

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

**QUALIDADE DE PAINÉIS AGLOMERADOS  
PRODUZIDOS COM MISTURA DE MADEIRA DE  
QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**FELIPE LUIS SANCHES**

**IRATI – PR**

**2012**

**FELIPE LUIS SANCHES**

**QUALIDADE DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM MISTURA DE  
MADEIRAS DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Éverton Hillig  
Orientador

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri  
Co-Orientador

IRATI – PR  
2012

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

S211q SANCHES, Felipe Luís.  
Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeiras de quatro espécies florestais / Felipe Luís Sanches. – Irati, PR : UNICENTRO, 2012.

80f.  
ISBN

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais  
Orientador: Prof Dr. Éverton Hillig  
Coorientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

1. Engenharia Florestal – madeira. 2. Paineis – indústria. 3. Floresta – Dissertação. I. Hillig, Everton. II. Iwakiri, Setsuo. III. Título.

CDD 20ª ed. 634.98



## Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

### PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

#### PARECER

Defesa Nº 32

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Câmpus de Irati, após arguir o mestrando **Felipe Luis Sanches** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeiras de quatro espécies florestais", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 28 de fevereiro de 2012.

Dr. Clóvis Roberto Haselein  
Universidade Federal de Santa Maria  
Primeiro Examinador

Dr. José Guilherme Prata  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo Examinador

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

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 - Cx. Postal 3010 - Fone: (42) 3621-1000 - FAX: (42) 3621-1090 - CEP 85 015-430 - GUARAPUAVA - PR  
Campus CEDETEG: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 - Fone/FAX: (42) 3629-8100 - CEP 85 040-080 - GUARAPUAVA - PR  
Campus de Irati: PR 153 - Km 07 - Riozinho - Cx. Postal. 21 - Fone: (42) 3421-3000 - FAX: (42) 3421-3067 - CEP 84 500-000 - IRATI - PR

À minha esposa Lucieli, pelo amor e companheirismo e  
aos meus pais José e Cecília, pelo carinho e confiança.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me ajudado em todas as dificuldades e por estar sempre presente em todos os dias de vida, abençoando a mim e toda minha família. Sem ele nada seria feito.

À minha amada Lucieli pela paciência, compreensão e confiança, aos meus irmãos Fernanda Laís Sanches e Victor Hugo Sanches e aos meus pais José Sanches Júnior e Maria Cecília Sanches a quem dedico esta dissertação.

Ao professor Éverton Hillig pela competente orientação, conselhos, amizade, ensinamentos e ajuda sempre constante.

Ao professor co-orientador Setsuo Iwakiri da Universidade Federal do Paraná pelo apoio e fundamental contribuição, ao me receber de braços abertos à Universidade.

Aos professores Rosilani Trianoski da Universidade Federal do Paraná e Andréa Nogueira Dias da Universidade Estadual do Centro-Oeste pelo suporte e troca de informações e aos membros da banca José Guilherme Prata e Clóvis Roberto Haselein.

À secretária do programa de Pós-Graduação Flavia Bühler dos Santos pela amizade e ajudas prestadas durante os meses de mestrado.

Aos amigos de laboratório Lygia Maria Napoli e Fernanda Szekut, pelo auxílio na coleta dos dados e aos amigos Rafael Leite Braz e Vinícius Gomes de Castro da UFPR.

Aos grandes “irmãos”: Isaac Kiszka, Rodrigo C. dos Santos, Hilbert, Vanessa, Guilherme, Luciana, Felyppe, Douglas, Yana, João Blum e Gina Blum.

Aos meus sogros Lucélia e Cirilo.

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

À todos os estudantes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela amizade, conversas e discussões, em especial ao Rodrigo, Gustavo e Neumar.

Aos funcionários da UFPR Sr. Ademir José Cavali e Sr. Vítor Herrera.

À empresa Berneck S.A pela doação de materiais, em especial ao Sr. Lenoir da Silveira e ao técnico Jean.

Ao Colégio Estadual Florestal Presidente Costa e Silva e à Fábrica de esquadrias Pontal, Ambos em Irati – PR.

À Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
3.1	CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS .....	5
3.1.1	<i>Matéria-prima.....</i>	5
3.1.2	<i>Partículas de madeira .....</i>	6
3.2	ESPÉCIES UTILIZADAS .....	6
3.2.1	<i>Pinus (Pinus taeda L.) .....</i>	6
3.2.2	<i>Eucalipto (Eucalyptus saligna Sm.) .....</i>	7
3.2.3	<i>Bracatinga (Mimosa scabrella Benth) .....</i>	7
3.2.4	<i>Uva-do-Japão (Hovenia dulcis Thunberg).....</i>	8
3.3	FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DOS PAINÉIS .....	8
3.3.1	<i>Massa específica da madeira.....</i>	9
3.3.2	<i>Umidade da madeira .....</i>	10
3.3.3	<i>Composição química .....</i>	10
3.3.4	<i>Características anatômicas .....</i>	11
3.3.5	<i>Geometria das partículas .....</i>	12
3.3.6	<i>Quantidade de resina .....</i>	13
3.3.7	<i>Aditivos .....</i>	14
3.4	PARÂMETROS TÉCNICOS DE PRODUÇÃO .....	15
3.4.1	<i>Processo produtivo.....</i>	15
3.4.2	<i>Mistura de espécies .....</i>	15
3.4.3	<i>Adesivo de Uréia-formaldeído.....</i>	16
3.4.4	<i>Massa específica do painel.....</i>	17
3.4.5	<i>Umidade do Colchão.....</i>	18
3.4.6	<i>Prensagem .....</i>	18
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1	ESPÉCIES ESTUDADAS .....	20
4.2	MATÉRIA-PRIMA.....	22
4.2.1	<i>Geração das partículas e determinação do teor de umidade.....</i>	23
4.3	CONFECÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA.....	25
4.3.1	<i>Descrição do delineamento experimental .....</i>	25
4.3.2	<i>Planilhas de cálculos.....</i>	26
4.3.3	<i>Manufatura dos painéis.....</i>	28
4.3.4	<i>Climatização dos painéis.....</i>	30
4.3.5	<i>Confecção dos corpos de prova .....</i>	30
4.4	ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS .....	31

4.4.1	<i>Massa específica e teor de umidade</i> .....	32
4.4.2	<i>Absorção d'água e inchamento em espessura</i> .....	33
4.4.3	<i>Flexão estática</i> .....	35
4.4.4	<i>Tração perpendicular à superfície da chapa (Ligação interna)</i> .....	36
4.4.5	<i>Arrancamento de parafusos</i> .....	37
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>
5.1	TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS.....	40
5.2	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	41
5.3	MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS.....	42
5.4	TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS – TUE.....	43
5.4.1	<i>TUE dos painéis homogêneos</i> .....	43
5.4.2	<i>TUE dos painéis multicamadas</i> .....	44
5.5	ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA.....	46
5.5.1	<i>Painéis homogêneos</i> .....	46
5.5.2	<i>Painéis multicamadas</i> .....	48
5.6	ANÁLISE FATORIAL PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS.....	50
5.6.1	<i>Teor de umidade</i> .....	51
5.6.2	<i>Absorção de água</i> .....	51
5.6.3	<i>Inchamento em espessura</i> .....	52
5.7	RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA – MOR E MOE.....	53
5.7.1	<i>MOR e MOE dos Painéis Homogêneos</i> .....	53
5.7.2	<i>MOR e MOE dos Painéis Multicamadas</i> .....	57
5.8	TRAÇÃO PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE (LIGAÇÃO INTERNA).....	59
5.8.1	<i>Ligação Interna dos Painéis Homogêneos</i> .....	59
5.8.2	<i>Painéis Multicamadas</i> .....	62
5.9	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO.....	63
5.9.1	<i>Painéis Homogêneos</i> .....	63
5.9.2	<i>Painéis Multicamadas</i> .....	65
5.10	ANÁLISE FATORIAL PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	66
5.10.1	<i>Resistência a Flexão Estática – MOR e MOE</i> .....	67
5.10.2	<i>Tração perpendicular à superfície (Ligação Interna)</i> .....	68
5.10.3	<i>Resistência ao arrancamento de parafuso</i> .....	69
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos para fabricação dos painéis aglomerados .....	20
Figura 2. Local de coleta do material de estudo .....	21
Figura 3. Obtenção de maravalhas .....	23
Figura 4. Processamento das partículas .....	24
Figura 5. Confecção dos painéis .....	29
Figura 6. Esquema de corte dos corpos de prova. ....	31
Figura 7. Máquina de ensaios mecânicos. ....	32
Figura 8. Instrumento de medição de espessura. ....	34
Figura 9. Ensaio de flexão estática .....	35
Figura 10. Ensaio de ligação interna .....	37
Figura 11. Ensaio de arrancamento de parafuso .....	38
Figura 12. Proporção de pinus e sua influência no MOR. ....	54
Figura 13. Proporção de eucalipto e sua influência no MOR. ....	55
Figura 14. Proporção de bracatinga e sua influência no MOR. ....	55
Figura 15. Influência do eucalipto no ensaio de ligação interna .....	60
Figura 16. Influência do pinus no ensaio de ligação interna .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Delineamento experimental. ....	25
Tabela 2. Planilha de cálculo dos painéis homogêneos. ....	26
Tabela 3. Planilha de cálculo dos painéis multicamadas. ....	27
Tabela 4. Teor de umidade médio das partículas. ....	40
Tabela 5. Valores de massa específica por árvore e espécie, com seus respectivos DAP's. ...	41
Tabela 6. Valores de massa específica dos painéis homogêneos e multicamadas. ....	42
Tabela 7. Valores médios dos teores de umidade dos painéis homogêneos. ....	43
Tabela 8. Valores médios de teor de umidade dos painéis multicamadas. ....	44
Tabela 9. Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24 horas dos painéis homogêneos. ....	46
Tabela 10. Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24 horas dos painéis multicamadas. ....	48
Tabela 11. Média e análise de Variância das propriedades físicas em função da composição da chapa e das misturas. ....	50
Tabela 12. Valores médios do Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade dos painéis homogêneos. ....	53
Tabela 13. Valores médios do Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade dos painéis multicamadas. ....	57
Tabela 14. Valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis homogêneos. ....	59
Tabela 15. Valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis multicamadas. ...	62
Tabela 16. Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e topo. ...	64
Tabela 17. Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e no topo dos painéis multicamadas. ....	65
Tabela 18. Quadro comparativo para as propriedades mecânicas entre painéis homogêneos e painéis multicamadas em função das camadas e tipos de misturas. ....	66

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira

ANOVA – Análise de Variância

ASTM – American Society for Testing and Materials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI – American National Standards Institute

DIN – Deutsches Institut für Normung

MDP – Medium Density Particleboard

MDF – Medium Density Fiberboard

OSB – Oriented Strand Board

MOR – Módulo de Ruptura

MOE – Módulo de Elasticidade

UF – Uréia Formaldeído

FF – Fenol Formaldeído

Kgf – Quilograma força

MPa – Mega Pascal

AB2 e AB24 – Absorção de água em 2 e 24 horas

IE2 e IE24 – Inchamento em espessura 2 e 24 horas

Me (mp)/Me (ma) – Massa específica média ponderada/aritmética

DAP – Diâmetro à altura do peito

LI – Ligação interna

FE – Flexão estática

TP – Tração perpendicular à superfície

AP – Arrancamento de parafuso

## RESUMO

Felipe Luis Sanches. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeiras de quatro espécies florestais.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis aglomerados fabricados com partículas de madeira de *Pinus taeda* (pinus), *Eucalyptus saligna* (eucalipto), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Hovenia dulcis* (uva-do-japão) em diferentes proporções de misturas e em duas composições da chapa. As chapas foram produzidas nas proporções de 100% (pinus), 50-50%, 50-25-25% e 25-25-25-25% de cada espécie para os painéis homogêneos e nas proporções de 50-50% e 100% (pinus) para os painéis multicamadas. O adesivo usado foi à base de uréia-formaldeído e a massa específica nominal estabelecida foi de 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Foram avaliadas as propriedades de umidade de equilíbrio, absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática, tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna) e arrancamento de parafusos. As análises permitiram avaliar o efeito da utilização da madeira das diferentes espécies em misturas na fabricação dos painéis aglomerados. Os resultados foram também comparados aos requisitos das normas ANSI A 208.1, DIN 68761 (1), (3) – 1967 e pelo Wood handbook (USDA). Os valores das propriedades de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafusos aumentaram com o aumento da proporção de pinus e uva-do-japão e diminuíram com aumento da proporção de bracatinga e eucalipto. Para as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, a madeira de eucalipto apresentou maiores valores em relação ao pinus. A madeira de bracatinga comportou-se de maneira semelhante à madeira de uva-do-japão, havendo vantagem para esta última espécie. Portanto, para as propriedades mecânicas, pode-se concluir que as espécies que mais se destacaram foram o pinus e a uva-do-japão e para as propriedades físicas, o eucalipto e a uva-do-japão. Em relação à composição, os painéis multicamadas, em sua maioria, apresentaram-se superiores aos painéis homogêneos.

Palavras-Chave: Painéis de madeira aglomerada. Mistura de espécies. Propriedades físico-mecânicas. Painéis homogêneos e multicamadas.

## ABSTRACT

Felipe Luis Sanches. Quality of particleboard produced with mixture of wood four forest species.

The objective of this work was to investigate the quality of particleboards made with wood of *Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna*, *Mimosa scabrella* and *Hovenia dulcis* and mixtures in different proportions and two board compositions. The boards were produced in proportions of the 100% (*Pinus taeda*), 50-50%, 50-25-25% and 25-25-25-25% for homogeneous boards and 50-50% and 100% (*Pinus taeda*) for the multilayer boards. The adhesive used was based on urea-formaldehyde and the nominal density was 0.65 g/cm<sup>3</sup>. We evaluated the properties of water absorption, thickness swelling, static bending, internal bond and screw withdrawal. The analyzes allowed to evaluating the use of different species wood mixtures in particleboards. The results were also compared the requirements of applicable ANSI A 208.1, DIN 68 761 (1), (3) - 1967 and Wood handbook (USDA). The values of static bending, internal bond and screw withdrawal increased with increasing proportion of *Pinus taeda* and *Hovenia dulcis* and decreased with increasing proportion of *Mimosa scabrella* and *Eucalyptus saligna*. For the properties of water absorption and thickness swelling, the wood of *Eucalyptus saligna* presented higher values in relation to *Pinus taeda*. The wood of *Mimosa scabrella* has similarity to the *Hovenia dulcis* wood, having advantage to this last species. Therefore, for the mechanical properties, it can be concluded that better species were the *Pinus taeda* and *Hovenia dulcis* and the physical properties, *Eucalyptus saligna* and *Hovenia dulcis*. Regarding the composition, multilayer boards, mostly showed themselves superior to homogeneous boards.

Keywords: Particleboard. Mixture of species. Physical and mechanical properties. Homogeneous and multilayer boards.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a ABRAF (2002), os painéis de madeira aglomerada foram produzidos pela primeira vez no Brasil em 1966, pela Placas do Paraná S.A., em Curitiba/PR. Os primeiros aglomerados produzidos careciam de confiança do mercado, principalmente em função de suas limitações técnicas, como alta absorção d'água, elevado inchamento em espessura e dificuldade de usinagem. Com o passar do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como o uso de parafina, controle do gradiente de massa específica e sistema de fixação de parafusos mais eficientes, visando minimizar os problemas de qualidade. A produção em larga escala de aglomerados, associada à grande procura deste material, indica que para os próximos anos estão previstos grandes investimentos com valores aproximados de US\$ 1,2 bilhão na instalação de novas unidades industriais, que irão proporcionar um aumento da capacidade instalada atual (2009) de 8,8 milhões de metros cúbicos, para aproximadamente 11 milhões anuais em 2012 (ABIPA, 2010).

O aglomerado de partículas fabricado no Brasil é um material derivado da madeira. Este material é usado na fabricação de móveis e, em alguns casos, na fabricação de peças artesanais. Também conhecido como aglomerado convencional ou *Medium Density Particleboard* (MDP), não é indicado para uso em lugares úmidos ou exposto à luz direta do sol. É fabricado com partículas de madeira de duas diferentes dimensões e montado em três camadas usando resinas especiais e prensagem a quente, de forma que a superfície fique mais densa (partículas menores) e o centro da placa fique menos denso (partículas maiores). Isto contribui para a estabilidade da chapa e uma superfície menos porosa, que poderá receber aplicação de tintas, vernizes, folheados de madeira ou sintéticos. A madeira utilizada, em geral, é obtida de reflorestamentos, sendo em alguns casos, misturada com pequeno percentual de resíduo de madeiras (reciclagem).

Haselein *et al.* (2001) comentam que, as chapas aglomeradas no Brasil, destinam-se na sua grande maioria, à indústria moveleira, para a produção de dormitórios e cozinha, e que a visão do consumidor com relação ao aglomerado, antigamente, era de um painel de baixa resistência, que “desmancha” em contato com a umidade. Atualmente, essa visão parece ter sido superada, apesar de existir muita desconfiança com relação a este tipo de produto.

No que diz respeito à produção de painéis de madeira, o Brasil, devido às condições climáticas e disponibilidade de espécies de rápido crescimento, possui ampla vantagem com relação a outros países. Mendes (2001) afirma que, a madeira por ser um material renovável e seu processamento requerer um baixo consumo de energia, apresenta vantagem comparativa em relação a outros produtos de mesma aplicação. Segundo Macedo *et al.* (1997), os setores de painéis de madeira, principalmente de *Medium Density Fiberboard* (MDF) e de aglomerados, tem demonstrado certo dinamismo, como reflexo das altas taxas de crescimento da indústria moveleira, principal demandante de painéis. A estabilização da economia incorporou ao mercado de móveis novas parcelas de consumidores, particularmente representados pelas famílias de baixa renda.

A princípio, qualquer madeira pode ser usada para a confecção de chapas de partículas aglomeradas. No Brasil, a principal matéria-prima vem de reflorestamento de *Pinus* spp e, em menor escala, de *Eucalyptus* spp. A madeira de pinus é a principal matéria-prima utilizada na produção de painéis aglomerados, em função de sua disponibilidade e suas características, como baixa massa específica, em torno de 0,40 g/cm<sup>3</sup>. Assim, os painéis produzidos apresentam alta razão de compactação, melhorando suas propriedades físico-mecânicas (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Em função da crescente demanda da madeira de *Pinus* spp para os mais diversos fins, é cada vez mais necessário o aproveitamento da madeira de eucalipto para a produção de painéis (IWAKIRI *et al.*, 2004). Muitos trabalhos têm demonstrado que é tecnicamente viável confeccionar painéis de madeira com algumas espécies de eucalipto (HASELEIN *et al.*, 1989; GOUVEIA *et al.*, 2003; IWAKIRI, 2004). A madeira de *Eucalyptus grandis*, aliás, já está sendo utilizada em escala industrial.

As diversas espécies apresentam, contudo, diferenças na sua estrutura anatômica, constituição química e propriedades físico-mecânicas, e as propriedades das chapas de aglomerado dependem, dentre outros fatores, de alguns índices de qualidade da madeira, como massa específica (MALONEY, 1993; HRÁZSKÝ e KRÁL, 2003), estabilidade dimensional, acidez, capacidade-tampão (MALONEY, 1993) e geometria das partículas (MOTTED, 1967; LYNAM, 1969; MALONEY, 1993).

Segundo Maloney (1993), a massa específica é o fator mais limitante, e a indústria, normalmente, utiliza madeiras com massa específica inferiores a 0,60 g/cm<sup>3</sup>. Hrázsky e Král

(2003) afirmam que as chapas devem ter massa específica de 5 a 40% superior à densidade da madeira empregada na sua fabricação.

Madeiras com massa específica superiores a  $0,60 \text{ g/cm}^3$  normalmente não são aceitas para a fabricação, porque produzirão chapas com densidades superiores àquelas geralmente aceitas pelo mercado (CABRAL *et al.*, 2007).

As madeiras com massa específica de até  $0,55 \text{ g/cm}^3$  são as recomendadas para a produção de chapas de partículas. No entanto, as espécies de maiores densidades podem ser misturadas com as de menores densidades, podendo, dessa forma, viabilizar o aproveitamento de ambas.

Hillig (2000) afirma que a mistura de madeira de diferentes espécies traz vantagens na qualidade das chapas quando levadas em consideração todas as propriedades físicas e mecânicas desejadas. Vital (1973), estudando o efeito das espécies e da massa específica do painel nas suas propriedades, produziu chapas de partículas aglomeradas com quatro diferentes espécies de madeira, puras ou misturadas entre si. Haselein (1989), na análise de parâmetros para a fabricação de painéis aglomerados, também utilizou a técnica da mistura de espécies no processo de produção, associando eucalipto e embaúba. Estes trabalhos mostram que a mistura de espécies, em geral, tende a produzir painéis com maiores vantagens que a utilização de cada espécie individualmente e que as misturas influenciam de alguma forma nas propriedades dos painéis. Assim, é importante que sempre se esteja pesquisando a influência das características da madeira, ou da mistura de madeiras, nas propriedades das chapas produzidas.

Existem poucos estudos relacionados ao cultivo e reflorestamentos de espécies como bracatinga e uva-do-japão. A primeira é muito utilizada na produção de energia, em forma de lenha ou carvão, a segunda, é de fácil propagação. As duas espécies são consideradas por diversos autores como de rápido crescimento, por isso, são empregadas também na recuperação de áreas de estágio avançado de degradação.

Na utilização dessas espécies para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas, são raras as referências. Assim, o estudo do uso dessas espécies para fins alternativos, como a produção de chapas aglomeradas, pode incentivar seu cultivo em escala comercial, além de fornecer importantes informações sobre a influência da mistura dessas madeiras nas propriedades das chapas produzidas.

## 2 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve o objetivo geral de avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com misturas de madeiras de diferentes espécies.

Especificamente, objetivou-se:

- a) Produzir painéis aglomerados com madeira de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna* em associação com madeira de *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*;
- b) Avaliar o comportamento da madeira dessas espécies, quando em misturas, para a produção de painéis de madeira aglomerada em composição homogênea e multicamadas;
- c) Comparar a qualidade dos painéis produzidos com os padrões de qualidade internacionais;
- d) Concluir sobre a influência do uso das espécies alternativas na qualidade dos painéis.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Chapas de partículas aglomeradas

Os termos usuais para os painéis de madeira e suas principais utilizações industriais são definidos pela norma ASTM – D 1554 “Standard definitions of Terms Relating to Wood – Base Fiber and Particle Panel Material” (1986). A norma define os painéis aglomerados como painéis de partículas e agentes ligantes, onde outros materiais podem ser acrescentados para melhorar certas propriedades.

Segundo Moslemi (1974) e Fao (1959) os componentes lignocelulósicos das chapas de partículas podem ser classificados da seguinte forma: Flocos (*flakes*), como partículas finas e planas com espessura que varia entre 0,2 e 0,4 mm, comprimento entre 25 e 100 mm e largura entre 10 e 25 mm. Cavacos (*chips*), como pequenos pedaços de madeira de tamanhos variados com comprimento entre 12 e 25 mm e largura entre 1 e 5 mm. Aparas (*shavings*), como partículas finas sem dimensões padronizadas. *Strands* como lâminas com comprimento variando entre 12 e 76 mm, largura entre 6 a 26 mm e espessura entre 0,25 a 0,65 mm, utilizadas para a fabricação do OSB (*Oriented Strand board* ou painel de partículas orientadas). Partículas (*Particles*), como fragmentos menores de madeira de comprimento variando entre 1 e 12 mm, cuja largura e espessura está compreendida entre 0,12 e 12 mm, que dispersas aleatoriamente originam as chapas de partículas aglomeradas convencionais. Maravalhas são definidas como uma espécie de serragem de madeira onde suas dimensões são praticamente iguais.

##### 3.1.1 Matéria-prima

Em princípio, qualquer material lignocelulósico pode ser usado como matéria-prima para a confecção de chapas de partículas aglomeradas, mas a principal fonte de matéria-prima utilizada em todo o mundo é a madeira. Além de ser favorecida por suas propriedades, é uma fonte renovável.

Colli (2007) afirma que outros materiais com potencial semelhantes à madeira têm sido testados no processo de produção de chapas de partículas, mas restrições como disponibilidade e viabilidade econômica ainda impedem seu uso.

Maciel *et al.* (2005) produziram painéis aglomerados, usando como matéria-prima madeira e plástico. Oliveira e Vital (2005) determinaram as propriedades de compósitos com partículas de madeira de eucalipto, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET) e concluíram que, do ponto de vista ambiental, a reciclagem dos resíduos plásticos, pós-consumo, na produção de painéis é uma alternativa para se reduzir essa fonte de poluição, além de produzir chapas com propriedades aceitáveis pela norma da ABNT (14810-1).

Segundo Passos (2005), a adição de fibras de coco no processo produtivo de chapas de partículas originou um bom desempenho dos painéis nos testes físicos e mecânicos, e no produto final, houve uma economia da matéria-prima madeira.

### **3.1.2 Partículas de madeira**

O termo partícula é definido no padrão ASTM como o componente agregado de uma chapa de partículas de madeira ou outro material lignocelulósico, fabricadas por meio de processos mecânicos (HASELEIN *et al.*, 2002).

Segundo Albuquerque (2002), na obtenção de partículas para a produção de aglomerados, normalmente utiliza-se picadores de partículas, e este procedimento promove a destruição na estrutura da madeira quebrando parênquima, fibras libriformes e traqueídeos. Desta forma, a resistência mecânica das partículas obtidas é consideravelmente mais baixa do que a das madeiras que as originaram.

No Brasil, são utilizadas preferencialmente como matéria-prima, cavacos de madeira provenientes de florestas plantadas. Com isso, a qualidade dos painéis aglomerados são superiores aos países que utilizam no processo de produção resíduos industriais, além das plantas brasileiras controlarem com mais precisão a espessura, o tamanho e as características mecânicas das partículas (BNDES, 1998).

## **3.2 Espécies utilizadas**

### **3.2.1 Pinus (*Pinus taeda* L.)**

Essa espécie ocorre em regiões de clima úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos e temperaturas variando de 12°C a 25°C, podendo chegar à mínima extrema

de -23°C. No Brasil, é a espécie mais plantada entre os pinus, abrangendo uma área de aproximadamente um milhão de hectares, no planalto da Região Sul do Brasil, para produção de celulose, papel, madeira serrada e chapas de madeira reconstituída (SHIMIZU, 2005).

Segundo Santini *et al.* (2000), a massa específica básica média da madeira de *Pinus taeda* gira em torno de 0,40 g/cm<sup>3</sup>, sendo considerada uma espécie de baixa massa específica. Para Moslemi (1974), são excelentes para a produção de painéis de partículas aglomeradas por apresentarem ótima ligação interna e melhor aderência ao adesivo.

Dacosta *et al.* (2005) testaram diferentes tipos de partículas de *Pinus taeda* para produção de painéis aglomerados. Os autores concluíram que o uso de maravalhas sem processamento resultou em um menor inchamento em espessura quando comparado com o resíduo de serraria ou mistura entre ambos. Constataram também que o uso de cavacos (cavacos + serragem + cascas processados em moinho de martelos) para produção de aglomerados de *Pinus taeda*, apresentou os resultados menos satisfatórios nos ensaios de absorção d'água e IE.

### **3.2.2 Eucalipto (*Eucalyptus saligna* Sm.)**

Segundo Ferreira (1979), a madeira é indicada para usos generalizados. Frequentemente a espécie é confundida com *E. grandis* em função das afinidades existentes entre elas. Segundo o autor, as características da madeira a tornam indicada para laminação, móveis, estruturas, caixotaria, postes, escoras, mourões, celulose e carvão. Apresenta susceptibilidade às geadas severas e possui alta capacidade de regeneração por brotação das cepas.

Estudando sobre a madeira de *Eucalyptus saligna*, Serpa *et al.* (2003) constatou que a massa específica básica da madeira aumenta no sentido medula-casca, cujos valores variaram de 0,55 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Dentre suas características anatômicas, as mais comuns são: vasos poucos numerosos, elevada quantidade de raios e fibras libriformes (FILHO, 1985).

### **3.2.3 Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth)**

A espécie *Mimosa scabrella* (bracatinga), com ampla dispersão, está vastamente dispersa pelas submatas dos pinhais e capoeirões do planalto leste do Rio Grande do Sul

(REITZ *et al.*, 1998). Mainieri e Chimelo (1989) afirmam que a bracatinga predomina as submatas dos pinhais em todo planalto dos estados do Paraná e Santa Catarina. Segundo os autores, em regiões onde ocorreu a devastação dos pinhais, a sua ocorrência é intensa, formando matas de bracatinga ou bracatingais.

Segundo Carvalho (2003), dentre as diversas utilizações da bracatinga, a madeira desta espécie pode ser usada principalmente em vigamentos, escoras de construção civil, partes não aparentes de móveis, (caixotaria e embalagens leves), compensados, laminados e aglomerados.

### **3.2.4 Uva-do-Japão (*Hovenia dulcis* Thunberg)**

A *Hovenia dulcis* mais conhecida como uva-do-japão, pertencente à família Rhamnaceae, ocorre naturalmente na China, Japão e Coréia. Fora da área de ocorrência, foi introduzida nas regiões do sudeste da Ásia, no norte da Argentina e no Paraguai.

No sul do Brasil, ela é largamente difundida pelo cultivo em pequenos talhões ou de forma isolada (CARVALHO, 1994). Segundo o autor, além de frutífera, apresenta ótimas perspectivas como madeira, possuindo características físico-mecânicas aceitáveis para diversas finalidades.

Tanto a bracatinga (*Mimosa scabrella*) como a uva-do-japão (*Hovenia dulcis*) podem ser utilizadas na produção de painéis, pois suas características, como rápido crescimento e massa específicas que variam entre 0,58 g/cm<sup>3</sup> a 0,67 g/cm<sup>3</sup>, favorecem seus empregos na mistura com espécies de menores massa específicas (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002).

### **3.3 Fatores que afetam a qualidade dos painéis**

A produção de painéis aglomerados depende de vários fatores que estão relacionados entre si, com maior e menor importância, que de forma direta ou indireta, influenciam em suas propriedades físicas e mecânicas. As variáveis de processo como a geometria de partículas, teor de umidade, tipo e quantidade de resina e ciclo de prensagem, devem ser consideradas dentro dos critérios e padrões recomendados industrialmente (IWAKIRI *et al.*, 1999; IWAKIRI *et al.*, 2001 apud PEDRAZZI, 2005).

As variações em espécies ou tipos de madeira utilizada na fabricação de chapas de partículas aglomeradas produzem diferentes efeitos na qualidade do produto final. Segundo Carlyle *et al.* (1956), massa específica, compressibilidade, colagem, dureza, pH, extrativos e tipos de fibras são parâmetros que variam de acordo com cada espécie, podendo afetar a qualidade dos painéis.

É fato de que no Brasil são utilizadas, de preferência, madeiras provenientes de reflorestamentos, obtendo então, o conhecimento dos efeitos das características de cada espécie sobre as chapas produzidas. Com isso, pode-se ajustar melhor o uso de diferentes espécies na produção de aglomerados objetivando a mesma qualidade de um painel produzido com espécies semelhantes.

### **3.3.1 Massa específica da madeira**

Dentre os fatores que contribuem para a qualidade do produto final, a massa específica da madeira é uma das variáveis mais importantes em relação à matéria-prima (BROWN *et al.*, 1952; MOSLEMI, 1974).

Para Iwakiri *et al.* (2000), em sua pesquisa sobre a utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*, o autor afirma que o fator espécie está relacionado principalmente com a massa específica da madeira. Desta forma, para Maloney (1989) um dos principais fatores a serem levados em consideração na produção de painéis aglomerados é a escolha da madeira com baixa massa específica.

Segundo Hillig (2000), pelo fato da massa específica da madeira estar diretamente ligada à qualidade dos painéis, muitos pesquisadores têm realizado estudos com misturas de espécies de diferentes massas específicas, visando obter uma mistura que proporcione melhores qualidades físicas e mecânicas às chapas. O autor afirma que, em geral, no processo de produção de chapas de partículas aglomeradas, a massa específica da madeira varia entre 0,40 a 0,60 g/cm<sup>3</sup> e a massa específica das chapas produzidas é de 5 a 40% maior do que a da madeira utilizada na confecção. Porém, para viabilizar a utilização de espécies com madeiras mais pesadas, existe a possibilidade de misturar essas espécies com madeiras de baixa massa específica na produção de painéis aglomerados (MOSLEMI, 1974).

Dessa maneira, Del Menezzi *et al.* (1996) confeccionaram chapas com misturas de duas madeiras de diferentes massas específicas. Utilizou *Pinus oocarpa* (0,46 g/cm<sup>3</sup> de massa específica básica) e *Eucalyptus urophylla* (0,70 g/cm<sup>3</sup>) e concluíram que, mesmo utilizando madeira de eucalipto de alta massa específica básica, o uso de até 50% desta madeira misturada ao pinus proporcionou a confecção de chapas com MOR, MOR e resistência ao arrancamento de parafusos aceitáveis pela norma ANSI A 208.1 (1993).

### **3.3.2 Umidade da madeira**

Conforme Hillig (2000), a umidade da madeira está diretamente ligada ao processo de prensagem e na transformação da madeira em partículas. Na prensagem, durante o processo de polimerização do adesivo, partículas secas têm pouca elasticidade, dificultando o contato entre as mesmas. No processo de produção de partículas, madeiras com baixo teor de umidade produzem maiores quantidade de finos. Por outro lado, partículas úmidas colaboram para o aumento da umidade do colchão, podendo gerar a formação de grande quantidade de vapor causando certos inconvenientes. O autor ainda afirma que quanto menor for a umidade da madeira maior será o desgaste das máquinas. Por estas razões, nos processos de fabricação de painéis aglomerados, recomenda-se o corte da madeira verde ou saturada para posterior secagem das partículas até a umidade desejada.

Analisando variações da umidade da madeira em diversos estágios do processo industrial de chapas aglomeradas até entrada das partículas (toretas, cavacos e maravalhas) em estufa, Albuquerque *et al.* (2002) constataram que os cavacos das serrarias próprias das empresas apresentaram altos teores de umidade, enquanto que as maravalhas e os cavacos de terceiros, possuíam teores de umidade reduzidos quando comparado com a matéria-prima industrial.

### **3.3.3 Composição química**

A madeira é um material higroscópico, ou seja, possui a capacidade de absorver ou perder água para o meio ambiente. Essa qualidade é explicada pela constituição química da madeira, composta pelos polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina. Estas substâncias

possuem uma distribuição desuniforme devido à estrutura anatômica (BROWING, 1963) e sua concentração muda de acordo com a região de desenvolvimento (SAKA, 1993).

A quantidade de cada componente, especialmente a lignina e a hemicelulose, varia entre as madeiras de folhosas e de coníferas. Outros fatores, tais como espécie e idade, também podem influenciar a composição química.

Quando se trata de painéis de madeira, a parede celular é o parâmetro que mais pode influenciar sobre as chapas aglomeradas, mas muitas vezes, ela não é determinada. Ao que parece, as influências químicas da madeira devem estar relacionadas à colagem e, em menor escala, à higroscopicidade da madeira e do painel (HILLIG, 2000).

Hillis e Brown (1978) afirmaram que o teor de extrativos é um dos mais importantes indicadores de conformidade da madeira para diversos usos industriais. Na produção de painéis de madeira, estes compostos também exercem considerável influência. Os extrativos podem afetar as reações de polimerização do adesivo ou as reações entre adesivo e extrativo (LIMA *et al.*, 2007), influenciando conseqüentemente na qualidade dos painéis produzidos (MARRA, 1992).

### **3.3.4 Características anatômicas**

Conhecer anatomicamente a madeira nos permite entender o seu comportamento mecânico, tais como: secagem, colagem das peças, trabalhabilidade e outros. Dessa forma, dependendo dessas características, elas mostram importantes informações em relação ao seu emprego e conseqüentemente, ao destino final.

Haselein e Pauleski (2003) afirmaram que a estrutura da madeira é um fator que afeta a adesão e a cura do adesivo. Para os autores, as folhosas geralmente requerem aplicação de maior quantidade de adesivo do que as coníferas pelo fato das folhosas normalmente serem mais ásperas devido aos poros de maior diâmetro, sendo assim, coníferas produzem superfícies mais lisas devido ao menor diâmetro das fibras.

Realizando pesquisas com painéis de madeira de *Eucalyptus grandis*, com idade entre 8 e 10 anos e massa específica básica de 0,43 g/cm<sup>3</sup>, Hillis e Brown (1978) relataram que um dos problemas encontrados foi a geração de grandes quantidades de finos. Segundo os autores, o tamanho dos vasos existentes na estrutura anatômica desta espécie foi fundamental para que ocorresse tal fato.

### 3.3.5 Geometria das partículas

A geometria das partículas é um dos fatores básicos determinantes das características das chapas de partículas. Em associação com a espécie de madeira, o tipo e a quantidade de resina, aditivos, a estrutura da placa formada pela orientação das partículas, a disposição das camadas e as condições de prensagem do colchão determinam as propriedades das chapas aglomeradas (HASELEIN *et al.*, 2002).

Conforme Maloney (1989), as propriedades mecânicas, como resistência e rigidez à flexão, resistência à tração paralela e perpendicular à superfície (ligação interna), resistência ao arrancamento de parafusos e pregos, são afetadas pela geometria das partículas. Sobre isto, Koch (1964) afirma o mesmo, comentando também que há um efeito nas propriedades físicas das chapas de partículas, desenvolvendo-se máquinas para cortar flocos de dimensões mais controladas.

Kollman *et al.* (1975) afirmaram que a dimensão das partículas é uma variável de merecida importância sendo o seu tipo e tamanho os principais fatores a serem considerados. Brito e Peixoto (2000), avaliando duas granulometrias de partículas de *Pinus taeda*, afirmaram que, uma vez alterada a geometria ou granulometria das partículas, há a necessidade também de se averiguar outras variáveis do processo, sobretudo a melhor proporção de adesivo a ser empregada.

Segundo Iwakiri (1989), quando as dimensões de partículas são diferentes, a área superficial específica das partículas e a disponibilidade de resina por unidade de área sofrem alterações.

Partículas finas, pequenas e flexíveis geram superfícies livres de vazios. A flexibilidade das partículas não somente tem influência direta no aspecto da superfície e das bordas, como também determina, em grande parte, o grau de contato partícula – partícula e, portanto, influencia as propriedades físico-mecânicas das chapas (MOSLEMI, 1974).

Para Vital, Haselein e Della Lucia (1992), partículas longas e finas resultam em um maior índice de esbeltez e produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional. Iwakiri (2005) complementou que o índice de esbeltez além de influenciar as propriedades mecânicas e dimensionais, exerce influência sobre a qualidade de acabamento e a usinabilidade.

Vital *et al.* (1992), estudando o efeito da geometria das partículas, constatou que não houve tratamento que melhorasse simultaneamente todas as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional das chapas. No entanto, observou que o uso de partículas espessas resulta sempre na redução dos valores das propriedades relacionadas à flexão estática. O autor defende que partículas finas distribuem melhor as tensões, produzindo menores espaços vazios, originando chapas mais resistentes. Estabelece ainda que para se produzir chapa de partículas mais rígidas, resistentes à flexão e com maior estabilidade dimensional, é necessário empregar partículas finas. Para maior resistência à tração perpendicular, é necessário o uso de partículas mais espessas.

### 3.3.6 Quantidade de resina

Considerando o peso seco das partículas e o peso seco de resina sólida, a quantidade de resina pode variar entre 4 e 10%, sendo geralmente entre 6 e 9% para resinas de uréia-formaldeído (UF). Além da resina, a parafina em forma de emulsão é acrescentada para melhorar a resistência à umidade em curto prazo (DACOSTA, 2004).

Albuquerque (2002) estudando o efeito da aplicação de resina na confecção de painéis usando partículas grossas de pinus observou que os valores de MOR e MOE foram superiores a um teor de 12% de resina. Aumentando o teor de resina de 8 para 12%, a consolidação das partículas pode-se tornar mais efetiva, já que haverá um volume superior de resina por partícula. Este fato, além de reduzir os espaços vazios, dificulta o contato da água com o material lenhoso. Portanto, com o aumento da proporção, houve uma inferior absorção de água e inchamento, fato este que pode ser explicado por não estar ocorrendo uma total saturação do material lenhoso, o que evidenciaria o efeito da resina em dificultar o contato da água com as partículas, retardando e reduzindo os índices de inchamento em espessura.

Maciel (2001) estudando chapas de partículas aglomeradas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em associação com poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET) observou que, o MOR, MOE, ligação interna e arrancamento de parafusos de chapas produzidas com 6% de adesivo apresentaram valores médios de resistência superiores aos das chapas com 4% de adesivo.

### 3.3.7 Aditivos

Em associação com adesivos, os aditivos podem ser acrescentados às partículas no processo de produção de painéis com o intuito de agregar valores. Akers (1966) afirma que os mais comuns são: inseticidas e fungicidas, retardantes do fogo e de absorção d'água. Realizando um estudo sobre a influência dos aditivos na confecção de painéis aglomerados, Kollman *et al.* (1975) afirmaram que os aditivos denominados extensores melhoram a distribuição, o fluxo e a penetração do adesivo na madeira.

Outra técnica muito comum usada na fabricação de painéis aglomerados é o uso de parafinas. Contreras *et al.* (1999) relata que a parafina é um hidrocarboneto derivado do petróleo e estudou a emulsão de parafina na produção de aglomerados como um agente repelente de água capaz de otimizar a capacidade de resistência a água e umidade do aglomerado.

Ginzel e Peraza (1966) comentam que a absorção d'água não pode ser evitada totalmente. O problema pode ser resolvido aplicando-se parafinas ou ceras minerais, que geralmente se empregam em emulsões de concentração variável entre 35 e 65 %. Os autores avaliaram os efeitos da parafina, cuja adição diminuiu a absorção d'água e o inchamento da chapa, usando-se, na prática, valores em torno de 3 a 5 % sobre o teor de adesivo sólido.

Segundo Moslemi (1974), a quantidade de parafina aplicada geralmente é de 1% ou menos. O autor ainda cita que, quantidades maiores não proporcionam melhoria nas propriedades de estabilidade dimensional das chapas e, por outro lado, podem trazer problemas de colagem.

Há também os catalisadores, que tem como função reduzir o pH da resina uréica para acelerar a cura do adesivo (polimerização). Pizzi (1994) comenta que os catalisadores empregados para a cura do adesivo são normalmente sais de amônia, como o cloreto de amônia e o sulfato de amônia, os quais são usados em soluções aquosas em concentrações que variam de 15 a 20%.

### **3.4 Parâmetros técnicos de produção**

#### **3.4.1 Processo produtivo**

O aglomerado é composto por partículas pequenas, ligadas por adesivos sob condições de calor e pressão (USDA, 1999). Como matérias-primas, no mundo, são empregados: resíduos industriais de madeira; resíduos da exploração florestal; madeiras de qualidade inferior, não-industrializáveis de outra forma; madeiras provenientes de florestas plantadas; e reciclagem de madeira sem serventia. No Brasil, a madeira de florestas plantadas – em especial, de pinus e de eucalipto – constitui a principal fonte de matéria-prima (MATTOS *et al.*, 2008).

O aglomerado é tipicamente feito em três camadas, com uma superfície macia, uniforme e plana. As faces do painel consistem de partículas mais finas e o interior é feito de material mais grosso. Produzindo o painel dessa maneira, aumenta a utilização do material e a face lisa apresenta uma melhor superfície para aplicação de pintura e verniz (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Na produção de chapas aglomeradas a massa específica do material tem influência significativa, que segundo Moslemi (1974), painéis de partículas feitos com madeiras de baixa massa específica apresentam ótima ligação interna, módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática, entretanto possuem menor resistência à extração de pregos e absorção de água. O mesmo autor explica que painéis feitos com madeiras de menor massa específica têm maior contato relativo entre as partículas o que resulta numa melhor aderência do adesivo às partículas.

#### **3.4.2 Mistura de espécies**

As características dos painéis produzidos a partir de madeira de espécies misturadas são comparáveis com aqueles feitos com uma espécie e são dependentes primariamente da massa específica média da mistura (VITAL *et al.*, 1974). Ainda segundo o autor, é possível misturar madeiras de diferentes massas específicas para produzir painéis com propriedades aceitáveis.

Misturando *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii* para confecção de chapas aglomeradas, Hillig *et al.* (2003) concluíram que a massa específica básica foi a propriedade que mais influenciou o MOR e o MOE positivamente.

Hiziroglu *et al.* (2005) confeccionaram chapas de partículas aglomeradas de bambu (*Dendrocalamus asper*) misturadas com diferentes proporções de *Eucalyptus camaldulensis* e palha de arroz e verificaram que a inclusão de porcentagens de bambu nas chapas melhorou as propriedades mecânicas de MOR, MOE e ligação interna, principalmente quando o bambu foi adicionado nas chapas de palha de arroz. A mistura de bambu com *E. camaldulensis* foi a que obteve melhor MOE e MOR e menor absorção de água. Também misturando partículas de bambu com madeira, Almeida *et al.* (2008) verificaram que a mistura de 50% bambu e 50% pinus foi a melhor no resultado do teor de umidade e ainda apresentou um resultado relativamente expressivo no ensaio de inchamento e absorção de água. Segundo esses autores, o bambu reduziu absorção de água na chapa pela metade, por ser menos higroscópico que o pinus.

### **3.4.3 Adesivo de Uréia-formaldeído**

Os adesivos à base de uréia-formaldeído (UF) são bastante empregados nas indústrias de painéis de madeira. Roffael e Schneider (1983) afirmaram que 90% das chapas de aglomerado de todo o mundo são produzidas com resina uréia-formaldeído. Porém, este adesivo apresenta uma baixa resistência à umidade.

Com um tempo de vida limitada, em torno de 4 horas, a uréia-formaldeído deve ser formulada momento antes de sua utilização, misturando a resina com o catalisador (VIGNOTE e JIMÉNEZ, 1996; HASELEIN e PAULESKI, 2003).

Uma das características mais notáveis desta resina com relação às outras, é o aumento de viscosidade. O líquido de baixa viscosidade é o primeiro a forma-se e logo muda para líquido de alta viscosidade. O excesso de água é eliminado alcançando uma concentração de sólidos de resina que gira em torno de 64 a 65% e o pH é ajustado para prolongar sua vida útil durante o armazenamento (PIZZI, 1994). O autor ainda cita as vantagens do uso de adesivos de uréia-formaldeído que são: solubilidade em água inicial, propriedades térmicas boas, ausência de cor na cura dos polímeros, não inflamável e fácil adaptação para uma variedade

de condições de cura. E, como desvantagens o autor cita a falta de resistência à água pela deterioração dos laços químicos e a suscetibilidade para emissão de vapores de formaldeído.

Segundo Vignote e Jiménes (1996), as colas utilizadas na fabricação das chapas contêm formaldeído em excesso. Mcredie (1992) comenta que as emissões de formaldeído da uréia-formaldeído, que é usado na produção de painéis de madeira, diminuíram 75 a 90% desde 1980.

A resina de uréia une todos os elementos de madeira e é consideravelmente menos custosa que as resinas fenólicas ou resorcinólicas. Ela pode ser formulada para curar a temperaturas elevadas, entre 50 e 150°C (MARRA, 1992; HASELEIN e PAULESKI, 2003; USDA, 1999; VIGNOTE & JIMÉNEZ, 1996). Os painéis fabricados com a resina de uréia-formaldeído são projetados para aplicações em interiores. A cor clara desta resina a torna totalmente satisfatória para a fabricação de produtos decorativos (USDA, 1999).

Seus principais usos incluem colagem de vigas laminadas, fabricação de móveis, e, em larga escala, na fabricação de aglomerados, MDF e compensados. Comercialmente, pode ser encontrada na forma de pó, filme e solução aquosa (HASELEIN e PAULESKI, 2003).

#### **3.4.4 Massa específica do painel**

A massa específica da chapa está diretamente relacionada com a massa específica da madeira e a taxa de compressão usada para a compactação das partículas. Segundo Ginzel e Peraza (1966), a massa específica da madeira e da chapa tem grande influência sobre as propriedades mecânicas. Os autores ainda afirmam que, na fabricação de chapas de partículas aglomeradas, uma massa específica aceitável do painel está entre 0,4 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

Moslemi (1974) trabalhando com painéis confeccionados com espécies de baixa massa específica constatou que as chapas apresentaram maior resistência à flexão e a tração, melhor módulo de elasticidade e melhor ligação interna do que painéis produzidos com espécies de massa específica alta, para chapas de igual massa específica.

Garay *et al.* (2001) para fabricar painéis de partículas aglomeradas de teca e gmelina com massa específica de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, demonstraram que a massa específica real das chapas foi superior a nominal, fato comprovado devido ao conteúdo de umidade nominal ter sido inferior que o conteúdo de umidade médio experimental. Essa diferença em massa específica deve-se

à contribuição da água que foi agregada à cola de uréia formaldeído para obter a viscosidade apropriada na operação de aspersão das partículas.

Hillig (2000) constatou que a massa específica básica da chapa, condicionada ao teor de umidade, foi a variável que apresentou maior influência sobre o MOR e o MOE e que os valores de ligação interna elevaram-se com o aumento da massa específica básica do painel.

### **3.4.5 Umidade do Colchão**

A resistência das chapas, a separação do formaldeído, a qualidade das faces e a pressão requerida dependem da umidade do colchão (KOLLMAN *et al.*, 1975). Segundo os autores, a umidade do colchão deve permitir boa plasticidade das faces externas das partículas para posteriormente afetar positivamente as propriedades de colagem.

Eleotério (2000), trabalhando com painéis MDF, afirma que a elevação da umidade do colchão ocasiona uma redução da pressão específica necessária, uma vez que a umidade se vaporiza durante a prensagem a quente. Como desvantagem do elevado teor de umidade, o autor cita o aumento do tempo de prensagem, tempo esse necessário para a retirada da umidade existente no painel.

Altas umidades do colchão durante a prensagem causam a formação de grande quantidade de vapor. Como a pressão é maior nas superfícies que no miolo da chapa, a tendência é que o vapor desloque-se para o centro da chapa e, quando a prensa é aberta, sua descompressão pode originar um golpe de vapor, causando uma deformidade considerável do painel (HILLIG, 2000). Segundo Moslemi (1974), a umidade ideal varia entre 8 e 18,5%, valores estes que dependem da natureza do processo produtivo, geometria das partículas e massa específica da madeira.

### **3.4.6 Prensagem**

Segundo Maloney (1989), os fatores que afetam a prensagem das chapas aglomeradas é o tipo de resina, os catalisadores, temperatura de prensagem, pressão aplicada e umidade do colchão, portanto, determinar a prensagem como um padrão global é difícil.

De modo geral, a força aplicada varia de 12 a 40 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo que, a principal variável que afeta a pressão necessária é a massa específica. Já a temperatura de prensagem é

determinada primeiramente em razão do tipo de adesivo utilizado e esta deve proporcionar calor necessário para a perfeita evaporação d'água e a cura mais rápida do adesivo (HILLIG, 2000).

Entende-se por taxa de compressão a razão entre a massa específica da chapa e a massa específica da madeira, que para painéis comerciais, esta razão é sempre maior que um. Segundo Vital (1973), durante a prensagem é necessário comprimir as partículas de forma a produzir boa união com mínimo adesivo, reduzindo os espaços interiores e as irregularidades das superfícies do painel.

Com relação ao tempo de prensagem Hillig (2000) relata que esta etapa deve permitir a evaporação da água existente, de forma que ocorra perfeita cura do adesivo e não promova a concentração do vapor d'água no centro da chapa, o que levar á formação de bolhas ou o estouro do painel.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Espécies estudadas

Para a confecção dos painéis foram retiradas oito árvores, duas de cada espécie, escolhidas ao acaso, de áreas existentes na região de Irati – PR. Os exemplares de pinus, de bracatinga e de uva-do-japão foram provenientes de experimentos situados no campus da Universidade Estadual do Centro-oeste. De eucalipto, foram cortadas duas árvores de uma área experimental situada no Colégio Florestal Presidente Costa e Silva. Os exemplares das árvores utilizadas na fabricação dos painéis são apresentados na Figura 1, cujas espécies foram: *Pinus taeda* (pinus), *Eucalyptus saligna* (eucalipto), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Hovenia dulcis* (uva-do-japão), sendo que suas idades variavam entre 8 a 12 anos.



**Figura 1.** Exemplares usadas para fabricação dos painéis aglomerados. a) pinus; b) eucalipto; c) bracatinga; d) uva-do-japão.

O município de Irati localiza-se na região sudeste do estado do Paraná, ficando a uma distancia de 156 km de Curitiba. Paralelo 25° 27' 56" de latitude Sul com intersecção com o meridiano 50° 37' 51" de longitude oeste. Situa-se na zona fisiográfica de Irati, uma das onze que o Paraná se divide, na sub-região dos pinhais do segundo planalto paranaense. O município de Irati está localizado sobre a bacia sedimentar, tendo emprestado o seu nome a uma de suas formações geológicas, a formação Irati. Essa formação é composta por siltitos, argilitos e folhelhos sílticos de cor cinza clara a escura. A topografia do município é ondulada e acidentada. Os tipos predominantes de solos são os podzólicos vermelho amarelo, cambissolo e litólico (WIKIPÉDIA COMMONS, 2011).

Na Figura 2 observa-se a localização geográfica da região de coleta do material (Irati - PR) utilizado no presente estudo.



**Figura 2.** Local de coleta do material de estudo.

## 4.2 Matéria-prima

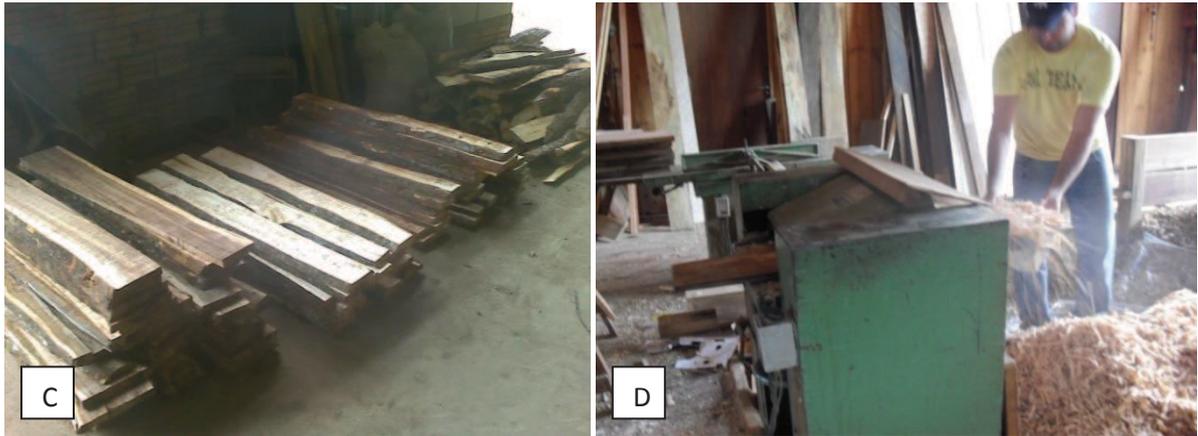
As árvores retiradas foram transformadas em toras de 1,20 metros, originando quatro toras por árvore. Com o comprimento já estabelecido, as toras foram desdobradas utilizando uma serra de fita em tábuas com espessura média de 2,70 cm, as quais permaneceram em um tanque com água.

A determinação da massa específica básica da madeira foi determinada pelo método da balança hidrostática e da massa específica básica média da árvore, foi utilizando o volume entre discos como fator de ponderação, conforme VITAL (1984).

Foram selecionadas e abatidas duas árvores por espécie, sendo posteriormente, retirados discos com 5 cm de espessura a 0,10 m; 1,30 m (DAP); 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco. De cada disco, foram retirados dois corpos-de-prova em forma de cunha, opostos entre si, formando um ângulo de cunha de 30°. A massa específica básica dos corpos-de-prova foi determinada pelo método da balança hidrostática (NAPOLI *et al.*, 2011).

As tábuas ficaram expostas ao ar livre até que pudessem ser submetidas a plaina para a geração de maravalhas, procedimento que possibilitou gerar um material de tamanho semelhante para todas as espécies. Todos os procedimentos realizados para a obtenção de maravalhas é apresentado na Figura 3.





**Figura 3.** Obtenção de maravalhas. a) Corte das toras; b) Serra de fita; c) Tábuas; d) Maravalhas.

#### 4.2.1 Geração das partículas e determinação do teor de umidade

Para a geração das partículas, as maravalhas passaram por moinho de martelo, conforme Figura 4 a, que foi devidamente afiado a modo de se obter partículas homogêneas. Após esta etapa, as partículas passaram por peneiras (classificador automático) para sua classificação, conforme Figura 4 c. Foram utilizadas peneiras cujas granulometrias correspondem a 14 *mesh* ou 1,40 aberturas por mm.





**Figura 4.** Processamento das partículas. a) Moinho de martelo; b) Partículas; c) Classificador de partículas; d) Secagem de partículas.

As partículas que passaram pela peneira de 14 *mesh* foram classificadas como finas, originando partículas menores que foram utilizadas nas superfícies dos painéis multicamadas, e as partículas que ficaram retidas (grossas), foram utilizadas na confecção dos painéis homogêneos e no miolo dos painéis multicamadas. Por fim, todo o material (partículas) foi devidamente identificado e acondicionado em sacos plásticos com a finalidade de evitar a absorção da umidade do ambiente.

Depois de produzidas, as partículas foram submetidas à estufa com ventilação forçada, a 80°C, até atingirem teores de umidade próximos a 3%. A umidade foi determinada antes da aplicação do adesivo e parafina, a partir de uma balança à base de luz infravermelha específica para essa finalidade. Este procedimento teve a finalidade de calcular a umidade das partículas no momento da prensagem, pois partículas úmidas causariam problemas durante o processo de prensagem do painel, afetando a qualidade do produto final.

Além das partículas obtidas em laboratórios, usou-se também para dois tratamentos (tratamento 11 para painéis homogêneos e tratamento 16 para painéis multicamadas), partículas cedidas por uma indústria de painéis de madeira localizada na região metropolitana de Curitiba. Essas partículas estavam em plenas condições de uso, ou seja, já com o teor de umidade dentro do permitido para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas.

### 4.3 Confeção dos painéis de madeira aglomerada

#### 4.3.1 Descrição do delineamento experimental

De acordo com os objetivos propostos nesta pesquisa, o experimento consistiu em 16 tratamentos e três repetições, totalizando 48 painéis. Foram analisados os tipos de painéis em função das proporções de diferentes espécies usadas na manufatura das chapas e da composição da chapa, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1.** Delineamento experimental.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%) <sup>1</sup>				Composição	Proporção de partículas (%)	Nº de chapas
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão			
1	50	-	50	-	Homogêneo	100	3
2	50	-	-	50	Homogêneo	100	3
3	-	50	50	-	Homogêneo	100	3
4	-	50	-	50	Homogêneo	100	3
5	25	25	50	-	Homogêneo	100	3
6	25	25	-	50	Homogêneo	100	3
7	-	50	25	25	Homogêneo	100	3
8	50	-	25	25	Homogêneo	100	3
9	25	25	25	25	Homogêneo	100	3
10	100	-	-	-	Homogêneo	100	3
11*	100	-	-	-	Homogêneo	100	3
12	50	-	50	-	Multicamada	20-60-20	3
13	50	-	-	50	Multicamada	20-60-20	3
14	-	50	50	-	Multicamada	20-60-20	3
15	-	50	-	50	Multicamada	20-60-20	3
16*	100	-	-	-	Multicamada	20-60-20	3

<sup>1</sup> Proporção com base no peso seco total das partículas

**48**

\* Partículas industrial

As partículas foram utilizadas na confecção dos painéis misturadas em quatro diferentes proporções (50-50%, 50-25-25%, 25-25-25-25% e 100%) para os painéis de única camada (homogêneos) e em duas diferentes proporções para os painéis multicamadas (50-50% e 100%). Foram também produzidas chapas com 100% de partículas de Pinus, sendo que para os painéis homogêneos foram produzidas chapas com partículas geradas na indústria e partículas geradas em laboratório. Para os painéis multicamadas, foram confeccionadas chapas de madeira de *Pinus taeda* somente com partículas industriais.

### 4.3.2 Planilhas de cálculos

Com a finalidade de calcular as quantidades necessárias de materiais a serem utilizados na confecção dos painéis, elaborou-se duas planilhas de cálculos. A primeira planilha, Tabela 2, corresponde às variáveis inseridas para a manufatura dos painéis de camada única (homogêneos) e a segunda planilha, envolve as variáveis que foram utilizadas para a confecção dos painéis multicamadas, Tabela 3.

**Tabela 2.** Planilha de cálculo dos painéis homogêneos.

<b>Experimento: Painéis homogêneos</b>	
Composição: camada única	<b>Catalisador (a quantidade de catalisador utilizada foi de 2% sobre a quantidade de resina na forma sólida)</b>
Resina: Uréia Formaldeído	2/100 x SR (quantidade de resina na forma sólida)
Dimensões: 50 x 50 x 1,2 cm	2/100 x 158,53 g - <b>3,17 g</b> (catalisador na forma sólida)
Volume do painel: 3000 cm <sup>3</sup>	100/25 x cs (catalisador na forma sólida)
Densidade nominal: 0,65 g/cm <sup>3</sup>	100/25 x 3,17 g - <b>12,68 g</b> (solução de catalisador)
Peso: 0,65 x 3000 = 1950 g	
Teor de sólidos da resina: 68%	<b>Parafina (1% de parafina com base no peso seco das partículas a 0% de umidade)</b>
Teor de umidade das partículas: 2,83 - 3,40%	1/100 x partículas secas 1585,37 g - 15,85 g
Teor de sólidos da parafina: 69%	100/69 x 15,85 g - <b>22,97 g</b> (peso de parafina )
Catalisador: sulfato de amônia	
Teor de sólidos catalisador/concentração: 25%	<b>Resumo</b>
Temperatura: 160° C	Partículas úmidas por painel (com acréscimo 10%)
Pressão específica: 40 kgf/cm <sup>2</sup>	1796,22 g (tambor misturador)
Tempo de prensagem: 8 minutos	
Constituição do painel	Resina líquida (com acréscimo 10%)
100% partículas secas - 1585,37 g	256,44 g (reservatório pistola)
10% resina - 158,53 g	
12% água - umidade 12% - 190,25 g	Catalisador (com acréscimo 10%)
1% parafina - 15,85 g	13,94 g (misturado ao adesivo)
<b>Partículas</b>	
123 partes - 1950 g	Parafina (com acréscimo 10%)
100 partes - 1585,37 g (3% de umidade) = <b>1632, 93 g</b>	25,26 g (reservatório pistola)
<b>Resina 10% (teor de sólidos 68%)</b>	Peso total da mistura na pré-prensagem
100 g resina líquida - 68,0 g sólidos	1894, 60 g
<b>233,14 g resina líquida (x) - 158,53 g sólidos (material seco)</b>	

**Tabela 3.** Planilha de cálculo dos painéis multicamadas.

<b>Experimento: Painéis multicamadas</b>	
Composição: três camadas	<b>Miolo</b>
Resina: Uréia Formaldeído	cs 2/100 x SR (resina na forma sólida)
Dimensões: 50 x 50 x 1,2 cm	cs 2/100 x 95,12 g - <b>1,90 g</b> (catalisador na forma sólida)
Volume do painel: 3000 cm <sup>3</sup>	cl 100/25 x cs (catalisador na forma sólida)
Densidade nominal: 0,65 g/cm <sup>3</sup>	cl 100/25 x 1,90 g - <b>7,60 g</b> (solução de catalisador)
Peso: 0,65 x 3000 = 1950 g	
Teor de sólidos da resina: 68%	<b>Superfície</b>
Teor de umidade das partículas: 2,83 - 3,40%	cs 2/100 x SR (quantidade de resina na forma sólida)
Teor de sólidos da parafina: 69%	cs 2/100 x 47,55 g - <b>0,95 g</b> (catalisador na forma sólida)
Catalisador: sulfato de amônia	cl 100/25 x cs (catalisador na forma sólida)
Teor de sólidos catalisador/concentração: 25%	cl 100/25 x 0,95 g - <b>3,80 g</b> (solução de catalisador)
Temperatura: 160° C	
Pressão específica: 40 kgf/cm <sup>2</sup>	<b>Parafina (1%)</b>
Tempo de prensagem: 8 minutos	<b>Superfície</b>
	100/69 x 3,17 g - 4,59 g
Constituição do painel	<b>Miolo</b>
100% partículas secas - 1585,37 g	100/69 x 9,51 g - 13,78 g
10% resina - 158,53 g	<b>Superfície</b>
12% água - umidade 12% - 190, 25 g	100/69 x 3,17 g - 4,59 g
1% parafina - 15,85 g	
Total - 123%	<b>Resumo (partículas)</b>
<b>Partículas</b>	Partículas úmidas por painel (com acréscimo 10%)
123 partes - 1950 g	<b>Superfície</b> 359, 24 g (tambor misturador)
100 partes - 1585,36 g (com 3% de umidade) = (1632,93 g)	Partículas úmidas por painel (com acréscimo 10%)
Superfície - 20% (com 3% de umidade) = 317,07 g (326,59 g)	<b>Miolo</b> 1077,74 g - (tambor misturador)
Miolo - 60% (com 3% de umidade) = 951,22 g (979,75 g g)	Partículas úmidas por painel (com acréscimo 10%)
Superfície - 20% (com 3% de umidade) = 317,07 g (326,59 g)	<b>Superfície</b> 359, 24 g (tambor misturador)
Total partículas multicamada - 1585,36 g (1632,93 g)	Partículas úmidas por painel (com acréscimo 10%)
<b>Resina 10% (miolo) e 15% (superfícies)</b>	1796,22 g (tambor misturador)
<b>Superfície</b>	<b>Resumo (resina líquida)</b>
317,07 g - 15% (47,55 g)	Quantidade de resina
100 g resina líquida - 68,0 g sólido resinoso	<b>Superfície</b> 76, 91 g - (com acréscimo de 10%)
69,92 g resina líquida (x) - 47,55 g sólido resinoso	Quantidade de resina
<b>Miolo</b>	<b>Miolo</b> 153,87 g - (com acréscimo de 10%)
951,22 g - 10% (95,12 g)	Quantidade de resina
100 g resina líquida - 68,0 g sólido resinoso	<b>Superfície</b> 76, 91 g - (com acréscimo de 10%)
139, 88 g resina líquida (x) - 95,12 g sólido resinoso	<b>Resumo (catalisador)</b>
<b>Superfície</b>	Quantidade de catalisador
317,07 g - 15% (47,55 g)	<b>Superfície</b> 4,18 g - (com acréscimo de 10%)
100 g resina líquida - 68,0 g sólido resinoso	Quantidade de catalisador
69,92 g resina líquida (x) - 47,55 g sólido resinoso	<b>Miolo</b> - 8,36 g - (com acréscimo de 10%)
<b>Catalisador (a quantidade de catalisador utilizada foi de 2% sobre a quantidade de resina na forma sólida)</b>	Quantidade de catalisador
<b>Superfície</b>	<b>Superfície</b> - 4,18 g - (com acréscimo de 10%)
cs 2/100 x SR (quantidade de resina na forma sólida)	<b>Resumo (parafina)</b>
cs 2/100 x 47,55 g - <b>0,95 g</b> (catalisador na forma sólida)	Quantidade de parafina
cl 100/25 x cs (catalisador na forma sólida)	<b>Superfície</b> 5,05 g - (com acréscimo de 10%)
cl 100/25 x 0,95 g - <b>3,80 g</b> (solução de catalisador)	Quantidade de catalisador
	<b>Miolo</b> - 15,16 g - (com acréscimo de 10%)
	Quantidade de catalisador
	<b>Superfície</b> - 5,05 g - (com acréscimo de 10%)

Foram inseridas nessas planilhas, todas as quantidades de materiais que foram utilizados para a confecção dos painéis dos 16 tratamentos (partículas, uréia-formaldeído, catalisador, parafina e água). A partir das proporções de madeira de cada espécie, determinou-se a quantidade de partículas, em massa, para cada tratamento.

Utilizou-se resina uréia-formaldeído (UF) na proporção de 10% sobre o peso seco das partículas para os painéis homogêneos e, na mesma proporção, no miolo dos painéis multicamadas. Para a camada externa dos painéis multicamadas usou-se 15% em relação ao peso seco das partículas. A quantidade de catalisador, sulfato de amônia –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , foi de 2% sobre a quantidade de resina na forma sólida, tanto para os painéis homogêneos como para os painéis multicamadas.

Para a confecção dos painéis acrescentou-se também 1% de parafina na mistura de partículas (tambor misturador) com base no peso de partículas a 0% de umidade. A massa específica nominal calculada para os dois tipos de painéis foi de  $0,65 \text{ g/cm}^3$ .

### **4.3.3 Manufatura dos painéis**

Após a pesagem e a separação das partículas por painel e tratamento, conforme o delineamento experimental e as planilhas de cálculos, foram adicionadas a resina (já com o catalisador em sua composição) e a emulsão de parafina por meio de aspersão em encoladeira rotativa.

Para a formação do colchão, as partículas foram colocadas em uma caixa formadora com dimensões de 50 x 50 cm e distribuídas uniformemente de forma manual para melhor acomodação das partículas.

Em seguida as partículas passaram pela pré-prensagem para sua compactação e, por fim, o colchão foi conduzido à prensa de pratos com aquecimento elétrico juntamente com as barras de 12 mm de espessura colocadas em lados opostos do colchão, as quais limitavam o fechamento total da prensa, delimitando a espessura do painel. Os parâmetros de prensagem foram iguais para todos os tratamentos e estão descritos nas planilhas de cálculos (Tabelas 2 e 3).

A Figura 5 mostra as etapas de confecção dos painéis, desde a separação e pesagem de partículas até o momento da prensagem do colchão.



**Figura 5.** Confecção dos painéis. a) Encoladeira rotativa; b) Separação e pesagem de partículas; c) Formação do colchão; d) Colchão homogêneo; e) Colchão multicamada; f) Prensagem (consolidação do painel).

#### **4.3.4 Climatização dos painéis**

Seguindo as recomendações da ASTM D 1037 – 93 (1995), os painéis confeccionados foram levados à câmara de climatização sob condições ambientais controladas ( $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  a  $65\pm 5\%$ ) com a finalidade de obter o teor de umidade adequado (umidade de equilíbrio).

#### **4.3.5 Confeção dos corpos de prova**

Após a climatização dos painéis e antes da confecção dos corpos de prova, as chapas foram esquadrejadas, sendo eliminados 3 cm de cada lado. Em seguida foram cortados os corpos de prova, com as dimensões de acordo com os ensaios aplicados.

Confeccionados os corpos de prova, estes foram levados novamente à câmara climatizada onde permanecerem por um período aproximado de 30 dias para a manutenção da umidade de equilíbrio nas condições determinadas. Os corpos de prova destinados aos ensaios de ligação interna passaram por uma plaina para lixamento com a finalidade de tornar as superfícies lisas, ou seja, sem ondulações. Este procedimento facilitou o contato do metal com as duas faces dos corpos de prova, resultando em uma melhor colagem durante o ensaio.

A manufatura dos painéis de partículas aglomeradas e a confecção dos corpos de prova para a realização dos ensaios físico-mecânicos foram realizadas no Laboratório de Painéis de Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba.

A confecção dos corpos de prova para os ensaios físico-mecânicos para avaliação da qualidade dos painéis seguiu o esquema de corte apresentado na Figura 6.



**Figura 6.** Esquema de corte dos corpos de prova.

#### 4.4 Ensaios físicos e mecânicos

Para avaliar a qualidade dos painéis produzidos, realizou-se os ensaios físicos de teor de umidade, massa específica, absorção d'água e inchamento em espessura e os ensaios mecânicos de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafusos. Todos os ensaios seguiram as recomendações da ASTM D 1037 – 93 (1995).

Os ensaios mecânicos foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL 30000, eletromecânica, capacidade 300 kN pertencente ao Laboratório de Propriedades da madeira da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Figura 7.



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

#### **4.4.1 Massa específica e teor de umidade**

Após a climatização foram medidas as dimensões e a massa específica ao teor de umidade de equilíbrio (TUE) dos corpos-de-prova e, após a secagem em estufa a 105°C, foi obtida a massa das amostras secas. Estes dados foram utilizados para o cálculo da massa específica básica e teor de umidade de cada amostra (expressões 1 e 2).

A massa específica básica ao TUE das chapas foi determinada usando o volume ao TUE e a massa seca do corpo de prova. Foram utilizados seis corpos-de-prova por painel, totalizando 18 por tratamento.

$$\rho_{básica} (\%) = \frac{P_{0\%}}{V_{TUE}} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{básica}$  : Massa específica básica ao TUE (g/cm<sup>3</sup>);

$P_{0\%}$  : Massa seca em estufa a 105° C (g);

$V_{TUE}$  : Volume ao teor de umidade de equilíbrio (cm<sup>3</sup>);

$$TUEq (\%) = \frac{M_{TUE-massa\ seca}}{massa\ seca} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$TUEq$  : Teor de umidade de equilíbrio (%);

$MTUE$  : Massa ao teor de umidade de equilíbrio (g);

#### 4.4.2 Absorção d'água e inchamento em espessura

Para a realização destes ensaios, corpos de prova de 15 x 15 cm foram submersos em água à temperatura de 20°C e profundidade de 25 mm permanecendo submerso por meio de pesos em forma de grades. Para determinar a espessura média, utilizou-se um relógio comparador (Figura 8), onde foram demarcados dez pontos nos corpos de prova em suas superfícies na qual foram medidos os valores em espessura. As medidas de comprimento e largura foram feitas com paquímetro digital, e o peso, após 2 e 24 horas de submersão, com balança analítica digital. Estes dados foram utilizados para o cálculo de absorção d'água e inchamento em espessura de cada amostra, conforme as expressões 3 e 4.



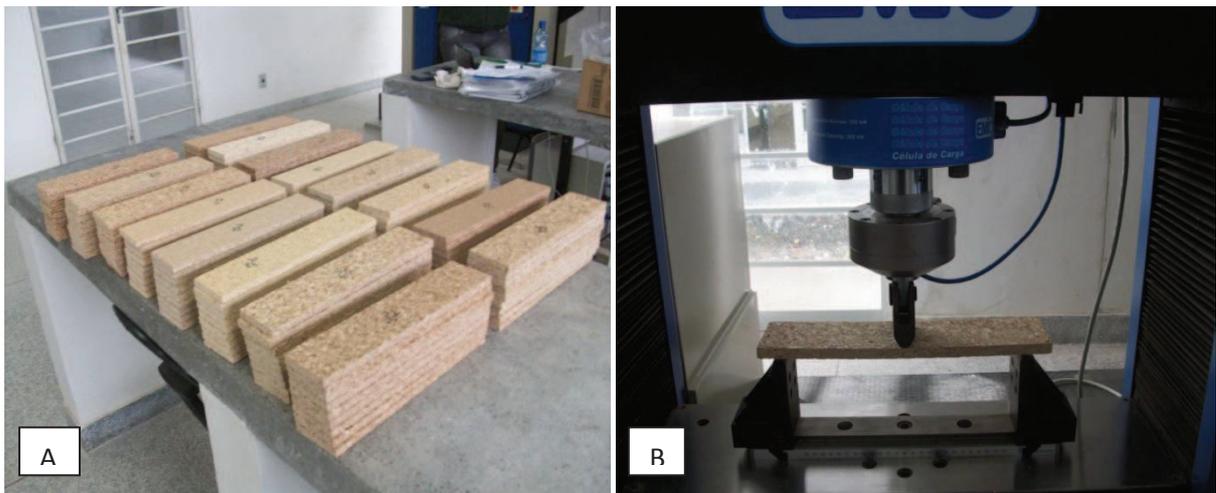
**Figura 8.** Instrumento de medição utilizado na determinação da espessura.

$$AB(\%) = \frac{\text{Massa média final} - \text{Massa média inicial}}{\text{Massa média inicial}} \times 100 \quad (3)$$

$$IE(\%) = \frac{\text{Espessura média final} - \text{Espessura média inicial}}{\text{Espessura média inicial}} \times 100 \quad (4)$$

#### 4.4.3 Flexão estática

Os ensaios de flexão estática (Figura 9) foram conduzidos em corpos de prova de 34 cm de comprimento por 7,6 cm de largura. O vão entre os apoios foi de 24 vezes a espessura média dos corpos de prova (28,8 cm) e velocidade de aplicação de carga para o ensaio foi de 5,76 mm/minuto. Foram utilizados 9 corpos de prova por tratamento, e determinou-se a massa específica antes de iniciar o ensaio.



**Figura 9.** Ensaio de flexão estática. a) Corpo de prova para o ensaio; b) Realização do ensaio.

Para os cálculos da velocidade do ensaio, do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) foram usadas as expressões 5, 6 e 7.

$$N = \frac{Z \times L^2}{6 \times d} \quad (5)$$

Onde:

N = velocidade de aplicação de carga (mm/minuto);

z = unidade de deslocamento da fibra (mm/mm);

L = vão entre os pontos de reação (mm);

d = espessura da amostra (mm);

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (6)$$

$$MOE = \frac{b1 \times L^3}{4 \times b \times h^3} \quad (7)$$

Onde:

P = carga máxima aplicada (kgf);

b1 = coeficiente de inclinação da reta de regressão

b = largura do corpo de prova (cm);

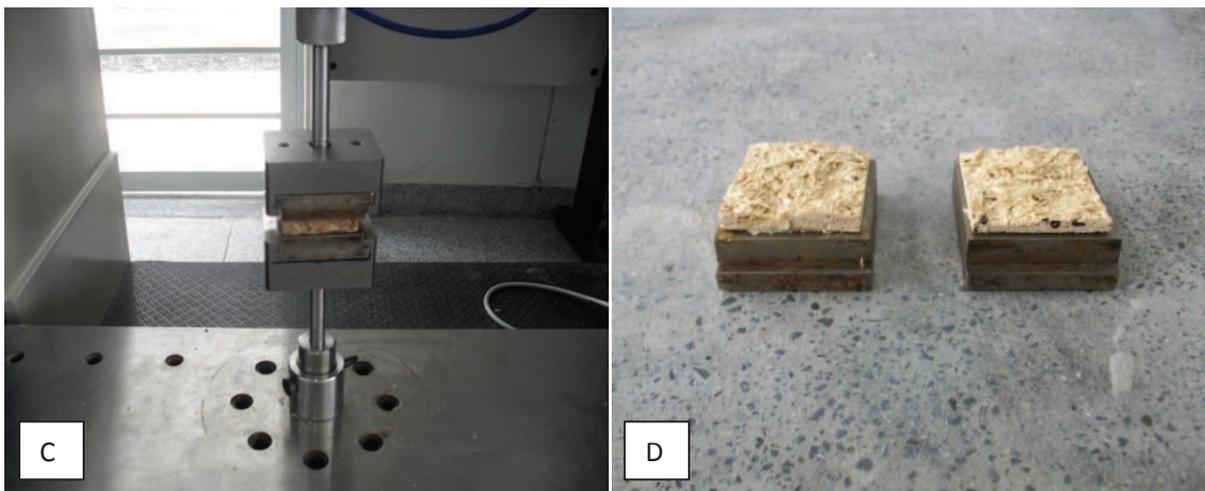
h = espessura do corpo de prova (cm);

#### 4.4.4 Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna)

Para os ensaios de ligação interna, foram utilizados corpos de prova de 5 x 5 cm, com as superfícies coladas em blocos de metal, com cola tipo *hot melt*. A velocidade do teste foi de 0,96 mm/minuto e os valores de ligação interna (LI) calculados por meio da relação entre a carga máxima e a área de esforço.

A Figura 10 apresenta as etapas do ensaio de tração perpendicular à superfície da chapa.





**Figura 10.** Ensaio de ligação interna. a) Cola “hot melt”; b) Blocos de metal fixos aos corpos de prova; c) Realização do ensaio; d) Corpo de prova rompido.

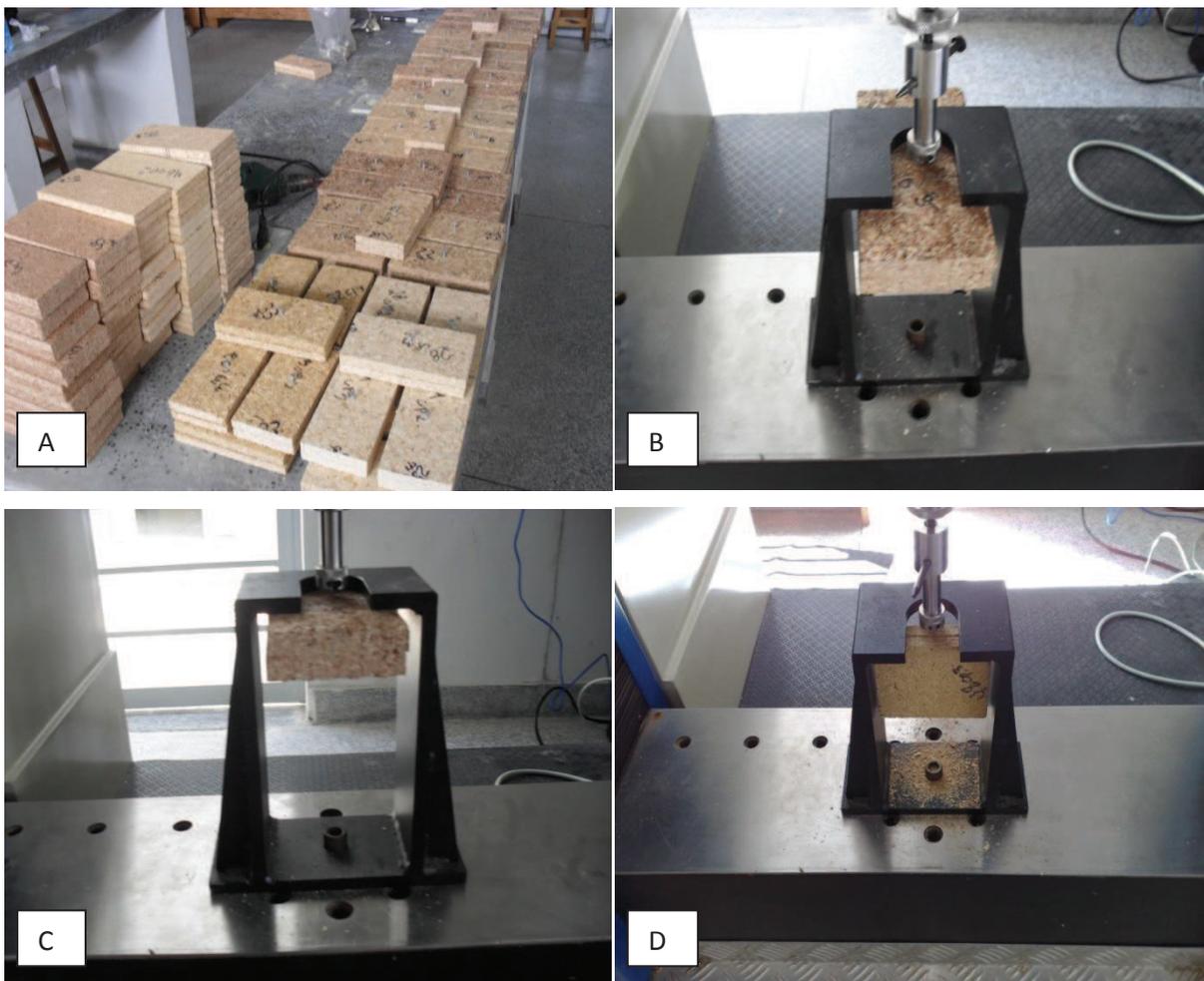
#### 4.4.5 Arrancamento de parafusos

Para este ensaio, foram utilizados os mesmos corpos de prova em que foram realizados os ensaios de flexão estática após seu rompimento.

Para atender as especificações da norma, as duas partes rompidas dos corpos-de-prova foram coladas uma sobre a outra e esquadrejadas, dando origem a uma nova amostra com as dimensões de 15 cm de comprimento x 7,6 cm de largura x 24,8 cm de espessura média para o ensaio perpendicular à superfície e 10,2 cm de comprimento x 7,6 cm de largura x 24,8 cm de espessura média para o ensaio de topo.

As amostras foram perfuradas com uma broca de 3,2 mm de diâmetro. Nesse orifício foram inseridos parafusos com 3,5 mm de diâmetro, 2,54 cm de comprimento e com 16 roscas por polegada, até 2/3 de seu comprimento, conforme é mostrado na Figura 11 a. Posteriormente, foram realizados os ensaios em que foi obtida a resistência máxima ao arrancamento dos parafusos expressa em Newton (N) a uma velocidade de 15 mm/minuto.

As Figuras 11 b e 11 c mostra o momento em que o corpo de prova está sendo submetido ao ensaio de arrancamento de parafuso na posição perpendicular à superfície da chapa. A Figura 11 d representa a realização do ensaio de arrancamento de parafuso ao longo da espessura do corpo de prova (topo).



**Figura 11.** Ensaio de arrancamento de parafuso. a) Preparação dos corpos de prova para o ensaio; b e c) Arrancamento de parafuso perpendicular à superfície; d) Arrancamento de parafuso ao longo da espessura (topo).

#### 4.5 Análise estatística

Foi efetuada a análise estatística em cada conjunto de dados com a finalidade de verificar as diferenças existentes em cada um deles, e mostrar características que de alguma forma influenciam nas propriedades dos painéis produzidos.

A análise das propriedades dos painéis ocorreu em três partes: análise dos tratamentos de painéis homogêneos (T1 a T11), análise dos tratamentos de painéis multicamadas (T12 a T16) e análise de variância (ANOVA) fatorial, considerando dois fatores: composição da chapa (fator 1) e mistura de espécies (fator 2).

Primeiramente foi testada a homogeneidade das variâncias por meio do teste de Bartlett. Após a comprovação de existência de homogeneidade das variâncias, foi aplicada a análise de variâncias (ANOVA) para painéis homogêneos e para painéis multicamadas, separadamente. Havendo rejeição da hipótese de igualdade, aplicou-se o Teste de Tukey para a comparação das médias.

Com o propósito de analisar a influência dos fatores composição da chapa (fator 1) e misturas de espécies (fator 2) nas propriedades dos painéis, realizou-se uma ANOVA fatorial entre os oito tratamentos (T1 a T4 e T12 a T15).

Todos os testes foram aplicados ao nível de 95% de significância, e o pacote estatístico utilizado para a análise foi o ASSISTAT versão 7.6 beta.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade das diferentes partículas (grossas e finas), antes da aplicação do adesivo e da parafina, está apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Teor de umidade médio das partículas.

PARTÍCULAS	TIPO	TEOR DE UMIDADE (%)
Pinus	Grossas	3,40
Pinus	Finas	2,91
Eucalipto	Grossas	2,84
Eucalipto	Finas	2,83
Bracatinga	Grossas	2,84
Bracatinga	Finas	3,01
Uva-do-Japão	Grossas	3,40
Uva-do-Japão	Finas	3,39

Nota-se que, os valores de teor de umidade das partículas encontram-se próximos ao teor de umidade nominal. Em geral, o intervalo utilizado para a confecção de painéis aglomerados varia entre 3 a 6% de umidade (MOSLEMI, 1974; IWAKIRI, 1989; VITAL, HASELEIN e DELLA LÚCIA, 1992; MALONEY, 1993).

Segundo Weber (2011), o conhecimento do teor de umidade das partículas é necessário para que o excesso de vapor durante o processo de prensagem não cause defeitos no painel. Para a autora, um teor de umidade considerado baixo pode causar ligações deficientes, reduzindo assim as propriedades mecânicas.

O controle deste parâmetro é de suma importância no momento da prensagem. Partículas com o teor de umidade elevado pode ocasionar bolhas no interior do painel, por outro lado, partículas com baixo teor de umidade pode dificultar o contato entre as mesmas, podendo exigir uma quantidade maior de adesivo a ser aplicada.

## 5.2 Massa específica básica da madeira

Os valores médios da massa específica básica da madeira de cada árvore, calculados pela média aritmética (Me-ma) e pela média ponderada em função do volume da tora (Me-mp) são apresentados Tabela 5. Verifica-se que a média de massa específica que está dentro da faixa citada por Maloney (1993), que recomenda até 0,55 g/cm<sup>3</sup>, para a produção de painéis de partículas, é o pinus. Para o eucalipto, foi encontrado um valor pouco acima da faixa recomendada pelo autor, mostrando que a madeira dessa espécie poderia ser proveniente de árvores mais jovens. As médias encontradas para bracatinga e uva-do-japão também estão acima da faixa recomendada, confirmando a necessidade de mistura dessas espécies com outras de menor massa específica.

**Tabela 5.** Valores de massa específica por árvore e espécie, com seus respectivos DAP's.

Árvore	Espécie	Me ma (g/cm <sup>3</sup> )	Me mp (g/cm <sup>3</sup> )	DAP (cm)
1	Pinus	0,36	0,38	15,30
2	Pinus	0,34	0,35	17,60
3	Eucalipto	0,56	0,58	18,50
4	Eucalipto	0,56	0,58	18,00
5	Bracatinga	0,61	0,62	15,60
6	Bracatinga	0,57	0,58	22,60
7	Uva-do-Japão	0,55	0,55	15,10
8	Uva-do-Japão	0,61	0,58	16,80
<b>Médias</b>		<b>0,52</b>	<b>0,52</b>	<b>17,44</b>

Verificou-se que a Me-mp foi ligeiramente maior para todas as espécies que a Me-ma, com exceção da uva-do-japão. Esse fato sugere que, se for usado a Me-ma como base para produção de painéis aglomerados, o valor da massa específica média será ligeiramente maior que a Me-mp para uva-do-japão e ligeiramente menor para as outras espécies. Por outro lado, a diferença entre os dois métodos de cálculo foi pequena, mostrando que qualquer uma das médias pode ser usada. Nesse trabalho utilizou-se os valores de Me-mp. Maiores detalhes sobre a comparação entre métodos de cálculo da massa específica básica da madeira podem ser encontrados em Napoli *et al.* (2011).

### 5.3 Massa específica dos painéis

Os valores médios referentes à massa específica observada dos painéis homogêneos e multicamadas encontram-se na Tabela 6.

**Tabela 6.** Valores de massa específica dos painéis homogêneos e multicamadas.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	Massa específica observada	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
T1	50	-	50	-	Homogêneo	0,64 a	8,90
T2	50	-	-	50	Homogêneo	0,66 a	9,65
T3	-	50	50	-	Homogêneo	0,68 a	10,45
T4	-	50	-	50	Homogêneo	0,65 a	5,65
T5	25	25	50	-	Homogêneo	0,63 a	8,73
T6	25	25	-	50	Homogêneo	0,63 a	7,08
T7	-	50	25	25	Homogêneo	0,67 a	10,67
T8	50	-	25	25	Homogêneo	0,66 a	8,42
T9	25	25	25	25	Homogêneo	0,64 a	10,01
T10	100	-	-	-	Homogêneo	0,63 a	8,36
T11	100	-	-	-	Homogêneo	0,65 a	8,93
T12	50	-	50	-	Multicamada	0,63 a	10,36
T13	50	-	-	50	Multicamada	0,64 a	10,85
T14	-	50	50	-	Multicamada	0,61 a	9,69
T15	-	50	-	50	Multicamada	0,63 a	12,39
T16	100	-	-	-	Multicamada	0,66 a	5,89

Notas: Nas colunas, os valores seguidos de mesmas letras não apresentam diferenças estatísticas, com nível de significância de 5%. T1 a T11: painéis homogêneos; T12 a T16: painéis multicamadas.

Nota-se que não foi constatada diferença significativa para a massa específica observada tanto nos painéis homogêneos como nos painéis multicamadas, não sendo necessária a realização de análise de Covariância para massa específica.

A norma para painéis da ANSI A 208.1 (1993) cita que a massa específica final dos painéis não pode apresentar diferença maior que 10% da massa específica nominal especificada para a manufatura dos painéis. Nesse trabalho, os valores médios encontrados atendem as exigências desta norma.

De maneira geral, observa-se que para a massa específica dos painéis, os valores encontrados foram relativamente próximos aos preestabelecidos pela massa específica nominal. Segundo Hillig (2000) e Dacosta (2004), pequenas variações ocorrem no processo

manual de manufatura dos painéis em laboratório, principalmente nas fases de montagem do colchão e/ou na adição de resinas e outros aditivos.

## 5.4 Teor de umidade dos painéis – T<sub>Ue</sub>

### 5.4.1 T<sub>Ue</sub> dos painéis homogêneos

Os teores de umidade dos painéis homogêneos, após a climatização, estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Valores médios dos teores de umidade dos painéis homogêneos.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	Teor de umidade	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (%)	CV (%)
T1	50	-	50	-	Homogêneo	7,55 abc	3,48
T2	50	-	-	50	Homogêneo	6,23 a	9,65
T3	-	50	50	-	Homogêneo	7,57 abc	12,51
T4	-	50	-	50	Homogêneo	7,46 abc	2,98
T5	25	25	50	-	Homogêneo	6,67 ab	25,45
T6	25	25	-	50	Homogêneo	7,58 abc	6,74
T7	-	50	25	25	Homogêneo	8,33 bcd	2,71
T8	50	-	25	25	Homogêneo	8,87 cd	10,22
T9	25	25	25	25	Homogêneo	9,68 d	12,92
T10	100	-	-	-	Homogêneo	8,66 bcd	6,21
T11	100	-	-	-	Homogêneo	9,14 cd	2,51

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; T1 a T11: painéis homogêneos (camada única) produzidos nas proporções de 0, 25, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T11: Partículas industriais.

O teor de umidade de equilíbrio médio das amostras dos tratamentos T1 a T11 variou entre 6,23 e 9,68% (Tabela). Percebe-se que a troca de espécies nos painéis confeccionados influenciou na umidade de equilíbrio desses painéis.

Segundo Melo *et al.* (2009), baixa variabilidade entre determinados teores de umidades proporciona uma maior confiabilidade nos resultados. Para os autores, a umidade pode interferir significativamente nas propriedades.

Dentro desta análise, foi observada a maior média (9,68%) entre todos os tratamentos, que foi apresentada pelos painéis produzidos com ¼ de cada espécie, ou seja, pinus, eucalipto, bracatinga e uva-do-japão confeccionados com mesma proporção.

Em seu estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDP e MDF para a fabricação de painéis aglomerados, Weber (2011) observou valores semelhantes aos do presente estudo, cujas médias variaram entre 7,34 a 8,96%. Melo *et al.* (2009), confeccionou painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* e casca de arroz de mesma massa específica, com dois tipos de adesivos, uréia-formaldeído e tanino-formaldeído e observou valores que variaram entre 8,39 e 8,64%.

Por outro lado, Cabral *et al.* (2007) encontraram valores de 9,62 a 9,94% para painéis de partículas aglomeradas produzidos com *Eucalyptus spp.* e *Pinus elliottii*. Já Carneiro *et al.* (2009) pesquisando sobre propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*), encontrou valores superiores que variaram de 9,10 a 10,23 %. Segundo Weber (2011), a variação de teor de umidade pode ser explicada pelo fato do material ter passado por aquecimento na fabricação inicial (secagem de partículas) e posteriormente ter sido submetido a altas temperaturas na prensagem, fazendo com que as estruturas anatômicas da madeira sejam danificadas, causando perda de água de constituição. Para alguns autores, a redução na higroscopicidade também pode ser causada pela incorporação de resina e parafina, deixando o painel menos reativo a água.

Os painéis que foram confeccionados com 100% de pinus partículas de laboratório (T10) e 100% de pinus partículas industriais (T11) não são estatisticamente diferentes, determinando que o processo de produção das partículas não interferiu nesta propriedade.

#### 5.4.2 TUE dos painéis multicamadas

Os resultados médios referentes ao teor de umidade dos painéis multicamadas são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Valores médios do teor de umidade dos painéis multicamadas.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	Teor de umidade	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (%)	CV (%)
T12	50	-	50	-	Multicamada	7,17 ab	11,19
T13	50	-	-	50	Multicamada	7,49 ab	8,09
T14	-	50	50	-	Multicamada	6,55 a	11,02
T15	-	50	-	50	Multicamada	8,28 c	7,03
T16	100	-	-	-	Multicamada	8,39 c	8,60

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; T12 a T16: painéis multicamadas produzidos nas proporções de 0, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T16: partículas industriais.

Verifica-se, na Tabela 8, que há diferenças estatísticas significativas entre as médias dos teores de umidade dos painéis multicamadas, conforme a análise de variância. Isso mostra que os painéis produzidos em camadas, envolvendo partículas grossas e finas, mistura de espécies e 15% de adesivo nas camadas superficiais, se comportaram de forma diferente em relação à umidade relativa do ambiente. Nesses tratamentos os valores médios variaram de 6,55 (T14) a 8,39% (T16). Nota-se que os painéis do tratamento 14, cuja composição é de 50% eucalipto e 50% bracinga foram os painéis que tiveram a menor média para esta propriedade. Os tratamentos 12 e 13 apresentaram valores intermediários e os tratamentos 15 e 16 as maiores médias, 8,28 e 8,39%, respectivamente.

Em relação aos resultados encontrados na literatura que comprovem menores valores de umidade de equilíbrio em produtos de madeira reconstituída em relação à madeira serrada, pode-se citar Vital *et al.* (2004), que encontrou umidade de 9,35% para colagem de painéis com uréia-formaldeído e até 12% ao utilizar adesivos a base de tanino. Já Hillig *et al.* (2004), observaram valores que se assemelharam aos do presente estudo, com umidade entre 3,74 a 8,78% para painéis *flakeboards* de *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*. Jankowski (1979) afirmou que teores de holocelulose, lignina e extrativos também interferem na adsorção de água.

Trianoski (2010), em seu estudo sobre avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada, encontrou para painéis multicamadas valores superiores aos obtidos neste trabalho, médias que variaram de 9,65 a 10,42%. Segundo a autora, a composição química das espécies utilizadas provavelmente atuou como um fator de influência e que pesquisas complementares para entender o comportamento da composição química, seja favorecendo ou inibindo a umidade de equilíbrio, são necessárias.

Percebe-se que os painéis multicamadas apresentaram menores valores de umidade de equilíbrio e menor variação entre as médias em relação aos painéis homogêneos. Este fato pode estar relacionado com a presença de partículas finas nas superfícies e maior quantidade de adesivo aplicado, resultando em uma maior compactação.

## 5.5 Absorção de água e inchamento em espessura

### 5.5.1 Painéis homogêneos

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água e inchamento em espessura são apresentados Tabela 9. Para os valores de absorção de água 2 horas (AB2) a análise de variância demonstrou que os tratamentos não foram estatisticamente diferentes, e para o ensaio de absorção d'água 24 horas (AB24), a análise apresentou diferenças estatísticas significativas.

**Tabela 9.** Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24 horas dos painéis homogêneos.

Tratamento	Absorção d'água				Inchamento em espessura			
	2 horas Média (%)	CV (%)	24 horas Média (%)	CV (%)	2 horas Média (%)	CV (%)	24 horas Média (%)	CV (%)
T1 P/B	3,78 a	15,23	21,29 c	13,64	5,05 ab	44,86	10,41 ab	8,73
T2 P/UJ	4,98 a	27,38	20,05 bc	5,68	6,83 b	22,60	12,84 ab	11,95
T3 E/B	3,96 a	23,92	17,78 abc	4,40	5,3 ab	10,79	12,04 ab	28,50
T4 E/UJ	3,64 a	41,48	15,54 a	12,17	4,49 a	23,79	11,90 ab	38,44
T5 P/E/B	3,67 a	38,72	16,67 ab	11,15	5,27 ab	10,21	10,88 ab	9,68
T6 P/E/UJ	2,79 a	21,72	14,95 a	6,44	3,86 a	18,07	14,03 b	41,94
T7 E/B/UJ	3,80 a	45,52	14,84 a	23,13	4,35 a	12,97	11,86 ab	32,48
T8 P/B/UJ	4,14 a	29,46	17,99 abc	15,58	4,81 a	8,91	10,19 ab	10,01
T9 P/E/B/UJ	4,01 a	40,29	16,12 ab	11,99	3,63 a	22,65	9,50 a	13,81
T10 P	6,03 a	38,66	16,83 ab	9,54	5,18 ab	16,14	11,17 ab	9,88
T11P	3,75 a	42,92	15,40 a	15,24	5,32 ab	7,20	11,49 ab	6,21

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; T1 a T11: painéis homogêneos produzidos nas proporções de 0, 25, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T11: Partículas industriais.

USDA (1987) específica, para painéis de média massa específica valores de AB24, entre 10 a 50%. Os valores médios observados na tabela acima, para AB2, variaram de 2,79 (T6) a 6,03% (T10). Os painéis desses tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa, mostrando que as diferentes misturas e proporções não influenciaram na AB2.

Segundo Iwakiri *et al.* (2000), a utilização de maior quantidade de resina reduz a absorção de água nas chapas. Para os autores, maiores quantidades de adesivos, causam maior recobrimento das partículas fazendo com que as superfícies dos painéis se tornem

impermeáveis, contribuindo assim para a diminuição da absorção de água. Com base nesse contexto, Melo *et al.* (2009) avaliando as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com uréia-formaldeído e tanino-formaldeído, encontrou para absorção de água às 2 horas de imersão valores que variaram de 10,23 a 11,52% usando 8% de adesivo uréia-formaldeído. Nesta pesquisa, para AB2, foram observados valores que variaram entre 2,79 a 6,03% com 10% de uréia-formaldeído. Na AB24, os valores médios variaram entre 14,84 (T1) a 21,19% (T2). Percebe-se que nos tratamentos 1 e 2, mesmo efetuando a troca da bracinga pela uva-do-japão, o valor médio pouco se altera, sendo observada a tendência em que o pinus tem em influenciar de forma negativa quando em misturas com essas espécies. No entanto, o T10 (chapas 100% partículas de pinus) apresenta média nominal mais baixa do que o T1 e o T2, sendo estatisticamente diferentes do T1. Já o T11 (chapas 100% partículas de pinus industriais) teve menor AB24 que o T1 e o T2. Isso mostra que a influência negativa da madeira de pinus só ocorreu quando em mistura com bracinga e uva-do-japão.

A norma DIN 68761 (1) – 1961, (3) – 1967 prevê para inchamento em espessura, após 2 horas de imersão, um inchamento máximo de até 6%, e para imersão em 24 horas, 12% para fenol-formaldeído e 15% para uréia-formaldeído.

Em relação aos resultados obtidos para o inchamento em espessura, observa-se que após 2 horas de imersão, IE2, os valores variaram entre 3,63% (T9) a 6,83% (T2). Verifica-se que o tratamento que em sua composição possuiu a mistura das quatro espécies obteve a menor média e onde os maiores valores de absorção, no geral, foram apresentados entre os painéis que foram confeccionados com pinus.

Weber (2011) em seu estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDP e MDF para a produção de painéis aglomerados, encontrou para IE2, valores semelhantes aos obtidos no presente estudo, médias que variaram de 2,50 a 8,38%. Melo *et al.* (2009) em sua pesquisa observaram valores entre 7,94 a 9,42% utilizando 8% de uréia-formaldeído na confecção dos painéis.

Para inchamento em espessura após 24 horas de imersão, IE24, verifica-se que o tratamento 9 apresentou a menor média (9,50%), diferindo estatisticamente apenas do tratamento 6 (14,03%). Verifica-se com este resultado, que a mistura das quatro espécies apresentou o melhor resultado para inchamento em espessura para ambos os procedimentos (2 e 24 horas). Por outro lado, a mistura de pinus e uva-do-japão, em associação com eucalipto,

apresentou a maior média nominal, mas não foi estatisticamente diferente dos demais tratamentos, exceto o T9.

Em termos gerais, para IE2, pode-se afirmar que os painéis que foram confeccionados com porcentagens de partículas de eucalipto tiveram uma tendência em absorver menos água do que os produzidos com pinus. Para IE24 foram poucas as diferenças estatísticas encontradas entre as médias, não se estabelecendo um padrão de variação em função da espécie. Maciel (2001), em seu estudo sobre chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato, constatou que painéis confeccionados com madeira de eucalipto são menos resistentes ao inchamento em espessura do que os produzidos com pinus.

### 5.5.2 Painéis multicamadas

Os resultados médios de absorção de água e inchamento em espessura obtido a partir dos painéis produzidos em multicamadas são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10.** Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24 horas dos painéis multicamadas.

Tratamento	Absorção d'água				Inchamento em espessura			
	2 horas	CV	24 horas	CV	2 horas	CV	24 horas	CV
	Média (%)	(%)	Média (%)	(%)	Média (%)	(%)	Média (%)	(%)
T12 P/B	7,02 c	32,39	20,41 b	37,47	6,34 b	12,05	15,28 b	30,22
T13 P/UJ	6,18 b	26,81	15,35 a	10,91	3,48 a	20,16	13,15 a	28,02
T15 E/B	5,42 a	18,61	15,23 a	20,28	3,31 a	11,92	12,47 a	24,55
T15 E/UJ	5,21 a	27,90	13,90 a	21,72	2,84 a	16,31	12,88 a	24,33
T16 P	5,33 a	32,96	15,64 a	25,76	2,42 a	15,65	12,30 a	33,67

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; \*significativo ao nível de 5% de probabilidade; T12 a T16: painéis multicamadas produzidos nas proporções de 0, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T16: Partículas industriais.

A absorção de água após 2 horas de imersão demonstrou que o T15 apresentou a menor taxa nesta condição (5,21%), não diferindo estatisticamente do T14 e T16. O maior índice de absorção foi obtido pelo tratamento 12 (7,02%), que por sua vez, diferiu estatisticamente do tratamento 13 (6,18%) e dos demais.

É possível observar que os tratamentos que continham pinus partículas laboratoriais (T12 e T13) em sua composição foram os tratamentos que mais tenderam a absorver água. Este comportamento assemelha-se com a pesquisa conduzida por Iwakiri *et al.* (1996), que estudou a mistura de espécies de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii* na produção de partículas aglomeradas, e observaram que com o aumento da proporção de *Pinus* na composição do painel, os valores médios de inchamento e absorção elevaram-se, podendo-se concluir com isso que a principal influência se deve a espécie.

Após 24 horas de absorção, observa-se que o tratamento 12 (20,41%) foi o que apresentou o maior valor de absorção de água em relação aos demais tratamentos, os quais não apresentaram diferença estatística entre as médias.

Para IE2, nota-se que o tratamento 1 (pinus e bracatinga) foi o que apresentou a maior instabilidade dimensional (6,34%). Nos demais tratamentos não houve diferença significativa. Ao substituir a bracatinga pela uva-do-japão (T2), a média de IE2 diminuiu consideravelmente (3,48%), diferindo estatisticamente do primeiro tratamento. Após 24 horas de imersão (IE24), os valores mantiveram os mesmos índices, onde o tratamento 1 (15,28%) diferiu dos demais. Isso mostra que o pinus e sua interação com as demais espécies não foi influenciada pelo tempo de imersão, mantendo assim, o mesmo comportamento. Hillig (2000) observou a mesma tendência para o pinus que a observada no presente estudo. Ao usar diferentes proporções na fabricação de chapas aglomeradas estruturais, concluiu que esta espécie aumentou o inchamento em espessura quando comparada com eucalipto e acácia, atingindo uma média de 25,31%.

De modo geral, nota-se que os valores encontrados para absorção d'água e inchamento em espessura de diversos trabalhos foram semelhantes aos valores encontrados no presente estudo, o qual foi constatado bom desempenho dos corpos-de-prova. Tanto para painéis homogêneos como para multicamadas, de acordo com a norma de comercialização da USDA (1987), para absorção de água com 24 horas de imersão, todos os valores apresentaram-se dentro do intervalo exigido (10 a 50%) para painéis de média massa específica. Segundo a norma DIN 68761 (1) – 1961, (3) – 1967, para inchamento em espessura com duas horas de imersão, o limite máximo é de até 6% para ambos os adesivos. Para 24 horas de imersão, a norma prevê um inchamento máximo de 15% para uréia-formaldeído. Comparando com os valores encontrados no presente trabalho, para IE2, dos painéis homogêneos, todos os tratamentos entraram em conformidade com a norma, exceto o tratamento 2 (6,83%). Nos

painéis multicamadas, a exceção foi o tratamento 12 (6,34%). Para IE24, todos os tratamentos dos painéis homogêneos não ultrapassaram o limite máximo exigido pela norma, enquanto nos painéis multicamadas, o tratamento 12 não apresentou conformidade com a norma (15,28%).

Percebe-se que os tratamentos confeccionados com pinus, quando em mistura com bracinga e uva-do-japão, apresentaram-se mais susceptíveis à absorção de água após 24 horas de imersão. Por outro lado, os painéis confeccionados com eucalipto, apresentaram bom desempenho perante os ensaios de absorção de água, ocorrendo o mesmo para inchamento em espessura. Ao introduzir uva-do-japão nota-se a tendência em melhorar a resistência dos painéis.

## 5.6 Análise fatorial para as propriedades físicas

A Tabela 11 apresenta as médias e o resultado da análise de variância dos efeitos dos fatores tipo de mistura e composição dos painéis. Considerou-se nessa análise os oito tratamentos que permitem verificar diferenças em função das misturas e da composição da chapa (painéis homogêneos e painéis multicamadas) para os ensaios de teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura.

**Tabela 11.** Média e análise de variância das propriedades físicas em função da composição da chapa e das misturas.

Fatores	Camadas	Composição	Teor de umidade	Absorção d'água		Inchamento em espessura	
			Média (%)	Média 2 h (%)	Média 24 h (%)	Média 2h (%)	Média 24 h (%)
1	1	Homogêneo	7,20 a	4,09 a	18,67 b	5,42 b	11,80 a
	2	Multicamadas	7,27 a	5,96 b	16,22 a	3,99 a	13,44 b
	Misturas	Proporção (%)					
2	1 (T1 e T12)	50 P + 50 B	7,60 b	5,40 a	20,85 c	5,69 c	12,84 a
	2 (T2 e T13)	50 P + 50 U J	6,34 a	5,58 a	17,70 bc	5,16 bc	12,99 a
	3 (T3 e T14)	50 E + 50 B	7,37 b	4,69 a	16,51 a	4,30 ab	12,25 a
	4 (T4 e T15)	50 E + 50 U J	7,64 b	4,42 a	14,72 a	3,66 a	12,39 a

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### **5.6.1 Teor de umidade**

Nota-se que as duas composições não apresentaram diferença estatística entre si, mostrando que tanto painéis homogêneos como multicamadas não influenciaram no teor de umidade dos painéis.

Para o fator mistura, a análise apresentou diferenças significativas apenas à mistura 2 em relação às demais misturas. A maior média para umidade foi observada na mistura 4 (7,64%) e a menor média foi mostrada pela mistura 2 (6,34%), que foi elaborada a partir da mistura entre pinus (partículas laboratorial) e uva-do-japão. Essa análise confirma a tendência verificada para painéis homogêneos (Tabela 7) da mistura de pinus e uva-do-japão apresentar menores valores de TUE. Por outro lado, essa tendência não foi verificada na análise dos painéis multicamadas (Tabela 8), onde a mistura de eucalipto e bracinga tendeu a apresentar menores médias. Esse fato demonstra que há interação entre os fatores mistura de espécies e composição da chapa, que provavelmente estão relacionados às dificuldades de colagem das espécies do gênero eucalipto e ao maior teor de adesivo usado nas camadas externas das chapas multicamadas.

### **5.6.2 Absorção de água**

Para a absorção de água às 2 horas, percebe-se que houve diferença estatisticamente significativa para os dois tipos de painéis. Neste quesito, os painéis de composição homogênea mostraram-se superiores aos painéis confeccionados em camadas, apresentando uma média de 4,09% e 5,96% para ambos os painéis respectivamente. Em relação ao fator 2, a análise de variância não mostrou diferenças significativas entre as misturas.

Para o ensaio de absorção d'água 24 horas, as duas composições mostraram que são estatisticamente diferentes. Para os painéis multicamadas foi observada a menor média (16,22%) e para os homogêneos 18,67%.

Essa característica observada quanto ao comportamento dos painéis na absorção de água, refere-se à composição da camada externa, ou seja, partículas finas. Como já citado anteriormente, a uréia-formaldeído é um adesivo resistente a umidade quando submetida a um rápido contato com a água (2 horas). No geral, pôde-se observar que os corpos-de-prova que ficaram submersos em água por um período de 24 horas, foram os que menos absorveram

água em relação aos painéis homogêneos. Fato que pode ser explicado pela quantidade de adesivo aplicada na camada externa (15%), onde a tendência é que a resistência à absorção de água aumente de acordo com o aumento da quantidade de adesivo aplicado.

Em outra comparação, entre os quatro tipos de misturas também houve diferenças estatísticas significativas entre si, onde a melhor resistência às 24 horas de imersão foi apresentada pela mistura do eucalipto com a uva-do-japão (14,72%) seguida pela mistura de eucalipto com a bracatinga (16,51%). Os painéis confeccionados com pinus, quando em mistura, mostraram-se inferiores, da mesma forma que a tendência observada nas análises realizadas em separado para painéis homogêneos e para painéis multicamadas. Entre as misturas com pinus, a melhor resistência foi apresentada pela de pinus com a uva-do-japão.

Percebe-se que para o ensaio de absorção nos diferentes períodos, os painéis não mantiveram o mesmo comportamento. No primeiro período (2 horas), os painéis multicamadas absorveram maior quantidade de água e, após 24 horas, a maior média foi apresentada pelos painéis homogêneos. A provável explicação se deve ao fato de que nos painéis homogêneos, em sua confecção, haja somente partículas grossas, originando mais espaços para a penetração da água entre as mesmas por um período maior de tempo.

### **5.6.3 Inchamento em espessura**

Para este ensaio, no quesito composições, os painéis multicamadas apresentaram  $IE_2 = 3,99\%$ . Entre as misturas, a análise de variância mostrou que existem diferenças estatísticas significativas. As misturas que apresentaram menor  $IE_2$  foram dos painéis produzidos com eucalipto e as que apresentaram maior  $IE_2$  foram aquelas misturas confeccionadas com pinus.

Para inchamento em espessura 24 horas, na comparação entre os dois tipos de painéis, pôde-se perceber que houve diferenças estatísticas significativas. A menor média foi apresentada pelos painéis homogêneos ( $IE_{24} = 11,80\%$ ). Já os painéis multicamadas apresentaram uma média de 13,44%. Para o fator 2, a análise de variância mostrou que as misturas não são estatisticamente diferentes, mostrando que as espécies e suas proporções não influenciaram na  $IE_{24}$ .

Nessa análise, as médias obtidas para  $IE_2$  confirmam a tendência observada nas análises anteriores de que a madeira de pinus, em mistura, tem efeito negativo na estabilidade

dimensional das chapas. Por outro lado, os valores médios de IE24 mostram que é pequeno esse efeito da espécie de madeira.

## 5.7 Resistência a flexão estática – MOR e MOE

### 5.7.1 MOR e MOE dos painéis homogêneos

De acordo com a norma de comercialização da ANSI A 208.1 (1993), as chapas de partículas de baixa e média massa específica (menor que 0,64 e entre 0,64 e 0,80 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente) admite como valores mínimos de 5 e 11 MPa para MOR e de 1025 e 1725 MPa para MOE.

Os resultados obtidos para o MOR e para o MOE, a partir do ensaio de flexão estática dos painéis em composição homogênea, são apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12.** Valores médios do MOR e MOE dos painéis homogêneos.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	Mor		Moe	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	CV (%)
T1	50	-	50	-	Homogêneo	7,61 ab	11,04	940,42 b	11,28
T2	50	-	-	50	Homogêneo	9,08 a	20,00	1141,04 ab	19,38
T3	-	50	50	-	Homogêneo	6,19 b	23,47	923,61 b	22,94
T4	-	50	-	50	Homogêneo	7,88 ab	13,40	1134,66 ab	12,19
T5	25	25	50	-	Homogêneo	7,09 ab	22,82	970,27 b	21,39
T6	25	25	-	50	Homogêneo	8,15 ab	16,45	1108,68 ab	14,74
T7	-	50	25	25	Homogêneo	7,11 ab	17,73	999,27 b	13,91
T8	50	-	25	25	Homogêneo	8,58 ab	19,41	1108,50 ab	18,80
T9	25	25	25	25	Homogêneo	7,95 ab	14,04	1077,09 b	15,75
T10	100	-	-	-	Homogêneo	9,46 a	27,03	1039,06 b	25,54
T11	100	-	-	-	Homogêneo	8,35 ab	25,68	1417,51 a	21,60

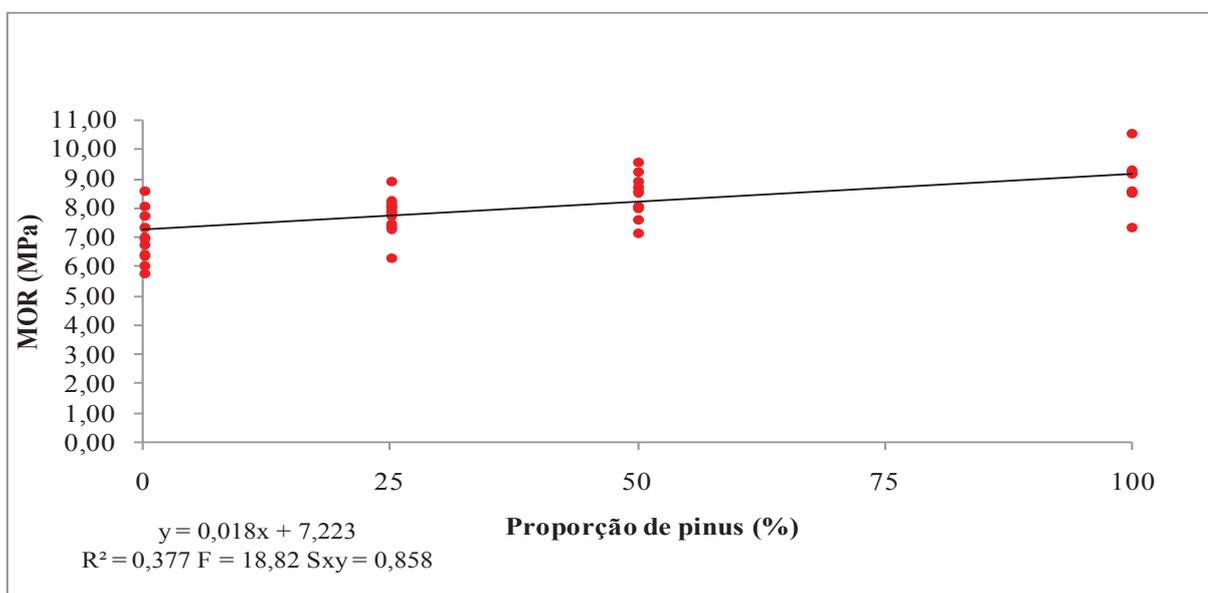
Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; T1 a T11: painéis homogêneos (camada única) produzidos nas proporções de 0, 25, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T11: Partículas industriais.

Os valores médios de módulo de ruptura, variaram entre 6,19 MPa (T3) e 9,46 MPa (T10), com pequena diferença estatística entre as espécies, que foi observada apenas entre os tratamentos T3 (mistura de eucalipto e bracatinga) e T2 (mistura de pinus e uva-do-japão). Os painéis produzidos com 50% de pinus e 50% de bracatinga (T1) e 50% de pinus e 50% de uva-do-japão (T2) não são estatisticamente diferentes. Este último apresentou a maior média

nominal entre as misturas de espécies (9,08 MPa). Resultado que pode ser explicado principalmente pela presença de pinus nesses painéis.

A Figura 12 comprova a influência positiva do aumento da proporção de pinus no módulo de ruptura, estando de acordo com o resultado do valor médio do MOR dos painéis produzidos com 100% dessa espécie (9,46 MPa).

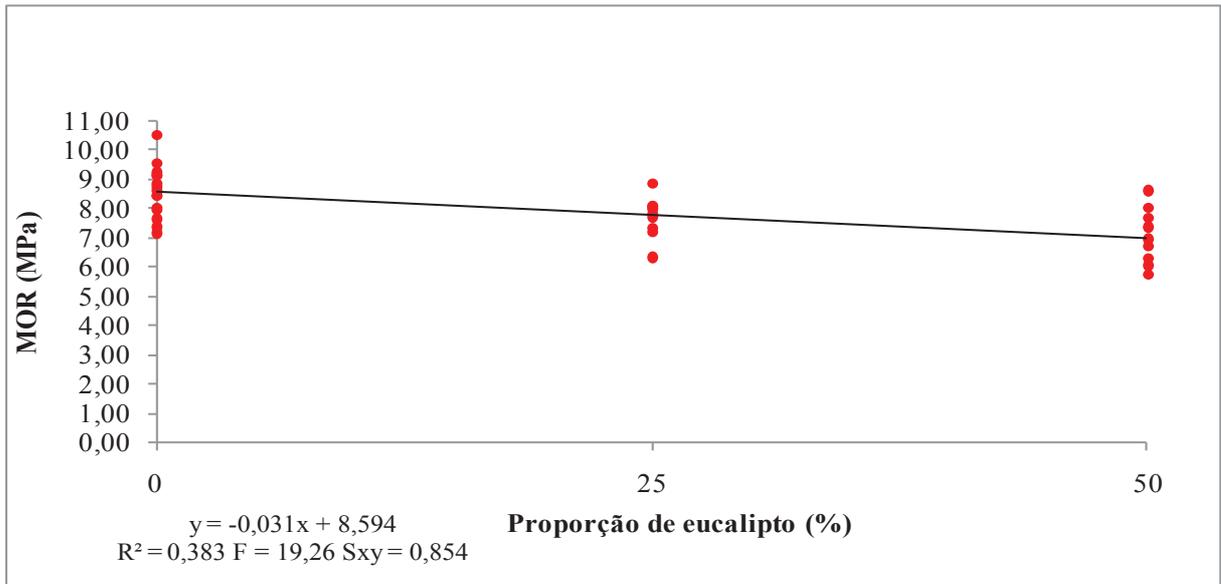
O modelo apresentou regressão significativa em nível de 95% de confiança com  $R^2$  igual a 0,377, evidenciando que o modelo explicou 37,70% da variação dos dados experimentais.



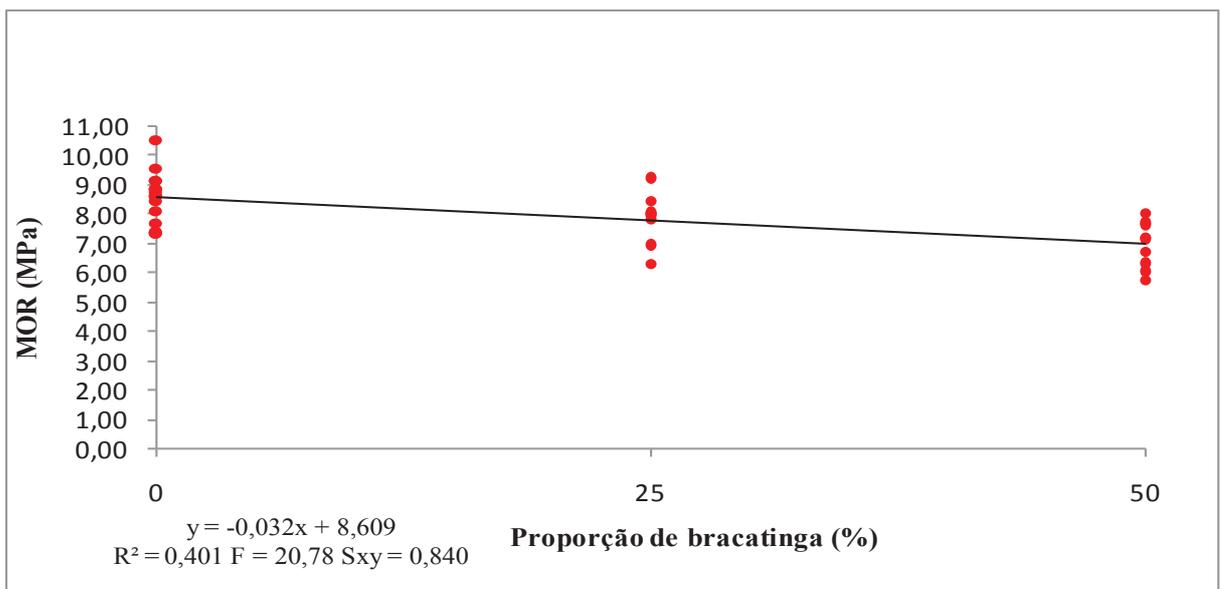
**Figura 12.** Proporção de pinus e sua influência no MOR.

Por outro lado, baixo resultado de módulo de ruptura foi apresentado no tratamento 3, confeccionados com eucalipto e bracatinga, que se apresentou estatisticamente inferior as demais (6,19 MPa), associando o fraco desempenho dessas espécies (Figuras 13 e 14) à ausência de pinus e uva-do-japão.

O modelo também apresentou regressão significativa em nível de 95% de confiança tanto para o eucalipto quanto para a bracatinga. Para a uva-do-Japão, a regressão não foi significativa. Esta espécie pouco influenciou nos valores do MOR.



**Figura 13.** Proporção de eucalipto e sua influência no MOR.



**Figura 14.** Proporção de bracatinga e sua influência no MOR.

Em relação ao tratamento anterior (T4), devido à ausência de uva-do-japão e a elevada proporção de bracatinga (50%) misturada a uma pequena proporção de eucalipto (25%), o tratamento 5 obteve uma média para o módulo de ruptura de 7,09 (MPa), mas não foi diferente estatisticamente, confirmando que a mistura dessas duas espécies (eucalipto e bracatinga) com pinus pode não reduzir o MOR.

Estudando a avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “paricá” e *Cecropia hololeuca* “embaúba” para a produção de painéis aglomerados, Iwakiri *et al.* (2010) encontraram valores superiores para o MOR (12,03 MPa).

Usando ¼ de cada espécie (pinus, eucalipto, bracatinga e uva-do-japão) na confecção dos painéis pertencentes ao tratamento 9, o MOR teve um valor médio de 7,95 (MPa). Não diferindo estatisticamente do tratamento anterior, o tratamento 11 foi confeccionado com 100% de partículas industriais e apontou um valor médio de 8,35 (MPa).

Em seu estudo sobre qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* em três diferentes proporções de uréia-formaldeído (4, 8 e 12%), Dacosta *et al.* (2005) encontraram valores semelhantes para o MOR, confeccionando painéis com dois tipos de resíduos (cavacos e maravalhas), utilizados puros ou misturados. Na proporção de 8% de resina, os valores encontrados para os painéis que utilizaram cavacos foram de 6,44 a 8,17 MPa, maravalhas de 9,02 a 9,41 MPa e na mistura de 50% de cada resíduo, os valores variaram de 7,50 a 8,03 MPa.

Pesquisando sobre a influência de resíduos de serraria, puros ou misturados, provenientes do desdobro de *E. maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis* na produção de painéis de madeira aglomerada, com uma massa específica nominal de 0,75 g/cm<sup>3</sup> e duas proporções de resina uréia-formaldeído (8 e 12%), Iwakiri *et al.* (2000) encontraram valores de MOR que variaram entre 7,27 e 16,02 MPa.

Os valores médios, observados na Tabela 12, para o MOE variaram de 923,61 MPa (T3) a 1417, 51 MPa (T11). Dacosta *et al.* (2005), obtiveram resultados semelhantes ao do presente estudo, valores que variaram entre 1050 a 1159 MPa. Iwakiri *et al.* (2010), utilizando painéis de *Pinus taeda* com massa específica de 0,75 g/cm<sup>3</sup>, obtiveram valores médios para o MOE de 1886, 61 MPa, valor superior ao do presente estudo devido a provável influência da massa específica nominal.

Os painéis produzidos com 100% de pinus Partículas industriais (T11), 50% de pinus em associação com 50% de uva-do-japão (T2) e 50% de eucalipto em mistura com 50% de uva-do-japão (T4), não são estatisticamente diferentes. Porém, esses três tratamentos foram os que obtiveram as maiores médias para os valores de módulo de elasticidade (1417,51 MPa, 1141,04 MPa e 1134,66 MPa, respectivamente).

Os tratamentos 1, 3 e 5 tiveram em sua composição as maiores proporções de bracinga, e as menores médias para o MOE (940,42 MPa, 923,61 MPa e 970,27 MPa, respectivamente).

Hiziroglu *et al.* (2005), estudando a combinação de *Dendrocalamus asper* e *Eucalyptus camaldulensis* na fabricação de painéis aglomerados, produzidos com 8% de uréia-formaldeído e massa específica de 0,75 g/cm<sup>3</sup>, encontraram valores superiores para o MOE quando comparados ao presente estudo. Embora utilizando outras espécies o trabalho confirma que o aumento da massa específica causa o aumento dos valores de MOR e MOE.

Para Roque (1988), madeiras com massa específica considerada elevada produzem uma menor área de partículas, levando a uma redução na quantidade de adesivo a ser aplicada no processo de produção. Segundo o autor, pode ocorrer também menor área de contato entre as partículas, devido ao fato das partículas estarem em menor número para um mesmo peso, resultando em chapas com baixa resistência mecânica. Para isso, recomenda-se aumentar a massa específica da chapa ou a quantidade de adesivo aplicada, fazendo com que a economia de adesivo seja descartada.

### 5.7.2 MOR e MOE dos painéis multicamadas

Os resultados obtidos para o MOR e para o MOE, a partir do ensaio de flexão estática dos painéis em multicamadas são apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13.** Valores médios do MOR e MOE dos painéis multicamadas.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	Mor		Moe	
	Pinus	Eucalipto	Bracinga	Uva-do-Japão		Média (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	CV (%)
T12	50	-	50	-	Multicamada	8,89 ab	12,94	1070,69 c	10,96
T13	50	-	-	50	Multicamada	9,67 a	8,23	1128,01 c	11,75
T14	-	50	50	-	Multicamada	7,33 b	14,61	1029,39 c	12,72
T15	-	50	-	50	Multicamada	9,99 a	17,29	1320,95 b	20,36
T16	100	-	-	-	Multicamada	10,10 a	25,81	1616,54 a	22,79

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; T12 a T16: painéis multicamadas produzidos nas proporções de 0, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T16: Partículas industriais.

Os valores médios para o MOR dos painéis multicamadas variaram de 7,33 MPa (T14) a 10,10 MPa (T16). Verifica-se que o tratamento 16, composto por 100% de partículas industriais não é estatisticamente diferente aos demais, em exceção ao tratamento 14.

Os painéis produzidos com 50% e 100% de pinus em sua composição (tratamentos 12, 13 e 16), não são estatisticamente diferentes. Da mesma forma que verificado painéis homogêneos, verificou-se que os tratamentos 12 e 14, que são os painéis confeccionados com mistura de pinus e bracatinga e de eucalipto e bracatinga respectivamente, apresentaram os menores valores para o MOR. Esse fato confirma a influência negativa da madeira de bracatinga, que pode estar relacionado com a quantidade de extrativos presentes. Os extrativos podem afetar o processo de polimerização do adesivo ou causar problemas de compatibilidade entre as espécies.

Os valores médios para o MOE variaram de 1029,39 MPa (T14) a 1616,54 MPa (T16). Os painéis confeccionados com 50% de partículas de pinus em mistura com 50% de bracatinga, 50% de pinus com 50% de uva-do-japão e 50% de eucalipto com 50% de bracatinga (tratamentos 12, 13, 14) não são estatisticamente diferentes entre si.

Em outra comparação, verifica-se também que não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre as médias do módulo de elasticidade para os tratamentos 15 e 16. Os valores encontrados foram 1320,95 e 1616,54 MPa, respectivamente.

Percebe-se que além da bracatinga, o eucalipto também tem tendência em influenciar de forma negativa o MOR. Por outro lado, para o MOE, mesmo havendo 50% de eucalipto em mistura com a uva-do-japão, o tratamento 15 apresentou a segunda melhor média (1320,95 MPa).

Conforme estudo realizado por Trianoski (2010), referente à avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada, os valores do MOE, a autora encontrou valores que variaram entre 1755,05 a 2528,89 MPa, superiores aos encontrados no presente estudo. Esse resultado pode ser explicado pela espessura da chapa utilizada pela autora superior à do presente estudo.

De acordo com a norma de comercialização da ANSI A 208.1 (1993), para o MOR e MOE dos painéis homogêneos e multicamadas, nenhum dos tratamentos atingiram os valores mínimos.

## 5.8 Tração perpendicular à superfície (ligação interna)

### 5.8.1 Ligação interna dos painéis homogêneos

Na Tabela 14 são apresentados os resultados obtidos a partir do ensaio de tração perpendicular à superfície para os painéis homogêneos.

**Tabela 14.** Valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis homogêneos.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	Ligação interna	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (MPa)	CV (%)
T1	50	-	50	-	Homogêneo	1,01 abc	25,31
T2	50	-	-	50	Homogêneo	0,92 bc	14,27
T3	-	50	50	-	Homogêneo	0,85 c	30,01
T4	-	50	-	50	Homogêneo	0,84 c	11,42
T5	25	25	50	-	Homogêneo	0,89 bc	19,23
T6	25	25	-	50	Homogêneo	1,13 ab	11,66
T7	-	50	25	25	Homogêneo	0,81 cd	18,49
T8	50	-	25	25	Homogêneo	1,13 ab	8,68
T9	25	25	25	25	Homogêneo	0,95 bc	17,06
T10	100	-	-	-	Homogêneo	1,24 a	20,41
T11	100	-	-	-	Homogêneo	0,57 d	15,06

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; T1 a T11: painéis homogêneos (camada única) produzidos nas proporções de 0, 25, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T11: Partículas industriais.

De acordo com a norma de comercialização da ANSI A 208.1 (1993), as chapas de partículas de baixa e de média massa específica (menor que 0,64 e entre 0,64 e 0,80 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente) admitem como valores mínimos requeridos entre 0,15 a 0,40 MPa para os ensaios de resistência à tração perpendicular. Os valores médios para este ensaio variaram de 0,57 MPa (T11) a 1,24 MPa (T10).

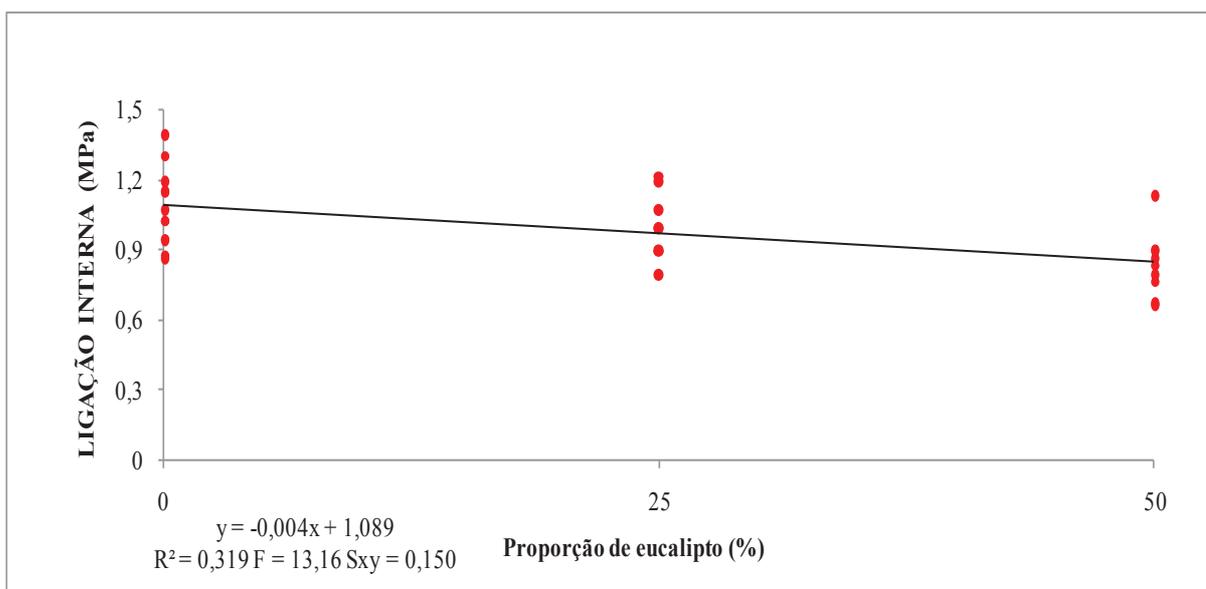
Colli (2007) em sua pesquisa sobre caracterização da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.), apresentou valores médios de resistência à tração de 0,21 MPa utilizando 8% adesivo e 0,14 MPa com 6% de adesivo. Esses valores foram inferiores ao encontrado no presente estudo, o qual foi utilizado 10% de adesivo com base no peso seco das partículas.

Resultado explicado por Brito (1984) e Maciel (2001) que observaram em sua pesquisa que a resistência à tração foi influenciada positivamente pela maior quantidade de adesivo empregada.

Os painéis que tiveram em sua composição a presença de pinus (T1) e (T2) apresentaram os maiores valores (1,01 e 0,92 MPa, respectivamente). Ao substituir eucalipto por pinus (tratamento 3), o valor médio para resistência a tração perpendicular à superfície teve um decréscimo considerável (0,85 MPa), que mesmo não sendo estatisticamente diferentes, mostram uma tendência em diminuir. No tratamento 4, substituindo bracatinga por uva-do-Japão, o valor médio pouco alterou (0,84 MPa), mostrando que essas duas espécies tem pouca tendência em influenciar nos valores médios de resistência a tração perpendicular à superfície.

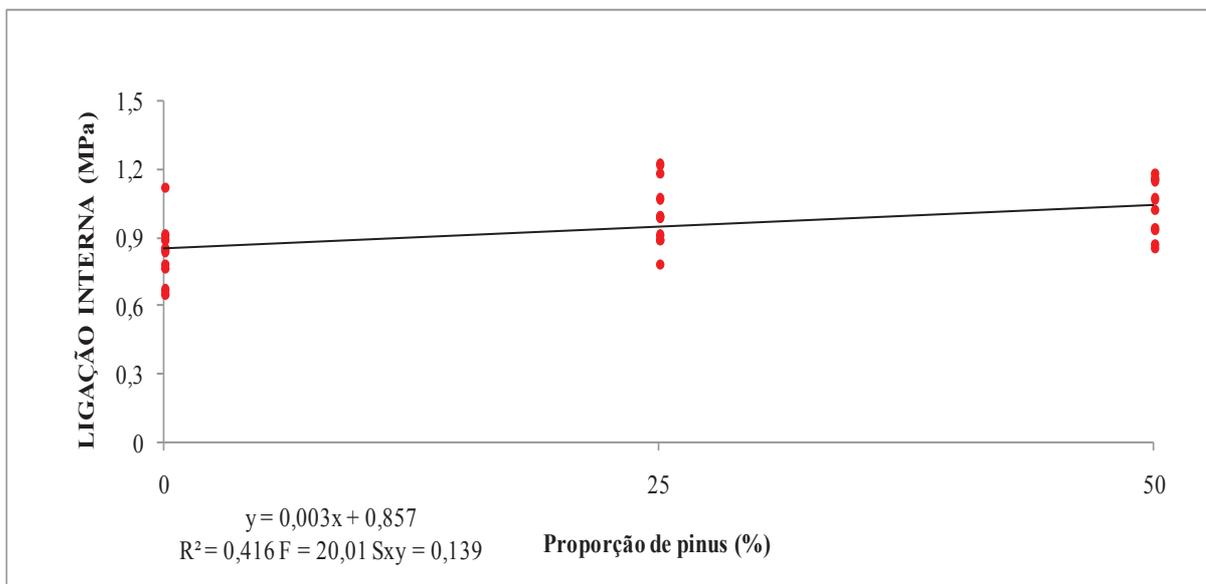
Em outra comparação, os tratamentos 7 e 8 além de não serem estatisticamente diferentes, contêm as mesmas proporções de bracatinga e uva-do-japão (25%), porém suas médias diferem entre si. O primeiro, além da mistura das duas espécies, está associado ao eucalipto em 50%, onde apresentou a segunda menor média (0,81 MPa).

Ao efetuar a troca do eucalipto pelo pinus no tratamento 8, o valor médio subiu para 1,13 MPa, mostrando que a tendência dos corpos-de-prova é de apresentar baixa resistência sob a presença do eucalipto, conforme Figura 15.



**Figura 15.** Influência do eucalipto no ensaio de tração perpendicular à superfície.

Ao reduzir a quantidade de pinus no tratamento 9 (25% de cada espécie), o valor médio diminui 0,95 MPa. A influência do pinus é perceptível no tratamento 10, pois os painéis produzidos com 100% de pinus com partículas laboratorial apresentaram a melhor média para o presente ensaio (1,27 MPa). Essa influência está apresentada na Figura 16.



**Figura 16.** Influência do pinus no ensaio de tração perpendicular à superfície.

A menor média para ligação interna (0,57 MPa) foi encontrada no tratamento 11, no qual foram utilizadas 100% de partículas industriais de pinus. Embora a menor resistência tenha sido apresentada pelos painéis que foram confeccionados com partículas industriais, o valor de 0,57 MPa atendeu os requisitos mínimos sugeridos pela norma ANSI A 208.1 (1993). Este baixo resultado para esta propriedade pode ser justificado pela geometria das partículas, as quais caracterizaram uma maior área superficial específica. O modelo apresentou regressão significativa em nível de 95% de confiança tanto para o eucalipto quanto para o pinus.

Brito (1995) utilizou resíduos (serragem e maravalha) de *Pinus elliottii* oriundos de serraria na fabricação de chapas de partículas aglomeradas e encontrou valores que variaram de 0,32 a 0,58 MPa no ensaio de tração perpendicular à superfície da chapa. Médias que foram inferiores quando comparadas ao presente estudo.

Utilizando a mesma espécie (*Pinus elliottii*), Dacosta (2004) ao produzir chapas aglomeradas a partir de maravalhas, a uma massa específica de 0,60 g/cm<sup>3</sup> com 8 e 12% de

uréia-formaldeído, encontrou 0,20 e 0,22 MPa para ambas proporções de adesivo respectivamente.

A partir de resíduos de serrarias de três espécies de *Eucalyptus* (*E. maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*), com massa específica de 0,75 g/cm<sup>3</sup> e duas proporções de uréia-formaldeído (8 e 12%), Iwakiri *et al.* (2000) encontraram valores que variaram de 0,75 a 1,34 MPa. Apesar das espécies serem distintas e a massa específica nominal ser superior, houve semelhanças entre valores quando comparados ao presente estudo (0,57 a 1,24 MPa).

### 5.8.2 Painéis Multicamadas

Na Tabela 15 são apresentados os valores obtidos a partir do ensaio de tração perpendicular à superfície da chapa para os painéis confeccionados em multicamadas.

**Tabela 15.** Valores médios de tração perpendicular à superfície dos painéis multicamadas.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	Ligação interna	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (MPa)	CV (%)
T12	50	-	50	-	Multicamada	1,04 b	14,69
T13	50	-	-	50	Multicamada	1,28 a	10,43
T14	-	50	50	-	Multicamada	0,92 b	18,74
T15	-	50	-	50	Multicamada	0,99 b	14,99
T16	100	-	-	-	Multicamada	0,55 c	18,14

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; T12 a T16: painéis multicamadas produzidos nas proporções de 0, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T16: Partículas industriais.

Os valores médios para tração perpendicular à superfície da chapa dos painéis produzidos em multicamadas, observados na Tabela 15, variaram de 0,55 a 1,28 MPa. Os painéis confeccionados com 50% de pinus partículas laboratorial (tratamentos 12 e 13), são estatisticamente diferentes. Dentre esses tratamentos, ao efetuar a troca da bracatinga pela uva-do-japão, o valor de resistência aumenta. No tratamento 12 a média atingiu o valor de 1,28 MPa, mostrando a tendência da espécie em melhorar a ligação interna.

Na pesquisa realizada por Trianoski (2010), referente à avaliação do potencial de espécies de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada, a uma massa específica nominal de 0,80 g/ cm<sup>3</sup> e espessura superior, os valores médios encontrados no ensaio de tração perpendicular à superfície para os painéis multicamadas variaram entre 0,69 a 1,22 MPa.

Melo e Del Menezzi (2010) estudando sobre a influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com diferentes massas específicas (0,60, 0,70 e 0,80 g/cm<sup>3</sup>) observaram os valores de 0,28, 0,31 e 0,35 MPa, respectivamente. Com isso, os autores concluíram que, a medida que aumenta a massa específica dos painéis, aumenta também a ligação interna.

Weber (2011) em sua pesquisa sobre o uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para a produção de painéis aglomerados, encontrou valores inferiores ao do presente estudo, cuja variação ocorreu entre 0,26 a 0,56 MPa.

Os painéis produzidos com 100% de pinus Partículas industriais (T16), além de serem estatisticamente diferentes dos demais, apresentaram a menor média (0,55 MPa) entre todos os tratamentos para as duas composições (homogêneos e multicamadas). Uma provável explicação para os painéis multicamadas é que as partículas finas cedidas pela indústria eram de granulometria inferior às produzidas em laboratório. Uma possibilidade de melhorar a resistência nos corpos-de-prova desse tratamento é aumentando a quantidade de adesivo a ser aplicada para as superfícies desses painéis.

Em relação aos requisitos mínimos exigidos pela norma ANSI A 208.1 (1993), no qual o valor mínimo para painéis com massa específica menor que 0,64 g/cm<sup>3</sup> é de 0,15 MPa e painéis com massa específica variando entre 0,64 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> o valor mínimo exigido é de 0,40 MPa, pode-se afirmar que todos os tratamentos (T1 ao T16) apresentaram valores superiores para tração perpendicular, estando em conformidade com a norma americana.

## **5.9 Resistência ao arrancamento de parafuso**

### **5.9.1 Painéis homogêneos**

Os resultados obtidos a partir do ensaio de arrancamento de parafuso dos painéis homogêneos são apresentados na Tabela 16.

De acordo com a norma de comercialização da ANSI A 208.1 (1993), as chapas de partículas de baixa e média massa específica (menor que 0,64 e entre 0,64 e 0,80 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente) admite como valores mínimos requeridos entre 550 a 1000 N para os ensaios de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície, não especificando valores

para topo. Os valores médios para este ensaio variaram de 436,11 (T3) a 628,61 N (T4) para arrancamento de superfície e 464,41 (T3) a 645,39 N (T2) para arrancamento de topo.

**Tabela 16.** Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e topo.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	A. P. Superfície		A. P. Topo	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (N)	CV (%)	Média (N)	CV (%)
T1	50	-	50	-	Homogêneo	551,01 ab	16,51	510,05 a	30,59
T2	50	-	-	50	Homogêneo	590,81 ab	37,44	645,39 a	16,03
T3	-	50	50	-	Homogêneo	436,11 c	29,89	464,41 a	14,71
T4	-	50	-	50	Homogêneo	628,61 a	21,20	576,39 a	26,18
T5	25	25	50	-	Homogêneo	529,52 ab	16,16	549,38 a	21,34
T6	25	25	-	50	Homogêneo	573,49 ab	22,79	614,02 a	40,72
T7	-	50	25	25	Homogêneo	589,64 ab	15,03	538,02 a	40,77
T8	50	-	25	25	Homogêneo	582,09 ab	8,50	618,17 a	23,60
T9	25	25	25	25	Homogêneo	612,49 ab	19,87	564,44 a	18,96
T10	100	-	-	-	Homogêneo	605,56 ab	22,84	586,11 a	35,55
T11	100	-	-	-	Homogêneo	459,93 ab	16,37	474,18 a	25,26

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; T1 a T11: painéis homogêneos produzidos nas proporções de 0, 25, 50 e 100%, conforme delineamento experimental. T11: Partículas industriais.

Entre os tratamentos dos painéis homogêneos, para arrancamento de parafuso na superfície, foram encontradas diferenças estatísticas significativas, demonstrando que as diferentes misturas de espécies e suas respectivas proporções alteraram os resultados desta propriedade. O tratamento 4 apresentou o maior valor nominal, mas só diferiu estatisticamente do tratamento 3. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários que variaram de 459,93 a 612,49 N. Em relação ao arrancamento de parafusos no topo não houve diferenças significativas, portanto, as diferentes misturas e proporções não tiveram influência nesta propriedade.

Em seu trabalho sobre o uso de resíduos de alguns painéis como compensados, MDF e MDP na fabricação de chapas de partículas aglomeradas com massa específica nominal superior (0,80 g/cm<sup>3</sup>), Weber (2011) encontrou valores que variaram entre 723,73 a 1200,12 N para o ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície.

Utilizando *Eucalyptus grandis* para a confecção de aglomerados, Melo e Del Menezzi (2010) observaram para o arrancamento de parafuso que os valores médios foram 710, 891,03 e 965,95 N para 0,60, 0,70, 0,80 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Os valores aqui apresentados podem ser explicados por Dacosta (2004), que em painéis constituídos por maravalhas de *Pinus elliottii* com massa específica de 0,60 g/cm<sup>3</sup> e 8% de adesivo, observou uma média de 539,36 N. A autora afirma que os painéis produzidos a partir de maravalhas apresentaram resultados inferiores do que em painéis feitos de partículas de madeira roliça. A provável explicação se deve ao fato que, durante o processo de produção de maravalhas na plaina, tenha ocorrido o enfraquecimento da madeira originando partículas de menor resistência, e conseqüentemente, corpos-de-prova menos resistentes ao arrancamento de parafuso.

Trianoski (2010) avaliando o potencial de espécies florestais alternativas em associação com *Pinus taeda* para a fabricação de aglomerados observou para painéis homogêneos e massa específica de 0,80 g/cm<sup>3</sup>, valores que variaram de 735,20 a 2005,85 N. Os valores encontrados pela autora foram todos superiores quando comparados aos do presente estudo. Dacosta (2004), afirma que com o aumento da massa específica e do teor de adesivo, a resistência ao arrancamento de parafusos das chapas aumenta.

### 5.9.2 Painéis multicamadas

Os resultados obtidos a partir do ensaio de arrancamento de parafuso dos painéis multicamadas são apresentados na tabela 17.

**Tabela 17.** Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e no topo dos painéis multicamadas.

Tratamentos	Proporção de cada espécie (%)				Composição	A. P. Superfície		A. P. Topo	
	Pinus	Eucalipto	Bracatinga	Uva-do-Japão		Média (N)	CV (%)	Média (N)	CV (%)
T12	50	-	50	-	Multicamada	675,68 a	16,48	539,09 ab	26,71
T13	50	-	-	50	Multicamada	810,81 a	24,16	676,79 a	27,44
T14	-	50	50	-	Multicamada	634,41 a	24,05	511,32 ab	38,41
T15	-	50	-	50	Multicamada	766,79 a	25,87	576,93 ab	26,78
T16	100	-	-	-	Multicamada	664,02 a	30,49	414,48 b	31,07

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se que a análise de variância demonstrou a inexistência de diferença estatística entre os tratamentos submetidos ao ensaio de arrancamento de parafusos na superfície, cujos valores variaram de 634,14 a 810,81 N. Para o arrancamento de parafuso no

topo foram encontradas diferenças significativas. A melhor média (676,79 N) foi apresentada pelo tratamento 13 (pinus e uva-do-japão) e a menor, no tratamento 16 (414,48 N). Os demais tratamentos (12, 14 e 15) apresentaram valores intermediários, variando entre 511,32 a 576,93 N.

De modo geral, a mistura de madeira de diferentes espécies e suas proporções, não apresentaram influência na resistência ao arrancamento de parafusos na superfície dos painéis homogêneos e no topo dos painéis multicamadas. De acordo com Trianoski (2010), a superfície tem certa tendência em apresentar os maiores resultados de resistência, devido principalmente ao gradiente de massa específica formado durante o processo de prensagem e no ensaio de topo, o parafuso está localizado exclusivamente no centro do painel, local de menor densificação.

Nota-se que os valores encontrados no presente estudo, na maioria das vezes, foram inferiores para este ensaio, em relação aos observados em outros trabalhos. Isso pode ter ocorrido devido ao fato da espessura das partículas serem relativamente mais finas, originando baixos valores de resistência ao arrancamento de parafuso.

### 5.10 Análise fatorial para as propriedades mecânicas

A Tabela 18 apresenta a análise de variância dos painéis homogêneos (T1 a T4) e painéis multicamadas (T12 a T15) em função das composições (camadas) e das misturas para os ensaios de flexão estática, tração perpendicular à superfície e arrancamento de parafuso.

**Tabela 18.** Quadro comparativo para as propriedades mecânicas entre painéis homogêneos e painéis multicamadas em função das camadas e tipos de misturas.

Fatores	Camadas	Composição	Flexão estática (Médias)		T. Perpendicular (médias)	Arrancamento de parafusos	
			Mor (MPa)	Moe (MPa)	Ligação interna (MPa)	Superfície (N)	Topo (N)
1	1	Homogêneo	7,69 b	1034,93 b	0,91 b	551,60 b	549,16 a
	2	Multicamadas	8,97 a	1137,25 a	1,06 a	717,09 a	576,01 a
	Misturas	Proporção (%)					
2	1 (T1 e T12)	50 P + 50 B	8,25 a	1005,55 bc	1,03 ab	613,33 ab	524,76 b
	2 (T2 e T13)	50 P + 50 U J	9,38 a	1134,52 ab	1,10 a	700,79 a	661,10 a
	3 (T3 e T14)	50 E + 50 B	6,76 b	976,51 c	0,89 b	535,26 b	487,81 b
	4 (T4 e T15)	50 E + 50 U J	8,94 a	1227,80 a	0,91 b	697,68 a	576,65 ab

Notas: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; P: Pinus; E: Eucalipto; B: Bracatinga; UJ: Uva-do-Japão.

### 5.10.1 Resistência a flexão estática – MOR e MOE

Com relação ao fator 1 (composição das chapas), houve diferença significativa no quesito camadas tanto para o MOR quanto para o MOE. As médias para MOR e MOE foram maiores para os painéis multicamadas. O MOR alcançou a uma média de 7,69 MPa para painéis homogêneos e 8,97 MPa para painéis confeccionados em camadas. O fator 2 (misturas) também apresentou diferença estatística significativa entre as médias.

A mistura 2 (pinus e uva-do-japão) apontou a maior média de MOR (9,38 MPa), enquanto a mistura 1 (50% de pinus e 50% bracatinga) teve a média de 8,25 MPa, não apresentando diferenças estatística significativa.

Os painéis que foram confeccionados com 50% de partículas de eucalipto em associação com 50% de partículas de bracatinga (mistura 3), obtiveram a menor média de MOR (6,76 MPa), enquanto a mistura 4 (50% eucalipto e 50% uva-do-japão), alcançou a média de 8,94 MPa, apresentando diferenças significativas em relação a mistura anterior.

A análise fatorial está de acordo com as análises realizadas para painéis homogêneos e para painéis multicamadas separadamente, comprovando a influência negativa do uso de madeira de bracatinga no MOR (Figura 14 – pg. 54), além de mostrar a tendência da madeira de uva-do-japão em melhorar o valor médio desta propriedade, em especial quando em mistura com o eucalipto (Tabela 12 – pg. 52 e Tabela 13 – pg. 58).

Para o MOE do fator 1 (composição da chapa), também houve diferenças significativas. Neste quesito, o valor médio do MOE foi maior para os painéis multicamadas (1137,25 MPa), enquanto o MOE para painéis homogêneos teve a média de 1034,93 MPa.

Dentre as quatro misturas, o tratamento 4 (eucalipto e uva-do-japão) não apresentou diferença da média da mistura 2 (pinus e uva-do-japão), 1227,80 e 1134,52 MPa, respectivamente. A mistura 3 (eucalipto e bracatinga), apresentou a menor média (976,51 MPa), não havendo diferenças significativas quando comparadas à mistura 1.

Em pesquisa sobre painéis homogêneos de *Dendrocalamus giganteus*, Valarelli *et al.* (2010) confeccionaram chapas com 6, 8, 10 e 12% de adesivo, obtendo respectivamente, 5,27, 6,21, 8,38 e 8,55 MPa para o MOR e 1124, 1256, 1621 e 1682 MPa para o MOE. Os autores afirmaram que mesmo aumentando os teores de adesivo, os painéis não apresentaram os valores mínimos exigidos pela norma ANSI A 208.1 (1993).

Na comparação entre os painéis homogêneos e painéis multicamadas, pôde-se observar que as maiores médias foram dos painéis confeccionados em multicamadas. Provavelmente, os maiores valores médios de MOR e MOE observados para painéis multicamadas em relação aos painéis homogêneos são devido ao maior teor de adesivo usado nas camadas superficiais e ao gradiente de massa específica que se forma ao longo da espessura da chapa, com maior densificação das camadas superficiais. Esse fato mostra que um aumento do teor de adesivo compensa o efeito negativo nessa propriedade do uso de partículas menores na chapa e pode até melhorar a resistência à flexão estática.

Na comparação entre misturas, da mesma forma para o MOR, a análise fatorial do MOE comprovou as observações das análises dos painéis homogêneos e multicamadas separadamente. Novamente, verifica-se a tendência que a uva-do-japão (Figura 16 – pg. 56) tem em melhorar a resistência á flexão estática. Seja misturada ao pinus ou ao eucalipto, esta espécie eleva os valores ao substituir a bracatinga no tratamento.

### **5.10.2 Tração perpendicular à superfície (ligação interna)**

Com relação ao fator 1 (composição da chapa), houve diferença significativa no quesito camadas para o ensaio de ligação interna. A média apresentada nos painéis multicamadas (1,06 MPa) foram superiores aos painéis homogêneos (0,91 MPa), isso mostra que os corpos-de-prova dos painéis confeccionados em camadas possuem melhor resistência para este ensaio que os painéis produzidos com uma camada. Da mesma forma que para o MOR e MOE, este fato deve estar relacionado ao maior teor de adesivo usado nas camadas externas das chapas.

Com relação às misturas (fator 2), a mistura 1 (pinus e eucalipto), não foi estatisticamente diferente da mistura 2 (pinus e uva-do-japão). Na confecção de painéis de partículas aglomeradas de *Pinus taeda* em associação com espécies de rápido crescimento (*Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *grevillea robusta*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*), Trianoski (2010) observou para o ensaio de tração perpendicular à superfície (ligação interna) dos painéis multicamadas que os valores variaram entre 0,83 a 1,19 MPa.

A mistura de eucalipto e bracatinga (tratamento 3) apresentou-se inferior com uma média de 0,89 MPa, sendo estatisticamente diferente da mistura 2, porém não diferente da mistura 4. A análise fatorial reforça a tendência verificada nas análises individuais, dos

painéis homogêneos e multicamadas. Da mesma forma que no MOR e MOE, verifica-se que o aumento da proporção de madeira de uva-do-japão tende a melhorar a Ligação Interna dos painéis. Por outro lado, enquanto no MOR e MOE a madeira de eucalipto apresentou bom desempenho quando em associação com madeira de uva-do-japão, na Ligação interna esse desempenho parece ter sido suplantado pela madeira de pinus. A influência das madeiras de pinus e eucalipto na Ligação Interna estão bem representadas nas Figuras 18 e 19. Provavelmente, a influência negativa do eucalipto nessa propriedade esteja relacionada às dificuldades de colagem da madeira desse gênero.

Os valores apresentados no ensaio de tração perpendicular à superfície da chapa foram superiores aos exigidos pela norma ANSI A 208.1 (1993), e em muitos casos, aos demais trabalhos encontrados na literatura.

### **5.10.3 Resistência ao arrancamento de parafuso**

No fator 1 (composição da chapa), os painéis homogêneos são estatisticamente diferentes dos painéis confeccionados em camadas. Este último apresentou-se mais resistente para o ensaio de arrancamento de parafuso na superfície, alcançando uma média de 717,09 N, enquanto para o fator composição homogênea, observou-se uma média inferior de 551,60 N.

Esse fato é explicado pela forma de composição da chapa e também pelo maior teor de adesivo das camadas superficiais dos painéis multicamadas. Assim, para arrancamento de parafuso na superfície da chapa, a influência do maior teor de adesivo e da maior densificação das camadas externas dos painéis multicamadas se reflete nos maiores valores médios de resistência. Por outro lado, no arrancamento de parafuso de topo, esse é colocado no centro da espessura da chapa, onde não existe diferenças entre as partículas das duas composições de chapa e, conseqüentemente, não existem diferenças no teor de adesivo e na densificação.

Com relação ao fator 2, as misturas são estatisticamente diferentes, significando que as associações de espécies e suas respectivas proporções foram significativas para este ensaio mecânico. A análise fatorial complementa as análises individuais realizadas para painéis homogêneos e multicamadas, onde na análise dos painéis homogêneos verificou-se diferença entre as misturas para o ensaio de superfície (Tabela 16 – pg. 64) e para os painéis multicamadas no ensaio de topo (Tabela 17 – pg. 66). Os painéis confeccionados a partir da mistura entre pinus e uva-do-japão e eucalipto e uva-do-japão obtiveram o melhor

desempenho de resistência ao arrancamento de parafuso. Por outro lado, as misturas que envolveram a bracatinga, apresentaram o pior desempenho.

Na análise geral das propriedades mecânicas, pôde-se observar que os painéis multicamadas foram superiores. Com relação às misturas de espécies, a mistura de pinus e uva-do-japão na proporção de 50% cada foram superiores em todos os requisitos, exceto para o MOE da mistura 4, que não foi estatisticamente diferente da melhor média de MOE.

## 6 CONCLUSÕES

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

- Para AB2 e AB24 dos painéis homogêneos, a madeira de eucalipto teve o melhor comportamento, apresentando médias menores. A uva-do-japão e a bracatinga pouco influenciaram nessas propriedades. Já a madeira de pinus apresentou tendência em absorver mais água. Nos painéis multicamadas, as espécies tiveram comportamento semelhante ao apresentado para painéis homogêneos, exceto a bracatinga que teve uma maior influência negativa na AB2 e AB24.
- No IE2 dos painéis homogêneos, a espécie que teve o melhor comportamento foi o eucalipto. Para IE24, foram apresentadas poucas diferenças estatísticas, não estabelecendo um padrão de variação em função da espécie. Nos painéis multicamadas, a madeira de eucalipto apresentou bom desempenho e quando misturadas á uva-do-japão, a tendência é melhorar a resistência dos painéis.
- Na flexão estática (MOR e MOE) e na ligação interna, todas as análises mostraram que as madeiras de pinus e uva-do-japão apresentaram bom desempenho. Por outro lado, as madeiras de bracatinga e eucalipto, apresentaram tendência em diminuir a resistência dos corpos-de-prova.
- Para o arrancamento de parafusos (superfície e topo) o comportamento foi melhor nas misturas entre pinus e uva-do-japão e pior nas misturas entre eucalipto e bracatinga.
- Na comparação entre a composição dos painéis (homogêneos ou multicamadas), os ensaios físicos mostraram que os painéis apresentaram desempenho semelhantes. Para as propriedades mecânicas, os painéis multicamadas tiveram melhor desempenho que os painéis homogêneos, com exceção do arrancamento de parafuso no topo. O melhor desempenho dos painéis foi atribuído ao maior teor de adesivo usado nas camadas externas desses painéis.
- As madeiras das espécies de bracatinga e uva-do-japão, ainda não utilizadas em escala industrial, foram consideradas adequadas para a fabricação de painéis aglomerados quando em misturas com espécies de menor massa específica. Foi comprovada a viabilidade de uso da madeira uva-do-japão na fabricação de painéis aglomerados.

## 7 RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados e conclusões obtidos neste trabalho são feitas as seguintes recomendações:

- Avaliar a viabilidade de uso da madeira de uva-do-japão para a produção de outros painéis de madeira reconstituída, como compensados, OSB, MDF e EGP, tendo em vista os bons resultados obtidos com aglomerados.
- Incentivar o plantio desta espécie em larga escala na forma de reflorestamentos, uma vez que, a mesma possui rápido crescimento e seus painéis apresentaram boas propriedades.
- Testar o uso de maior teor de adesivo nos painéis homogêneos e na camada interna dos painéis multicamadas, ou alterar o processo de produção de partículas eliminando o uso da plaina, com o objetivo de aumentar os valores médios de MOR e MOE e atender os padrões de qualidade internacionais.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/meioambiente.php>> Acesso em: 25/11/2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810 - 1** - Chapas de madeira aglomerada, Rio de Janeiro, 2001. 32 p.

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF, ano 2006**. ABRAF: Brasília, 2007, 80 p.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard definitions of terms relating to wood-base fiber particle panel materials**. Philadelphia: ASTM D 1554. 1986.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**, D 1037 – 93. Philadelphia, PA. 1995.

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **Particleboards**, ANSI A 208.1. New York, 1993.

AKERS, L.E. **Particleboard and hardboard**. London: Balckie, 1966. v.4, 172 p.

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2002.

ALBUQUERQUE, C. E. et al. Otimização do tempo de prensagem em aglomerados por monitoramento em tempo real do colchão de partículas. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2.º SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS, 1.º, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. p.68.

ALMEIDA, A. L. A. de.; VALARELLI, I. D.; LIMA, F. L. S.; BATISTELLE, R. A. G. **Avaliação das propriedades físicas das chapas homogêneas compostas de bambu e pinus utilizando resina poliuretana a base de mamona**. In: Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeira, 11, 2008, Londrina/PR. **Anais...** Londrina: EBRAMEM, 2008. 12 p.

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais waferboard**. 1984. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* plantado no Sul de Brasil**. 1995. 123 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BRITO, E. O.; PEIXOTO, G. L. Avaliação da granulometria das partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Revista Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 60-67, janeiro/dezembro 2000.

BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSITH, C. C. **Textbook of wood technology**. New York: McGrawhill, 1952. 2v.

BRONWING, B. L. **The Chemistry of Wood**. New York, Interscience, 1963.

CABRAL, C. P. *et al.* **Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp e *Pinus elliottii***, Revista *Árvore*, vol.31 no.5 Viçosa, 2007.

CARLYLE, A. A.; MCGEE. L. B. MCLEAN. R. A. **Wood particle board handbook**. Raleigh. North Caroline University Press, 1956. 303 p.

CARNOS, B. **Madeira aglomerada: conceito e utilização**. Porto Alegre: Sagra 1998. 118p.

CARNEIRO, A. de C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U.; CARVALHO, A. M. M. adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. **Revista *Árvore***, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.521-531, 2009.

CARVALHO, P. E. R. **Ecologia, silvicultura e usos da uva-do-japão**. EMBRAPA, circular técnico nº 23, Colombo/PR, outubro, 1994.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa informações Tecnológicas. Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

COLLI, A. **Caracterização da madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e Propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)**, Viçosa, 2007. 64p. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa.

CONTRERAS M. OWEN de C., D. GARAY, Y., CONTRERAS. 1.999. Elaboración de tableros aglomerados de partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo urea – formaldehído. **Revista Forestal Venezolana**. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. 43 (2): 129 – 135.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas aglomeradas**. 2004. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. **Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 3/4, p. 311-322, set. 2005.

DEL MENEZZI, C. H. S., SOUZA, M. R., GONÇALEZ, J. C. Fabricação e avaliação tecnológica da chapa aglomerada de mistura de *Eucalyptus urophylla* T. S. Blake e *Pinus oocarpa* Schiede. **Revista Árvore**. v. 20, n. 3, p. 371-379, 1996.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes massa específicas e teores de resina**. 2000. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

FAO. Tableros de fibra y tableros de madera aglomerad Roma. FAO, 1959. 212 p.

FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, v.47, p.1-30, 1979. Disponível em: < <http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/> >. Acesso em: 22 Março 2011.

FILHO, M. T. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **Ipef**, Piracicaba-SP, n.29, p. 25-36, 1985.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: Wood as an engineering material. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999, 463 p.

GARAY, D. A.; DURAN, J. A.; MORENO, P. A. Tableros aglomerados de partículas a partir de las especies teca y melina. **Revista Forestal Venezolana**.. n.45, 2. p.205-212, 2001.

GERMAN STANDARDS COMMITTEE. **DIN 68761 (1)-1961 (3)**. Deutschen Normenausschuss. Specifications for particleboards. Holtz, 1971.

GINZEL, W.; PERAZA, C. **Tecnologia de tableros de partículas**. Madrid: Instituto Florestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187 p.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e de três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB, **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.365-370, 2003.

HASELEIN, C. R.; VITAL, B. R. ; DELLALUCIA, R. M. Fabricação de chapas de aglomerado com madeiras de (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) e de embaúba (*Cecropia* sp). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 134-145, 1989.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e embaúba (*Cecropia* sp.)**. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1989.

HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; BERGER, R.; ELEOTÉRIO, J. R.; SCHEREEN, L. Resistência à flexão de alguns painéis aglomerados comercializados no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 1, p. 195-200, 2001.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HASELEIN, C. R.; PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira II: parte I**. Santa Maria: Imprensa Universitária. 2003. 82 p.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; IWAKIRI, S. **Modelagem de mistura de três espécies de madeiras na fabricação de chapas estruturais**. Floresta (UFPR), Curitiba, v. 33, n. 3, p. 311 – 320, 2003.

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

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

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production**. Adelaide: CSIRO, 1978: 434 P.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V.; BAUCHONGKOL, P.; SOONTONBURA, W.; DARAPAK, T. 2005. Properties of bamboo - rice straw - eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal** 55 (12): 221-225.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. The influence of particle composition in a three-layer particleboard on its physical and mechanical properties. **Journal of Forest Science**, v.49, n.2, p.83-93, 2003.

IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, Da SILVA D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J. ; FOFANO JUNIOR, A. ;FABROWSKI, F. ; TORREÃO, M. . Produção de chapas de partículas de madeira de aglomerada *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*. **Agrárias**, Universidade Federal do Paraná, CURITIBA, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.

IWAKIRI S.; PEREIRA, S. J.; NISGOSKI, S. Influência da umidade, pressão e tempo de prensagem na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada. **Agrárias**, Curitiba. v.18. n.1-2. p.29-36 , 1999.

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

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados da alta densificação com o uso de resina melanina-uréia-formaldeído, **Cerne**, Lavras, v.11, n.4, p. 323-328, out/dez. 2005.

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

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

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. **Revista Acta Amazonica**, Vol. 40 n. 2, p. 303-308, 2010.

IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. do C. O.; GUI SANTES, DE PRADO. F.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resina. **Scientia Forestalis (IPEF)**, ESALQ/USP - Piracicaba - SP, v. 68, p. 39-43, 2005.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. R. M.; MATOSKI, S. L. S.; LEONHARDT, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, UFRRJ - RIO DE JANEIRO- RJ, v. 8, n. 1, p. 137-142, 2001.

JANKOWSKI, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **IPEF**, n. 18, p. 1-33, 1979.

KOCH, P. **Wood machining processes**. New York: The Ronald Press, 1964. 530 p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, v.2, 1975. 703 p.

LIMA, C.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**, vol. 1, 4 ed., Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.

LYNAM, F. C. Factors influencing the properties of wood chipboard. In: MITLIN, L. Particleboard manufacture and applications. **Presmedia Books**, UK: 1969. p.145-149.

MACEDO, Angela Regina Pires Macedo; ROQUE, Carlos Alberto Lourenço Roque. **Painéis de madeira**. Rio de Janeiro: BNDES, setorial n.6, p.117-132, set. 1997.

MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato.** 2001, 115p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

MACIEL, A. S.; VITAL, B. R.; DELLA LÚCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Propriedades de painéis fabricados com madeira e plástico. **Revista da madeira**, Curitiba, n.88, p.68-71. 2005.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Ficha das características das Madeiras Brasileiras.** Instituto de pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeira, São Paulo, 1989.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard.** San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681p.

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

MATTOS, R. L. G. GONÇALVES, R. M. CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas.** BNDES setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MCREDIE, W. H. Formaldehyde emissions from UF particleboard voluntary standards vs. EPA regulation. In: INTERNATIONAL PARTICLES/COMPOSITE MATERIAL SYMPOSIUM WSU. 26., 1992, local. **PROCEEDINGS 26 TH.** Local, 1992. p.115-123.

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 uréia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.40, n.3, p. 497-506, jul/set. 2009.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C.; STANGERLIN, D. M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal** 19(4): 449-460, 2009.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. . Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v. 18, p. 59-73, 2010.

MENDES, M. L. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** 2001. 156p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

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

MOTTET, A. L. The particle geometry factor. In: MALONEY, T. WSU PARTICLEBOARD SYMPOSIUM, 1., 1967., **Proceedings...** Washington: Pullmann, 1967.p.189-195.

NAPOLI, L. M.; SANCHES, F. L. HILLIG, É. Análise da massa específica básica de árvores de diferentes espécies para produção de chapas de partículas aglomeradas. In: Semana da Integração Ensino, Pesquisa e Extensão, 2011, Irati. **Resumos.** Anais da II SIEPE - Semana de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão, 2011.

OLIVEIRA, F. V. & VITAL, B. R. Propriedades de compósitos fabricados com partículas de madeira de eucalipto, poliestireno (ps) e polietileno tereftalato (pet). **Revista da madeira**, Curitiba, n.89, p.32-42. 2005.

PASSOS, P. R. A. **Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: Obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose**. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

PIZZI, A. Natural Phenolic adhesive I: Tannin. In: **Handbook of adhesive technology**. Marcel Dekker, New York, 347-358, 1994.

REITZ, R. *et al.* **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Corag, 1988.

ROFFAEL, E.; SCHNEIDER, A. Untersuchungen über den Einflub von Kochsalz als Bindemittelzusatz auf Eigenschaften von Spanplatten. **Holz-Zentralblatt** 109 (103): 1414-1415. 1983.

ROQUE, C. A. L. **Painéis de Madeira Aglomerada: Set805.doc**. Disponível em: <[www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br)>. Acesso em: 02/12/2011.

SAKA, S. Structure and Chemical composition of Wood as a natural composite material. Recent Research on Wood and Wood based materials. **Current Japanese Materials Research**, v. 11, 1993, p. 1-20.

SANCHES, F. L. Fotos coletadas durante o desenvolvimento da dissertação, 2010 e 2011.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.

SERPA, P. N.; VITAL, R. B.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. A. Avaliação de algumas propriedades de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p. 723-733, 2003.

SHIMIZU, J Y, **Pinus na silvicultura brasileira**. Portal Ambiente Brasil, 2005. ([Artigo Técnico](#))

TRIANOSKI, R. **Avaliação do Potencial de Espécies Florestais Alternativas, de Rápido Crescimento, para Produção de Painéis de Madeira Aglomerada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Washington: U. S. Government Printing Office, 1999. 466 p.

VALARELLI, I. D.; BATTISTELLE R. A. G.; SAMPAIO, R. M. Chapa aglomerada homogênea de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*: análise da resistência a flexão quando da adição de folha caulinar. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA LONDRINA, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008. Disponível em: <<http://www.ebramem.expertu.com.br>>. Acesso em: 13 dez. 2011.

VIGNOTE P., S.; JIMÉNEZ P. F. J. **Tecnología de la madera**. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 602 p. 1996.

VITAL B. R., HASELEIN C. R., DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Arvore**, Viçosa. v.16, n.1, p.88-96, 1992.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood**. Madison, 1973. 111 p. Thesis (Master of Science - Forestry) - University of Wisconsin.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da massa específica da madeira**. Viçosa-MG: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 2).

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. de C. O.; PIMENTA. A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.571-582, 2004.

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

WEBER, C. **Estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDP e MDF para a produção de painéis aglomerados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WIKIPÉDIA COMMONS (2009) – Mapa do Estado do Paraná. Disponível em <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Irati\\_\(Paraná\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Irati_(Paraná))>. Acesso em: 03/10/2011.