

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO SOUZA DA ROSA

**UTILIZAÇÃO DE CINCO ESPÉCIES DE *Eucalyptus* PROVENIENTES DE
PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS
PARTICULADOS**

CURITIBA

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO SOUZA DA ROSA

**UTILIZAÇÃO DE CINCO ESPÉCIES DE *Eucalyptus* PROVENIENTES DE
PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS
PARTICULADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosilani Trianoski

Co-orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA

2015

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Rosa, Thiago Souza da

Utilização de cinco espécies de *Eucalyptus* provenientes de plantios de curta rotação para a produção de painéis particulados / Thiago Souza da Rosa. – Curitiba, 2015.

110 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Rosilani Trianoski

Coorientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 08/10/2015.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Painéis de madeira. 2. Chapa de madeira aglomerada. 3. Eucalipto – Plantio (Cultivo de plantas). 4. Teses. I. Trianoski, Rosilani. II. Iwakiri, Setsuo. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

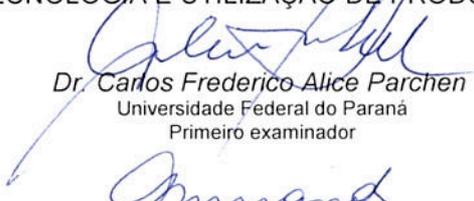
CDD – 674.836

CDU – 634.0.832

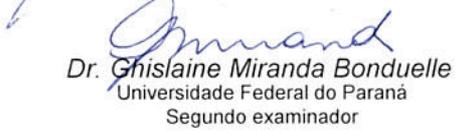
PARECER

Defesa nº. 1128

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Thiago Souza da Rosa* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**UTILIZAÇÃO DE CINCO ESPÉCIES DE *Eucalyptus* PROVENIENTES DE PLANTIOS DE CURTA ROTAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.



Dr. Carlos Frederico Alice Parchen
Universidade Federal do Paraná
Primeiro examinador



Dr. Ghislaine Miranda Bonduelle
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador



Dr. Rosilani Trianoski
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 08 de outubro de 2015.



Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Matricula UFPR 114430



*À minha família.
Em especial à minha querida mãe,
pela educação e por sempre fazer o
possível e o impossível para que eu
pudesse alcançar meus objetivos.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, minha fonte de força e sabedoria.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade, formação de qualidade e desenvolvimento profissional.

À Capes, pelo incentivo financeiro durante toda a realização deste trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Rosilani Trianoski, pela orientação, motivação, ensinamentos e amizade.

Ao Prof. Dr. Setsuo Iwakiri, pela co-orientação, confiança, incentivo e conhecimentos adquiridos.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade, paciência e contribuição para a melhoria deste trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Ghislaine Miranda Bonduelle e à empresa Stora Enso, pela concessão do material objeto deste estudo.

À Berneck S.A. Painéis e Serrados, pela doação de materiais essenciais para este trabalho, em especial ao Jean Carlos Pfitzner e demais colegas que fazem parte desta empresa.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, pelos ensinamentos nas disciplinas e o bom convívio.

Aos técnicos e laboratoristas Sr. Ademir Cavalli, Sr. Gilberto da Silva, Sr. Vitor Herreira, Srt^a Mariuci Santos e Srt^a Gisele Brochini, que tiveram papel fundamental no desenvolvimento das atividades nos laboratórios de Tecnologia da Madeira da UFPR.

Aos funcionários da Biblioteca de Ciências Florestais e Madeireira da UFPR, por todo o auxílio e paciência na busca pelas literaturas.

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação Reinaldo e David, pela paciência e auxílio prestado nas diversas transições burocráticas.

Aos colegas da pós-graduação, Vinícius Rosa, Douglas Carvalho, Rafael Azambuja, Vinicius Castro, Rafael Braz (Ipatinga), Elder Eloy, Cláudio Gumane, Roberto de Araújo, Ana Namikata e Pamela Lau, pelos momentos de descontração e experiências compartilhadas.

E por último, agradeço especialmente às pessoas que têm fundamental importância na minha vida:

Aos meus familiares, minha mãe Ilda Souza da Rosa, meu pai Valdi Machado da Rosa e minha irmã Edna Letícia da Rosa do Vale, meu cunhado Pedro do Vale e meu sobrinho João Pedro do Vale, pelo carinho, por todo o apoio e por sempre confiarem nas minhas escolhas.

Ao meu grande amigo e padrasto Carlos Roberto Sierakowski, que sempre me ajudou e acreditou no meu potencial.

À minha namorada Lorena Cristina Menon, pelo amor, paciência, compreensão e por sempre estar ao meu lado nos momentos mais insuportáveis, trazendo-me conforto e alegrias.

De uma maneira geral, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

“O maior inimigo do conhecimento não é a ignorância, mas a ilusão do conhecimento.”

Stephen Hawking

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz.”

Bill Gates

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica de utilização de cinco espécies de *Eucalyptus* provenientes de plantios com 7 anos de idade, para produção de painéis aglomerados e estruturais Oriented Strand Board (OSB). Foram utilizadas as espécies *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. urograndis*, *E. benthamii* e *E. saligna* provenientes do desbaste de plantios florestais com aproximadamente 7 anos de idade, localizados em Rosário do Sul – RS e *Pinus taeda* como testemunha. Foi determinada a massa específica básica dessas espécies e então, processadas em laboratório para a obtenção das partículas “slivers” e “strands”. Os painéis foram produzidos variando duas massas específicas nominais, sendo 0,60 e 0,70 g/cm³ para painéis aglomerados e 0,65 e 0,75 g/cm² para painéis OSB. As resinas utilizadas foram Uréia-formaldeído e Fenol-formaldeído de acordo com o tipo de painel, e os parâmetros de prensagem foram: temperatura de 160°C, pressão específica de 40 kgf/cm², e tempo de 10 minutos. O delineamento experimental totalizou 28 tratamentos, produzindo-se painéis aglomerados e OSB com cada espécie, e a mistura entre elas. Os painéis produzidos foram avaliados a partir dos seguintes ensaios físicos e mecânicos: Massa específica aparente, Absorção de água e Inchamento em espessura, Flexão estática, Tração perpendicular à superfície, seguindo as recomendações das Normas do European Committee for Standardization (EN). Os resultados obtidos por meio dos ensaios apresentaram propriedades físicas e mecânicas satisfatórias para todos os tratamentos, exceto para os tratamentos testemunha (*Pinus taeda*), que não atingiram os requisitos mínimos normativos em algumas propriedades. As propriedades não foram influenciadas pelas espécies dentro do gênero *Eucalyptus*, as quais mostraram-se estatisticamente iguais entre si, a diferença foi constatada apenas entre estas e o *Pinus taeda*. O aumento da massa específica dos painéis de 0,65 g/cm³ para 0,75 g/cm³ melhorou proporcionalmente as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados, porém, para painéis OSB, a estabilidade dimensional não foi influenciada. Houve uma certa interação na mistura entre as espécies o que proporcionou o aumento em algumas propriedades dos painéis. Mesmo apresentando propriedades inferiores aos painéis com maior massa específica nominal, pode-se optar por trabalhar nas condições deste estudo, com massa específica nominal de 0,60 g/cm³ para painéis aglomerados e 0,65 g/cm³ para painéis OSB, pois, atenderam aos requisitos normativos.

Palavras chave: *Eucalyptus*. Espécies de rápido crescimento. Painéis de madeira aglomerada. Painéis de partículas orientadas OSB. Painéis estruturais.

ABSTRACT

This study aimed to assess the technical feasibility of using five species of *Eucalyptus* plantations from 7 years old to the production of particleboard and OSB structural panels. In this study were used the species *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. urograndis*, *benthamii* *E.* and *E. saligna* from the thinning of forest plantations with about 7 years old, located in Rosario do Sul – RS and *Pinus taeda* as a control. It determined the specific gravity of these species and then processed for obtaining the particle "slivers" and "strands". The panels were produced varying two nominal specific gravity being 0,60 and 0,70 g/cm³ to particleboards and 0,65 and 0,75 g/cm³ to OSB panels, the resins employed were urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde according to the type of panel, and the pressing parameters were: temperature 160°C, specific pressure of 40 kgf/cm², and time 10 minutes. The experiment amounted to 28 treatments, yielding particleboards and OSB panels with each species and mixture between them. The produced panels were evaluated from the following physical and mechanical tests: apparent specific gravity, water absorption and thickness swelling, static bending, tension test perpendicular to surface, following the recommendations of the European Committee for Standardization (EN). The results obtained through the tests showed physical and mechanical properties satisfactory for all treatments except for the control treatments (*Pinus taeda*), which did not reach the minimum normative requirements in some properties. The properties were not influenced by the species within the genus *Eucalyptus*, which were statistically equal to each other, the difference was only found between them and the *Pinus taeda*. The increased of specific gravity of the panels of 0,65 g/cm³ to 0,75 g/cm³ proportionally improved physical and mechanical properties of chipboard panels, however, for OSB panels, the dimensional stability was not affected. There was some interaction between species in the mixture which resulted in an increase in some properties of the panels. Even though showed inferior properties that to the panels with higher nominal specific gravity, can choose to work under the conditions of this study, with nominal specific gravity of 0,60 g/cm³ to particleboards and 0,65 g/cm³ to OSB panels, because, it meets the normative requirements.

Keywords: *Eucalyptus*. Fast growing species. Particleboards. Oriented Strand Board OSB. Structural panels.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DESTINAÇÃO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS EM 2012.....	24
FIGURA 2 – DIFERENTES ORIENTAÇÕES DE CAMADAS EM PAINÉIS OSB.....	24
FIGURA 3 – EDIFÍCIO SENDO CONSTRUÍDO INTEIRAMENTE COM OSB.....	26
FIGURA 4 – COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO EM M ² DE PAINÉIS OSB E COMPENSADO.....	26
FIGURA 5 – RELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA E A RESISTÊNCIA À FLEXÃO DOS PAINÉIS.....	29
FIGURA 6 – BLOCOS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	41
FIGURA 7 – SECCIONAMENTO DOS BLOCOS.....	42
FIGURA 8 – ESQUEMA DE CORTE DOS BLOCOS.....	43
FIGURA 9 – PROCESSAMENTO DAS PARTÍCULAS.....	45
FIGURA 10 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	48
FIGURA 11 – CORTE E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	50
FIGURA 12 – ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	46
TABELA 2 –	VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	53
TABELA 3 –	CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS <i>SLIVERS</i>	55
TABELA 4 –	VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO.....	57
TABELA 5 –	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS.....	58
TABELA 6 –	VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	62
TABELA 7 –	VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE.....	64
TABELA 8 –	VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO POR ESPÉCIE.....	65
TABELA 9 –	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 e 24 HORAS PARA CADA ESPÉCIE.....	67
TABELA 10 –	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 e 24 HORAS POR MASSA ESPECÍFICA.....	69
TABELA 11 –	VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE POR ESPÉCIE.....	70
TABELA 12 –	VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA CADA MASSA ESPECÍFICA NOMINAL.....	71
TABELA 13 –	VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR POR ESPÉCIE.....	73
TABELA 14 –	VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR POR MASSA ESPECÍFICA NOMINAL.....	74
TABELA 15 –	RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS AGLOMERADOS.....	76

TABELA 16 –	CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS STRANDS.....	77
TABELA 17 –	VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO.....	79
TABELA 18 –	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS.....	81
TABELA 19 –	VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO E PERPENDICULAR.....	83
TABELA 20 –	VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DOS PAINÉIS OSB.....	85
TABELA 21 –	VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO POR ESPÉCIE.....	87
TABELA 22 –	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS POR ESPÉCIE.....	88
TABELA 23 –	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS PARA CADA MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL.....	89
TABELA 24 –	VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO E PERPENDICULAR POR ESPÉCIE.....	91
TABELA 25 –	VALORES DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO E PERPENDICULAR PARA CADA MASSA ESPECÍFICA.....	92
TABELA 26 –	VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR POR ESPÉCIE.....	93
TABELA 27 –	VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR PARA CADA MASSA ESPECÍFICA.....	95
TABELA 28 –	RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS OSB.....	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	17
2.1.1	<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	17
2.1.2	<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.	18
2.1.3	<i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cabbage	19
2.1.4	<i>Eucalyptus saligna</i> Smith	20
2.1.5	<i>Eucalyptus urograndis</i>	21
2.2	UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> PARA PAINÉIS PARTICULADOS	22
2.3	PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA	23
2.3.1	Painéis de madeira aglomerada	23
2.3.2	Painéis de partículas orientadas (OSB)	24
2.4	PARÂMETROS QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS	27
2.4.1	Espécie	27
2.4.2	Massa específica da madeira e dos painéis	28
2.4.3	Razão de compactação	30
2.4.4	Geometria e orientação das partículas	31
2.4.5	Umidade das partículas	34
2.4.6	Adesivos	35
2.4.7	Parafina	36
2.4.8	Parâmetros de prensagem	37
2.4.8.1	Temperatura	37
2.4.8.2	Pressão	38
2.4.8.3	Tempo	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1	MATÉRIA PRIMA	41
3.2	CORTE DO MATERIAL PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E GERAÇÃO DAS PARTÍCULAS	42

3.3	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	43
3.4	GERAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS	44
3.5	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	46
3.5.1	Delineamento experimental	46
3.5.2	Produção dos painéis de madeira aglomerada e OSB	48
3.5.2.1	Confecção dos corpos de prova	49
3.5.2.2	Avaliação das propriedades físicas e mecânicas	51
3.5.2.3	Análise estatística	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	53
4.2	PAINÉIS AGLOMERADOS.....	55
4.2.1	Geometria das partículas	55
4.2.2	Propriedades físicas	56
4.2.2.1	Massa específica aparente e Razão de compactação	56
4.2.2.2	Absorção d'água e Inchamento em espessura	58
4.2.3	Propriedades mecânicas.....	61
4.2.3.1	Flexão estática	61
4.2.3.2	Tração perpendicular à superfície	63
4.2.4	Efeito da espécie e da massa específica nominal sobre as propriedades físicas dos painéis aglomerados.....	65
4.2.4.1	Efeito da espécie sobre a massa específica e razão de compactação dos painéis aglomerados	65
4.2.4.2	Efeito da espécie sobre a absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis aglomerados	66
4.2.4.3	Efeito da massa específica sobre a absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis aglomerados.....	68
4.2.5	Efeito da espécie e da massa específica dos painéis sobre as propriedades mecânicas	70
4.2.5.1	Efeito da espécie sobre a resistência à flexão estática dos painéis aglomerados	70
4.2.5.2	Efeito da massa específica nominal sobre a resistência à flexão estática dos painéis aglomerados	71
4.2.5.3	Efeito da espécie sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados	72

4.2.5.4	Efeito da massa específica nominal sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados.....	74
4.2.6	Resumo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados	75
4.3	PAINÉIS OSB	77
4.3.1	Geometria das partículas	77
4.3.2	Propriedades físicas dos painéis OSB	78
4.3.2.1	Massa específica aparente e Razão de compactação	78
4.3.2.2	Absorção d'água e Inchamento em espessura	80
4.3.3	Propriedades mecânicas dos painéis OSB	82
4.3.3.1	Flexão estática	82
4.3.3.2	Tração perpendicular.....	85
4.3.4	Efeito da espécie e da massa específica nominal sobre as propriedades físicas dos painéis	86
4.3.4.1	Efeito da espécie sobre massa específica do painel e razão de compactação.....	86
4.3.4.2	Efeito da espécie sobre a absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas	88
4.3.4.3	Efeito da massa específica nominal sobre a absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas.....	89
4.3.5	Efeito da espécie e da massa específica dos painéis sobre as propriedades mecânicas	90
4.3.5.1	Efeito da espécie sobre a resistência à flexão estática dos painéis OSB	90
4.3.5.2	Efeito da massa específica nominal sobre a resistência à flexão estática dos painéis OSB	92
4.3.5.3	Efeito da espécie sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis OSB	93
4.3.5.4	Efeito da massa específica sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis OSB	94
4.3.6	Resumo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados	96
5	CONCLUSÕES	98
6	REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

O setor de painéis reconstituídos de madeira vem se expandindo cada vez mais com o passar dos anos, o surgimento de novas tecnologias e o aperfeiçoamento de processos fazem com que a produtividade aumente exponencialmente, gerando produtos de melhor qualidade e maior valor agregado. O controle de qualidade destes produtos está cada vez mais rigoroso devido à grande demanda de exportações, isso reflete conseqüentemente nas exigências de controle da matéria prima utilizada, o que geralmente tende a não ser uma grande preocupação para o setor de particulados.

A matéria prima que supre as indústrias de painéis reconstituídos é composta na sua maior parte por espécies do gênero *Pinus*, devido ao crescimento relativamente rápido, madeira leve, de fácil trabalhabilidade, sendo ideal para a composição de painéis de diferentes densidades, além de, possuírem coloração clara o que é muito desejado pelos consumidores, por não transmitir ao produto final uma aparência desagradável, favorecendo também o processo de acabamento.

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2014), 66,4% do consumo total de madeira *in natura* das indústrias de painéis brasileiras, são provenientes de espécies do gênero *Pinus* e apenas 31,7% de espécies do gênero *Eucalyptus*. Contudo, o gênero *Eucalyptus* possui a maior área de florestas plantadas no Brasil com aproximadamente 5,56 milhões de hectares. De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2013), desse total, 46,1% é destinado para o setor de carvão e lenha industrial, 42,1% para celulose e papel e apenas 4,3% vai para o setor de painéis reconstituídos. Com essas informações, levanta-se a questão de apenas uma pequena porcentagem ser destinada a esse ramo de atividade.

Uma das prováveis explicações desse maior direcionamento da madeira de *Eucalyptus* para o setor de energia, se deve ao fato de as madeiras provenientes de florestas de curta rotação, advirem de árvores jovens com aproximadamente sete anos, as quais não são utilizadas em setores de grande valor econômico como madeira serrada, por possuírem diâmetro insuficiente ou ainda, apresentarem predominantemente lenho juvenil, resultando conseqüentemente em alto coeficiente de anisotropia e tensões de crescimento, prejudicando dessa forma a secagem da madeira.

Por outro lado, esses problemas decorrentes da madeira juvenil que podem interferir de alguma forma em determinados segmentos da indústria de base florestal, são simplesmente eliminados no processo de produção de painéis particulados, já que, a madeira sólida é reduzida a cavacos e posteriormente à partículas menores. Além disso, inúmeros estudos realizados comprovam que painéis produzidos com madeira de *Eucalyptus* apresentam de uma maneira geral melhores propriedades físicas e mecânicas quando comparados aos painéis tradicionalmente produzidos com madeira de *Pinus*. Dessa forma, pode-se produzir painéis de qualidade superior aos produzidos atualmente, e ainda, com a disponibilidade de obtenção da matéria prima a partir de florestas com crescimento e corte mais acelerado quando comparadas às florestas de *Pinus*.

Com isso, essa madeira direcionada em sua maior parte para geração de energia pode ser convertida em um produto de maior valor agregado, maior qualidade e com fontes de obtenção com maior distribuição no país, além de, aumentar a diversidade e o volume de madeira para as indústrias desse ramo, que vem crescendo cada vez mais nos últimos anos.

Com base nessa linha de raciocínio, o presente trabalho tende a contribuir para a resolução das questões levantadas acima, sendo que, as espécies utilizadas nesta pesquisa são provenientes de florestas de curta rotação, porém, ainda pouco utilizadas no setor de painéis particulados se comparadas às espécies do gênero tradicional. Dessa forma, busca-se utilizá-las de maneira convencional na produção de painéis particulados de modo a obter um produto final de melhor qualidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica da utilização de cinco espécies de *Eucalyptus* de curta rotação para a produção de painéis aglomerados e OSB.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a massa específica da madeira;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados e OSB;
- Analisar o efeito da massa específica e da razão de compactação nas propriedades dos painéis aglomerados e OSB;
- Analisar o efeito da mistura das cinco espécies nas propriedades dos painéis aglomerados e OSB;
- Verificar se os painéis produzidos atendem aos requisitos mínimos exigidos pelas normas europeias EN e brasileiras ABNT;
- Comparar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com *Eucalyptus* spp. com as de painéis tradicionais de *Pinus taeda*;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais - SNIF (2013), a pouco mais de um século de introdução no país, o gênero *Eucalyptus* possui a maior área com floresta plantada no Brasil, atingindo cerca de 5.473.176 hectares em 2013, isso se deve ao Brasil deter as melhores tecnologias na silvicultura do *Eucalyptus* podendo atingir cerca de 60 m³/ha em rotações de 7 anos.

De acordo com CIFlorestas (2015), atualmente, têm-se de 600 a 700 espécies do gênero *Eucalyptus* já identificadas, sendo que no Brasil, as principais espécies plantadas são: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. viminalis*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, o híbrido *E. urograndis* entre outros.

As espécies de *Eucalyptus* cultivadas, movem as principais indústrias do setor de base florestal no país como as de carvão e lenha, celulose e papel e painéis.

Nos próximos tópicos são apresentadas as principais características das espécies utilizadas no presente trabalho.

2.1.1 *Eucalyptus dunnii* Maiden

O *Eucalyptus dunnii* é uma espécie de rápido crescimento, especialmente em solos férteis com boa profundidade, boa forma das árvores dando origem a talhões uniformes e razoavelmente tolerante à geada, sendo o seu plantio indicado para regiões com temperaturas mínimas de 3 a -1°C, sob condições de aclimação prévia por redução gradual de temperatura na estação fria, podendo suportar de 20 a 60 geadas anuais de baixa intensidade. No Brasil, é cultivado em quase todo o país, salvo na região Nordeste e parte da região Norte, atingindo produtividade anual de madeira maior que 50 m³/ha/ano para múltiplos usos (EMBRAPA, 1986; PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005; PALUDZYSZYN FILHO *et al.*, 2006; AVEIRO; CERCAL, 2007; MCMAHON *et al.*, 2010; IPEF, 2015a).

Há alguns anos atrás, os plantios comerciais com *E. dunnii*, eram limitados no país pela inexistência de produção de sementes em nosso meio, e a impossibilidade de importação de sementes em quantidades suficientes. Como a importação de

sementes em grande escala é difícil, os plantios ficam condicionados à disponibilidade de sementes ou de mudas obtidas através de propagação vegetativa (EMBRAPA, 1986; IPEF, 2015a).

Segundo Paludzyszyn Filho e Santos, (2005) e IPEF (2015a), a madeira é muito semelhante a do *Eucalyptus grandis*, podendo ter as mesmas utilizações. Apresenta resistência média com densidade básica de 0,50 g/cm³, sendo utilizada principalmente para fins energéticos, estruturas leves, confecção de chapas e para celulose. A espécie apresenta potencial de utilização para o segmento de painéis reconstituídos, obtendo bons resultados (CUNHA *et al.*, 2014). Em painéis compensados, o *E. dunnii* mostrou-se adequado para sua produção, superando resultados obtidos a partir do *Pinus taeda* (JAEGER; ZIGER, 2007). Para a produção de carvão vegetal, a espécie apresenta características físicas e químicas que permitem sua utilização como matéria prima, sendo uma alternativa renovável de energia (SCREMIN, 2012). Quanto à produção de celulose, o *E. dunnii* atende as exigências do mercado consumidor (FERREIRA *et al.*, 1997).

2.1.2 *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

Uma das espécies mais plantadas no Brasil, podendo atingir incremento volumétrico de 63 m³/ha/ano (Oliveira *et al.*, 1999). O *E. grandis* suporta geadas ocasionais em regiões de ocorrência natural, sendo o seu plantio, indicado para locais com média das mínimas do mês mais frio entre 3 a 6°C, é muito utilizado na obtenção de híbridos e para a clonagem de árvores selecionadas (MORA; GARCIA, 2000; ALZATE, 2004; HIGA; WREGGE, 2010; IPEF, 2015b).

A madeira de *E. grandis* é relativamente leve e fácil de ser trabalhada, com densidade básica média, segundo Vital *et al.* (1992) e Lopes (2003), de 0,46 g/cm³. É utilizada intensivamente na Austrália e na República Sul Africana como madeira de construção, quando oriunda de plantações de ciclos longos, e para caixotaria quando em ciclos curtos. Possui baixa estabilidade dimensional e elevada permeabilidade, apresentando problemas de empenamento, contrações e rachaduras quando desdobrada e submetida a secagem (ALZATE, 2004; IPEF, 2015b). Segundo o IPEF (2015b), plantações com manejo bem conduzido, podem produzir madeira com condições favoráveis para serraria e laminação, porém, atualmente é destinado em

sua maior parte para celulose e papel, sendo a principal fonte de matéria prima da região Sudeste.

De acordo com Iwakiri *et al.* (2008), a espécie apresenta resultados satisfatórios para o segmento de painéis estruturais OSB quando comparados aos tradicionais de *Pinus taeda*. Para painéis estruturais de lâminas paralelas (LVL), o *E. grandis* possui grande potencial para produção em escala industrial (PALMA; BALLARIN, 2011). Para carvão vegetal, a espécie se destaca em produtividade por unidade de área (BRITO *et al.*, 1983). Quanto à produção de celulose, o *E. grandis* está perdendo lugar para o seu híbrido *E. urograndis*, que apresenta alta resistência ao agente causador do cancro do tronco e ainda produção e rendimento superiores à espécie (MORA; GARCIA, 2000).

2.1.3 *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage

O *E. benthamii* é uma espécie introduzida da Austrália, que tem despertado muito interesse dos produtores de florestas plantadas para plantios em áreas de ocorrência de geadas severas (SILVA, 2008). Segundo a mesma autora, a espécie apresenta rápido crescimento e excelente forma de fuste e, se plantada em época adequada, não é danificada por geadas severas.

De acordo com Nisgoski *et al.* (1998), a espécie pode suportar de 30 a 40 geadas por ano, como é o caso da população localizada no Nordeste de Sydney na Austrália onde o inverno é mais rigoroso. Em plantios, a espécie se consolida em locais com temperaturas médias mínimas de -1 a 3 °C no mês mais frio, porém, pode suportar temperaturas de até -6°C, que é comumente atingida no inverno em alguns municípios do Paraná (PALUDZYSZYN FILHO *et al.*, 2006). Segundo os mesmos autores, sob aclimatação prévia com redução gradual de temperatura, o *E. benthamii* pode ser indicado para plantios em regiões com mínimas de até -10 °C, abaixo dessa temperatura pode ocorrer atraso de 2% do desenvolvimento em relação à altura das plantas.

Com densidade básica entre 0,47 e 0,52 g/cm³, a espécie possui madeira dimensionalmente instável, com índices elevados de contração volumétrica e de coeficiente de anisotropia, podendo-se constatar uma forte tendência ao empenamento das tábuas durante o desdobro, especialmente ao encanoamento,

mesmo que em condições amenas de secagem, à sombra. Dessa forma, a espécie é indicada para produção de madeira com finalidade energética e celulose, mas não para produção de madeira serrada (HIGA; PEREIRA, 2003; MÜLLER *et al.*, 2014).

De acordo com Müller *et al.* (2014), os principais trabalhos realizados com *E. benthamii* a respeito da sua utilização, estão basicamente relacionados ao seu uso potencial na indústria de celulose e papel.

Iwakiri *et al.* (2013) estudando a resistência de juntas coladas da madeira de *E. benthamii* concluíram que a espécie tem potencial para a manufatura de produtos colados de madeira. Para a produção de painel colado lateralmente (PCL), Martins (2011), observou que a madeira de *E. benthamii* atingiu aos requisitos mínimos de colagem para diferentes tipos de adesivos, assim como, bom desempenho na aderência de produtos de acabamento.

Segundo Martins *et al.* (2011), painéis compensados produzidos com a madeira de *E. benthamii* apresentou resistência à flexão superior a aqueles produzidos com o híbrido *E. urograndis*. Para painéis aglomerados, Cunha *et al.* (2014) afirmam que a espécie apresenta potencial de utilização no segmento. O mesmo foi observado por Martarello (2014) a partir de painéis estruturais, concluindo que a espécie pode ser uma alternativa para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB).

2.1.4 *Eucalyptus saligna* Smith

O *Eucalyptus saligna* ocorre onde o clima é principalmente quente e úmido, com média das temperaturas máxima no mês mais quente entre 24 e 33°C, e a mínima média do mês mais frio entre -2 e 8°C onde as geadas ocorrem numa intensidade de 5 a 10 dias por ano (IPEF, 2015c). Segundo Arnold *et al.* (2004), a temperatura mínima absoluta que *E. saligna* suportou foi na China, com temperaturas de até -10°C. No entanto, segundo Paludzyszun Filho (2006) a espécie possui uma maior sensibilidade ao frio quando comparada ao *E. dunnii*, limitando dessa forma, o seu plantio.

De acordo com o autor supracitado, a espécie é freqüentemente confundida com *E. grandis* em função das afinidades existentes entre elas, porém, produz madeira de maior densidade, em torno de 0,46 a 0,56 g/cm³, como descrito por Batista *et al.* (2010).

Segundo Alzate (2004), a espécie é considerada uma das mais versáteis e indicada para usos múltiplos, a madeira é considerada medianamente leve e fácil de trabalhar em operações de usinagem, considerada de baixa estabilidade dimensional e de elevada permeabilidade. De acordo com a mesma autora, essas características tornam a madeira de *E. saligna* indicada para laminação, móveis, estruturas, caixotaria, postes, escoras, mourões, celulose e carvão.

Foelkel *et al.* (1975), afirmam em seu estudo que madeiras de *E. saligna* são indicadas para propósitos de rendimento em celulose depurada, alta resistência à tração e ao arrebentamento, ou ainda na fabricação de papéis mais densos para uma dada gramatura. Para aplicação em energia, Souza (2013), concluiu que a madeira da espécie atende a quase todos parâmetros necessários para produção de carvão vegetal.

Produzindo painéis estruturais OSB com madeira de *E. saligna*, Iwakiri *et al.* (2004), concluíram que a espécie apresenta grande potencial para o setor, pois, os valores médios obtidos para as propriedades mecânicas superaram os requisitos mínimos para painéis comerciais. Para painéis aglomerados, Iwakiri *et al.* (2000), observaram que aqueles produzidos com *E. saligna* apresentaram melhor comportamento em todas as propriedades quando comparados aos de outras espécies do gênero.

2.1.5 *Eucalyptus urograndis*

Constituindo a base da silvicultura clonal brasileira, recentemente o *E. urograndis* reuniu características interessantes inerentes a cada um de seus genitores. A espécie, que é resultado da hibridação entre o *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) e o *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, se tornou destaque entre os diversos híbridos atualmente utilizados por proporcionarem árvores com rápido crescimento, resistentes a pragas e doenças, e com madeira de alta qualidade (RUY, 1998; SANTOS, 2011; GONÇALEZ *et al.*, 2014).

Esse híbrido que é o mais utilizado no Brasil para obtenção de celulose de fibra curta, mostrou-se altamente adaptado à indústria de celulose e papel, apresentando crescimento rápido, com ciclos de corte entre 6 e 7 anos, elevados rendimentos da polpa entre 50 e 54% com alta qualidade (BASSA, 2006; GONÇALEZ *et al.*, 2014).

Com densidade básica entre 0,49 e 0,55 g/cm³, o *E. urograndis*, possui madeira macia ao corte, porém, em casos quando a madeira apresenta maior heterogeneidade no sentido radial, podem apresentar menores rendimentos em serraria. (ALZATE, 2004; ALZATE *et al.*, 2005; COSTA, 2011).

Segundo Assis *et al.* (2012), o carvão vegetal produzido com madeira de *E. urograndis* apresenta características satisfatórias para uso siderúrgico. Almeida *et al.* (2004), concluíram que as lâminas de *E. urograndis* apresentam alto potencial para manufatura de compensados, fato confirmado por Kazmierczak (2012), que concluiu que painéis compensados produzidos com lâminas de madeira deste híbrido atenderam os requisitos normativos da ABNT. A madeira do híbrido pode ser utilizada para usos estruturais assim como painéis de fibras e outros, devido as características das fibras, em termos de comprimento, largura e espessura da parede (ALZATE, 2004).

2.2 UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus* PARA PAINÉIS PARTICULADOS

Segundo a ABRAF (2013), a área total de florestas plantadas no Brasil com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* totalizou 6.664.812 ha no ano de 2012, sendo que 76,6% correspondem à área de plantios de *Eucalyptus* e 23,4% à plantios de *Pinus*. Desse total, 5.102.030 ha são de florestas de *Eucalyptus* e 1.562.782 ha de *Pinus*. Além disso, de acordo com dados do SNIF (2013), a área de florestas plantadas com *Eucalyptus* cresceu ainda mais, totalizando em 5.473.176 ha no ano de 2013. Esses números mostram claramente, que quando comparados aos plantios de *Eucalyptus*, as áreas plantadas com *Pinus* tornaram-se a menor parte no país

Os mais diversos setores madeireiros, como o de painéis de madeira industrializada e o setor moveleiro, são abastecidos predominantemente pela matéria-prima proveniente dessas florestas. Cerca de 24,4% dos plantios de *Pinus* e 7,3% dos plantios de *Eucalyptus* são destinados ao setor de painéis de madeira reconstituída (ABRAF, 2013).

O setor de painéis de madeira apresentou em 2013 um consumo de 20.264.031 m³ de madeira *in natura*, sendo que desse valor, 6.428.162 m³ são provenientes de madeira de *Eucalyptus* (IBÁ, 2014).

2.3 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

2.3.1 Painéis de madeira aglomerada

Os painéis de madeira aglomerada são produtos fabricados com pequenas partículas de madeira (ou outros materiais lignocelulósicos) aglutinadas com adesivos sintéticos, consolidados por meio de aplicação de alta temperatura e pressão por tempo suficiente para que ocorra a plasticização da lignina e a cura do adesivo (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; IWAKIRI *et al.*, 2005a; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Os primeiros projetos utilizando aglomerados são datados de 1941, na Alemanha, porém, com a Segunda Guerra Mundial houve a queda da produção devido a redução da disponibilidade das resinas derivadas do petróleo. A retomada da produção ocorreu na Europa após a guerra, onde buscou-se o aproveitamento de resíduos de madeiras excedentes de indústrias, serrarias e laminadoras, expandindo-se para os Estados Unidos, e vindo a ser fabricado no Brasil somente em 1966 pela Placas do Paraná S.A., instalada na cidade de Curitiba-PR (MOSLEMI, 1974; ROSA, 2013).

Segundo Zenid *et al.* (2003), os painéis de madeira aglomerada surgiram no intuito de compensar as variações dimensionais da madeira serrada, além de diminuir o seu peso e custo, e ainda, manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Os autores ressaltam que devido à sua estabilidade, estes painéis permitem que sejam cortados em qualquer direção, obtendo o seu máximo aproveitamento, além de serem utilizados amplamente na indústria de móveis, construção civil, embalagens, entre outros.

De acordo com a ABIPA (2014), os painéis aglomerados são indicados sobretudo para a produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas, tendo como principais aplicações: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base inferior, frentes e laterais de gaveta.

Em 2012, o painel aglomerado foi tido como uma das principais matérias-primas para a fabricação de móveis no Brasil, com 95% da produção destinada a esse setor e com um aumento de sua produção de 3,3 milhões de m³ em 2012 para 3,8 milhões de m³ em 2013 (ABIPA, 2014; FAO, 2014).

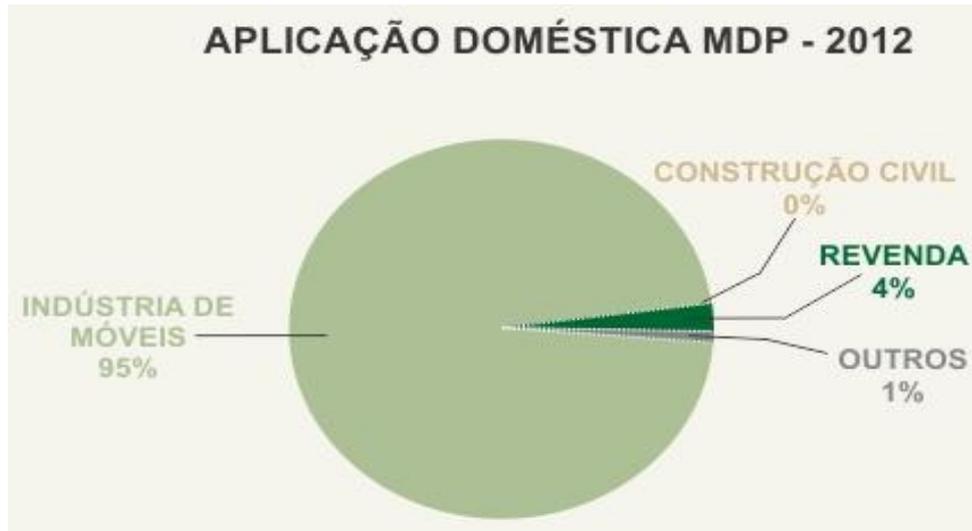


FIGURA 1 – DESTINAÇÃO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS EM 2012.
 FONTE: ABIPA (2014).

2.3.2 Painéis de partículas orientadas (OSB)

Os painéis OSB (*Oriented Strand Board*), são produtos fabricados com partículas de madeira do tipo “*strand*” (longas, largas e finas) orientadas e coladas com resinas sintéticas à prova d’água, sendo o conjunto consolidado por meio de aplicação de calor e pressão (MALONEY, 1996; CLOUTIER, 1998). As partículas são orientadas em camadas durante o processo de formação do painel, de modo que essas fiquem alinhadas e paralelas ao comprimento ou largura do mesmo. Esses painéis são compostos por três a cinco camadas, sendo que, as internas podem ser orientadas de forma aleatória ou transversal à camada externa (FIGURA 2). A disposição longitudinal das partículas nas camadas de superfície aumenta a resistência e a rigidez do painel na direção do alinhamento (TSOUMIS, 1991; EN 300, 2006).

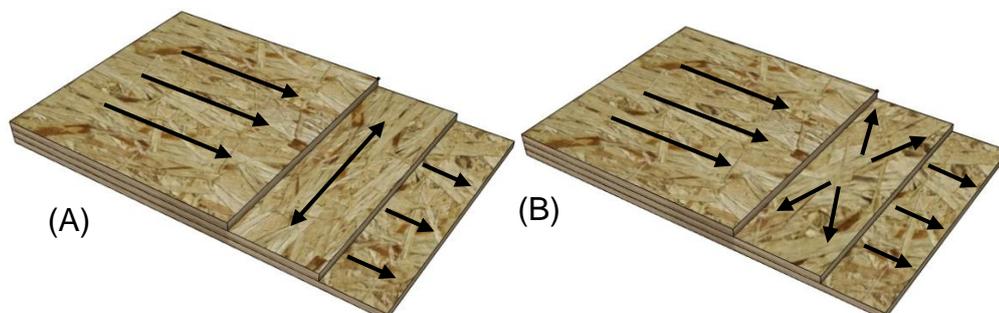


FIGURA 2 – DIFERENTES ORIENTAÇÕES DE CAMADAS EM PAINÉIS OSB.
 (A) Orientação perpendicular das partículas da camada interna em relação às da superfície; (B) Orientação aleatória das partículas da camada interna.
 FONTE: SBA (2005), adaptado.

Direcionados principalmente para usos estruturais, os painéis OSB são considerados os sucessores dos painéis *waferboard*, competindo com o compensado, porém, por ser menos exigente do que este na qualidade da matéria prima, o OSB está substituindo o compensado em muitas aplicações. (CLOUTIER, 1998; MENDES, 2001).

O OSB foi inicialmente desenvolvido nos EUA, com base em patentes que datam de 1935, e posteriormente se basearam em painéis de madeira produzidos com "tiras de lâminas orientada transversalmente". A primeira planta piloto nos EUA iniciou a produção experimental em 1963. A primeira fábrica na Europa iniciou as atividades apenas em 1978. Em apenas 35 anos, a aceitação do mercado é total e cerca de 100 linhas de produção com capacidade superior a 40 milhões de m³ por ano foram instaladas em todo o mundo. A América do Norte é, de longe, a maior produtora de OSB, com 85% da produção mundial concentrada nos EUA e Canadá. A Europa opera 15 novas fábricas com uma capacidade total de 4 milhões de m³ por ano (IRLE; BARBU, 2010).

No Brasil, a primeira unidade industrial de OSB foi introduzida pela empresa chilena Maderas y Sintéticos S.A, conhecida atualmente como Masisa, localizada no município de Ponta Grossa, estado do Paraná, que iniciou sua produção em 2002, com capacidade instalada de 350.000 m³ por ano (SALDANHA; IWAKIRI, 2009). Em 2007, a empresa norte americana Louisiana-Pacific South America S.A (LP) comprou a unidade produtiva de painéis OSB da MASISA, entrando em operação com novo nome em 2008 (LP BRASIL, 2015).

De acordo com a ABIPA (2014), os painéis OSB são indicados sobretudo para a construção civil como: tapumes, canteiros de obras, bandejas de proteção, fôrmas de concreto, andaimes e passarelas, paredes, pisos e telhados, bem como mezaninos e móveis expostos à umidade como em banheiros, cozinhas e áreas litorâneas. A Figura 3 mostra como o OSB é largamente utilizado na construção civil, principalmente nos Estados Unidos.



FIGURA 3 – EDIFÍCIO SENDO CONSTRUÍDO INTEIRAMENTE COM OSB.
 FONTE: ARCHITECTURAL RECORDS (2014).

A utilização dos painéis OSB tem crescido significativamente e ocupado espaço antes exclusivo dos 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). Em 2001, os painéis OSB superaram os painéis compensados em metros quadrados produzidos, esse tipo de painel é utilizado atualmente em cerca de 70 % de todos os pisos, paredes e telhados na América do Norte (FAMILY HANDYMAN, 2015).



FIGURA 4 – COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO EM M² DE PAINÉIS OSB E COMPENSADO.
 FONTE: FAMILY HANDYMAN (2015), adaptado.

2.4 PARÂMETROS QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS

Para que se obtenha painéis reconstituídos com boas características físicas e mecânicas, alguns parâmetros devem ser controlados. Esses parâmetros interagem entre si, não permitindo que sejam considerados de maneira individual. Muitos são os efeitos que cada parâmetro exerce sobre as propriedades dos painéis, a sua manipulação de forma cautelosa e mensurável contribui para o desenvolvimento do produto com as propriedades desejadas (KELLY, 1977; MALONEY, 1993).

Nos próximos tópicos são apresentados os principais parâmetros que afetam as propriedades dos painéis de madeira aglomerada e OSB.

2.4.1 Espécie

De todos os fatores que influenciam o processo de composição dos painéis, a espécie é um dos mais significantes pois, ela interage com praticamente todas as variáveis do processo (MALONEY, 1993). De acordo com Kollmann *et al.* (1975), Tsoumis (1991) e Maloney (1993), cada espécie possui particularidades em sua estrutura anatômica, química e física devido a variabilidade genética de cada uma, fazendo com que a matéria prima gerada seja distinta das demais. Essas diferenças exercem uma grande influência como por exemplo, no tipo de partícula gerada, que implicará diretamente na homogeneidade da superfície de painéis produzidos em camadas. Maloney (1993) completa que, além de a formulação da resina ser determinada pela espécie, algumas podem requerer um maior controle de umidade, devido a possibilidade de estouro no final da prensagem.

Segundo Kelly (1977) e Tsoumis (1991), o fator relacionado a espécie de maior influência é a massa específica pois, as partículas podem ser prensadas para gerar painéis com densidade de 5 a 20% maior que a da madeira que deu origem.

De acordo com Moslemi (1974) e Irle e Barbu (2010), em todo o mundo são inúmeras as espécies atualmente utilizadas na produção de painéis reconstituídos, sendo que, as coníferas são mais requisitadas para este fim por terem uma melhor trabalhabilidade e resultarem em painéis com superfície mais lisa do que folhosas. Nemli *et al.* (2005), complementam que madeiras provenientes de coníferas devem

ser preferidas para produção de painéis reconstituídos devido apresentarem fibras mais longas e melhores propriedades de qualidade de superfície, porém, madeiras de folhosas também podem ser empregadas, sendo destinadas sobretudo para camada interna desses painéis.

Segundo Tsoumis (1991), as espécies de coníferas e folhosas de densidade entre 0,40 e 0,60 g/cm³ são preferidas para produção de painéis, porém, folhosas mais pesadas também podem ser utilizadas. O mesmo autor completa que as espécies mais utilizadas nos Estados Unidos são: *Pine*, *Spruce*, *fir*, *Douglas-fir*, *Poplar* e *Oak*. Segundo Cloutier (1998), as espécies *Aspen* e *White birch* também são utilizadas.

Atualmente as principais espécies utilizadas na produção de painéis reconstituídos no Brasil são as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, as quais são plantadas em grande escala nas regiões Sul e Sudeste do país, onde estão localizadas as indústrias (IWAKIRI *et al.*, 2010).

2.4.2 Massa específica da madeira e dos painéis

A massa específica da madeira exerce influência significativa não somente nas propriedades dos painéis, bem como, no processo produtivo (MOSLEMI, 1974). Ela afeta o consumo de energia, desgaste das facas e a massa específica do painel (TSOUMIS, 1991). Painéis produzidos com espécies de baixa massa específica apresentam de uma forma geral, maior resistência à flexão, módulo de elasticidade e resistência à tração, embora a resistência ao arrancamento de parafusos, absorção de água e inchamento em espessura sejam um pouco afetadas (MOSLEMI, 1974). A razão pela qual isso acontece se deve ao fato de que espécies com baixa massa específica podem ser comprimidas até que haja área de contato suficiente entre partículas durante a prensagem para alcançar uma boa ligação (MALONEY, 1993). Na prática, o material é comprimido cerca de 50% da sua massa específica original, portanto, uma madeira com 0,4 g/cm³ após a compressão resultará em um painel de aproximadamente 0,6 g/cm³. Este grau de compressão é necessário para se alcançar um bom contato entre partículas (IRLE; BARBU, 2010).

Na Figura 5, pode-se observar claramente que a resistência à flexão dos painéis é superior quando uma madeira de massa específica mais baixa é utilizada. Outro fato a se observar é que, quanto maior a massa específica da madeira, maior

será a quantidade de partículas necessária para que se atinja os valores de resistência à flexão desejados.

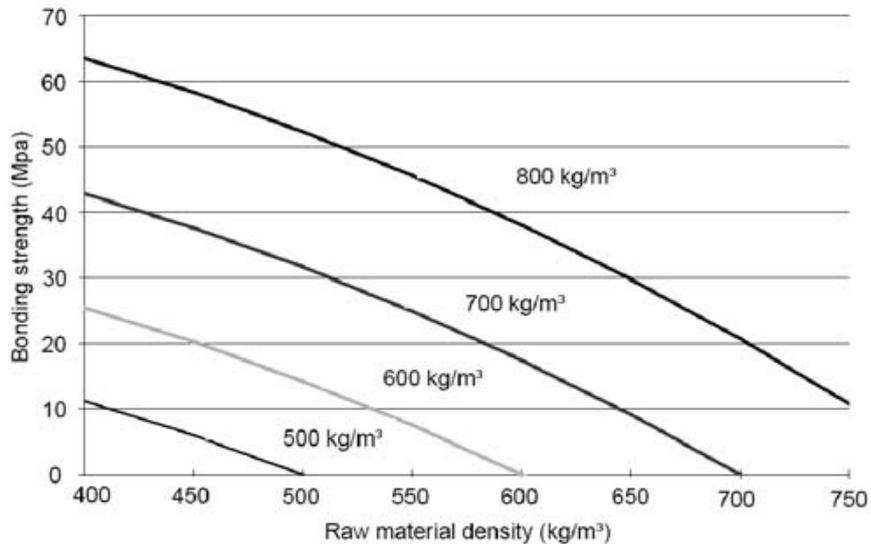


FIGURA 5 – RELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA E A RESISTÊNCIA À FLEXÃO DOS PAINÉIS.
 FONTE: IRLE; BARBU, (2010).

De acordo com Maloney (1993), nos Estados Unidos e Canadá, as massas específicas das madeiras utilizadas para painéis se encontram entre 0,30 e 0,50 g/cm³, porém, madeiras com massa específica de até 0,65 g/cm³ são utilizadas, geralmente para produtos de alta densidade. No Brasil, são mais comumente utilizadas para produção de painéis particulados, madeiras do gênero *Pinus*, por apresentarem massa específica na faixa média de 0,35 a 0,45 g/cm³. Porém, Hillig (2000), afirma que madeiras com massa específica de até 0,60 g/cm³ também são utilizadas.

Para a produção de painéis OSB, as massas específicas mais desejadas variam, segundo Cloutier (1998), de 0,25 a 0,45 g/cm³. Espécies de massa específicas entre 0,45 e 0,55 g/cm³ também podem ser utilizadas, mas são menos desejadas e mais frequentemente utilizadas em mistura com madeiras de baixa massa específica.

De acordo com Wilson (2001), a massa específica dos painéis é uma das propriedades mais importantes a determinar, sendo que esta influencia diretamente as propriedades mecânicas. Tendo conhecimento da massa específica, pode-se controlar a quantidade de material requerida para que se obtenha bons resultados.

Em seu estudo, Hillig (2000) afirma que o aumento da massa específica do painel, provoca um aumento da resistência à flexão e da resistência à tração. O mesmo autor comenta que muitos pesquisadores têm encontrado uma relação linear e positiva entre a massa específica do painel e as propriedades de resistência à flexão. Sobral Filho (1981), estudando a influência do tipo da madeira nas propriedades de painéis OSB, concluiu que com o aumento da massa específica dos painéis de 0,67 para 0,73 g/cm³, ocorre um aumento nas propriedades mecânicas dos painéis (MOR, MOE e ligação interna). Porém, essa variável não influenciou as propriedades de inchamento em espessura e expansão linear. Outro ponto observado pelo autor, foi que a introdução de partículas menores resultou em um pequeno aumento na massa específica dos painéis, mas por outro lado, um decréscimo nos valores de MOR e MOE.

Segundo Vital *et al.* (1974), aumentos no inchamento em espessura devem ser esperados com o aumento da massa específica dos painéis, porém, o ganho em resistência mecânica com esse aumento pode ser suficiente para compensar a tendência do aumento em inchamento. Essa relação entre a massa específica do painel e o inchamento em espessura é explicada por Medved *et al.* (2010), que estudando esta propriedade concluiu, que durante a prensagem, as partículas são comprimidas e sobrepostas em forma curva, causando dessa forma fraturas, micro fraturas e colapso das paredes celulares. Uma vez que as partículas prensadas a fim de obter maior densidade são conseqüentemente mais deformadas devido à maior quantidade de material, o potencial de reversão dessas partículas e da densificação é maior, portanto, quando há o retorno o resultado de inchamento é maior.

2.4.3 Razão de compactação

A razão de compactação é descrita como a relação entre a massa específica do painel e a massa específica da madeira que lhe deu origem, ou seja, é a expressão da massa específica do painel em função da massa específica da madeira. Por meio desta razão, também é possível determinar a pressão apropriada requerida para consolidação do painel. Uma razão de 1,0 a 1,3 são boas referências para determinar se uma espécie pode ser utilizada com êxito na produção de painéis aglomerados de média densidade. Madeiras com baixa massa específica resultam em alta razão de

compactação dos painéis por produzirem bom contato entre partículas, portanto, valores de razão de compactação entre 1,3 a 1,6 podem ser considerados ideais para o processo de densificação e consolidação do colchão de partículas até a espessura final do painel (MALONEY, 1993; CLOUTIER, 1998; HILLIG, 2000; MENDES, 2001).

De acordo com Hillig (2000), a razão de compactação afeta todas as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, a utilização de razões de compactação muito baixas pode prejudicar a colagem do painel devido ao mal contato entre as partículas na hora da prensagem, por outro lado, altas razões de compactação podem gerar problemas na prensagem dificultando a saída do vapor de água, e ainda, levando ao consumo excessivo de matéria prima.

O mesmo autor afirma que em experimentos, os fatores massa específica do painel e razão de compactação são controlados dependendo do autor do experimento, enquanto alguns como Matos (1988) e Trianoski (2010) preferiram estabelecer a massa específica do painel, outros como Haselein *et al.* (1989) e Gonçalves *et al.* (2014) se preocuparam em fixar a razão de compactação.

2.4.4 Geometria e orientação das partículas

Muitos são os tipos de partículas que pode-se obter por meio da redução da madeira, onde cada um possui peculiaridade dependendo do produto final a ser obtido. Para painéis aglomerados e OSB, as partículas mais utilizadas são do tipo “*Sliver*” e “*Strand*”, respectivamente, que de acordo com Maloney (1993) e Marra (1992) são descritos como:

- *Sliver*: Partículas de secção transversal aproximadamente quadrada ou retangular, com um comprimento paralelo à grã da madeira de pelo menos quatro vezes a sua espessura. As dimensões vão de 6,35 a 76,20 mm para comprimento e de 0,13 a 0,63 mm para largura e espessura;
- *Strand*: Partículas relativamente longas, consistindo em tiras de madeira com comprimento ou superfície paralela à direção da grã. As dimensões vão de 12,70 a 76,20 mm para comprimento; de 6,35 a 25,40 mm para largura e de 0,25 a 0,63 mm para espessura.

O tamanho e formato das partículas (geometria), são características essenciais do tipo de partícula pois, são fatores determinantes nas características e propriedades dos painéis, juntamente com a espécie da madeira, tipo e quantidade de resina e outros aditivos utilizados, assim como a estrutura do painel determinada pela formação do colchão, camadas e condições de prensagem. A geometria das partículas interage intimamente com praticamente todos estes parâmetros na determinação das propriedades do produto final (MALONEY, 1993).

Cloutier (1998) comenta que para a produção de painéis OSB, partículas *Strand* de aproximadamente 25 mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento e 0,50 a 0,75 mm de espessura são obtidas. Contudo, as partículas produzidas normalmente não possuem as dimensões desejadas e uniformes, podendo haver partículas de grandes dimensões, que são removidas ou reduzidas, e partículas pequenas, as quais também são removidas ou separadas para posterior uso, como “finos”. Em certos casos, as partículas são separadas em dois ou mais grupos de dimensões (TSOUMIS, 1991).

A razão de esbeltez é o coeficiente usado para descrever a geometria das partículas, sendo a relação entre o comprimento e a espessura das partículas (KELLY, 1977). É um parâmetro relativamente importante que exerce grande influência sobre as características essenciais dos painéis como a área de contato entre partículas, propriedades mecânicas e consumo relativo de adesivo. Menores razões de esbeltez exigem maiores quantidades de adesivo por unidade de área superficial das partículas, devido a superfície lateral das partículas representarem uma parte significativa que o adesivo é aplicado, porém não contribui da mesma forma para a ligação entre as mesmas (ALBERTO, 1992). Segundo o mesmo autor, quando a relação é entre o comprimento e a largura das partículas denomina-se razão de planicidade, sendo um parâmetro diretamente ligado ao volume relativo de ar do colchão.

Segundo Moslemi (1974), a razão de esbeltez ideal no caso de painéis estruturais OSB de três camadas, varia de 120 a 200 para partículas das camadas externas, e de 60 para partículas de camada interna. Esse índice exerce influência significativa na qualidade dos painéis em termos de propriedades físicas e mecânicas, qualidade de acabamento e usinabilidade. Para Maloney (1977), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de no mínimo três para proporcionar boa orientação das partículas durante a formação do colchão.

Sobral Filho (1979) *apud* Mendes (2001), afirma que a largura das partículas

também tem sido um parâmetro de estudo, porém, sua influência não é tão significativa como a razão entre o comprimento e a espessura.

Estudando o efeito do tamanho e formato das partículas na resistência e estabilidade dimensional de painéis aglomerados, Turner (1954) citado por Maloney (1993), concluiu que quanto maior a razão de esbeltez das partículas, maior a resistência à flexão dos painéis. Por outro lado, partículas mais curtas e espessas melhoraram a ligação interna, e isso pode ser explicado devido ao fato que essas partículas apresentam uma menor superfície por unidade, resultando em maior quantidade de resina por área para o mesmo teor de resina.

Naumann *et al.* (2008) também observaram o aumento nos valores de MOR e MOE devido ao alta índice de esbeltez, porém, os painéis produzidos com partículas mais espessa apresentaram maior inchamento em espessura.

Estudando a influência de partículas com espessuras de 0,4; 0,7 e 1,0 mm nas propriedades de painéis OSB, Iwakiri *et al.* (2009), concluíram que as partículas com espessura de 1,0 mm proporcionaram menores valores de MOR e MOE, tanto no sentido paralelo quanto perpendicular, quando comparados com aqueles produzidos com partículas de menor espessura, contudo, o aumento na espessura das partículas proporcionou aos painéis, valores significativamente superiores de ligação interna.

Esses parâmetros são essenciais principalmente na produção de painéis OSB, pois, o comprimento e a largura das partículas controlam de certa forma o grau de orientação na formação dos mesmos. Em função de suas dimensões, as partículas do tipo “*strand*” proporcionam uma melhor orientação, quando comparados aos do tipo “*sliver*” ou “*flake*” (GEIMER, 1976).

Segundo Mendes (2001), as antigas partículas “*Wafer*” de formato quadrado, passaram a ser produzidas mais alongadas e estreitas com formato retangular dando origem a partículas “*Strand*”, dessa forma foi possível fazer a orientação dessas partículas com maior facilidade. Esta orientação proporciona para o OSB superiores propriedades de flexão em todo o painel quando comparado aos painéis *waferboard* preservando a estabilidade dimensional (CLOUTIER, 1998).

Outro fator que influencia na orientação das partículas é a altura da queda das partículas e a distância entre as lâminas do orientador (GEIMER, 1976). Estudando um orientador mecanizado para laboratório, Zhou (1989) concluiu que, a orientação das partículas é mais efetiva com a redução da distância as lâminas do orientador, porém, lâminas muito próximas podem afetar a capacidade de produção e levar a

quebras de partículas. Para uma melhor eficiência, a distância entre as lâminas, deve ser menor que a metade do comprimento das partículas, em seu experimento o autor supracitado obteve as melhores condições de orientação com valores de 25 mm para distância entre as lâminas e 50 mm para altura da queda das partículas.

2.4.5 Umidade das partículas

De acordo com Kelly (1977), a umidade das partículas é um fator extremamente crítico não somente para o tempo de prensagem, mas também no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade. A umidade das partículas que ficam na superfície evapora e passam para o miolo do colchão quando entram em contato com os pratos da prensa, se essa umidade for alta será necessário um tempo maior de prensagem para que haja toda a evaporação pelas laterais do colchão, caso contrário, ocorrerá o estouro ou delaminação do painel. Se a umidade das partículas da superfície for maior do que as do miolo, as faces do painel serão altamente densificadas em relação ao centro, e a resistência à flexão e rigidez serão significativamente superiores a de um painel similar prensado com umidade uniforme das partículas e com mesma massa específica (MALONEY, 1993).

Moslemi (1974) explica que partículas com um alto teor de umidade torna-as mais flexíveis, independentemente de sua densidade original, contribuindo para uma melhor compressão do colchão na hora da prensagem e também na diminuição do tempo de fechamento da prensa nos últimos 10 mm do colchão. O mesmo autor ressalva que um baixo teor de umidade das partículas também é um problema no processo, fazendo com que a transferência de calor para todo o colchão seja lenta e resulte na desuniformidade da densidade do mesmo. Korai e Saotome (2013), estudando o efeito da densidade e espessura do painel nas propriedades de painéis produzidos com partículas com alto teor de umidade, concluíram que a resina uréia-formaldeído não cura suficientemente quando exposta a altos teores de umidade, mesmo em condições de alta temperatura.

Maloney (1977) recomenda que a umidade das partículas deve se situar na faixa de 5%. Nemli (2003) concluiu que partículas com teor de umidade de 4% geraram painéis com propriedades mecânicas superiores e valores de inchamento em espessura inferiores a aqueles produzidos com partículas com teor de umidade de 1%. Carvalho *et al.* (2010) explicam que partículas que serão submetidas a aplicação

da resina líquida podem ser secas até uma umidade de aproximadamente 2 a 7%. Os autores completam que em painéis OSB, os *strands* são secos até obterem uma umidade em torno de 2% para sua produção.

2.4.6 Adesivos

Os adesivos utilizados pelas indústrias de painéis de madeira são predominantemente sintéticos, devido às suas características que promovem uma manipulação mais simplificada e de fácil obtenção, além das propriedades desejáveis para cada emprego (GURGEL, 2008).

De acordo com Tsoumis (1991), a colagem das partículas em painéis reconstituídos é geralmente feita utilizando ureia-formaldeído no caso de painéis para uso interno, e fenol-formaldeído para aqueles que são direcionados ao uso estrutural. A utilização da ureia em larga escala é devido seu baixo custo em relação à outros adesivos, fácil manipulação e cura rápida na prensagem, além de ser incolor, não transmitindo cores desfavoráveis ao produto (MALONEY, 1993). O mesmo autor completa que resinas fenólicas, independente da sua coloração escura, são muito utilizadas no mundo todo, porém, para aqueles produtos que ficam expostos à alta umidade.

Os adesivos a base de uréia-formaldeído são resistentes à umidade, porém, não são à prova d'água, e por isso, quando é necessário produzir painéis resistentes a intempéries, pode-se recorrer às colas a base de fenol-formaldeído. Estas, embora tenham custo elevado, são bastante usadas para a produção de painéis destinados à construção civil e naval (HILLIG, 2000).

Devido a sua cura ocorrer em pH ácido, a uréia-formaldeído na maioria dos casos, necessita da adição um catalisador externo na hora da aplicação, acelerando o processo de cura da resina, e garantindo que a prensagem seja feita em um tempo aceitável. Os mais utilizados pelas indústrias são o sulfato de amônia e o cloreto de amônia (IWAKIRI *et al.*, 2005a).

Segundo Coutier (1998), o adesivo a base de fenol-formaldeído é o mais utilizado na produção de painéis OSB, porém, o difenil metano di-isocianato (MDI) também é utilizado em cerca de 35% das fábricas de OSB, mais comumente para aplicações nas camadas internas dos painéis.

A quantidade de adesivo utilizada é geralmente de 6 a 7% sobre o peso de partículas secas, podendo ser utilizadas proporções de 8 a 10% nas camadas superficiais no caso de painéis com várias camadas (TSOUMIS, 1991).

Segundo Kollmann *et al.* (1975), a quantidade de resina utilizada influencia o tempo de cura, sendo que, a relação entre o gel time e a porcentagem de resina é quase hiperbólica. Para esses autores, uma quantidade de 7 a 10% de resina é suficiente para atingir os requisitos mínimos de resistência.

Ressel (2008) *apud* Irle *et al.* (2010), sugere quantidades diferentes de resinas dependendo do tipo de painel para painéis aglomerados convencionais utilizando uréia-formaldeído, a porcentagem pode variar de 4 a 10% sendo de 8 a 14% para as camadas de superfície e 4 a 8% para as camadas internas. Para painéis OSB, o autor recomenda trabalhar em uma faixa de 6 a 8% quando se utilizar fenol-formaldeído, e de 2 a 6% quando o adesivo for MDI.

O aumento quantidade de adesivo aplicado aumenta conseqüentemente a resistência em todas as propriedades dos painéis, porém, esse aumento é limitado até certo ponto, após isso a resistência alcançada se torna constante elevando apenas o recobrimento da partícula com a resina (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

Segundo Iwakiri *et al.* (2005a), o adesivo é o componente que representa o maior custo na produção de painéis reconstituídos, dessa forma, torna-se importante a definição do tipo e a otimização da quantidade de resina a ser utilizada, no sentido de buscar uma melhor relação custo benefício.

2.4.7 Parafina

Dentre os aditivos que podem ser aplicados na produção de painéis reconstituídos, o mais utilizado é a parafina. Segundo Mendes (2001), a parafina é adicionada a fim de proporcionar uma maior resistência à absorção d'água do painel. Contudo, isto não melhora a performance do painel quanto à absorção de vapor d'água. O efeito da parafina, na absorção da água e no inchamento em espessura do painel é significativa somente em curto intervalo de tempo, pois em períodos de tempo mais longos o efeito não é considerável.

De acordo com Maloney (1991), a parafina é aplicada normalmente como uma emulsão em quantidade entre 0,5 e 1% sobre peso seco de partículas. Quantidades maiores não proporcionam ganhos das propriedades de estabilidade dimensional,

pelo contrário, podem desencadear problemas de colagem e reduzir a resistência mecânica dos painéis (MOSLEMI, 1974).

Para Kollmann *et al.* (1975), a parafina a ser utilizada na produção de painéis deve ser homogênea, compatível com adesivos, endurecedores, água e preservantes, adequada para dosagens e aplicável por meio de aspersão. Os autores afirmam que a quantidade a ser utilizada vai de 0,3 a 0,5% quando se utilizar madeiras de coníferas e de 0,5 a 1,0 % para madeiras de folhosas.

Guimarães Júnior *et al.* (2013) estudando o efeito do teor de parafina nas propriedades de painéis aglomerados, concluíram que a quantidade de até 2,0% proporciona aos painéis maior estabilidade dimensional sem exercer influência negativa na propriedade de flexão estática. Dentre os ensaios mecânicos analisados, a compressão foi o único que apresentou efeito da adição de parafina, tendo os tratamentos com os teores mais elevados, proporcionado uma menor resistência dos painéis.

Variando de 0 a 3,75 % na quantidade de parafina em painéis aglomerados, Xu *et al.* (2009), observaram que o aumento do percentual desse aditivo até 1,75% proporcionou menor absorção de água. O mesmo não ocorreu para o inchamento espessura, em que valores superiores a 1% não proporcionaram ganho significativo de estabilidade. Os autores também notaram uma considerável perda de resistência na ligação interna com aumento do teor de parafina nos painéis.

2.4.8 Parâmetros de prensagem

2.4.8.1 Temperatura

Segundo Matos (1988), a temperatura de prensagem tem como principal função auxiliar na consolidação dos painéis, na densidade e espessura desejadas, acelerando a polimerização do adesivo e a plasticização da madeira, reduzindo a resistência à compressão.

Heebink *et al.* (1972) *apud* Iwakiri (1989) afirmam que temperaturas mais altas durante a prensagem permitem uma dissipação mais rápida de calor, resultando em melhor densificação das camadas internas do painel, trazendo maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática. Por outro lado, Kollmann *et al.*

(1975), afirmam que temperaturas excessivas ou por um longo período de prensagem reduzem a qualidade dos painéis, uma vez que a plasticidade da madeira aumenta rapidamente acima do ponto de ebulição da água, resultando em uma compressão indesejada da madeira.

Segundo Hillig (2000), a temperatura de prensagem é estabelecida em função do tipo de adesivo utilizado, e deve ser suficiente para que ocorra a evaporação total da água e a rápida cura do adesivo. Tsoumis (1991) recomenda temperaturas de prensagem de 160 a 220 °C para resinas fenólicas e de 140 a 200°C para ureia-formaldeído. Por outro lado, Moslemi (1974) afirma que as temperaturas de prensagem de painéis de média densidade variam de 132 a 204°C. Para Maloney (1993), altas temperaturas são necessárias no caso de resinas fenólicas variando em torno de 182 a 204 °C contudo, baixas temperaturas de prensagem também podem ser utilizadas eficientemente porém, influenciará o tempo total da prensagem.

Iswanto *et al.* (2013) avaliaram o efeito de três temperaturas de prensagem, 110, 120 e 130°C na qualidade de painéis aglomerados e concluíram que a temperatura de 130°C resultou em melhores propriedades físicas e mecânicas dos produtos. Estudando a influência das variáveis de processo na resistência à flexão de painéis aglomerados, Iskanderani (2009) observou um aumento significativo nesta propriedade quando a temperatura de prensagem foi elevada de 160 para 180°C, porém, houve uma queda nessa resistência quando a temperatura foi elevada para 200°C. O autor explica que a uma temperatura de 160°C a resina ureia-formaldeído teve sua polimerização incompleta, e que à 200°C, nas mesmas condições, houve a degradação polimérica do adesivo, resultando consequentemente em baixa resistência à flexão.

2.4.8.2 Pressão

Segundo Mendes (2001), a pressão aplicada sobre as partículas tem como principais objetivos, a consolidação da espessura final do painel e a garantia de um bom contato entre as partículas. Essa pressão afeta muitas variáveis como a área de contato entre as partículas, densidade do painel, comportamento da compressão do colchão, controle de espessura do painel, espessura do adesivo e transferência do adesivo entre partículas na superfície do painel (MOSLEMI, 1974).

De acordo com Tsoumis (1991), a pressão a ser utilizada é estabelecida em função da densidade da madeira, dimensões das partículas e espessura final desejada do painel. No caso de madeiras densas e partículas de maiores dimensões, e para painéis de densidade entre 0,40 a 0,80 g/cm³, pode-se utilizar pressões entre 15 e 35 Kgf/cm². Para Hillig (2000), a pressão aplicada pode variar de 12 à 40 kgf/cm², e esta deve ser suficiente para que permita um bom contato entre as partículas e a diminuição dos espaços vazios, em um tempo adequado de fechamento da prensa, de forma que se consiga uma boa colagem.

Saldanha (2004) afirma que o nível de pressão influencia também no tempo de fechamento da prensa. Quanto maior a pressão específica aplicada, menor será o tempo de fechamento da prensa resultando, em painéis com maior densificação das camadas superficiais. Painéis com maior densificação das camadas superficiais apresentam maior resistência à flexão estática, porém, menor ligação interna.

Iwakiri *et al.* (2005b) estudando painéis de alta densidade, obtiveram bons resultados de propriedades físicas e mecânicas utilizando pressões de 40 e 50 Kgf/cm² para painéis com densidade de 0,70 e 1,00 g/cm³. Utilizando pressão de 40 Kgf/cm² para painéis aglomerados de *Toona ciliata* com densidades de 0,60, 0,70 e 0,80, Trianoski *et al.* (2014), concluíram que todos painéis atenderam aos requisitos mínimos propostos pela norma de referência.

2.4.8.3 Tempo

De acordo com Iwakiri (1989), o tempo de prensagem é o tempo decorrido desde a obtenção da espessura final do colchão, até o momento de abertura dos pratos da prensa, devendo ser suficiente para que o interior do painel alcance a temperatura necessária para a polimerização da resina. É desejável que o tempo de prensagem seja o quanto menor, dessa forma, é possível a produção de maior número de painéis por intervalo de tempo, porém, isso influencia diretamente na temperatura a ser utilizada (HILLIG, 2000).

Segundo Tsoumis (1991) o tempo de prensagem aumenta com a espessura do painel e a umidade das partículas, e é reduzido com o nível de pressão, temperatura, densidade da madeira e o tamanho das partículas, sendo o tipo da resina um fator importante a ser considerado. Em geral, o tempo de prensagem gira em torno de 10

a 12 minutos para painéis de aproximadamente 20 mm de espessura, correspondendo a 0,5 – 0,6 min/mm de espessura.

Iwakiri *et al.* (2005a) explicam que o tempo de prensagem deve ser suficiente para que a temperatura atinja o centro do painel e ocorra a cura da resina, e também para que haja a migração e liberação da umidade na forma de vapor pelas bordas do painel. Moslemi (1974) comenta que o tempo de prensagem nas indústrias que utilizavam prensas de prato era em torno de 20 a 35 segundos por milímetro de espessura do painel à uma temperatura de 160°C.

Segundo Cloutier (1998), no Canadá as indústrias de OSB, de uma maneira geral, utilizam tempos de prensagem entre 3 e 6 minutos, para temperaturas entre 200°C e 220°C, dependendo da espessura do painel.

Ashori e Nourbakhsh (2008) avaliando tempos de prensagem de 4, 5 e 6 minutos à uma temperatura de 160°C em painéis aglomerados, observaram que, todas as propriedades mecânicas dos painéis melhoraram quando o tempo de prensagem foi aumentado de 4 para 5 minutos, e que os maiores valores obtidos para MOR, MOE, ligação interna e inchamento em espessura em 2 e 24 horas, foram alcançados em 5 e 6 minutos de prensagem.

Iskanderani (2009) obteve melhores resistências à flexão dos painéis com 5 minutos de prensagem utilizando temperatura de 180°C e 33 Kgf/cm². Aumentando esse tempo para 7 e 9 minutos, o autor observou uma queda de 21 e 32 % na resistência à flexão, respectivamente. Essa redução foi atribuída à termo-degradação do polímero de ligação da uréia-formaldeído.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA PRIMA

Neste estudo foram utilizadas cinco espécies de *Eucalyptus* com sete anos de idade, sendo elas: *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. urograndis*, *E. benthamii* e *E. saligna*, provenientes da empresa Stora Enso localizada na região de Rosário do Sul (RS).

O material foi recebido em blocos de 15x 15 x 60 cm, os quais eram provenientes de cinco árvores por espécie e totalizaram 10 blocos por espécie (FIGURA 6).



FIGURA 6 – BLOCOS UTILIZADOS NA PESQUISA.
FONTE: O autor (2014).

Como testemunha foi utilizada a madeira de *Pinus taeda* procedente da região de Santa Catarina, com massa específica básica de $0,36 \text{ g/cm}^3$ e 21 anos de idade conforme Schweitzer (2015).

Para a colagem foram utilizados dois tipos de resinas com as seguintes características:

- Ureia-formaldeído (UF) com teor de sólidos de 66 %, viscosidade de 300 cP, $\text{pH} = 7,6$, densidade de $1,28 \text{ g/cm}^3$ e gel time de 60 segundos;
- Fenol-formaldeído (FF) com teor de sólidos de 51,57 %, viscosidade de 503 cP, $\text{pH} = 12,66$, densidade de $1,22 \text{ g/cm}^3$ e gel time de 7 minutos;

Foi também utilizada parafina a fim de reduzir a higroscopicidade dos painéis, e catalisador sulfato de amônio para acelerar a cura da ureia-formaldeído.

3.2 CORTE DO MATERIAL PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E GERAÇÃO DAS PARTÍCULAS

De cada bloco foram retiradas 3 peças com 2,5 x 15 x 60 cm (largura, espessura e comprimento, respectivamente), reduzindo-se posteriormente para tacos com dimensões de 2,5 x 8 x 15 cm, destinados à geração de partículas “*strand*”. A parte restante do bloco foi seccionado em duas partes, uma com 8 cm sendo destinado à geração de partículas “*sliver*” e outra com 10 cm para confecção de corpos de prova para determinação da massa específica (FIGURA 7).



FIGURA 7 – SECCIONAMENTO DOS BLOCOS.
FONTE: O autor (2014).

Para massa específica básica foram retirados corpos de prova com dimensões de 2 x 2 x 10 cm seguindo as orientações da norma COPANT 461/1972. O esquema de corte dos blocos para cada finalidade pode ser observado na Figura 8.

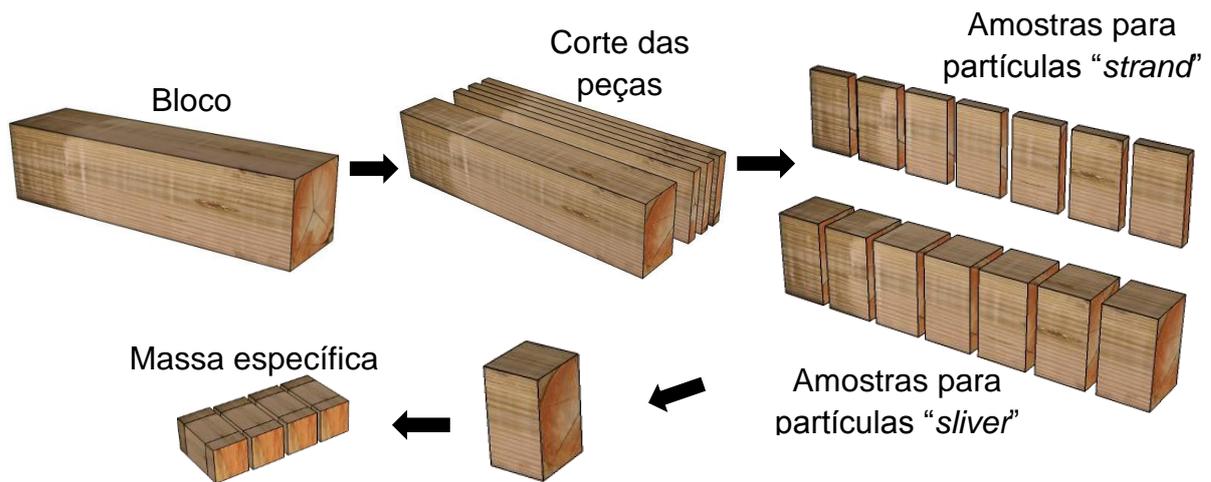


FIGURA 8 – ESQUEMA DE CORTE DOS BLOCOS.
 FONTE: O autor (2015)

3.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

A massa específica básica foi determinada pelo método estereométrico. Os corpos de prova foram submersos em água até saturação completa e então, medidas a largura, a espessura e o comprimento de cada corpo de prova com paquímetro digital para obtenção dos respectivos volumes verdes. Posteriormente, os corpos de prova foram levados à estufa com circulação de ar forçada à uma temperatura de 103 ± 2 °C até a obtenção de massa constante. Com a obtenção do volume verde e do peso seco foi calculada a massa específica básica das peças seguindo as recomendações da Norma Copant 461/72.

Para o cálculo da massa específica básica da madeira foi utilizado a Equação 1:

$$Me_b = \frac{ms}{v} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Me_b = Massa específica básica (g/cm³);

ms = Massa seca (g);

v = Volume verde (cm³);

3.4 GERAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS

Os blocos obtidos foram imersos em água para facilitar o processo de obtenção das partículas. Após a imersão, os mesmos foram separados de acordo com cada finalidade e picados em um picador de disco com 4 facas (FIGURA 9A), as quais foram ajustadas para que se obtivesse partículas “*Strand*” com 0,6 mm de espessura final. Os cavacos para geração de partículas “*Slivers*” foram obtidos da mesma forma sem qualquer alteração no ajuste das facas.

As partículas “*Strand*” e os cavacos tiveram sua umidade inicial reduzida ao ar livre (FIGURA 9B) e posteriormente foi seco em estufa convencional com circulação forçada de ar à uma temperatura de 80°C por 24 horas (FIGURA 9C), obtendo-se dessa forma, um teor de umidade final de aproximadamente 3%.

Após a secagem do material, as partículas “*Strand*” foram classificadas em peneira manual com aberturas de 3/8 polegadas ou 9,52 mm, conforme Figura 9D, seguindo as orientações de granulometria da ASTM, e então armazenadas hermeticamente em embalagens plásticas para se evitar a absorção de umidade do ambiente.

Os cavacos secos foram levados ao moinho de martelo para obtenção das partículas “*Sliver*”, conforme Figura 9E. As partículas foram classificadas em um classificador automático utilizando peneiras de 8 e 30 *mesh*, com aberturas de 2,36 mm e 0,6 mm, respectivamente (FIGURA 9F). A peneira de 30 *mesh* foi utilizada para a retirada dos finos (pó), conforme Figura 9G, e a peneira de 8 *mesh* para a retirada de partículas “*oversizes*” (FIGURA 9H). Foram utilizadas as partículas que passaram na peneira de 8 *mesh* e as que ficaram retidas na peneira de 30 *mesh*. Após a classificação, as partículas “*sliver*” foram também armazenadas em embalagens plásticas.

De cada espécie e tipo de partícula, foram coletadas amostras para a determinação da geometria das partículas. Foram mensuradas por meio de paquímetro digital a espessura, largura e o comprimento de 100 partículas *sliver* e *strand* de cada espécie, calculando-se posteriormente o Índice de Esbeltez pela razão entre o comprimento e a espessura, e o Índice de Planicidade pela razão entre a largura e a espessura das partículas.

Antes da produção dos painéis efetuou-se novamente a verificação do teor de umidade das partículas, e posteriormente a correção daquelas que necessitaram.



FIGURA 9 – PROCESSAMENTO DAS PARTÍCULAS.

(A) Picador de disco; (B) Secagem das partículas ao ar livre; (C) Secagem das partículas em estufa; (D) Classificação dos *strands* em peneira manual; (E) Moinho de martelos; (F) Classificador automático; (G) Retirada dos finos (pó); (H) Retirada das partículas *oversizes*.

FONTE: O autor (2015).

3.5 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

3.5.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi constituído de 28 tratamentos, sendo 14 tratamentos para cada tipo de painel, como pode ser observado na Tabela 1.

TABELA 1 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.

Tratamento	Tipo do painel	Espécie	ME (g/cm³)¹
1	Aglomerado	<i>E. benthamii</i>	0,60
2	Aglomerado	<i>E. dunnii</i>	0,60
3	Aglomerado	<i>E. grandis</i>	0,60
4	Aglomerado	<i>E. saligna</i>	0,60
5	Aglomerado	<i>E. urograndis</i>	0,60
6	Aglomerado	Mix 5 espécies ²	0,60
7	Aglomerado	<i>Pinus taeda</i> ³	0,60
8	Aglomerado	<i>E. benthamii</i>	0,70
9	Aglomerado	<i>E. dunnii</i>	0,70
10	Aglomerado	<i>E. grandis</i>	0,70
11	Aglomerado	<i>E. saligna</i>	0,70
12	Aglomerado	<i>E. urograndis</i>	0,70
13	Aglomerado	Mix 5 espécies ²	0,70
14	Aglomerado	<i>Pinus taeda</i> ³	0,70
15	OSB	<i>E. benthamii</i>	0,65
16	OSB	<i>E. dunnii</i>	0,65
17	OSB	<i>E. grandis</i>	0,65
18	OSB	<i>E. saligna</i>	0,65
19	OSB	<i>E. urograndis</i>	0,65
20	OSB	Mix 5 espécies ²	0,65
21	OSB	<i>Pinus taeda</i> ³	0,65
22	OSB	<i>E. benthamii</i>	0,75
23	OSB	<i>E. dunnii</i>	0,75
24	OSB	<i>E. grandis</i>	0,75
25	OSB	<i>E. saligna</i>	0,75
26	OSB	<i>E. urograndis</i>	0,75
27	OSB	Mix 5 espécies ²	0,75
28	OSB	<i>Pinus taeda</i> ³	0,75

¹Massa específica nominal dos painéis; ²Mistura contendo 20% de cada espécie; ³Tratamento testemunha.

Foram produzidos o total de 84 painéis reconstituídos, sendo 3 por tratamento, cujas condições utilizadas na produção de cada tipo de painel são descritas abaixo:

➤ Painéis aglomerados:

- Dimensões: 50 x 38 x 1,2 cm;
- Proporções camadas: homogênea (100%);
- Adesivo: 8% de Ureia-formaldeído;
- Catalisador: 2% sobre peso da ureia-formaldeído;
- Parafina: 1% sobre peso seco de partículas;
- Temperatura de prensagem: 160°C
- Pressão específica: 40 Kgf/cm²
- Tempo de prensagem: 10 min.

➤ Painéis OSB:

- Dimensões: 48 x 48 x 1,2 cm;
- Proporções camadas: relação face-miolo-face de 20-60-20 %;
- Adesivo: 6% fenol-formaldeído para OSB;
- Parafina: 1% sobre peso seco de partículas;
- Temperatura de prensagem: 160°C
- Pressão específica: 40 Kgf/cm²
- Tempo de prensagem: 10 min.

3.5.2 Produção dos painéis de madeira aglomerada e OSB

As partículas “*Slivers*” foram levadas à encoladeira rotativa e submetidas à aplicação de resina e emulsão de parafina por meio de um compressor à ar e pistola aspersora com recipiente dosador (FIGURA 10 A).



FIGURA 10 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.

(A) Ancoladeira rotativa; (B) Caixa formadora; (C) Colchão aglomerado; (D) Orientador de partículas; (E) Pré-prensagem; (F) Colchão OSB; (G) Prensagem à quente.

FONTE: O autor (2015).

Após a atomização, a quantidade necessária de material foi pesada em balança eletrônica, e então formado o colchão em caixa formadora com dimensões de 50 x 38 x 20 cm (C x L x A), como é mostrado na Figura 10 B. O colchão foi pré-prensado de forma manual para a remoção do ar e acomodação das partículas conforme Figura 10C, e então levado à prensa quente.

Da mesma forma que os aglomerados, as partículas para os painéis OSB foram encoladas seguindo os mesmos procedimentos, porém, para a formação do colchão as partículas de cada camada foram orientadas perpendicularmente por meio de uma caixa orientadora acoplada à caixa de formação, com dimensões de 48 x 48 x 20 cm (C x L x A), conforme Figura 10D. Após a formação das camadas, foi realizada a pré-prensagem, inseridos os espaçadores a fim de delimitar a espessura em 1,2 cm e então, realizada a prensagem à quente (FIGURA 10 E, F e G).

Após a produção dos painéis, estes foram acondicionados em câmara climatizada com temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$, até atingirem o teor de umidade de equilíbrio.

3.5.2.1 Confeção dos corpos de prova

Após a estabilização, os painéis foram levados ao Laboratório de Usinagem da Madeira, onde foram aparados três centímetros de bordas e confeccionados os corpos de prova (FIGURA 11 A e B).

Os corpos de prova retornaram para câmara climatizada para climatização final antes da realização dos ensaios físicos e mecânicos.

Na Figura 11C e D, pode-se visualizar o esquema de corte contendo a distribuição dos corpos de prova em cada tipo de painel.

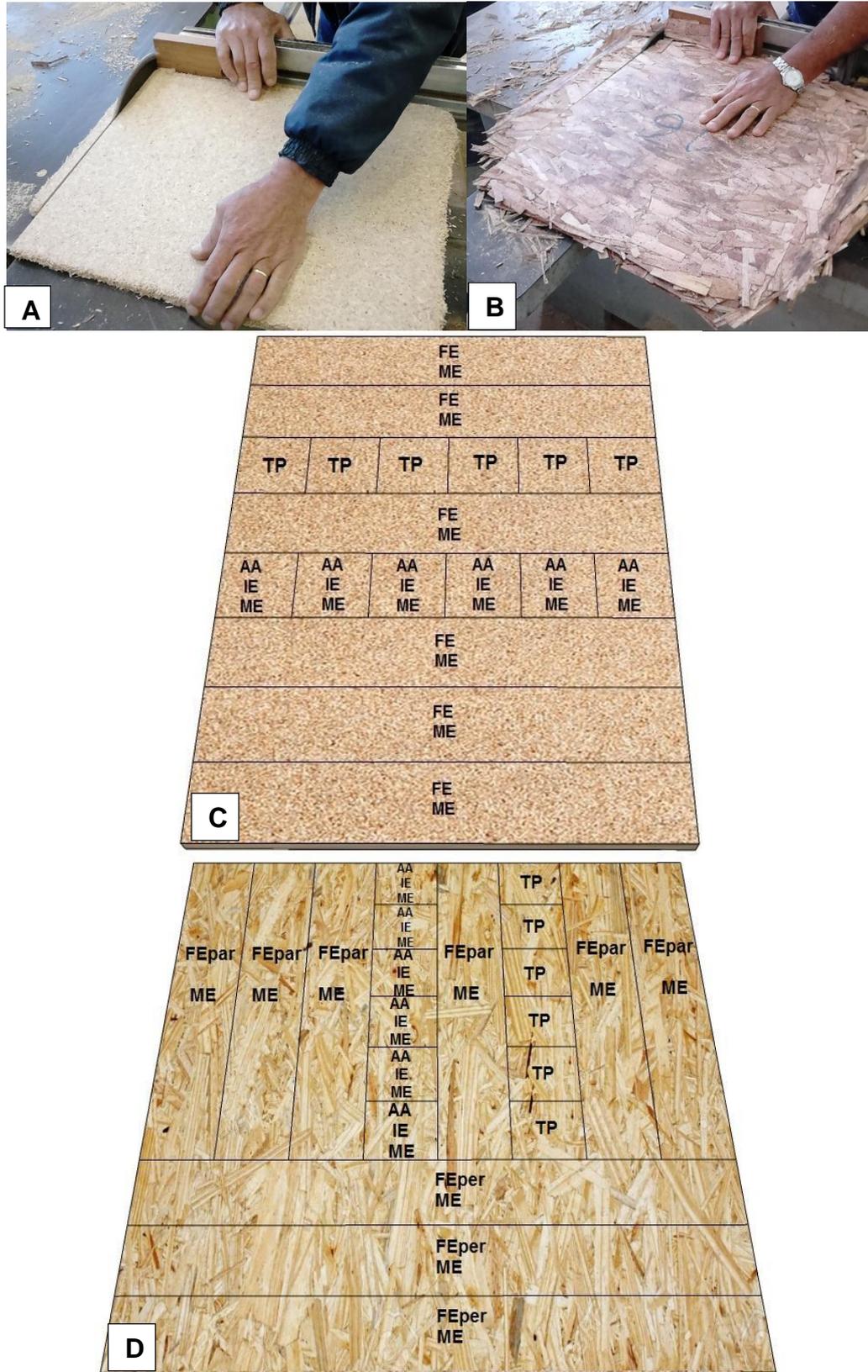


FIGURA 11 – CORTE E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.
 (A) Retirada das bordas dos painéis aglomerado; (B) Retirada das bordas dos painéis OSB; (C) Esquema de corte painéis aglomerados; (D) Esquema de corte painéis OSB.
 NOTAS: ME = Massa específica aparente; AA = Absorção d'água; IE = Inchamento em espessura; TP = Tração Perpendicular; FE = Flexão estática; FEpar = Flexão estática paralela; FEper = Flexão estática perpendicular;
 FONTE: O autor (2015).

3.5.2.2 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas

As propriedades físicas e mecânicas, tanto dos painéis aglomerados como dos painéis OSB, foram avaliadas seguindo os procedimentos das normas europeias, sendo elas:

- Massa específica aparente: EN 323:2002
- Absorção de água: EN 317:2006
- Inchamento em espessura: EN 317:2006
- Flexão estática: EN 310:2006
- Tração perpendicular à superfície do painel: EN 319:2006

A realização dos ensaios físicos e mecânicos dos painéis são apresentados na Figura 12.

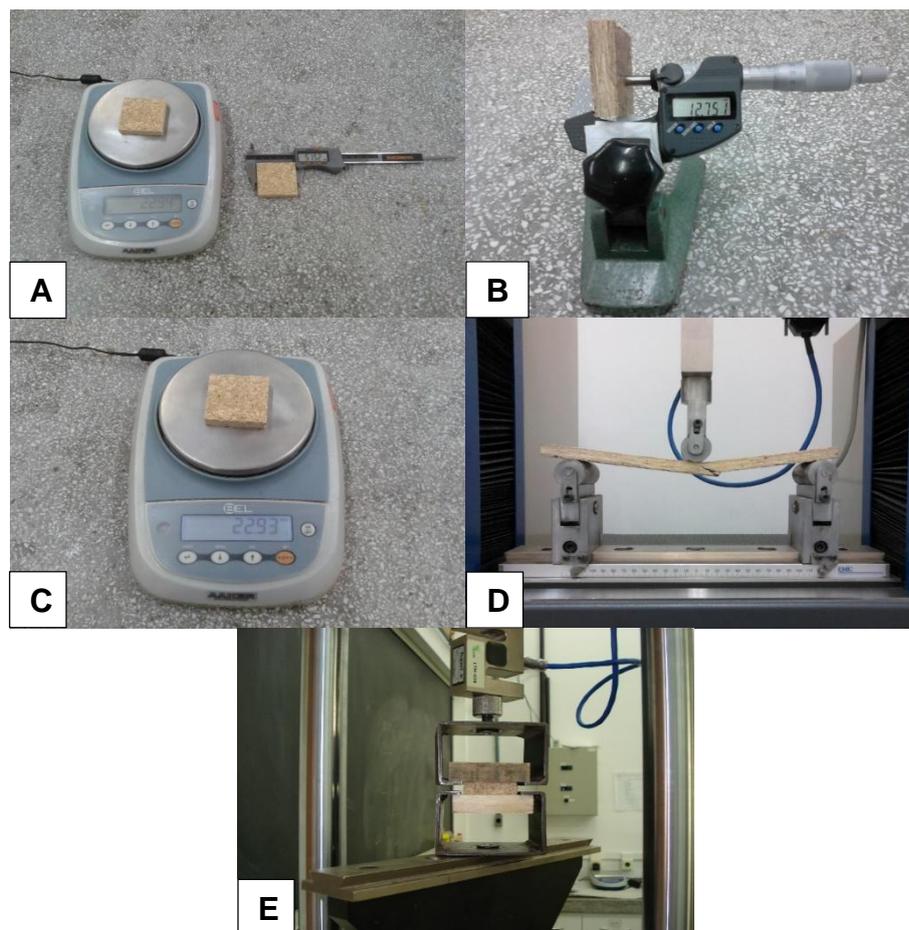


FIGURA 12 – ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.

(A) Massa específica aparente; (B) Inchamento em espessura; (C) Absorção d'água; (D) Flexão estática; (E) Tração perpendicular à superfície.

FONTE: O autor (2015).

Os valores obtidos no experimento foram comparados com os propostos pelas normas EN 300:2006, EN 312:2006 e NBR 14810-2:2006.

3.5.2.3 Análise estatística

Após a obtenção dos valores dos ensaios físicos e mecânicos, os dados foram submetidos a análise estatística para a verificação de diferenças estatísticas entre os tratamentos. A análise foi realizada em duas etapas: avaliação das propriedades dos painéis aglomerados (Tratamentos 1 ao 14) e avaliação das propriedades dos painéis OSB (Tratamentos 15 ao 28).

Para a verificação da ocorrência de *outliers* aplicou-se o teste de Grubb's, caso nenhum dado discrepante fosse identificado, os dados eram submetidos ao teste de Kolmogorov Smirnov para confirmação da distribuição normal. Atendendo essa prerrogativa, aplicou-se o teste de Bartlett para confirmação da homogeneidade de variância, e então, realizou-se análise de variância (ANOVA) em arranjo fatorial e Teste de Tukey para comparação das médias.

Todas as análises foram realizadas ao nível de 95% de significância, utilizando o programa *Statgraphics Centurion XV*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

Os valores médios obtidos para massa específica básica da madeira são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.

Espécie	Massa específica básica (g/cm³)
<i>E. benthamii</i>	0,497 ^{ab} (13,26)
<i>E. dunnii</i>	0,500 ^a (10,93)
<i>E. grandis</i>	0,411 ^c (8,36)
<i>E. saligna</i>	0,493 ^{ab} (7,87)
<i>E. urograndis</i>	0,472 ^b (7,35)
<i>Pinus taeda</i>	0,377 ^d (7,87)

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

De acordo com os valores encontrados para massa específica, as espécies podem ser classificadas segundo Melo, Coradin e Mendes (1990), como leves, por se apresentarem dentro da faixa de até 0,500 g/cm³.

Pode se observar que todas as espécies apresentaram valores dentro da faixa recomendada por Maloney (1993) de até 0,55 g/cm³ para painéis aglomerados. Para painéis OSB, as espécies mostraram-se acima do sugerido por Cloutier (1998) que recomenda espécies com até 0,450 g/cm³, com exceção da testemunha *Pinus taeda* e *E. grandis*.

O valor médio obtido para a espécie testemunha, foi similar ao apresentado por Mendes (2001), que encontrou massa específica básica de 0,400 g/cm³ para *Pinus taeda* com 11 anos. Para *E. grandis* o valor médio obtido para esta propriedade foi igual ao encontrado por Goulart *et al.* (2003), que obteve massa específica básica de 0,410 g/cm³ para essa espécie com 10 anos de idade.

Em seu estudo Ferreira *et al.* (1997) obteve valor médio de massa específica básica para a espécie *E. dunnii* de 0,498 g/cm³ e concluiu que esta espécie produz

madeira mais densa que a espécie *E. grandis*. Neste estudo constatou-se o mesmo comportamento, onde o *E. dunnii* obteve o maior valor médio de 0,500 g/cm³, sendo este, similar ao encontrado pelos autores.

Para o híbrido *E. urograndis*, o valor médio obtido para massa específica básica mostrou-se estatisticamente igual às espécies *E. benthamii* e *E. saligna*, diferindo das demais. Santos (2005) estudando *E. urograndis* encontrou valores que variaram de 0,440 a 0,508 g/cm³ para massa específica básica. Milagres (2009), obteve valor médio de 0,455 g/cm³ para esta propriedade. O valor médio obtido neste estudo encontra-se próximo aos encontrados por esses autores.

A espécie *E. benthamii*, também apresentou valor médio da propriedade similar aos encontrados por Nisgoski *et al.* (1998) e Benin (2014) que obtiveram valores de 0,470 e 0,490 g/cm³, respectivamente.

Para o *E. saligna*, o valor médio obtido é próximo aos encontrados por Alzate *et al.* (2005), que observaram valores que variaram de 0,460 a 0,490 g/cm³ para esta espécie.

As espécies *Pinus taeda* e *E. grandis* apresentaram menores valores de massa específica básica, porém, diferiram estatisticamente entre si. O *E. dunnii* apresentou maior valor médio para esta propriedade, porém, estatisticamente igual aos obtidos para *E. benthamii* e *E. saligna*.

A diferença de massa específica encontrada entre as espécies de *Eucalyptus* e *Pinus taeda*, pode estar associada à diferença entre gêneros. Essa diferença é comumente encontrada quando compara-se folhosas e coníferas, devido as suas composições estruturais (fibras e traqueóides), além disso, ao contrário do *Pinus taeda* as espécies de *Eucalyptus* são provenientes de árvores jovens, sendo estas, compostas predominantemente por madeira juvenil, refletindo conseqüentemente em diferenças na espessura da parede celular. Segundo Burger e Richter (1991), a massa específica possui uma estreita correlação com o volume de fibras, dessa forma, lenhos com maior volume de tecido contêm um grande volume de fibras o que lhes confere elevada massa específica.

Com base nos valores de massa específica encontrados para as espécies estudadas, espera-se que a testemunha *Pinus taeda* e o *E. grandis* apresentem os maiores resultados de razão de compactação dentre os tratamentos por terem apresentado os menores valores de massa específica. Isso pode influenciar as

propriedades dos painéis, resultando em melhores propriedades mecânicas, porém, altos valores de instabilidade dimensional.

4.2 PAINÉIS AGLOMERADOS

4.2.1 Geometria das partículas

Os valores médios obtidos para o índice de esbeltez e razão de planicidade são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS *SLIVERS*.

Espécie	C (mm)	L (mm)	E (mm)	IE	RP
<i>E. benthamii</i>	12,17 (29,05)	1,50 (28,51)	0,34 (50,06)	46,17 ^a (58,53)	5,42 ^a (49,93)
<i>E. dunnii</i>	11,15 (32,82)	1,27 (29,61)	0,37 (42,71)	37,76 ^{ab} (66,56)	4,01 ^b (46,46)
<i>E. grandis</i>	10,90 (26,60)	1,35 (29,25)	0,36 (48,88)	39,13 ^a (61,11)	4,53 ^{ab} (50,29)
<i>E. saligna</i>	13,46 (35,26)	1,45 (23,40)	0,39 (42,42)	40,59 ^a (53,39)	4,29 ^b (43,49)
<i>E. urograndis</i>	12,42 (33,49)	1,30 (30,22)	0,33 (44,80)	46,35 ^a (56,93)	4,59 ^{ab} (45,75)
<i>Pinus taeda</i>	12,20 (30,83)	1,94 (25,42)	0,53 (45,10)	29,45 ^b (65,26)	4,51 ^{ab} (56,47)

C=Comprimento; L=Largura; E=Espessura; IE=Índice de esbeltez; RP=Razão de planicidade; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar que não houve diferenças estatísticas significativas entre os índices de esbeltez das espécies do gênero *Eucalyptus*. Por outro lado, a espécie *Pinus taeda* apresentou o menor valor médio para a propriedade, mostrando-se estatisticamente igual ao *E. dunnii*. Com base nos resultados obtidos, espera-se que as espécies de *Eucalyptus* estudadas apresentem naturalmente valores de MOR e MOE superiores ao *Pinus taeda* por apresentarem os maiores índices de esbeltez, porém, segundo Kelly (1977), isso pode influenciar negativamente os resultados de estabilidade dimensional e ligação interna, podendo mostrar-se não tão satisfatórios. Segundo Brumbaugh (1960) e Lehmann (1974) citado por Vital *et al.* (1992), partículas

curtas e espessas beneficiam a resistência à tração perpendicular, porém, ocasionam redução do MOR e MOE. Nesse caso, pode ocorrer um aumento da instabilidade dimensional devido à maior quantidade de partículas por unidade de área no painel (MOSLEMI, 1974).

Para os resultados de razão de planicidade, a espécie *E. benthamii* mostrou-se estatisticamente igual às espécies *E. urograndis*, *E. grandis* e *P. taeda*, estas por sua vez, não diferiram estatisticamente das espécies *E. dunnii* e *E. saligna*. Segundo Mendes (2001), a influência da largura das partículas sobre as propriedades dos painéis não é tão significativa, o que reflete também na razão de planicidade, porém, Saldanha (2004) ressalta que deve-se considerar o fato da planicidade ter uma relação direta à eficiência de aplicação da resina, formação do colchão e área de contato entre partículas, onde quanto maior a razão de planicidade, melhores serão as condições de processo supracitadas.

4.2.2 Propriedades físicas

4.2.2.1 Massa específica aparente e Razão de compactação

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios obtidos para massa específica aparente dos painéis e razão de compactação juntamente com os valores de massa específica básica de cada espécie para comparação.

Pode-se observar que houve diferenças estatísticas significativas de massa específica do painel entre os tratamentos com massa específica nominal distinta, o que era esperado pois, a diferenciação foi determinada no cálculo de massa. O mesmo foi observado quando analisados os painéis com mesma massa específica nominal, mostrando que houve uma boa distribuição de massa no colchão e um bom controle de espessura durante a prensagem. Os painéis, por fim, atingiram valores de massa específica muito próximos aos nominais.

A variável razão de compactação, apresentou uma grande variação de resultados, sendo que, a espécie que apresentou maior valor médio foi o *Pinus taeda*, seguido do *E. grandis*. Este fato pode ser explicado por serem as espécies que apresentaram menor massa específica básica da madeira, influenciando conseqüentemente as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO.

Tratamento		MEM (g/cm ³)	MEP (g/cm ³)	RC
1-	<i>E. benthamii</i> – 0,60	0,497	0,591 ^a (6,39)	1,189 ^{fg} (6,39)
2-	<i>E. dunnii</i> – 0,60	0,501	0,594 ^a (6,22)	1,186 ^g (6,23)
3-	<i>E. grandis</i> – 0,60	0,411	0,600 ^a (6,99)	1,459 ^c (6,99)
4-	<i>E. saligna</i> – 0,60	0,493	0,581 ^a (7,21)	1,179 ^g (7,21)
5-	<i>E. urograndis</i> – 0,60	0,472	0,597 ^a (5,68)	1,202 ^f (5,68)
6-	Mix – 0,60	0,475	0,586 ^a (6,45)	1,234 ^{fg} (6,45)
7-	<i>P. taeda</i> – 0,60	0,377	0,602 ^a (5,04)	1,598 ^b (5,04)
8-	<i>E. benthamii</i> – 0,70	0,497	0,680 ^b (6,85)	1,368 ^{de} (6,85)
9-	<i>E. dunnii</i> – 0,70	0,501	0,685 ^b (7,10)	1,367 ^e (7,10)
10-	<i>E. grandis</i> – 0,70	0,411	0,678 ^b (6,82)	1,650 ^b (6,82)
11-	<i>E. saligna</i> – 0,70	0,493	0,680 ^b (5,60)	1,377 ^{cde} (5,60)
12-	<i>E. urograndis</i> – 0,70	0,472	0,671 ^b (6,29)	1,350 ^{cde} (6,29)
13-	Mix – 0,70	0,475	0,680 ^b (6,43)	1,432 ^{cd} (6,43)
14-	<i>P. taeda</i> – 0,70	0,377	0,694 ^b (6,22)	1,841 ^a (6,22)

MEM = Massa específica da madeira; MEP = Massa específica do painel; RC = Razão de compactação. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Para painéis de média densidade, Maloney (1993) afirma que uma razão de compactação de 1,3 oferece uma boa densificação do painel e consolidação na linha de cola, portanto, com exceção do *Pinus taeda* e *E. grandis* nenhum dos tratamentos com massa específica nominal de 0,60 g/cm³ atingiram o valor proposto pelo autor. Por outro lado, todos os tratamentos com massa específica nominal de 0,70 g/cm³ atingiram o valor sugerido pelo autor, o que era esperado, justamente pelo fato da massa específica dos painéis serem superiores à massa específica dos tratamentos anteriores. Nesse caso, é provável que ocorra um aumento nas propriedades físicas

e mecânicas dos painéis, por consequência do aumento da massa específica dos painéis e da razão de compactação que também aumenta proporcionalmente.

4.2.2.2 Absorção d'água e Inchamento em espessura

Os valores médios obtidos nos ensaios de absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS.

	Tratamento	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
1-	<i>E. benthamii</i> – 0,60	11,34 ^{de} (8,98)	26,89 ^{cd} (11,64)	5,00 ^{ab} (9,89)	10,36 ^a (7,23)
2-	<i>E. dunnii</i> – 0,60	9,50 ^{abc} (12,34)	33,37 ^e (12,91)	4,67 ^a (9,19)	11,30 ^{ab} (11,63)
3-	<i>E. grandis</i> – 0,60	9,41 ^{ab} (3,65)	26,89 ^{cd} (6,26)	5,43 ^{abc} (19,19)	10,54 ^a (12,03)
4-	<i>E. saligna</i> – 0,60	10,65 ^{bcd} (9,98)	24,84 ^{abcd} (7,95)	6,33 ^c (11,97)	12,17 ^{bc} (9,76)
5-	<i>E. urograndis</i> – 0,60	10,96 ^{cde} (10,42)	28,44 ^d (12,06)	5,76 ^{bc} (13,41)	11,29 ^{ab} (6,00)
6-	Mix – 0,60	10,49 ^{bcd} (13,83)	26,54 ^{cd} (12,09)	5,40 ^{abc} (12,29)	10,34 ^a (12,3%)
7-	<i>P. taeda</i> – 0,60	12,68 ^e (6,89)	37,59 ^f (12,47)	5,45 ^{abc} (18,73)	12,98 ^{cd} (9,68)
8-	<i>E. benthamii</i> – 0,70	8,45 ^a (11,32)	23,24 ^{abc} (14,76)	5,69 ^{bc} (14,63)	11,13 ^{ab} (10,71)
9-	<i>E. dunnii</i> – 0,70	8,13 ^a (12,61)	27,24 ^d (9,90)	4,76 ^a (11,04)	10,96 ^{ab} (6,76)
10-	<i>E. grandis</i> – 0,70	8,84 ^a (12,13)	24,69 ^{bcd} (7,66)	5,97 ^c (13,80)	11,57 ^{ab} (8,63)
11-	<i>E. saligna</i> – 0,70	8,54 ^a (8,86)	20,58 ^a (8,33)	6,13 ^c (10,37)	11,37 ^{ab} (8,59)
12-	<i>E. urograndis</i> – 0,70	8,81 ^a (13,51)	27,57 ^d (13,05)	6,21 ^c (9,82)	12,23 ^{bc} (6,11)
13-	Mix – 0,70	8,31 ^a (11,57)	21,90 ^{ab} (10,57)	5,93 ^c (13,13)	10,39 ^a (7,80)
14-	<i>P. taeda</i> – 0,70	10,52 ^{bcd} (10,29)	36,44 ^{ef} (11,09)	5,51 ^{abc} (13,59)	13,98 ^d (9,97)

AA 2h= Absorção d'água após 2 horas; AA 24h= Absorção d'água após 24 horas; IE 2h= Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24h= Inchamento em espessura após 24 horas; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Os valores médios obtidos para absorção d'água após duas horas (AA 2h) variaram de 8,13% a 12,68%, sendo que os painéis compostos pela espécie testemunha *Pinus taeda* com massa específica nominal de 0,60 g/cm³ apresentaram uma maior propensão à absorção, não diferindo estatisticamente daqueles compostos por *E. benthamii* e *E. urograndis* com mesma massa específica nominal.

Verificou-se que, não houve diferenças estatísticas significativas entre os valores de AA 2h para os painéis compostos pelas espécies de *Eucalyptus* spp. com massa específica nominal de 0,70 g/cm³ e a mistura entre elas, assim como, não constatou-se diferenças estatísticas entre estes tratamentos e as espécies *E. dunnii* e *E. grandis* com massa específica nominal de 0,60 g/cm³.

Para a absorção d'água após 24 horas (AA 24h), os valores médios variaram de 20,58% a 37,59%, onde o menor valor médio foi obtido pelos painéis compostos pela espécie *E. saligna* com massa específica de 0,60 g/cm³, não diferindo estatisticamente por aqueles compostos pela mesma espécie, porém, com massa específica nominal de 0,70 g/cm³. Diferenças também não foram encontradas entre a espécie mencionada e os painéis compostos por *E. benthamii* e o Mix de espécies com massa específica nominal de 0,70 g/cm³.

A alta propensão verificada na AA 2h da espécie *Pinus taeda*, foi confirmada na AA 24h, onde os painéis compostos por essa espécie apresentaram maior valor médio para as duas massas específicas nominais estudadas.

De acordo com os resultados, os menores índices de absorção d'água apresentados pelas espécies de *Eucalyptus*, podem estar relacionados às características químicas das espécies, como o tipo e teor de extrativos que podem ter inibido de certa forma a entrada de água nas partículas. Outra explicação é devido ao fato de as espécies de *Eucalyptus* spp. apresentarem maior massa específica da madeira, dessa forma, foi necessário um menor volume de partículas para constituir o painel, fazendo com que haja uma maior disponibilidade de resina e conseqüentemente um maior recobrimento das partículas, tornando-as mais impermeáveis e oferecendo uma melhor qualidade de colagem.

Reforçando a explicação acima, pode-se observar que os resultados de absorção d'água após duas horas (AA 2h) para os painéis compostos de *Eucalyptus* spp. com massa específica nominal de 0,70 g/cm³ apresentaram em sua maioria menores resultados de absorção do que aqueles com menor massa específica (0,60 g/cm³). Isso indica que, painéis com maior massa específica nominal tendem a ter o

colchão de partículas mais comprimido durante a prensagem, devido à sua maior quantidade de material utilizado para uma mesma espessura final, essa maior compressão faz com que as partículas tenham um maior contato, reduzindo os espaços vazios entre elas, proporcionando conseqüentemente uma menor absorção.

Em relação aos resultados obtidos para inchamento em espessura após duas horas de imersão (IE 2h), os valores variaram de 4,67% a 6,33%, sendo o menor valor, obtido pelos painéis compostos pela espécie *E. dunnii* com massa específica de 0,60 g/cm³, estatisticamente igual aos painéis compostos pela mesma espécie com massa específica de 0,70 g/cm³. Os painéis produzidos com esta espécie em ambas as densificações, diferiram estatisticamente das espécies *E. saligna* e *E. urograndis* com massa específica de 0,60 g/cm³ e das demais espécies com massa específica de 0,70 g/cm³ com exceção da testemunha.

A espécie *E. saligna* em painéis com 0,60 g/cm³ de massa específica nominal obteve maior valor médio para esta propriedade, sendo estatisticamente igual aos demais tratamentos, com exceção do *E. benthamii* para painéis com massa específica de 0,60 g/cm³, e dos tratamentos compostos de *E. dunnii*.

Para o inchamento em espessura após 24 horas (IE 24h), os valores variaram de 10,34% a 13,98%, onde o menor valor médio obtido pelos painéis compostos pelo Mix de espécies com massa específica de 0,60 g/cm³. Estes diferiram estatisticamente dos painéis compostos pelas espécies *P. taeda* e *E. saligna* com massa específica de 0,60 g/cm³ e pelas espécies *P. taeda* e *E. urograndis* com massa específica de 0,70 g/cm³. Os painéis produzidos com *P. taeda* apresentaram os maiores valores para esta propriedade.

Os fatores que influenciaram esta propriedade, podem estar relacionados a massa específica da espécie e conseqüentemente a razão de compactação. Espécies com baixa massa específica como no caso do *Pinus taeda*, apresentam altos valores de razão de compactação, isso indica que, um maior o volume de partículas foi necessário para constituir o colchão, portanto, maior será a compressão dessas partículas na prensagem. Quando em contato com água, as tensões geradas entre partículas durante a compressão do colchão são liberadas, resultando em maiores inchamentos em espessura, além disso, nesses casos, uma menor quantidade de resina é disponibilizada por unidade de área, o que também contribui para um efeito negativo sobre essa propriedade.

Comparando-se todos os tratamentos, pode-se observar de uma maneira geral que as massas específicas nominais influenciaram de certa forma as propriedades de estabilidade dimensional dos painéis. Essa influência pode ser identificada principalmente na absorção d'água após 2 horas, onde os painéis com maior massa específica obtiveram os menores valores para essa propriedade. Esta parte é discutida no item 4.2.4.3.

Não foi possível a comparação dos valores dessas propriedades com a norma EN 312:2003 pois, esta, não estipula valores mínimos de estabilidade dimensional para painéis de uso em condições secas. Porém, todos os tratamentos atenderam os requisitos mínimos recomendados pela ABNT NBR14810-2 (2006) que estabelece inchamento em espessura máximo de 8% para duas horas e da ANSI A208.1 (2009), que estabelece inchamento máximo de 40% após 24 horas de imersão.

4.2.3 Propriedades mecânicas

4.2.3.1 Flexão estática

Os resultados obtidos para o Módulo de Ruptura (MOR) e para o Módulo de Elasticidade (MOE) por meio do ensaio de flexão estática dos painéis aglomerados são apresentados na Tabela 6.

Pode-se observar que os painéis de maior massa específica nominal compostos de *E. grandis* apresentaram maiores valores médios de MOR, porém, mostraram-se estatisticamente semelhantes aos painéis produzidos com *E. saligna*.

Os prováveis aspectos que influenciaram o alto desempenho dos painéis compostos por *E. grandis*, se deve a alta razão de compactação obtida para a espécie, sendo que, entre os painéis de menor massa específica nominal esta espécie também apresentou valor médio superior aos demais. Pelo *E. grandis* apresentar a menor massa específica da madeira entre as espécies de *Eucalyptus*, foi necessária uma maior quantidade em volume de partículas para constituição dos painéis. Nessa linha de raciocínio, a espécie *Pinus taeda* deveria proporcionar maiores valores para esta propriedade, porém, isso não ocorreu, podendo ser justificado pela diferença entre as características anatômicas estruturais peculiares da espécie. De uma maneira geral, os tratamentos compostos com *Eucalyptus* spp. proporcionaram os maiores valores de MOR.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE.

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1- <i>E. benthamii</i> – 0,60	13,70 ^{fg} (19,20)	1859,03 ^{de} (15,80)
2- <i>E. dunnii</i> – 0,60	14,45 ^f (10,91)	1943,92 ^d (10,83)
3- <i>E. grandis</i> – 0,60	18,12 ^{bcd} (16,25)	2281,72 ^{bc} (13,25)
4- <i>E. saligna</i> – 0,60	15,53 ^{def} (15,99)	1803,92 ^{de} (13,17)
5- <i>E. urograndis</i> – 0,60	15,26 ^{def} (17,94)	2064,85 ^{cd} (15,49)
6- Mix – 0,60	15,01 ^{ef} (15,49)	1869,90 ^{de} (16,67)
7- <i>P. taeda</i> – 0,60	10,72 ^g (16,30)	1603,53 ^e (14,60)
8- <i>E. benthamii</i> – 0,70	17,94 ^{cde} (14,65)	2378,01 ^{bc} (10,78)
9- <i>E. dunnii</i> – 0,70	19,62 ^{bc} (16,32)	2517,12 ^b (14,06)
10- <i>E. grandis</i> – 0,70	23,52 ^a (15,39)	2897,78 ^a (13,41)
11- <i>E. saligna</i> – 0,70	21,05 ^{ab} (15,65)	2555,78 ^b (11,97)
12- <i>E. urograndis</i> – 0,70	19,63 ^{bc} (14,83)	2486,63 ^b (12,16)
13- Mix – 0,70	19,74 ^{bc} (14,22)	2506,68 ^b (11,45)
14- <i>P. taeda</i> – 0,70	12,61 ^{fg} (20,17)	1929,73 ^{de} (14,12)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem

Os painéis produzidos com massa específica nominal de 0,70 g/cm³ apresentaram de maneira geral, valores superiores de MOR quando comparados aos produzidos com menor massa específica.

O *E. benthamii* apresentou entre as espécies do gênero, valores inferiores de MOR, o que pode estar associado ao fato dessa espécie ter gerado partículas com maior razão de planicidade, ou seja, partículas tendem a ser mais largas e com menor espessura. De acordo com Kelly (1977), valores de MOR podem ser reduzidos em até 9% quando partículas mais largas são utilizadas na camada externa de painéis aglomerados, pois, é a face quem recebe os esforços de flexão. Portanto, como neste estudo foram produzidos apenas painéis homogêneos, as espécies que produziram

partículas mais largas como no caso do *E. benthamii* e da testemunha *Pinus taeda*, apresentaram valores inferiores de MOR.

Em relação aos resultados de Módulo de Elasticidade, a espécie *E. grandis* também se destacou, mostrando-se estatisticamente superior a todos os tratamentos em painéis com massa específica nominal de 0,70 g/cm³. Os painéis produzidos com menor massa específica nominal compostos por essa espécie também obtiveram um alto desempenho, superando as demais espécies em painéis com massa específica nominal de 0,60 g/cm³.

Assim como para MOR os painéis produzidos com maior massa específica nominal (0,70 g/cm³), apresentaram valores de MOE superiores quando comparados aos de menor massa específica (0,60 g/cm³).

A espécie testemunha (*Pinus taeda*), utilizada tradicionalmente na maioria das indústrias de painéis aglomerados, apresentou de maneira geral, menores valores de MOR e MOE quando comparadas às outras espécies deste estudo. Não obstante, a espécie *E. grandis* se destacou com altos valores de MOR e MOE diante das demais espécies avaliadas, independente da massa específica do painel.

Todos os tratamentos compostos de *Eucalyptus* spp., atenderam aos requisitos exigidos pela norma EN 312:2003 que estabelece o valor mínimo de 13 MPa para MOR e 1800 MPa para MOE. O tratamento 7 (*Pinus taeda* – 0,60 g/cm³), não alcançou os requisitos mínimos exigidos de MOR para a referida norma.

Quando comparados a norma NBR14810-2 (2006), apenas os painéis com massa específica nominal de 0,60 g/cm³ compostos pela espécie *E. dunnii* atenderam ao requisito mínimo de 18 MPa para MOR. Para os painéis com massa específica nominal de 0,70 g/cm³, com exceção dos painéis compostos por *E. benthamii* e *P. taeda*, todos atenderam ao requisito mencionado. A referida norma não estipula valores mínimos para a propriedade de Módulo de Elasticidade.

4.2.3.2 Tração perpendicular à superfície

Os resultados do ensaio de resistência à tração perpendicular à superfície para os painéis aglomerados são apresentados na Tabela 7.

Verificou-se que, os painéis produzidos com a espécie *E. grandis* apresentaram os maiores valores médios para a propriedade, porém, diferem estatisticamente das espécies *P. taeda*, *E. urograndis* e Mix para ambas as massas específicas nominais,

e *E. dunnii* com 0,60 g/cm³. O menor valor médio numérico foi obtido para o tratamento 5.

Os altos valores de resistência à tração obtidos pela espécie *E. grandis*, independente da massa específica nominal, podem ser justificados pela maior razão de compactação obtida entre as espécies do gênero *Eucalyptus*, aliada as características químicas da espécie, sendo que, a espécie *P. taeda* apresentou valores ainda maiores de razão de compactação, porém, não se destacou nos resultados de resistência à tração.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE

Tratamento	Tração perpendicular (MPa)
1- <i>E. benthamii</i> – 0,60	0,76 ^{abcd} (19,17)
2- <i>E. dunnii</i> – 0,60	0,70 ^{bcd} (22,11)
3- <i>E. grandis</i> – 0,60	0,88 ^{ab} (16,54)
4- <i>E. saligna</i> – 0,60	0,83 ^{ab} (21,51)
5- <i>E. urograndis</i> – 0,60	0,57 ^d (27,41)
6- Mix – 0,60	0,62 ^{cd} (21,66)
7- <i>P. taeda</i> – 0,60	0,63 ^{cd} (9,50)
8- <i>E. benthamii</i> – 0,70	0,80 ^{abc} (22,02)
9- <i>E. dunnii</i> – 0,70	0,78 ^{abc} (22,77)
10- <i>E. grandis</i> – 0,70	0,94 ^a (10,99)
11- <i>E. saligna</i> – 0,70	0,76 ^{abcd} (21,30)
12- <i>E. urograndis</i> – 0,70	0,70 ^{bcd} (20,39)
13-Mix – 0,70	0,70 ^{bcd} (24,43)
14- <i>P. taeda</i> – 0,70	0,71 ^{bcd} (15,24)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Por outro lado, os menores valores obtidos para a espécie *E. urograndis*, principalmente em painéis com massa específica nominal de 0,60 g/cm³, pode ser explicado pela geometria das partículas, pois, o maior índice de esbeltez obtido pela espécie de acordo com Kelly (1977), pode resultar em painéis com maiores valores de MOR, porém, afetar significativamente a propriedade de resistência à tração.

De maneira geral, se comparados os valores numéricos, mesmo que haja uma certa homogeneidade entre os valores obtidos, os painéis produzidos com maior massa específica nominal apresentaram maiores valores de resistência à tração.

Em relação aos requisitos exigidos pelas normas EN 312:2003 e NBR14810-2 (2006), que estabelecem o valor mínimo de 0,40 MPa para resistência à tração, afirma-se que todos os tratamentos estão de acordo com a norma.

4.2.4 Efeito da espécie e da massa específica nominal sobre as propriedades físicas dos painéis aglomerados

4.2.4.1 Efeito da espécie sobre a massa específica e razão de compactação dos painéis aglomerados

Os resultados médios obtidos para a massa específica e razão de compactação dos painéis aglomerados para cada espécie são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO POR ESPÉCIE.

Espécie	Massa específica do painel (g/cm³)	Razão de compactação
<i>E. benthamii</i>	0,635 ^a (9,66)	1,279 ^c (9,66)
<i>E. dunnii</i>	0,639 ^a (9,80)	1,276 ^c (9,80)
<i>E. grandis</i>	0,639 ^a (9,22)	1,555 ^b (9,22)
<i>E. saligna</i>	0,630 ^a (10,05)	1,278 ^c (10,05)
<i>E. urograndis</i>	0,634 ^a (8,37)	1,275 ^c (8,37)
Mix	0,633 ^a (9,86)	1,333 ^c (9,85)
<i>P. taeda</i>	0,648 ^a (9,14)	1,719 ^a (9,14)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 8, verificou-se que não houve diferenças estatísticas significativas entre os valores médios de massa específica dos painéis para as espécies estudadas, podendo-se afirmar que a espécie não influenciou esta variável. Porém, vale ressaltar que esta variável está mais associada ao controle do processo produtivo, pois, as espécies apresentam massa específica básica muito próximas entre si.

Para os resultados de razão de compactação, observou-se que houve diferenças estatísticas significativas entre *P. taeda*, *E. grandis* e demais espécies. O alto valor obtido para o *P. taeda* pode ter influenciado negativamente as propriedades de estabilidade dimensional, sendo que, os tratamentos compostos pela espécie apresentaram os maiores valores para absorção d'água e inchamento em espessura.

Iwakiri *et al.* (2008) relatam que uma maior razão de compactação do painel obtida pelo uso de madeiras de baixa massa específica, aumenta o inchamento em espessura, prejudicando a estabilidade dimensional do mesmo. Por outro lado, a alta razão de compactação obtida pela espécie *E. grandis* teve influência positiva nas propriedades mecânicas, resultando em painéis com altos valores de resistência à flexão estática e tração perpendicular à superfície. Ressalta-se também, que o bom desempenho da espécie nessas propriedades pode estar associado às características peculiares de composição química, anatômica e estrutural da mesma.

Num contexto geral, as espécies utilizadas não exerceram influência sobre a massa específica dos painéis, porém, o efeito das diferenças entre elas foi refletido na razão de compactação.

4.2.4.2 Efeito da espécie sobre a absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis aglomerados

Os resultados médios gerais obtidos para as propriedades de absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão dos painéis aglomerados por espécie são apresentados na Tabela 9.

De acordo com a Tabela 9, pode-se observar que houve diferenças estatísticas significativas para absorção d'água após 2 e 24 horas entre as espécies, sendo que, o *P. taeda* obteve o maior valor para estas propriedades. O menor valor para AA 2h foi obtido pelos painéis produzidos com a espécie *E. dunnii* que mostrou-se estatisticamente igual às demais, com exceção do *E. benthamii*. Na AA 24h não foi

observado a mesma tendência, pois, a espécie *E. saligna* apresentou o menor valor médio, sendo este, estatisticamente igual ao *E. benthamii* e ao tratamento composto pela mistura de espécies.

TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 e 24 HORAS PARA CADA ESPÉCIE.

Espécie	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
<i>E. benthamii</i>	9,83 ^b (17,16)	24,84 ^{ab} (13,79)	5,35 ^b (14,40)	10,74 ^a (9,80)
<i>E. dunnii</i>	8,65 ^a (14,68)	29,82 ^d (14,43)	4,72 ^a (10,04)	11,13 ^{ab} (9,54)
<i>E. grandis</i>	9,10 ^{ab} (9,40)	25,79 ^{bc} (8,09)	5,79 ^{bcd} (14,22)	11,05 ^{ab} (11,20)
<i>E. saligna</i>	9,33 ^{ab} (12,58)	22,28 ^a (12,46)	6,22 ^d (11,08)	11,76 ^b (9,69)
<i>E. urograndis</i>	9,65 ^{ab} (14,40)	28,00 ^{cd} (12,43)	5,99 ^{cd} (11,99)	11,76 ^b (7,20)
Mix	9,10 ^{ab} (14,28)	23,96 ^{ab} (14,92)	5,67 ^{bcd} (13,41)	10,37 ^a (10,14)
<i>P. taeda</i>	11,21 ^c (12,80)	37,02 ^e (11,71)	5,48 ^{bc} (16,06)	13,46 ^c (10,36)

AA 2h= Absorção d'água após 2 horas; AA 24h= Absorção d'água após 24 horas; IE 2h= Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24h= Inchamento em espessura após 24 horas;

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Para a propriedade de inchamento em espessura após 2 horas, a espécie *E. dunnii* mostrou-se mais estável, diferindo estatisticamente de todas as outras espécies. Os painéis compostos pela espécie *E. saligna*, mostraram-se mais instáveis, porém, não diferiram estatisticamente das espécies *E. grandis*, *E. urograndis* e Mix.

A alta instabilidade dimensional que a espécie *Pinus taeda* proporcionou aos painéis foi confirmada no IE 24h, apresentando maior valor médio e diferindo estatisticamente das outras espécies. As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentaram valores médios numéricos muito próximos, mostrando que não houve uma grande variabilidade entre elas.

A razão por o *P. taeda* resultar em alta instabilidade dimensional, pode ser atribuída à baixa massa específica da espécie e consequente alta razão de compactação. Segundo Halligan (1970), altos valores de inchamento em espessura a elevados teores de umidade, provém da liberação de tensões de compressão resultantes durante a prensagem, de modo que a massa específica da madeira é de

extrema importância. De uma maneira geral, a espécie influenciou os resultados de estabilidade dimensional, tendo em vista que, os painéis produzidos com *Eucalyptus* spp. produziram painéis mais estáveis do que os compostos por *P. taeda*.

Observando a literatura pode-se notar que os valores médios obtidos para as propriedades de absorção d'água após 2 e 24 horas, dos painéis produzidos com as espécies *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. grandis* mostraram-se inferiores aos obtidos por Cunha *et al.* (2014), assim como, os valores de inchamento em espessura após 2 e 24 horas. Para aqueles produzidos com *E. saligna*, os valores também foram inferiores aos obtidos por Guimarães Júnior *et al.* (2011) para as mesmas propriedades. Estas diferenças podem estar relacionadas às idades das espécies utilizadas pelos autores, assim como, a quantidade de resina, massa específica dos painéis e demais parâmetros do processo produtivo.

A norma EN 312:2003 não estipula valores mínimos de estabilidade dimensional para painéis de uso em condições secas, porém, todas espécies atenderam os requisitos mínimos recomendados pela ABNT NBR14810-2 (2006) e ANSI A208.1 (2009), que estabelecem inchamento em espessura máximo de 8% para duas horas e inchamento máximo de 40% após 24 horas de imersão, respectivamente.

Pode-se afirmar que os painéis produzidos com a espécie testemunha (*Pinus taeda*) mostraram-se mais instáveis, ou seja, apresentaram uma menor resistência à água. Dessa forma, optar pelo uso de matéria prima advinda das florestas de *Eucalyptus* pode ser viável, pois, pode-se gerar o mesmo produto nas mesmas condições de produção e com melhores propriedades, ou ainda, pode-se modificar o processo, a fim de reduzir o custo com volume de matéria prima.

4.2.4.3 Efeito da massa específica sobre a absorção d'água e inchamento em espessura dos painéis aglomerados

Os resultados médios gerais obtidos para absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão dos painéis aglomerados para cada massa específica, independente da espécie são apresentados na Tabela 10.

Analisando os resultados na Tabela 10, pode-se observar que a massa específica dos painéis influenciou os resultados destas propriedades. Para absorção d'água após 2 e 24 horas, pode-se afirmar que o aumento da massa específica nominal de 0,60 para 0,70 g/cm³, influenciou a absorção d'água de maneira positiva

reduzindo os valores para esta propriedade. É provável que com o aumento da massa específica, o colchão receba uma maior quantidade de partículas e conseqüentemente maior compressão, fazendo com que ocorra um melhor contato entre partículas, reduzindo conseqüentemente os espaços vazios entre elas que são preenchidos com água durante a absorção.

TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 e 24 HORAS POR MASSA ESPECÍFICA.

Massa específica nominal (g/cm³)	Massa específica real (g/cm³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
0,60	0,593	10,60 ^b (12,93)	29,41 ^b (18,18)	5,44 ^a (15,81)	11,26 ^a (12,71)
0,70	0,681	8,81 ^a (13,91)	25,88 ^a (21,73)	5,75 ^b (14,53)	11,62 ^a (12,26)

AA 2h= Absorção d'água após 2 horas; AA 24h= Absorção d'água após 24 horas; IE 2h= Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24h= Inchamento em espessura após 24 horas;

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Para inchamento em espessura, pode-se observar que não houve uma tendência clara, sendo que, o IE 2h foi prejudicado pela maior específica dos painéis, porém, para IE 24h os painéis com diferentes massas específicas mostraram-se estatisticamente iguais, podendo-se afirmar que o aumento dessa variável não influenciou o inchamento em espessura ao longo do tempo ou em maiores intervalos de imersão.

Isso, provavelmente, pode ter ocorrido devido ao fato de que as tensões entre partículas ocorridas durante a prensagem, tendem a se manifestar durante as primeiras horas de imersão, em virtude das reações que ocorrem entre a água e as diferentes características dos painéis, como propriedades químicas das espécies, razão de compactação e disponibilidade de resina, resultando, dessa forma, em diferença estatística significativa nas duas primeiras horas.

Ao longo do tempo, essas tensões que se transformam em inchamento vão se estabilizando, amenizando as diferenças entre as propriedades dos painéis, e após 24 horas os corpos de prova encontram-se em completa saturação, atingindo um percentual de inchamento muito próximo entre as diferentes massas específicas dos painéis.

Estudando a influência do aumento da massa específica de 0,60 g/cm³ para 0,70 g/cm³ em painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*, Melo *et al.* (2010) não encontraram diferenças significativas entre as duas densificações para a maioria das propriedades de estabilidade dimensional com exceção do inchamento em espessura após 2 horas, contudo, os valores obtidos pelos autores foram superiores aos deste estudo, podendo ser devido às diferenças entre alguns fatores no momento da manufatura dos painéis, como geometria de partículas, pressão específica e temperatura utilizada.

4.2.5 Efeito da espécie e da massa específica dos painéis sobre as propriedades mecânicas

4.2.5.1 Efeito da espécie sobre a resistência à flexão estática dos painéis aglomerados

Os resultados médios obtidos para o Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade dos painéis aglomerados para cada espécie, independente da massa específica nominal, são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 – VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE POR ESPÉCIE.

Espécie	MOR (MPa)	MOE (MPa)
<i>E. benthamii</i>	15,82 ^b (21,28)	2111,11 ^b (17,93)
<i>E. dunnii</i>	17,03 ^b (21,20)	2222,33 ^b (18,31)
<i>E. grandis</i>	20,82 ^a (20,42)	2589,75 ^a (17,92)
<i>E. saligna</i>	18,29 ^b (21,95)	2169,11 ^b (21,51)
<i>E. urograndis</i>	17,45 ^b (20,40)	2275,74 ^b (16,43)
Mix	17,38 ^b (20,11)	2188,29 ^b (20,00)
<i>P. taeda</i>	11,67 ^c (20,18)	1766,63 ^c (16,99)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar que o MOR e o MOE apresentaram o mesmo comportamento para as diferentes espécies, onde, os painéis compostos com a espécie *E. grandis*, apresentaram valores estatisticamente superiores para ambas as propriedades. De forma contrária, a espécie *P. taeda* proporcionou aos painéis valores estatisticamente inferiores para as propriedades em questão. As espécies *E. benthami*, *E. dunnii*, *E. saligna*, *E. urograndis* e Mix se mostraram iguais estatisticamente entre si, porém, diferiram significativamente das espécies acima mencionadas.

Como justificado no item 4.2.3.1, os painéis produzidos com *E. grandis* apresentaram alta razão de compactação, podendo ser um dos motivos a gerarem painéis com valores superiores de MOR e MOE, juntamente com as características anatômicas e estruturais da espécie. Devido às diferenças entre estas características de cada espécie, o *Pinus taeda* que também obteve alta razão de compactação, apresentou os menores valores para as propriedades em questão.

Cunha *et al.* (2014) obtiveram comportamento semelhante para as propriedades de resistência mecânica, onde os painéis produzidos com *E. grandis* também se mostraram superiores aos das outras espécies de *Eucalyptus* e a mistura entre elas balanceou os resultados.

4.2.5.2 Efeito da massa específica nominal sobre a resistência à flexão estática dos painéis aglomerados

Os resultados médios obtidos para os Módulos de ruptura e de elasticidade dos painéis aglomerados para cada massa específica nominal, independente da espécie, são apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA CADA MASSA ESPECÍFICA NOMINAL

Massa específica nominal (g/cm³)	Massa específica real (g/cm³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
0,60	0,593	14,68 ^b (21,25)	1918,12 ^b (17,42)
0,70	0,681	19,17 ^a (22,55)	2467,00 ^a (16,50)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar a partir dos resultados apresentados que as propriedades de MOR e MOE foram influenciadas pela massa específica dos painéis, pois, mostraram-se estatisticamente diferentes entre si. Com o aumento da massa específica dos painéis, obteve-se um ganho na resistência de 31% para MOR e de 29% para MOE, dessa forma, apesar de ser mínima a diferença o MOR sofreu uma maior influência dessa variável.

De acordo com Maloney (1993), o aumento da massa específica dos painéis resulta em um melhor contato entre as partículas do colchão, sendo comprimidas até atingirem a espessura final do painel, além de, proporcionarem um maior volume de madeira por unidade de área, fazendo com que os painéis resistam à elevados esforços mecânicos.

Melo *et al.* (2010) também observaram uma melhoria significativa na resistência dos painéis quando aumentou-se a massa específica de 0,60 g/cm³ para 0,70 g/cm³. Os autores encontraram ainda, correlações significativas entre a massa específica dos painéis e os ensaios mecânicos com destaque para MOR e MOE, ou seja, a influência desta variável é claramente visualizada quando os painéis são submetidos à esforços mecânicos.

Os valores obtidos para estas propriedades em ambas as massas específicas, mostraram-se dentro dos requisitos exigidos pela EN 312:2003 que estabelece o valor mínimo de 13 MPa para MOR e 1800 MPa para MOE. Dessa forma, torna-se viável a produção de painéis com menor massa específica nas condições deste estudo, já que atendem os requisitos normativos e necessitam de uma menor quantidade de matéria prima para serem produzidos. Isso indica que, é possível diminuir os custos de produção, assim como, os de transporte do produto final por serem consequentemente mais leves.

4.2.5.3 Efeito da espécie sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados

Os resultados médios gerais obtidos para resistência à tração perpendicular à superfície dos painéis aglomerados para cada espécie, independente da massa específica nominal são apresentados na Tabela 13.

De acordo com os valores médios, nota-se que o *E. grandis* apresentou maior resultado de tração perpendicular, porém, estatisticamente igual ao *E. saligna*. O

menor valor numérico foi apresentado pelos painéis compostos pela espécie *E. urograndis*, que mostrou-se estatisticamente igual ao obtido para o *E. dunnii*, *Pinus taeda* e Mix.

A maior resistência à tração perpendicular obtida pela espécie *E. grandis*, é explicada pelos painéis com alta razão de compactação, juntamente com as características químicas de plasticização da espécie quando em contato com adesivo e temperatura. Elevados valores de razão de compactação garantem um bom contato entre partículas e boa densificação do painel. Maloney (1993) afirma que quanto maior a compressão entre partículas maior quantidade de resina utilizada efetivamente entre elas, resultando em uma boa adesão.

TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR POR ESPÉCIE

Espécie	Tração Perpendicular (MPa)
<i>E. benthamii</i>	0,78 ^{bc} (20,50)
<i>E. dunnii</i>	0,74 ^{bcd} (22,74)
<i>E. grandis</i>	0,91 ^a (14,07)
<i>E. saligna</i>	0,79 ^{ab} (21,51)
<i>E. urograndis</i>	0,64 ^d (24,94)
Mix	0,66 ^d (23,65)
<i>P. taeda</i>	0,67 ^{cd} (14,35)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

O elevado desempenho do *E. grandis* nesta propriedade também foi verificado por Cunha *et al.* (2014), que obtiveram o maior valor médio para a espécie. Porém, os autores também obtiveram altos valores de resistência à tração para painéis produzidos com a mistura de *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. grandis*, o que não foi verificado neste estudo para a mistura entre as cinco espécies. Nesse caso, a proporção das espécies *E. saligna* e *E. urograndis* presentes na mistura, podem ter influenciado a resistência à tração dos painéis.

Apesar do *Pinus taeda* também apresentar altos valores de razão de compactação, a espécie não se destacou na propriedade. Neste caso, as

características químicas da madeira da espécie, podem ter prejudicado a colagem entre partículas, assim como a menor disponibilidade de resina.

Observou-se que, a mistura de espécies não favoreceu os resultados da propriedade em questão, pois, apresentou um valor médio dentre os menores obtidos, dessa forma, pode-se dizer que a mistura diminuiu a resistência à tração dos painéis quando comparados à aqueles produzidos com *E. benthamii*, *E. grandis* e *E. saligna*, sendo que, estas em conjunto representavam a maior porcentagem na mistura.

Pode-se afirmar que, a resistência à tração dos painéis sofre influência da espécie. Essa influência pode ser atribuída às diferenças entre as características químicas envolvidas no processo de adesão entre partículas, porém, para a constatação dessa hipótese faz-se necessário a análise química dessas espécies.

4.2.5.4 Efeito da massa específica nominal sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados

Os resultados médios gerais obtidos para resistência à tração perpendicular à superfície dos painéis aglomerados para cada massa específica nominal, são apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 – VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR POR MASSA ESPECÍFICA NOMINAL

Massa específica nominal (g/cm³)	Massa específica real (g/cm³)	Tração Perpendicular (MPa)
0,60	0,593	0,72 ^b (24,23)
0,70	0,681	0,77 ^a (21,93)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar que apesar da diferença entre valores ser pequena, houve diferença estatística significativa entre os resultados, podendo-se afirmar que a massa específica do painel influencia a adesão entre partículas.

Assim como explanado no ítem anterior, painéis com maior massa específica proporcionam maior volume de partículas para uma mesma espessura final quando comparados a painéis de menor massa específica, fazendo com que haja um melhor contato entre partículas, resultando em uma melhor colagem.

Melo *et al.* (2010) também observaram um aumento proporcional na resistência à tração em painéis produzidos com *Eucalyptus* quando a massa específica é aumentada de 0,60 para 0,70 g/cm³. Os autores encontraram ainda uma alta correlação entre a variável de produção e a propriedade em questão.

Tanto os resultados dos painéis com massa específica de 0,60 g/cm³, como os de 0,70 g/cm³, atenderam o requisito mínimo exigido pelas normas EN 312:2003 e NBR14810-2 (2006), de 0,40 MPa para resistência à tração perpendicular. Como discutido no item 4.2.5.2, a viabilidade da produção de painéis com menor massa específica é confirmada, pois, todos aqueles produzidos com massa específica de 0,60 g/cm³, nas condições deste estudo, atenderam os requisitos normativos, dessa forma, a produção de painéis com maior massa específica, faz-se necessário apenas quando uma alta resistência é requisitada.

4.2.6 Resumo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados

Na Tabela 15 estão apresentados todos os valores obtidos neste estudo para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados, indicado por meio das cores vermelha e azul aqueles que não atenderam aos requisitos mínimos das normas de referência.

TABELA 15 – RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS AGLOMERADOS

Tratamento	ME (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	Flexão Estática		Tração (MPa)
						MOR (MPa)	MOE (MPa)	
1- <i>E. benthamii</i> – 0,60	0,591	11,34	26,89	5,00	10,36	13,70	1859,03	0,76
2- <i>E. dunnii</i> – 0,60	0,594	9,50	33,37	4,67	11,30	14,45	1943,92	0,70
3- <i>E. grandis</i> – 0,60	0,600	9,41	26,89	5,43	10,54	18,12	2281,72	0,88
4- <i>E. saligna</i> – 0,60	0,581	10,65	24,84	6,33	12,17	15,53	1803,92	0,83
5- <i>E. urograndis</i> – 0,60	0,597	10,96	28,44	5,76	11,29	15,26	2064,85	0,57
6- Mix – 0,60	0,586	10,49	26,54	5,40	10,34	15,01	1869,90	0,62
7- <i>P. taeda</i> – 0,60	0,602	12,68	37,59	5,45	12,98	10,72	1603,53	0,63
8- <i>E. benthamii</i> – 0,70	0,680	8,45	23,24	5,69	11,13	17,94	2378,01	0,80
9- <i>E. dunnii</i> – 0,70	0,685	8,13	27,24	4,76	10,96	19,62	2517,12	0,78
10- <i>E. grandis</i> – 0,70	0,678	8,84	24,69	5,97	11,57	23,52	2897,78	0,94
11- <i>E. saligna</i> – 0,70	0,680	8,54	20,58	6,13	11,37	21,05	2555,78	0,76
12- <i>E. urograndis</i> – 0,70	0,671	8,81	27,57	6,21	12,23	19,63	2486,63	0,70
13- Mix – 0,70	0,680	8,31	21,90	5,93	10,39	19,74	2506,68	0,70
14- <i>P. taeda</i> – 0,70	0,694	10,52	36,44	5,51	13,98	12,61	1929,73	0,71
Efeito da espécie sobre as propriedades físicas e mecânicas								
<i>E. benthamii</i>	0,635	9,83	24,84	5,35	10,74	15,82	2111,11	0,78
<i>E. dunnii</i>	0,639	8,65	29,82	4,72	11,13	17,03	2222,33	0,74
<i>E. grandis</i>	0,639	9,10	25,79	5,79	11,05	20,82	2589,75	0,91
<i>E. saligna</i>	0,630	9,33	22,28	6,22	11,76	18,29	2169,11	0,79
<i>E. urograndis</i>	0,634	9,65	28,00	5,99	11,76	17,45	2275,74	0,64
Mix	0,633	9,10	23,96	5,67	10,37	17,38	2188,29	0,66
<i>P. taeda</i>	0,648	11,21	37,02	5,48	13,46	11,67	1766,63	0,67
Efeito da massa específica nominal sobre as propriedades físicas e mecânicas								
0,60	0,593	10,60	29,41	5,44	11,26	14,68	1918,12	0,72
0,70	0,681	8,81	25,88	5,75	11,62	19,17	2467,00	0,77
EN 312:2003	-	-	-	-	-	13	1800	0,40
NBR 14810-2 :2006	-	-	-	8	-	18	-	0,40

NOTAS: Valores em vermelho não atenderam aos requisitos prescritos pela norma EN 312:2003;

Valores em azul não atenderam aos requisitos prescritos pela norma NBR 14810-2 :2006;

- As Normas não estipula requisitos mínimos para as propriedades em questão.

4.3 PAINÉIS OSB

4.3.1 Geometria das partículas

Os valores médios obtidos para as características dimensionais das partículas são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 – CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS *STRANDS*

Espécie	C (mm)	L (mm)	E (mm)	IE	RP
<i>E. benthamii</i>	79,52 (0,99)	19,98 (21,51)	0,60 (29,26)	142,01 ^{ab} (26,63)	35,83 ^{ab} (35,13)
<i>E. dunnii</i>	80,06 (1,48)	22,01 (8,20)	0,65 (23,98)	130,27 ^{abc} (26,05)	35,78 ^{ab} (26,60)
<i>E. grandis</i>	80,76 (1,33)	19,46 (24,69)	0,61 (23,82)	138,44 ^{ab} (22,45)	33,40 ^b (33,85)
<i>E. saligna</i>	80,85 (1,82)	19,38 (24,17)	0,60 (23,68)	142,83 ^a (24,58)	34,39 ^b (35,66)
<i>E. urograndis</i>	79,66 (1,53)	19,51 (25,07)	0,66 (27,08)	127,95 ^{bc} (25,02)	31,35 ^b (36,47)
<i>Pinus taeda</i>	77,71 (1,09)	24,88 (13,36)	0,68 (28,72)	123,49 ^c (28,60)	39,61 ^a (32,59)

C=Comprimento; L=Largura; E=Espessura; IE=Índice de esbeltez; RP=Razão de planicidade; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar que a espécie *E. saligna* obteve maior valor médio para índice de esbeltez, não diferindo estatisticamente do *E. benthamii*, *E. grandis* e *E. dunnii*. A espécie *Pinus taeda* apresentou o menor valor médio obtido para esta propriedade, sendo o valor estatisticamente igual aos apresentados por *E. urograndis* e *E. dunnii*. O *E. dunnii* não apresentou diferenças estatísticas entre nenhuma das espécies.

Os valores obtidos estão de acordo com o sugerido por Moslemi (1974), que afirma que a razão de esbeltez ideal para painéis particulados de três camadas, pode variar de 120 a 200 para partículas das camadas externas, e em torno de 60 para partículas de camada interna do painel. Ressalta-se, que neste estudo não houve o propósito de estudar a variação da geometria das partículas entres as diferentes camadas dos painéis.

A menor média obtida pela espécie *Pinus taeda*, pode ser explicada pelo aumento na espessura e decréscimo do comprimento dos *strands* resultando em

menor razão de esbeltez. Segundo Maloney (1993), o aumento na espessura das partículas, pode gerar um aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas levando em consideração o mesmo teor de resina, o que pode proporcionar aos painéis uma maior resistência à tração. Dessa forma, é provável que haja um aumento na propriedade de tração perpendicular dos painéis produzidos com essa espécie.

Resultados satisfatórios de resistência à flexão estática também são esperados, pois, segundo Kelly (1977), valores de índice de esbeltez acima de 100 provoca aumentos significativos nas propriedades de MOR e MOE. Este fato foi confirmado por Canadino *et al.* (1990), que estudando partículas de *Douglas-fir*, concluíram que de uma forma geral, o valor de MOR aumenta com o aumento do índice de esbeltez. Esse comportamento também foi observado por Naumann *et al.* (2008), em painéis produzidos com *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*.

Para razão de planicidade, a espécie *Pinus taeda* se sobressaiu com maior valor médio, porém, mostrou-se estatisticamente igual aos valores obtidos por *E. dunnii* e *E. benthamii*, que por sua vez, mostraram-se estatisticamente iguais às demais espécies.

Geimer (1976) em seu estudo, observou um certo aumento nos resultados de MOR e MOE aumentando a largura das partículas, porém, Iwakiri (1989), não encontrou influência da razão de planicidade sobre estas propriedades. Vale ressaltar, que apesar dessa propriedade não afetar diretamente as propriedades de resistência dos painéis, ela está relacionada à distribuição de resina e a área de contato entre as partículas, sendo que, quanto maior esta razão, melhor a colagem entre partículas, podendo resultar em valores superiores de resistência à tração.

4.3.2 Propriedades físicas dos painéis OSB

4.3.2.1 Massa específica aparente e Razão de compactação

Na Tabela 17, são apresentados os valores médios obtidos para massa específica aparente dos painéis e razão de compactação, juntamente com os valores de massa específica básica de cada espécie para comparação.

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO

Tratamento	MEM (g/cm ³)	MEP (g/cm ³)	RC
1- <i>E. benthamii</i> – 0,65	0,497	0,644 ^a (10,53)	1,295 ^f (10,53)
2- <i>E. dunnii</i> – 0,65	0,501	0,644 ^a (11,15)	1,286 ^f (11,15)
3- <i>E. grandis</i> – 0,65	0,411	0,645 ^a (11,40)	1,570 ^{cd} (11,40)
4- <i>E. saligna</i> – 0,65	0,493	0,644 ^a (11,37)	1,306 ^f (11,37)
5- <i>E. urograndis</i> – 0,65	0,472	0,633 ^a (10,07)	1,340 ^f (10,07)
6- Mix – 0,65	0,475	0,647 ^a (10,22)	1,363 ^{ef} (10,22)
7- <i>P. taeda</i> – 0,65	0,377	0,627 ^a (10,67)	1,663 ^{bc} (10,07)
8- <i>E. benthamii</i> – 0,75	0,497	0,733 ^b (10,96)	1,476 ^{de} (10,96)
9- <i>E. dunnii</i> – 0,75	0,501	0,749 ^b (9,54)	1,495 ^d (9,54)
10- <i>E. grandis</i> – 0,75	0,411	0,721 ^b (5,60)	1,754 ^b (5,60)
11- <i>E. saligna</i> – 0,75	0,493	0,748 ^b (6,70)	1,518 ^d (6,70)
12- <i>E. urograndis</i> – 0,75	0,472	0,741 ^b (10,26)	1,570 ^{cd} (10,26)
13- Mix – 0,75	0,475	0,732 ^b (9,85)	1,540 ^d (9,85)
14- <i>P. taeda</i> – 0,75	0,377	0,748 ^b (7,13)	1,984 ^a (7,13)

MEM = Massa específica da madeira; MEP = Massa específica do painel; RC = Razão de compactação. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar, que assim como nos painéis aglomerados, a diferença esperada entre os painéis de massa específica nominais distintas foi confirmada, porém, mostrando-se iguais quando comparadas entre tratamentos de mesma massa específica nominal, indicando que houve bom controle na distribuição de massa do colchão e boa densificação do painéis.

Em relação à razão de compactação, também verificou-se um comportamento semelhante aos painéis aglomerados, onde os tratamentos compostos pela espécie *Pinus taeda* apresentaram maior valor médio, seguido do *E. grandis*, em decorrência das menores massas específicas das suas madeiras.

Com exceção das espécies *E. dunnii* e *E. benthamii*, nos tratamentos com menor massa específica nominal (0,65 g/cm³), todos os tratamentos apresentaram

valores de razão de compactação superiores ao mínimo proposto por Maloney (1993) de 1,3, porém, os valores obtidos por essas espécies apresentaram valores muito próximos aos recomendados pelo autor.

De uma maneira geral, é provável que os painéis OSB produzidos com maior densificação, apresentem melhores propriedades mecânicas quando comparados aos de menor densidade.

4.3.2.2 Absorção d'água e Inchamento em espessura

Os valores médios obtidos nos ensaios de absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas são apresentados na Tabela 18.

Pode-se observar que todos os tratamentos compostos pelas espécies do gênero *Eucalyptus* apresentaram os menores valores médios para absorção d'água após 2 horas, sendo que, não foram constatadas diferenças estatísticas entre si, dessa forma, a espécie *P. taeda* obteve conseqüentemente os maiores valores para esta propriedade. Este fato pode ser confirmado por meio da absorção d'água após 24 horas, onde apresentou a mesma tendência.

Este comportamento pode estar associado às características químicas das espécies e suas interações com a resina no momento da cura, as quais podem ter levado à inibição de uma parte da entrada de água nas partículas.

O menor volume necessário de partículas de *Eucalyptus* para a constituição dos painéis também pode ter influenciado, disponibilizando uma maior quantidade de resina para o recobrimento das partículas, contribuindo para a impermeabilidade das mesmas.

TABELA 18 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS

Tratamento	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
1- <i>E. benthamii</i> – 0,65	10,02 ^a (29,16)	34,92 ^a (22,07)	2,14 ^a (39,27)	9,01 ^a (27,35)
2- <i>E. dunnii</i> – 0,65	11,44 ^a (22,37)	39,61 ^a (10,53)	2,63 ^a (29,06)	10,65 ^a (25,34)
3- <i>E. grandis</i> – 0,65	10,98 ^a (23,40)	36,39 ^a (20,13)	2,82 ^a (30,70)	10,49 ^a (24,39)
4- <i>E. saligna</i> – 0,65	9,50 ^a (29,16)	30,53 ^a (25,02)	2,28 ^a (38,10)	7,97 ^a (27,97)
5- <i>E. urograndis</i> – 0,65	11,68 ^a (36,05)	36,38 ^a (27,14)	2,33 ^a (29,91)	9,98 ^a (24,61)
6- Mix – 0,65	9,92 ^a (24,32)	31,09 ^a (18,88)	2,81 ^a (30,68)	8,82 ^a (26,26)
7- <i>P. taeda</i> – 0,65	26,10 ^b (20,51)	61,04 ^b (10,38)	6,78 ^b (29,62)	20,93 ^b (26,39)
8- <i>E. benthamii</i> – 0,75	12,47 ^a (37,07)	38,49 ^a (27,10)	2,03 ^a (32,30)	9,27 ^a (26,23)
9- <i>E. dunnii</i> – 0,75	10,37 ^a (35,52)	33,65 ^a (22,53)	2,30 ^a (32,07%)	10,25 ^a (28,73)
10- <i>E. grandis</i> – 0,75	9,71 ^a (33,68)	34,27 ^a (25,17)	1,92 ^a (39,92)	7,72 ^a (31,22)
11- <i>E. saligna</i> – 0,75	11,40 ^a (37,15)	32,69 ^a (28,09)	1,85 ^a (31,86)	7,99 ^a (32,63)
12- <i>E. urograndis</i> – 0,75	8,96 ^a (38,76)	29,63 ^a (25,17)	2,03 ^a (31,13)	9,97 ^a (32,06)
13- Mix – 0,75	12,82 ^a (33,64)	35,67 ^a (25,27)	2,04 ^a (29,62)	8,26 ^a (22,85)
14- <i>P. taeda</i> – 0,75	20,39 ^b (34,26)	58,30 ^b (15,66)	5,47 ^b (38,65)	21,61 ^b (24,39)

AA 2h= Absorção d'água após 2 horas; AA 24h= Absorção d'água após 24 horas; IE 2h= Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24h= Inchamento em espessura após 24 horas;

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Para inchamento em espessura após 2 e 24 horas, foi observado o mesmo comportamento encontrado para absorção d'água, ou seja, as espécies do gênero *Eucalyptus* produziram painéis com os menores valores para estas propriedades quando comparadas à espécie testemunha (*P. taeda*).

Pode-se observar que, as diferenças significativas encontradas para as propriedades de estabilidade dimensional foram, entre gêneros, onde a espécie

testemunha *Pinus taeda* apresentou valores superiores às espécies de *Eucalyptus* estudadas.

Os menores valores para as propriedades de estabilidade dimensional obtidos pelos painéis compostos de *Eucalyptus* spp. podem ter a mesma explicação apresentada para os painéis aglomerados, ou seja, além da massa específica da madeira, as características químicas e anatômicas das espécies podem ter influenciado os resultados assim como a razão de compactação.

O *P. taeda* por apresentar menor massa específica básica da madeira, oferece um maior volume de partículas, dessa forma, há uma menor disponibilidade de resina por partícula resultando em valores mais elevados de absorção d'água. Além disso, essas partículas em maior quantidade, durante a prensagem são submetidas há uma grande compressão até se atingir a espessura final do colchão, gerando grandes tensões entre elas. Quando em contato com água essas tensões são liberadas, o que pode resultar em maiores inchamentos.

A norma européia EN 300:2006 somente avalia o teste de inchamento em espessura após 24 horas de imersão, de acordo com tipo de uso e espessura dos painéis. Para este estudo, com exceção dos painéis compostos por *Pinus taeda*, todos os tratamentos atenderam aos requisitos mínimos recomendados pela norma, que estabelece inchamento em espessura máximo de 15%.

4.3.3 Propriedades mecânicas dos painéis OSB

4.3.3.1 Flexão estática

Os resultados do Módulo de Ruptura e do Módulo de Elasticidade obtidos por meio dos ensaios de flexão estática no sentido paralelo e perpendicular à superfície dos painéis são apresentados na Tabela 19.

Observou-se que o maior valor numérico de MOR tanto no sentido paralelo como no perpendicular foi obtido pelos painéis compostos pelo Mix de espécies e com massa específica nominal de 0,75 g/cm³, porém, este tratamento não diferiu estatisticamente aos demais com mesma massa específica nominal, que aliás, também apresentaram altos valores para esta propriedade. Além disso, alguns tratamentos com massa específica nominal de 0,65 g/cm³ também não diferiram estatisticamente dos mencionados anteriormente, como foi o caso dos painéis

compostos pelas espécies *P. taeda*, *E. saligna* e Mix no sentido paralelo e *E. benthamii* e *E. saligna* no sentido perpendicular.

TABELA 19 – VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO E PERPENDICULAR

Tratamento	Paralelo		Perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1- <i>E. benthamii</i> – 0,65	20,10 ^d (38,08)	4349,34 ^{bc} (26,17)	25,192 ^{abc} (26,53)	2673,67 ^{abc} (21,83)
2- <i>E. dunnii</i> – 0,65	18,93 ^d (37,74)	4582,50 ^{abc} (28,40)	23,557 ^{bc} (33,95)	2783,08 ^{abc} (15,91)
3- <i>E. grandis</i> – 0,65	22,37 ^{bcd} (30,90)	4788,98 ^{abc} (22,62)	22,933 ^c (26,06)	2640,11 ^{abc} (22,44)
4- <i>E. saligna</i> – 0,65	25,27 ^{abcd} (30,70)	5266,52 ^{ab} (24,70)	25,385 ^{abc} (16,40)	2764,39 ^{abc} (13,27)
5- <i>E. urograndis</i> – 0,65	20,18 ^{cd} (46,59)	4879,37 ^{abc} (23,14)	20,026 ^c (25,14)	2596,28 ^{abc} (19,14)
6- Mix – 0,65	25,95 ^{abcd} (30,82)	5362,11 ^{ab} (19,02)	22,791 ^{bc} (24,94)	2703,45 ^{abc} (26,86)
7- <i>P. taeda</i> – 0,65	24,41 ^{abcd} (28,92)	3578,23 ^c (14,63)	21,468 ^c (30,56)	2058,66 ^c (23,70)
8- <i>E. benthamii</i> – 0,75	30,80 ^{abc} (19,53)	5148,23 ^{ab} (18,79)	30,389 ^{abc} (24,91)	2959,71 ^{abc} (24,28)
9- <i>E. dunnii</i> – 0,75	31,55 ^{abc} (37,15)	5887,19 ^a (22,39)	27,738 ^{abc} (29,95)	2906,19 ^{abc} (18,79)
10- <i>E. grandis</i> – 0,75	30,50 ^{abc} (25,12)	5030,95 ^{ab} (19,87)	26,461 ^{abc} (12,52)	2911,41 ^{abc} (19,40)
11- <i>E. saligna</i> – 0,75	33,65 ^a (22,87)	5845,21 ^a (18,97)	34,078 ^{ab} (18,20)	3524,87 ^a (14,51)
12- <i>E. urograndis</i> – 0,75	32,16 ^{ab} (30,31)	5904,86 ^a (22,76)	29,637 ^{abc} (18,90)	3229,29 ^{ab} (9,81)
13-Mix – 0,75	34,62 ^a (23,93)	5572,48 ^{ab} (22,89)	35,812 ^a (23,52)	3578,06 ^a (35,18)
14- <i>P. taeda</i> – 0,75	33,99 ^a (28,25)	4296,06 ^{bc} (25,08)	27,625 ^{abc} (24,59)	2459,40 ^{bc} (12,56)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Em termos numéricos, os painéis produzidos com massa específica nominal de 0,75 g/cm³, apresentaram de maneira geral maiores valores médios de MOR, mostrando-se estatisticamente iguais entre si.

O alto valor de MOR obtido no sentido paralelo para o Mix de espécies pode ter ocorrido devido a interação entre elas, já que, nenhuma variável relacionada às partículas ou de processamento foi identificada como responsável por esse resultado.

Durante a prensagem, a consolidação do painel se dá por meio da cura do adesivo e da plasticização da lignina presente na madeira, a união do teor desse componente presente em cada espécie pode ter interagido de forma favorável durante o processo, resultando em uma boa tenacidade dos painéis, sendo que, a lignina é o composto responsável pela dureza da madeira. A ligação entre partículas é discutida no item 4.3.3.2. Para a confirmação com maior clareza desse fato, deve-se em estudos futuros, quantificar o teor de lignina presente em cada espécie.

Para os resultados de MOE tanto no sentido paralelo como no perpendicular, verificou-se uma grande proximidade de valores entre os tratamentos, porém, os painéis compostos pela espécie *Pinus taeda* apresentaram, independente da massa específica nominal, os menores valores médios. O melhor desempenho obtido pelo Mix de espécies foi confirmado no MOE, contudo, no sentido paralelo as espécies *E. dunnii*, *E. urograndis* e *E. saligna* se sobressaíram com os maiores valores para esta propriedade em painéis com maior massa específica nominal.

Assim como observado para MOR em ambos os sentidos, os tratamentos com maior massa específica nominal apresentaram resultados numéricos de MOE superiores a aqueles com menor massa específica, o que era esperado sendo que, maiores quantidades de massa por painel oferecem um certo ganho nas propriedades mecânicas dos painéis.

Num contexto geral, os painéis produzidos com a mistura de espécies ofereceram maior resistência mecânica que os demais, essa resistência é ainda mais pronunciada naqueles produzidos com maior massa específica nominal.

Considerando a norma EN 300:2006, todos os tratamentos com exceção do tratamento 2, atenderam os requisitos mínimos exigidos de 20 e 10 MPa para MOR e 3500 e 1400 MPa para MOE, no sentido paralelo e perpendicular, respectivamente. Vale ressaltar, que o percentual de composição de camadas (20:60:20) utilizado neste estudo foi satisfatório, sabendo-se que o percentual de partículas utilizadas nas camadas principalmente na externa influencia a resistência mecânica dos painéis, pois, são nessas camadas que agem as forças de cisalhamento no ensaio de flexão estática.

Como a maioria dos tratamentos alcançaram os requisitos normativos, para um melhor aproveitamento de matéria prima e maximização das propriedades de resistência, pode-se trabalhar com a mistura de espécies, sendo que, este tratamento com massa específica de 0,65 g/cm³ apresentou propriedades satisfatórias.

4.3.3.2 Tração perpendicular

Os resultados médios obtidos para a resistência à tração perpendicular à superfície estão apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DOS PAINÉIS OSB

Tratamento	Tração perpendicular (MPa)
1- <i>E. benthamii</i> – 0,65	0,50 ^{bcd} (28,31)
2- <i>E. dunnii</i> – 0,65	0,49 ^{bcd} (26,61)
3- <i>E. grandis</i> – 0,65	0,55 ^{bcd} (26,80)
4- <i>E. saligna</i> – 0,65	0,51 ^{bcd} (18,31)
5- <i>E. urograndis</i> – 0,65	0,40 ^d (24,72)
6- Mix – 0,65	0,56 ^{bcd} (21,29)
7- <i>P. taeda</i> – 0,65	0,60 ^{bc} (13,45)
8- <i>E. benthamii</i> – 0,75	0,63 ^{bc} (25,90)
9- <i>E. dunnii</i> – 0,75	0,45 ^{cd} (25,35)
10- <i>E. grandis</i> – 0,75	0,49 ^{bcd} (21,99)
11- <i>E. saligna</i> – 0,75	0,57 ^{bcd} (26,02)
12- <i>E. urograndis</i> – 0,75	0,49 ^{bcd} (27,89)
13-Mix – 0,75	0,62 ^b (21,60)
14- <i>P. taeda</i> – 0,75	0,87 ^a (17,82)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar que o maior valor médio foi obtido pelos painéis compostos pela espécie *Pinus taeda* com massa específica nominal de 0,75 g/cm³, diferindo estatisticamente e mostrando-se superior aos demais tratamentos.

Entre as espécies de *Eucalyptus*, o tratamento composto pelo Mix com massa específica nominal de 0,75 g/cm³, apresentaram o maior valor numérico para tração perpendicular, porém, diferiram estatisticamente apenas dos tratamentos 5 e 9.

Os painéis compostos pela espécie *E. urograndis* com massa específica nominal de 0,65 g/cm³ obtiveram o menor valor médio para a propriedade em questão, contudo, diferiram estatisticamente apenas dos tratamentos 8 e 13.

O alto desempenho nesta propriedade obtida pelo tratamento *P. taeda* – 0,75, pode ser explicado pela alta razão de compactação obtida para a espécie. A maior razão de compactação do painel obtida pelo uso de madeiras de baixa densidade, garante uma boa densificação do painel e conseqüentemente uma melhor união entre partículas. Iwakiri *et al.* (2008) comentam que, painéis com maior massa específica nominal, resultam em maior consumo absoluto de adesivo por unidade de volume, o que proporciona uma melhor resistência à tração para os painéis.

A hipótese levantada no item 4.3.3.1, sobre a interação química entre as espécies no tratamento 13 resultando em altos valores de MOR e MOE, pode de certa forma, ser firmada observando os resultados de resistência à tração, sendo que o tratamento em questão, apresentou um dos valores médios mais altos obtidos para a propriedade.

Quando comparados aos requisitos da norma EN 300:2006, pode-se afirmar que todos os tratamentos atenderam ao mínimo estabelecido de 0,32 MPa para resistência à tração de painéis OSB.

4.3.4 Efeito da espécie e da massa específica nominal sobre as propriedades físicas dos painéis

4.3.4.1 Efeito da espécie sobre massa específica do painel e razão de compactação

Os valores médios de massa específica e razão de compactação dos painéis, independente da massa específica nominal, são apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO POR ESPÉCIE

Espécie	Massa específica do painel (g/cm ³)	Razão de compactação
<i>E. benthamii</i>	0,692 ^a (12,56)	1,392 ^c (12,56)
<i>E. dunnii</i>	0,698 ^a (12,67)	1,393 ^c (12,67)
<i>E. grandis</i>	0,680 ^a (10,42)	1,656 ^b (10,42)
<i>E. saligna</i>	0,695 ^a (11,74)	1,410 ^c (11,74)
<i>E. urograndis</i>	0,695 ^a (12,79)	1,472 ^c (12,79)
Mix	0,694 ^a (11,66)	1,461 ^c (11,66)
<i>P. taeda</i>	0,682 ^a (12,34)	1,810 ^a (12,34)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

De acordo com a Tabela 21, pode-se observar que não houve diferenças estatísticas significativas entre os valores de massa específica dos painéis para cada espécie. Isso indica que, conseguiu-se obter uma boa homogeneidade para essa variável por meio do controle no processo produtivo, obtendo uma maior precisão na comparação de fatores relacionados à essa variável entre as espécies.

Para a razão de compactação, o *E. grandis* apresentou valor médio estatisticamente superior às demais espécies de *Eucalyptus*, em decorrência da menor massa específica da sua madeira entre as espécies do gênero. As demais espécies de *Eucalyptus* apresentaram igualdade estatística apresentando razões de compactação semelhantes.

A espécie *Pinus taeda* apresentou o maior valor para a variável, diferindo estatisticamente das outras espécies. Neste caso, a sua baixa massa específica que é associada às características do gênero, foi o fator determinante no resultado obtido.

Pode-se afirmar, que a espécie influencia os valores de razão de compactação, o que era esperado, pois, a massa específica da madeira é o fator limitante desta variável, como todas as espécies se diferenciam neste aspecto, esta diferença é refletida nos valores obtidos para razão de compactação.

4.3.4.2 Efeito da espécie sobre a absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas

Os resultados médios de absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas para cada espécie são apresentados na Tabela 22.

TABELA 22 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS POR ESPÉCIE.

Espécie	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
<i>E. benthamii</i>	11,24 ^a (35,55)	36,58 ^a (24,82)	2,09 ^a (35,75)	9,15 ^a (26,28)
<i>E. dunnii</i>	10,86 ^a (29,45)	36,27 ^a (19,00)	2,46 ^a (30,72)	10,44 ^a (26,67)
<i>E. grandis</i>	10,37 ^a (28,76)	35,29 ^a (22,51)	2,44 ^a (38,00)	9,21 ^a (30,60)
<i>E. saligna</i>	10,32 ^a (34,93)	31,66 ^a (26,46)	2,07 ^a (36,87)	7,98 ^a (29,90)
<i>E. urograndis</i>	10,49 ^a (38,93)	33,29 ^a (28,00)	2,20 ^a (30,66)	9,97 ^a (28,08)
Mix	11,37 ^a (32,84)	33,38 ^a (23,43)	2,50 ^a (33,86)	8,56 ^a (24,60)
<i>P. taeda</i>	22,99 ^b (29,61)	59,55 ^b (13,31)	5,99 ^b (35,57)	21,28 ^b (24,90)

AA 2h= Absorção d'água após 2 horas; AA 24h= Absorção d'água após 24 horas; IE 2h= Inchamento em espessura após 2 horas; ; IE 24h= Inchamento em espessura após 24 horas;

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Os valores médios de absorção d'água variaram de 10,32% (*E. saligna*) a 22,99% (*P. taeda*) após 2 horas e de 31,66% (*E. saligna*) a 59,55% (*P. taeda*) após 24 horas. A mesma tendência foi verificada no inchamento em espessura, onde os valores médios variaram de 2,07% (*E. saligna*) a 5,99% (*P. taeda*) após 2 horas e de 7,98% (*E. saligna*) a 21,28% (*P. taeda*) após 24 horas.

Verificou-se que, em todas as propriedades o comportamento dos resultados foi semelhante estatisticamente, sendo que, os menores valores foram obtidos pelas espécies do gênero *Eucalyptus*. Dessa forma, é importante salientar que os painéis de *Eucalyptus* apresentaram menores valores para as propriedades de instabilidade dimensional em comparação aos painéis de *Pinus taeda*.

Pode-se afirmar que a influência exercida sobre as propriedades de estabilidade dimensional deve-se a diferença entre gêneros, pois, dentro do gênero *Eucalyptus* não houve diferenças estatísticas significativas entre as espécies.

Em termos de média absoluta, os painéis produzidos com *E. saligna* apresentaram-se mais estáveis em todas as propriedades. Os painéis compostos pelo Mix de espécies apresentaram-se mais instáveis à curto prazo (2 horas) dentre as espécies de *Eucalyptus*, porém, em 24 horas os valores foram balanceados, mantendo-se entre os valores mais baixos de instabilidade dimensional. Por outro lado, os painéis produzidos com *E. benthamii* apresentaram maior absorção e inchamento após 24 horas.

Os valores obtidos neste estudo para as propriedades de absorção d'água e inchamento em espessura, foram inferiores aos encontrados por alguns autores na literatura como: Iwakiri *et al.* (2004) para as espécies *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. saligna*, Bufalino *et al.* (2015) para *E. urograndis*, e Gorski *et al.* (2015) para *E. benthamii*. Contudo, nestes estudos os autores também observaram que os painéis produzidos com *Eucalyptus* se apresentaram mais estáveis do que aqueles produzidos com *Pinus*. Segundo Gorski *et al.* (2015), pelo fato de o *Pinus* apresentar a menor massa específica básica e conseqüentemente maior razão de compactação dos painéis, há uma grande quantidade espaços vazios na madeira que originou as partículas para serem preenchidos com água, ou seja, maior porosidade da madeira e uma maior concentração de material lenhoso nos painéis com alta razão de compactação.

4.3.4.3 Efeito da massa específica nominal sobre a absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas

Os valores médios de absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas para cada massa específica nominal são apresentados na Tabela 23.

TABELA 23 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO D'ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS PARA CADA MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL

Massa específica nominal (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)	AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h
		(%)	(%)	(%)	(%)
0,65	0,641	12,31 ^a (48,15)	37,70 ^a (30,02)	2,93 ^a (55,68)	11,06 ^a (45,19)
0,75	0,739	12,21 ^a (45,09)	37,38 ^a (32,34)	2,60 ^a (63,20)	10,81 ^a (50,73)

AA 2h= Absorção d'água após 2 horas; AA 24h= Absorção d'água após 24 horas; IE 2h= Inchamento em espessura após 2 horas; IE 24h= Inchamento em espessura após 24 horas.

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se observar claramente que a massa específica não influenciou nas propriedades de estabilidade dimensional dos painéis, apresentando resultados estatisticamente iguais.

Dessa forma, o aumento da massa específica dos painéis de 0,65 para 0,75 g/cm³, objetivando a melhoria em outras propriedades pode ser levado em consideração, já que, as propriedades de resistência à umidade possivelmente não serão afetadas. Porém, não se pode afirmar o quanto esse comportamento mantém-se constante, pois, neste estudo foram analisadas apenas duas densificações diferentes, para isso, torna-se necessário estudos que contemplem painéis com massas específicas mais elevadas.

Os valores obtidos neste estudo foram inferiores aos encontrados por Gorski (2014) e Okino *et al.* (2008) em painéis de *Eucalyptus* com massa específica de 0,65 g/cm³ e 0,75 g/cm³, respectivamente. Contudo, os autores que trabalharam com maior massa específica dos painéis encontraram valores superiores à autora que trabalhou com massa específica mais baixa. Essa diferença não foi constatada neste estudo, o que pode ser devido aos diferentes parâmetros utilizados durante o processo produtivo como a quantidade de resina, parafina, pressão e tempo de prensagem.

De acordo com a norma europeia EN 300:2006 o inchamento em espessura máximo após 24 horas de imersão deve ser de 15% em painéis OSB. Em ambas as massas específicas o requisito foi atendido, por essa razão, pode-se optar por trabalhar com massa específica de 0,65 g/cm³ desde que, as propriedades mecânicas não sejam afetadas, dessa forma, produz-se painéis com boa qualidade tendo um melhor aproveitamento da matéria prima disponível e conseqüentemente reduzindo a quantidade de componentes utilizados como por exemplo a resina, pois, sabe-se que este é um dos elementos de maior custo na produção de painéis.

4.3.5 Efeito da espécie e da massa específica dos painéis sobre as propriedades mecânicas

4.3.5.1 Efeito da espécie sobre a resistência à flexão estática dos painéis OSB

Na Tabela 24 são apresentados os resultados obtidos para o Módulo de Ruptura e o Módulo de Elasticidade nos sentidos paralelo e perpendicular dos painéis para cada espécie.

TABELA 24 – VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO E PERPENDICULAR POR ESPÉCIE

Espécie	Paralelo		Perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
<i>E. benthamii</i>	25,63 ^a (33,79)	4902,83 ^a (20,46)	27,47 ^a (26,71)	2884,19 ^a (19,43)
<i>E. dunnii</i>	23,90 ^a (48,58)	5184,67 ^a (27,85)	26,11 ^a (31,48)	2855,50 ^a (17,34)
<i>E. grandis</i>	26,80 ^a (30,99)	4920,96 ^a (20,91)	24,45 ^a (21,15)	2823,78 ^a (18,93)
<i>E. saligna</i>	29,92 ^a (29,00)	5588,01 ^a (21,65)	30,60 ^a (22,55)	3220,68 ^a (18,27)
<i>E. urograndis</i>	27,67 ^a (40,20)	5520,30 ^a (24,31)	25,11 ^a (28,50)	2976,09 ^a (16,76)
Mix	30,70 ^a (29,77)	5474,31 ^a (20,98)	29,30 ^a (32,96)	3195,96 ^a (33,08)
<i>P. taeda</i>	29,97 ^a (32,57)	3995,03 ^b (23,71)	24,73 ^a (29,15)	2247,25 ^b (20,07)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Os valores de MOR no sentido paralelo variaram de 23,90 a 30,70 MPa e no perpendicular variaram de 24,45 a 30,60 MPa. Para MOE, a variação foi de 3995,03 a 5588,01 MPa no sentido paralelo e de 2247,25 a 3220,68 MPa no sentido perpendicular. De acordo com a Tabela 23, pode-se observar que tanto no sentido paralelo como no perpendicular os resultados de MOR e MOE apresentaram comportamento semelhante. Para MOR não foi constatada diferença significativa entre as espécies, contudo, para MOE, o *Pinus taeda* diferiu estatisticamente das demais espécies apresentando o menor valor médio.

Pode-se afirmar que a propriedade de MOR tanto no sentido paralelo como no perpendicular não foi influenciada pela espécie. Por outro lado, o MOE em ambos os sentidos sofreu uma influência significativa do gênero e espécie, onde *Pinus taeda* mostrou-se estatisticamente inferior às espécies de *Eucalyptus*.

Autores como Iwakiri *et al.* (2004), assim como neste estudo, não encontraram diferenças significativas para MOR entre algumas espécies de *Eucalyptus* e o *Pinus taeda*. Os mesmos autores atribuem este comportamento à alta razão de compactação dos painéis obtidos em virtude da baixa densidade da madeira como no caso do *Pinus taeda* e do *E. grandis*. Os autores ressaltam ainda, que o fato das partículas “strand” apresentarem maiores dimensões e geometria, podem favorecer o

contato superficial e a ligação entre as partículas, gerando painéis com propriedades mecânicas satisfatórias mesmo naqueles com uma menor razão de compactação.

Em termos numéricos, o *E. saligna* e o Mix de espécies se destacaram apresentando os maiores valores de resistência mecânica. Este último demonstrou que a interação entre as espécies proporcionou um certo aumento nessas propriedades, assim sendo, é viável que se produza painéis compostos com a mistura dessas espécies em mesmas proporções, para que se obtenha ganhos em resistência dos painéis com a vantagem de uma maior variabilidade e disponibilidade de matéria prima. Diferentes proporções de mistura entre estas espécies devem ser estudadas a fim determinar a composição ótima para maximizar os ganhos em resistência mecânica.

4.3.5.2 Efeito da massa específica nominal sobre a resistência à flexão estática dos painéis OSB

Os resultados do Módulo de Ruptura e do Módulo de Elasticidade nos sentidos paralelo e perpendicular para cada massa específica são apresentados na Tabela 25.

TABELA 25 – VALORES DE MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO E PERPENDICULAR PARA CADA MASSA ESPECÍFICA.

Massa específica nominal (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)	Paralela		Perpendicular	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
0,65	0,641	22,22 ^b (35,86)	4673,14 ^b (25,67)	23,00 ^b (26,42)	2587,79 ^b (22,27)
0,75	0,739	32,48 ^a (26,48)	5330,14 ^a (23,55)	30,16 ^a (24,10)	3090,46 ^a (23,47)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Pode-se verificar que a massa específica influenciou as propriedades de resistência mecânica dos painéis, pois, o aumento da massa específica nominal de 0,65 para 0,75 g/cm³ apresentou valores médios de resistência estatisticamente diferentes entre si.

Na literatura alguns autores como Zhang *et al.* (1998), Wu (1999), Iwakiri *et al.* (2008), Mendes (2001) e Saldanha e Iwakiri (2009), também observaram um incremento significativo nas propriedades mecânicas de painéis OSB, com o aumento da massa específica dos painéis. Esses autores afirmam que, esse fato é comumente

associado a maior quantidade de partículas de madeira por unidade de área presentes no painel. Moslemi, (1974) e Maloney, (1993) relatam que quanto maior a quantidade de partículas, maior a compressão do colchão durante o processo de formação do painel na prensa quente, ocorrendo conseqüentemente uma maior densificação, sendo o motivo principal para o aumento nas propriedades mecânicas e também no inchamento em espessura dos painéis.

Quando comparados aos requisitos da norma EN 300:2006, os valores atenderam os mínimos exigidos de 20 e 10 MPa para MOR e 3500 e 1400 MPa para MOE no sentido paralelo e perpendicular, respectivamente. Isso mostra que, mesmo com menor massa específica os painéis apresentaram boa resistência, sendo assim, nas condições deste estudo pode-se optar pela produção de painéis de menor massa específica, obtendo boas características de resistência e utilizando uma menor quantidade de matéria prima por painel.

4.3.5.3 Efeito da espécie sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis OSB

Na Tabela 26 são apresentados os valores médios de tração perpendicular à superfície para cada espécie avaliada.

TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR POR ESPÉCIE.

Espécie	Tração perpendicular (MPa)
<i>E. benthamii</i>	0,56 ^{bc} (28,89)
<i>E. dunnii</i>	0,47 ^c (25,80)
<i>E. grandis</i>	0,52 ^{bc} (24,87)
<i>E. saligna</i>	0,54 ^{bc} (23,13)
<i>E. urograndis</i>	0,45 ^c (28,06)
Mix	0,59 ^b (21,78)
<i>P. taeda</i>	0,74 ^a (24,56)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

Os valores de resistência à tração variaram de 0,47 g/cm³ (*E. dunni*) a 0,74 (*P. taeda*). Observou-se que a espécie testemunha, (*Pinus taeda*) apresentou o maior valor médio para resistência à tração, diferindo estatisticamente das espécies de *Eucalyptus*. Apesar de diferenças entre algumas espécies de *Eucalyptus*, estas obtiveram valores muito próximos de resistência à tração entre si. Dentre elas, o Mix de espécies obteve maior valor médio numérico para a propriedade.

Na literatura encontra-se autores como Gouveia (2001), Iwakiri, *et al.* (2004) e Gorski (2014), que também obtiveram valores de tração para *Pinus* superiores aos de *Eucalyptus*. Como explicado anteriormente no item 4.2.5.3, painéis com alta razão de compactação, como é o caso daqueles produzidos com *Pinus taeda*, apresentam um melhor contato entre partículas devido a maior compressão obtida durante a prensagem, além disso, a utilização da resina presente entre elas torna-se mais efetiva, o que pode ter oferecido aos painéis melhores resultados de resistência à tração. Por outro lado, Gorski (2014) vincula esse fato também à maior porosidade de madeira desta espécie em relação às de *Eucalyptus*, favorecendo o espalhamento e a penetração da resina, oferecendo uma melhor colagem interna dos painéis.

Afirma-se desse modo que, a espécie exerce influência sobre a resistência à tração dos painéis, porém, essa questão está mais ligada as diferenças de massa específica da madeira obtidas para cada uma, o que leva à diferentes resultados de razão de compactação e determina o grau de contato entre as partículas na prensagem do colchão.

Vale ressaltar, que o Mix de espécies obteve um bom desempenho para esta propriedade, assim como em outras anteriormente discutidas, desse modo, a mistura das espécies em questão proporcionou um aumento nas propriedades dos painéis. Assim sendo, afirma-se que a mistura das cinco espécies nas condições deste estudo pode ser utilizada de forma efetiva para a produção de painéis OSB, afim de obter um produto com boa qualidade utilizando-se de matéria prima diversificada.

4.3.5.4 Efeito da massa específica sobre a resistência à tração perpendicular dos painéis OSB

Na Tabela 27 são apresentados os valores médios de resistência à tração perpendicular à superfície obtidos por meio do ensaio de tração perpendicular por massa específica dos painéis, independente da espécie.

TABELA 27 – VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR PARA CADA MASSA ESPECÍFICA.

Massa específica nominal (g/cm³)	Massa específica real (g/cm³)	Tração perpendicular (MPa)
0,65	0,641	0,52 ^b (24,90)
0,75	0,739	0,59 ^a (32,58)

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em porcentagem.

De acordo com Tabela 27, pode-se notar que o aumento da massa específica de 0,65 para 0,75 g/cm³, proporcionou conseqüentemente um aumento na resistência à tração dos painéis, apresentando valores médios estatisticamente diferentes entre eles.

Essa relação de aumento da massa específica do painel e conseqüentemente da resistência à tração, também foi verificada por Sobral Filho (1981), Zhou (1990), Zhang *et al.* (1998), Mendes *et al.* (2003), Iwakiri *et al.* (2008) e Saldanha e Iwakiri (2009). Segundo esses autores e de acordo com Maloney (1993), esse comportamento se dá, devido a influência da maior razão de compactação obtida pelos painéis com maior massa específica. O fato desses painéis conterem um maior volume de partículas para a mesma espessura, fazem com que ocorra uma maior compressão entre elas durante a prensagem, melhorando o contato entre partículas e conseqüentemente a colagem interna dos painéis.

Os valores obtidos de resistência à tração para as duas massas específicas avaliadas, atenderam aos requisitos mínimos da norma EN 300:2006 de 0,32 MPa. Sendo assim, torna-se viável a produção de painéis OSB a partir da madeira de *Eucalyptus* com ambas as densificações. Merece destaque os painéis produzidos com menor massa específica (0,65 g/cm³), pois, mesmo utilizando-se de uma menor quantidade de massa para a consolidação dos painéis, estes apresentaram uma boa qualidade na colagem assim como nas outras propriedades avaliadas.

Isso representa um ganho em termos de quantidade de matéria prima utilizada, sendo uma das questões de maior relevância para as indústrias de painéis particulados. Dessa forma, pode-se produzir painéis mais leves, menos densos, com boas propriedades e com um melhor aproveitamento da matéria prima existente.

4.3.6 Resumo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados

Na Tabela 28 estão apresentados todos os valores obtidos neste estudo para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, indicado por meio de cor vermelha aqueles que não atenderam aos requisitos mínimos da norma de referência.

TABELA 28 – RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS OSB

Tratamento	ME (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	Flexão Estática				Tração (MPa)
						Paralelo		Perpendicular		
						MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	
1- <i>E. benthamii</i> – 0,65	0,644	10,02	34,92	2,14	9,01	20,10	4349,34	25,192	2673,67	0,50
2- <i>E. dunnii</i> – 0,65	0,644	11,44	39,61	2,63	10,65	18,93	4582,50	23,557	2783,08	0,49
3- <i>E. grandis</i> – 0,65	0,645	10,98	36,39	2,82	10,49	22,37	4788,98	22,933	2640,11	0,55
4- <i>E. saligna</i> – 0,65	0,644	9,50	30,53	2,28	7,97	25,27	5266,52	25,385	2764,39	0,51
5- <i>E. urograndis</i> – 0,65	0,633	11,68	36,38	2,33	9,98	20,18	4879,37	20,026	2596,28	0,40
6- Mix – 0,65	0,647	9,92	31,09	2,81	8,82	25,95	5362,11	22,791	2703,45	0,56
7- <i>P. taeda</i> – 0,65	0,627	26,10	61,04	6,78	20,93	24,41	3578,23	21,468	2058,66	0,60
8- <i>E. benthamii</i> – 0,75	0,733	12,47	38,49	2,03	9,27	30,80	5148,23	30,389	2959,71	0,63
9- <i>E. dunnii</i> – 0,75	0,749	10,37	33,65	2,30	10,25	31,55	5887,19	27,738	2906,19	0,45
10- <i>E. grandis</i> – 0,75	0,721	9,71	34,27	1,92	7,72	30,50	5030,95	26,461	2911,41	0,49
11- <i>E. saligna</i> – 0,75	0,748	11,40	32,69	1,85	7,99	33,65	5845,21	34,078	3524,87	0,57
12- <i>E. urograndis</i> – 0,75	0,741	8,96	29,63	2,03	9,97	32,16	5904,86	29,637	3229,29	0,49
13- Mix – 0,75	0,732	12,82	35,67	2,04	8,26	34,62	5572,48	35,812	3578,06	0,62
14- <i>P. taeda</i> – 0,75	0,748	20,39	58,30	5,47	21,61	33,99	4296,06	27,625	2459,40	0,87
Efeito da espécie sobre as propriedades físicas e mecânicas										
<i>E. benthamii</i>	0,692	11,24	36,58	2,09	9,15	25,63	4902,83	27,47	2884,19	0,56
<i>E. dunnii</i>	0,698	10,86	36,27	2,46	10,44	23,90	5184,67	26,11	2855,50	0,47
<i>E. grandis</i>	0,680	10,37	35,29	2,44	9,21	26,80	4920,96	24,45	2823,78	0,52
<i>E. saligna</i>	0,695	10,32	31,66	2,07	7,98	29,92	5588,01	30,60	3220,68	0,54
<i>E. urograndis</i>	0,695	10,49	33,29	2,20	9,97	27,67	5520,30	25,11	2976,09	0,45
Mix	0,694	11,37	33,38	2,50	8,56	30,70	5474,31	29,30	3195,96	0,59
<i>P. taeda</i>	0,682	22,99	59,55	5,99	21,28	29,97	3995,03	24,73	2247,25	0,74
Efeito da massa específica nominal sobre as propriedades físicas e mecânicas										
0,60	0,641	12,31	37,70	2,93	11,06	22,22	4673,14	23,00	2587,79	0,52
0,70	0,739	12,21	37,38	2,60	10,81	32,48	5330,14	30,16	3090,46	0,59
EN 300:2006	-	-	-	-	15	20	3500	10	1400	0,32

NOTAS: Valores em vermelho não atenderam aos requisitos prescritos pela norma EN 300:2006;

- A Norma não estipula requisitos mínimos para as propriedades em questão.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que:

Propriedades da madeira

- As espécies estudadas apresentaram massas específicas adequadas para a produção de painéis aglomerados e OSB;

Painéis aglomerados

- Os painéis aglomerados produzidos com uma maior densidade ($0,70\text{g/cm}^3$), apresentaram as melhores propriedades físicas e mecânicas;
- As melhores propriedades físicas e mecânicas, foram obtidas para painéis aglomerados que apresentaram valores de razão de compactação entre 1,275 e 1,555;
- A utilização da mistura entre as espécies mostrou-se viável, proporcionando a melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados.
- Todos os tratamentos produzidos com as espécies avaliadas, apresentaram propriedades mecânicas que atenderam aos requisitos da normas EN 312:2003 e NBR 14810-2:2006;
- De uma maneira geral, os painéis aglomerados produzidos com as espécies de *Eucalyptus* estudadas, apresentaram melhores propriedades físicas e mecânicas do que os produzidos com a espécie testemunha *Pinus taeda*.

Painéis OSB

- Os painéis OSB produzidos com massa específica de $0,75\text{ g/cm}^3$, obtiveram melhor resistência mecânica do que aqueles produzidos com massa específica de $0,65\text{ g/cm}^3$;
- Não houve diferenças na estabilidade dimensional entre os painéis OSB produzidos com massa específica de $0,75\text{ g/cm}^3$ e $0,65\text{ g/cm}^3$;

- A mistura das espécies de *Eucalyptus* balanceou os resultados, oferecendo boas propriedades aos painéis OSB, tornando viável a sua utilização nas condições deste estudo;
- Todos os painéis OSB produzidos com *Eucalyptus spp.* apresentaram valores de propriedades físicas e mecânicas que atenderam as requisições normativas da EN 300:2006;
- De uma maneira geral, os painéis OSB produzidos com as espécies de *Eucalyptus* apresentaram melhor estabilidade dimensional e resistência mecânica do que os produzidos com *Pinus taeda*, com exceção da resistência à tração perpendicular onde a testemunha obteve os melhores resultados.

Geraiis

- É viável tecnicamente a produção de painéis com menor massa específica nominal nas condições deste estudo, a fim de se obter boas propriedades e economia de matéria prima;
- Por fim, a utilização das espécies *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. urograndis*, *E. benthamii* e *E. saligna* com idades de 7 anos, assim como o Mix entre elas é viável tecnicamente para a produção de painéis aglomerados e estruturais OSB, apresentando propriedades tecnológicas de uma forma geral superiores aos produzidos com *Pinus taeda*, espécie mais utilizada industrialmente.

6 REFERÊNCIAS

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2** Chapas de madeira aglomerada Parte 2: Requisitos. 2006. 51 p.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico 2013**, Ano base 2012, Brasília, 2013, 142 p.

ARCHITECTURAL RECORDS. Seismic-Resistive Design of Wood Buildings. Disponível em: <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=312&C=1226&P=3>. Acesso em: 02/2015

ALBERTO, M. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.11, n.1, p. 14-24, 2004.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla***. 151 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), ESALQ/USP, São Paulo, 2004.

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p.87-95, 2005.

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. Mat-formed wood particleboard: specification **ANSI A 208.1**. Leesburg: Composite Panel Association, 2009. 13 p.9

ARNOLD, R. J.; CLARKE, B.; LUO, J. **Trials of cold-tolerant eucalypt species in cooler regions of South Central China**. Canberra: ACIAR, 2004. 106 p. (ACIAR Technical reports, 57).

ASHORI, A.; NOURBAKHS, A. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. **Industrial Crops and Products**, v. 28, p. 225–230, 2008.

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. **Pesquisa Florestal Brasileira**, EMBRAPA FLORESTAS, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

AVEIRO, A. V. D.; CERCAL, M. L. P. M. **Eucalipto**. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007, 36 p. Dossiê Técnico.

BASSA, A. G. M. C. **Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do Processo Lo-Solids®**. 170 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BATISTA, D.S.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C.V.T. Densidade básica e retratibilidade da madeira três clones de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BENIN, C. C. **Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii***. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2014.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de *Eucalipto*. **IPEF**, Piracicaba, n.23, p.53-56, 1983.

BUFALINO, L.; CORRÊA, A. A. R.; SÁ, V. A.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A.; PIZZOL, V. D. Alternative compositions of Oriented Strand Boards (OSB) made with commercial woods produced in Brazil. **Maderas: Ciencia y tecnología** v. 17, n. 1, p. 105 - 116, 2015.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. Nobel, São Paulo, 1991, 151 p

CANADIDO, L.S.; SAITO, F.; SUZUKI, S. Influence of strand thickness and board density on the orthotropic properties of Oriented Strand Board. **Journal of the Japan Wood**, Tokyo, v. 36, n. 8, p. 632-636, 1990.

CARVALHO, L.; MARTINS, J. M. S.; COSTA, C. A. V. Transport Phenomena. In: THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. **Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists**. Brunel University Press, London, 2010, 152 p.

CIFLORESTAS - CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS. *Eucalipto*. 2015. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=eucalipto>. Acesso em: 03/2015.

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

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *E. urograndis* plantado no Distrito Federal, para a produção de celulose Kraft**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CUNHA, A. B.; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Zoneamento Ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná. **Documentos 17**, Departamento de Difusão de Tecnologia, Brasília, 1986, p. 31.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 300** – Oriented Strand Board (OSB) – Definitions, classifications and especifications. Bruxelas, 2006, 24 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Versão portuguesa, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312**. Particleboards – Specifications. .English version. 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 317**. Determination of swelling in thickness after immersion in water.English version. 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 319**. Determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa. Versão Portuguesa. 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 323**. Wood based panels – Determination of density. English version. 2002.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Particleboard, Forestry Production and Trade. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/E>. Acesso em: Outubro de 2014.

FERREIRA, G. W.; GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F.; RATNIEKS, E.; SILVA, M. C. M. Qualidade da celulose kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, 1997.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; MILANEZ, A. F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, n.10, p.17-37, 1975.

GEIMER, R.L. Flake alignment in particleboard as affected by machine variables and particle geometry. USDA-Forest Service, **Research Paper FPL 275** Madison.1976.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do

tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GONÇALVES F. G.; BROCCO V. F.; PAES J. B.; LOIOLA P. L.; LELIS R. C. C. Resistência de Painéis Aglomerados de *Acacia mangium* Willd. Colados com Ureia-formaldeído e Taninos a Organismos Xilófagos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 409-416, 2014.

GORSKI, L. Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de *Pinus* spp. e *Eucalyptus benthamii*. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

GORSKI, L.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D.; TRIANOSKI, R.; MARTARELLO, L. P. Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus* spp. em diferentes combinações de camadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 367-375, 2015.

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A.; PAULESKI, D. T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

GOUVEIA, F. N. **Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) a partir das espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm.** 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis de madeira aglomerada de resíduos da laminação de diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. **Cerne, Lavras**, v. 17, n. 4, p. 443-452, 2011.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES, B. M. R.; MELO, R. R. Efeito do teor da parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Pinus oocarpa*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 72-82, 2013.

GURGEL, M. M.; **Avaliação das propriedades de colagem de taninos de *Pinus oocarpa* e de suas misturas com taninos de acácia negra e uréia-formaldeído.** 29 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal), UFRRJ, Seropédica, RJ, 2008.

HASELEIN, C. R.; VITAL, B. R.; VALENTE, O. F.; DELLA LUCIA, R. M. Fabricação de chapas de aglomerados com madeiras de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e de embaúba (*Cecropia* sp.). **Árvore**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 67-84, 1989.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Comunicado Técnico**, EMBRAPA FLORESTAS, Colombo, n. 100, 2003.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S. Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para região sul do Brasil. **Documentos**, EMBRAPA FLORESTAS, Colombo, PR, n. 209, 2010.

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

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Indicadores do setor brasileiro de árvores plantadas. **Anuário estatístico 2014**, Brasília, DF, 2014, 100 f.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Identificação de Espécies Florestais**, Piracicaba, SP, 2015a. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/dunnii.asp>. Acesso em: 03/2015.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). **Identificação de Espécies Florestais**, Piracicaba, SP, 2015b. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/grandis.asp>. Acesso em: 03/2015.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. *Eucalyptus saligna* Sm. **Identificação de Espécies Florestais**, Piracicaba, SP, 2015c. Disponível em: www.ipef.br/identificacao/cief/especies/saligna.asp. Acesso em: 03/2015.

IRLE, M.; BARBU, M. C. Wood-Based Panel Technology. In: THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. **Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists**. Brunel University Press, London, 2010, 152 p.

ISKANDERANI, F. I. Influence of Process Variables on the Bending Strength of Particleboard Produced from Arabian Date Palm Mid-Rib Chips. **International Journal of Polymeric Materials**, v. 58, p. 49-60, 2009.

ISWANTO, A. H.; FEBRIANTO, F.; HADI, Y. S.; RUHENDI, S.; HERMAWAN, D. The Effect of Pressing Temperature and Time on the Quality of Particle Board Made from *Jatropha Fruit Hulls* Treated in Acidic Condition. **Jurnal Makara Seri Teknologi**, v. 17, n. 3, p. 145-151, 2013.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989, 146.

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

IWAKIRI, S.; CRUZ, C. R.; BRAND, M. A. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 251 - 256, 2000.

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**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2004.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F.; Painéis de madeira aglomerada. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba, PR, FUPEF, 2005a, p. 123-166.

IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. C. O.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p.39-43, 2005b.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; 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.; SALDANHA, L. K.; ALBUQUERQUE, C. E.; MENDES, L. M. Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas - OSB de *Pinus taeda* l. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 116-122, 2009.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; SOUZA, M. M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 303 – 308, 2010.

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

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

KAZMIERCZAK, S. **Qualidade de painéis de madeira compensada fabricados com lâminas de madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis***. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), UNICENTRO, Irati, 2012.

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**, 1977, 66p.

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

KORAI, H.; SAOTOME, H. Development of an air-injection press for preventing blowout of particleboard V: effects of board density and thickness on property of board manufactured from high-moisture particles. **Journal of Wood Science**, Japan, v. 59, n. 1, p. 35-41, 2013.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFSM, Santa Maria, 2003.

LP BRASIL. Disponível em: <http://www.lpbrasil.com.br/release/masisa-firma-acordo-para-venda-da-linha-de-producao-de-osb.html>. Acesso em: Janeiro de 2015.

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

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & Dry-process fiberboard manufacturing**. São Francisco: Miller Freeman Inc., 1993. 2ed. 689p.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard Manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Publication, 1977, 672p.

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

MARTARELLO, L. P. **Potencial tecnológico do *Eucalyptus benthamii* para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2014.

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

MARTINS, S. A.; CUNHA, A. B.; OLIVEIRA, J. **Avaliação da qualidade da colagem de painéis compensados de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. 1º Congresso Ibero LatinoAmericano da Madeira na Construção, Coimbra, Portugal, 2011.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards"**. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MCMAHON, L.; GEORGE, B.; HEAN, R. *Eucalyptus dunnii*. **Primefacts for profitable, adaptive and sustainable primary industries**. Australia, n. 1071, 2010, 5 p.

MEDVED, S.; ĐIPOROVIĆ-MOMČILOVIĆ, M.; POPOVIĆ, M.; ANTONOVIĆ, A.; JAMBREKOVIĆ, V. Dimensional stability of particleboard. First Serbian Forestry Congress, Belgrado, **Anais**, v. 1, n. 1, p. 1525-1538, 2010.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: 6º Congresso florestal Brasileiro, Florestas e Meio ambiente: Conservação e Produção, patrimônio social. **Anais**. Campos do Jordão – SP, p. 695-699, 1990.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M.; MULLER, M. T.; DEL Menezzi, C. H. S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 497-506, 2010.

MENDES, L.M. *Pinus* spp. **na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; 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, 2003.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000, 112 p.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard: Materials**. London: Southern Illinois University, 1974. v. 1, 244 p.

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

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLETTI, M. F. Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 535-542, 2014.

NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; DELLA LUCIA, R. M.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLLI, A. *Eucalyptus urophylla*. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de S. T. Blake e de *Schizolobium parahyba* Herb. **Árvore**, v.32, n.6, p.1143-1150, 2008.

NEMLI, G. Effects of some manufacturing factors on the properties of particleboard manufactured from Alder (*Alnus glutinosa* subsp. Barbata). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 27, p. 99-104, 2003.

NEMLI, G.; OZTURK, I.; AYDIN, I. Some of the parameters influencing surface roughness of particleboard. **Building and Environment**, v.40, p.1337–1340, 2005.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 67-76, 1998.

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E. Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123-131, 2008.

OLIVEIRA, F. V.; VITAL, B. R.; SILVA, J. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; Efeito da acetilação das partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* e da inclusão de partículas de polietileno e de embalagens cartonadas nas propriedades de chapas de aglomerado, **Árvore**, Viçosa, v.34, n.5, p.937-946, 2010.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113-124, 1999.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 559-566, 2011.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no Estado do Paraná. **Comunicado Técnico**, EMBRAPA FLORESTAS, Colombo, PR, n. 141, 2005.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná. **Documentos**, EMBRAPA FLORESTAS, Colombo, PR, n. 129, 2006.

ROSA, T. S. **Utilização de adesivos alternativos na produção de painéis aglomerados**. 43 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, 2013.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 69 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998.

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, 2009.

SANTOS, R. **Produção de polpa solúvel a partir de *Eucalyptus urograndis***. 72 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, SP, 2011.

SANTOS, S. R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada**. 160f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. **Oriented Strand Board in wood frame construction**. U. S. Edition, Ontario, Canadá, 2005, 29 p.

SCREMIN, A. L. T. **Estudo energético e físico-químico do carvão vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, 2012.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba, 2008.

SNIF - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. As florestas plantadas. 2015. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>. Acesso em: 03/2015.

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

SOUZA, N. **Produção de carvão vegetal a partir da madeira de *Eucalyptus saligna* clone SI70 com três anos e meio de idade**. 74 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, SP, 2013.

SCHWEITZER, V. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus* spp. beneficiadas em serrarias da região serrana de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em andamento em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba, 2015.

THE FAMILY HANDYMAN. Oriented Strand Board vs. Plywood. Disponível em: <http://www.familyhandyman.com/garden-structures/oriented-strand-board-vs-plywood/view-all#step1>. Acesso em: 03/2015.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. Avaliação de painéis aglomerados de *Toona ciliata* produzidos com diferentes densidades e teores de resina. **Madera y Bosques**, v. 20, n. 3, p. 49-58, 2014.

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

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; LUCIA, R. M. D. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomeradas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Árvore**, Viçosa, V. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.

VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How Species and Board Densities Affect Properties Of Exotic Hardwood Particleboards. **Forest Products Journal**, v. 24, n.12, p. 37-45, 1974.

WILSON, H. F. P. **Tableros de partículas**. Universidad Austral de Chile, Editora El Kultrún, 2001, 174 p.

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

XU, X.; YAO, F.; WU, Q.; ZHOU, D. The influence of wax-sizing on dimension stability and mechanical properties of bagasse particleboard. **Industrial Crops and Products**, v.2 9, p.80-85, 2009.

ZENID, G. J.; NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, C.; FERREIRA, O. P.; BRAZOLIN, S. **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil**. Divisão de Produtos Florestais do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., São Paulo, 2003, 60 p.

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

ZHOW, D. A study of oriented structural board made from hybrid poplar. Effects of some factors of mechanical forming installation for orientation effectiveness. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 47, n. 10, p. 405-407, 1989.