

LARISSA PASA MARTARELLO

POTENCIAL TECNOLÓGICO DO *Eucalyptus benthamii* PARA A
PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS
(OSB)

Dissertação apresentada ao Curso
de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, Área de Concentração em
Tecnologia da Madeira,
Universidade do Estado de Santa
Catarina, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro B.
da Cunha

Coorientadora: Prof^a. Dra. Martha
Andreia Brandt

Coorientadora: Prof^a. Dra. Polliana
D. Rios

LAGES, SC
2014

FICHA

FOLHA APROVAÇÃO

Aos meus pais.
Que sempre ofereceram o melhor que puderam me dar.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, disposição e saúde para realizar meus sonhos.

À UDESC-CAV e ao estado de Santa Catarina pela oportunidade na realização do curso de mestrado.

Ao Alexsandro, meu professor orientador e amigo, pela paciência, atenção e dedicação, que durante este período não mediu esforços para que este trabalho fosse realizado, sempre acreditando e incentivando para que todos os nossos objetivos fossem alcançados. Pelo conhecimento repassado, sem o qual não seria possível realizar o presente estudo.

Às professoras Martha e Polliana pela coorientação, assim como os demais professores do programa, pelo convívio e pelo os ensinamentos repassados durante as aulas.

Aos meus pais, Jaqueline e Hélio, e à minha avó Lorena, representando todos os meus familiares, por me apoiarem e incentivarem, acreditando em mim e na minha capacidade para concluir esta etapa.

A todos os colegas de mestrado, principalmente à Luciane, pelo companheirismo, amizade, e principalmente pelo bom humor necessário para que juntas conseguíssemos realizar todas as nossas atividades. À Daniela, Caio e Morgana, que além da ajuda oferecida, se tornaram grandes amigos. Aos alunos de graduação, Vinícius e Luís Henrique que auxiliaram em algumas etapas. Desejos de muito sucesso pelos quais são merecedores.

À empresa Madesonda, representada pelos tios e padrinhos Gean e Luciane, por permitir e compreender a minha ausência durante esses anos, sem esta parceria não seria possível a realização deste trabalho. À empresa Klabin pelo fornecimento da madeira de *Eucalyptus* e à empresa MADEPAR pelo desdobro do material. E também, às empresas SI Group Crios Resinas e Sudati pela doação da resina e da parafina, respectivamente.

Aos funcionários da Mecânica Geral do CAV, sempre dispostos a colaborar. Ao trabalho prestado pelo Sr. Darci do SENAI de Lages.

A todos os meus amigos, que mesmo não tendo conhecimento a respeito do meu trabalho, sempre estenderam a mão, se preocupando e entendendo os meus momentos de dificuldades.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram e, de alguma forma, se sintam parte deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

“Se eu pudesse deixar algum presente a você, deixaria aceso o sentimento de amar a vida dos seres humanos. A consciência de aprender tudo o que foi ensinado pelo tempo a fora. Lembraria os erros que foram cometidos para que não mais se repetissem. A capacidade de escolher novos rumos. Deixaria para você, se pudesse, o respeito aquilo que é indispensável. Além do pão, o trabalho. Além do trabalho, a ação. E, quando tudo mais faltasse, um segredo: o de buscar no interior de si mesmo a resposta e a força para encontrar a saída.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

MARTARELLO, L. P. **Painéis tecnológico do *Eucalyptus benthamii* para produção de painéis de partículas orientadas (OSB)** 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal - Área: Tecnologia da Madeira) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

O presente estudo teve por objetivo avaliar tecnicamente a viabilidade da produção de painéis OSB a partir de toras de *Eucalyptus benthamii* com 13 anos de idade por meio de diferentes teores de resina e composições de partículas entre as camadas do colchão. Para tanto, foi realizada a caracterização da massa específica e da estabilidade dimensional da madeira sólida por meio da NBR 7190(1997). O delineamento experimental para o estudo relativo aos painéis OSB foi composto por 8 tratamentos, com 4 diferentes composições entre as camadas (30:40:30, 20:60:20, 25:50:20 e 100%) e duas porcentagens de resina (4 e 6%). Foram produzidos 3 painéis por tratamento com dimensões de 49 X 42 X 1,5 cm, os quais foram submetidos a um ciclo de prensagem à quente de 180°C de temperatura, 40 kgf/cm² de pressão por um tempo de 8 minutos. Os ensaios tecnológicos dos painéis foram feitos de acordo com os procedimentos da ASTM D1037 (1996) e da DIN 52362 (1982). A análise estatística adotada foi a Análise Fatorial e Teste de Tukey a 95% de probabilidade, bem como a comparação com os valores mínimos especificados na norma CSA 0437 (1993). Como resultado para as propriedades físicas da madeira sólida, tem-se a massa específica aparente básica com 0,53 g/cm³ de valor médio e a constatação da alta instabilidade dimensional das peças analisadas. Quanto às propriedades físicas dos painéis, constatou-se que a massa específica média foi de 0,63 g/cm³ e os inchamentos para 2 horas e 24 horas foram de 12,35% e 34,43%, respectivamente, o que supera o parâmetro máximo de 10% para 24 horas de imersão pela norma CSA 0437 (1993). Para os ensaios

mecânicos de flexão estática, observou-se uma homogeneidade dos valores de módulo de ruptura e de módulo de elasticidade no sentido paralelo, no entanto, no sentido perpendicular, houve um aumento nos valores de resistência e rigidez à medida que se aumentava a quantidade de partículas na camada interna do colchão. Para ligação interna, verificou-se uma forte influência do aumento da porcentagem de resina nos resultados apresentados, com valor médio de 0,36 MPa, assim, somente os tratamentos com 6% de resina atingiram os valores mínimos estabelecidos pela norma referenciada. Os resultados deste estudo indicam que a madeira de *Eucalyptus benthamii* pode ser uma alternativa para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB), mediante ajustes a serem realizados no processo produtivo.

Palavras-chave: OSB (*Oriented Strand Board*); Espécie florestal alternativa; composição das camadas no colchão; resina fenol formaldeído; caracterização tecnológica.

ABSTRACT

MARTARELLO, L. P. **Tecnology potencial of *Eucalyptus benthamii* wood for orientes strand boards painels (OSB)** 2014. 135 f. Dissertation (Master of Forestry Engineering - Area: Wood Tecnology) – Santa Catarina State University. Post Graduate Program in Forestry Engineering, Lages, 2014.

The present study aimed to evaluate technically the feasibility of production of oriented strand board (OSB) of *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage 13 years of age through different levels of resin and compositions of particles between the layers of the mattress. Therefore, the characterization of density and dimensional stability of solid wood by NBR 7190 (1997) was performed. The experimental design for the study on the OSB consisted of 8 treatments with four different compositions between the layers (30:40:30 , 20:60:20 , 25:50:20 and 100%) and two percentages resin (4 and 6%). Three panels were produced by treatment with dimensions of 49 x 42 x 1.5 cm, which were subjected to a cycle of hot pressing temperature 180 °C, pressure of 40 kgf/cm² for a time of 8 minutes. The technological tests on panels were made according to the procedures of ASTM D1037 (1996) and DIN 52362 (1982). The statistical analysis used was a Factorial Analysis and Tukey Test at 95% probability, as well as the comparison with the minimum values specified in the standard CSA 0437 (1993). The results for the physical properties of solid wood, it has been density of 0.53 g/cm³ with mean value and the realization of high dimensional stability of the parts analyzed. Regarding physical properties of the panels, it was found that the average density was 0.63 g/cm³ and swells for 2 hours and 24 hours were 12,35 % and 34,43 %, respectively , which overcomes the maximum setting of 10 % to 24 hours of immersion in the standard CSA 0437 (1993). For mechanical testing bending strength uniformity were observed values of rupture and elastic modulus in the direction parallel module, however, in perpendicular direction, an increase of the values of strength and stiffness as it increased the amount of

particles in the inner layer of the mattress. For internal bond, there was a strong influence of the increase in the percentage of resin, with an average value of 0.36 MPa, thus, only treatments with 6% resin reached the minimum values established by the referenced standard. The results of this study indicate that *Eucalyptus benthamii* can be an alternative for the production of oriented strand board (OSB), through adjustments to be made in the production process.

Keywords: OSB (*Oriented Strand Board*); Alternative forest species; composition of layers in the mattress; phenol formaldehyde; technological characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Evolução da área plantada com <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i> no Brasil.....	29
Figura 2 -	Evolução da área plantada em Santa Catarina com <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>	30
Figura 3 -	Localização dos plantios florestais em Santa Catarina.....	31
Figura 4 -	Produtos compostos de madeira.....	32
Figura 5 -	Unidades industriais de painéis reconstituídos no Brasil.....	36
Figura 6 -	Produção e consumo aparente de painéis reconstituídos no Brasil.....	37
Figura 7 -	Disposição das camadas dos painéis OSB e <i>Waferboard</i>	39
Figura 8 -	Aplicação doméstica do OSB.....	41
Figura 9 -	Uso dos painéis OSB.....	42
Figura 10 -	Processo produtivo de OSB.....	43
Figura 11 -	Localização da cidade de Palmeira no mapa de Santa Catarina.....	62
Figura 12 -	Esquema para obtenção dos corpos de prova...	63
Figura 13 -	Procedimentos utilizados para as propriedades físicas da madeira.....	64
Figura 14 -	Sistema de desdobro aplicado às toras.....	67
Figura 15 -	Processo de obtenção das partículas.....	68
Figura 16 -	Processo de preparo e geração das partículas..	69
Figura 17 -	Partículas <i>strand</i> de <i>E. benthamii</i>	70
Figura 18 -	Secagem das partículas.....	71
Figura 19 -	Aplicação do adesivo.....	72
Figura 20 -	Orientação das partículas.....	73
Figura 21 -	Processo de prensagem dos painéis.....	74
Figura 22 -	<i>Layout</i> de retirada dos corpos de prova do painel.....	75
Figura 23 -	Corpos de prova armazenados na sala de climatização.....	76
Figura 24 -	Ensaio físicos nos painéis.....	77
Figura 25 -	Ensaio mecânicos	78
Figura 26 -	Média da densidade e razão de compactação e	

	intervalo de confiança.....	88
Figura 27 -	Média teor de umidade e intervalo de confiança	93
Figura 28 -	Média da AA, IE, TNRE e intervalo de confiança	98
Figura 29 -	Média do módulo de ruptura e intervalo de confiança.....	104
Figura 30 -	Média do módulo de elasticidade e intervalo de confiança.....	109
Figura 31 -	Média da ligação interna e intervalo de confiança.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Delineamento experimental.....	65
Tabela 2 -	Valores médios de massa específica do <i>E. benthamii</i>	80
Tabela 3 -	Valores médios de contrações lineares e volumétrica para a madeira de <i>E. benthamii</i>	83
Tabela 4 -	Valores médios de coeficiente de retratibilidade e anisotropia de contração para o <i>E. benthamii</i>	85
Tabela 5 -	Valores médios de massa específica e razão de compactação.....	87
Tabela 6 -	Influência da proporção das camadas na massa específica e na razão de compactação.....	91
Tabela 7 -	Influência da resina na massa específica e na razão de compactação.....	91
Tabela 8 -	Valores médios de teor de umidade.....	93
Tabela 9 -	Influência da proporção das camadas no teor de umidade.....	95
Tabela 10 -	Influência da resina no teor de umidade.....	95
Tabela 11 -	Valores médios de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.....	97
Tabela 12 -	Influência da proporção das camadas na absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.....	101
Tabela 13 -	Influência da resina na absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.....	102
Tabela 14 -	Valores médios de módulo de ruptura no ensaio de flexão estática.....	104
Tabela 15 -	Influência da proporção das camadas no módulo de ruptura.....	106
Tabela 16 -	Influência da resina no módulo de ruptura.....	107
Tabela 17 -	Valores médios de módulo de elasticidade no ensaio de flexão estática.....	108
Tabela 18 -	Influência da proporção das camadas no módulo de elasticidade.....	110
Tabela 19 -	Influência da resina no módulo de elasticidade.....	111

Tabela 20 - Valores médios de ligação interna.....	112
Tabela 21 - Influência da proporção das camadas na ligação interna.....	114
Tabela 22 - Influência da resina na ligação interna.....	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de Água Associação Brasileira da Indústria de Madeira
ABIMCI	Processada Mecanicamente Associação Brasileira de Indústrias de Painéis de
ABIPA	Madeira Associação Brasileira de Produtores de Florestas
ABRAF	Plantadas
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>
DAP	Diâmetro à Altura do Peito <i>Normen Für Holzfaserplatten Spanplatten</i>
DIN	<i>Sperrholz</i>
EN	<i>European Standard</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FF	Fenol Formaldeído
HDF	<i>High Density Fiberboard</i>
IE	Inchamento em Espessura
LI	Ligação Interna
LP	<i>Louisiana Pacific</i>
LVL	<i>Laminated Veneer Lumber</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDI	Difenilmetano Diisocianato
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MF	Melamina Formaldeído
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
MPA	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileiras
PCL	Painel de Madeira Colada Lateralmente
PMUF	Fenol-Melamina-Ureia-Formaldeído

PS	<i>Performance Standard</i>
PSP	Peso Seco das Partículas
RC	Razão de Compactação
REMADE	Revista da Madeira
SBA	<i>Structural Board Association</i>
SFB	Serviço Florestal Brasileiro <i>Technical Association of the Pulp and Paper</i>
TAPPI	<i>Industry</i>
TNRE	Taxa de Não Retorno em Espessura
TU	Teor de Umidade
UF	Ureia Formaldeído

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
2. REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO <i>Eucalyptus benthamii</i>	26
2.2 SETOR FLORESTAL BRASILEIRO	28
2.2.1 Produtos Florestais	31
2.3 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA	35
2.4 ORIENTED STRAND BOARD (OSB)	38
2.4.1 Histórico, Conceito, Características e Usos	38
2.4.2 Processo Produtivo	42
2.5 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS OSB	44
2.5.1 Fatores relacionados à madeira	44
2.5.1.1 Espécie e Massa Específica da madeira	44
2.5.1.2 Teor de Umidade	45
2.5.1.3 Propriedades Químicas	46
2.5.2 Fatores relacionados ao adesivo	47
2.5.2.1 Resina	47
2.5.2.2 Parafina	49
2.5.3 Fatores relacionados ao processo	50
2.5.3.1 Massa Específica do painel	50
2.5.3.2 Razão de Compactação	51
2.5.3.3 Geometria e Orientação das partículas	52
2.5.3.4 Teor de Umidade das Partículas	53
2.5.3.5 Composição do colchão	55
2.5.3.6 Ciclo de prensagem	56
2.6 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS OSB	58
2.6.1 Absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE)	58
2.6.2 Taxa de não retorno em espessura	59
2.6.3 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura a flexão estática	60
2.6.4 Ligação interna	61
3. MATERIAL E MÉTODOS	62
3.1 MATÉRIAS-PRIMAS	62

3.2 CARATERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	63
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	65
3.4 PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB.....	66
3.4.1 Desdobro das toras.....	66
3.4.2 Obtenção das partículas.....	67
3.4.3 Secagem das partículas.....	70
3.4.4 Aplicação do adesivo e parafina.....	71
3.4.5 Orientação das partículas e formação do colchão.....	72
3.4.6 Prensaagem e climatização dos painéis.....	73
3.4.7 Obtenção dos corpos de prova para os ensaios tecnológicos.....	74
3.5 ENSAIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	76
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	78
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
4.1.PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA SÓLIDA.....	80
4.1.1 Propriedades físicas.....	80
4.1.1.1 Massa específica.....	80
4.1.1.2 Retratabilidade.....	82
4.1.1.3 Anisotropia de contração e coeficiente de retratabilidade.....	85
4.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS.....	86
4.2.1 Massa específica e razão de compactação.....	86
4.2.2 Teor de umidade.....	92
4.2.3 Absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.....	96
4.2.4 Módulo de ruptura para ensaio de flexão estática (MOR).....	103
4.2.5 Módulo de elasticidade para ensaio de flexão estática (MOE)	108
4.2.6 Ligação interna.....	112
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
6. RECOMENDAÇÕES.....	118
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

1 INTRODUÇÃO

Em 2012, segundo relatório da ABRAF (2013), a área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizou 6.664.812 ha, sendo 76,6 % correspondente à área de plantios de *Eucalyptus*, num total de 5.102.030 ha, representando crescimento de 4,5% (228.078 ha) frente ao indicador de 2011. O principal fator que alavancou esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de papel e celulose.

Entre as espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil, destaca-se o *Eucalyptus grandis*, por ser uma espécie de rápido crescimento e também em função das características da madeira produzida, como o bom rendimento nos processos industriais em virtude do baixo índice de rachaduras quando comparado com outras espécies do mesmo gênero, resistência mecânica, resistência a organismos xilófagos. Mas, esta espécie tem como limitação a baixa resistência a geadas, não podendo ser plantada em regiões frias como o planalto norte e a serra catarinense.

Sendo assim, nas regiões mais frias, a espécie mais plantada é o *Eucalyptus dunnii*, que tem como principal fim o uso energético em função da baixa qualidade de madeira produzida devido às altas tensões de crescimento, o que reflete negativamente nas propriedades tecnológicas. Como alternativa às duas espécies supracitadas, uma espécie que já está recebendo atenção e sendo estudada, devido ao seu potencial característico de resistir a baixas temperaturas é o *Eucalyptus benthamii* et Cabbage (NISGOSKI *et al.*, 1998).

Segundo Nisgoski *et al.* (1998), o *E. benthamii* foi introduzido no Brasil pela Embrapa/Florestas, sendo utilizado em extensos programas de reflorestamento em função da boa resistência a geadas e grande possibilidade de ser utilizado para fins industriais, necessitando portanto, de maiores estudos sobre suas características anatômicas e tecnológicas.

Tendo em vista que os reflorestamentos com esta espécie na região sul do Brasil, especialmente no estado de Santa Catarina, são relativamente jovens, e existem muitos produtores de florestas plantando esta espécie, há uma grande quantidade de matéria-prima a ser disponibilizada no mercado à

médio prazo sem ter um direcionamento de produto final. Assim, é de extrema importância à avaliação desta espécie em todos os ramos de utilização na indústria, desde madeira sólida, passando pelos painéis compensados, de partículas, e entre esses usos, painéis de OSB (*Oriented Strand Board*).

Os painéis “OSB” são utilizados para aplicações estruturais, tais como: paredes, suportes para pisos e forros, componentes de vigas estruturais, embalagens, tendo em vista as suas boas características de resistência mecânica e estabilidade dimensional, bem como não estruturais como móveis e divisórias. (CLOUTIER, 1998)

A utilização de painéis “OSB” vem ocupando espaço antes exclusivo dos painéis compensados, em virtude de fatores como: redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação; utilização de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial; a largura e comprimento dos painéis “OSB” são determinados pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras como no caso de compensados (IWAKIRI *et al.*, 2003).

Os painéis “OSB” são produzidos com base em partículas de madeira do tipo “*strand*”, com a incorporação de resina a prova d’água e parafina, orientadas durante o processo de deposição, e consolidadas pela prensagem a quente.

Segundo Iwakiri *et al.* (2003), a composição estrutural dos painéis em camadas cruzadas, melhora a sua resistência mecânica e estabilidade dimensional nos sentidos paralelo e perpendicular ao plano do painel. Com relação ao sentido de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro dos painéis OSB, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal é na faixa de 20:60:20 a 30:40:30, baseado na percentagem de peso de partículas.

Em relação ao processo de adesão, a resina fenol formaldeído é a mais utilizada pelas indústrias em função das suas características de resistência a água e moderada resistência mecânica, sendo incorporada no colchão nas porcentagens que variam de 4 a 6%, na produção de painéis OSB (IWAKIRI *et al.*, 2003). Kelly (1977) e Moslemi (1974) citam que, tanto para *Pinus* como para *Eucalyptus*, o aumento na quantidade de resina resulta em painéis com melhores

propriedades físico - mecânicas até determinado limite, que vão até cerca de 8% para fenol-formaldeído.

Para *Eucalyptus benthamii*, por existirem poucos estudos no segmento de painéis de madeira reconstituída, existe uma forte demanda para a contínua determinação do melhor uso da espécie, assim como para encontrar melhores variáveis de processo, e obter resultados satisfatórios que atendam as normas internacionais de qualidade.

O objetivo geral do presente estudo foi determinar a viabilidade técnica da produção de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus benthamii* com 13 anos de idade, no que tange ao consumo de resina e orientação das partículas entre as camadas do painel. Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinar a massa específica aparente e a estabilidade dimensional da madeira sólida da espécie;
- Produzir os painéis de partículas orientadas tendo como referência as variáveis de processo encontradas na literatura;
- Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis;
- Comparar os valores médios encontrados em cada propriedade com os parâmetros da norma CSA 0437 (1993);
- Analisar a influência da composição de camadas nas propriedades tecnológicas dos painéis;
- Analisar a influência do teor de resina nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO *Eucalyptus benthamii*

O gênero *Eucalyptus* envolve mais de 600 espécies e ocorre naturalmente na Austrália, Indonésia e Papua Nova Guiné, em altitudes que vão do nível do mar até 4.000 m, em regiões sem problemas de déficit hídrico e outras onde o déficit hídrico chega a 300 mm (FAO, 2000).

A utilização de espécies do gênero *Eucalyptus* é uma alternativa para ampliar a oferta de matéria prima proveniente de florestas plantadas de rápido crescimento para fabricação de produtos de madeira sólida e reconstituída (IWAKIRI *et al.*, 2013). Entre as espécies de eucalipto plantadas no Brasil com potencial para usos industriais, vem sendo estudada em caráter experimental o *Eucalyptus benthamii*.

Segundo Pryor (1981), o *E. benthamii* é encontrado em áreas limitadas, ao oeste da cidade de Sydney em planícies ao longo do rio Nepean e seus afluentes. Originalmente, a espécie ocorria nos solos férteis das partes planas de deposição de rios, em altitudes inferiores a 100 m, onde a temperatura média máxima é 26 °C e a temperatura média mínima é 4 °C, com ocorrência de geadas leves. A precipitação anual é de 1100 mm com picos moderados no verão e outono. Já segundo Jovanovic e Booth (2002), a espécie é resistente ao frio, ocorrendo em áreas com temperaturas mínimas do mês mais frio variando de -1 °C a 3 °C, sendo tolerante à geadas e à secas.

Embora *E. benthamii* faça parte do mesmo grupo botânico do *E. viminalis*, ele apresenta características distintas, com preferência por solos férteis. Essa característica tornou a espécie vulnerável durante a expansão da fronteira agrícola e foi considerada em extinção (PRYOR, 1981).

Desde 1933, a população natural de *E. benthamii* foi afetada por três incêndios nos anos de 1957, 1979 e 1981, sendo que os dois últimos queimaram diferentes partes da população (BENSON, 1985). São escassos os resultados de plantios com *E. benthamii*, provavelmente pela área de ocorrência natural restrita, além da ocorrência de incêndios que limitaram a

produção e coleta de sementes da espécie (HIGA; PEREIRA, 2003).

Segundo Paludzyszyn *et al.* (2006), as condições favoráveis ao crescimento são encontradas na África do Sul, China e Brasil. Na África do Sul a espécie é considerada potencial para plantios em regiões de ocorrência de geadas e foi incluída no programa de melhoramento do ICFR (*Institute for Commercial Forestry Research*) a partir de 1994 (SWAIN, 1997). No Brasil, o *E. benthamii* foi introduzido pela Embrapa / Florestas, sendo que no estado de Santa Catarina tem mostrado bom crescimento e resistência a geadas em plantios experimentais com 2 e 3 anos. A espécie também é apontada como promissora em áreas montanhosas do estado de Minas Gerais (HIGA, 1999).

Segundo Nisgoski *et al.* (1998), a madeira do *E. benthamii* apresenta como características gerais: massa específica básica de 0,47 g/cm³, cerne e albúrneo distintos, cerne de cor marrom avermelhada e albúrneo amarelo rosado, grã irregular, superfície levemente brilhante e anéis de crescimento indistintos.

Ao realizar análise química quantitativa da madeira de *E. benthamii*, Vieira *et al.* (2013) encontraram os valores de teor de extrativos totais de 10,7%, cinzas de 1,2%, lignina de 20,5% e holocelulose de 67,6%. Pereira *et al.* (2001) encontraram resultados semelhantes, 69,7% para holocelulose, sendo que para os teores de lignina e extrativos totais, encontraram valores de 24,3% e de 6,0%, respectivamente. Lima *et al.* (2007) estudando a caracterização individual de árvores de *E. benthamii* para uso energético observaram resultados similares para o teor de cinzas, 0,96%.

Alves *et al.* (2011), ao estudarem a madeira com a finalidade de produção de celulose Kraft, verificaram que a estrutura anatômica do *E. benthamii*, sua massa específica básica e dimensões das fibras estão dentro dos parâmetros do gênero *Eucalyptus* utilizados atualmente pela indústria nacional de celulose e papel.

Muller (2013) ao aplicar diferentes métodos de desdobro pra *E. benthamii* com 5 anos de idade concluiu que os métodos de desdobro tangencial e radial aplicados geraram peças de madeira serrada com alta intensidade de defeitos, os quais foram

acentuados pelo processo de secagem. A autora cita que os rendimentos obtidos para a espécie no estudo variou de 24,55 a 37,82% na condição verde e de 13,21 a 25,90% na condição seca, atribuindo estas variações a idade reduzida das árvores utilizadas. Gorski *et al* (2013) encontraram para o *E. benthamii* com 13 anos de idade rendimentos na condição verde de 36,1% a 39,0% para toras com diâmetro entre 20 e 30 cm desdobradas pelo sistema radial.

Higa e Pereira (2003) constataram durante análise do comportamento da espécie durante o desdobro, que a madeira de *E. benthamii* apresentou elevados índices de contração volumétrica com forte tendência ao empenamento das tábuas, especialmente ao encanoamento, mesmo em condições amenas de secagem. Ainda, Pereira *et al.* (2001) dizem que a sua qualidade é adequada para a produção de energia, por apresentar problemas no processamento mecânico, porém para o uso em madeira serrada deveriam ser aplicado métodos de desdobro e secagem que redução a intensidade de empenamentos e rachaduras.

Martins (2011) avaliando a madeira de *E. benthamii* para a produção de painel colado lateralmente (*PCL*), observou que a madeira sólida da espécie apresentou bom desempenho de colagem para diferentes tipos de adesivos, assim como boa aderência de produtos de acabamento. Iwakiri (2013) avaliando a resistência de juntas coladas da madeira de *E. benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem indicaram por meio de ensaios que a espécie tem potencial para a manufatura de produtos colados de madeira.

Cunha e França (2014) avaliaram a produção de painéis de madeira aglomerada de *E. benthamii* e verificaram o potencial da espécie para o produto, quando comparado com os valores das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de *E. grandis*.

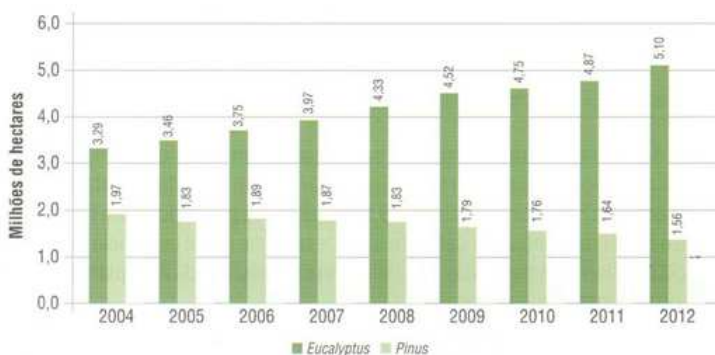
2.2 SETOR FLORESTAL BRASILEIRO

O setor florestal brasileiro mantém atualmente cerca de 7,2 milhões de hectares com plantios florestais de rápido crescimento em regime de produção, correspondendo a 52% das áreas com florestas plantadas na América do Sul, mas apenas

0,84% da área do território brasileiro. Apesar desta baixa ocupação territorial, os plantios florestais no país respondem pela maioria do consumo nacional atual de madeira industrial (ACR, 2014). Ainda segundo o anuário estatístico da associação, ao todo são 5,1 milhões de hectares plantados com *Eucalyptus*, 1,6 com *Pinus* e 521 mil com outras espécies florestais comerciais.

Segundo dados da ABRAF (2013) de 2012, não é possível afirmar que ocorreu crescimento da área de plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil, pois o aumento de área apurado, em torno de 2,2%, está dentro da margem de erro do levantamento. O indicador de 2012 corrobora a tendência de desaceleração do crescimento da área de plantios apresentada nos dois anos anteriores. No período de 2006 a 2012, o crescimento médio anual foi de 2,8%. A figura 1 apresenta a evolução da área plantada com os principais grupos de espécies florestais entre 2004 e 2012.

Figura 1 - Evolução da área plantada com *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil.



Fonte: ABRAF, compilado por STCP (2013).

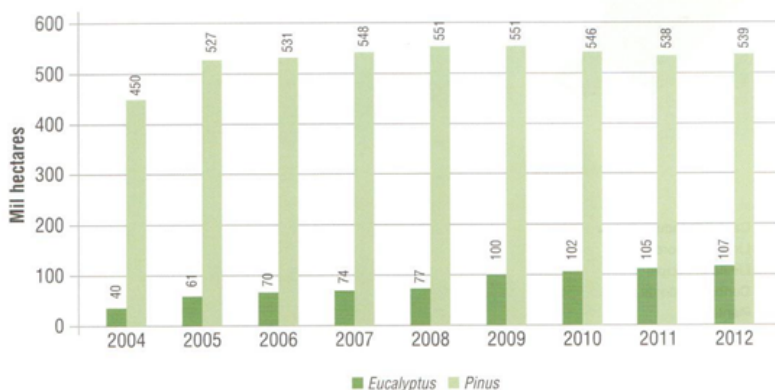
Observa-se na figura 1, um incremento de 6% e uma diminuição de 3% ao ano para *Eucalyptus* e *Pinus*. Segundo ACR (2014), o aumento da área com *Eucalyptus* se justifica pelo grande interesse por esta madeira para múltiplos segmentos consumidores, principalmente acompanhando a expansão na indústria de celulose, painéis de madeira reconstituída e do setor energético. Já a redução da área com *Pinus* é evidenciada pelas

crises sucessivas que alguns segmentos consumidores deste grupo de espécie passaram nos últimos anos, refletindo na redução dos plantios.

Para a ABRAF (2013) as principais razões para a estagnação do crescimento da área de plantios florestais em 2012 foram a redução na atividade econômica nos países da União Européia e nos Estados Unidos, países importadores de produtos florestais ou da cadeia de base florestal plantada; a redução da competitividade no mercado internacional dos produtos da cadeia produtiva brasileira de base florestal; e a excessiva burocratização e os longos prazos requeridos pelos órgãos ambientais.

No estado de Santa Catarina, a taxa anual de crescimento das florestas plantadas com *Pinus* está em 2,3% ao ano entre 2004 e 2012, apesar da queda observada no cenário nacional. Para *Eucalyptus*, a taxa é de 13% ao ano (ACR, 2014). Tal fato evidencia uma desaceleração nos plantios de *Pinus* no estado, seguindo a tendência brasileira, em substituição gradativa pelo *Eucalyptus* (Figura 2).

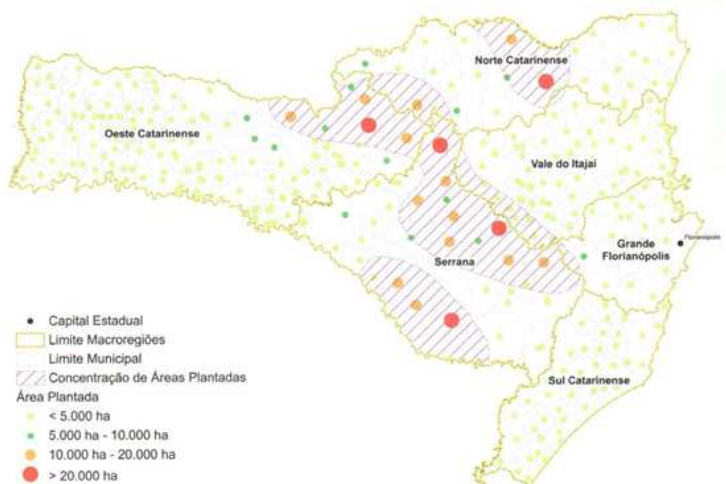
Figura 2 - Evolução da área plantada em Santa Catarina com *Eucalyptus* e *Pinus*



Fonte: ABRAF, compilado por STCP (2013) citado por ACR (2014)

Os plantios florestais em Santa Catarina (Ver Figura 3) estão concentrados principalmente na Região Serrana, formada pelos municípios de Santa Cecília, Otacílio Costa e Lages, envolvendo a parte Oeste (Caçador) e Norte (Rio Negrinho). A área com *Eucalyptus* está concentrada principalmente em duas grandes empresas de celulose e papel, as quais possuem plantios concentrados em Três Barras e Lages.

Figura 3 - Localização dos plantios florestais em Santa Catarina.



Fonte: ACF (2014)

2.2.1 Produtos florestais

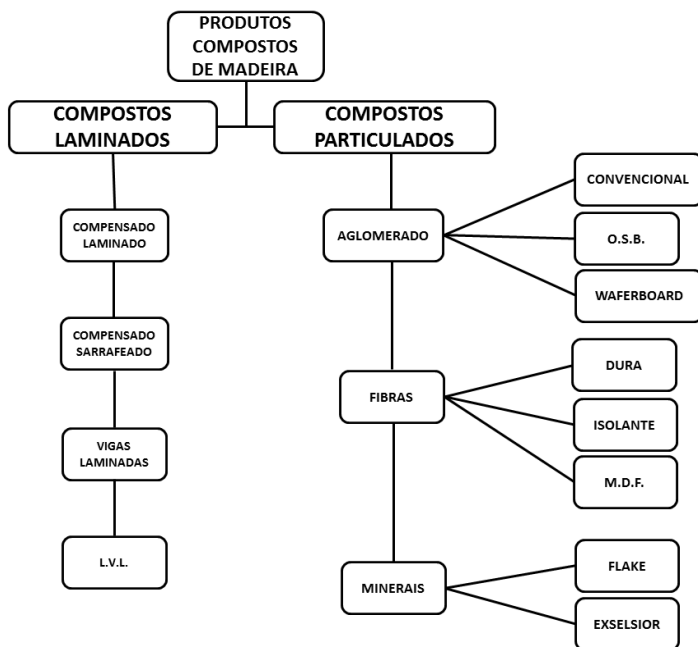
Segundo a ABRAF (2013), a cadeia produtiva do setor florestal brasileiro caracteriza-se pela grande diversidade de produtos primários e beneficiados, compreendendo um conjunto de atividades que vão desde a produção, colheita e desdobro da tora até a transformação da madeira para obtenção de produtos finais.

No processamento primário ocorre o desdobro da tora, que dá origem a diferentes produtos: cavaco orientado para a produção de celulose ou painéis de madeira reconstituída; madeira serrada, para uso *in natura* ou transformação em

subprodutos orientados, principalmente à construção civil, embalagens e móveis; madeira tratada, como postes e mourões; lâminas, para produção de compensado; carvão vegetal para a indústria siderúrgica; e biomassa para geração de energia (ACR, 2014).

Segundo o BNDES (2010), o setor de painéis de madeira reconstituída é formado pelas indústrias de MDF (*Medium Density Fiberboard*), MDP (*Medium Density Particleboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) e compensados, apresentando grande dinamismo, reflexo da inequívoca competitividade, da qualidade e da ampla aceitação do mercado doméstico, fornecendo matéria-prima para indústria de móveis, construção civil e embalagens. A figura 4 mostra os principais produtos do segmento.

Figura 4 - Produtos compostos de madeira.



Fonte: Adaptado de MENDES (2001).

O processo produtivo, as características tecnológicas e as finalidades de uso são individualizados para cada tipo de painel. Brevemente, os principais painéis de madeira podem ser definidos da seguinte forma:

a) Compensado: é um produto construído inteiramente ou principalmente por lâminas. É um painel composto por um número ímpar de camadas com a direção das fibras das camadas adjacentes orientadas perpendicularmente um ao outro. Uma camada pode consistir em uma lâmina ou de duas ou mais lâminas dispostas com a grã na direção paralela. As lâminas externas são chamadas de capa e contracapa. As lâminas internas são as outras além da capa e contracapa (STARK *et al.*, 2007). A qualidade do compensado depende, entre outros aspectos, da qualidade das lâminas empregadas na sua composição como incidência de defeitos, número de emendas, coloração e outros (ABIMCI, 2009).

Na produção de painéis compensados, são utilizadas madeira de Pinus, em maior quantidade, madeiras tropicais e eucaliptos. Com relação aos principais usos e aplicações, o compensado atende a uma demanda diversificada que se mostra fortemente segmentada entre construção civil, indústria moveleira, embalagens, entre outros (ABIMCI, 2009).

b) Painéis MDF: são painéis formados a partir da redução da madeira a dimensões básicas (fibras) através de processo termo-mecânico (ABIMCI, 2009). Neste painel, as fibras de madeira são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa de pratos ou prensa contínua de última geração. O MDF é um painel homogêneo de superfície uniforme e lisa (ABIPA, 2010). Possui consistência e algumas características mecânicas que o aproximam da madeira maciça e difere do painel de madeira aglomerada basicamente por apresentar parâmetros físicos de resistência superiores, boa estabilidade dimensional e excelente capacidade de usinagem (BNDES, 2002).

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de fibras de madeira são produzidos a partir de fibras individualizadas, cuja adesão primária se processa através do entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira, como a lignina.

O MDF é um painel que apresenta excelentes condições de usinagem, tanto nas bordas, quanto nas faces. Com massa específica adequada e a homogeneidade proporcionada pelas fibras, o painel MDF pode ser facilmente torneado, entalhado e usinado (ABIPA, 2010).

Os painéis de fibras podem ser destinados a uma ampla gama de aplicações, tais como painéis de isolamento térmico e acústico, divisórias internas, móveis, portas, molduras, revestimentos em geral, entre outras, em função da massa específica do painel (IWAKIRI, 2005). Na construção civil é utilizado para fabricação de pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas como balaústres de escadas, pés de mesas e também em embalagens. Na indústria moveleira são usados em peças com usinagens e trabalho de baixo relevo, nos fundos de móveis, lateral e fundo de gavetas e também para artesanatos diversos (ABIPA, 2010).

c) Painéis aglomerados ou MDP: são painéis produzidos com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético, reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através de aplicação de calor e pressão na prensa quente. Outros materiais lignocelulósicos podem ser utilizados na fabricação de aglomerados (IWAKIRI, 2005; MALONEY, 1993).

As partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas ao centro e as mais finas nas superfícies externas, formando três camadas. São aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua de última geração. É o resultado da evolução da tecnologia de prensas contínuas e pertence a uma nova geração de painéis de partículas de média massa específica. Estes painéis são produzidos com madeiras de plantios florestais de *Pinus* e *Eucalyptus* (ABIPA, 2010).

Pelas suas características, o MDP é especialmente indicado para a indústria moveleira e marcenaria, na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas, e, de forma secundária, na construção civil. Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos

retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta (ABIPA, 2010).

d) Chapa de fibra (*High Density Fiberboard* - HDF): são painéis reconstituídos através do desfibramento da madeira que, mediante o processamento, assumem disposição plana e se consolidam sob a ação de calor e pressão, sem adição de resina sintética (ABIMCI, 2009).

Nos últimos anos, a produção e o consumo da indústria de painéis de madeira reconstituída apresentaram o maior crescimento médio anual dentre os produtos florestais do Brasil. A substituição do uso de compensados pelos painéis de madeira reconstituída na produção moveleira tem interferido de maneira expressiva no desenvolvimento do setor (ABRAF, 2013). Para os próximos anos, estão previstos novos investimentos com valores aproximados de US\$ 1,2 bilhão na instalação de novas unidades industriais, que irão proporcionar um aumento da capacidade instalada atual (2012) de 10,3 milhões de metros cúbicos, para aproximadamente 10,9 milhões de metros cúbicos anuais em 2014 (ABIPA, 2014).

2.3 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

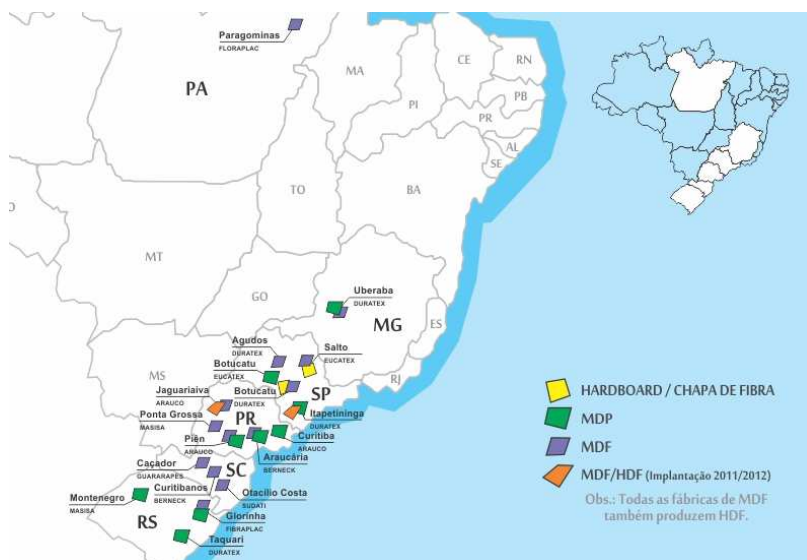
Segundo relatório da STCP (2013), os painéis de madeira são produtos de maiores dimensões, obtidos através da junção de partes menores de madeira com o uso de adesivos. Os seus principais usos podem ser classificados como primários: construção civil; e os transformados em Produtos de maior valor agregado como pisos, móveis, etc.

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar a anisotropia e a instabilidade dimensional da madeira maciça, diminuir seu custo e melhorar as suas propriedades. Além de suprir uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliar a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões (a largura), otimizando assim a sua aplicação (REMADE, 2004).

A indústria brasileira de painéis reconstituídos tem como característica a participação de um reduzido número de empresas. São cerca de 10 empresas com 23 unidades industriais

concentradas nas regiões Sudeste e Sul do país conforme mostra a Figura 5.

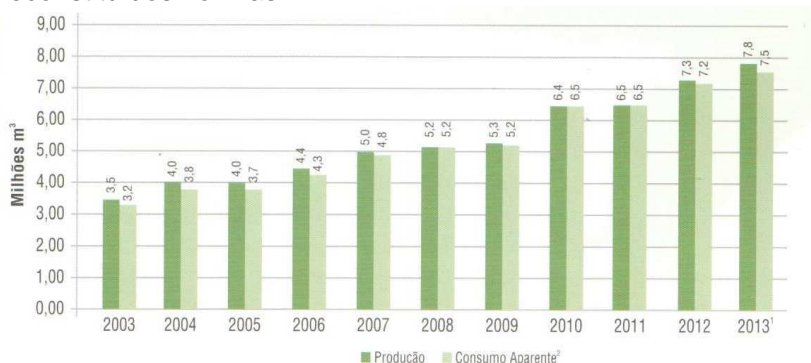
Figura 5 - Unidades industriais de painéis reconstituídos no Brasil.



Fonte: ABIPA (2014)

Segundo ACR (2014), nos últimos 10 anos, a capacidade instalada da indústria brasileira cresceu 8,9% a.a., atingindo 10,4 milhões em 2012. A figura 6 apresenta a evolução da produção e consumo aparente de painéis reconstituídos no Brasil entre 2003 e 2013, tais dados evidenciam que a produção deste seguimento está voltada principalmente ao consumo interno.

Figura 6 - Produção e consumo aparente de painéis reconstituídos no Brasil.



Fonte: ACR (2014)

O Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída. É também o país com o maior número de fábricas de última geração. Com investimentos contínuos em tecnologia e automação, as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura (ABIPA, 2010).

As utilizações dos painéis de madeira estão diretamente associadas às propriedades físicas e mecânicas dos mesmos. As restrições técnicas para o uso e a aplicação de diferentes tipos de painéis de madeira envolvem características como resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície, tolerância à usinagem, resistência à fixação de parafusos, entre outros. Diferentes tipos de painéis de madeira podem sobrepor tais restrições técnicas (ABIMCI, 2009).

Os principais usos e aplicações dos painéis de madeira estão associados principalmente aos segmentos da construção civil e de móveis. Os painéis de madeira podem ser diferenciados por suas propriedades, as quais permitem aplicações nesses dois segmentos (ABIMCI, 2009).

2.4 ORIENTED STRAND BOARD (OSB)

2.4.1 Histórico, conceito, características e usos.

Os painéis tipo OSB estão no mercado desde o início dos anos 80, sendo que seu antecessor, o *Waferboard*, foi produzido inicialmente, em escala comercial em 1962 pela Wisewood Corporation, com apoio do governo canadense, em Saskatchewan, cidade localizada na Baía de Hudson. Contudo, devido à pressão dos fabricantes de compensado, a comercialização do *Waferboard* ficou comprometida. Em 1963, a fábrica foi vendida para a MacMillan Bloedel Ltda., um grande grupo fabricante de produtos florestais, que reativou a fábrica lançando nos mercados da região central do Canadá o “Aspenite”, um painel *waferboard* mais barato que os compensados canadenses. Muitos celeiros, depósitos e cercas estão em uso até hoje, sendo uma forte evidência da durabilidade desses *waferboards* e de sua classificação para uso exterior (CLOUTIER, 1998; JANSSENS, 1998)

Em 1978, a Associação Americana de Compensado (APA) anunciou que a norma que regia seus produtos, a PRP 108, estava associada ao Código Modelo para Construção, tal como a norma PS2-92, o que possibilitaria a utilização de seus produtos como painéis de uso estrutural. Ao mesmo tempo, companhias de equipamentos para a indústria madeireira desenvolveram o alinhamento na superfície dos *wafers*, o que aumentou a resistência mecânica desses painéis, fazendo com que alcançassem os valores estipulados na norma PRP 108 e tivessem, ainda, custos reduzidos. Assim surgiu, comercialmente, o painel de partículas orientadas – OSB (LOWOOD, 1995).

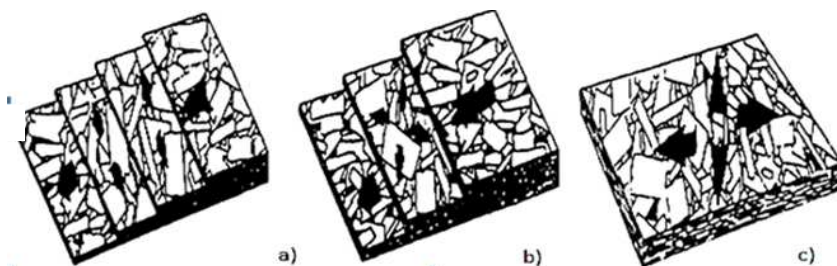
No Brasil, a primeira unidade industrial foi a Masisa do Brasil, localizada no município de Ponta Grossa, estado do Paraná, que iniciou sua produção em 2002, com capacidade instalada de 350.000 m³/ano (SALDANHA, 2009). Atualmente sua planta produtiva pertence à Louisiana Pacific Corporation que tem como clientes, distribuidores de material de construção,

construtoras, *home-centers*, embaladores e indústrias em geral (LP BRASIL, 2014).

O OSB pode ser conceituado como um painel de partículas de madeira orientadas, finas e longas, conhecidas como *strands*, consolidado pelo uso de resinas, calor e pressão (BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004). Como foi desenvolvido para aplicações estruturais, é considerado como uma segunda geração dos painéis *Waferboard* (MENDES *et al.*, 2002). Segundo Cloutier (1998), o OSB normalmente é produzido em espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm, mas também pode ser produzido até a espessura de 38,0 mm. São produzidos em painéis de 1220 x 2440 mm para usos estruturais, mas também podem ser produzidos em dimensões de até 3600 x 7320 mm para usos industriais.

Segundo Tsoumis (1991), esse tipo de painel é tipicamente formado por três camadas (Figura 7), sendo nas externas as partículas de madeira orientadas paralelamente na direção de formação do painel e na interna, a orientação é perpendicular. A camada interna também pode ter orientação aleatória das partículas (MALONEY, 1996). A geometria das partículas *strands*, a sua orientação e formação em três camadas (face/centro/face) conferem aos painéis OSB maior resistência mecânica (flexão estática) e melhor estabilidade dimensional (CLOUTIER, 1998).

Figura 7 - Disposição das camadas dos painéis OSB e *Waferboard*. A) Painel OSB com as partículas da face e do centro orientadas. B) Painel OSB com as partículas da face orientadas e do centro aleatórias. C) Painel *Waferboard* com as partículas distribuídas de forma aleatória.



Fonte: SBÁ, (2014)

Gouveia *et al.* (2000), em estudos realizados com painéis de partículas do tipo *strand*, orientadas e não orientadas, demonstrou que os painéis de partículas orientadas apresentam módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) superior em relação aos painéis de partículas não orientadas.

Lelles e Silva (1998) relatam que a diferenciação em relação aos aglomerados tradicionais se refere à impossibilidade de utilização de resíduos de serraria na sua fabricação, devido às dimensões das partículas, que são maiores e retangulares. As resinas utilizadas são a fenol-formaldeído e MDI (difênil-metano di-isocianato), com alta resistência à umidade; as partículas são orientadas em uma mesma direção; o painel é formado em três camadas cruzadas, sendo as faces no sentido longitudinal e o miolo no sentido transversal (MARRA, 1992; MALONEY, 1993).

O OSB pode apresentar espessura mais fina em comparação ao "*Waferboard*", para os mesmos tipos de usos (MALLONEY, 1996). Segundo Cloutier (1998), o OSB é principalmente usado como telhado, parede e base para pisos, sendo considerado pelas normas de construção Canadenses e Americanas como material equivalente ao compensado em aplicações estruturais, e está substituindo o compensado em tais aplicações.

A utilização de painéis OSB tem crescido significativamente e ocupado espaço antes exclusivo de compensados, em virtude de fatores como: redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação; o OSB pode ser produzido de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial; a largura dos painéis OSB é determinada pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras, como no caso de compensados (IWAKIRI, 1999).

O principal mercado consumidor interno para os painéis OSB está na construção civil, seguido pela indústria de móveis e embalagens industriais, conforme pode ser observado na figura 8.

De acordo com Janssens (1998), os principais usos destinados aos painéis 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; base para tampo de escrivaninha; painéis de paredes decorativas; tampos de mesas industriais; miolo para composto destinado a pisos de madeiras nobres; piso acabado; construção de depósitos e tanques; tapumes e divisórias; formas descartáveis para concreto; decks e plataformas; paredes de carrocerias 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.

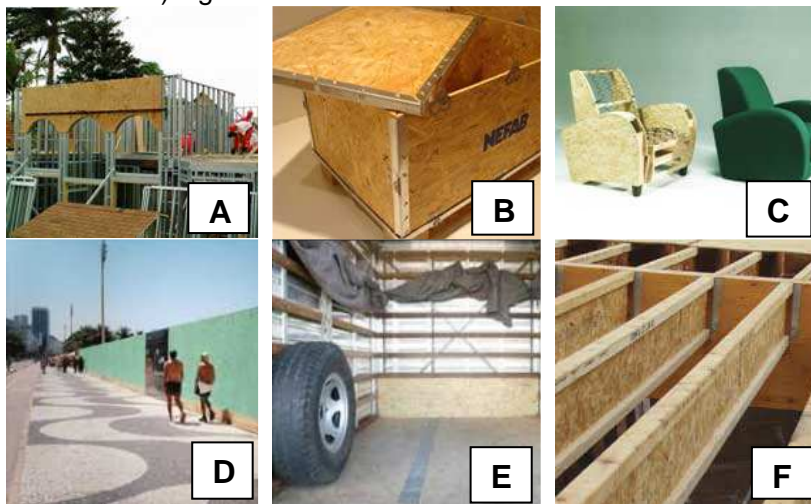
Figura 8: Aplicação doméstica do OSB.



FONTE: ABIPA (2014)

A utilização de painéis OSB tem, atualmente, ocupado mercados antes exclusivos de outros painéis como os compensados. A figura 9 apresenta alguns usos dos painéis OSB.

Figura 9: Uso dos painéis OSB. A) Paredes de residências. B) *pallets*. C) móveis. D) tapumes. E) piso de carroceria de caminhão. F) viga estrutural.



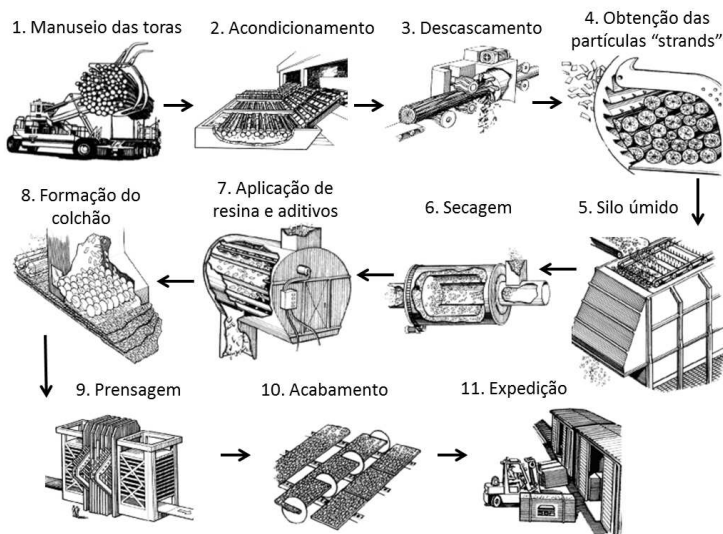
Fonte: LP BRASIL (2014)

2.4.2 Processo Produtivo

Os painéis OSB podem ser confeccionados a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, bem como de espécies de menor valor comercial, competindo com os compensados, que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, são de custo relativamente superior (WALKER, 1993).

O processo industrial de produção de OSB pode ser dividido em 11 etapas, conforme apresentado na figura 10, o qual inicia com o recebimento e acondicionamento das toras e finaliza com as operações de prensagem, acabamento e expedição do produto final.

Figura 10: Processo produtivo de OSB.



Fonte: Saldanha (2004)

As toras são acondicionadas em tanques com água quente por um período que varia de 3 a 15 horas, visando amolecer a madeira e reduzir a energia gasta nos picadores. Após o descascamento das toras, as mesmas seguem para o processo de geração de partículas, no qual os equipamentos mais utilizados são os picadores de disco ou cilindro. As partículas são secas em tambores giratórios até atingirem teor de umidade ideal para o tipo de resina a ser utilizado. As partículas passam por uma classificação realizada por peneiras, removendo os pequenos materiais. Na colagem, a parafina é borrifada nas partículas que posteriormente seguem para encoladeira onde ocorre a mistura do adesivo (ALBUQUERQUE; MENDES, 2000; IWAKIRI, 2005; FERRO, 2013).

Esta composição de colchão segue para as formadoras onde serão produzidas as camadas orientadas, formando o colchão que entra na prensa contínua de alta temperatura e pressão, onde será formado o painel que posteriormente será cortado em seu tamanho comercial (LP BRASIL, 2014).

2.5 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS OSB

2.5.1 Fatores relacionados à madeira

2.5.1.1 Espécie e massa específica da madeira

De acordo com Mendes (2001), a espécie botânica é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis, pois, interage com todas as outras variáveis no processo. Além de determinar a massa específica do painel, a espécie influencia na formulação do adesivo, fato atribuído à presença de extrativos e variação do pH. A maioria dos processos tecnológicos adotados pelas indústrias de produtos florestais possui rígidas exigências em relação à espécie, tamanho e qualidade da matéria-prima, pois tais processos foram quase que totalmente desenvolvidos em países com grandes reservas de florestas homogêneas (NAKAMURA; SOBRAL FILHO, 1982).

De acordo com Silva (2002), o desconhecimento das características das espécies pode transformar vantagens em desvantagens durante o seu processamento. Moura (2000) complementou que algumas propriedades e características da madeira, e consequentemente das espécies, limitam a sua utilização e podem, dependendo da solicitação, desqualificá-la, causando, em algumas situações, a substituição por outros materiais.

Desde o início das indústrias de painéis de partículas orientadas, somente algumas poucas espécies de madeira tem sido utilizadas em grandes quantidades para produção comercial (GOUVEIA, 2001). Segundo Iwakiri (2003), as espécies mais utilizadas para a produção de painéis de madeira no Brasil são as do gênero *Pinus*, principalmente o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*, amplamente empregados nas matrizes industriais em função das suas excelentes características.

Dentre as variáveis relacionadas à espécie de madeira, a sua massa específica é considerada uma das mais importantes que regula as propriedades do painel, e tem sido um fator determinante de quais espécies podem ser empregadas na

manufatura de painéis, por ser um dos componentes da razão de compactação, que é a relação entre a massa específica da chapa e massa específica da madeira utilizada na sua produção. Em termos gerais, madeiras de massa específica mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de massa específica, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de massa específicas mais elevadas (MALONEY, 1993; MENDES, 2001; SALDANHA, 2004).

Segundo Cloutier (1998), de modo geral as massas específicas mais desejadas para a produção de painéis OSB variam de 250 a 450 kg/m³. Espécies de massa específica entre 450 e 550 kg/m³ podem ser utilizadas, mas são menos desejadas e mais frequentemente empregadas em mistura com madeira de massa específica mais baixa.

Variações na massa específica do material a ser processado, segundo MALONEY (1993), podem provocar severos problemas operacionais como: operações de moagem (atingir a geometria desejada); operações de secagem; consumo de resinas; operações de prensagem; e propriedades físicas do produto final. O mesmo autor ainda afirma que mudanças abruptas na massa específica e porosidade da madeira resultam em partículas *strands* mais estreitas, e maior produção de finos. Entretanto, a presença de porosidade difusa em folhosas, e coníferas com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio, é mais indicada para a produção de OSB.

2.5.1.2 Teor de Umidade

Grandes variações no conteúdo de umidade do material que entra em uma unidade industrial causam problemas na produção, sendo um fator de extrema importância no planejamento de qualquer unidade industrial, tendo em vista principalmente o dimensionamento da capacidade necessária do secador (MALONEY, 1993).

Segundo Mendes (2001), a madeira com teor de umidade muito elevado, apesar de resistir menos ao corte, tem tendência a produzir uma superfície felpuda, o que pode levar a uma adesão pobre, e por consequência, necessitar de maior quantidade de resina, além de elevar os custos de secagem. No

caso da produção de OSB, a partir de toras de álamo, a condição úmida destas toras se situa em torno de 75 a 80 % (base seca). Contudo, para coníferas, este conteúdo de umidade é geralmente mais baixo (CLOUTIER, 1998).

De acordo com Albuquerque (2002), a condição úmida ideal das toras deve se situar pouco acima do ponto de saturação das fibras. Altos teores de umidade podem dificultar a picagem ou moagem do material, por causa da obstrução do equipamento, além de elevar os custos de secagem. No entanto, madeiras com elevado teor de umidade possuem, normalmente, um melhor rendimento em partículas devido à reduzida quantidade de finos produzida, pois, nessa condição, a quebra de fibras se reduz durante a geração de partículas (MALONEY, 1993). O mesmo autor relata também que durante o processo de produção, a variação do teor de umidade da matéria-prima, pode acarretar problemas operacionais em quase todas as etapas produtivas, incluindo a cura da resina durante a prensagem dos painéis.

A variação do teor de umidade da matéria-prima, normalmente está associada aos seguintes fatores: materiais provenientes de diferentes localidades; na variação da proporção cerne/alburno; utilização e proporção de diferentes espécies; na utilização de resíduos lenhosos, relacionados às diferenças nas práticas de extração de toras e a conversão destas em madeira serrada e respectiva estocagem, de um fornecedor individual ou vários (MENDES, 2001).

2.5.1.3 Propriedades Químicas

Hillig (2000) afirma que é conhecida a influência da composição química da madeira sobre os painéis de partículas de madeira, mas muitas vezes, este grau de interferência não é bem definido. Este fato é explicado, em parte, em função desta influência não ser tão grande no processo produtivo. Ao que parece, as propriedades químicas da madeira devem estar relacionadas à colagem, e, em menor grau, à higroscopicidade da madeira e do painel.

Os extrativos são responsáveis por determinadas características da madeira como: cor, cheiro, gosto, resistência

natural ao apodrecimento e propriedades abrasivas (KLOCK *et al.*, 2005). Seus efeitos predominantes estão relacionados à redução da higroscopicidade e da permeabilidade da madeira (MENDES, 2001). Espécies com baixo conteúdo de extrativos são as mais desejadas para a produção de OSB. Os extrativos podem interferir na cura da resina, além de resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

Diversas pesquisas têm sido conduzidas sobre as variações e os tipos de extrativos nas espécies. Porém, muito pouco dessas informações têm sido relacionadas à manufatura de painéis de partículas de madeira (MALONEY, 1993). Segundo Lima *et al.* (2007), os extrativos podem afetar as reações de polimerização do adesivo ou as reações entre adesivo e extrativo.

A acidez da madeira também é uma importante variável que requer atenção, sendo avaliada pelo nível de pH. Muitas pesquisas têm sido realizadas nesse sentido por empresas fabricantes de adesivos. A fim de empregar adesivos de forma econômica e adequada ao tipo de operação utilizada nas unidades industriais, condições químicas apropriadas devem ser determinadas na montagem do painel para a cura da resina propriamente dita, pois isto é importante, principalmente, nas empresas que empregam resinas uréia-formaldeído. Essas condições são dependentes, em parte, de uma certa extensão de acidez no processo de cura (MALONEY, 1993).

2.5.2 Fatores relacionados ao adesivo

2.5.2.1 Resina

Na produção de painéis de partículas de madeira, o adesivo é o componente de maior custo de produção, portanto, a quantidade a ser aplicada deve ser otimizada, em função das propriedades requeridas para a finalidade de uso a que se destina a chapa (SURDI, 2012). Iwakiri (2003) explica que, por este motivo, a escolha de um determinado tipo de resina está condicionada às condições de uso do produto e custos, tornando, portanto, muito importante a definição do tipo e quantidade de

resina a serem utilizadas, no sentido de buscar uma melhor relação custo/benefício.

Conforme Mendes et al. (2010) e Marra (1992), dentre os principais tipos de adesivos utilizados pela indústria de painéis de madeira estão a uréia - formaldeído (UF), a melamina - formaldeído (MF), a fenol - formaldeído (FF) e a isocianato (MDI: difenil-metano di-isocianato). Para produção de OSB, em função da necessidade de resistência à umidade devido ao uso aplicado dos painéis, a mais empregada é a resina FF na forma de pó, porém um número crescente de indústrias vem utilizando a forma líquida, objetivando reduzir os custos. A resina MDI é utilizada principalmente nas camadas internas dos painéis (CLOUTIER, 1998).

Hillig (2000) complementa que as resinas FF são bastante usadas na produção de painéis para uso na construção civil, naval, etc., embora tenham custo mais elevado. Para colagem a quente, exige maior temperatura da prensa e maior taxa de compressão. Seu processo de cura é semelhante ao das colas à base de UF, no entanto, exigem maiores cuidados na aplicação no que diz respeito às condições de prensagem: temperatura, pressão e teor de umidade da madeira.

De acordo com as informações técnicas das indústrias, a resina fenol - formaldeído é utilizada na faixa de 4 a 6% na produção de painéis OSB (IWAKIRI, 2003). Até um determinado limite, os aumentos na quantidade de resina, resultam em painéis com melhores propriedades físico-mecânicas (SALDANHA, 2004). BRITO (1984), estudando painéis "*waferboard*" de *Pinus* spp encontrou incremento nas propriedades mecânicas e inchamento em espessura com o aumento do teor de resina fenólica de 4 para 8%. Este fato, segundo Mendes (2001), é devido a uma maior disponibilidade de resina por área superficial de partículas, melhorando, com isto, as ligações interpartículas.

Gouveia et al. (2003) avaliando a produção de painéis OSB com três níveis de resina (4%, 6% e 8%) concluiu que os melhores resultados foram obtidos nos painéis fabricados com 6 e 8% de fenol-formaldeído. Iwakiri et al. (2003) testando a adição ou não de parafina para teores de resina de 4,5% e 6% concluiu que a aplicação de 6% de resina sobre as partículas demonstrou ser a condição mais eficiente, não havendo a necessidade de

adição de parafina para melhorar a estabilidade dimensional dos painéis, já a incorporação da parafina melhorou a estabilidade dimensional dos painéis produzidos com 4,5% de resina.

2.5.2.2 Parafina

A parafina é adicionada a fim de proporcionar uma melhora no painel acabado quanto à absorção de água na forma líquida. Contudo, não melhora o desempenho do painel quanto à absorção de vapor d'água. O efeito da parafina é significativo em curto intervalo de tempo sobre a absorção de água líquida e o inchamento em espessura do painel, pois em períodos de tempo mais longos o efeito não é tão significante (MENDES *et al.*, 2002).

A indústria utiliza a parafina numa proporção máxima em torno de 1,5%. Uma proporção mais elevada não é eficiente na redução de absorção d'água e inchamento em espessura, desta forma, todas as pesquisas utilizando parafina não ultrapassam 1,5% de parafina baseado no peso seco do material. Quantidades maiores de parafina poderão resultar em redução na resistência mecânica da chapa (MARRA, 1992).

Mendes (2001) menciona que a adição excessiva de parafina na chapa, promove a redução da ligação interna, devido à interferência da parafina sobre a polimerização da resina. Iwakiri *et al.* (2003) produzindo painéis OSB de *E. grandis* com incorporação de 0,5 e 1,0% de emulsão de parafina, verificaram que, para os painéis produzidos com 4,5% de resina, a adição de parafina reduziu significativamente o inchamento em espessura e a ligação interna.

Mendes (2011) avaliando o efeito da aplicação de parafina ao teor de 1% sobre as propriedades dos painéis OSB, verificou que esta não promoveu melhoria significativa das propriedades mecânicas dos painéis, no entanto, para as propriedades físicas, resultou em melhora da absorção e inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água.

2.5.3 Fatores relacionados ao processo

2.5.3.1 Massa específica do painel

A massa específica dos painéis é um dos parâmetros mais importantes na produção de painéis reconstituídos de madeira (SALDANHA, 2009), estando relacionada com a quantidade de partículas para uma determinada dimensão do painel e influencia significativamente nas suas propriedades físico-mecânicas (MENDES, 2011).

Zhow (1990) relata que a faixa ideal de massa específica dos painéis, para manufatura de OSB está entre 0,65 e 0,70g/cm³. De acordo com Cloutier (1998), as indústrias canadenses produzem painéis OSB com massa específica entre 0,63 e 0,67 g/cm³. No Brasil, a única indústria de OSB produz painéis com massa específica entre 0,60 e 0,65 g/cm³ (LP BRASIL, 2013).

Maloney (1993) e Moslemi (1974) afirmam que painéis com maior massa específica apresentam maior resistência mecânica, entretanto a sua estabilidade dimensional é prejudicada. Os autores atribuem à maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, à maior densificação e compressão do material durante o processo de formação do painel na prensa quente a causa principal para o aumento nas propriedades mecânicas e no inchamento em espessura dos painéis.

Zhow (1990) verificou que a massa específica dos painéis influencia de maneira significativa nos valores de MOR, MOE e ligação interna. No entanto, concluiu que para o caso específico do seu estudo, o relacionamento da massa específica dos painéis com estas propriedades não é linear. O mesmo autor também encontrou alta correlação entre a massa específica dos painéis em relação à absorção de água e inchamento em espessura, porém atribuiu o aumento destas propriedades ao número maior de partículas necessárias para confecção de painéis de maior massa específica o que, conseqüentemente, gerou um aumento do número de sítios higroscópicos e, provavelmente, influenciou quimicamente.

Zhang *et al.* (1998) encontraram um aumento no MOR, MOE e ligação interna, quando a massa específica dos painéis passou de 0,60 para 0,70 g/cm³. García *et al.* (1999) encontraram relação positiva entre massa específica dos painéis e condutibilidade térmica, e relação negativa com permeabilidade lateral/transversal e convecção térmica dos painéis OSB.

Saldanha e Iwakiri (2009) verificaram que um aumento na massa específica dos painéis OSB melhorou as propriedades de MOE e MOR no sentido paralelo, ligação interna e absorção de água, entretanto houve um aumento no inchamento em espessura 24 horas. O MOE e MOR no sentido perpendicular não foram afetados pelo aumento na massa específica dos painéis OSB.

Maloney (1993) afirma que quanto mais elevado for a massa específica dos painéis, maior será a dificuldade na usinagem, que impede a aceitação de produtos densos no mercado convencional acostumado com a utilização de painéis de massa específica menores.

2.5.3.2 Razão de compactação

A relação entre a massa específica do painel e a massa específica da madeira utilizada é denominada de razão de compactação e exerce uma influência acentuada nas propriedades dos painéis particulados de madeira sendo considerada uma faixa aceitável os valores entre 1,3 e 1,6 para que ocorra um contato adequado entre partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

Para Mendes (2001), partículas de espécies de madeiras densas, quando compactadas durante a prensagem produzem uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades dos painéis necessitando alterar outras variáveis do processamento, como aumento do teor de resina o que aumenta o custo de produção. O motivo do emprego preferencial de espécies relativamente leves é que tais espécies podem ser comprimidas em um painel de média massa específica, com a garantia de uma área de contato suficiente entre as partículas

durante a prensagem. Segundo Hillig (2000) uma razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel.

Uma razão de compactação elevada caracteriza maior contato entre partículas e entre partículas e adesivo (KELLY, 1977). De acordo com o mesmo autor, painéis de mesma massa específica nominal produzidos com madeira de baixa massa específica, apresentam maior razão de compactação do colchão de partículas e consequente aumento nas propriedades mecânicas dos painéis. Entretanto, as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura passam a ter valores maiores. Portanto, há uma interdependência entre os parâmetros de processamento nas propriedades da chapa produzida.

2.5.3.3 Geometria e orientação das partículas

Os elementos dimensionais das partículas de madeira são a espessura, largura e comprimento, os quais são responsáveis pelo grau de orientação na formação dos painéis OSB (SALDANHA, 2004).

Segundo Cloutier (1998), a geometria das partículas “*strand*” é uma das variáveis mais importantes na manufatura de painéis OSB, assim como a sua orientação e formação em três camadas (face/miolo/face), pois conferem aos painéis maior resistência mecânica e estabilidade dimensional. A geometria das partículas “*strand*”, relacionada ao seu comprimento e espessura (índice de esbeltez) influencia significativamente as propriedades mecânicas, assim como seu acabamento e usinabilidade (IWAKIRI, 2005). Portanto, é importante que os elementos dimensionais das partículas sejam definidos de acordo com o tipo de painel e da qualidade desejada (SALDANHA, 2004).

As indústrias canadenses utilizam geometrias diferentes nas faces e no miolo do painel OSB. As faces são compostas por partículas com 25 mm de largura, 120 a 150 mm de comprimento e 0,5 mm de espessura, enquanto no miolo as partículas apresentam de 19 a 25 mm de largura, 100 a 120 mm de comprimento e 0,5 a 0,8 mm de espessura (CLOUTIER, 1998).

Em relação ao comprimento da partícula, Suzuki e Takeda (2000) afirmam que partículas mais compridas podem aumentar o MOR, este podendo ser devido às propriedades longitudinais das fibras da madeira. Analisando a orientação das partículas, os mesmos autores não encontraram diferença nas propriedades de flexão estática paralela entre painéis com as três camadas orientadas e os painéis com partículas orientadas somente nas camadas superficiais. Segundo Maloney (1993), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de no mínimo três para proporcionar boa orientação das partículas no painel, sendo esta relação utilizada por Marra (1992) para classificar as partículas *strand*.

Mendes (2001), avaliando painéis produzidos com três larguras de partículas (15, 20 e 25 mm) não encontrou influência no MOR e MOR à flexão estática na direção perpendicular às fibras. Para a direção paralela, com a redução da largura da partícula verificou tendência de aumento do MOR e MOE, porém sem diferença significativa.

Segundo Janssens (1998), a orientação das partículas é o fator mais importante para a obtenção de painéis OSB, pois está diretamente ligado à concepção que deu origem ao produto. O comprimento e a largura são parâmetros que controlam o grau de orientação na formação do painel (MALONEY, 1993).

A altura de queda, na hora da distribuição das partículas, exerce grande influência no ângulo formado no sentido de orientação. Alturas menores proporcionam melhor orientação (SUZUKI; TAKEDA, 2000).

Gouveia *et al.* (2000), estudando as propriedades de painéis de partículas orientadas e não orientadas, demonstraram que as primeiras apresentaram valores de MOR e MOE superiores.

2.5.3.4 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade das partículas se constitui em uma variável de extrema importância para a produção de painéis de madeira aglomerada (TRIANOSKI, 2010), sendo um fator decisivo no desenvolvimento do gradiente vertical de massa específica, assim como no tempo total de prensagem (ALBUQUERQUE, 2002).

Segundo Moslemi (1974), o teor de umidade ideal depende de inúmeros fatores, como natureza do processo, tipo e dimensão das partículas, massa específica da madeira, entre outros. O teor de umidade das partículas utilizadas para a produção de painéis de partículas varia entre 3 e 6% (MOSLEMI, 1974; IWAKIRI, 1989, TSOUMIS, 1991; MALONEY, 1993; TRIANOSKI, 2010), que devem ser rigorosamente controlados, evitando problemas operacionais e produtos de baixa qualidade.

Segundo Matos (1988), a importância do teor de umidade do material no ciclo da prensa, deve-se à influência que exerce sobre a resistência da madeira à compressão. Partículas com teor de umidade elevado requerem um tempo menor para atingir, sob pressão, uma desejada espessura. A umidade e a temperatura em conjunto proporcionam uma maior plasticização da madeira que oferecerá menor resistência à compactação. Também a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel é facilitada com maiores teores de umidade do material. Há um movimento mais rápido de vapor para as camadas internas facilitando o aquecimento e a cura da resina. Também a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel é facilitada com maiores teores de umidade do material.

O mesmo autor relata que, por outro lado, elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores.

Partículas com teor de umidade muito reduzido requerem maior pressão para a consolidação do mesmo, bem como resultar em ligações de baixo desempenho entre partículas (KELLY, 1977). As partículas com umidade excessivamente reduzidas proporcionam uma baixa transferência de calor da superfície para o centro do painel, provocam uma alta absorção de resina, prejudicando a obtenção de uma liga entre as partículas, porém, o principal fator é a redução da área de contato devido à falta de flexibilidade destas partículas, principalmente as mais densas (MOSLEMI, 1974).

2.5.3.5 Composição do colchão

Entre os fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB, a massa específica do painel e a composição estrutural em camadas cruzadas (face/centro/face) são os que apresentam forte influência na resistência à flexão estática e estabilidade dimensional (SURDI, 2012). A composição estrutural dos painéis em camadas cruzadas melhora a sua resistência mecânica e a estabilidade dimensional nos sentidos paralelo e perpendicular ao plano da chapa (IWAKIRI, 2003).

Com relação à direção de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro do painel, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal (face/miolo) é na faixa de 40:60 a 60:40 baseado na percentagem de peso seco de partículas encoladas. Estas proporções são as mais utilizadas pelas Indústrias canadenses e americanas de OSB.

Avramidis e Smith (1989) observaram uma significativa melhora nas propriedades dos painéis OSB (MOE, MOR e expansão Linear), quando a proporção face/miolo foi aumentada. Esta tendência foi observada no sentido paralelo à orientação, enquanto que na posição perpendicular, observou-se o contrário, ocorrendo uma redução de MOE e MOR. Os mesmos autores não observaram um efeito claro da influência das proporções das camadas testadas, nas propriedades de absorção de água e inchamento em espessura. Por outro lado, observaram uma diminuição da ligação Interna dos painéis OSB, quando a relação face/miolo foi aumentada.

Suzuki e Takeda (2000) 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).

Iwakiri *et al.* (2003) afirmam que a composição do painel em camadas cruzadas, com a relação face/miolo/face de 20/60/20, apresentou melhor balanço de resistência à flexão estática nos sentidos paralelo e perpendicular, quando comparados aos painéis com proporção de 30:40:30. Tanto para o MOE, quanto para o 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. Mendes

et al. (2002) concluíram que a diminuição da relação face/miolo provocou um aumento no MOE e no MOR na direção perpendicular, e uma diminuição no MOE e no MOR na direção paralela à orientação das partículas das camadas superficiais dos painéis.

2.5.3.6 Ciclo de prensagem

A operação de prensagem é uma etapa extremamente crítica na produção de aglomerados. É nesta operação que muitas das propriedades físicas são definidas, especialmente aquelas influenciadas pelo gradiente vertical de massa específica. As condições de prensagem mais importantes que afetam as propriedades dos aglomerados são o teor de umidade do colchão de partículas, a velocidade de fechamento da prensa, o tempo e a temperatura de prensagem (KELLY, 1977).

a) Temperatura

A temperatura de prensagem é definida em função do tipo de resina utilizada. A sua função é polimerização e cura da resina, além de auxiliar na compactação do colchão de partículas até a espessura final da chapa, através do processo de plasticização da madeira, reduzindo a sua resistência à compressão (SALDANHA, 2004; MARRA, 1992; KELLY, 1977).

Para Cloutier (1998), em processos industriais de painéis de OSB no Canadá empregam-se temperaturas de prensagem na faixa de 200 a 220°C, para colagem à base de resina fenol-formaldeído, dependendo da espessura do painel. As altas temperaturas possibilitam maior transferência de calor para as camadas internas da chapa, reduzindo substancialmente o tempo de prensagem e aumentando a produtividade.

Iwakiri (1989) menciona que quanto maior a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática. O autor também menciona que a definição do tempo mínimo de prensagem depende da eficácia da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura

de prensagem adotada assim, como a distribuição da umidade no colchão.

b) Pressão e tempo de fechamento da prensa

A pressão de prensagem determina a espessura e a massa específica final do painel, além de ajudar na transferência de calor responsável pela cura do adesivo, responsável pela consolidação do painel (CALEGARI *et al.*, 2005).

O nível de pressão irá influenciar também no tempo de fechamento da prensa. Quanto maior a pressão específica aplicada, menor será o tempo de fechamento da prensa e, resultará em painéis com maior densificação das camadas superficiais, ou seja, maior gradiente vertical de massa específica, os quais apresentarão maior resistência à flexão estática, no entanto, a ligação interna será menor (SALDANHA, 2004).

Para Kelly (1977), um tempo muito longo de fechamento faz com que o adesivo nas partículas em contato com os pratos aquecidos, polimerize antes que um contato entre partículas suficiente seja estabelecido, fazendo com que a densificação dessas partículas seja maior, promovendo uma diminuição no perfil de massa específica e conseqüentemente uma redução nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

c) Tempo

Para Matos (1988), quando espaçadores são empregados na prensagem de painéis de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa, até a abertura da prensa. O mesmo autor relata que o tempo de fechamento da prensa é o tempo de compressão das partículas desde o contato dos pratos da prensa com o material, até atingir a espessura desejada.

Segundo Marra (1992), o tempo de prensagem deve ser o suficiente para que o centro da chapa atinja a temperatura necessária para a cura da resina e exerce influências significativas sobre as propriedades dos painéis, controle de

espessura, qualidade da superfície, durabilidade da cola e pré-cura.

O tempo mínimo de prensagem depende, principalmente, da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem, assim como da distribuição da umidade no colchão de partículas (IWAKIRI, 1989), estando também relacionado à liberação do vapor d'água do interior para as bordas da chapa, no sentido de evitar a sua delaminação no momento de abertura dos pratos da prensa (SALDANHA, 2004).

De acordo com Albuquerque (2000), o tempo de prensagem influencia as propriedades físicas e mecânicas do painel, assim como o controle da espessura e a qualidade da superfície.

Indústrias de OSB no Canadá utilizam, para temperaturas entre 200°C e 220°C, tempos de prensagem entre 3 e 6 minutos, dependendo da espessura do painel (CLOUTIER, 1998).

Para painéis com 15 mm de espessura, produzidos experimentalmente com madeiras do gênero *Pinus*, o tempo de prensagem de 8 minutos tem apresentado resultados satisfatórios (MENDES, 2001; BRITO, 1984; IWAKIRI, 1989). Matos (1988) avaliando o efeito de dois tempos de prensagem (8 e 15 minutos) para produção de painéis *waferboard*, constatou que o tempo de 8 minutos resultou em painéis com maior inchamento em espessura e menores propriedades mecânicas.

2.6 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINEIS OSB

2.6.1 Absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE)

Os painéis de partículas são materiais higroscópicos, logo variam em dimensões de acordo com as mudanças no teor de umidade, seja em contato direto com água ou com vapor d'água (VITAL *et al.*, 1980).

De acordo com a norma ASTM (2002) as propriedades físicas de absorção de água e inchamento em espessura são dadas pela expressão percentual da quantidade de água e o inchamento em espessura, quando uma amostra acondicionada a 20°C e 65% de umidade relativa (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água por 2 e 24 horas.

Segundo Brito (1995) o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis. O inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie de madeira, geometria das partículas, massa específica dos painéis, nível de resina, nível de parafina, eficiência da aplicação da cola e condições de prensagem. No entanto autores citados por Mendes (2001) relatam uma relação muitas vezes contraditória destes fatores no comportamento dos painéis, como a existência de uma relação positiva entre massa específica dos painéis, inchamento em espessura e absorção, em contrapartida painéis com maior razão de compactação (1,6), apresentaram menor absorção de água que painéis com menor razão de compactação (1,2).

2.6.2 Taxa interna de não retorno em espessura

O inchamento em espessura é a soma de dois componentes: o inchamento recuperável, devido à reação da madeira ao contato com a umidade, e o inchamento irrecuperável, devido à liberação das forças de compressão durante o processo de prensagem. A liberação dessas forças acontece com alto teor de umidade, e essa parte do inchamento não recupera quando a chapa retorna a seu estado seco. O não-retorno ou inchamento em espessura residual é chamado *springback* (HALLIGAN, 1970; WU; PIAO, 1999).

Segundo Iwakiri (1989), esse efeito pode ser reduzido ou eliminado por meio de tratamentos especiais tais como pós-vaporização e pós-aquecimento dos painéis, embora esses métodos tenham aplicações limitadas.

Moslemi (1974) cita que esse fenômeno é indesejado por várias razões. A primeira, e óbvia, é o aumento permanente da espessura da chapa, influenciando negativamente na tolerância ao inchamento. Outro motivo seria a perda gradual da estrutura do painel, resultando na diminuição da resistência mecânica e na degradação da aparência superficial.

O estudo realizado por Matos (1988), para painéis estruturais de *Pinus taeda*, a diferentes condições de prensagem, indicou uma forte influência da umidade das partículas e presença de parafina sobre o inchamento residual. Painéis

produzidos com acréscimo de parafina a 1% obtiveram um decréscimo no inchamento residual.

2.6.3 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura à flexão estática

Maloney (1977) define o módulo de elasticidade (MOE), como a elasticidade de um material até o limite de proporcionalidade e o módulo de ruptura (MOR) como o limite do material, submetido ao esforço máximo até a ruptura. Iwakiri (1989) menciona que o MOE é um parâmetro muito importante que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço e o MOR determina a aplicabilidade dos painéis de partículas para uso estrutural.

Klock (2000) relata que o módulo de elasticidade (MOE) expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm² de área transversal a uma distância igual ao seu próprio comprimento. O MOE é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço. Na realidade nunca se consegue uma deformação da grandeza do corpo, pois antes disto acontecer dá-se a ruptura do material. O mesmo autor relata que embora o MOE não ofereça informações reais sobre o material, deduz-se que, quanto mais alto o valor de MOE mais alta resistência do material e mais baixa a deformabilidade do material.

A massa específica da superfície do painel afeta sensivelmente os valores de MOR, decorrentes dos esforços de flexão serem mais intensos nas camadas superficiais do painel. Portanto, os valores de MOR dependem do gradiente vertical de massa específica. Teor de umidade mais elevado aumenta a compressibilidade das camadas superficiais durante a prensagem, o que resulta em maior densificação destas camadas e o MOR com valores mais elevados (STRICKLER, 1959; HEEBINK *et al.*, 1972 citados por KELLY, 1977).

O MOE e MOR são afetados de forma similar pelas diversas variáveis do processo de produção de painéis, dentre as quais, o aumento da massa específica dos painéis, composição das camadas face/miolo, melhor alinhamento nas camadas,

conteúdo de resina mais elevado, razão de compactação, conteúdo de parafina e dimensões das partículas refletida no índice de esbeltez elevam os valores obtidos de MOE e MOR (KELLY, 1977; MATOS, 1988).

O código canadense CSA 0437 (1993) (*Canadian Standards Association – Test Methods for OSB and Waferboard*) apresenta os valores mínimos de MOR paralelo, 28,4 e 22,9 MPa para as classificações O2 e O1, respectivamente. Enquanto que para MOR perpendicular os valores são de 12,2 e 9,4 MPa, respectivamente. Já para os valores mínimos de MOE paralelo tem-se 5393,7 e 4413,0 MPa e para o MOE perpendicular os valores são de 1471,0 e 1274,9 MPa, para as classificações O2 e O1, respectivamente.

2.6.4 Ligação Interna

A resistência da ligação interna é uma propriedade amplamente estudada em todas as pesquisas de painéis de partículas, que mede o grau de adesão entre as partículas, em amostras submetidas aos esforços de tração perpendicular. Quando uma amostra é testada em tração perpendicular normalmente ocorre a ruptura na porção média da sua espessura, que corresponde a região de menor massa específica e ligação entre partículas (IWAKIRI, 1989). Para Matos (1988), a ligação interna serve como parâmetro para avaliação da agregação interna das partículas e da eficiência da colagem dos painéis.

Vários autores relatam em seus estudos que com o aumento da massa específica dos painéis, do conteúdo de resina, do tempo e da temperatura de prensagem, ocorre um aumento na resistência da ligação interna. Mendes (2001) menciona que a adição excessiva de parafina nos painéis OSB, promove a redução da ligação interna, devido à interferência da parafina sobre a polimerização da resina.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIAS-PRIMAS

A madeira utilizada no estudo foi proveniente de um plantio experimental de *Eucalyptus benthamii* com 13 anos de idade da empresa Klabin S.A., localizado no município de Palmeira, Santa Catarina (Ver Figura 11), situado a 886 m de altitude, com coordenadas geográficas de latitude 27°34'58" sul e longitude de 50°09'34" oeste. Segundo Köppen, o clima na região é Cfb, mesotérmico úmido, com temperatura média de 15°C.

Figura 11 - Localização da cidade de Palmeira no mapa de Santa Catarina.



Fonte: Abreu (2006)

A área do plantio experimental foi implantada no ano de 1995, com sementes de procedência geográfica de Dorrego – Austrália, sendo o espaçamento do povoamento de 2,5 X 2,5 m.

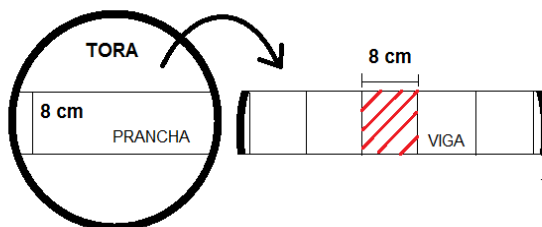
A madeira foi fornecida pela empresa na forma de toras com comprimento de 2,40 m e diâmetro variando entre 20 e 35 cm. Na classe diamétrica de 30 a 35 cm foram utilizadas 12 toras para a caracterização das propriedades físicas da madeira sólida e na classe de 20 a 30 cm, 40 toras para a produção dos painéis.

O adesivo utilizado na produção dos painéis foi composto pela resina fenol formaldeído e pela emulsão de parafina, sendo a resina fornecida pelo SI Group Crios Resinas S.A., Unidade de Rio Claro - São Paulo e a parafina pela Indústria de Compensados Sudati LTDA, Unidade de Otacílio Costa - Santa Catarina.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

As 12 toras selecionadas foram desdobradas em pranchões centrais com 8 cm de espessura (Figura 12). Dos pranchões, foram retiradas vigas com 8 X 8 cm de seção transversal, sendo que a viga central contendo a medula foi descartada posteriormente. Das vigas, foram obtidos os corpos de prova de acordo com as dimensões descritas na NBR 7190 (1997).

Figura 12 - Esquema para obtenção dos corpos de prova.

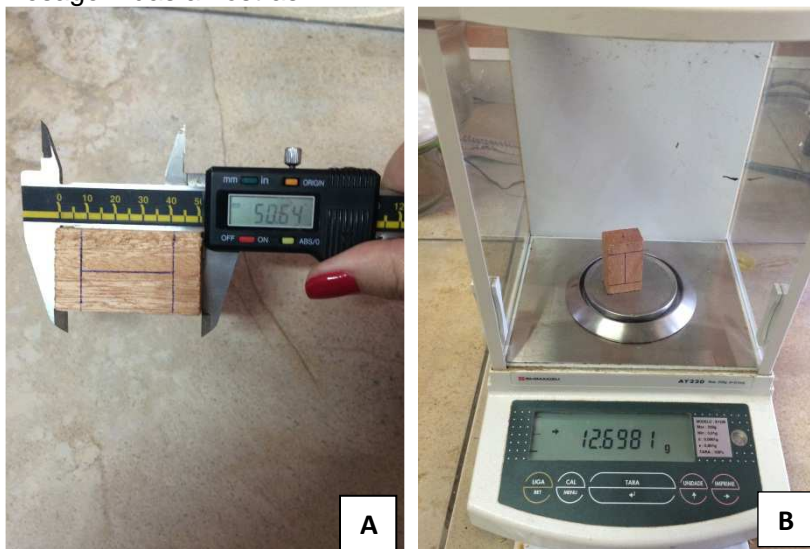


Fonte: produção do próprio autor (2014).

O procedimento utilizado para a determinação das propriedades físicas em laboratório, massa específica e retratibilidade, foi o descrito na norma NBR 7190 (1997). Assim, os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água até atingirem a saturação completa. Posteriormente em uma câmara climatizada que mantinha temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 3\%$ até atingirem massa constante e finalmente em uma estufa com temperatura de $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem 0% de umidade.

Os ensaios físicos (ver Figura 13) foram desenvolvidos com a medição das peças em suas faces tangenciais, radiais e longitudinais nos três pontos de umidade (saturação, 12% e 0% de umidade), bem como a pesagem dos corpos de prova para a determinação da massa específica aparente e aparente básica (ver Figura 13).

Figura 13 - Procedimentos utilizados para as propriedades físicas da madeira. A) Medição das dimensões das amostras. B) Pesagem das amostras.



Fonte: acervo do próprio autor (2014).

3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental para a avaliação tecnológica dos painéis OSB foi composto por 4 diferentes composições de camadas e duas porcentagens de resina, totalizando 8 tratamentos (Tabela 1). Cada tratamento foi composto por 3 painéis com dimensões de 490 X 420 X 16 mm.

Tabela 1 - Delineamento experimental

Tratamento	Composição Face-miolo- face	Teor de Resina (%)
1	100%	4.5
2	100%	6.0
3	20:60:20	4.5
4	20:60:20	6.0
5	25:50:25	4.5
6	25:50:25	6.0
7	30:40:30	4.5
8	30:40:30	6.0

Fonte: produção do próprio autor.

Todos os tratamentos foram produzidos utilizando as condições abaixo especificadas:

- Massa específica dos painéis: 0,65 g/cm³
- Dimensões finais do painel (esquadrejado): 440 X 370 X 16 mm
- Resina Fenol Formaldeído (FF), valores apresentados pelo fabricante
 - Teor de sólidos da resina: 51,16%
 - *Gel time*: 8,35 minutos para gel time a 121°C
 - Viscosidade: 480 centipoises (cp)
- Proporção de resina aplicada nas partículas: 6 e 4,5% psp
- Emulsão de parafina, valores apresentados pela empresa fornecedora
 - Teor de sólidos: 48,62%

- Proporção de emulsão de parafina aplicada nas partículas: 1% psp
- Teor de umidade das partículas: em torno de 4%
- Pressão específica utilizada na pré-prensagem à frio: 5 kgf/cm²
- Prensagem a quente
 - Temperatura de prensagem: 180°C.
 - Pressão Específica: 40 kgf/cm².
 - Tempo de Prensagem: 8 min

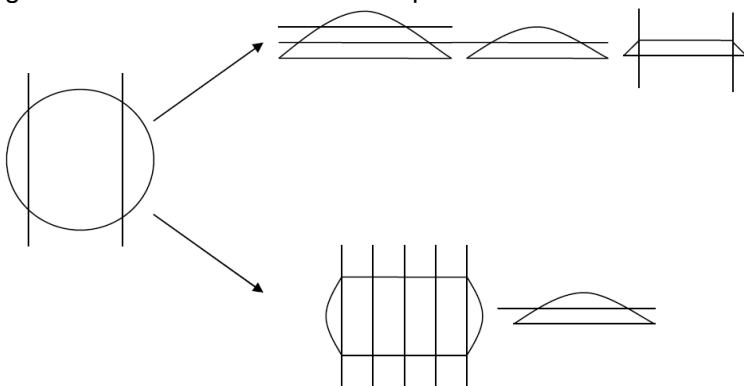
3.4. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS OSB

3.4.1 Desdobro das toras

As toras foram desdobradas na serraria da Empresa *Madepar* Indústria e Comércio de Madeiras LTDA, situada em Lages, Santa Catarina. O sistema de desdobro aplicado foi o tangencial (ver Figura 14), onde as toras passavam por um serra fita simples, retirando após dois cortes, duas costaneiras e um semi bloco central. O semi bloco foi resserrado em uma serra circular múltipla de dois eixos, obtendo desta forma peças de madeira serrada prontas para a geração das partículas. Já as costaneiras provenientes do primeiro e segundo desdobro foram reaproveitadas em duas serras de fita horizontais para a resserragem e em uma serra circular dupla para a operação de refilo. Neste processo de desdobro não foi aplicado o destopo. Obteve-se 70 tábuas com a passagem das 10 toras pelo processo.

As dimensões finais das peças foram de 2,40 m de comprimento, espessura de 25 mm e largura variável de acordo com o diâmetro e qualidade da tora.

Figura 14 - Sistema de desdobro aplicado às toras.

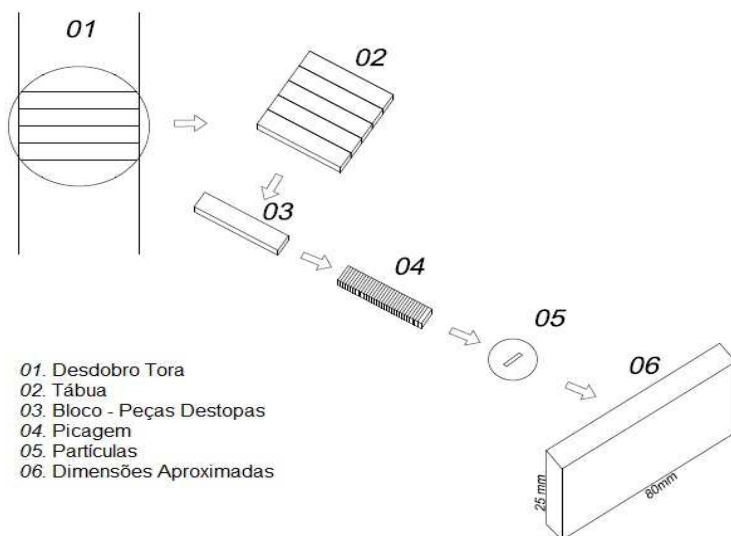


Fonte: GORSKI (2014).

3.4.2 Obtenção das partículas

No Laboratório de Tecnologia da Madeira do CAV/UEDESC, as peças de madeira serrada foram destopadas em peças menores com 80 mm de comprimento (ver Figura 15), determinando assim o comprimento das partículas a serem obtidas no gerador.

Figura 15 - Processo de obtenção das partículas.



Fonte: O autor (2014), adaptado de Mendes (2001).

Para facilitar a retirada das partículas das peças destopadas, efetuou-se a imersão do material em água durante 7 dias, de forma a amolecer a estrutura da madeira, proporcionando maior precisão das dimensões, menor quantidade de partículas irregulares e menor desgaste do equipamento de corte.

As partículas *strand* foram obtidas em um gerador de partículas de madeira da marca MARCONI /modelo MA 685 (ver Figura 16), composto por 4 facas instaladas no rotor e uma faca no batente.

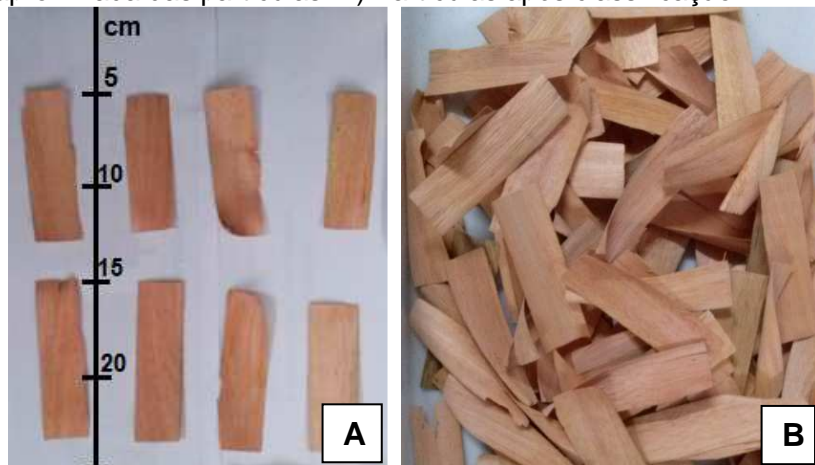
Figura 16 - Processo de preparo e geração das partículas. A) Destopo das peças de madeira serrada. B) Geração das partículas.



Fonte: O Autor (2014)

As peças destopadas foram inseridas uma a uma no equipamento, obtendo partículas com dimensões aproximadas de 80 mm de comprimento, 25 mm de largura e 0,50 mm de espessura. Como houve uma grande heterogeneidade da qualidade das partículas geradas, foi necessária uma classificação manual para homogeneizar o máximo possível a qualidade do material a ser utilizado na produção dos painéis (ver Figura 17).

Figura 17 - Partículas *strand* de *E. benthamii*. A) Dimensão aproximada das partículas. B) Partículas após classificação



Fonte: acervo do autor (2014).

3.4.3 Secagem das partículas

As partículas foram secas até $4\pm 1\%$ de umidade em uma estufa com circulação forçada de ar a temperatura constante de 80°C (Figura 18A). Para tanto, as prateleiras foram substituídas por gaiolas / gavetas dotadas de telas em todas as suas faces (Figura 18B), de modo a aumentar a quantidade de material a ser seco em cada processo.

Figura 18 - Secagem das partículas. A) Estufa com circulação de ar; B) Gaiola com as partículas.



Fonte: acervo do autor (2014).

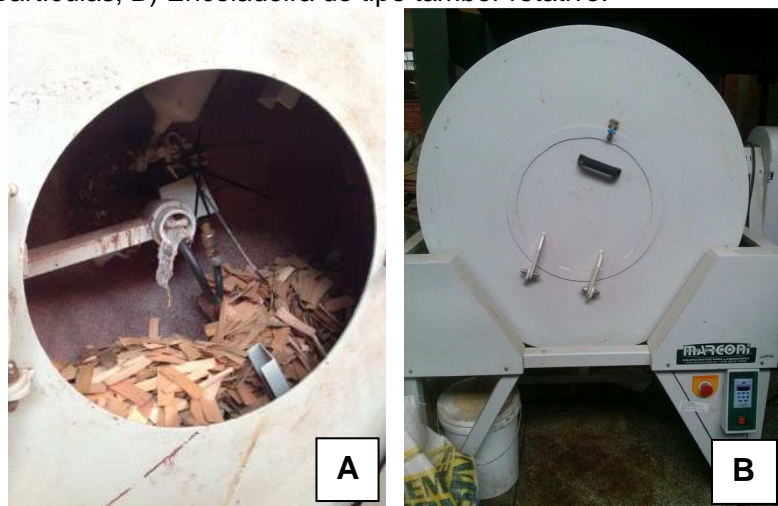
Após a secagem, as partículas foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados para manter a umidade até o momento da produção dos painéis.

3.4.4 Aplicação do adesivo e parafina

O cálculo da quantidade e emulsão de parafina foi baseado nas porcentagens mencionadas anteriormente, na massa específica dos painéis e no teor de sólidos nos componentes do adesivo. Assim, no momento da deposição dos componentes no tambor, efetuava-se a pesagem dos materiais em uma balança de precisão, assegurando o controle das quantidades a serem aplicadas.

A aplicação do adesivo (resina e parafina) foi realizada de forma independente por meio de uma pistola pulverizadora (ver Figura 19A) acionada por um compressor, a qual estava posicionada dentro de um tambor rotativo (ver Figura 19B) que girava a 20 rpm, fazendo desta forma a movimentação das partículas e a uniformização da aplicação dos dois componentes do adesivo.

Figura 19 – Aplicação Adesivo . A) Detalhe da pistola de ar comprimido utilizada para aspersão dos líquidos sobre as partículas; B) Encoladeira do tipo tambor rotativo.



Fonte: acervo do autor (2014).

3.4.5 Orientação das partículas e formação do colchão.

Para produção dos painéis OSB no laboratório, foram construídas três caixas com 490 mm de comprimento, 420 mm de largura por 200 mm de altura, sendo duas subdivididas em partes iguais de 25 mm e fundo removível para orientação das partículas, e uma sem divisórias internas que era posicionada em cima de uma placa de aluzinco para a formação do colchão. O material utilizado para a construção das caixas foi peças de madeira serrada de *Pinus* e painéis de fibra de alta densidade para a formação das divisórias.

Todos os painéis OSB foram produzidos com três camadas, constituídas por face superior, miolo e face inferior, nas proporções de 30:40:30, 25:50:25, 20:60:20 e 100% em uma única orientação. Para tanto, as partículas já encoladas de cada camada foram pesadas em uma balança de precisão e lançadas à mão sobre a caixa orientadora conforme mostra a figura 20, direcionando as partículas para formação da camada inferior do

colchão, posteriormente da camada central e finalizando com a camada superior.

Figura 20 – Orientação das Partículas. A) Pesagem das partículas encoladas; B) Deposição das partículas nas canaletas orientadoras; C) Colchão formado com 3 camadas.



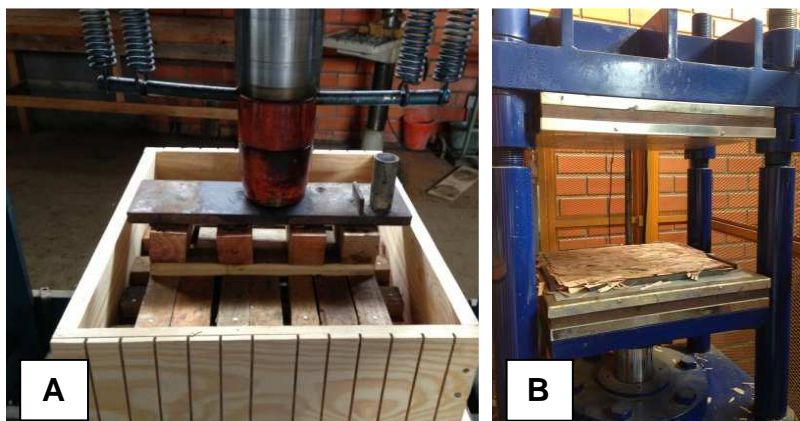
Fonte: O autor (2014).

Cabe salientar que após a formação de cada camada na caixa orientadora, colocava-se esta estrutura em cima da caixa formadora do colchão e removia-se o fundo da caixa de cima, proporcionando a queda das partículas na caixa vazada, camada por camada para a formação do colchão em três camadas, conforme proposto nos tratamentos.

3.4.6 Prensagem e climatização dos painéis

O colchão (partículas + adesivo) foi submetido a uma pré-prensagem a frio (ver Figura 21A) a fim de proporcionar melhor conformação, minimizar a perda de partículas pelas laterais do colchão e facilitar o carregamento da prensa quente. Posteriormente, o colchão de partículas foi colocado na prensa hidráulica (ver Figura 21B) com controle automático de temperatura, pressão, tempos de abertura e fechamento dos pratos, em um ciclo de 40kgf/cm^2 de pressão específica, temperatura de 180°C por um tempo de 8 minutos, para consolidação do painel.

Figura 21 - Processo de prensagem dos painéis. A) Prensa hidráulica manual, utilizada na pré-prensagem a frio. B) Prensa hidráulica, utilizada na prensagem a quente.



Fonte: O autor (2014).

Após o processo de prensagem e restabelecimento da temperatura ambiente, os painéis foram armazenados em uma sala climatizada com temperatura de $20\pm3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm2\%$ até atingirem a umidade de equilíbrio. Este ponto foi verificado através de pesagens periódicas de 5 em 5 dias até o momento em que apresentaram peso constante.

3.4.7 Obtenção dos corpos de prova para os ensaios tecnológicos

Após o período de climatização, foi realizado o esquadrejamento dos painéis na Marcenaria do Senai – Unidade Lages, com auxílio de uma serra circular esquadrejadeira de forma a minimizar os defeitos de borda. Desta forma, foi retirado 2,5 cm de cada borda, o que deixou o painel com dimensões finais de 440 X 370 mm. Os corpos de prova foram retirados de acordo com o *layout* apresentado na figura 22, o qual teve como base as dimensões estabelecidas nas normas de referência.

Figura 22 - *Layout* de retirada dos corpos de prova do painel. A) Desenho e dimensão dos corpos de prova; B) Painel após esquadrejamento e retirada dos corpos de prova.



Fonte: O autor (2014) adaptado de Mendes (2001)

Após a confecção dos corpos de prova, o material retornou a sala de climatização, permanecendo armazenados até o momento da execução dos ensaios físicos e mecânicos (ver Figura 23).

Figura 23 - Corpos de prova armazenados na sala de climatização.



Fonte: acervo do autor (2014)

3.5 ENSAIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS

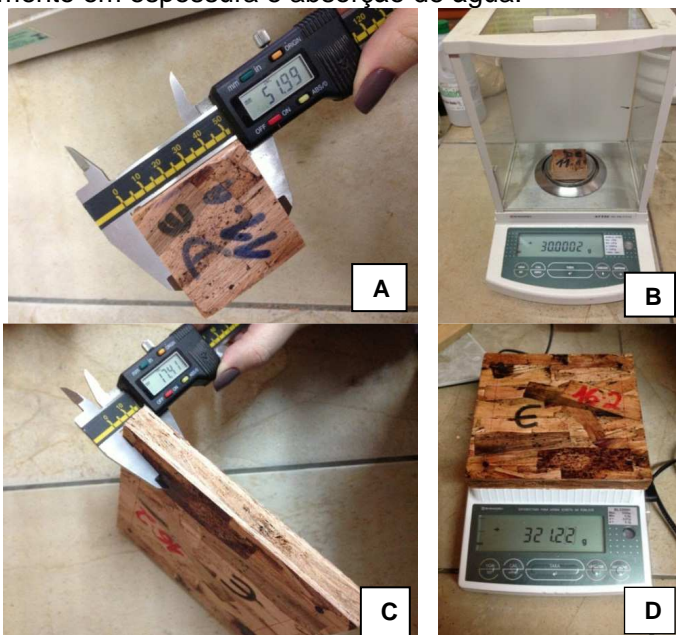
As dimensões dos corpos de prova, bem como a execução dos ensaios foram feitas de acordo com os procedimentos da DIN e da ASTM, sendo que para os ensaios físicos foram utilizados paquímetro, micrômetro, balança de precisão e estufa, além da água para os ensaios relacionados à absorção e inchamento em espessura. Já para os ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal de ensaios (EMIC DL-300 kN). As propriedades dos painéis avaliadas no presente estudo foram:

- Propriedades físicas (massa específica, absorção de água e inchamento em espessura) e ligação interna: ASTM D1037 (1993).

- Flexão estática paralela e perpendicular (MOR e MOE):
DIN 52362 (1982).

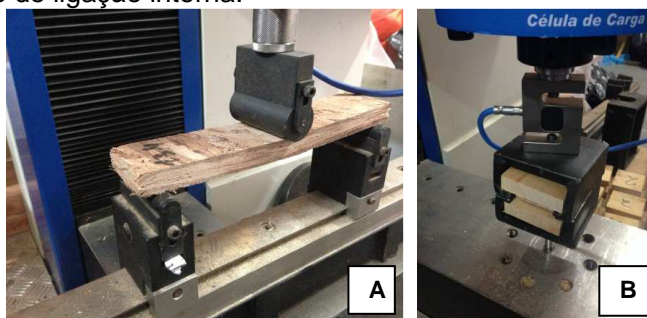
Nas figuras 24 e 25 estão apresentados os ensaios físicos e mecânicos realizados no presente estudo.

Figura 24 - Ensaios físicos nos painéis. A e B) Medição e pesagem dos corpos de prova para cálculo da massa específica. C e D) Medição e pesagem dos corpos de prova para cálculo de inchamento em espessura e absorção de água.



Fonte: acervo do autor (2014).

Figura 25 - Ensaios mecânicos. A) Ensaio de flexão estática; B) Ensaio de ligação interna.



Fonte: acervo do autor (2014).

Outra variável determinada nas propriedades físicas foi a razão de compactação, também denominada razão de compressão ou taxa de compressão, sendo determinada pela relação entre a massa específica do painel e a massa específica da madeira, conforme apresentado na equação 1.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na avaliação dos resultados relativos às propriedades físicas da madeira sólida do *E. benthamii* foi utilizada uma análise descritiva simples com determinação das médias, valores máximos e mínimos, além do coeficiente de variação dentro de cada variável analisada. O objetivo desta etapa era o conhecimento das características físicas da espécie, sem a utilização de tratamentos diferenciados.

Para a análise dos painéis foi realizado o Teste de Shapiro – Wilk para verificar se as variáveis quantitativas contínuas apresentavam distribuição normal e o Teste de Levene para determinar a homogeneidade das variâncias. Após comprovada a normalidade e a homogeneidade dos dados, foi aplicada a Análise Fatorial (fatores 2 x 4, sendo resina e composição). Havendo rejeição da hipótese de igualdade, foi empregado o Teste de Tukey a 95% de probabilidade para a comparação de médias.

Com a finalidade de inferir sobre a qualidade dos painéis produzidos, os valores médios de cada propriedade avaliada, por tratamento, foram comparados aos valores mínimos especificados na norma canadense CSA 0437 (199

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA SÓLIDA

4.1.1 Propriedades físicas

4.1.1.1 Massa específica

Os resultados obtidos para a massa específica do *E. benthamii* estão apresentados na tabela 2, com seus respectivos valores mínimos, máximos e os coeficientes de variação.

Tabela 2 - Valores médios de massa específica do *E. benthamii*.

Massa específica	Média (g/cm³)	Valor máx. (g/cm³)	Valor mín. (g/cm³)	CV (%)
0%	0,63	0,76	0,55	7,34
12%	0,68	0,80	0,57	6,55
Verde	1,02	1,09	0,94	4,67
Básica	0,53	0,59	0,45	6,14

CV: Coeficiente de Variação. Fonte: produção do próprio autor

Para massa específica a 0%, verifica-se que o valor obtido para o *E. benthamii* foi de 0,63 g/cm³, superior ao observado por Müller (2013) que para a mesma espécie e condição de umidade encontrou o valor de 0,56 g/cm³. França e Cunha (2012), também para *E. benthamii* com 13 anos de idade observaram massa específica a 0% de 0,65 g/cm³. Os resultados corroboram com os encontrados na literatura para a idade similar, porém acima do encontrado por Müller (2013) em função da idade reduzida das árvores estudadas pela autora, 5 anos.

Comparando com outras espécies do mesmo gênero, tem-se Rocha (2000) que avaliando duas espécies de eucalipto, observou os valores de 0,57 g/cm³ para o *E. grandis* e 0,77 g/cm³ para o *E. dunnii*. Já Rosso (2010), ao estudar as propriedades da madeira de *E. grandis* aos 27 anos de idade, verificou o valor de 0,46 g/cm³.

Em relação à massa específica aparente a 12%, é relevante destacar que sua determinação nesta condição é

relativamente importante, visto que as indústrias madeireiras que geram produtos de alto valor agregado (móveis, pisos, portas, molduras, etc) utilizam valores das propriedades na umidade de equilíbrio de 12% por estarem mais próximos da condição de uso final (TRIANOSKI, 2012).

Desta forma, o resultado observado para massa específica a 12% da madeira de *E. benthamii* foi de 0,68 g/cm³, superior ao observado por Müller (2013) que encontrou 0,61g/cm³, e assim como para a massa específica aparente a 0%, também está dentro da faixa de valores observado para outras espécies de *Eucalyptus*, ficando próximo aos resultados obtidos por Rodrigues (2002), que ao estudar a madeira de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. citriodora*, verificou valores entre 0,67 e 1,0 g/cm³. Entretanto, foi superior aos resultados observados por Lima e Garcia (2010), que estudando a madeira de *E. grandis* de 21 anos de idade, verificaram o valor de 0,49 g/cm³, assim como os resultados de Evangelista *et al.* (2010) que para a *E. urophylla* encontraram 0,55 g/cm³.

O aumento da massa específica em função do acréscimo de umidade é observado para todas as espécies devido à incorporação de água nos espaços celulares e intercelulares, na parede celular e nos espaços submicroscópicos da madeira, como apresentado por Tsoumis (1991) que encontrou para teores de umidade de 0%, 10%, 20%, 30%, 50% e 100% para Balsa (*Ochroma pyramidale*) 0,130 g/cm³, 0,139 g/cm³, 0,148 g/cm³, 0,156 g/cm³, 0,180 g/cm³ e 0,240 g/cm³. Já para Faia (*Fagus sp.*), o autor encontrou 0,700 g/cm³, 0,719 g/cm³, 0,736 g/cm³, 0,750 g/cm³, 0,866 g/cm³ e 1,154 g/cm³. No presente estudo a variação de massa específica em função ao aumento do teor de umidade foi de 0,63 para 0% até 1,02 g/cm³ no estado de saturação.

Cabe destacar também que de acordo com Kollmann e Coté (1984), que o aumento da massa específica com o incremento do teor de umidade é pequeno até o PSF, porém apresenta maior amplitude a partir deste ponto até atingir o estado de saturação.

Na condição de teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF) até o estado de saturação onde a madeira atingiu massa específica de 1,02 g/cm³, pode-se dizer praticamente não há variação dimensional da madeira e

incremento / diminuição das propriedades mecânicas, como verificado por França e Cunha (2012) que ao estudar a relação entre resistência / rigidez e teor de umidade da madeira de *E. benthamii*, concluíram que os valores de módulo de ruptura e elasticidade aumentaram até o PSF, porém acima deste ponto os valores encontrados para resistência e rigidez apresentaram uma certa estabilidade.

A massa específica básica observada neste estudo foi de $0,53 \text{ g/cm}^3$, valor este também superior aos valores observados para a mesma espécie. Nisgoski *et al.* (1998) observaram massa específica básica de $0,47 \text{ g/cm}^3$ para *E. benthamii*, resultado semelhante a este estudo foi verificado por Bufolo *et al.* (2009), que observou para a espécie o valor de $0,50 \text{ g/cm}^3$. Müller (2013) obteve o valor de massa específica básica de $0,52 \text{ g/cm}^3$, bem próximo do valor observado no presente estudo. Pereira *et al.* (2000), para *E. benthamii* de diferentes idades, verificaram aos quatro anos de idade a massa específica básica média da árvore de $0,40 \text{ g/cm}^3$, enquanto aos sete anos o valor observado foi de $0,47 \text{ g/cm}^3$.

Comparando com outras espécies do gênero *Eucalyptus* Oliveira *et al.* (2005) encontraram a massa específica básica de $0,73 \text{ g/cm}^3$ para *E. citriodora*, $0,72 \text{ g/cm}^3$ para *E. cloeziana*, e *E. paniculata*, $0,66 \text{ g/cm}^3$ para *E. tereticornis*, $0,60 \text{ g/cm}^3$ para *E. pilularis*, $0,54 \text{ g/cm}^3$ para *E. urophylla*, e $0,49 \text{ g/cm}^3$ para *E. grandis*.

Árvores de *E. pilularis* e *E. grandis*, aos 10 anos de idade, em Salesópolis, SP, exibiram valores de massa específica básica da madeira de $0,50$ e $0,40 \text{ g/cm}^3$, respectivamente (TOMAZELLO FILHO, 1985), sendo as diferenças atribuídas, da mesma forma, à idade das árvores, entre outros fatores. O aumento da massa específica básica da madeira de árvores de eucalipto varia com a idade, com tendência de estabilização após a formação da madeira adulta, havendo, portanto, necessidade de se determinar a idade das árvores para fins de comparação, bem como as condições do sítio (RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993).

4.1.1.2 Retratibilidade

A propriedade de contração é de elevada importância, principalmente quando se utiliza a madeira em produtos sólidos. Estas propriedades afetam diretamente a estabilidade dimensional e podem inviabilizar a geração de determinados produtos, como pisos, esquadrias, móveis, portas e outros produtos de maior valor agregado (REMADE, 2001).

Os resultados encontrados para a retratibilidade da madeira das peças de *E. benthamii* estão apresentados na tabela 3, onde pode ser observado que os valores estão dentro dos intervalos indicados por Rocha (2002), 4 a 14% para o sentido tangencial e 2 a 8% para o radial, entretanto acima do intervalo para a contração longitudinal, que segundo o autor seria entre 0,1 a 0,3%.

Tabela 3 - Valores médios de contrações lineares e volumétrica para a madeira de *E. benthamii*.

Contração	Média (%)	Valor máx (%)	Valor mín (%)	CV (%)
Volumétrica	19,74	26,02	15,73	15,01
Tangencial	12,56	18,00	9,52	17,97
Radial	7,22	8,87	5,64	13,40
Longitudinal	0,66	2,15	0,27	65,90

CV: Coeficiente de Variação. Fonte: produção do próprio autor

Observa-se que a contração ocorre mais intensamente no sentido transversal das fibras do que no longitudinal. De acordo com Panshin e De Zeuw (1980) e Moreira (1999), esse comportamento ocorre em função de sua característica anisotrópica. Os autores afirmam que a maior alteração dimensional da madeira se manifesta no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial e, praticamente, desprezível no sentido longitudinal. Segundo Klock (2000), a pequena alteração nas dimensões no sentido longitudinal, em relação às demais dimensões, se deve à organização vertical da maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira, o que faz com que o número de paredes por centímetro quadrado seja bem menor nesse sentido.

De acordo com a tabela 3, observa-se que os valores médios encontrados para contração estão próximos aos valores observados por Higa e Pereira (2003), que ao estudarem os usos

potenciais desta mesma espécie, verificaram os valores médios de 19,5%, 13,7%, 6,9% e 0,3% para as contrações volumétrica, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. Müller (2013) também para *E. benthamii* encontrou os valores de 18,52% para a contração volumétrica, 13,87% para tangencial, 5,91% para radial e 0,53% para contração longitudinal. A autora também relata que esses valores são considerados elevados demonstrando a heterogeneidade do lenho da espécie estudada, o que compromete diretamente a sua utilização nas aplicações que exigem uma maior estabilidade dimensional.

Higa e Pereira (2003) através de seus resultados, afirmam que trata-se de madeira dimensionalmente instável, com índices elevados de contração volumétrica e de coeficiente de anisotropia, fatores que explicam a alta intensidade de defeitos observada na madeira serrada, mesmo em condições amenas de secagem, em temperatura ambiente e à sombra.

Sobre o índice de contração tangencial, verifica-se que o valor médio obtido neste estudo está de acordo com os resultados observados por Rocha (2000) que para *E. grandis* encontrou o valor de 10,06% e para *E. dunni* o valor de 11,8%. Oliveira et al. (2010), avaliando a retratibilidade da madeira de sete espécies de eucaliptos com sete anos de idades encontrou valores entre 9,3% (*E. cloeziana*) e 15,5% (*E. paniculata*). Na contração radial, os valores observados para *E. benthamii* são próximos aos observados para outras espécies de eucalipto. Rocha (2000) para *E. grandis* encontrou o valor de 7,7% e *E. dunni* 7,4%.

Quando comparadas com outras espécies do gênero, Silveira et al. (1999), ao avaliar quais os efeitos do espaçamento sobre a variação dimensional de clones híbridos do gênero *Eucalyptus*, obtiveram para retratibilidade longitudinal resultados compreendidos de 0,29 a 0,31%. Já Marchesan et al. (2005), ao estudar o *E. microcorys* com 28 anos de idade, obtiveram como valor médio 0,28%. Para *E. grandis* o valor encontrado por Rocha (2000) foi de 0,3% e de 0,2% para *E. dunni*.

Bao et al. (2001), ao caracterizarem a madeira de *E. citriodora*, verificaram uma contração tangencial e radial máxima de 10,06% e 7,39% no lenho juvenil, e, respectivamente de 10,61% e 8,70% no lenho adulto, ou seja, valores inferiores para

o sentido tangencial e compatível no sentido radial, quando comparados com os resultados do presente estudo.

4.1.1.3 Anisotropia de contração e coeficiente de retratibilidade

Um dos mais importantes índices observados a partir das contrações é a relação entre contração tangencial e radial, denominado de anisotropia de contração ou coeficiente de anisotropia, o qual se apresenta de elevada importância prática (KOLLMANN, 1959). Na tabela 4 são apresentados os coeficientes de retratibilidade tangencial e radial, assim como a anisotropia de contração.

Tabela 4 - Valores médios de coeficiente de retratibilidade e anisotropia de contração para o *E. benthamii*.

	Média (%)	Valor Máximo (%)	Valor Mínimo (%)	Coef. Var (%)
Coeficiente de Retratibilidade (%/%)				
Tangencial	0,46	0,57	0,35	11,18
Radial	0,35	0,44	0,29	10,09
Anisotropia de Contração	2,52	4,2	1,39	30,92

Fonte: produção do próprio autor

A madeira de *E.benthamii* apresentou para coeficiente de retratibilidade o valor de 0,46 %/% para o sentido tangencial e 0,35 %/% para o radial, com um fator de anisotropia de 2,52.

Os valores para coeficiente de retratibilidade estão próximos aos encontrados por Pelozzi *et al.* (2012), que apresentam valores de 0,42%/ e 0,31%/ para coeficientes de retratibilidade tangencial e radial, respectivamente, no lenho adulto de *E. grandis* e no lenho juvenil de 0,33%/ e 0,26%/, respectivamente. Para outras espécies como *Fagus sp.*, *Tectona grandis* e *Ocotea puberula*, Moreschi (2010) apresenta os valores respectivos de 0,45, 0,24 e 0,27%/ para tangencial e 0,19, 0,13 e 0,12%/ para radial.

A anisotropia de contração apresentou valor próximo ao encontrado por Higa e Pereira (2003) que encontraram um fator anisotrópico de 2,0 para a mesma espécie, assim como Müller (2013) que observou um valor de 2,36. Segundo Freitas e Ponce (1979), a retratibilidade tangencial é o dobro da radial para a maioria dos eucaliptos.

Para o *E. grandis*, Vital e Della Lucia (1986) observaram para a espécie uma anisotropia de contração de 2,11. Oliveira (1997) encontrou um valor de 2,1.

De acordo com Oliveira *et al.* (2010), o fator de anisotropia pode variar de 1,3 a 1,4 para madeiras muito estáveis a mais de 3 para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como ocorre para espécies de rápido crescimento e elevadas tensões de crescimento, como no caso de espécies do gênero *Eucalyptus*.

Estabelecendo-se classes de qualidade em função do coeficiente de anisotropia, segundo a classificação apresentada por Klitzke (2007), verifica-se que a espécie apresentou anisotropia de contração no intervalo de 2,1 a 2,5, caracterizando espécie com madeira de qualidade média baixa, nas quais podem ocorrer defeitos como rachaduras, empenamentos, trincas superficiais, entre outros, caso o processo de secagem não seja bem conduzido.

Para Klock (2000) a anisotropia de contração igual a 1 seria a ideal, representando similar alteração nos planos tangencial e radial e não provocando tensões internas e consequentemente ocasionando defeitos como curvaturas, torções, rachaduras e empenamentos durante o processo de secagem, no entanto isso não ocorre na prática. Segundo Rocha (2000), a anisotropia de contração avaliada de forma isolada não caracteriza ou define uma determinada espécie de madeira como estável, podendo gerar uma falsa sensação de estabilidade.

4.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS

4.2.1 Massa específica e razão de compactação

Os valores médios de massa específica e razão de compactação dos painéis OSB de cada tratamento estão

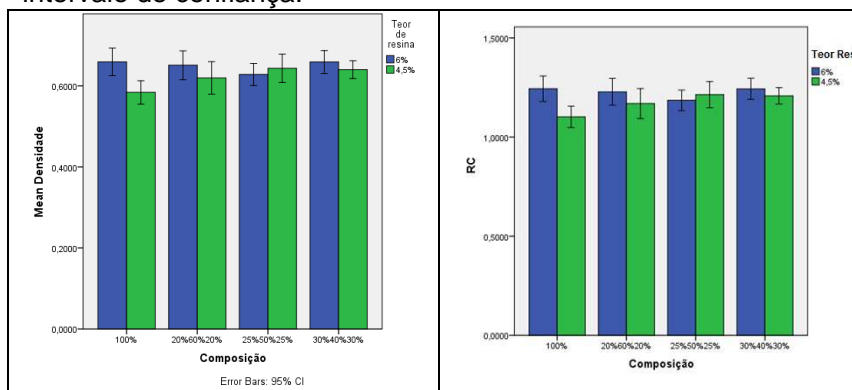
apresentados na tabela 5 e nas figura 26, com seus respectivos coeficientes de variação e intervalos de confiança, onde pode ser observado que os valores para massa específica variaram de 0,58 g/cm³ a 0,66 g/cm³. Para razão de compactação o intervalo foi de 1,10 a 1,24, ambos com limite inferior para o tratamento T1 e superior para o T2 e T8.

Tabela 5 - Valores médios de massa específica e razão de compactação.

Tratamentos	Massa específica (g/cm³)	Razão de Compactação
T1 (100%, 4,5%)	0,58 b (4,27)	1,10 b (4,27)
T2 (100%, 6,0%)	0,66 a (4,50)	1,24 a (4,50)
T3 (20-60-20, 4,5 %)	0,62 ab (5,62)	1,17 ab (5,62)
T4 (20-60-20, 6%)	0,65 a (4,78)	1,23 a (4,78)
T5 (25-50-25, 4,5%)	0,64 ab (4,74)	1,21 ab (4,74)
T6 (25-50-25, 6%)	0,63 ab (3,78)	1,18 ab (3,78)
T7 (30-40-30, 4,5%)	0,64 a (2,98)	1,20 a (2,98)
T8 (30-40-30, 6%)	0,66 a (3,73)	1,24 a (3,73)
Média Geral	0,63	1,20
Coef. Variação	3,66	3,66

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Valores entre parênteses correspondem ao Coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor

Figura 26 - Média da densidade e razão de compactação e intervalo de confiança.



Fonte: produção do próprio autor.

O valor médio de massa específica entre os tratamentos foi de $0,63 \text{ g/cm}^3$, sendo que a meta era de $0,65 \text{ g/cm}^3$. Ao mesmo tempo, observa-se diferença estatística entre os tratamentos, onde o tratamento T1 apresentou os menores valores, diferindo estatisticamente dos tratamentos compostos por 6% de resina (T2, T4, T6 e T8).

Os painéis produzidos podem ser classificados, segundo Iwakiri (2005) como painéis de média massa específica, por apresentarem massa específica entre $0,59$ e $0,80 \text{ g/cm}^3$, com exceção aos painéis do tratamento T1 que apresentaram massa específica média de $0,57 \text{ g/cm}^3$, ou seja, baixa massa específica. Segundo a ANSI A208.1 (1993), os painéis também são classificados como de média massa específica, exceção feita aos painéis dos tratamentos T1, T3 e T7 que ficaram abaixo de $0,64 \text{ g/cm}^3$.

Zhow (1990) relata que a faixa ideal de massa específica dos painéis para manufatura de OSB está entre $0,65$ e $0,70 \text{ g/cm}^3$. No Canadá, as indústrias produzem painéis OSB com massa específica na faixa de $0,63$ a $0,67 \text{ g/cm}^3$ (CLOUTIER, 1998). No Brasil, os painéis OSB são produzidos com massa específica entre $0,60$ e $0,65 \text{ g/cm}^3$, variando de acordo com as dimensões dos painéis (LP BRASIL, 2012).

A presença da diferença estatística entre os tratamentos demonstra que não houve homogeneidade no processo de produção e de deposição das partículas no colchão durante a formação dos painéis. Segundo Iwakiri *et al.* (2008), as eventuais diferenças podem ser atribuídas sobretudo às condições operacionais, relacionadas à perda de material durante o processo de formação do colchão e de prensagem dos painéis, além do retorno em espessura após a retirada dos painéis da prensa.

Os painéis que apresentaram valores de massa específica superiores, poderão ter suas propriedades mecânicas superiores aos demais como relatado por Iwakiri *et al.* (2008), Mendes *et al.* (2003), Sobral Filho (1982), que encontraram valores de MOE e MOR para flexão estática e ligação interna aumentados com o aumento da massa específica dos painéis. No que diz respeito às propriedades físicas, Saldanha (2004) observou que o aumento da massa específica dos painéis resultou em redução da absorção de água, bem como em aumento do inchamento em espessura e também da taxa de não retorno em espessura.

Mendonça (2008), trabalhando com clones da espécie *E. urophylla*, obteve massa específica dos painéis OSB entre 0,62 e 0,65 g/cm³. Ainda, Iwakiri *et al.* (2004) observaram valores de 0,68 a 0,71 g/cm³ para painéis de *Eucalyptus* sendo que a espécie *E. saligna* originou as massa específicas mais elevadas.

Comparando os resultados encontrados no presente estudo para massa específica, verifica-se que corroboram com os resultados obtidos por Mendonça (2008), porém ficaram abaixo do encontrado por Iwakiri *et al.* (2004).

Para razão de compactação, o valor médio encontrado foi de 1,18, sendo que os resultados entre os tratamentos seguiram a mesma tendência da massa específica, tendo em vista que foi utilizada uma única espécie com massa específica de 0,53 g/cm³, ou seja, diferença estatística entre os mesmos tratamentos.

Todos os valores de razão de compactação do presente estudo ficaram abaixo do intervalo recomendado por Kelly (1977), Moslemi (1974), Tsoumis (1991) e Maloney (1993) que é de 1,3 a 1,6. Assim, pode-se dizer que os valores obtidos no presente estudo poderão influenciar negativamente sobre as

propriedades físicas e mecânicas dos painéis, tendo que necessariamente realizar ajustes na produção, como aumento da massa específica dos painéis, incorporação de uma maior quantidade de resina o que elevaria o custo, ou ainda a mistura com outras espécies de menor massa específica, como as pertencentes ao gênero *Pinus*, que são tradicionalmente utilizadas pelas indústrias do setor.

Iwakiri *et.al* (2008) obteve razões de compactação de 1,12 para painéis produzidos com *E. grandis* e massa específica de 0,67g/cm³ e 1,00 para *E. dunni* com massa específica de 0,68 g/cm³. Porém quando aumentou os valores de massa específica para 0,83 e 0,91 g/cm³, conseguiu aumentar a razão de compactação para 1,38 e 1,34, respectivamente. Neste caso, a influência da razão de compactação fica bem evidente para os painéis de *E. dunnii* com massa específica nominal de 0,70 g/cm³ cuja razão de compactação de 1,00 foi o menor valor.

Gouveia *et al.* (2003), trabalhando com estruturas de colchão semelhantes, encontrou valores superiores para razão de compactação, 1,54 para mistura de *P. elliottii* e *E. grandis*; 1,51 na formação E:P:E e 1,59 na P:E:P. Demonstrando que a mistura com espécies de menor massa específica pode ser uma solução para elevar a razão de compactação.

Quando se analisa de forma isolada, o efeito da proporção de camadas na massa específica e na razão de compactação dos painéis (Tabela 6), evidencia-se que para os painéis produzidos com 6% de resina não houve diferença estatística entre os tratamentos. Já para os produzidos com 4,5%, os painéis com 100% das partículas orientadas no sentido paralelo obtiveram média estatisticamente inferior às demais.

Tabela 6 - Influência da proporção das camadas na massa específica e na razão de compactação.

	Camadas	Massa específica (g/cm³)	Razão de Compactação
4,5%	100%	0,584 b	1,102 b
	20-60-20%	0,620 a	1,169 a
	25-50-25%	0,643 a	1,214 a
	30-40-30%	0,640 a	1,208 a
6%	100%	0,659 a	1,244 a
	20-60-20%	0,651 a	1,228 a
	25-50-25%	0,628 a	1,185 a
	30-40-30%	0,659 a	1,243 a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Quando se avalia a influência da porcentagem de resina nas variáveis (Tabela 7), observa-se que as médias dos painéis com 4.5% e 6% de resina foram equivalentes em todas as composições, com exceção do tratamento com 100% de partículas orientadas no sentido paralelo, que com 4,5% de resina, apresentou média inferior de 0,584 g/cm³ para massa específica e 1,102 para razão de compactação.

Tabela 7 - Influência da resina na massa específica e na razão de compactação.

	Teor de Resina	Massa específica (g/cm³)	Razão de Compactação
100	4,5%	0,584 b	1,102 b
	6%	0,659 a	1,244 a
20:60:20	4,5%	0,620 a	1,169 a
	6%	0,651 a	1,228 a
25:50:25	4,5%	0,643 a	1,214 a
	6%	0,628 a	1,185 a
30:40:30	4,5%	0,640 a	1,208 a
	6%	0,659 a	1,243 a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Gouveia *et al.* (2003) avaliaram a influência de três teores de adesivo fenol formaldeído (4, 6 e 8%) nas propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB, os quais foram fabricados com dois tipos de madeira, *E. grandis* e *P. elliptii*. O aumento do teor de adesivo ocasionou melhoria em todas as propriedades dos painéis. De acordo com os autores, a adesão entre as camadas foi favorecida com os aumentos na quantidade de adesivo e, conseqüentemente, por sua disponibilidade por área superficial de partículas, proporcionando dessa maneira, melhoria na ligação entre elas.

4.2.2 Teor de umidade

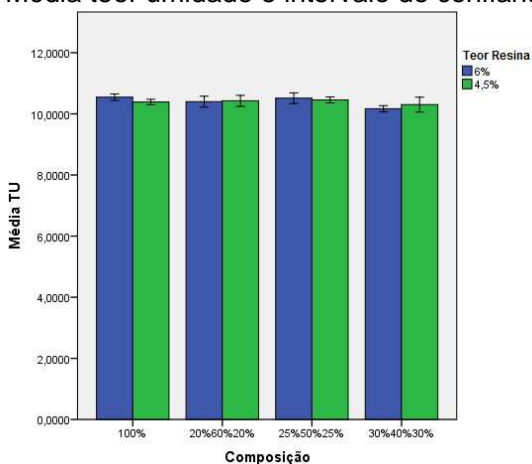
Os valores médios do teor de umidade dos painéis OSB para cada tratamento são apresentados na tabela 8 e na figura 27. O valor médio do teor de umidade entre os tratamentos foi de 10,4%, sendo que de forma geral, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, exceção feita ao tratamento T8 apresentou média inferior às demais, sendo equivalente somente com os tratamentos T3, T4 e T7.

Tabela 8 - Valores médios de teor de umidade.

Tratamentos	Teor de umidade (%)
T1 (100%, 4,5%)	10,4 a (0,75)
T2 (100%, 6,0%)	10,5 a (0,87)
T3 (20-60-20, 4,5%)	10,4 ab (1,50)
T4 (20-60-20, 6%)	10,4 ab (1,49)
T5 (25-50-25, 4,5%)	10,4 a (0,81)
T6 (25-50-25, 6%)	10,5 a (1,45)
T7 (30-40-30, 4,5%)	10,3 ab (2,05)
T8 (30-40-30, 6%)	10,2 b (0,89)
Média Geral	10,4
Coef. Variação (%)	1,31

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

Figura 27 - Média teor umidade e intervalo de confiança



Fonte: produção do próprio autor.

Os valores estão satisfatórios quando comparados com autores como Souza (2012) que encontrou valores entre 8,2 e 10,3% para painéis OSB produzidos com *Pinus sp.*, Hillig *et al.* (2004) que encontraram valores entre 3,74% e 8,78% para painéis *flakeboards* de *P. elliottii*, *E. grandis* e *Acacia mearnsii*. Em escala comercial, a empresa fabricante de painéis OSB no Brasil, LP *Building Products*, indica que o teor de umidade médio desse tipo de painel encontra-se na faixa de $8\pm 3\%$ (LP BRASIL, 2014).

Verifica-se também que os tratamentos apresentaram menor umidade de equilíbrio em relação à madeira sólida, quando colocados sob a mesma condição ambiental, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $65\pm 3\%$ de umidade relativa. A justificativa para esta redução de higroscopicidade é devido à redução da madeira em partículas e a posterior incorporação de resinas e parafinas e, principalmente pela aplicação de altas temperaturas e pressão durante a consolidação do painel (WU, 1999), a qual promove a perda ou rearranjo das regiões higroscópicas da madeira, deixando o painel menos reativo a água (MENDES, 2001).

Na tabela 9 são apresentados os valores médios do teor de umidade avaliando o fator proporção de camadas, onde pode ser verificado que não houve diferença significativa entre os tratamentos com 4,5% de resina, mostrando que este fator não influencia na umidade de equilíbrio dos painéis. Para os painéis com 6%, a composição com 100% da camada orientada no sentido paralelo apresentou média superior (10,546%), diferindo estatisticamente somente da composição 30-40-30% (10,166%).

Tabela 9 - Influência da proporção das camadas no teor de umidade.

	Camadas	Teor de umidade (%)
4,5%	100%	10,385 a
	20-60-20%	10,426 a
	25-50-25%	10,456 a
	30-40-30%	10,302 a
6%	100%	10,546 a
	20-60-20%	10,399 ab
	25-50-25%	10,512 a
	30-40-30%	10,166 b

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

A tabela 10 apresenta a influência da resina no teor de umidade dos painéis, onde nota-se novamente que não houve diferença significativa nos valores de TU para painéis produzidos com 4,5 e 6% de resina.

Tabela 10 - Influência da resina no teor de umidade.

	Teor de resina	Teor de umidade (%)
100%	4,5%	10,385 a
	6%	10,546 a
20-60-20%	4,5%	10,426 a
	6%	10,399 a
25-50-25%	4,5%	10,456 a
	6%	10,512 a
30-40-30%	4,5%	10,302 a
	6%	10,166 a

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si.
Fonte: produção do próprio autor.

Mendes *et al.* (2006) avaliando a influência do teor de adesivo nas propriedades dos painéis de OSB produzidos com *Eucalyptus sp.*, não observou diferença significativa para umidade de equilíbrio entre os painéis produzidos com fenol-formaldeído aplicado a teores de 3% 4,5% e 6%.

4.2.3 Absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura

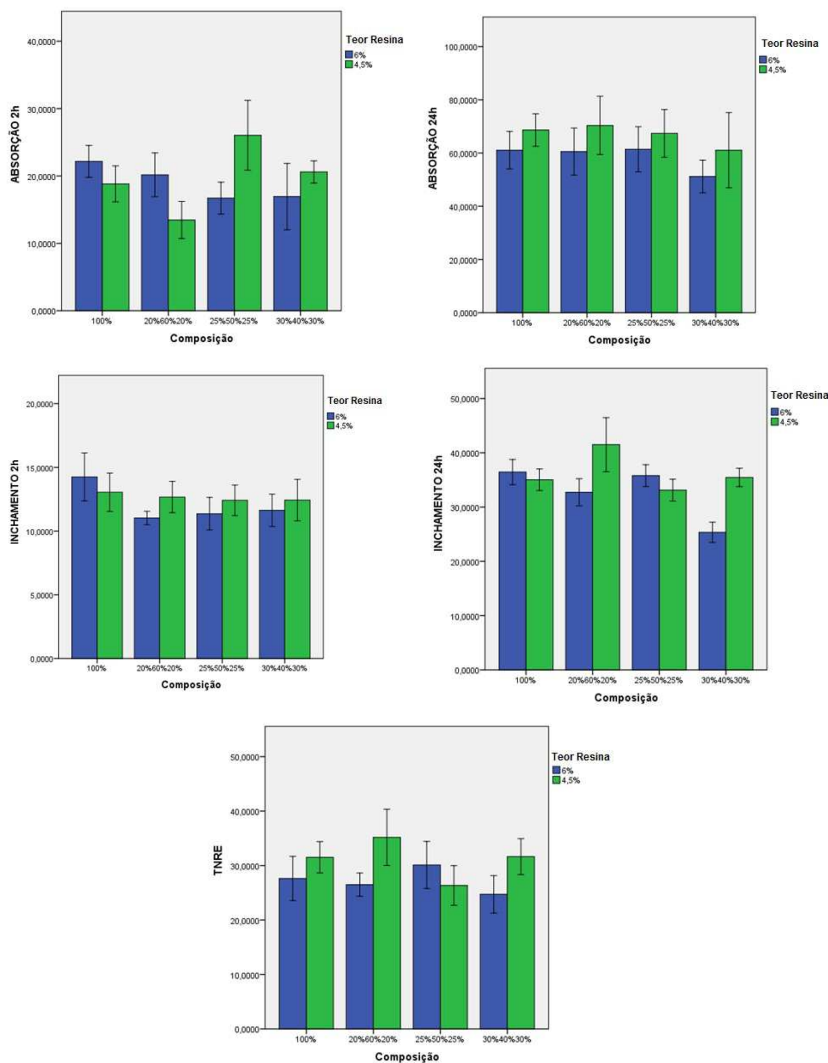
Os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis OSB após duas horas (AA2h) e vinte e quatro horas de imersão (AA24h) estão apresentados na tabela 11 e na figura 28, juntamente com a taxa de não retorno para cada tratamento (TNRE).

Tabela 11 - Valores médios de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.

Tratamento	Absorção (%)		Inchamento (%)		TNRE (%)
	2h	24h	2h	24	
T1	18,82 ab (12,34)	68,64 a (7,73)	13,05 ab (10,04)	35,04 bc (4,95)	31,51 b (7,97)
T2	22,16 b (9,30)	61,05 a (10,09)	14,25 b (11,48)	36,45 bc (5,54)	27,63 ab (12,81)
T3	13,46 a (17,77)	70,37 a (13,54)	12,67 ab (8,41)	41,49 c (10,43)	35,18 b (12,76)
T4	20,17 b (14,05)	60,53 a (12,71)	11,03 a (4,12)	32,73 b (6,65)	26,49 a (7,01)
T5	26,04 b (17,32)	65,39 a (11,58)	12,41 ab (8,40)	33,17 b (5,29)	26,34 ab (12,02)
T6	16,71 ab (12,31)	61,43 a (11,99)	11,36 ab (9,75)	35,79 bc (4,88)	30,11 ab (12,51)
T7	20,59 b (6,96)	61,05 a (20,11)	12,43 ab (11,39)	35,45 bc (4,16)	31,64 b (9,06)
T8	16,94 ab (25,29)	51,19 a (10,39)	11,63 ab (9,51)	25,35 a (6,42)	24,71 a (12,11)
Média Geral	19,36	62,71	12,35	34,43	29,20
Coef Var. (%)	16,29	13,14	9,40	14,93	15,06

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

Figura 28: Médias para absorção de água (2 e 24hrs), inchamento em espessura (2 e 24hrs), taxa de não retorno em espessura e intervalos de confiança.



Fonte: produção do próprio autor.

Os valores de absorção de água após 2 horas variaram de 13,46% no tratamento T3 a 26,04% no T5, sendo que menor valor foi equivalente somente aos tratamentos T1, T6 e T8, enquanto que para 24 horas, os valores de absorção variam de 51,19% no tratamento T8 a 70,37% no T3, não havendo diferença estatística para a variável analisada. Cabe destacar que a norma CSA 0437 (1993) não especifica valores para a propriedade física de absorção de água, contudo, pode-se inferir que os valores encontrados para os painéis produzidos foram compatíveis com dados de literatura.

Os resultados encontrados para absorção de água (24 horas) demonstram que os painéis com maiores valores de massa específica, tratamento T8, apresentaram menor absorção em relação aos painéis com massas específicas menores. Este fato comprova os conceitos apresentados por vários autores como Moslemi (1974), Maloney (1993) e Kelly (1977), de que a maior compactação e densificação de painéis particulados dificultam e reduzem a entrada de água nas camadas internas do painel, reduzindo a quantidade de absorção de água. No entanto, Iwakiri *et al.* (2008), observaram que os painéis produzidos com maior massa específica não apresentaram valores superiores de inchamento em espessura.

Já os valores médios de inchamento em espessura foram de 12,35% para 2 horas de imersão em água e 34,43% para 24 horas, os quais foram superiores aos estabelecidos pela norma CSA 0437 (1993) que estipula o valor máximo de 10% de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água para painéis com espessura superior a 12,7 mm.

Iwakiri *et al.* (2008) encontraram valores de absorção 24 horas de 68,49% para *E.grandis* e 82,04% para *E.dunni*. Para os valores de inchamento em espessura (24 horas), os mesmos autores obtiveram os valores de 19,21% para *E.grandis* e 25,92% para *E.dunni*, para painéis produzidos com massa específica nominal de 0,7g/cm³. Com o mesmo gênero, Mendonça (2008) encontrou para painéis de *E. urophylla* valores variando de 29,94% a 41,47% para absorção 2 horas e para absorção 24 horas os resultados atingiram o máximo até 68,43%.

Iwakiri *et al.* (2004), trabalhando com 6 espécies de Eucalipto, afirmaram que as painéis de *E. grandis* apresentaram melhor comportamento em relação aos painéis de *P. taeda* tanto

para absorção de água quanto para inchamento em espessura, com valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão variando de 11,98% a 49,36% e após 24 horas de 28,85% a 70,96%. Com relação ao inchamento em espessura, os valores médios variaram de 8,88% a 48,64% para 2 horas de imersão em água e de 15,71% a 67,05% para 24 horas de imersão.

Del Menezzi (2004) cita que a taxa de não retorno em espessura expressa o inchamento definitivo do painel, oriundo da liberação das tensões internas de compressão. Sendo que quanto menor este valor, melhor a estabilidade dimensional dos painéis OSB, sobretudo em ambientes que possuem uma grande variação de umidade durante as estações do ano (MENDES, 2001). Para esta variável, os resultados variaram de 24,71% (tratamento T8) a 35,18% (tratamento T3), apresentando diferença estatística entre os tratamentos, onde os painéis com maior quantidade de resina refletiram em sua maioria nos melhores resultados.

Saldanha (2004) afirma que o inchamento residual é altamente influenciado pelo inchamento em espessura, sendo que maiores valores destes geram maiores valores de TNRE. Pode-se constatar o citado pelo autor analisando o tratamento T3 que obteve a maior taxa de inchamento em espessura para 24 horas, 41,49%, comparada a TNRE igual a 35,18%. Assim como, o tratamento T8, que apresentou a menor taxa de inchamento em espessura para 24 horas, 25,35%, relacionada à TNRE de 24,71%.

Para clones de *Eucalyptus*, Mendes *et al.* (2007) encontraram valor bastante inferior, igual a 7,27%, entretanto, ressalta-se o alto coeficiente de variação que a variável apresentou. Mendonça (2008) analisando clones de *E. urophylla* encontrou valores de TNRE variando de 14,61% a 20,67%.

Na tabela 12 pode-se verificar que a composição das camadas não influenciou nos valores de absorção de água após o período completo do ensaio (24h). Este fato é comentado por Mendes *et al.* (2008), que estudando a influência da massa específica e da composição em camadas nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB produzidos com *Eucalyptus* não avaliou a influência da composição dos painéis sobre a absorção

de água e inchamento em espessura em sua pesquisa. Os autores afirmam que a disposição das partículas no sentido paralelo ou perpendicular ao plano do painel não interferem diretamente sobre essas propriedades.

Tabela 12 - Influência da proporção das camadas na absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.

Camadas		Absorção (%)		Inchamento (%)		TNRE (%)
		2h	24h	2h	24	
4,5%	100%	18,826 c	68,444 a	13,049 a	35,039 a	31,512 ab
	20-60-20%	13,462 b	70,377 a	12,671 a	41,492 b	35,184 b
	25-50-25%	26,040 a	67,396 a	12,416 a	33,117 a	26,341 a
	30-40-30%	20,525 c	61,055 a	12,430 a	35,451 a	31,643 ab
6%	100%	22,159 b	61,049 a	14,251 b	36,448 b	27,634 a
	20-60-20%	20,169 ab	60,531 a	11,029 a	32,733 b	26,500 a
	25-50-25%	16,714 a	61,430 a	11,367 a	35,795 b	30,107 a
	30-40-30%	16,944 a	51,191 a	11,632 a	25,351 a	24,710 a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

A influência do teor de resina nos valores de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura dos painéis são apresentados na tabela 13, evidenciando que os painéis com 6% de resina tiveram os melhores resultados somente nas composições 20-60-20 e 30-40-30 após a finalização do ensaio de inchamento (24 horas) e depois da estabilização final (TNRE).

Tabela 13 - Influência da resina na absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura.

	Resin a	Absorção (%)		Inchamento (%)		TNRE (%)
		2h	24h	2h	24	
100	4,5%	18,826	68,644	13,049	35,039	31,512
		a	a	a	a	a
	6%	22,159	61,049	14,251	36,448	27,634
		a	a	a	a	a
20:60:20	4,5%	13,462	70,377	12,671	41,452	35,184
		a	a	b	b	b
	6%	20,169	60,531	11,029	32,733	26,500
		b	a	a	a	a
25:50:25	4,5%	26,040	67,396	12,416	33,117	26,341
		b	a	a	a	a
	6%	16,714	61,430	11,367	35,795	30,107
		a	a	a	a	a
30:40:30	4,5%	20,595	61,055	12,430	35,451	31,643
		a	a	a	b	b
	6%	16,944	51,191	11,632	25,351	24,710
		a	a	a	a	a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

A superioridade dos valores encontrados para absorção e em inchamento em espessura por 24 horas e para a taxa de não retorno em espessura dos painéis com 6% de resina se deve ao aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas, diminuindo a absorção de água. Esta redução é causada pela barreira física que é maior, bem como pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira, deixando o colchão menos reativo a água (MENDES *et al.*, 2003).

Iwakiri *et al.* (2003) avaliando a influência do teor de resina nas propriedades dos painéis OSB, verificaram que com o aumento do teor de resina de 4,5 para 6%, houve redução significativa na absorção de água tanto para 2 horas como para 24 horas. A mesma tendência foi observada para os resultados de inchamento em espessura.

Kelly (1977) menciona a existência de uma relação inversa entre o conteúdo de resina e a taxa de não retorno em

espessura. Segundo Mendes *et al.* (2003) o aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas é a causa da diminuição da taxa de não retorno em espessura quando o teor de resina passou de 4% para 6%. Esta propriedade está associada ao inchamento em espessura, que também foi menor quando o teor de resina passou de 4 para 6%, pois se o painel inchou menos, o retorno também será menor em proporção.

4.2.4 Módulo de ruptura para o ensaio de flexão estática (MOR)

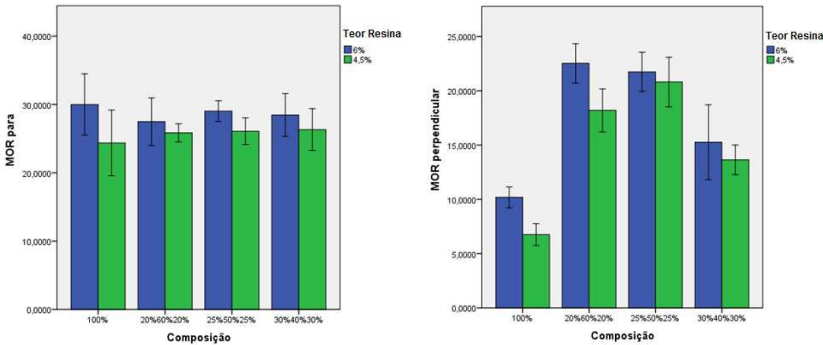
De acordo com os valores apresentados na tabela 14 e na figura 29, pode-se verificar que o valor médio de MOR no sentido paralelo foi de 26,82 MPa, variando de 24,37 MPa do tratamento 1 a 29,03 MPa do tratamento 6, porém por meio da análise estatística, somente os tratamentos T3 e T6 foram diferentes em função do pequeno intervalo de confiança dentro dos mesmos. A norma CSA 0437 (1993) estabelece que os valores de MOR paralelo devem ser superiores a 29,0 MPa para os painéis serem classificados como O2 ou superiores a 23,4 MPa para serem enquadrados como O1. Assim, observa-se que somente o T6 atingiu o limite mínimo para a classificação O2, enquanto que os demais foram classificados como painéis O1.

Tabela 14 - Valores médios de módulo de ruptura no ensaio de flexão estática.

Tratamento	Módulo de Ruptura (MPa)	
	Paralelo	Perpendicular
T1 (100%, 4,5%)	24,37 ab (17,14)	6,75 e (12,92)
T2 (100%, 6,0%)	29,98 ab (13,04)	10,18 d (8,25)
T3 (20-60-20, 4,5%)	25,84 b (4,48)	18,18 b (9,49)
T4 (20-60-20, 6%)	27,47 ab (11,04)	22,53 a (7,00)
T5 (25-50-25, 4,5%)	26,08 ab (6,51)	20,81 ab (9,53)
T6 (25-50-25, 6%)	29,03 a (4,56)	21,74 ab (7,24)
T7 (30-40-30, 4,5%)	26,32 ab (10,14)	13,63 c (8,71)
T8 (30-40-30, 6%)	28,45 ab (9,57)	15,26 bc (19,67)
Média Geral	26,82	15,80
Coef. Variação (%)	18,44	22,84

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

Figura 29: Médias módulo ruptura e intervalo de confiança.



Fonte: produção do próprio autor.

Embora os valores para MOR paralelo não tenham apresentado diferença estatística entre os tratamentos compostos por 6% de resina, evidencia-se que o tratamento que obteve maior valor médio foi o T2, seguido pelo T6, T8 e T4.

Já no sentido perpendicular às fibras, o valor médio encontrado para MOR foi de 15,80 MPa, com diferença estatística entre os tratamentos, onde o maior valor médio foi obtido no tratamento T4 com 22,53 MPa e a menor média no T1, com 6,75 MPa. Nesta variável, o tratamento T4 foi equivalente somente aos tratamentos T5 e T6. Em termos de atendimento aos parâmetros mínimos estabelecidos pela CSA 0437 (1993), nota-se que todos os tratamentos, com exceção do T1 e T2 (100% com teores de resina de 4,5 e 6%), atingiram o valor mínimo para a classificação O2 que é de 12,4 MPa, sendo que as duas exceções não atenderam nenhuma das duas classificações da norma (O1 e O2).

Os maiores resultados de MOR não foram obtidos pelos tratamentos de maior massa específica e de maior razão de compactação, como algumas literaturas indicam, no entanto, foram obtidos nos painéis com maior quantidade de resina. Outro ponto a ser destacado na superioridade do valor de MOR perpendicular do tratamento T4 é a maior proporção de partículas do miolo em relação à face dos painéis, que é de 1,5.

Quanto ao sentido de aplicação da carga em relação à distribuição das partículas durante o ensaio de flexão estática, observa-se que os resultados encontrados no sentido paralelo foram superiores aos encontrados no sentido perpendicular. Saldanha (2004) afirma que a superioridade dos resultados obtidos no sentido paralelo frente ao perpendicular está em função da composição da chapa em camadas cruzadas (face/miolo/face), onde o sentido de aplicação da força está paralelo à camada interna com maior quantidade de partículas.

Mendes (2008) em painéis produzidos com *Eucalyptus* spp. e massa específica nominal de 0,7 g/cm³ obteve valores de 25,6 MPa para MOR paralelo e 12,2 MPa para perpendicular, sendo que estes valores aumentaram para 36,8 MPa e 30,8 MPa quando aumentou a massa específica nominal para 0,9 g/cm³. Mendes *et al.* (2007), trabalhando com OSB de clones de *Eucalyptus* e resina fenólica, encontraram valores médios de MOR paralelo de 25 MPa e MOR perpendicular de 12 MPa.

Comparando os resultados encontrados com os trabalhos de Mendes (2008) e Mendes *et al.* (2007), observa-se que para MOR paralelo, os valores médios corroboram com o do presente estudo, porém para MOR perpendicular, os valores médios encontrados pelos autores referenciados estão abaixo do resultado para *E. benthamii*.

A tabela 15 apresenta a influência da composição de camadas no MOR paralelo e perpendicular. A partir destes dados, é possível verificar, assim como nos tratamentos avaliados individualmente, que não houve diferença estatística entre os valores do sentido paralelo à orientação das fibras, porém a diferença entre as diferentes composições de camadas ficou novamente evidenciada para MOR perpendicular.

Tabela 15 - Influência da proporção das camadas no módulo de ruptura.

Camadas		Módulo de Ruptura (MPa)	
		Paralelo	Perpendicular
4,5%	100%	24,369 a	10,181 c
	20-60-20%	25,845 a	22,529 a
	25-50-25%	26,080 a	21,762 a
	30-40-30%	26,322 a	15,260 b
6,5%	100%	29,985 a	6,753 c
	20-60-20%	27,477 a	18,189 a
	25-50-25%	29,099 a	20,808 a
	30-40-30%	28,458 a	13,637 b

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

A inclusão de 40, 50 e 60% de partículas no miolo da chapa não afetou valores médios de MOR no sentido paralelo. Para o sentido perpendicular, o aumento da proporção da camada cruzada no miolo da chapa (50 e 60%) resultou em médias estatisticamente superiores. Esse aumento se deve à influência da maior proporção de partículas da camada interna, orientadas no mesmo sentido de flexionamento da chapa.

Segundo Iwakiri *et al.* (2003) pode-se observar também que a diferença entre o MOR nos sentidos paralelo e perpendicular passa a ser menor, com a inclusão de uma

camada cruzada no miolo da chapa (20:60:20), aumentando o equilíbrio estrutural do painel, ou seja, para o painel homogêneo os valores de MOR de 26,17 MPa no sentido paralelo e 8,05 MPa no perpendicular passam para 27,33 MPa e 20,19 MPa.

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), porém esta afirmação não foi observada no presente estudo. Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal (face/miolo/face) é na faixa de 20:60:20 a 30:40:30 baseado na percentagem de peso seco de partículas encoladas, o que também foi destacada no presente estudo.

Os valores médios para MOR paralelo e perpendicular para os teores de resina 4,5 e 6% estão apresentados na tabela 16, onde nota-se que houve diferença estatística para painéis com 100% de partículas orientadas no sentido paralelo nos dois sentidos de aplicação da carga e na composição 20-60-20 para o sentido perpendicular. Os demais resultados não apresentaram diferença estatística, mesmo que na análise individual realizada anteriormente, ter evidenciado a superioridade dos painéis produzidos com 6% de resina.

Tabela 16 - Influência da resina no modulo de ruptura.

		Módulo de Ruptura (MPa)	
	Teor de Resina	Paralelo	Perpendicular
100	4,5%	24,369 b	06,753 b
	6%	29,985 a	10,181 a
20-60-20	4,5%	25,845 a	18,189 b
	6%	27,477 a	22,529 a
25-50-25	4,5%	26,080 a	20,808 a
	6%	29,029 a	21,742 a
30-40-30	4,5%	26,322 a	13,637 a
	6%	28,458 a	15,260 a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

4.2.5 Módulo de elasticidade para o ensaio de flexão estática (MOE)

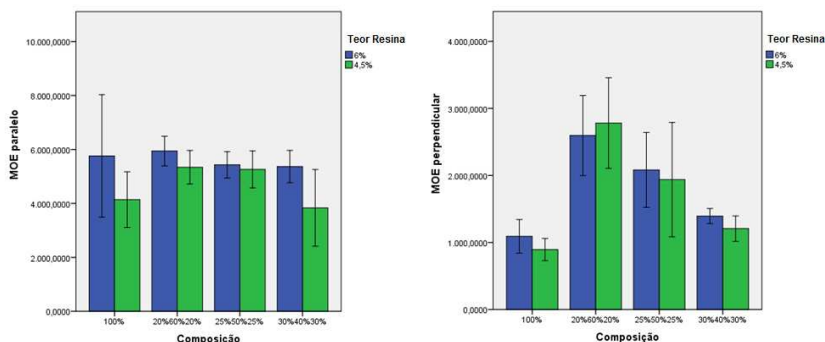
De acordo com a tabela 17 e a figura 30, pode-se observar que a média geral foi de 5134,86 MPa para MOE paralelo e 1747,83 MPa para o perpendicular. Para o MOE paralelo o T4 apresentou média superior, a qual não foi equivalente somente em relação a média do tratamento T1. Já no sentido perpendicular, os tratamentos também apresentaram diferença estatística significativa, sendo que o tratamento que obteve a menor média foi o T1. Já os tratamentos T3 e T4 apresentaram os maiores valores médios no sentido perpendicular, porém iguais estatisticamente aos tratamentos T5 e T6.

Tabela 17 - Valores médios de módulo de elasticidade no ensaio de flexão estática.

Tratamento	Módulo de Elasticidade (MPa)	
	Paralelo	Perpendicular
T1 (100%, 4,5%)	4140,20 b (21,72)	893,90 c (16,15)
T2 (100%, 6,0%)	5761,38 ab (34,27)	1092,23 bc (20,00)
T3 (20-60-20, 4,5%)	5340,93 ab (10,10)	2780,34 a (21,15)
T4 (20-60-20, 6%)	5941,35 a (8,04)	2595,07 a (20,03)
T5 (25-50-25, 4,5%)	5261,16 ab (11,32)	1938,02 ab (38,28)
T6 (25-50-25, 6%)	5430,26 ab (7,82)	2082,42 ab (23,32)
T7 (30-40-30, 4,5%)	3835,62 ab (32,27)	1206,52 bc (13,71)
T8 (30-40-30, 6%)	5367,98 ab (9,71)	1394,24 b (7,04)
Média Geral	5134,86	1747,83
Coef. Variação (%)	14,71	43,20

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Figura 30 - Médias do módulo ruptura e intervalos de confiança



Fonte: produção do próprio autor.

A norma CSA 0437 (1993) estabelece que os valores de MOE para painéis OSB devem ser superiores a 5500 MPa no sentido paralelo e a 1500 MPa no perpendicular para serem classificados como O2, ou superior a 4500 MPa paralelo e 1300 MPa perpendicular para ser enquadrado como O1. Assim, somente o T4 atingiu o limite mínimo de MOE paralelo para a classificação O2, enquanto que os tratamentos T2, T3, T5, T6 e T8 atingiram os valores para a classe O1. Já os tratamentos T1 e T7 ficaram abaixo dos limites mínimos estabelecidos pela norma de referência.

Para o MOE perpendicular, os tratamentos T3, T4, T5 e T6 atingiram os valores da classificação O2, o T8 para classificação O1, enquanto que os demais (T1 e T2) ficaram abaixo do critério.

Da mesma forma que nos valores encontrados para MOR, salienta-se que não houve uma relação direta entre massa específica, razão de compactação e módulo de elasticidade. Entretanto, nota-se que em todas as análises, os tratamentos com 6% de resina tiveram os valores superiores aos com 4,5% de resina.

Mendes (2008) em painéis produzidos com *Eucalyptus spp.* e massa específica nominal de 0,7 g/cm³ obteve valores de 3130 MPa para MOE paralelo e 977,4 MPa para perpendicular, sendo que estes valores aumentaram pra 3516,6 MPa e 1682,3 MPa quando aumentou a massa específica nominal para 0,9

g/cm³. Iwakiri (2008) obteve, para painéis de *E. grandis* de massa específica 0,67g/cm³, o valor para MOR paralelo de 6141 MPa e de 4316 MPa para *E. dunnii* com 0,68 g/cm³.

Iwakiri *et.al.* (2003), para painéis produzidos com *E. grandis* obteve MOE paralelo de 6626,7 MPa para 4,5% de resina e 5116,47MPa para 6%, não obtendo diferença significativa entre os tratamentos. Para o sentido perpendicular os valores encontrados foram de 3849,2 MPa para 4,5% e 3582,5 MPa para 6% de resina.

Na tabela 18, avaliando a proporção entre camadas, pode-se verificar que não houve influência deste fator nos valores de MOE paralelo, sendo que o tratamento que mais se destacou na direção foi o tratamento com proporção de camadas 20-60-20%. Já no sentido perpendicular, houve diferença estatística entre os tratamentos, onde os tratamentos com proporção de camadas 20-60-20 apresentaram médias superiores.

Tabela 18 - Influência da proporção das camadas no modulo de elasticidade.

Tratamento		Módulo de Elasticidade (MPa)	
		Paralelo	Perpendicular
4,5%	100%	4140,200 a	893,902 c
	20-60-20%	5340,936 a	2790,338 a
	25-50-25%	5261,162 a	1938,025 b
	30-40-30%	3835,618 a	1206,524 b
6%	100%	5761,382 a	1092,226 c
	20-60-20%	5941,356 a	2595,066 a
	25-50-25%	5430,260 a	2082,42 ab
	30-40-30%	5367,981 a	1183,71 bc

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Para o sentido perpendicular, é possível observar que a inclusão de partículas no miolo (40%, 50% e 60%) afetou positivamente os valores de MOE, verificando um incremento nos valores médios à medida que houve um aumento na proporção de camadas.

Para a avaliação da influência do teor de resina nos valores de MOE paralelo e perpendicular, a tabela 19 apresenta os valores médios para os painéis produzidos com 4,5 e 6% de resina.

Tabela 19 - Influência da resina no módulo de elasticidade.

	Teor de Resina	Módulo de Elasticidade (MPa)	
		Paralelo	Perpendicular
100	4,5%	4140,200 b	893,902 a
	6%	5761,382 a	1092,266 a
20-60-20	4,5%	5340,936 a	2780,338 a
	6%	5941,356 a	2595,066 a
25-50-25	4,5%	5261,162 a	1938,025 a
	6%	5430,260 a	2082,421 a
30-40-30	4,5%	3835,618 b	1206,524 a
	6%	5367,981 a	1394,240 a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Os tratamentos que utilizaram maiores teores de resina, no caso 6%, foram os que apresentaram numericamente os maiores valores de MOE, tanto paralelo como perpendicular, embora não haja diferença significativa na maioria os tratamentos.

Segundo Mendes (2003) a adesão entre as camadas é favorecida com uma maior quantidade de resina, porque ocorre um aumento de sua disponibilidade por área superficial de partículas, consequentemente aumentando a resistência da linha de cola, e por sua vez transmitindo esta para valores maiores de MOE e MOR. Iwakiri *et al.* (2003) dizem que com o aumento na quantidade de resina há uma tendência de incremento no MOE no sentido paralelo, conforme observaram trabalhando com quantidades de resina de 3, 4,5 e 6,%. Porém, estas constatações não foram evidenciadas no estudo com a elevação da porcentagem de resina de 4,5% para 6%.

4.2.6 Ligação Interna

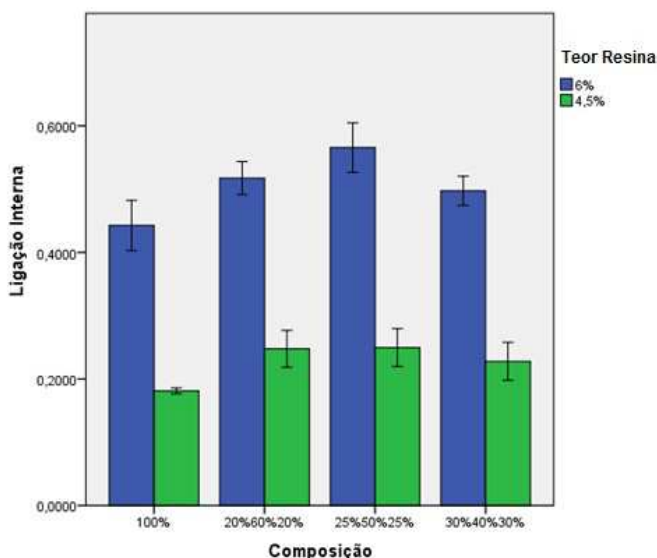
Os resultados obtidos nos ensaios de ligação interna estão apresentados na tabela 20 e na figura 31. O valor médio encontrado para todos os tratamentos foi de 0,36 MPa, o qual variou de 0,181 MPa no T1 a 0,565 MPa no T6, havendo diferença estatística entre os tratamentos e pequeno intervalo de confiança entre os valores de cada tratamento.

Tabela 20: Valores médios de ligação interna

Tratamentos	Ligação Interna (MPa)
T1 (100%, 4,5%)	0,181 d (2,19)
T2 (100%, 6,0%)	0,442 b (7,80)
T3 (20-60-20, 4,5%)	0,248 c (10,22)
T4 (20-60-20, 6%)	0,517 a (4,39)
T5 (25-50-25, 4,5%)	0,249 c (10,40)
T6 (25-50-25, 6%)	0,565 a (6,01)
T7 (30-40-30, 4,5%)	0,227 c (11,44)
T8 (30-40-30, 6%)	0,497 ab (4,00)
Média Geral	0,36
Coef. Variação (%)	8,39

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

Figura 31: Média ligação interna e intervalo de confiança



Fonte: produção do próprio autor.

Observa-se nos resultados encontrados de ligação interna que, como esperado, os maiores valores de resistência pertencem aos tratamentos com 6% de resina. Porém, não há uma regularidade de resultados para as diferentes composições entre as camadas. Comparando com o valor mínimo de ligação interna estabelecido pela norma CSA 0437 (1993) que é de 0,345 MPa para ambas as classificações (O2 e O1), constata-se que somente os tratamentos com 6% de resina atingiram o limite mínimo, ou seja, os tratamentos T2, T4, T6 e T8.

Comparando os resultados encontrados com os trabalhos de Mendes *et al.* (2007), observa-se que para a ligação interna, os valores médios corroboram com o do presente estudo, onde os autores encontraram um valor médio de 0,39 MPa para a resistência a ligação interna de painéis com partículas de clones de *Eucalyptus*.

Iwakiri *et al.* (2003) encontraram a resistência de 0,52 MPa para painéis de *E. grandis* com composição face:miolo:face de 20:60:20. Iwakiri *et al.* (2004) obtiveram para painéis com *E.*

grandis o resultado de 0,57 MPa, e de 0,42 MPa para *E. saligna* nos valores médios de ligação interna.

A tabela 21 apresenta os valores médios obtidos de ligação interna para os painéis produzidos com diferentes composições de camadas, onde observa-se que os melhores resultados foram encontrados na composição 25-50-25 para os dois teores de resina, porém no primeiro teor, a composição mencionada só não foi equivalente a 100% e no segundo teor a nenhuma das demais composições estudadas.

Tabela 21: Influência da proporção das camadas na ligação interna.

	Camadas	Ligação Interna (MPa)
4,5%	100%	0,181 b
	20-60-20%	0,248 a
	25-50-25%	0,250 a
	30-40-30%	0,228 a
6,5%	100%	0,443 c
	20-60-20%	0,517 b
	25-50-25%	0,566 a
	30-40-30%	0,497 b

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Mendes (2008) não avaliou a influência das camadas na ligação interna, por afirmar que a ligação interna não é afetada pela relação face/miolo. Murakami *et al.*

(1999) também afirma que a composição dos painéis não deve influenciar na ligação interna, pois se trata de uma força perpendicular à superfície da ligação das partículas.

Para a avaliação da influência do teor de resina na ligação interna, a tabela 22 apresenta os valores médios para os painéis produzidos com 4,5 e 6% de resina.

Tabela 22: Influência da resina na ligação interna.

	Teor de Resina	Ligação Interna (MPa)
100	4,5%	0,181 b
	6%	0,443 a
20-60-20	4,5%	0,248 b
	6%	0,517 a
25-50-25	4,5%	0,250 b
	6%	0,566 a
30-40-30	4,5%	0,228 b
	6%	0,457 a

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Fonte: produção do próprio autor.

Os tratamentos produzidos com 6% de resina apresentaram valores consideravelmente superiores aos produzidos com 4,5%, demonstrando a importância da maior quantidade de resina no painel, facilitando a adesão entre as partículas aumentando a ligação interna, principalmente de painéis produzidos com espécies de alta massa específica e que apresentam dificuldade de entrada de adesivo no interior das células da madeira.

O mesmo pode ser observado por Iwakiri *et.al* (2003) onde valores de ligação interna para painéis produzidos com *E. dunni* aumentaram de 0,44 MPa com 4,5% de resina para 0,53 MPa com teor de resina de 6%, apresentando diferença significativa entre os tratamentos, ambos com 1% de parafina.

Avaliando a possibilidade de utilização do *E. grandis* e *E. dunni*, Iwakiri *et. al* (2008) produziram painéis que atingiram valores de ligação interna de 0,41 MPa e 0,23 MPa para as duas espécies, respectivamente.

Produzindo painéis de *Pinus taeda*, Mendes *et al* (2003) também verificou um aumento significativo nos valores de ligação interna, aumentando o teor de resinas de 4% para 6%, passando de 0,66 MPa para 0,75 MPa. Esta relação também foi observado por Avramidis e Smith (1989).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as propriedades físicas avaliadas para a madeira sólida do *E. benthamii*, pode-se observar que a espécie apresentou para massa específica um valor moderado, o que pode ser um fator limitante para que elevados valores de razão de compactação dos painéis OSB sejam atingidos. Os valores encontrados para retratibilidade demonstraram considerável instabilidade dimensional para o uso da madeira sólida, justificando portando a busca por outros usos.

Para os painéis OSB, foi verificada diferença estatística para dois tratamentos entre os valores médios de massa específica e razão de compactação, sendo possível reflexo das condições operacionais como a distribuição desuniforme das partículas e/ou perda de material durante o processo de formação do colchão e de prensagem.

Como os valores de razão de compactação foram inferiores aos recomendados por Maloney (1993) e Moslemi (1974), pode-se dizer que o volume de partículas no colchão para atingir a massa específica de $0,65 \text{ g/cm}^3$ foi insuficiente, ou ainda que a meta de densidade dos painéis foi baixa em função da massa específica aparente apresentada pela madeira sólida.

Os valores médios de inchamento para 2 horas (11,5%) e 24 horas (33,8%) foram elevados e não atingiram aos valores estabelecidos pela norma de referência, sendo que a taxa de não retorno em espessura foi diretamente proporcional aos valores de inchamento 24 horas.

Para módulo de elasticidade e módulo de ruptura no ensaio de flexão estática, constatou-se que a diferença dos valores entre os sentidos paralelo e perpendicular mostrou que houve eficiência na orientação das partículas.

Os resultados de ligação interna foram satisfatórios, tendo em vista que os tratamentos com 6% de resina atingiram os valores mínimos estabelecidos pela norma, sendo que o teor de resina exerceu influência sobre os mesmos, apresentando maiores valores quando comparados estatisticamente.

De acordo com a norma CSA 0437 (1993) para classificação dos painéis OSB, evidenciou-se que todos os tratamentos compostos por 100% de partículas orientadas no mesmo sentido e na composição 30:40:30, assim como as outras duas composições com 4,5% de resina deixaram de atingir algum dos valores mínimos das propriedades para serem incluídos na classe O1 da norma. (Ver Tabela 23)

Tabela 23: Classificação dos painéis

Tratamento	MOR		MOE		Ligação Interna
	Paralelo	Perpend.	Paralelo	Perpend.	
T1	O1	-	-	-	-
T2	O1	-	O1	-	O2
T3	O1	O2	O1	O2	-
T4	O1	O2	O2	O2	O2
T5	O1	O2	O1	O2	-
T6	O2	O2	O1	O2	O2
T7	O1	O2	-	-	-
T8	O1	O2	-	-	O2

Ainda em relação à norma, observou-se que somente o T4 (20:60:20) e o T6 (25:50:25), ambos com 6% de resina, obtiveram os valores mínimos para serem classificados como O1, no entanto estes dois tratamentos tiveram 4 das 5 propriedades avaliados como classe O2.

Os resultados deste estudo indicam que a madeira de *Eucalyptus benthamii* pode ser uma alternativa para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB), mediante ajustes a serem realizados no processo produtivo.

6 RECOMENDAÇÕES

Em virtude dos resultados encontrados no presente estudo, seguem algumas recomendações para serem implementadas em outros estudos:

- aumento dos teores de resina e parafina para melhorar as propriedades físicas dos painéis como absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura;

- aumentar a densidade dos painéis para melhorar a razão de compactação e consequentemente as propriedades mecânicas dos painéis;

- misturar o *E. benthamii* com outras espécies de menor densidade para melhorar a razão de compactação e consequentemente as propriedades de resistência e rigidez dos painéis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira. 1997

ABREU, R. L. de. Map locator of Santa Catarina's Palmeira City. 8 de setembro de 2006. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina_Municip_Palm_eira.svg Acesso em: março de 2014

ALBUQUERQUE, C.E.C. de. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 175p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALBUQUERQUE, C.E.C ; MENDES, L.M. OSB: processo industrial e considerações. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 46, p. 56 - 66. 2000.

ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials**. In: Annual Book of ASTM standards, ASTM D-1037-78B. Philadelphia. 1993.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials. In: **Annual Book of ASTM standards**, .ASTM D-1037: Philladelphia, 2002. p.1-30.

ANSI. American National Standards Institute - "Mat-formed wood particleboard: Specification; National Particleboard Association; ANSI A208.1-1993", Gaithersburg (1993).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2009, ano base 2008**. ABIMCI, Curitiba - PR, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. **Nossos produtos**. 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosOSB.php>>. Acesso em: março de 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. **Nossos Números**. 2014. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>> Acesso em: abril de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/industrias.php>> Acesso: abril de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013** – ano base 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: fevereiro de 2014.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS – ACR. **Anuário Estatístico Base Florestal para o estado de Santa Catarina 2014** – ano base 2013. 93p.

AVRAMIDIS, 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, 1989.

BAO, F. C. et al. Differences in wood properties between juvenile wood and mature wood in 10 species grown in China. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 35, p. 363-375, 2001.

BENSON, D. H. Aspects of the ecology of a rare tree species, *Eucalyptus benthamii*, at Bents Basin, Wallacia. **Cunnighamia**, v. 1, n. 3, p. 371-383, 1985

BNDES. A, BIAZUS; A.B, HORA; B.G.P, LEITE. **BNDES Setorial 32**, p. 49-90. Painéis de Madeira, 2010. Disponível em:

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32102.pdf. Acesso em: março de 2014.

BNDES. JUVENAL, T. L.; MATOS, R. L. G. **Painéis de madeira reconstituída**, n. 2, 2002. Área de Setores Produtivos 1 – Disponível em: www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/relato02.pdf. Acesso em novembro de 2013.

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

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulos e Papel - Dados do Setor. Março de 2014 – Disponível em: www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf Acesso em: abril de 2014.

BRITO, E.O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais "waferboards"**. Curitiba, 1984. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias.Universidade Federal do Paraná.

BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* Engelm. Var. *elliotti* plantado no sul do Brasil**. 1995. 123p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BUFOLO, A.; BIBINI, G.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; FLORSHEIM, S. M. B.Variabilidade da densidade básica e das dimensões de fibra, em diferentes espécies de *Eucalyptus* plantadas em Itatinga/SP. **IF. Sér. Reg.**, Sao Paulo, n. 40, p. 63-68, 2009.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R; HACK, C; GATTO, D.A; BARROS, M.V; SANTINI,E.J; Monitoramento da temperatura no interior de chapas aglomeradas durante o processo de prensagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.2, p 157-166. 2005

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. OSB and Waferboard. **CSA 0437.0** – 93. Ontario: 1993. 18p.

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

CUNHA, A.B.; LONGO, B.L. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Scientia Forestalis**, 2014, v.42, n. 101, junho de 2014.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 242 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DIN. NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength**: DIN 52362. Berlin, 40p. 1982.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. (Colombo, PR). Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina. Colombo, 1988. 113p. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 21).

EVANGELISTA, W.V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis*

Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010

FAO 2000. *The global outlook for future wood supply from forest plantations* by C. Brown. **Working paper** GFPOS/WP/O3, Rome. 129 pp.

FRANÇA, M. C.; CUNHA, A. B. Determinação da relação resistência / rigidez e teor de umidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. Trabalho apresentado no 4. **Congresso Florestal Paranaense**, Curitiba, 2012.

FERRO, F.S. **Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica**. 101p 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, 2013.

FREITAS, A. R.; PONCE, R. H. O uso da madeira serrada de eucalipto. **Revista Tecnologia** No 3. Outubro de 1979. p. 3-6.

GARCÍA, P.J.; AVRAMIDIS, S.; LAM, F. Oriented Strand Board hot-pressing and flake orientation. In: Proceedings of the fourth International Conference on the development of Wood Science, **Wood Technology and Forestry**. Missenden Abbey, UK, 1999. p. 365-374.

GORSKI, L.; CUNHA, A.B.; FRANÇA, M.C.; ALMEIDA, C.C.F. Análise comparativa do rendimento de madeira serrada por meio do desdobro radial entre duas espécies do gênero *Eucalyptus*. **III SIMADERJ, Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Estado do Rio de Janeiro**. ANAIS. Petrópolis, RJ, 2013.

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.1, p. 7-12. 2000.

GOUVEIA, F.N. **Produção de chapas de partículas orientadas a partir de espécies *Euclyptus grandis* W.Hill Ex Maiden e *Pinus elliotti* Engelm.** 2001, 68p. Dissertação (Mestrado em Ciencias Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, 2001

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-MG, v.27, n.3, p.365-370, 2003.

HALLIGAN, A.F. A review of thickness swelling in particleboard. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 4, n. 3, p. 301-312. 1970

HIGA, R.C.V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 121-123, 1999.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage.** Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, 100).

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com- madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído.** 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais (flakeboards) fabricadas com madeiras de *Pinus*, *Eucalyptus* e Acácia negra. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 80-94, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Prod. Extr. veg. e Silv. - PEVES, Rio de Janeiro, v. 27, p.1-63, 2013.

Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2012/default.shtm>>

IWAKIRI, S. **A influência d variáveis de processamento sobre propriedades das chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

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

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

IWAKIRI, S.; MENDES, L.M.; SALDANHA, L.K. Produção de chapas de partículas orientadas OSB de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resinas, parafina e composição de camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, dez. 2003

IWAKIRI, S; MENDES, L.M; SALDANHA, L.K; SANTOS, J.C. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Cerne**, v.10, n.1, p. 46-52, 2004.

IWAKIRI, S; ALBUQUERQUE, C.E.C. de; PRATA, J. G.; COSTA, A.C.B. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, 2008.

IWAKIRI, S., TRIANOSKI, R., DA CUNHA, A. B., PRATA, J. G., HARA, M., BILA, N. F.,... & BÔAS, B.T.V.Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Florestalis**, volume 41, n. 99. p.411-416, setembro de 2013.

JANSSENS, D.P. The increasing recognition of oriented stranboard (OSB) as preferred structural panel. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF

HIGH TECHNOLOGY, 1, **Anais**. Belo Horizonte: SIF, 1998, p. 169-172.

JOVANOVIĆ, T.; BOOTH, T. **Improved species climatic profiles**: a report for the RIRDC/L&W Australia/FWPRDC/ MDBC Joint Venture Agroforestry Program. 2002. (RIRDC Publication, n. 02/095). Disponível em: <<http://www.rirdc.gov.au/reports/AFT/02-095.pdf>>. Acesso em: março 2014.

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

KLITZKE, R.J. **Secagem da madeira**. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p.271-342.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 324p.Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U; MUÑIZ, G.I.B de; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S., de. **Química da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005. 86p.

KOLLMANN, F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid, Gráficas Reunidas S.A., 1959. 674p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Spring-Verlag, 1984 (reprint)

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

LIMA, C. et al., Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 551-559, 2010.

LOWOOD, J. D. **OSB: The emerging world class structural wood panel**. In: International Particleboard / Composite Materials Symposium. Washington, 1995. Proceedings of The Twenty-Ninth Washington State University. Washington, 1995. p. 123-128.

LP BRASIL disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-osb-home-plus-estrutural.html>> Acesso em: outubro 2013. a

LP BRASIL disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/como-e-feito-o-osb.asp>> Acesso em: outubro 2013.b

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc., 1993. 689 p.

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

MARCHESAN, R.; MATTOS, P. P.; SHIMIZU, J. Y. Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2005. 5 p. (Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, 133).

MARRA, A.A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 453p. 1992

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL)**. 2011. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards** . 1988. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MONTEIRO, J.L.; KEINERT JR, S.; SALDANHA, L.K.

Avaliação do Sistema de orientação de partículas na produção de painéis OSB (Oriented Strand Board). **Cerne**, V.6, N.1, P.001-008, 2000

MENDES, L.M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 103p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M. de. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.135-145, dez. 2002.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de; KEINERT JR, 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.01-17, jan./jul. 2003.

MENDES, S. A.; MENDES, L. M.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 257-263, jul./set. 2007.

MENDES, R.F; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B; MENDES, L.M. Utilização de *Cunninghamia lanceolata* na confecção de painéis

OSB. In: **ENCONTRO BRASILEIRO E MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS**, 9., 2008, Londrina. Anais. Londrina: Editora Ibramem, 2008. P. 242-242.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; BUFALINO, L.; SILVA, A. F. A. Influência do tipo de adesivo e da inclusão laminar nas propriedades físicas de painéis OSB. In: **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - XII EBRAMEM**, 2010, Lavras-MG. **Anais...** Lavras: IBRAMEM, 2010. p.7-15.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2011. 116p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MENDONÇA, L. L. **Produção de painéis de madeira com clones de *Eucalyptus urophylla*: estudo de caso para uso na indústria de móveis e construção civil**. 2008. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - REDEMAT (UFOP – CETEC – UEMG), 2008.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORESCHI, J.C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira**. Notas de aula. 3ª edição. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. 2010 Disponível em:

<

<http://www.madeira.ufpr.br/publicacoes/propriedadesdamadeira2010.pdf>> Acesso em: março de 2014.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard: technology**. London: Southern Illinois University, 1974. v. 2, 245p.

MOURA, M. C. **Variações em características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. 63 f. Dissertação

(Mestrado em Produção Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MULLER, B. V. **Caracterização tecnológica da qualidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistemas de desdobro primário.** 2013. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

NAKAMURA, R. M.; SOBRAL FILHO, M. **Aglomerado de misturas de espécies tropicais da Amazônia.** Brasília: Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Departamento de Economia Florestal, Laboratório de Produtos Florestais, 1982.

NISGOSKI, S.; MUNIZ, G.I.B.; KLOCK, U. Caracterização Anatômica da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Revista Ciência Florestal**: Santa Maria, v.8, n.1, p. 67 – 76, 1998.

OLIVEIRA, J. T. da S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 429, 1997.

OLIVEIRA, J. T. da S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

PALUZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A.; **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná.** Colombo. Embrapa Florestas, 2006. 45p.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York, Mc-Graw- Hill, 1980.

PELOZZI, M.M.A.; SEVERO, E.T.D.; CALONEGO, F.W.; RODRIGUES, P.L.M. Propriedades físicas dos lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* e de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 305-313, abr.-jun., 2012.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000, 113 p. (Embrapa Florestas, Documentos, 38).

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **(Circular Técnica, n. 50)**. Colombo: Embrapa Florestas. 4p. 2001.

PRYOR, L. D. **Australian endangered species: Eucalyptus**. Canberra: Commonwealth of Australia. 1981. 139 p

REMADE. **Características intrínsecas da madeira**. 2001. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=4&sub>. Acesso em: 11/12/2012.

REMADE. Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba – PR, ano 14, n. 84, out. 2004. Disponível em <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=84&id=630>. Acesso em: março de 2014.

RIBEIRO, F.A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/ procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, v.46, p.76-85, 1993.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)

– Setor de Ciencias Agrarias, Universidade Federal do Parana, Curitiba, 2000.

ROCHA, M. P. **Técnicas de planejamento em serrarias**. Serie didática FUPEF, Curitiba, n. 01/02, 121 p., 2002.

RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. 75 f. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais) – Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, 2002.

ROSSO, S. **Qualidade das propriedades de *Eucalyptus grandis* Maiden por espectroscopia no infravermelho próximo**. 125 f. Tese (Doutorado e, Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SALDANHA, L.K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALDANHA, L.K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 571-576, jul/set 2009.

SBA, Structural Board Association. **Technical Bulletin: Oriented Strand Board and Waferboard**. 2014 (b). Disponível em: <<http://osbguide.tecotested.com/pdfs/en/tb103.pdf>>. Acesso em: 15/03/2014.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciencias Agrarias, Universidade Federal do Parana, Curitiba, 2002.

SILVEIRA, V.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; CARVALHO, D.; MARTINS, S.

C. Variação dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2. P. 105-124, 1999.

SOUZA, A. M. de. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Pinus* sp. com inclusão de telas metálicas**. 2012. 118p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, SP, 2012.

STCP ENGENHARIA DE PROJETOS. Notas de apresentação Expoforest: Setor de **Painéis e Madeira Serrada**. Ivan Tomaselli. 2013. Disponível em: <www.expoforest.com.br/silvicultura/wpcontent/uploads/2013/09/setor_de_paineis_e_madeira_serrada.pdf>

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. **SBA**. Figura disponível em: <<http://www.osbguide.com>> Acesso em: março de 2014.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* X *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2012. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – ESALQ, Piracicaba, 2012.

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

SWAIN, T. An overview of the status of cold tolerant eucalypt trials in South Africa. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS = CONFERÊNCIA IUFRO SOBRESILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. Proceedings...=**Anais**... Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. v. 1, p. 69-76.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, v.29, p.37-45, 1985.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada**. 260 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 554 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. p. 309-339.

VIEIRA, H.C.; KNISS, D.D.C.; GARCIA, B.M.; CUNHA, A.B.; RIOS, P.D.; **ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* MAIDEN ET CABBAGE**. I Congresso Brasileiro e Ciência e Tecnologia da Madeira (CBCM). 2013. Petrópolis – RJ.

VITAL, B.R.; WILSON, J.B.W. Adsorption of particleboard and flakeboard, **Wood and Fiber**, Madison, v.12, n.4, p.264-271, 1980.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto**. Informe Agropecuário no 141. Belo Horizonte, M. G., 1986.

WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practices**. London: Chapman & Hall, 663p., 1993.

WU, Q.; PIAO, C. Thickness swelling and its relationship to internal bond strength loss of commercial oriented strand board.

Forest Products Journal, v49, n.7/8, p.:50-55. 1999.

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

ZHANG, M. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n.44, p.191-197,1998.

ZHOW, D. A study 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.