ g/cm}^3$ entre os clones estudados. O valor mínimo obtido foi de $0,52 \text{ g/cm}^3$, enquanto o valor máximo foi de $0,75 \text{ g/cm}^3$, ficando assim a expectativa de até que nível esta amplitude de variação da média da densidade de $0,22 \text{ g/cm}^3$ afetará as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos.

Como pode ser observado na Tabela 14, comparando-se estatisticamente os valores de densidade médias obtidas para os corpos de prova dos 6 tratamentos, apenas as médias dos tratamentos 4 e 5 diferiram estatisticamente das demais. Este fato era esperado, pois tomou-se como base de variação a densidade da chapa estabelecida em $0,9 \text{ g/cm}^3$.

TABELA 13 – Valores médios da densidade da madeira.

CLONES	DENSIDADES DA MADEIRA (g/cm³)
58	0,520 a
280	0,522 a
66	0,536 a
299	0,549 a
36	0,561a
7	0,565 a
4494	0,571 a
41	0,582 a
62	0,632 a
4488	0,735 b
2	0,754 b

Os valores da coluna seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

4.2 Densidade das chapas

TABELA 14 - Valores médios das densidades das chapas.

Tratamentos	Densidade (g/cm³)	CV (%)
1	0,676 a	6,29
2	0,699 a	5,21
3	0,696 a	4,55
4	0,785 b	2,57
5	0,799 b	4,51
6	0,719 a	9,81

Os valores da coluna seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

4.3 Fase 1 – influência da densidade nominal da chapa

4.3.1 Propriedades mecânicas

4.3.1.1 Módulos de elasticidade e de ruptura (MOE e MOR)

Na Tabela 15 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da chapa para módulos de elasticidade e ruptura, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 19.

Para MOE e MOR, em ambos os sentidos, o aumento da densidade da chapa promoveu um aumento estatisticamente significativo nos valores médios das propriedades. Esta relação entre densidade da chapa e flexão estática também foi observada em estudos de Sobral Filho (1981), Zhou (1990), Canadido et al (1990), Zhang et al (1998), Wu (1999) e Mendes (2001).

Os valores obtidos para MOE no sentido perpendicular e MOR em ambos os sentidos estão dentro dos propostos pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 15 – Influência da densidade nominal da chapa sobre os valores médios de MOE e MOR (paralelo e perpendicular)

Densidade Nominal (g/cm ³)	MOE (Kg/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 2 - 0,7	31703 c	5,56	9774 a	26,32
T 4 - 0,9	35166 d	5,25	16823 b	7,17
MOR (Kg/cm ²)				
T 2 - 0,7	256 e	14,35	122 g	25,08
T 4 - 0,9	368 f	15,13	308 f	11,81

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

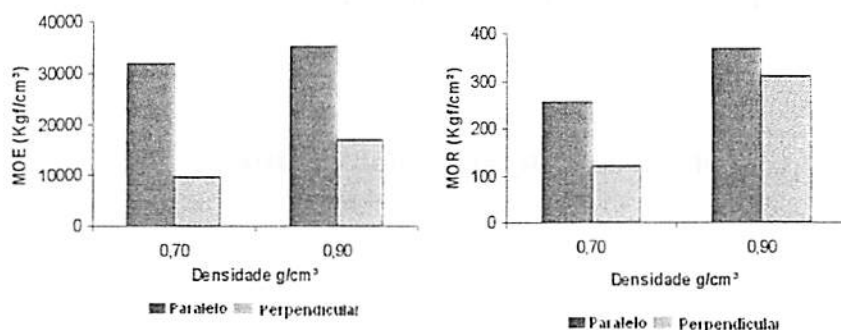


FIGURA 19 – Histograma representativo do MOE MOR para o efeito da densidade nominal da chapa

4.3.1.2 Ligação interna

Na Tabela 16 estão apresentados os valores médios de ligação interna e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal. Os resultados estão apresentados graficamente na Figura 20.

Os valores médios observados na propriedade ligação interna das chapas com densidades 0,7 e 0,9 g/cm³ não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, tendência também observada por Vital (1974), que não encontrou correlação definida entre densidade da chapa e ligação interna. Esta observação difere das de Mendes (2001) e Saldanha (2004), que afirmam que o aumento da densidade da chapa proporciona uma diminuição da ligação interna.

Os valores obtidos para LI estão acima dos valores propostos pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 16 – Influência da densidade nominal da chapa sobre os valores médios de ligação interna.

DensidadeNominal (g/cm ³)	LIGAÇÃO INTERNA	
	Resistência (Kgf/cm ²)	CV (%)
T 2 – 0,7	4,018 b	33,6
T 4 – 0,9	4,375 b	26,2

CV - Coeficiente de variação.

Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de probabilidade.

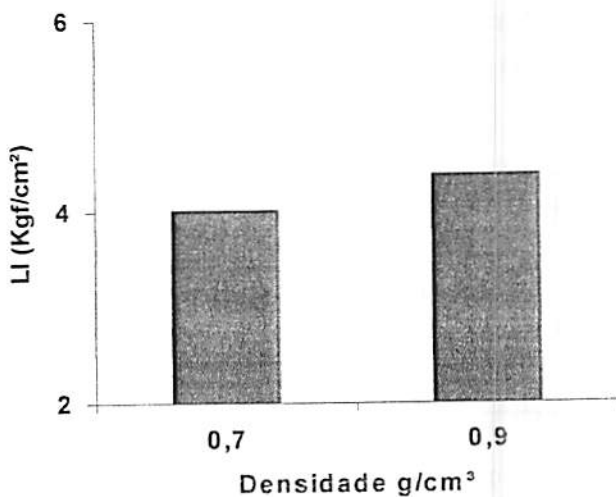


FIGURA 20 – Histograma representativo da ligação interna para a densidade nominal da chapa.

4.3.1.3 Compressão paralela

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da chapa para módulos de elasticidade e resistência, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão apresentados graficamente na Figura 21.

O aumento da densidade dos painéis de 0,7 para 0,9 g/cm³ resultaram em valores de compressão paralela superior para a direção de testes no sentido paralelo. Esta tendência também foi observada por Mendes (2001).

Os valores médios observados na propriedade compressão das chapas com densidades 0,7 e 0,9 g/cm³, para o sentido perpendicular, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

TABELA 17 – Influência da densidade nominal da chapa sobre os valores médios de compressão (paralela e perpendicular).

Densidade Nominal (g/cm ³)	COMPRESSÃO PARALELA (Kg/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 2 – 0,7	77,67 a	19,79	113,33 b	46,71
T 4 – 0,9	95,67b	22,93	123,67 b	4,74

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

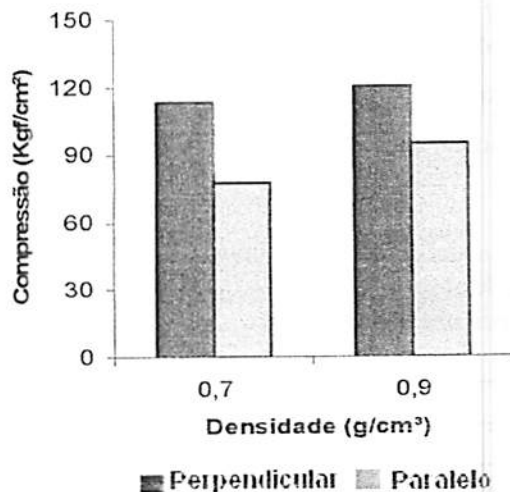


FIGURA 21 – Histograma representativo de compressão paralela para a densidade nominal da chapa

4.3.2 Propriedades físicas

4.3.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura

Na Tabela 18 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da chapa para absorção de água e inchamento em espessura 2 horas e 24 horas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 22.

O aumento da densidade de 0,7 para 0,9 g/cm³ não ocasionou diferença estatisticamente significativa em absorção de água (AA) para 2 e 24 horas. Este resultado contradiz os mencionados na literatura, como os de Mendes (2001) e Saldanha (2004).

No que diz respeito ao inchamento em espessura (IE), o aumento da densidade dos painéis ocasionou uma redução estatisticamente significativa para

24 horas de imersão em água. Este resultado contradiz os obtidos por Moslem (1974); Kelly (1977); Mendes (2001) e Saldanha (2004), já que estes constataram que o aumento na densidade da chapa também resultou em aumento para IE 24 horas de imersão em água.

TABELA 18 – Influência da densidade nominal da chapa sobre os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura 2 e 24 horas após imersão em água.

Densidade Nominal (g/cm^3)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 2 – 0,7	7,48 a	38,46	25,98 c	44,74
T 4 – 0,9	4,64 a	24,60	27,26 c	52,17

INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)				
T 2 – 0,7	2,41 a	45,82	11,07 c	38,40
T 4 – 0,9	0,81 a	88,63	6,34 b	39,20

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

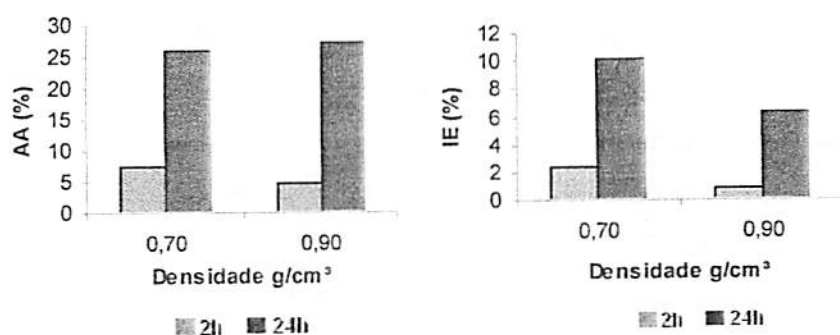


FIGURA 22 – Histograma representativo da absorção de água e inchamento em espessura para a densidade nominal da chapa.

4.3.2.2 Taxa de não retorno em espessura

Na Tabela 19 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da chapa para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 23.

O aumento da densidade das chapas não afetou significativamente a taxa de não retorno em espessura (TNRE), resultado contraditório ao observado por Childs (1956), Kelly (1977) e Mendes (2001), que encontraram um aumento do TNRE quando as chapas foram produzidas com densidade maior.

TABELA 19 – Influência da densidade nominal da chapa sobre os valores médios de taxa de não retorno em espessura.

Densidade Nominal (g/cm ³)	TNRE (%)	
	MÉDIA	CV (%)
T 2 – 0,7	7,27 a	31,67
T 4 – 0,9	3,63 a	57,92

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

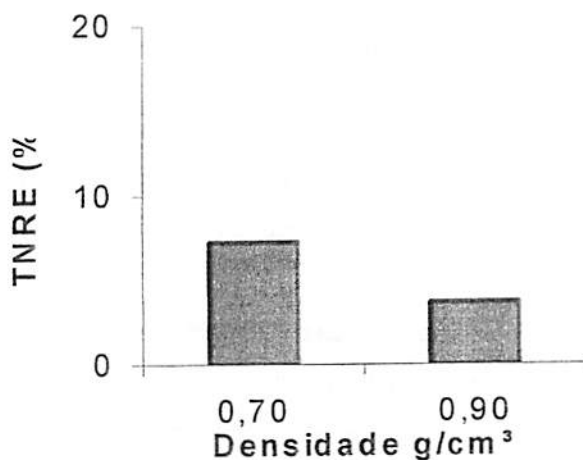


FIGURA 23 – Histograma representativo da taxa de não retorno em espessura para a densidade nominal da chapa.

4.4 Fase 2 – influência do tipo de resina

4.4.1 Propriedades mecânicas

4.4.1.1 Módulos de elasticidade e ruptura

Na Tabela 20 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito tipo de resina para módulos de elasticidade e ruptura, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 24.

Para o MOE e MOR, no sentido paralelo, os resultados obtidos demonstraram que as resinas PMUF e FF apresentaram valores médios estatisticamente iguais em relação à resina FF, resultado também observado por Saldanha (2004).

No sentido perpendicular, MOE e MOR apresentaram valores estatisticamente iguais, aumentando os valores desta propriedade para os tipos de resinas PMUF e MUF. Estes resultados diferem dos encontrados por Murakami et al (1999) e Saldanha (2004), que encontraram valores superiores para resina fenólica em relação à resina com composição melamínica. O que pode explicar esses resultados é o baixo teor de sólidos da resina FF, citada anteriormente pelo fabricante, fazendo com que a resina obtenha uma menor ligação.

Os valores obtidos para MOE no sentido paralelo foram menores já no sentido perpendicular para tipo de resina PMUF; o valor foi acima dos propostos pela norma CSA 0437. Para MOR, todos os valores estão dentro da norma CSA 0437.

TABELA 20 – Influência do tipo de resina sobre os valores médios de MOE e MOR (paralelo e perpendicular)

Tipo de resina	MOE (Kgf/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 1- MUF	28084 c	6,56	14086 b	14,23
T 2- FF	31703 d	5,56	9774 a	26,32
T 3 -PMUF	32548 d	15,15	15749 b	4,42
MOR (Kgf/cm ²)				
T 1- MUF	315 g	10,89	264 f	24,30
T 2- FF	256 f	14,35	122 e	25,08
T 3- PMUF	262 f	13,23	234 f	26,28

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

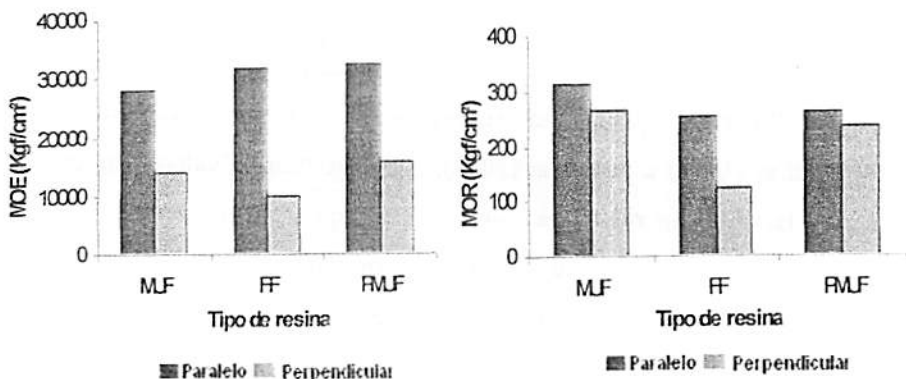


FIGURA 24 – Histograma representativo do MOE e MOR para o tipo de resina.

4.4.1.2 Ligação interna

Na Tabela 21 estão apresentados os valores médios de ligação interna e seus respectivos coeficientes de variação do efeito dos tipos de resina. Os resultados estão representados graficamente na Figura 25.

Os tipos de resina não afetaram de forma significativa os valores de ligação interna. Estes resultados diferem dos encontrados por Murakami et al (1999) e Saldanha (2004), que encontraram valores superiores para resina fenólica em relação à resina melamínica. A madeira de eucalipto produz partículas mais heterogêneas com relação às suas dimensões, como também gera uma maior quantidade de finos. Este fato deve ser estudado com mais detalhes porque pode afetar a qualidade das chapas, conforme a citação de Maloney (1993) de que todas as variáveis do processo de produção interagem entre si nos dois sentidos.

Os valores observados para LI estão acima dos propostos pela norma CSA 0437.

TABELA 21 – Influência do tipo de resina sobre os valores médios de ligação interna.

Tipos de resina	LIGAÇÃO INTERNA (Kgf/cm ²)	
	Resistência	CV (%)
T 1 – MUF	3,58 b	20,75
T 2 – FF	4,02 b	33,59
T 3 - PMUF	3,92 b	22,80

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

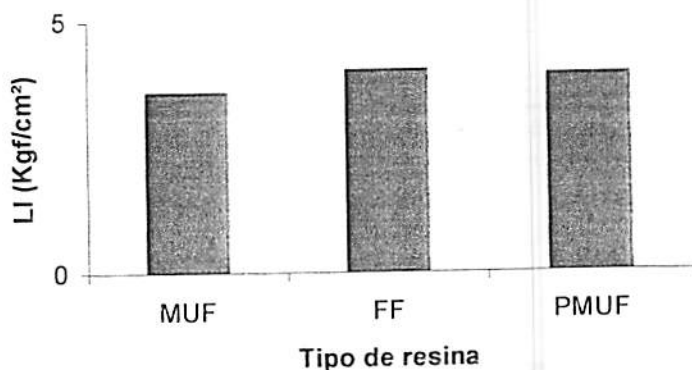


FIGURA 25 – Histograma representativo da ligação interna para o tipo de resina.

4.4.1.3 Compressão paralela

Na Tabela 22 estão apresentados os valores médios de compressão paralela e seus respectivos coeficientes de variação do efeito dos tipos de resina nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 26.

Os valores médios de compressão não apresentaram diferenças estatisticamente significativas no sentido paralelo. Para o sentido perpendicular, as resinas FF e MUF comportaram-se de forma igual, sendo estatisticamente superiores ao tipo PMUF.

TABELA 22 – Influência do tipo de resina sobre os valores médios de compressão (paralelo e perpendicular).

Tipos de resina	COMPRESSÃO PARALELA (Kgf/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 1 – MUF	48,67 a	39,33	120,33 b	4,80
T 2 – FF	77,67 a	19,79	113,33 b	46,71
T 3 – PMUF	59,33 a	38,59	80,67 a	10,83

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

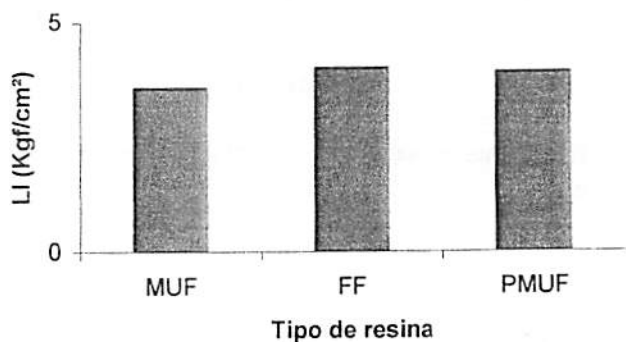


FIGURA 26 – Histograma representativo da compressão paralela para o tipo de resina.

4.4.2 Propriedades físicas

4.4.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura

Na Tabela 23 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito tipos de resina para absorção de água e inchamento em espessura 2 horas e 24 horas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 27.

Para os resultados de absorção em água após 2 horas de imersão, os tipos de resina não influenciaram de forma estatisticamente significativa. Quando analisados os resultados de absorção de água após 24h de imersão, os tipos alternativos MUF e PMUF foram estatisticamente iguais, reduzindo a quantidade de percentual de água absorvida. Estes resultados foram diferentes do encontrado por Saldanha (2004), que menciona um aumento no valor da propriedade para os tipos alternativos de resina (MUF e PMUF).

Nas propriedades inchamento em espessura, após 24 horas, o tipo de resina PMUF apresentou uma redução nos valores médios comparando com a resina FF e MUF.

Os resultados negativos obtidos pela resina FF nas propriedades físicas podem ser explicados por o gel time ter sido muito pequeno, resultando em uma reatividade muito rápida da resina, prejudicando na linha de cola.

TABELA 23 – Influência do tipo de resina sobre os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura 2 e 24 horas após imersão em água.

Tipos de resina	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 1 - MUF	4,34 a	32,36	10,01 b	50,45
T 2 - FF	7,48 a	38,46	25,98 c	44,74
T 3 - PMUF	3,25 a	34,55	11,66 b	43,05

INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)				
T 1 - MUF	1,95 a	31,40	9,49 c	31,49
T 2 - FF	2,41 a	45,82	11,07 c	38,40
T 3 - PMUF	2,20 a	29,99	6,75 b	16,30

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

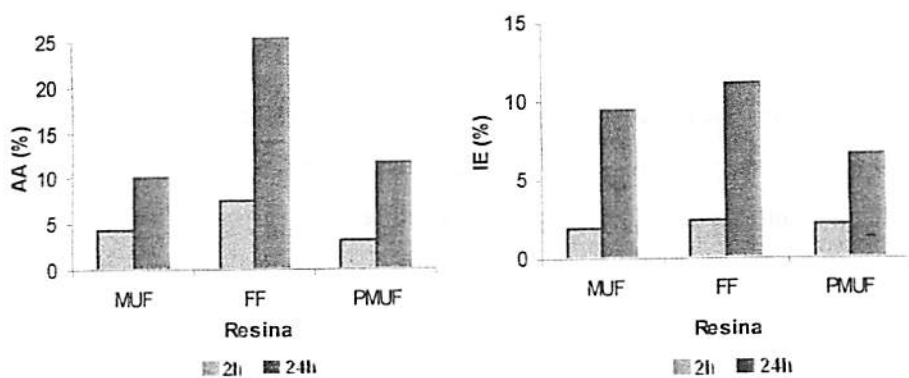


FIGURA 27 – Histograma representativo da absorção de água e inchamento em espessura para o tipo de resina.

4.4.2.2 Taxa de não retorno em espessura

Na Tabela 24 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito tipo de resina para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 28.

Os tipos de resina não afetaram estatisticamente os valores médios para taxa de não retorno em espessura. Estes resultados diferem dos encontrados por Saldanha (2004), que relata um aumento no inchamento residual das chapas quando as mesmas foram produzidas com resina MUF.

TABELA 24 – Influência do tipo de resina sobre os valores médios de taxa de não retorno em espessura.

Tipos de resina	TNRE (%)	
	MÉDIA	CV (%)
T 1 - MUF	6,76 a	34,84
T 2 - FF	7,27 a	31,67
T 3 - PMUF	4,99 a	24,99

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

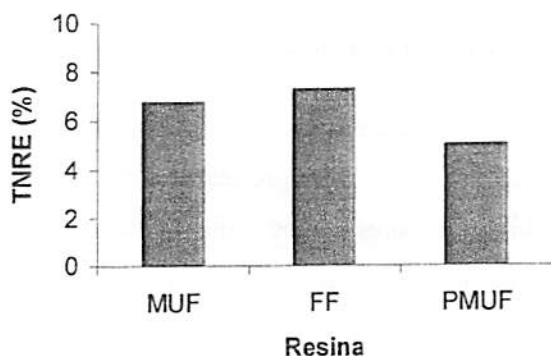


FIGURA 28 – Histograma representativo da taxa de não retorno em espessura para o tipo de resina.

4.5 Fase 3 – influência da densidade da madeira

4.5.1 Propriedades mecânicas

4.5.1.1 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura

Na Tabela 25 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da madeira para o módulo de elasticidade e módulo de ruptura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 29.

Os valores de MOE e MOR no sentido perpendicular não foram afetados significativamente pelas densidades da madeira 0,56 e 0,74 g/cm³.

O resultado obtido para os valores médios de MOE, no sentido paralelo, indicou um aumento significativo quando a densidade da madeira foi 0,56 g/cm³. Esta tendência também foi observada para MOR no sentido paralelo. Este fato é explicado por a chapa com madeira de menor densidade necessitar de uma maior quantidade de partícula, resultando em chapas com maior razão de compactação.

Os valores para MOE no sentido perpendicular e MOR nos dois sentidos estão dentro dos valores propostos pela norma CSA 0437.

TABELA 25 – Influência da densidade da madeira sobre os valores médios de MOE e MOR (paralelo e perpendicular)

Densidade da madeira (g/cm ³)	MOE (Kgf/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 4 - 0,56	35166 c	5,25	16823 a	7,17
T 5 - 0,74	25035 b	12,58	17963 a	14,81

Densidade da madeira (g/cm ³)	MOR (Kgf/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 4 - 0,56	368 e	15,13	308 d	11,81
T 5 - 0,74	273 d	18,01	217 d	17,26

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

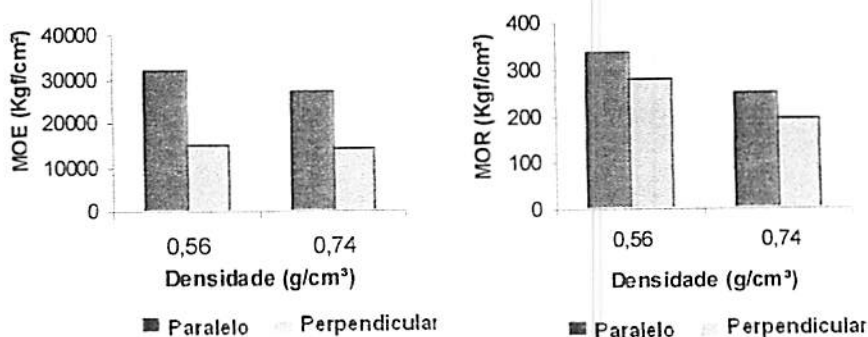


FIGURA 29 – Histograma representativo do MOE e MOR para densidade da madeira.

4.5.1.2 Ligação interna

Na Tabela 26 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da madeira para ligação interna. Os resultados estão representados graficamente na Figura 30.

Pode-se observar que a densidade da madeira não afeta a ligação interna na amplitude ($0,22 \text{ g/cm}^3$) estudada. Esta observação também foi constatada por Mendes et al (2002) ao produzirem painéis OSB com seis espécies do gênero Pinus, com a densidade da madeira variando de $0,37$ a $0,43 \text{ g/cm}^3$.

Os valores para LI estão acima dos valores propostos pela norma CSA 0437.

TABELA 26 – Influência da densidade da madeira sobre os valores médios de ligação interna.

Densidade da madeira (g/cm^3)	LIGAÇÃO INTERNA (Kg/cm^2)	
	Resistência	CV (%)
T 4 – 0,52	4,38 b	26,20
T 5 - 0,74	3,54 b	22,89

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

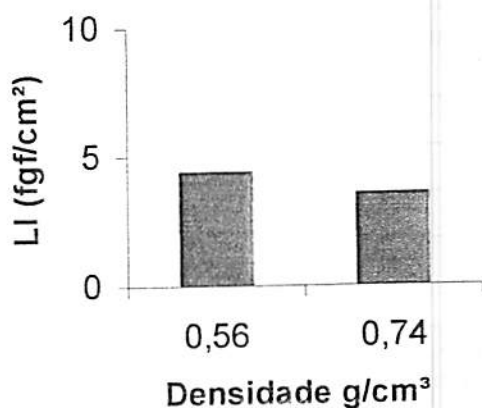


FIGURA 30 – Histograma representativo da ligação interna para densidade da madeira.

4.5.1.3 Compressão paralela

Na Tabela 27 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da madeira sobre a compressão paralela das chapas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 31.

Os valores de compressão das chapas com densidade da madeira 0,56 e 0,74 g/cm³ apresentaram diferenças estatisticamente significativas apenas para o sentido paralelo, indicando que chapas produzidas com madeira de menor densidade apresentaram maior resistência a esta propriedade.

TABELA 27 – Influência da densidade da madeira sobre os valores médios de compressão (paralelo e perpendicular).

Densidade da madeira (g/cm ³)	COMPRESSÃO PARALELA (Kgf/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 4 – 0,56	96 b	22,93	124 b	4,74
T 5- 0,74	73 a	13,58	130 b	60,63

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

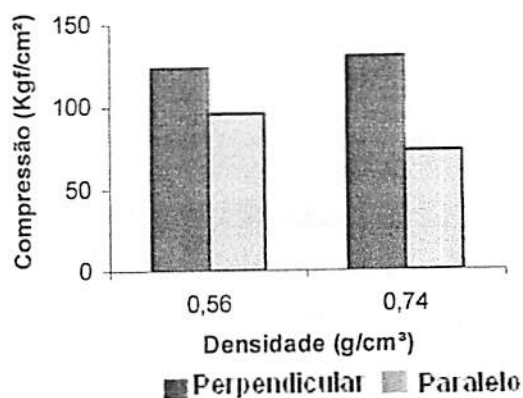


FIGURA 31 – Histograma representativo da compressão paralela para densidade da madeira.

4.5.2 Propriedades físicas

4.5.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura

Na Tabela 28 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da madeira para absorção

de água e inchamento em espessura 2 horas e 24 horas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 32.

A chapa com densidade da madeira de 0,74 g/cm³ ocasionou uma redução estatisticamente significativa para os valores de absorção de água para 24 horas. Este fato pode ser atribuído à maior superfície de contato formada pelas partículas de densidade menor (0,56 g/cm³).

No que diz respeito a inchamento em espessura, na densidade da madeira não houve diferença estatisticamente significativa.

TABELA 28 – Influência da densidade da madeira sobre os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura 2 e 24 horas após imersão em água.

Densidade da madeira (g/cm ³)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 4 – 0,56	4,64 a	24,60	27,26 c	52,17
T 5 – 0,74	5,17 a	24,29	18,05 b	44,42
Densidade da madeira (g/cm ³)	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 4 – 0,56	0,81 a	88,63	6,34 b	39,20
T 5 – 0,74	1,47 a	45,56	7,59 b	29,74

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

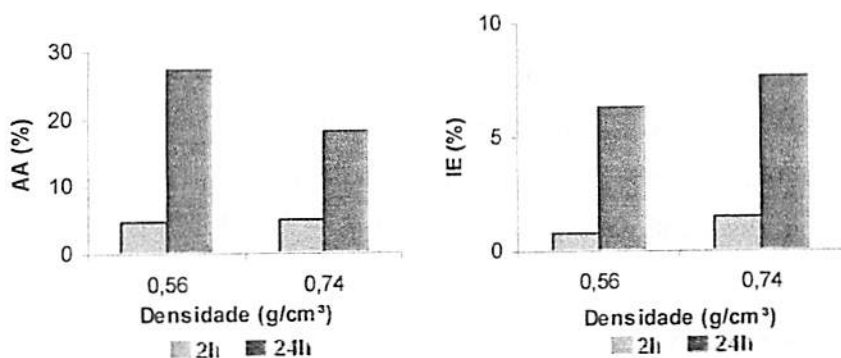


FIGURA 32 – Histograma representativo da absorção de água e inchamento em espessura para densidade da madeira.

4.5.2.2 Taxa de não retorno em espessura

Na Tabela 29 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da madeira para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 33.

O aumento da densidade da madeira não alterou os valores das propriedades de forma estatisticamente significativa, fato também observado por Mendes et al (2002).

TABELA 29 – Influência da densidade da madeira sobre os valores médios de taxa de não retorno em espessura.

Densidade da madeira (g/cm³)	TNRE (%)	
	MÉDIA	CV (%)
T 4 – 0,56	3,63 a	57,92
T 5 – 0,74	4,42 a	52,23

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

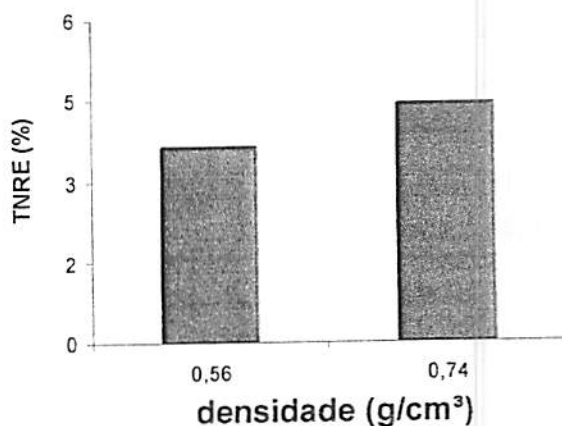


FIGURA 33 – Histograma representativo da taxa de não retorno em espessura para densidade da madeira.

4.6 Fase 4 – influência da composição dos painéis

4.6.1 Propriedades mecânicas

4.6.1.1. Módulo de elasticidade e módulo de ruptura

Na Tabela 30 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito da composição dos painéis para módulo de elasticidade e módulo de ruptura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 34.

Para MOE, no sentido paralelo, as chapas HO obtiveram um aumento estatisticamente significativo. No sentido perpendicular, o painel HO obteve uma redução estatisticamente significativa para MOE e MOR. Esta constatação também foi encontrada por Suzuki e Takeda (2000), Mendes et al (2003) e Iwakiri (2003). Este fato é explicado pela diferença observada entre os dois tipos de painéis: no sentido perpendicular, no painel HE a camada interna está 50%

orientada paralelamente à direção da flexão, enquanto nos painéis HO as partículas estão orientadas no mesmo sentido, resultando em menores valores médios para MOE. Já no sentido paralelo a situação é inversa, ou seja, nos painéis HO as partículas estão dispostas no sentido paralelo, enquanto nos painéis HE apenas as camadas externas estão dispostas no sentido paralelo, levando a uma diminuição dos valores de MOE.

Os valores para MOR no sentido paralelo e o T2 no sentido perpendicular estão dentro dos propostos pela norma CSA 0437.

TABELA 30 – Influência da composição dos painéis sobre os valores médios de MOE e MOR (paralelo e perpendicular)

Composição dos painéis	MOE (Kgf/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 2 HE	31703 c	5,56	9774 b	26,32
T 6 HO	36354 d	14,02	4171 a	33,41
MOR (Kgf/cm ²)				
T 2 HE	256 g	14,35	122 f	25,08
T 6 HO	255 g	45,71	27 e	29,91

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

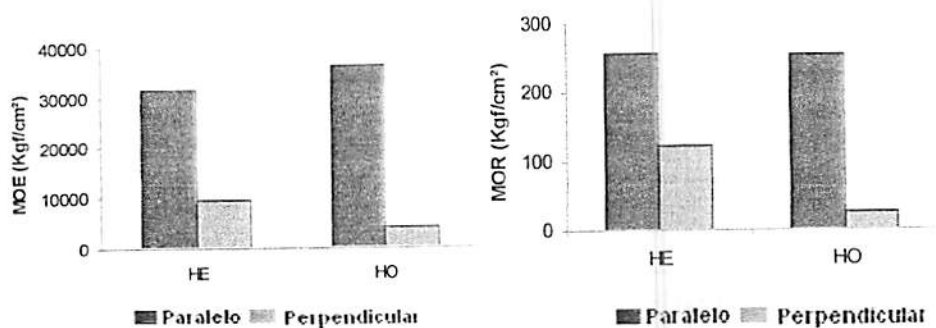


FIGURA 34 – Histograma representativo do MOE e MOR para o efeito da composição dos painéis (HO e HE).

HO: Composição Homogênea orientada no sentido paralelo.

HE: Composição de camadas cruzadas.

4.6.1.2 Ligação interna

Na Tabela 31 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito da composição dos painéis para ligação interna. Os resultados estão representados graficamente na Figura 35.

Os valores das propriedades de ligação interna das chapas com HE foram estatisticamente superiores em relação às chapas HO. Esta tendência está de acordo com Avramidis e Smith (1989) e Mendes et al (2003), entretanto contradiz Murakami et al (199), que concluiu que ligação interna não é afetada pela relação face/miolo. Esta contradição deve ser estudada com mais cuidado, uma vez que a composição dos painéis não deveria influenciar na ligação interna, pois se trata de uma força perpendicular à superfície da ligação das partículas.

Apenas o valor do T2 está de acordo com os propostos pela norma CSA 0437.

TABELA 31 – Influência das camadas cruzadas sobre os valores médios de ligação interna

Composição dos painéis	LIGAÇÃO INTERNA (Kgf/cm ²)	
	Resistência	CV (%)
T 2 HE	4,02 b	33,59
T 6 HO	1,57 a	37,50

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

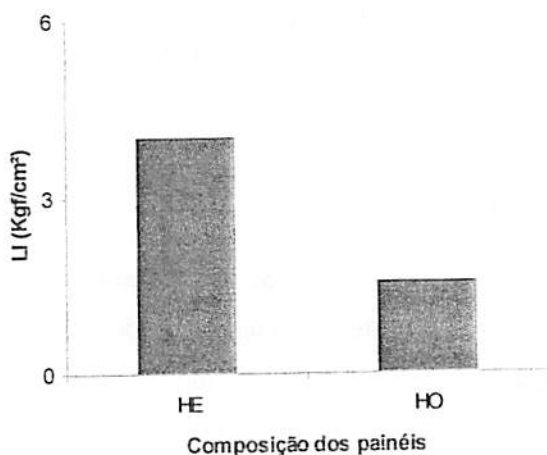


FIGURA 35 – Histograma representativo do MOE e MOR para o efeito da composição dos painéis (HO e HE).

4.6.1.3 Compressão paralela

Na Tabela 32 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito da composição dos painéis para compressão paralela. Os resultados estão representados graficamente na Figura 36.

Pode-se observar que a formação das chapas em camadas cruzadas (HE) proporcionou uma redução significativa nos valores médios de compressão paralela no sentido paralelo da orientação das partículas. Em contrapartida, no sentido perpendicular ocorreu o inverso, proporcionando um aumento significativo em relação às chapas homogêneas (HO). Esta formação em camadas cruzadas proporciona uma maior estabilidade dimensional aos painéis, bem como uma diferença menor na resistência entre os sentidos paralelo e perpendicular.

TABELA 32 – Influência da composição dos painéis sobre os valores médios de compressão (paralelo e perpendicular)

Composição dos painéis	COMPRESSÃO PARALELA (Kgf/cm ²)			
	Paralelo		Perpendicular	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 2 HE	77,67 a	19,79	113,33 b	46,71
T 6 HO	149,0 b	20,43	44,67 a	14,57

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

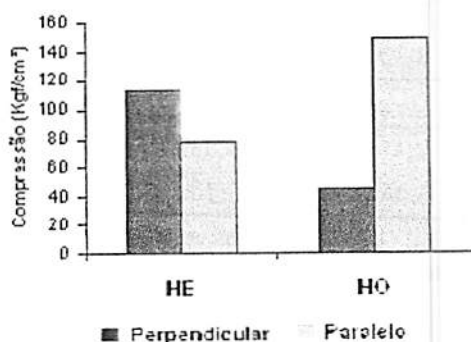


FIGURA 36 – Histograma representativo da compressão paralela para as camadas cruzadas.

4.6.2 Propriedades físicas

4.6.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura

Na Tabela 33 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito da composição dos painéis para absorção de água e inchamento em espessura em 2 horas e 24 horas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 37.

A formação das chapas em camadas cruzadas (HE) proporcionou uma redução significativa nos valores médios de AA 24h, IE 2h e IE 24h. Este resultado também foi observado por Mendes et al (2003). De acordo com Avramidis e Smith (1989), não há uma explicação clara da influência da relação face/miolo sobre esta propriedade.

TABELA 33 – Influência da composição dos painéis sobre os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura 2 e 24 horas após imersão em água.

Composição dos painéis	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
T 2 HE	7,48 a	38,46	25,98 c	44,74
T 6 HO	8,32 a	53,51	49,74 d	15,77
INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)				
T 2 HE	2,41 a	45,83	11,07 c	38,40
T 6 HO	5,46 b	43,15	23,37 d	27,50

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

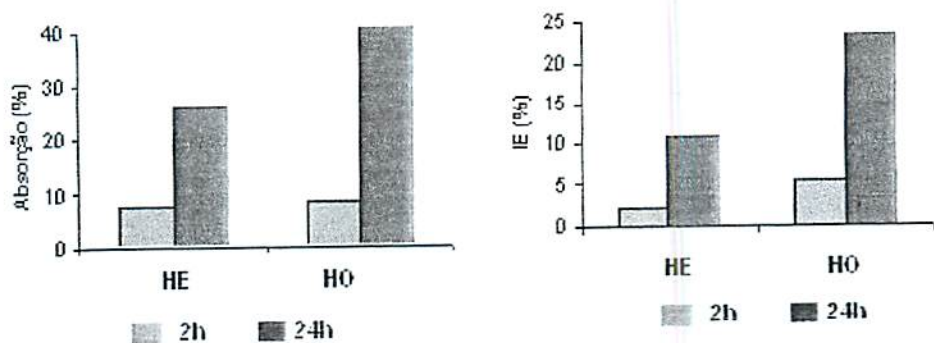


FIGURA 37 – Histograma representativo da absorção de água e inchamento em espessura para as camadas cruzadas.

4.6.2.2 Taxa de não retorno em espessura

Na Tabela 34 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito da composição dos painéis para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 38.

A formação das chapas em camadas cruzadas (HE) proporcionou uma redução significativa nos valores de TNRE.

TABELA 34 – Influência da composição dos painéis sobre os valores médios de taxa de não retorno em espessura.

Composição dos painéis	TNRE (%)	
	MÉDIA	CV (%)
T 2 HE	7,27 a	31,67
T 6 HO	20,66 b	32,40

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

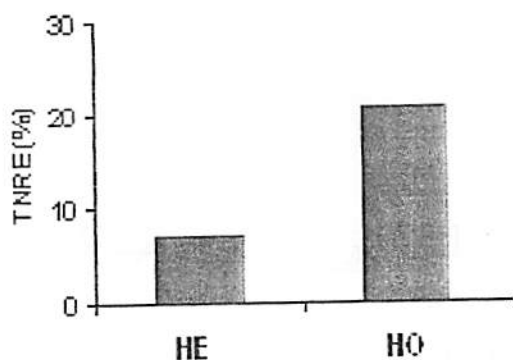


FIGURA 38 – Histograma representativo da taxa de não retorno em espessura para as camadas cruzadas.

4.7 Fase 5 – influência do revestimento superficial das chapas

Na Tabela 35 estão apresentados os valores médios do efeito do revestimento superficial para propriedades de MOE, MOR, AA, IE e TNRE.

Nos valores de MOE e MOR, no sentido paralelo, o revestimento lâmina natural de eucalipto (LNE) indicou um aumento em relação às chapas sem revestimento. Para o MOE, no sentido perpendicular, o revestimento baixa pressão (BP) obteve um aumento nos valores da propriedade. Para o MOR, todos os revestimentos, com exceção do revestimento lâmina natural de pinus (LNP), obtiveram um aumento nos valores em relação chapa sem revestimento. Estas tendências diferem dos dados estatísticos encontrados por Biblis, Grigoriou e Carino (1996), que estudaram revestimento superficial em chapas OSB, revestidas com lâminas de pinus spp.

Para absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura, o revestimento superficial indica uma tendência de redução nos valores de ambas as propriedades, com exceção da chapa com revestimento

lamina natural de pinus (LNP), melhorando, assim, a estabilidade dimensional das chapas.

A redução dos valores de absorção de água e inchamento e espessura das chapas com revestimento superficial é também relatada por Biblis, Grigoriou, Carino (1996), Iwakiri et al (1999) e Saldanha (2004).

TABELA 35 - Valores médios das propriedades físicas e mecânicas sob o efeito do revestimento superficial.

T	MOE		MOR		AA		IE		TNRE
	Paralelo	Perp.	paralelo	Perp	2H	24H	2H	24H	
Sem	33655	13131	313	210	7,47	25,98	2,41	11,07	7,27
LNP	17213	10668	160	164	7,60	52,96	1,83	6,52	13,40
LNE	45103	12787	454	229	4,39	14,00	1,84	8,41	5,46
BP	18397	32591	237	215	8,34	22,08	2,33	6,78	1,92
TGF	32338	12188	417	218	3,56	11,31	1,77	5,27	1,88

Legenda: Sem: Chapa sem revestimento; LNP: Lâmina natural de pinus; LNE: Lâmina natural eucalyptus; BP: Baixa pressão; TGF: Tegofilm

4.8 Fase 6 – influência das variáveis estudadas na propagação de ondas de tensão

Na tabela 36 estão apresentados os valores médios de MOEd e seus respectivos coeficientes de variação em relação aos tratamentos.

Pode-se verificar que, com o aumento da densidade da chapa de 0,70 para 0,90g/cm³, os valores de MOEd foram superiores tanto para o sentido paralelo como para o perpendicular.

Para a variável densidade da madeira não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os valores de MOEd.

Nos valores relacionados à composição dos painéis, o painel HO obteve o valor superior em relação ao painel HE para o sentido paralelo. No sentido perpendicular, a situação foi inversa, o painel HO obteve valor inferior ao painel HE.

Em relação à resina, não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de MOEd para os tipos alternativos de resinas.

TABELA 36 - Valores das propriedades MOEd em relação aos tratamentos.

TRATAMENTOS		MOEd (Kgf/cm ²)			
		PARALELO		PERPENDICULAR	
		MÉDIA	CV %	MÉDIA	CV %
DP*	0,70g/cm ³	14345 b	16,11	18548 c	15,81
	0,90g/cm ³	16577 c	7,02	24177 d	8,24
DM*	0,56g/cm ³	16577 c	7,02	24177 d	8,24
	0,74g/cm ³	18729 c	11,16	21992d	11,49
CP*	HO	21528 d	48,29	4475 a	7,73
	HE	14345 b	16,11	18548 c	15,81
	FF	14345 b	16,11	18548 c	15,81
RESINA	MUF	15611 b	11,01	18810 c	8,05
	PMUF	15928 b	10,68	17820 c	8,42

*DP: densidade do painel; DM: densidade da madeira; CP: Composição do painel.

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Na tabela 37 estão apresentados os valores de MOE e MOEd e suas diferenças. Pode-se observar que no sentido paralelo de orientação das partículas a diferença entre MOEd e MOE é negativa. Já no sentido perpendicular, a diferença é positiva. Este comportamento pode estar associado à composição dos painéis (25/50/25) e também aos baixos índices de correlação apresentados entre

MOEd e MOE, uma vez que as ondas de tensão se propagam tridimensionalmente. Este resultado também foi observado por Mendes et al (2002), os quais ressaltam que este fato talvez seja explicado pela influência da espécie e a inclusão de parafina.

TABELA 37 – Valores médios das propriedades MOEd e MOE.

T	MOEd paralelo	MOE paralelo	Diferença	%	MOEd perp.	MOE perp.	Diferença	%
1	17889,37	25612,79	-7723,42	30,15	20413,30	16930,29	+3483,01	17,06
1	15609,02	29659,52	-14050,50	47,37	16896,83	13639,95	+3256,88	19,28
1	16311,73	29307,57	-12995,84	44,34	20296,32	12222,80	+8073,52	39,78
1	16302,81	27759,65	-11456,84	41,27	18089,31	13551,38	+4537,93	25,09
2	15411,55	30222,79	-14811,24	49,01	22115,18	8006,41	+14108,77	63,80
2	16316,40	32173,17	-15856,77	49,29	20614,52	13328,38	+7286,14	35,34
2	11728,95	30418,94	-18689,99	61,44	18809,12	7762,64	+11046,48	58,73
2	11966,69	33997,81	-22031,12	64,80	15550,07	9999,43	+5550,64	35,70
3	14569,87	35084,41	-20514,54	58,47	19614,09	18987,41	+626,68	3,20
3	14626,06	26777,37	-12151,31	45,38	18962,62	14106,41	+4856,21	25,61
3	14901,29	30426,50	-15525,21	51,03	17443,23	15661,93	+1781,30	10,21
3	17468,36	37907,65	-20439,29	53,92	15805,37	14240,64	+1564,73	9,90
4	17573,54	36746,86	-19173,32	52,18	22212,01	15403,24	+6808,77	30,65
4	17489,28	32924,34	-15435,06	46,88	23132,38	16285,43	+6846,95	29,60
4	17179,98	36619,52	-19439,54	53,09	24393,00	17530,24	+6862,76	28,13
4	15525,67	34375,22	-18849,55	54,83	23708,42	18074,10	+5634,32	23,77
5	17081,53	27767,90	-10686,37	38,48	19729,56	17673,01	+2056,55	10,42
5	20217,04	27717,93	-7500,89	27,06	24486,96	18314,44	+6172,52	25,21
5	16562,07	21855,98	-5293,91	24,22	23963,25	18942,59	+5020,66	20,95
5	18293,17	22799,98	-4506,81	19,77	22878,40	16924,84	+5953,56	26,02
6	1830,18	34744,38	-32914,20	94,73	19893,31	5648,04	+14245,27	71,61
6	6802,72	29924,65	-23121,93	77,27	22051,11	2364,72	+19686,39	89,28
6	5893,17	41280,80	-35387,63	85,72	23751,32	4741,42	+19009,90	80,04
6	5277,39	39469,01	-34191,62	86,63	22108,05	3932,71	+18175,34	82,21

4.9 Fase 7 – umidade de equilíbrio

Na tabela 38 estão apresentados os resultados médios das umidades de equilíbrio na temperatura de 30°C e umidades relativas de 40, 50, 60, 70, 80 e 90% observados na câmara de climatização e os coeficientes de histerese. De acordo com a tabela, não houve diferença significativa das umidades de equilíbrio e histerese entre os tratamentos avaliados nas condições de umidade relativa.

TABELA 38 - Valores médios das Umidades de Equilíbrio para temperatura de 30°C e coeficiente de histerese.

TRAT	UR	UED1	UEA	UED2	H1	H2
1	40	8,67	8,67	9,46	-	-
1	50	9,43	9,07	12,00	1,04	1,00
1	60	11,71	10,06	13,56	1,16	1,20
1	70	13,65	12,05	15,92	1,13	1,10
1	80	15,37	13,96	17,09	1,10	1,10
1	90	17,21	17,09	10,00	-	-
Média *		12,67a	11,82a	13,00a	1,11b	1,10b
2	40	9,72	9,72	9,86	-	-
2	50	10,36	10,07	10,15	1,03	1,00
2	60	12,32	10,75	12,2	1,15	1,10
2	70	14,78	12,42	14,41	1,19	1,20
2	80	16,70	12,67	16,61	1,32	1,30
2	90	20,16	19,00	19,00	-	-
Média *		14,00a	12,5a	13,67a	1,17b	1,15b
3	40	8,35	8,35	9,34	-	-
3	50	9,12	9,09	9,46	1,00	1,00
3	60	11,65	10,18	12,00	1,14	1,20
3	70	12,91	11,42	13,56	1,13	1,20
3	80	15,27	13,79	15,92	1,11	1,20
3	90	17,14	17,07	17,07	-	-
Média *		12,33a	11,50a	12,80	1,09b	1,15b

“...Continua...”

“TABELA 38 - Continuação.”

TRAT	UR	UED1	UEA	UED2	H1	H2
4	40	8,84	8,84	9,23	-	-
4	50	9,26	9,15	9,15	1,01	1,00
4	60	12,24	11,08	12,01	1,10	1,10
4	70	13,91	12,43	14,40	1,12	1,20
4	80	16,61	14,7	16,45	1,13	1,10
4	90	19,25	19,05	19,05	-	-
Média *		13,30a	12,50a	13,17a	1,09b	1,10b
5	40	8,60	8,60	8,79	-	-
5	50	9,88	9,70	11,03	1,02	1,10
5	60	11,83	11,16	12,17	1,06	1,10
5	70	14,08	11,65	13,95	1,21	1,20
5	80	16,33	14,27	16,46	1,14	1,20
5	90	19,12	19,04	19,04	-	-
Média *		13,30a	12,50a	13,50a	1,11b	1,15b
6	40	9,53	9,53	11,11	-	-
6	50	10,95	10,90	11,02	1,00	1,00
6	60	12,37	11,24	12,01	1,10	1,10
6	70	14,69	12,75	12,86	1,15	1,00
6	80	17,48	11,55	17,08	1,51	1,50
6	90	20,56	20,16	20,16	-	-
Média *		14,30a	12,80a	14,00a	1,19b	1,15b

* Médias por coluna seguidas de mesma letra não diferenciam entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A Tabela 39 apresenta os valores médios de umidade de equilíbrio calculados e observados na temperatura de 30°C e umidades relativas de 40, 50, 60, 70, 80 e 90%, em que se pode verificar que a equação de Nelson (1983) subestima os valores de umidade de equilíbrio, com exceção dos tratamentos 1 e 3, nos quais os valores para umidade equilíbrio calculada foram maiores que os

valores para umidade de equilíbrio observada, mas estes valores são bem próximos dos observados na câmara de climatização, mostrando que essa equação é eficiente na estimativa de umidade de equilíbrio.

TABELA 39 – Valores médios das Umidades de Equilíbrio calculados pela Equação de Nelson e observados na Câmara de climatização, na temperatura de 30°C.

T1			
UR	UE Calculada (%)	UE Observada (%)	Diferença
40	6,49	8,89	2,40
50	7,95	9,32	1,37
60	9,55	11,26	1,71
70	11,43	13,09	1,66
80	13,88	15,08	1,20
90	17,80	17,13	0,67
Médias	11,18a	12,46a	1,50b
T2			
40	6,49	9,77	3,28
50	7,95	10,19	2,24
60	9,55	11,76	2,21
70	11,43	13,87	2,44
80	13,88	15,33	1,45
90	17,80	19,39	1,58
Médias	11,18a	13,38a	2,20c
T3			
40	6,49	8,68	2,19
50	7,95	9,22	1,27
60	9,55	11,28	1,73
70	11,43	12,63	1,20
80	13,88	14,99	1,11
90	17,80	17,09	0,71
Médias	11,18a	12,31a	1,37b

“...Continua”...

“TABELA 39 – Continuação”

T4			
UR	UE Calculada (%)	UE Observada (%)	Diferença
40	6,49	8,97	2,48
50	7,95	9,19	1,23
60	9,55	11,78	2,23
70	11,43	13,58	2,15
80	13,88	15,92	2,04
90	17,80	19,12	1,31
Médias	11,18a	13,09a	1,91c
T5			
40	6,49	8,62	2,17
50	7,95	10,20	2,25
60	9,55	11,72	2,17
70	11,43	13,23	1,80
80	13,88	15,69	1,81
90	17,80	19,07	1,26
Médias	11,18a	11,89a	1,91c
T6			
40	6,49	10,06	3,57
50	7,95	10,96	3,00
60	9,55	11,87	2,33
70	11,43	13,43	2,01
80	13,88	15,37	1,49
90	17,80	20,29	2,49
Médias	11,18a	14,44a	2,48c

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A Tabela 40 apresenta os valores médios de umidade de equilíbrio para densidade da chapa (0,7 e 0,9), tipos de resina (FF, MUF e PMUF), densidade da madeira (0,56 e 0,74) e composição dos painéis (HO e HE). Pode-se verificar que os diferentes tratamentos não afetaram a umidade de equilíbrio do painel.

TABELA 40 – Médias da umidade de equilíbrio para densidade do painel, tipo de resina, densidade da madeira e composição do painel.

DP	UE			R	EU		
	A	D1	D2		A	D1	D2
0,7	14,00a	12,5a	13,67a	FF	14,00a	12,5 ^a	13,67a
0,9	13,30a	12,50a	13,17a	MUF	12,67a	11,82 ^a	13,00a
				PMUF	12,33a	11,50 ^a	12,80 a

DM	UE			CP	EU		
	A	D1	D2		A	D1	D2
0,56	13,30a	12,50a	13,17a	HE	14,00a	12,5a	13,67a
0,74	13,30a	12,50a	13,50a	HO	14,30a	12,80a	14,00a

* DP: densidade do painel; DM: densidade da madeira; R: Resinas; CP: Composição do painel; UE: umidade de equilíbrio; A: Adsorção; D: dessorção.

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A Tabela 41 apresenta os valores médios de umidade de equilíbrio entre as umidades relativas. Pode-se verificar que houve diferença entre os tratamentos e entre dessorção, adsorção e dessorção 2, dentro das umidades relativas 60, 70, 80 e 90%.

TABELA 41 – Valores médios das Umidades de Equilíbrio observados na Câmara de climatização, entre as umidades relativas 40, 50, 60, 70, 80 e 90%, na temperatura de 30°C.

		UR								
T	40			50			60			
	A	D1	D2	A	D1	D2	A	D1	D2	
1	8,67a	8,67a	9,34a	10,06a	9,43a	9,46a	10,06a	11,71c	12,00c	
2	9,72a	9,72a	10,00a	10,65a	10,36a	10,05a	10,76b	12,32c	12,20c	
3	8,35a	8,35a	10,00a	9,89a	9,12a	10,10a	10,18a	11,65c	11,75c	
4	8,84a	8,84a	7,23a	10,55a	9,26a	9,15a	11,08b	12,24c	12,00c	
5	8,60a	8,60a	8,19a	9,90a	9,88a	11,03a	11,16b	11,83c	12,17c	
6	9,53a	9,53a	11,11a	10,90a	10,95a	10,29a	11,24b	12,37c	12,01c	

		UR								
T	70			80			90			
	A	D1	D2	A	D1	D2	A	D1	D2	
1	12,04a	13,65b	13,56b	13,96a	15,37b	15,92b	18,08a	17,21a	18,09a	
2	12,42a	14,78b	14,40b	12,67a	16,70b	16,61b	19,00b	20,16b	19,00b	
3	11,42a	12,91a	13,72b	13,79a	15,27b	14,85a	17,70a	17,14a	17,70a	
4	12,43a	13,91b	14,39b	14,70a	16,61b	16,44b	19,58b	19,25b	19,58b	
5	11,65a	14,06b	13,95b	14,27a	16,33b	16,46b	19,44b	19,12b	19,44b	
6	12,75a	14,69b	12,64a	11,55a	17,48b	17,08b	20,16b	20,56b	20,16b	

CV - Coeficiente de variação. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

4.10 Fase 8 – indicação de uso dos painéis OSB feitos com a madeira de clones de *Eucalyptus*

Na tabela 42 estão apresentados os valores das propriedades físicas e mecânicas dos painéis em função dos tratamentos propostos e as normas CSA 0437 e os painéis produzidos comercialmente no Brasil. Pode-se observar que os tratamentos 3, 4 e 5 foram os que mais atenderam aos valores propostos pelas normas, podendo ser utilizados para móveis, embalagens, batentes de portas,

TABELA 42 – Valores de propriedades físicas e mecânicas dos painéis que alcançaram os valores mínimos propostos pelas normas CSA 0437 e as dos painéis produzidos comercialmente no Brasil

T	MOE (kgf/cm ²)		MOR (kgf/cm ²)		Tração (kgf/cm ²)	IE 2 h	IE 24 h
	paralelo	perpend.	paralelo	perpend.			
T1	-	-	315**	264**	3,58	1,95**	9,49*
T2	-	-	256**	122**	4,018	2,41**	11,07*
T3	-	15749	262**	234**	3,92	2,20**	6,75*
T4	-	16823	368**	308**	4,375	0,81**	6,34*
T5	-	17963	273**	217**	3,54	1,47**	7,59*
T6	36354*	-	255**	-	-	5,46**	-

* Valores que estão somente dentro ou acima dos propostos pela norma dos painéis comercializados no Brasil.
 ** Valores que estão somente dentro ou acima dos propostos pela norma CSA 0437

cantiros de obras, construções provisórias, mezaninos, palcos e arquitetura de interiores, pisos, paredes, escadas, entre-pisos, forros e base para telhados. No entanto, observa-se também que o MOE paralelo constitui um fator de limitação de uso se produzido quando as aplicações anteriormente mencionadas exigem valores de acordo com as normas. Neste aspecto, apenas o tratamento 6 se comportou de maneira similar aos painéis produzidos comercialmente no Brasil.

5 CONCLUSÕES

5.1 Fase 1 – influência da densidade nominal da chapa

As chapas com densidades de 0,9 g/cm³ apresentaram valores significativamente superiores para MOE e MOR nos sentidos perpendicular e paralelo e compressão paralela no sentido paralelo, contribuindo para usos especiais que necessitam de valores elevados de resistência. O aumento na densidade da chapa, de 0,7 para 0,9 g/cm³, ocasionou uma redução dos valores de inchamento em espessura 24 horas de imersão em água.

5.2 Fase 2 – influência do tipo de resina

Os tipos de resinas FF e PMUF obtiveram resultados semelhantes, aumentando os valores para MOE e reduzindo os valores para MOR. As resinas FF e MUF apresentaram um aumento nos valores de compressão paralela no sentido perpendicular. Entretanto, houve uma redução para os valores de absorção de água 24 horas para as resinas PMUF e MUF. Já para inchamento em espessura os valores foram similares aos das resinas FF e MUF, com aumento nos valores das propriedades.

5.3 Fase 3 – influência densidade da madeira

A madeira com densidade menor resultou em um aumento nos valores de MOE, MOR e compressão paralela no sentido paralelo.

As chapas com madeira de menor densidade apresentaram uma maior absorção de água para imersão em 24 horas.

5.4 Fase 4 - influência da composição dos painéis

Os MOE, MOR, Compressão paralela na direção perpendicular e LI foram superiores nos painéis HE em relação aos painéis HO, podendo ser explicados pelo fato de a camada interna estar com 50% das partículas orientadas no sentido paralelo à direção de flexão, enquanto, para AA 25 horas, IE 2 e 24 horas de imersão e TNRE, os painéis HE proporcionaram uma redução significativa nos valores médios, não havendo uma explicação clara da influência da composição dos painéis sobre estas propriedades..

5.5 Fase 5 - influência do revestimento superficial

Em relação aos revestimentos, LNP apresentou um aumento para os valores MOE e MOR no sentido paralelo, BP apresentaram um aumento para os valores de MOE no sentido perpendicular, TGF apresentou um aumento para os valores de MOR no sentido paralelo. Já LNE, BP e TGF apresentaram um aumento para os valores de MOR no sentido perpendicular.

O que pode explicar esse comportamento é o plano contínuo de linha de cola formado entre a lâmina e o miolo particulado, aumentando a resistência.

Para as propriedades físicas, as chapas com revestimento apresentaram uma redução nos valores de absorção de água e inchamento espessura, melhorando assim a estabilidade dimensional das chapas, com exceção da chapa com revestimento LNP, que apresentou um valor superior.

5.6 Fase 6 – SWT – teste de emissão de ondas

Ocorreram baixos índices de correlação entre o MOE obtido na técnica convencional destrutiva e o MOEd obtido pela técnica não destrutiva. Este fato talvez seja explicado pela influência da composição dos painéis. A diferença

entre MOEd e MOE no sentido paralelo foi negativa e a do sentido perpendicular foi positiva.

Os valores médios obtidos entre os tratamentos em relação à variável densidade do painel $0,9\text{g/cm}^3$ foram superiores tanto para o sentido paralelo quanto para o perpendicular.

Nos valores relacionados à composição dos painéis, o painel HO obteve o valor superior em relação ao painel HE para o sentido paralelo. No sentido perpendicular, a situação foi inversa, pois o painel HE obteve valores superiores ao painel HO.

Em relação à resina, não houve diferença estatística entre os valores de MOEd para os tipos alternativos de resinas.

5.7 Fase 7 – umidade de equilíbrio

A equação de Nelson (1983) se mostrou eficiente na estimativa da umidade de equilíbrio, pois não existe, em média, diferença de umidade de equilíbrio e histerese entre os tratamentos estudados, mostrando que todos apresentam a mesma estabilidade dimensional. Entretanto, houve diferença entre dessorção, adsorção e dessorção quando estudado o efeito dos tratamentos entre as umidades relativas.

5.8 Fase 8 – indicação de uso dos painéis OSB feitos com a madeira de clones de *Eucalyptus*

Os painéis produzidos de acordo com os tratamentos 3, 4 e 5 podem ser utilizados para uma gama de aplicações, desde que o fator limitante de aplicações não siga o módulo de elasticidade paralelo e possa ser utilizados com os MOE paralelos obtidos nos tratamentos propostos neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AU, K. C.; GERTEJANSEN, R. O.; LARNTZ, K. Use of response surface methodology to maximize paper birch utilization in a three-layer, two species oriented strand board. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 24, n. 4, p. 432-441, Oct. 1992.
- AVRAMIDISM, S.; SMITH, L. A. The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of oriented strand board. **Holzforschung**, Berlin, v. 43, n. 2, p. 131-133, Apr. 1989.
- BAUER, F. A. F. **Materiais de construção: a madeira como material de construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1985. Cap. 14, p. 36-48.
- BIBLIS, E. J.; GRIGORIOU, A.; CARINO, H. Flexural Properties of Veneer-overlaid OSB Composite Panels from Southern Yellow Pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 4, p. 59-62, Apr. 1996.
- BIBLIS, E. J.; MANGALOUSIS, F. Properties of 1/2-inch Composite Plywood With Southern Yellow Pine Veneer Faces and Unidirectionally Oriented Southern Oaks Strands Core. **Forest Products Journal**, Madison, v. 33, n. 2, p. 43-49, Feb. 1983.
- BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais waferboards**. 1984. 104 p (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. 1995. 123 p (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BURCH, D. M.; THOMAS, W. C.; FANNEY, A. H. Water vapor permeability measurements of common building materials. **ASHRAE Transactions**, New York, v. 98, p. 486-494, 1992.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and Waferboard**. CSA 0437. 0 - 93. Ontario, 1993. 18 p.

CANADIDO, L. S.; SAITO, F.; SUZUKI S. Influence os strand thickness and board density on the orthotropic propriets of oriented strandboard. **Journal on the Japan Wood**, Tokyo, v. 36, n. 8, p. 632-632, Aug. 1990.

CHILD, M. R. **The effect of density, resin content and chip width on springback and certain other properties of dry formed flat pressed particleboard.** 1956. MS. Thesis (MS) - Nort Carolina State University Raleigh.

CLOUTIER, A. Oriented stranboard (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.

DYNEA BRASIL. **Dynomel HMP 296 2003.** (Boletim técnico).

FORD-ROBERTSON, F. C. **Terminology of forest science, technology practice and products.** Washington D. C.: Society of American Foresters, 1971. 349 p.

FRANZOI, L. C. N. **Secagem da madeira.** Bento Gonçalves – RS: CETEMO, 1992. 38 p.

FREISCHMIDT, G.; WARDEN, P. Board production from short-rotation eucalyptus. **ONWOOD – research updates from CSIRO forestry and forestry products**, Spring, n. 34, p. 3, 2001.

GARCIA, P.; AVRAMIDIS, S.; LAM, F. **Oriented Strand Board hot-pressing and flake orientation.** In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE DEVELOPMENT OF WOOD SCIENCE**, 4., 1999, Missenden Abbey. **Proceedings...** Missenden Abbey, UK: Wood Techonoly abd Forestry, 1999. p. 365-374.

GEIMER, R. L. Dimension stability of flakeboards as affected by board specific gravity and flake alignment. **Forest Products Journal**, Madison, v. 32, n. 8, p 44-52, Aug. 1982.

GOUVEIA, F. N.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não orientadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 7-12, jul./set. 2000.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 1-9, jul./set. 2003.

HELLMEISTER, J. C. Madeira e suas características. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1083, São Carlos. *Anais...* São Carlos : USP, EESC, SET, LaMEM, 1083. v. 1. p. 37-42.

IWAKIRI, S. Painéis de partículas orientadas “OSB”. *Revista da Madeira*, Curitiba, v. 7, n. 41, p. 52-53, ago./set. 1999.

IWAKIRI, S.; COSTA, A. F.; KLITZKE, R. J.; NIELSEN, I. R.; ALBERT, R. A. R.; NIEFE, I. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm com inclusão laminar. *Cerne*, Lavras, v. 5, n. 2, p. 86-94, 1999.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *eucalyptus grandis grandis* com diferentes teores de resinas, parafina e composição de camadas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, RS, v. 12, n. 2, p. 135-145, dez. 2003.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. dos. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 1, 2004.

IWAKIRI, S.; SALDANHA, L. K. O *pinus* na indústria de painéis do Brasil. *Revista da Madeira*, Curitiba, p. 136-141, dez. 2002. Especial.

JANSSENS, D. P. The increasing recognition of oriented strandboard (OSB) as preferred structural panel. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 169-172.

KEINERT JR., S. Chapas de composição estruturais com reforço laminar. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 87-95, 1990.

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

LELLES, J. G. de; SILVA, J. de C. Novos usos para a madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 6, n. 36, p. 42-45, set./out. 1998.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; CALEGÁRIO, N. Estimativas de umidade de equilíbrio (Uep) para madeira no Brasil. **Revista da madeira**, Caxias do Sul, RS, v. 4, n. 23, p. 39-41, jul./ago. 1995.

MACNATT, J. D.; BACH, L.; WELLWOOD, R. W. Contribution of flake alignment to performance of strandboard. **Forest products Journal**, Madison, v. 42, n. 3, p. 45-50, Mar. 1992.

MALONEY, T. M. The development in the United States and Canada of Waferboard, oriented strand board, and medium density fibreboard. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 42, n. 10, p. 361-365, 1984.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, Feb. 1996.

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. 453 p.

MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. S.; SILVA, J. F. da; REBELLO, E. R. G.; PINHO, G. S. C. de Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 76, p. 29-34, abr. 2003.

MASISA DO BRASIL. **Manual OSP e característica físico-mecânica**. Disponível em: <<http://www.masisa.com.br>>. Acesso em: dez. 2003.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MATOS, J. L. M. Métodos não destrutivos para a avaliação da qualidade da madeira. In: **SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos**, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. v. 1, p. 76-84.

MATOS, J. L. M.; KEINERT JR., S. Usos de emissão de ondas acústicas para classificação de lâminas e produção de painéis estruturais de lâminas paralelas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998. Anais... 1998. p. 331-341.

MENDES, L. M. Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas. 2001. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A indústria brasileira de painéis de madeira. Revista da Madeira, Curitiba, n. 5, 2001. p.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S. Perspectivas para o uso da madeira de eucalipto para produção de OSB (Oriented Strand Board). Cerne, Lavras, v. 1, n. 1, p. 156-165, 2002. SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. Anais... Lavras, 2002.

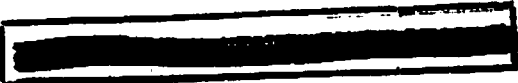
MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; KEINERT JUNIOR, S.; SALDANHA, L. K. Avaliação do sistema de orientação de partículas na produção de painéis OSB (Orientend strand board). Cerne, Lavras, v. 6, n. 1. p. 7-12, 2000a.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JUNIOR, S.; SALDANHA, L. K. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. Floresta e Ambiente, v. 10, n. 1, p. 1-17, jan./jul. 2003.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT, J.R. S.; SALDANHA, L. K. Influência das variáveis de processamento na produção de painéis OSB. In: PESQUISA FLORESTAL ONLINE, 1., 2000, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2000b. p. 151.

MENDES, L. M.; LIMA, J. T.; CALEGÁRIO, N. Umidade de equilíbrio médias de madeira para 206 cidades Brasileiras calculadas pela fórmula de Simpson. Revista da Madeira, Caxias do Sul, v. 4, n. 26, p. 18, 1996.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. F.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, E. C. Secagem da madeira ao ar livre e alguns pontos básicos para compra de madeira serrada. Lavras: UFLA, 1999. p. 26-49. (Boletim Técnico, n. 28).



MENDES, L. M. et al. Influencia de las variables de procesamiento en la producción de tableros. In: REUNIÓN, 9.; CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS FORESTALES, 1., 2000, Bío-Bío. *Anais... Bío-Bío*: Laura Reyes Nunes, 2000c. p. 83-84.

MENDES, L. M. et al. Qualidade da madeira para produção de painéis OSB. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 8., 2000, Nova Prata. *Anais... Nova Prata*, 2000d.

MOSLEMI, A. A. *Particleboard vol. I – Materials*. London: Southern Illinois Univerity Press, 1974a. 244 p.

MOSLEMI, A. A. *Particleboard vol. II – Technology*. London: Southern Illinois Univerity Press, 1974b. 245 p.

MURAKAMI, K.; VEDA, M.; MATSUDA, M.; ZHAUG, M.; KAWASAKI, T.; KAWAI, S. Manufacture and properties of tree-layered particleboards with oriented face strands os veneers I. *Mukuzai Gakkaishi*, Tokyo, v. 45, n. 5, p. 395-402, 1999.

NELSON, R. A.; KELLY, M. A. Is there potencial to produce OSB in the NSW Hunter Valley? *Australian Forestry*. Melbourne, v. 61, n. 2, p. 163-171, 1998.

NELSON, R. M. A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. *Wood Fiber Science*, Madison, v. 15, n. 1, p. 8-22, 1983.

NIEDERHEITMANN, H.; MATOS, J. L. M. Uso de métodos não destrutivos para a Classificação de Madeiras de 5 espécies de Pinus Tropicais: (p. caribaea var. hodurensis, P. chiapensis, P. oocarpa, P. maximinoi, P. tecunumanii). In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. *Relatório de Iniciação Científica da UFPR 2000*. Curitiba, 2001. 11 p.

ORIENTED strand board in wood frame construction. Ontario: Structural Board Association, 1998. 28 p.

PEREIRA, K. R. M. *Chapas de partículas OSB fabricadas com madeira de Eucalyptus urophylla S. T. Blake sob diferentes variáveis de processo*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PIO, N. S. Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. 2001. 167 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. Manual de secagem da madeira. Brasília: Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial, 1985. 70 p.

PUEHRINGER, C. A.; MATOS, J. L. M. Caracterização de propriedades de madeiras de eucalyptus pelo uso de emissão de ondas acústicas. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPR, 7., 1999, Curitiba. Anais... Curitiba, 1999. p. 332.

RODRIGUES, J. Uso errado do material dá prejuízo de 20%. Folha de São Paulo, São Paulo, 10 maio 2002.

SALDANHA, L. K Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas "OSB". 2004. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, G. A Estudo da umidade de equilíbrio dos painéis de madeira no Brasil. 2004. 140 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SKAAR, C. Water in wood. New York: Syracuse University Press, 1988. 263 p.

SOBRAL FILHO, M. Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. *Forest Products Journal*, Madison, v. 31, n. 9. P. 43-52, 1981.

SUZUKI, S.; TAKEDA, K. Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugii oriented strand board. *Journal of Wood Science*, Tokyo, v. 46, n. 4, p. 289-295, 2000.

VITAL, B. R.; LEHMANN; 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, Dec. 1974.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M. The effect of species and species distribution on the layer characteristics of OSB. *Forest Products Journal*, Madison, v. 50, n. 4, p. 37-44, Apr. 2000.

WOLCOTT, M. P.; TICHY, R. J.; YUKUN, H; GUO, Z. D. The development of OSB i the People's Republic of China. **Forest Products Journal**, Madison, v. 47, n. 1, p. 19-25, Jan. 1997.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood fiber Science**, Madison, v. 3, n. 2, 187-191, 1999a.

WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 28-40, 1999b.

WU, Q.; SUCHSLAND, O. Prediction of moisture content and moisture content gradient of an particleboard. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 28, n. 2, p. 227-239, 1996.

ZHANG, M.; WONG, E. D.; KAWAI, S.; KNON, J. H. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 44, n. 3, p. 191-197, 1998.

ZHOW, D. A estudy of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7-8, p. 293-296, 1990.

ZOBEL, B. J.; SPRAGUE, J. R. **Juvenile wood in forest trees**, Berlin: Springer, 1998. 300 p.

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

ANEXOS

ANEXO A	Pag.
Cálculo de produção dos painéis OSB.	103
Cálculo quantidade de partículas úmidas.	104
Cálculo da quantidade de resina líquida.	104
Batelada UF para revestimento de lâmina natural.	105
Cálculo da quantidade de parafina líquida.	105
Cálculo da quantidade de catalisador (MUF).	105

- **Cálculo de produção dos painéis OSB:**

Densidade da chapa (12% umidade – 20 °C – 65%) = 0,7 – 0,9 g/cm³

Dimensões da chapa: Comprimento – 48 cm

Largura – 48 cm

Espessura – 1,5cm

Volume – 3456 cm

Peso da chapa 12% de umidade (Densidade 0,7)

$$D = \frac{P}{V}$$

$$P = D \times V$$

$$P = 0,7 \times 3456 = 2419,2g$$

$$D = \frac{P}{V}$$

$$P = D \times V$$

$$P = 0,9 \times 3456 = 3110,4g$$

X 100%.....Partícula seca

Y 6%.....Resina

Z 1%.....Parafina

W 12%.....Água

Chapas de densidade 0,7g/cm³	Chapas de densidade 0,9g/cm³
119% = 2419,2g	119% = 3110,4g
100% = 2032,94g	100% = 2613,78g
6% = 121,98g	6% = 156,83g
1% = 20,33g	1% = 26,14g
12% = 244g	12% = 313,65g

- **Cálculo quantidade de partículas úmidas:**

$$\text{Para densidade } 0,7(\text{g/cm}^3) = 2032,64 \times (1 + 4/100) = 2114,2\text{g}$$

$$\text{Para densidade } 0,9(\text{g/cm}^3) = 2613,78 \times (1 + 4/100) = 2718,33\text{g}$$

- **Cálculo da quantidade de resina líquida:**

FF (0,7 g/cm³)

$$100\text{g} \times 121\text{g} \div 49\text{g} = 248,94\text{g}$$

FF (0,9 g/cm³)

$$100\text{g} \times 156\text{g} \div 49\text{g} = 320,06\text{g}$$

MUF*

$$100\text{g} \times 121\text{g} \div 62,6\text{g} = 194,86\text{g}$$

* a resina MUF tem que adicionar catalizador

PMUF

$$100\text{g} \times 121\text{g} \div 64,1\text{g} = 121,98\text{g}$$

- **Batelada UF para revestimento de lâmina natural**

300g - 197g - UF

49g - trigo

39g - água

14g - catalisador

Gramatura - $160 \times 0,324 (12 \times 27)^* \div 1 = 51,84g$

$160 \times 0,60 (20 \times 30)^* \div 1 = 96g$

* dimensões do corpo de prova que será revestido

- **Cálculo da quantidade de parafina líquida:**

$100g \times 20,32g \div 58g = 35,04g$

- **Cálculo da quantidade de catalisador (MUF):**

$C = 0,02 \times 194,86g = 3,89g$

$100g \times 3,89g \div 25g = 15,56$

ANEXO B**Pag.**

TABELA 1B. Análise de variância para densidade da madeira.	108
TABELA 2B. Análise de variância para densidade da chapa.	108
TABELA 3B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de módulo de elasticidade.	109
TABELA 4B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de módulo de ruptura.	109
TABELA 5B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de ligação interna.	110
TABELA 6B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de compressão paralela.	110
TABELA 7B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de absorção de água.	111
TABELA 8B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de inchamento em espessura.	111
TABELA 9B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de taxa de não retorno em espessura.	112
TABELA 10B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de ondas de tensão.	112
TABELA 11B. Análise de regressão para MOEd e MOE.	113
TABELA 12B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 90.	113

TABELA 13B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 80.	114
TABELA 14B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 70.	114
TABELA 15B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 60.	115
TABELA 16B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 50.	115
TABELA 17B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 40.	116
TABELA 18B. Análise de variância para efeito de umidade de equilíbrio observada e calculada.	116
TABELA 19B. Análise de variância diferença.	117
TABELA 20B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio dessorção 1 / adsorção / dessorção 2.	117

TABELA 1B. Análise de variância para densidade da madeira.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	10	0,196263	0,0192626	9,221	0,0000
Erro	22	0,046825	0,002128		
Total	32	0,243088			

CV (%) = 7,77

Média geral = 0,5934846

Número de observações: 33

TABELA 2B. Análise de variância para densidade da chapa.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	5	0,103411	0,020682	11,492	0,0000
Erro	42	0,075586	0,001800		
Total	47	0,178997			

CV (%) = 5,82

Média geral = 0,7291250

Número de observações = 48

TABELA 3B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de módulo de elasticidade

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	11	4.96879	451708677	60.178	0,0000
Erro	36	270223630	7506211		
Total	47	5.23902			

CV (%) = 12.29
Média geral = 22288
Número de observações = 48

TABELA 4B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de módulo de ruptura.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	11	357481	32498	12.701	0,0000
Erro	36	92114	2558		
Total	47	449595			

CV (%) = 21.18
Média geral = 238.85
Número de observações = 48

TABELA 5B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de ligação interna.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	5	64,157860	12,831512	14,017	0,0000
Erro	72	65,909877	0,915415		
Total	77	130,067437			

CV (%) = 27,32
Média geral = 3,5024
Número de observações = 78

TABELA 6B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de compressão paralela.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	11	38546,3055	3504,209596	3,553	0,0045
Erro	24	23668,6667	986,194444		
Total	35	62214,9722			

CV (%) = 33,78
Média geral = 92,97222
Número de observações = 36

TABELA 7B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de absorção de água.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	11	12472,100738	1133,827340	26,488	0,0000
Erro	60	2568,349850	42,805831		
Total	71	15040,450588	42,805831		

CV (%) = 44,64
Média geral = 14,6579
Número de observações = 72

TABELA 8B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de inchamento em espessura.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	11	2581,90614	234,718740	31,725	0,0000
Erro	60	443,774833	7,396247		
Total	71	3025,680978			

CV (%) = 41,37
Média geral = 6,5744444
Número de observações = 72

TABELA 9B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de taxa de não retorno em espessura.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	5	1219,571647	243,914329	21,443	0,0000
Erro	30	341,255383	11,3751791		
Total	35	1560,827031			

CV (%) = 42,40
Média geral = 7,9536111
Número de observações = 6

TABELA 10B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de ondas de tensão.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	11	1.35865	123513684	30,966	0,0000
Erro	48	191454708	3988639		
Total	59	1.55010			

CV (%) = 11.49
Média geral = 17378
Número de observações = 60

TABELA 11B. Análise de regressão para MOEd e MOE

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Regressão	1	5,12E+08	5,12E+08	35,67132	3,18E-07
Resíduo	46	6,6E+08	14341129		
Total	47	1,17E+09			

CV (%) = 11.49
Média geral = 17378
Número de observações = 60

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,660883
R-Quadrado	0,436767
R-quadrado	0,424523
Erro padrão	3786,968
Observação	48

TABELA 12B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 90.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	17	57,89	3,405	4,637	0,0001
Erro	36	26,44	0,734		
Total	53	4,33			

CV (%) = 4.52
Média geral = 18.966
Número de observações = 54

TABELA 13B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 80.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	17	132,422	7,789	2,373	0,0144
Erro	36	118,165	3,282		
Total	53	250,587			

CV (%) = 11.81
Média geral = 15.34
Número de observações = 54

TABELA 14B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 70.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	17	55,63	3,2722	2,989	0,0028
Erro	36	39,41	1,0948		
Total	53	95,04			

CV (%) = 7.87
Média geral = 13.299
Número de observações = 54

TABELA 15B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 60.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	17	25,423	1,495	4,629	0,0001
Erro	36	11,629	0,323		
Total	53	37,052			

CV (%) = 4.90
Média geral = 11.59
Número de observações = 54

TABELA 16B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 50.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	17	19,077	1,122	0,253	0,9981
Erro	36	159,442	4,428		
Total	53	178,519			

CV (%) = 20.92
Média geral = 10.0574
Número de observações = 54

TABELA 17B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio 40.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	17	39,911	2,34	0,288	0,9959
Erro	36	293,195	8,14		
Total	53	333,107			

CV (%) = 31.46
Média geral = 9.07
Número de observações = 54

TABELA 18B. Análise de variância para efeito de umidade de equilíbrio observada e calculada

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	11	85,5406	7,776	0,522	0,8811
Erro	60	894,3729	14,906		
Total	71	979,9136			

CV (%) = 31,93
Média geral = 12.092
Número de observações = 72

TABELA 19B. Análise de variância diferença

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	5	5,217	1,043	3,164	0,207
Erro	30	9,893	0,329		
Total	35	15,111			

CV (%) = 30.31
Média geral = 1.894
Número de observações = 36

TABELA 20B. Análise de variância para variável tratamento do efeito de umidade de equilíbrio dessorção 1 / adsorção / dessorção 2.

Fonte de variação	G.L	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Probabilidade
Tratamento	17	58,395	3,435	0,256	0,9987
Erro	90	1209,523	13,439		
Total	107	1267,919			

CV (%) = 28.23
Média geral = 12.98
Número de observações = 108