ALEXANDRE DE LUNA PEDROSA

DESEMPENHO ESTRUTURAL DE VIGAS "I" CONSTITUÍDAS POR PLP E COMPENSADO DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* Maiden E OSB DE *Pinus* spp.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de "Mestre em Ciências Florestais".

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA

2003

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 536

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Alexandre de Luna Pedrosa* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "***Desempenho estrutural de vigas "I" constituídas por PLP e compensado de Pinus taeda L. e Eucalyptus dunnii Maiden e OSB de Pinus spp***", é de parecer favorável à *APROVAÇÃO* do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS.

Dr. Paulo Fernando Trugilho
Universidade Federal de Lavras
Primeiro examinador

Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

Dr. Setsuo Iwakiri
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 03 de dezembro de 2003.

Franklin Galvão
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III - CEP 80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360-4212 - Fax. (41) 360-4211 - http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - U.F.P.R. - Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal - MESTRADO DOUTORADO - Setor de Ciências Agrárias

A meus avós,

Luiz Umberto de Luna Pedrosa,

Iclea Hyuda de Luna Pedrosa,

Ney Pacheco, e

Maria de Lourdes Macedo Pacheco.

A meus pais,

Mario Hyuda de Luna Pedrosa, e

Maria Aparecida de Luna Pedrosa.

A minhas irmãs,

Pollyana de Luna Pedrosa, e

Andrea de Luna Pedrosa.

A meus familiares e amigos presentes em minha formação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Setsuo Iwakiri, pela orientação, oportunidade, crença e estímulo.

Ao Professor Jorge Monteiro de Matos, pela co-orientação, sugestões e prontidão para meu auxílio.

Ao Professor Márcio Pereira da Rocha, pela co-orientação, estímulo, aconselhamento e amizade.

À empresa Battistella, na pessoa do Senhor Gilberto Battistella, pela constante instrução, sugestões e prontidão no fornecimento do Pinus e apoio incondicional na produção e logística do material.

Aos Senhores Edmilson e Euclídes por todo o acompanhamento e serviços junto à produção do PLP e Compensado na empresa Battistella.

À empresa Madeiras EK, na pessoa do Senhor Amauri, pelo fornecimento do Eucalipto.

À empresa Borden, na pessoa do Senhor Mario de Andrade, pelo auxílio com as questões técnicas sobre o adesivo e pelo fornecimento da resorcina-formaldeído.

Ao Engenheiro André Morais da Silva, da empresa MASISA, pelo interesse, disposição, sugestões na idealização do projeto e fornecimento do OSB.

Aos funcionários Ademir Cavalli, Gilnei Machado, Vitor Herrera, Antônio Perin e ao colega José Guilherme Prata.

Ao Professor Ricardo Klitzke pelas sugestões e orientações para obtenção dos dados coletados.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

Ao Senhor Dorival Zotz, pela compreensão e amizade e fornecimento de material para fabricação das Vigas.

A Gerson Issao Yasumoto e Gustavo Mussi Agusto, da empresa A Confraria Ltda, pela ajuda com o material das Vigas.

A Mariana Smanhotto Schuchovski e Família, pelo grande incentivo durante todo o trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS ix
LISTA DE FIGURAS xi
RESUMO xiii
ABSTRACT xiv
1 INTRODUÇÃO 1
1.1 OBJETIVOS 3
1.1.1 Geral 3
1.1.2 Específicos 3
2 REVISÃO DE LITERATURA 4
2.1 O USO DA MADEIRA EM PRODUTOS ENGENHEIRADOS 4
2.1.1 Aspectos gerais 4
2.1.2 Teoria da Ação de Sustentação ("Suporting Action") 6
2.2 AS VIGAS "I" 6
2.2.1 Aspectos gerais 6
2.2.2 Aspectos técnicos e vantagens na produção e utilização 7
2.2.3 Padronização das Vigas "I" 9
2.3 AS FLANGES 10
2.4 A ALMA 10
2.5 O PAINEL DE LÂMINAS PARALELAS 12
2.5.1 Aspectos gerais 12
2.5.2 Vantagens dos Painéis de Lâminas Paralelas 12
2.5.3 Aspectos técnicos da produção e usos do PLP 13
2.6 O COMPENSADO 14
2.6.1 Aspectos gerais 14
2.6.2 Aspectos técnicos e de fabricação 15
2.6.3 Compensado em estruturas 17
2.7 O PAINEL "OSB" 18
2.7.1 Aspectos gerais 18
2.7.2 Parâmetros de produção 18
2.7.3 Aspectos técnicos e usos do "OSB" 19
2.8 A MADEIRA DO *Pinus taeda* L. 21
2.9 A MADEIRA DO *Eucalyptus dunnii* MAIDEN 23
2.10 CARACTERÍSTICAS DA RESINA FENOL-FORMALDEÍDO 24

2.11 CARACTERÍSTICAS DA RESINA RESORCINOL-FORMALDEÍDO 25
3 MATERIAIS E MÉTODOS 26
3.1 MADEIRA DE *Pinus taeda* L. 26
3.1.1 Obtenção das lâminas 26
3.1.2 Secagem das lâminas 26
3.1.3 Classificação das lâminas 27
3.2 MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN 28
3.2.1 Obtenção das lâminas 29
3.2.2 Secagem das lâminas 29
3.2.3 Classificação das lâminas 29
3.3 RESINA FENOL-FORMALDEÍDO 29
3.4 FABRICAÇÃO DO PLP E DOS COMPENSADOS 30
3.4.1 Aplicação do adesivo 30
3.4.2 Prensagem 31
3.4.3 Acondicionamento e Dimensionamento 31
3.5 FABRICAÇÃO DO OSB 32
3.6 RESINA RESORCINOL-FORMALDEÍDO 33
3.7 FABRICAÇÃO DAS VIGAS "I" ("I-JOISTS") 33
3.8 PLANO EXPERIMENTAL 36
3.8.1 Delineamento estatístico dos testes preliminares 37
3.8.1.1 Avaliação dos painéis compensados e do osb 37
3.8.1.2 Avaliação do PLP 39
3.8.2 Delineamento estatístico para o teste das vigas "I" 40
3.8.2.1 Avaliação das vigas 41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 43
4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES PRELIMINARES 43
4.1.1 Propriedades dos Painéis de Lâminas Paralelas 43
4.1.1.1 Análise da massa específica aparente 43
4.1.1.2 Análise do módulo de elasticidade 44
4.1.1.3 Análise do módulo de ruptura 46
4.1.2 Propriedades dos painéis compensados e do osb 48
4.1.2.1 Análise da massa específica aparente 48
4.1.2.2 Análise do Módulo de Elasticidade 51
4.1.2.3 Análise do Módulo de Ruptura 54

4.1.2.4 Análise da Tensão Máxima de Compressão Perpendicular 58
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DAS VIGAS "I" 60
4.2.1 Propriedades mecânicas das vigas 60
4.2.1.1 Módulo de elasticidade aparente 61
4.2.1.2 Módulo de ruptura 62
4.2.1.3 deflexão no limite proporcional 64
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 66
REFERÊNCIAS 70
APÊNDICES 75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ENERGIA LÍQUIDA (MEGAWATTS) NECESSÁRIA POR TONELADA DE PRODUTOS DE MADEIRA CONTRA SUBSTITUTOS NÃO RENOVÁVEIS 5

TABELA 2 – QUADRO COMPARATIVO ENTRE CUSTOS DO AÇO E DA MADEIRA.. 5

TABELA 3 – PRINCIPAIS USOS DE PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS 13

TABELA 4 – PARTICIPAÇÃO DOS ITENS DE CUSTO NA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS 15

TABELA 5 – VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DE *Pinus taeda* L. COM 18, 21 E 30 ANOS DE IDADE NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA (MATOS,1997). 22

TABELA 6 – FORMULAÇÃO DA RESINA FENOL-FORMALDEÍDO UTILIZADA NA INDÚSTRIA 30

TABELA 7 – FORMULAÇÃO DA RESINA FENOL-FORMALDEÍDO CONSTATADA NA LITERATURA 30

TABELA 8 – VARIÁVEIS DA PRENSAGEM 31

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DA CASCOPHEN RS216-M 33

TABELA 10 – FORMULAÇÃO DO ADESIVO A BASE DE RF 33

TABELA 11 – TEMPO MÁXIMO DE MONTAGEM EM MINUTOS 34

TABELA 12 – TEMPO MÍNIMO DE PRENSAGEM EM HORAS 34

TABELA 13 –DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS COMPENSADOS E OSB 38

TABELA 14 - DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS COMPENSADOS E OSB 39

TABELA 15 –DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DO PLP 40

TABELA 16 –DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OS TESTES DAS VIGAS "I" ... 41

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARAENTE DOS PAINÉIS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN 43

TABELA 18 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN 45

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOR ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS PAINÉIS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN 47

TABELA 20 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA MASSA ESPECÍFICA DOS

PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM *Eucalyptus dunnii* MAIDEN 48
TABELA 21 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS OSB PRODUZIDOS COM *Pinus* spp. 49
TABELA 22 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM *Pinus taeda* L. 49
TABELA 23 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* Maiden E O OSB 51
TABELA 24 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O MÓDULO DE RUPTURA ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* MAIDEN E O OSB 55
TABELA 25 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS E O OSB 58
TABELA 26 – VALORES MÉDIOS DO MOE, MOR E DA DEFLEXÃO DAS VIGAS "I" 60
TABELA 27 – VARIAÇÃO DO MOE DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS 61
TABELA 28 – VARIAÇÃO DO MOE DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES 61
TABELA 29 - VARIAÇÃO DO MOR DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS 63
TABELA 30 - VARIAÇÃO DO MOR DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES 63
TABELA 31 - VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS 64
TABELA 32 - VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES 64

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –VIGAS "I" COM TRÊS TIPOS DE MATERIAIS CONSTITUINTES DAS FLANGES 7

FIGURA 2 –ECONOMIA DE MADEIRA DA VIGA "I" EM RELAÇÃO À MADEIRA SÓLIDA 8

FIGURA 3 – PADRONIZAÇÃO DE VIGA "I" 10

FIGURA 4 – ESQUEMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO OSB 19

FIGURA 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO DA UMIDADE NAS LÂMINAS 27

FIGURA 6 – LÂMINAS DE PINUS PRÉ-CLASSIFICADAS 28

FIGURA 7 – LÂMINAS DE EUCALIPTO UTILIZADAS PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS 28

FIGURA 8 – APLICADOR DO ADESIVO E MONTAGEM DAS CHAPAS 31

FIGURA 9 – PAINÉIS PLP E COMPENSADO DE PINUS AGUARDANDO EXPEDIÇÃO. 32

FIGURA 10 – PRENSAGEM E AMARRAÇÃO DAS VIGAS 35

FIGURA 11 – DESENHO DA SEÇÃO DA VIGA 36

FIGURA 12 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS OSB 38

FIGURA 14 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA DAS VIGAS 42

FIGURA 15 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE ENTRE O PLP PRODUZIDO DOM AS DUAS ESPÉCIES 44

FIGURA 16 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA DISPERSÃO ENTRE O MOE DOS PAINÉIS PLP DE PINUS E EUCALIPTO 46

FIGURA 17 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA DISPERSÃO DO MOR DOS PAINÉIS PLP DE PINUS E EUCALIPTO 48

FIGURA 18 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DAS MASSAS ESPECÍFICAS OBTIDAS DOS MATERIAIS COMPONENTES DAS ALMAS DAS VIGAS "I" 50

FIGURA 19 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MATERIAIS COMPONENTES DAS ALMAS 53

FIGURA 20 – HISTOGRAMA DEMONSTRATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DAS MÉDIAS DOS MATERIAIS E DOS PLANOS DE ORIENTAÇÃO 54

FIGURA 21 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DO MÓDULO DE RUPTURA DOS MATERIAIS DAS ALMAS DAS VIGAS "I" 57

FIGURA 22 – HISTOGRAMA DEMONSTRATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DAS MÉDIAS DOS MATERIAIS E DOS PLANOS DE ORIENTAÇÃO 57

FIGURA 23 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DAS MÉDIAS DA TENSÃO PARA OS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E O OSB 59

FIGURA 24 – GRÁFICO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DAS VIGAS "I" (tf/cm^2).. 62
FIGURA 25 - HISTOGRAMA DO MÓDULO DE RUPTURA DAS VIGAS "I" (tf/cm^2) ... 63
FIGURA 26 – HISTOGRAMA DA DEFLEXÃO DAS VIGAS "I" 65

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho estrutural de Vigas "I" constituídas por painéis PLP e Compensados de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus* spp. produzidos na região Sul do Brasil, sendo motivado pela disposição de se introduzir o conceito de utilização estrutural dos painéis reconstituídos de madeira, que é ainda pouco reconhecido nacionalmente, mas que poderia trazer muitos benefícios ao setor da construção civil. Para a análise do desempenho, foram estudadas algumas propriedades físicas e mecânicas, como primeiramente a massa específica aparente, o MOE, o MOR e a tensão máxima à compressão perpendicular dos materiais que compuseram os elementos estruturais, e posteriormente o MOE, MOR e a deflexão das vigas. O experimento foi estruturado de forma a combinar a composição das vigas com os dois tipos de flanges e três tipos de almas, constituindo 6 tratamentos. Inicialmente, com a análise das propriedades individuais dos materiais que os compuseram, buscou-se estimar a contribuição de cada um deles sobre o desempenho final das vigas. Os resultados dos testes preliminares efetuados com os compensados de Pinus e Eucalipto mostraram haver variação estatística das propriedades analisadas entre as chapas da mesma espécie, o que não ocorreu com o PLP, comprovando a eficácia da classificação das lâminas efetuada apenas para fabricação deste último. O OSB se mostrou bastante uniforme na maioria das propriedades, característica que se deve provavelmente ao processo contínuo e altamente mecanizado de produção. Também foram realizadas análises de todas as propriedades, que revelaram diferenças significativas na comparação dos materiais. Estas diferenças possibilitaram a inferência de que as combinações nas vigas poderiam provocar uma variação entre os tratamentos. O MOE foi a única propriedade que apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, enquanto que o MOR e a deflexão apresentaram diferença estatisticamente não significativa entre as combinações dos fatores. Entretanto, analisados separadamente, estes fatores apresentaram significativas variações. também maiores para o MOE. Com respeito aos materiais componentes das vigas, observou-se uma maior influência da variação da espécie nas flanges do que nas almas, com valores relativos significativos. O OSB foi o responsável pela maior diferença entre os materiais das almas, apresentando valores entre os extremos superiores das propriedades MOE e deflexão, enquanto que o MOR apresentou valores extremos inferiores.

ABSTRACT

The main objective of this work was to evaluate the performance of I-joists made out of LVL flanges of *Pinus taeda* L. and *Eucalyptus dunnii* Maiden, with plywood of the same species and OSB webs, produced in Southern Brazil. It was motivated by the willing to introduce the concept for the structural use of wood panels, witch is not well known nationally, but could bring many benefits to the building industry. For the analysis of this performance, some physical and mechanical properties were studied. Primarily the density, the elasticity and rupture modulus, and the perpendicular compression resistance were determined for the materials that would compose the beans (joists), followed by the measurement of the elasticity and rupture modulus, and the deflection of the beans themselves. The experiment was designed in order to reveal the contribution of each component to the performance of the members, with their relationship within the variation among 6 treatments composed by the combination of the 2 flange's types with the 3 web's materials. The results of the primary tests with the Plywood showed a small variation among the boards of each species, what didn't happen with the LVL, proving the efficiency in the veneer sorting, made only for the manufacturing of this last one. The OSB proved itself very uniform in most of the properties analyzed, witch is probably due to its highly mechanized and continuous manufacturing process. There were also the analysis of all the properties comparing the interaction among the kinds of each material. The great deviations showed by those tests lead to the imposition that there could be deviations among the combinations of the joists' samples. In the ANOVA, the MOE was the only property to show significant statistical difference among the samples, while the MOR and the deflection had a more gradual distribution. Although, when analyzed apart from each other, the materials showed more consistent deviations. When referring to the contributions of the composition materials into the performance of the beans, it was observed that there was a greater influence promoted by the species change on the flanges than on the webs. The greater values for the webs were showed by the OSB, witch presented the highest mean values for the MOE and the deflection, while the lowest for the MOR.

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro demonstra atualmente uma nova posição com relação à oferta de novos tipos de produtos compostos de madeira; temos já posicionado o MDF ("Medium Density Fiberboard"), produzido nacionalmente desde 1997, e em 2002 começou a produção do OSB ("Oriented Strand Board"), numa escala que pode chegar a aproximadamente 300.000 m^3/ano com 100% da capacidade instalada. Os possíveis reflexos para esta nova oferta de painéis reconstituídos de madeira podem incluir a substituição de parte da demanda de outros produtos, como os laminados. A partir da criação de uma outra demanda para utilização destes novos produtos, como em elementos engenheirados com finalidades estruturais, deve haver um acompanhamento e um possível consórcio destes novos produtos com os demais ofertados neste âmbito, como os compensados e os Painéis de Lâminas Paralelas (PLP), de forma a promover uma menor competição entre eles, uma vez criando-se maior expectativa de consumo dos painéis estruturais.

A madeira estrutural composta, gênero assim denominado para uma extensa gama de produtos, foi desenvolvida em resposta a uma necessidade por madeira de alta qualidade e determinado comprimento num período de escassez deste material nos recursos florestais. Um dos tipos dentre o gênero da madeira estrutural composta é o PLP, que consiste na colagem de lâminas especialmente classificadas paralelamente umas às outras. Um outro produto pertencente ao gênero é o OSB ("Oriented Strand Board"), painel de partículas (do tipo "strand") orientadas e coladas em camadas perpendiculares. Um terceiro composto colado com características semelhantes às do OSB, mas constituído por lâminas, e que se enquadra também neste gênero, é o compensado de uso exterior, fabricado em grande escala no mercado nacional e com qualidade que começa a ser atestada. Estes três produtos, com suas peculiaridades, podem se constituir na matéria prima para um outro composto, pertencente a um outro gênero, o dos sistemas engenheirados de madeira, que são as Vigas "I" (I-joists), denominadas desta forma devido ao desenho de suas seções transversais.

Dentro do contexto da utilização de espécies plantadas, visando reduzir a pressão sobre a utilização de espécies nativas, se insere uma outra tendência, que consiste na utilização de madeira reconstituída para os mais variados fins. As vantagens destes materiais são muitas, e residem principalmente, nos aspectos de rendimento em relação ao volume da tora, diminuição da anisotropia e da utilização de madeiras de rápido crescimento, que

possuem, normalmente, densidades médias a baixas provenientes de florestas plantadas e homogêneas.

O teste da performance de elementos estruturais engenheirados, como as vigas em "I", e a adequação destes, quando produzidos a partir de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden cultivados no sul do Brasil, às normas consagradas para seu uso, auxiliam para o conhecimento técnico destas novas alternativas. A partir deste entendimento pode-se buscar formas de introdução para estes elementos juntos a um novo sistema construtivo que começa a se apresentar ao cenário nacional, o "Simple-framing System", que consiste na fabricação de casas de madeira pré-estruturadas em quadros.

A produção destes elementos e um possível desenvolvimento deste sistema construtivo promoveriam uma melhor utilização dos produtos estruturais compostos, como o LVL, o OSB e o compensado, que aumentam a eficiência no aproveitamento dos recursos madeireiros, que vêm enfrentando graves problemas de depreciação, possibilitando a fabricação de componentes estruturais de alta qualidade e muito homogêneos em suas propriedades.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Produzir vigas estruturais em perfil "I", constituídas por Painéis de Lâminas Paralelas (PLP) e Compensados de *Pinus taeda* L. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden, e Painel de Partículas Orientadas (OSB) de *Pinus* spp; avaliando seu desempenho, de acordo com as normas da "American Society for Testing and Materials" (ASTM).

1.1.2 Específicos

1. Testar preliminarmente o OSB e o Compensado comerciais, quanto à resistência à compressão perpendicular, e juntamente com o PLP quanto a resistência à flexão estática;
2. Avaliar as alterações dos tipos das flanges e das almas de forma a comparar as suas contribuições para com as propriedades estruturais das composições das vigas;
3. Avaliar o desempenho estrutural e construtivo das vigas, através das seguintes propriedades:
   - Módulo de Elasticidade (MOE);
   - Módulo de ruptura (MOR);
   - deflexão;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O USO DA MADEIRA EM PRODUTOS ENGENHEIRADOS

2.1.1 Aspectos gerais

Produtos reconstituídos de madeira são fabricados pela colagem de partículas, lâminas, tábuas ou outras composições de fibras de madeira, produzindo uma unidade composta maior e integral com características e performance estruturais. A Associação de Madeira Engenheirada (APA) divide estes produtos em quatro categorias: a de painéis estruturais, que incluem os compensados, o OSB e o "Wafer Board"; a de madeira laminada colada (Glulam); madeira composta estrutural, em que se enquadra o PLP (LVL); e por fim a das vigas "I" (THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

WILSON (1992, p. 97) considerou que os materiais compostos de madeira teriam um papel importante na industria, com um grande crescimento no final do último século e começo do atual. Hoje se constata que tal consideração foi bem colocada. A indústria dos compostos de madeira no Brasil teve um crescimento, de fato, espantoso. Somente no Paraná os investimentos, desde 1999, na indústria de painéis compostos (fibras e partículas) elevaram a capacidade instalada para produção em mais de 1,2 milhão m^3/ano.

Nos EUA a madeira é responsável aproximadamente pela metade do consumo de matérias-primas. Neste contexto admite-se que a substituição dela por outros materiais poderia causar um impacto ambiental massivo, principalmente no que diz respeito ao consumo de energia, como apresentado na TABELA 1 (CORRIM[1], 1992, apud BALDWIN, 1995, p. 24).

[1]CORRIM II – Committee on Renewable Resources for Industrial Materials. Renewable raw materials in America's future: an issue of increasing concern, Steering Committee, 1992.

TABELA 1 – ENERGIA LÍQUIDA (MEGAWATTS) NECESSÁRIA POR TONELADA DE PRODUTOS DE MADEIRA CONTRA SUBSTITUTOS NÃO RENOVÁVEIS

Produtos	Caibros (madeira vs. aço)	Vigas de madeira vs. concreto	Assoalhos (madeira vs. carpet)	Compensado vs. chapa de alumínio	Média
Madeira	0,85	1,21	0,85	1,76	1,17
Não renovável	7,81	25,28	3,59	9,40	11,52

FONTE: KOCH[2] (1992 apud, BALDWIN, 1995, p. 25) (Adaptado)
NOTA: Perda de energia por tonelada de madeira substituída nestes produtos: 10,35 MW

STEIDA (1992, p. 225), justifica o uso da madeira em estruturas em estudos comparativos entre aço e madeira, onde demonstrou níveis de emissões existentes e a quantidade de água e energia requeridas no processo de obtenção dos dois materiais, além de custos unitários por m^2, como segue resumidamente na TABELA 2.

TABELA 2 – QUADRO COMPARATIVO ENTRE CUSTOS DO AÇO E DA MADEIRA

Área construída	m^2	Madeira (Ca$/$m^2$)	Aço (Ca$/$m^2$)
Piso e paredes	950	112,10	199,10
Telhado e paredes	1010	85,20	131,40

FONTE: STEIDA (1992, p. 225).
NOTA: Ca$ - unidade monetária do Dollar canadense.

Peças estruturais formadas por materiais reconstituídos de madeira são projetadas através dos mesmos cálculos empregados pelas formulações propostas à madeira sólida, partindo-se da premissa que a colagem destes materiais, quando devidamente efetuada, não representa decréscimo nas qualidades de consolidação e resistência à tensões do corpo. Contudo, é normalmente requerida para fabricação destas vigas, a aplicação de alguns fatores de modificação com relação à madeira sólida, devido à possibilidade do alcance de maiores dimensões que seus materiais constituintes apresentam (CHUGG, 1964, apud MATSUNAGA, 1995, pag. 65).

[2] KOCH, P. Wood versus nonwood mate U.S. residential construction: Some energy related implications. In: WOOD PRODUCT DEMAND AND THE ENVIRONMENT: PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE SPONSORED BY THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY, 1992.

2.1.2 Teoria da Ação de Sustentação ("Suporting Action")

Esta teoria foi proposta por NEWLIN e TRAYER (1941) para explicar a variação do módulo de ruptura com a altura e a forma da seção transversal, para qualquer tipo de madeira. Após ser checada experimentalmente por DIETZ (1942) e testada no Laboratório de Produtos Florestais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-FPL) por FREAS e SELBO (1954); ela passou a se constituir como base para as especificações de desenho dos fatores de tamanho e forma das seções (GURFINKEL, 1973, pag. 201).

A ação de sustentação assume na teoria o aspecto de que as fibras se sustentam de forma diretamente proporcional à distância entre elas, e que o poder de sustentação destas fibras é maior quanto mais próximas elas forem da linha neutra durante a flexão. No entanto estas fibras com o maior poder de sustentação estão muito distantes daquelas que mais necessitam deste apoio, que são aquelas das extremidades ou as que estão próximas destas. Por isto, DIETZ em 1942, coloca que a máxima sustentação se dá acerca de 1/3 da profundidade (altura da seção) das vigas, (GURFINKEL, 1973, p. 202).

2.2 AS VIGAS "I"

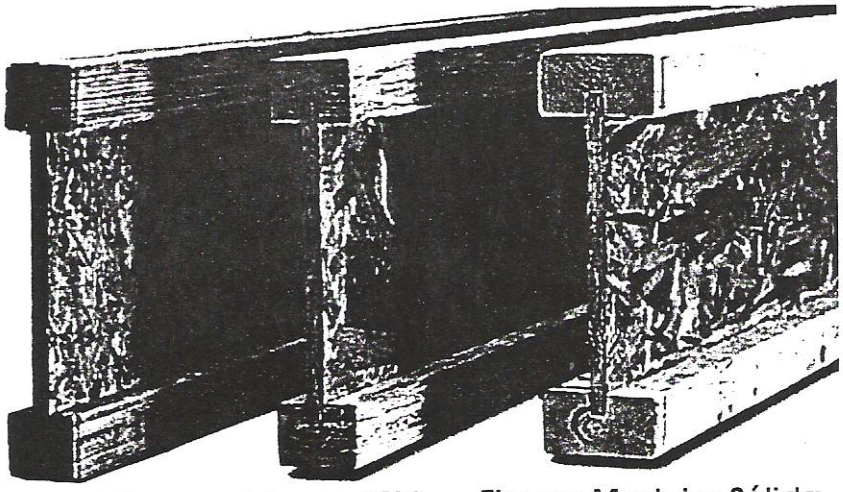
2.2.1 Aspectos gerais

Componentes estruturais muito eficientes podem ser produzidos pela combinação de painéis estruturais através da colagem. Detalhes e informações técnicas destes componentes são discutidos pela Associação da Madeira Engenheirada dos Estados Unidos da América (APA), mais especificamente pela divisão de Sistemas Engenheirados de Madeira (EWS). Um dos elementos com desenho mais eficiente são as vigas com seção em forma de "I", que apresentam boa distribuição das forças com economia de material (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 11-12).

O surgimento das vigas de madeira com seção "I" data de 1969, quando houve a introdução destas entre os produtos da então "Trus Joist Corporation" (hoje "Trus Joist MacMillan"). O desenvolvimento das vigas "I" foi originalmente motivado pela performance e não pelo preço. Projetos arquitetônicos da época, inspirados por consumidores que desejavam vãos de maiores extensões em seus ambientes, necessitavam de elementos, nos pavimentos superiores, mais capazes que as peças de madeira serradas dentro de limitações dimensionais. Para o atendimento desta demanda eram produzidas vigas "I" (FIGURA 1) com

grandes almas de compensado e flanges de madeira serrada de menores dimensões, que desta forma possibilitavam a obtenção de um maior número de peças livres de defeitos para utilização nos elementos (FISETTE, 2000).

FIGURA 1 –VIGAS "I" COM TRÊS TIPOS DE MATERIAIS CONSTITUINTES DAS FLANGES



FONTE: FISETTE, P. In: Fine Homebuilding Magazine, n. 129, 2000.
NOTA: * "Paralel Strand Lumber" ou Painel de Partículas (strand) Paralelas.

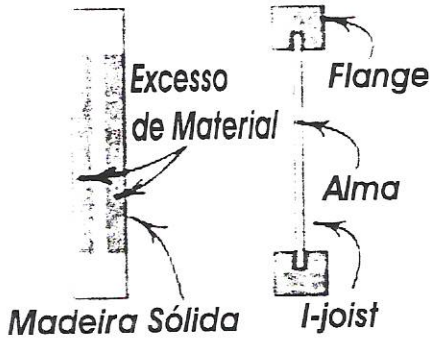
2.2.2 Aspectos técnicos e vantagens na produção e utilização

GROMALA (1992, p. 41) previu os benefícios que os desenhos mais avançados, como o da seção em forma de "I", trariam às estruturas. Além disso, indicou as vantagens econômicas e ambientais que a otimização e racionalização destes sistemas poderiam trazer, assim como previu o desenvolvimento destes desenhos integrado ao desenvolvimento de "softwares" de dimensionamento e cálculo integrado das estruturas.

A APA foi pioneira no incentivo ao uso da tecnologia para substituição do desperdício de madeira quando, em 1983, promulgou um padrão comercial para performance dos produtos engenheirados (BALDWIN, 1995, p. 22).

No entendimento dos projetistas das vigas "I", o desenho da seção é favorável a economia de material (FIGURA 2), representada pelas pequenas espessuras das almas, uma vez que a distribuição das maiores intensidades das tensões sobre a altura das vigas se dá nas extremidades, onde estão posicionadas as flanges, evidentemente compostas por materiais que oferecem maior resistência às cargas transversais (FISETTE, 2000).

FIGURA 2 –ECONOMIA DE MADEIRA DA VIGA "I" EM RELAÇÃO À MADEIRA SÓLIDA



FONTE: FISETTE, P. In: Fine Homebuilding Magazine, n. 129, 2000.

A disposição perpendicular do material da alma é mais um fator favorável, visto que há uma maior relação da resistência às cargas transversais com a altura da seção, que com a largura desta; e no caso das vigas "I", o aumento desta altura depende de uma quantidade menor de material (FISETTE, 2000).

A forma da seção "I" proporciona uma relação resistência-peso muito favorável. Por exemplo, uma viga "I" com 241 mm de altura e 8 m de comprimento, dentro de seus padrões para estas dimensões, pesa cerca de 25 kg, contra algo em torno de 50 kg de uma peça de madeira sólida de mesmas dimensões; isto significa que elas apresentam, além de economia de material, uma alta ergonomia podendo ser manuseadas facilmente por um único operário (JAGER[3], apud KRYGIER; BARNECUT, 2002).

Com relação às tensões desenvolvidas sobre os elementos devido a influência da altura da seção transversal; FREAS e SELBO (1954, apud MATSUNAGA, 1995, pag. 65) afirmaram que as vigas de seção "I" ou celulares (forma de caixa), apresentam valores de tensão inferiores aos das vigas retangulares que, por sua vez, desenvolvem tensões de flexão inferiores aos das vigas ou peças excentricamente carregadas, como as de seções quadradas e circulares.

GURFINKEL (1973, pag. 203), observa que testes realizados com vigas de seção "I" ou celulares revelam valores para o módulo de ruptura, inferiores aos obtidos em vigas de seção retangular de mesma altura; não observados relativamente ao peso dos elementos.

[3] JAGER SPECIFYING CATALOG. Jager Industries Press, 2001.

A eficiência destes elementos com este tipo de seção é comprovada em um estudo realizado em Massashusetts por FISETTE (2000), no nordeste dos EUA, onde a tentativa de comparação de custos entre a utilização das Vigas "I" e da madeira sólida foi comprometida pela impossibilidade do uso da madeira sólida com um espaçamento de 24 pol. (≅ 61 cm) entre as peças, no vão determinado para o estudo; justamente a situação mais favorável para as Vigas "I". Situações como estas se repetiam no dia-a-dia dos arquitetos e engenheiros projetistas, o que facilitou o crescimento e a consolidação no mercado destes elementos engenheirados, que apesar do custo unitário linear mais alto, representam economia dentro do desenho das estruturas como um todo.

Apesar de toda esta eficiência, assim como qualquer outro componente de madeira, estes elementos podem apresentar uma falta de resistência ao fogo e a organismos xilófagos, a não ser que sejam devidamente tratados e protegidos (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 12).

Sabe-se que neste século, como no passado, a manutenção da integridade estrutural da madeira em incêndios é um ponto crítico para sua aceitação pelo mercado. Da mesma forma isto ocorre com os produtos engenheirados de madeira (WHITE, 1992, p. 63).

Diversos tipos e tamanhos de vigas "I", fabricadas por grandes e pequenos produtores, estão disponíveis comercialmente no mercado norte-americano, todas tratadas quanto a resistência ao fogo e ao ataque de organismos xilófagos. Cada um destes tipos apresenta uma combinação diferente de materiais para as flanges e almas, mas todos podem e devem atender às imposições do Comitê Nacional da Construção em Madeira (KRYGIER; BARNECUT, 2002).

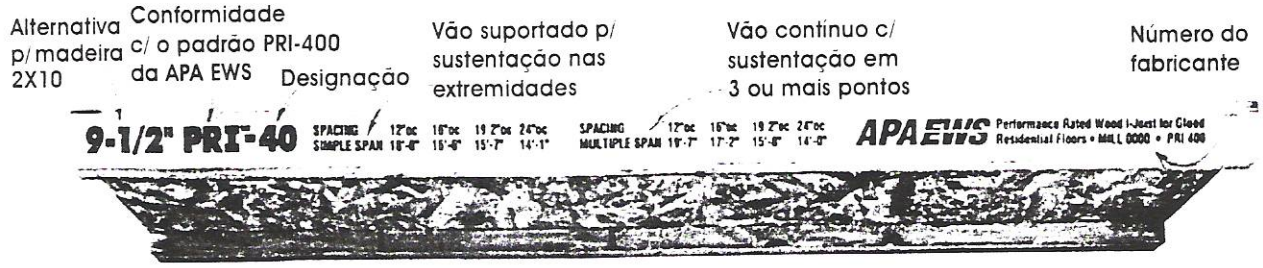
As vigas "I" são normalmente utilizadas em estruturas de pisos e telhados, com cálculos bastante simplificados. Para o caso de vigas padronizadas existem tabelas prontas para utilização dos modelos pré-fabricados (KRYGIER; BARNECUT, 2002).

2.2.3 Padronização das Vigas "I"

A divisão de Produtos Engenheirados de Madeira da APA desenvolveu um programa de padronização denominado "Performance Rated I-joist (PRI)", ou seja, vigas em "I" com performance controlada (FIGURA 3). Dentro desta classificação as vigas têm um

limite de deflexão para um determinado vão e precisam seguir padrões de produção rigorosos, atendendo às normas da ASTM (ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

FIGURA 3 – PADRONIZAÇÃO DE VIGA "I"



FONTE: FISETTE, P. In: Fine Homebuilding Magazine, n.. 129, 2000.

2.3 AS FLANGES

As flanges podem ser tanto de madeira sólida como de compostos estruturais como o PLP e o PSL ("Parallel Strand Lumber" ou painel de partículas paralelas). A superior e a inferior devem ser iguais e seu dimensionamento nominal depende do material, espécie e outros fatores de cada um destes materiais, como por exemplo o tipo de resina (ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

A escassez de toras de grandes dimensões tende a promover mudanças revolucionárias nas tecnologias de torneamento e de colagem, enquanto que o aumento crescente da demanda por produtos de madeira, que criaram tanto os problemas como as oportunidades, favorecem a indústria de produtos laminados, que passou a contar com um apelo ambiental mais forte nos últimos anos, assim como toda a indústria de materiais reconstituídos de madeira (BALDWIN, 1995, pág. 21).

A importância das flanges está relacionada com o fato delas constituírem os dois extremos das alas da seção, que são as duas partes da viga que sofrem as maiores tensões proporcionadas pelas cargas incidentes. Na extremidade superior ocorre a maior taxa de compressão, enquanto que na inferior a de tração (FISETTE, 2000).

2.4 A ALMA

A alma deve ser constituída de painéis estruturais, como é o caso do compensado e do OSB, que devem estar classificados como de Exposição 1 ou Exterior e serem mais

espessos que 3/8 pol. (9 mm), segundo as normas de padronização destes materiais. Todas as vigas devem ser confeccionadas com a colagem por adesivos de uso exterior, resistentes a umidade e com alto grau de polimerização, como a fenol-formaldeído e a resorcinol-formaldeído, a mais indicada para estes usos devido a sua capacidade de cura a frio (ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2001).

O posicionamento vertical da alma é responsável pelo alcance da altura na viga, um dos fatores de maior importância na relação entre as dimensões e a resistência à deflexão entre outras características. Tal importância fica evidente quando a altura, relacionada com a distância entre os pontos de ação e reação nos testes, basta para definição da dimensão do corpo de prova (ASTM, 1999 , p. 60). Este posicionamento também é responsável pela economia de material citada anteriormente.

Dentro da Associação de Painéis Estruturais do Canadá (SBA), não há restrições quanto ao uso de um ou de outro, tanto que não existem distinções dentro dos códigos, padrões, métodos de avaliação ou certificação entre o OSB e o compensado de construção. As normas PS2-92 ("Performance Standard for Wood-based Structural-use Panels) dos EUA e CSA 0325-92 ("Construction Sheathing") do Canadá, estabelecem para ambos os materiais as mesmas exigências para durabilidade, medindo as tensões de flexão retidas sob condições cíclicas de exposição ao tempo seco e úmido (STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION, 2003).

A matéria-prima utilizada na fabricação de ambos é gerada diretamente a partir do corte de toras. Neste sentido o OSB leva vantagem, porque as toras para geração das partículas "strand" não precisam responder a requisitos como diâmetro e forma, necessários para laminação. A desvantagem do OSB se apresenta quando se trata da espécie desta matéria-prima, que por razões de formação dentro do processo não pode possuir densidade muito alta, o que não ocorre com o compensado (STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION, 2003).

Tanto o OSB como o Compensado CDX (com lâminas classe C é destinado à construção) são classificados com o nível "I" de exposição. Isto significa que eles são capazes de resistir à exposição à umidade e às variações do tempo durante uma obra e o retardo desta; e de compor estruturas em que são exigidas por longos períodos de duração, sob o efeito de cargas (STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION, 2003).

2.5 O PAINEL DE LÂMINAS PARALELAS

2.5.1 Aspectos gerais

SCHAFFER[4] *et al.* (1972), citados por PIO (2002, p. 41), apontam o trabalho de LUXFORD[5] como o início do processo de construção dos painéis de lâminas paralelas coladas. Em 1940 iniciou-se a produção de peças de lâminas de madeira com alta resistência para construção de estruturas em aviões. No inicio da década de 70 a pesquisa em torno do PLP procurou definir os efeitos das variáveis do processo na obtenção de lâminas com espessuras superiores a 12,7 mm. Apenas nos anos 90 que se constatou uma diminuição das espessuras das lâminas para 3,2 a 2,5 mm, que passam a ser prensadas com calor e coladas com resina fenol-formaldeído (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 11-2).

2.5.2 Vantagens dos Painéis de Lâminas Paralelas

O primeiro a se considerar quando se fala em vantagens do PLP, que surgiu como substituto para madeira sólida em estruturas, é que ele é um composto de madeira reconstituída e, por conseguinte, pode ser produzido em dimensões dificilmente alcançadas por sua concorrente.

As vantagens do PLP listadas por PEASE[6] (1994, apud MATOS, 1997, p. 38) em comparação a madeira sólida, foram:

a) Maior resistência – a estrutura reconstituída dos painéis os torna mais estáveis. Um processo de classificação das lâminas pode conferir propriedades de resistência que podem ser calculadas com precisão.
b) Flexibilidade dimensional – os painéis podem ser fabricados com qualquer largura e comprimento desejado. Além disso podem ser produzidos em curva.
c) Utilização de grande variedade de espécies e tamanhos de toras – as mais utilizadas são as coníferas. Nos EUA é mais comum o uso de espécies como o *Douglas fir* e os "Southern Pines".

---

[4] SCHAFFER, E. L. et al. Press-lam process: fast efficient conversion of logs into structural products. **Forest Products Journal**, Madison, v. 22, n. 11, p. 11-18, 1972.

[5] LUXFORD, R. F. **Strength of glue-laminated spruce made up of rotatory veneers.**. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1944, 30p.

[6] PEASE, D. A. Panels: products, applications and production trends: A Special Report From: Wood Technology. Miller Freeman, 1994. 225 p.

2.5.3 Aspectos técnicos da produção e usos do PLP

As lâminas para a fabricação do PLP devem ser cuidadosamente selecionadas para que o produto atinja as propriedades desejadas. Esta seleção é freqüentemente efetuada através de testes por ondas ultra-sônicas (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 11-2). TAMMELA (1998, p. 162) considerou que, desta forma, estruturas de PLP fabricadas com madeiras de classes estruturais mais baixas podem substituir àquelas produzidas com madeiras sólidas de classes mais elevadas e de maior custo. O PLP, assim como outros materiais compostos, permite uma maior versatilidade no dimensionamento das estruturas que podem ter comprimentos, larguras e alturas superiores ás da madeira sólida, devido ao processo de junção das lâminas, além da maior possibilidade de encurvamento.

O processo de produção do PLP se assemelha ao do compensado, podendo ser descontínuo ou contínuo, este último mais limitado graças ao alto investimento requerido neste caso. Apesar desta semelhança, seus usos são mais direcionados para sustentação de grandes cargas em batentes de vãos e demais tipos de vigas (TABELA 3).

TABELA 3 – PRINCIPAIS USOS DE PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS

Industrial	Construção de casas	Outros
▪ Tesouras de vão amplo	▪ Todos os sistemas de forros	▪ Componentes de móveis
▪ Casas pré-fabricadas	▪ Vigas e peças principais	▪ Colunas decorativas estruturais
▪ Formas de concreto	▪ Vigas estruturais	▪ Corrimão de escadas
▪ Assentos de estádios	▪ Sistemas de coberturas	▪ Cruzetas e partes de torre de postes
▪ Carrocerias e revestimentos para caminhões e vagões		
▪ Revestimentos de containeres de cargas		
▪ Estruturas de palanques e andaimes		

FONTE: VLOSKY[7] *et* al., (1994 apud, MATOS, 1997, p. 45) (Adaptado)

[7] VLOSKY, R. P. *et* al. Laminated veneer lumber: A United States market overview. **Wood and Fiber Science**. Madison, v. 26, n 4, p. 456-466, 1994.

2.6 O COMPENSADO

2.6.1 Aspectos gerais

O compensado, da mesma forma que o PLP, é um painel constituído por lâminas de madeira mas, que neste caso, são dispostas perpendicularmente umas às outras, ao invés de paralelamente. Historicamente, há indícios de que a fabricação de compensado iniciou-se no Egito em 1500 A.C., de quando desenhos demonstram a colagem de folhas de madeira sendo coladas com algum tipo de adesivo animal. Nos EUA o uso do compensado começou em 1830 por uma indústria de pianos. A partir deste momento, pesquisas se desenvolveram no sentido de mecanizar o processo de fabricação destes painéis; em 1840 foi patenteado o primeiro torno, mas um potencial industrial satisfatório destes equipamentos só foi alcançado com o surgimento da primeira faqueadeira em 1875 (MCDONALD[8], apud SELLERS Jr., 1985, pag. 5).

A industrialização da madeira no Brasil, incluindo a produção de compensado, teve como base, inicialmente, as reservas florestais naturais da Floresta Atlântica e da Floresta com Araucária das regiões Sul e Sudeste. Mas o panorama já era outro ao final da década de setenta, com o amadurecimento das florestas plantadas no Sul e Sudeste, e a exploração extensiva da Amazônia (FONTES[9], 1990, apud DELESPINASSE, 1995, p. 4).

Registros indicam que a introdução do compensado no Brasil ocorreu por volta de 1928 no estado de São Paulo, tendo o início de sua produção no Paraná em 1945 (PALMA, 1994, p. 6).

Em 1981, a Revista BRASIL MADEIRA, referenciada por DELESPINASSE (1995, p. 4), já apresentava as potencialidades do uso do Pinus na produção de compensado multilaminado.

A nova tendência fez com que o consumo de lâminas originárias da Amazônia para produção de compensado no Sul e Sudeste, em valores aproximados, ficasse em torno de 60%, e a quantidade exportada passasse a 90% (FONTES, 1990, apud DELESPINASSE, 1995, p. 4).

---

[8] McDONALD, C. E. The hardwood plywood story, Automation in Housing/Systems Building News, 77 (9-10): 49, 61, 1977.

[9] FONTES, P. J. P.; LISBOA, C. D. J.; PASTORE, T. C. M. Pesquisa em tecnologia de produtos florestais no Brasil: visão geral e perspectivas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. 1., 1990, Campos do Jordão. **Anais**... Campos do Jordão, SP, SBS/SBEF, 1990, p. 123-129.

SILVA (1987), demonstrou, entre outros fatores, uma significativa participação da matéria prima no custo total da fabricação de compensado no Estado do Paraná, como pode ser observado na TABELA 4.

TABELA 4 – PARTICIPAÇÃO DOS ITENS DE CUSTO NA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS

ITENS DE CUSTO	%
CUSTO VARIÁVEL	
Madeira	72,41
Cola	5,68
Insumos	6,16
Armazenamento	0,98
CUSTO VARIÁVEL MÉDIO	85,22
CUSTO FIXO	
Administração	1,27
Terreno	1,39
Mão-de-obra	6,51
Equipamentos	1,53
Edificações	4,09
CUSTO FIXO MÉDIO	14,78
CUSTO TOTAL MÉDIO	100,00

FONTE: SILVA[10] (1987, apud DELESPINASSE, 1995, p. 11)

2.6.2 Aspectos técnicos e de fabricação

O conceito de Madeira Laminada abrangia outros tipos de materiais que hoje possuem classificação própria, como no caso dos painéis de face laminada e miolo de painéis de partículas, fibras ou madeira sólida ("blockboards"). Contudo a Organização Internacional de Padrões (ISO), a partir de meados da década de 80, separou a Madeira Laminada em dois grupos: 1. Painéis Laminados e, 2. Painéis Compostos (SELLERS Jr., 1985, pag. 4).

[10] SILVA, J. C. G. **Análise da eficiência econômica de indústrias de compensados do Estafo do Paraná**. Curitiba, 1987, 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

c) Compensado decorativo:

São chapas que recebem uma camada superficial de um material decorativo padronizado, que pode ser uma lâmina de madeira, pintura, papel de acabamento ("finish foil"), filme melamínico, entre outros.

d) Compensado industrial:

Com possibilidades amplas de aplicação, é muito empregado na produção de embalagens. Não possui restrições em termos de aparência nem quanto ao adesivo empregado, dependendo da finalidade.

e) Compensado naval:

São chapas classificadas como de uso exterior, com alta resistência mecânica e alta exigência em sua qualidade. Destina-se a aplicações de exposição extrema como, por exemplo, a construção naval.

Junto com o compensado industrial, é o padrão que mais se aproxima do objeto utilizado para este estudo, que busca um produto com especificações que atendam ao nível de exigência das cargas a que este deve ser submetido.

2.6.3 Compensado em estruturas

O conceito original do compensado, um painel de lâminas coladas perpendicularmente, que foi concebido com o propósito de constituir superfícies de maiores dimensões para fins decorativos, gerou espontaneamente uma série de outros benefícios para com as propriedades mecânicas desse material, quando comparado com a madeira sólida (SELLERS Jr.[16], apud SELLERS Jr., 1985, pág. 13)

O uso do compensado em estruturas depende de sua resistência, da durabilidade da adesão e das propriedades da madeira. Ele revolucionou a indústria de construções leves, podendo fazer a composição da base para pisos, "decks" e paredes. Nos EUA e Canadá, onde é mais comum o uso do compensado para estes fins, o painel é produzido com madeiras de menor densidade, normalmente de coníferas (SELLERS Jr., 1985, p. 12).

---

[16] SELLERS Jr. Plywood, In: Encyclopedia of Materials Science and Engineering. M.B. Beaver, Pergamon Press, Londres Inglaterra, 1985.

As lâminas são camadas finas de madeira torneada ou faqueada, normalmente entre 0,3 a 6,3 mm de espessura, de acordo com a classificação da ASTM[11] (1982, apud SELLERS Jr., 1985, pag. 1).

A PRF/APA[12], citada por SELLERS Jr. (1985, p. 13), confirma que, a exemplo da madeira sólida, as lâminas de madeira, na maioria das espécies, são mais rígidas no sentido da grã do que perpendicularmente a ela e, que com a alternância em 90° entre cada camada do compensado, muitas propriedades de resistência são favorecidas com o balanceamento das forças, dentro do conceito da anisotropia.

Tecnicamente o compensado deve apresentar simetria estrutural em relação ao seu plano central. Desta forma, as lâminas opostas e eqüidistantes a este plano devem possuir as mesmas propriedades físicas, mesmas dimensões e mesma orientação da grã. Sobre esta teoria implica a necessidade de um número impar de camadas, que define o compensado balanceado (BODIG & JAYNE[13], 1982, apud PALMA, 1994, p. 4).

No Brasil, o compensado, dentro do grupo dos painéis laminados, possui suas normas registradas junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, o INMETRO; e pode ser classificado conforme TOMASELLI[14] (1988) e IBDF[15] (1985), citados por DELESPINASSE (1995, pág. 7), em:

a) Compensado de uso geral:

Definido como chapa de madeira compensada, multilaminada, na qual o adesivo empregado na fabricação as limita ao uso interno. É muito comum na indústria moveleira.

b) Forma de concreto:

Neste o adesivo utilizado não compromete o nível de exposição dos painéis, permitindo que estes sejam empregados na construção civil em contato com a água em formas de concreto.

---

[11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard definitions of terms relating to adhesives, ASTM D907-82:253, Philadelphia, Pa, 1982.

[12] PLYWOOD RESEARCH FOUNDATION. Procedimentos: "PRF/APA Hardwood Utilization Task Group Meeting", Janeiro de 1984.

[13] BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1982.

[14] TOMASELLI, I. Incentivos e restrições às exportações do setor florestal – madeira compensada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1., 1988, Curitiba. **Anais**. Curitiba, EMBRAPA, CNPF, 1988. p. 307 – 321.

[15] IBDF. **Norma de controle de qualidade e classificação de compensados**. Brasília, 1985.

SELLERS Jr. (1985, p. 12) expõe também outros usos estruturais do compensado, mais comuns e conhecidos no Brasil, como em formas para concreto, materiais esportivos, mostruários comerciais, placas publicitárias, construções navais, na composição de móveis e autopeças, entre outros artefatos.

2.7 O PAINEL "OSB"

2.7.1 Aspectos gerais

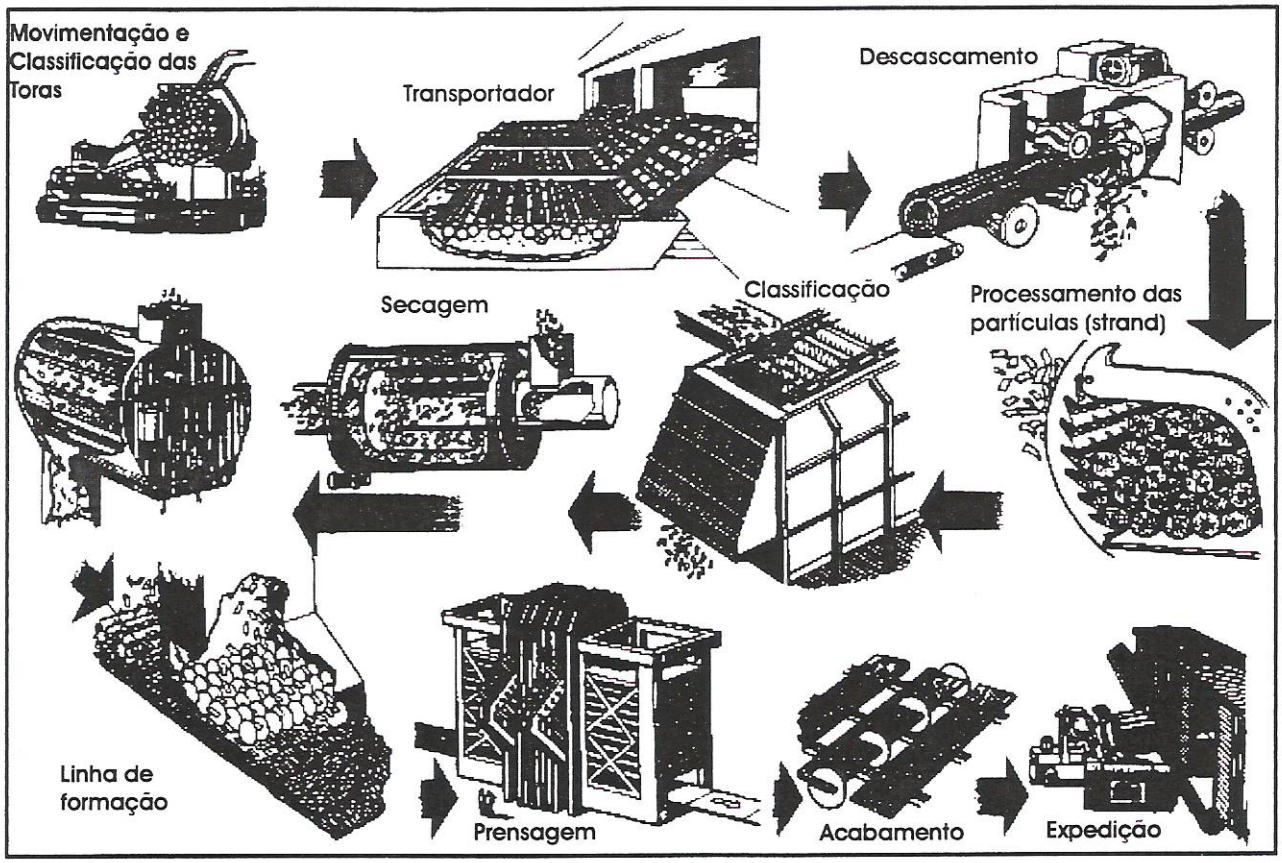
O "oriented strand board", também chamado de "OSB", ainda pouco conhecido no Brasil, é próprio para aplicações na indústria, principalmente no setor da construção civil, em embalagens e móveis. Este produto é formado por partículas finas e compridas, orientadas paralelamente, e dispostas em camadas perpendiculares entre si na espessura do painel. Este painel pode ser formado por três ou mais camadas, dependendo do uso final. Como possui características estruturais, o adesivo a ser utilizado na sua fabricação deve ser resistente à umidade e a ebulição, eliminando eventuais problemas mecânicos e de emissões químicas.

Sua crescente popularidade nos Estados Unidos da América e Canadá, no início dos anos 80, acarretou um grande aumento na sua produção. Rapidamente, o "OSB" tornou-se o painel estrutural dominante nestes países. As primeiras plantas industriais para produção de "OSB" entraram em operação no final da década de 70 e, em 1999, mais de 250 milhões de painéis de tamanho padrão (1,22 X 2,44 m) tinham sido utilizados na construção e na indústria. Na segunda metade da década de 90, novas unidades para produção de "OSB" expandiram consideravelmente o mercado na América do Norte (ALBUQUERQUE, MENDES, PIO, 1999, p. 15).

2.7.2 Parâmetros de produção

Dentre os parâmetros controlados no processo de fabricação do "OSB" estão: a densidade do painel, geometria e orientação das partículas, proporção miolo/superfície, conteúdo de umidade das partículas, conteúdo de resina, conteúdo de parafina, tempo de fechamento da prensa (quando descontínua), e o tempo de prensagem (FIGURA 4). Alguns destes parâmetros devem ser controlados individualmente para as camadas do miolo e da superfície (ALBUQUERQUE, MENDES, PIO, 1999, p. 28).

FIGURA 4 – ESQUEMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO OSB



FONTE: FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999, p. 10-14)

2.7.3 Aspectos técnicos e usos do "OSB"

As partículas das camadas externas do colchão são alinhadas paralelamente à direção de formação e as das camadas seguintes seguem alinhadas perpendicularmente às anteriores (CLOUTIER, 1998, p. 173).

LAUFENBERG (1992, p. 47) destacou o potencial dos compostos de madeira em estruturas, apresentando, também, as limitações tecnológicas existentes nos produtos compostos mais antigos. Percebe-se que se referia principalmente aos laminados, utilizados também em grandes quantidades nas estruturas, porque exigem um recurso em matéria-prima cada vez mais escasso, do ponto de vista físico e econômico.

PRITCHARD *et al.* (2001) destacaram a importância do tratamento repelente de água em chapas de OSB. Neste estudo, verificaram uma redução das propriedades de resistência quando submeteram as chapas a umidades relativas de 65 e 85%.

O OSB pode ser usado para quase todas as finalidades a que são destinadas as demais chapas de partículas e compensados. Deve-se ressaltar que as chapas OSB, em comparação ao compensado, se expandem mais quando expostas diretamente à chuva forte, ou à alta umidade relativa, por longos períodos. Desta forma, o uso se limitaria a construções internas. Contudo, segundo os produtores, é um produto que pode ser destinado a qualquer uso final.

De acordo com JANSSENS (1998, p. 171), os usos mais freqüentes atualmente são:

- alma para vigas;
- forro para telhado;
- base para paredes e pisos em construções residenciais;
- empacotamento e gradeamento;
- "pallets" para estocagem a seco;
- "stands" para exibição;
- armações para mobília;
- assento e encosto de cadeira;
- tampos de mesas industriais;
- painéis de paredes decorativas;
- miolo para composto em pisos de madeira nobre;
- piso acabado;
- tapumes e divisórias;
- formas para concreto;
- "decks" e plataformas;
- carrocerias de caminhões;
- móveis;
- painéis de apoio estrutural;
- painéis isolantes;...

2.8 A MADEIRA DO *Pinus taeda* L.

Dentre os fatores favoráveis ao uso da madeira na construção civil, quando comparada a outros materiais estruturais, destacam-se: a disponibilidade ante a renovabilidade do recurso, o baixo custo proporcionado por sua leveza nas estruturas, seu tempo reduzido de montagem e sua excepcional resistência relativa a seu peso (NATIONAL COMMITEE ON WOOD UTILIZATION, 1929, p. 1).

Na região sul do Brasil, atualmente, a disponibilidade de matéria-prima para indústria vem sendo discutida. Há muita divergência acerca de qual a extensão do estoque atual e quanto deve ser plantado para continuidade do abastecimento de uma demanda crescente. De acordo com MATOS (1997, p. 2), estes recursos para o abastecimento da indústria recaem basicamente sobre os plantios de espécies exóticas.

Este cenário deve se manter, devido a disposição dos produtores que se vêem estimulados pelas excelentes taxas de desenvolvimento que estas espécies exóticas encontram em nossas condições, pelas pesquisas intensivas, que em conseqüência disto são atribuídas a elas, e finalmente pela extensiva promoção destas espécies em virtude de seus benefícios ambientais, como a redução da pressão sobre as espécies nativas, as grandes áreas certificadas e outras em fase de certificação quanto ao seu padrão no regime de manejo.

O *Pinus taeda* L. originário principalmente das florestas do sul do continente norte-americano, onde com outras espécies é conhecido comercialmente como "Southern Pine" (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1955, p. 30), não é diferente de outras espécies cultivadas, que por sua vez diferem quando em suas florestas naturais (MATOS, 1997, p. 4).

Seu excelente desenvolvimento em plantios comerciais teve muito destaque, o que determinou o ritmo acelerado de produção, principalmente durante os incentivos fiscais da década de sessenta. No entanto, a este crescimento, foram atribuídos alguns sintomas problemáticos de sua madeira, do ponto de vista tecnológico. Estes acontecimentos vieram a incentivar mais tarde diversos estudos, como os de TOMASELLI[17] (1979), MUÑIZ[18] (1993) e LUCAS[19] (1997), citados por MATOS (1997, p. 4), que visavam a caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira do *Pinus taeda* L. (TABELA 5).

Alguns dos defeitos presentes no *Pinus taeda* L. que podem se constituir em problemas na fabricação do PLP, por exemplo, e que por este motivo estimulam a pré-classificação das lâminas são, segundo TAMMELA (1998, p. 162): densidades muito baixas, suscetibilidade aos ataques de xilófagos, os nós e a rugosidade excessiva e demais problemas na superfície. A densidade média do *Pinus taeda* L. plantado no Paraná se torna mais adequada somente aos seus 30 anos de idade (MATOS, 1997, p. 7). Quando isto não ocorre, verifica-se a necessidade de uma seleção pelo lenho adulto que possui densidades médias mais elevadas. MUÑIZ (apud MATOS, 1997, p. 4), em 1993, comprovou que a porção central do tronco do *Pinus taeda* L., com diâmetro aproximado de 10 cm, apresentou baixa massa específica e baixas resistências à flexão estática e à compressão paralela à grã.

TABELA 5 – VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DE *Pinus taeda* L. COM 18, 21 E 30 ANOS DE IDADE NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA (MATOS,1997).

Lenho	Massa Específica (g/cm^3)			
	18 anos[18]	21 anos[19]	30 anos[20]	EUA[20]
Juvenil	0,436	-	0,460	-
Adulto	0,545	-	0,587	-
Média	0,490	0,413	0,523	0,510

[17] TOMASELLI, I. **Aspectos Físicos da Secagem da Madeira de** *Pinus Elliottii* Engelm. **Acima de 100°C**. Curitiba, 2000. 185 f. Tese (Concurso Público ao Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

[18] MUÑIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 236 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

[19] LUCAS, F. C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência, e a avaliação de algumas características visuais como indicadoras da qualidade das madeiras de** *Pinus elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L. Curitiba, 2000. 185 f. Tese (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

[20] FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: Wood as na engineering material. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1987, 463 p.

2.9 A MADEIRA DO *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

Sua ocorrência natural fica restrita à região nordeste de "New South Wales" e sudeste de "Queensland", províncias australianas, onde o ambiente em que esta espécie se desenvolve se assemelha ao das regiões de melhor crescimento no Brasil (EMBRAPA[21], apud ROCHA, 2000, p. 20). Com alguma resistência ao clima mais frio e tolerância à geadas menos severas em idades mais avançadas, o *Eucalyptus dunnii* Maiden vem sendo cultivado e considerado como alternativa satisfatória nas regiões orientais próximas à divisa entre os estados do Paraná e Santa Catarina, apresentando crescimento superior a outras 31 espécies em estudo realizado na região de Três Barras – SC e relatado por OLIVEIRA (1988)[22], citado por HIGA (1998, p. 6).

A madeira tem aparência semelhante a do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, apenas mais esbranquiçada, podendo ter as mesmas utilizações. Os primeiros estudos visando seu aproveitamento para celulose e papel foram muito animadores, possuindo densidades médias superiores as do *E. grandis*, estimada aos 8 anos de idade em torno de 0,482 g/cm^3 (HIGA, 1998, p. 6), apresentando-se como uma das alternativas para utilização em elementos estruturais, pisos, carrocerias, cabos para ferramentas e outras condições mais exigentes quanto a resistência, segundo colocações de CALORI e KIKUTI[23], citados por ROCHA (2000, p. 20).

SEVERO (1998, p. 156), concluiu que esta espécie possui um grande potencial para utilização de sua madeira, principalmente devido a suas propriedades mecânicas, embora apresente problemas de secagem na forma de madeira sólida, a exemplo das demais espécies do gênero.

---

[21] EMBRAPA. Ministério da Agricultura – Programa Nacional de Pesquisa de Florestas – PNPF (EMBRAPA/IBDF). Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Curitiba, 1986.

[22] OLIVEIRA, J. G. Programa de melhoramento de *Eucalyptus* spp. na Rigesa. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, 1988, Curitiba. **Anais**... Curitiba: UFPR, 1988. p.155-161.

[23] CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: EUCALYPTS: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. p. 321-326.

2.10 CARACTERÍSTICAS DA RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

A resina fenol-formaldeído (FF) é largamente utilizada como adesivo termo-estável em produtos compostos de madeira para uso exterior. O peso molecular desta resina é relativamente alto e, se estabiliza na superfície da madeira, desenvolvendo uma liga resistente a água, durável, rígida e forte. O processo de cura desta resina pode ser descrito pela conversão de pequenas para grandes moléculas, pelo processo de polimerização, ramificação da cadeia e ligações cruzadas ("crosslinking"), o que finalmente resulta numa rede tridimensional de peso molecular tendendo ao infinito (PROVDER, 1989).

Durante a prensagem à quente do painel "OSB", a resina sofre uma reação de polimerização com ela própria e reação química com a madeira, sob várias temperaturas e umidades relativas do colchão prensado. Desde que estas condições variam da camada externa para a interna, a resina FF empregada deve ser adaptada para estas condições variáveis. Dentro de certos limites, de modo geral, um aumento na temperatura de prensagem leva à um aumento na resistência da ligação. Entretanto, a temperatura alcançada na camada interna, durante a prensagem à quente, é um fator limitante na produção de "OSB" e, certamente, a temperatura na camada interna é muito mais baixa do que a alcança na superfície da chapa. As resinas FF possuem uma cura mais lenta do que as resinas UF, e requerem uma temperatura de prensagem mais elevada.

Para a cura da resina, na camada interna da chapa, é necessária uma temperatura de, pelo menos, 120°C. Contudo, para atingir esta condição os pratos da prensa precisam atingir temperaturas entre 210 e 220°C, a fim de que a temperatura necessária para a camada interna da chapa seja alcançada em um período de tempo relativamente curto. Por conseguinte, a resina utilizada na camada interna deve possuir um tempo de cura muito mais curto em relação à da superfície, para compensar a menor temperatura alcançada. Isto é levado em consideração na produção de OSB, com a utilização de resinas FF de diferentes velocidades de cura para camadas externas e internas.

2.11 CARACTERÍSTICAS DA RESINA RESORCINOL-FORMALDEÍDO

Com uma pequena mudança em relação à resina fenólica, a adição de um oxigênio ao núcleo benzênico, formando uma nova hidroxila, provoca alterações profundas na reação do composto, e principalmente, nas propriedades de solidificação. A resina tem sua cura em temperatura ambiente. Este processo de adição do oxigênio, que exige muitas reações químicas e tratamentos físicos, no entanto, não é muito simples, o que resulta em um composto de custo muito elevado e de alta reatividade, exigindo cuidados adicionais. Um destes cuidados envolve a produção da resina com deficiência do grupo metilol, o que interrompe a polimerização tornando a resina mais estável. Desta forma, a resina se constituirá completamente apenas durante seu preparo para o uso. Neste preparo é adicionado o formaldeído, antes ausente, na forma de um endurecedor, mas para haver um melhor controle também durante a operação de colagem, pode ser utilizado o paraformaldeído, que é menos reativo. Outro cuidado a ser tomado no preparo da resina é o processo exotérmico da reação. A geração do calor pode acelerar a cura e requer um método de resfriamento em muitos casos. Isto torna difícil, entre outros aspectos, a previsão da vida útil em panela da resina (MARRA, 1992, p. 84).

A reação do resorcinol com o formaldeído depende do raio molar dos dois constituintes, da concentração da solução, da temperatura, do pH, da presença de catalisadores e da quantidade de alguns álcoois presentes, que podem agir como retardadores como, por exemplo, o metanol e o etanol. Este retardamento se dá pela formação de hemiformois na reação entre o álcool e formaldeído, que nestas condições se encontra livre em menores quantidades (PIZZI, 1983, p. 139).

Nos aspectos que dizem respeito às propriedades da resorcina não há o que se opor ao seu uso, sendo ela até superior à resina fenólica quanto a sua resistência a umidade, outros fatores, e sua classificação para usos exteriores e estruturais. Mas suas principais vantagens para este caso recaem na possibilidade de se juntar elementos grandes demais para haver transferência de calor e de pressão igualmente em toda peça e de evitar a necessidade do pré-aquecimento de seus componentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MADEIRA DE *Pinus taeda* L.

A madeira utilizada na produção das chapas de compensado e PLP foi proveniente do Município de Rio Negrinho, no Estado de Santa Catarina, próximo à divisa com o Estado do Paraná. A espécie foi escolhida atendendo as propostas do projeto de proporcionar o uso de madeiras exóticas de reflorestamentos, e de grande disponibilidade.

3.1.1 Obtenção das lâminas

As lâminas foram obtidas de toras pré-aquecidas, o que ajuda na limpeza da casca evitando o desgaste da faca do torno. As lâminas para a confecção do PLP foram retiradas com espessura de 3,2 mm; já as lâminas destinadas para produção do compensado foram torneadas com 2,2 mm. Depois de serem secas até uma umidade em torno de 6 a 8%, foram classificadas visualmente quanto à presença de defeitos (classe C) e à proporção na quantidade de anéis outonais, sendo favorecidas aquelas retiradas do lenho adulto. Foram necessárias 55 lâminas para fabricação das 5 chapas de PLP, e outras 25 lâminas para fabricação das 5 chapas de compensado, as quais foram utilizadas na montagem das vigas. Todo o processo, exceto a classificação, seguiu o procedimento normalmente adotado pela indústria, conforme a proposição do trabalho.

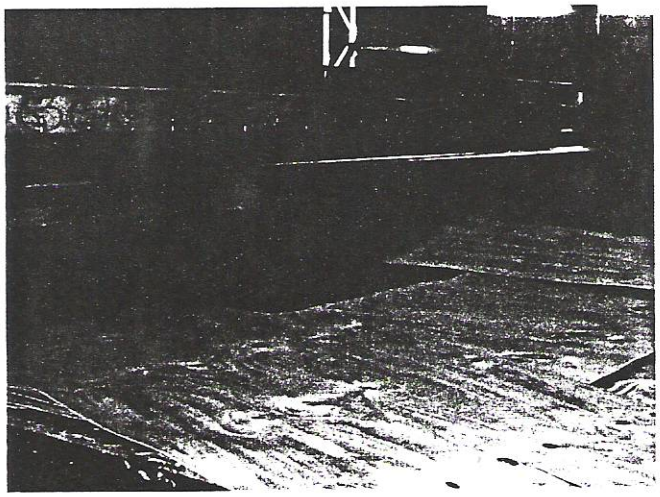
Depois de pré-aquecidas por no mínimo 5 horas à uma temperatura de 80 ±15°C, as toras seguiram para os tornos. Do mais longo, um Cremona italiano com fusos pneumáticos duplos com comprimento de laminação de 2,65 m, saíram as lâminas com largura de 1,35 m depois de guilhotinadas, as quais foram utilizadas na fabricação do PLP (3,2 mm) e do compensado (2,2 mm). Do torno curto, da Fezer, com comprimento máximo de laminação de 1,50 m, saíram as lâminas de 1,30 m X 1,30 m com 2,2 mm de espessura, que compuseram as contra-faces dos compensados.

3.1.2 Secagem das lâminas

As lâminas seguiram para o secador Omeco constituído de quatro linhas contínuas, com fluxo cruzado e controlado corretivamente por um sistema "*Dry Chain*" da Elliott Bay de medição de umidade na saída das linhas (FIGURA 5). A temperatura em torno de 140 a

150°C e a velocidade de avanço dentro do secador que variam de acordo com a espessura, foram reguladas para se atingir uma umidade final de 6 a 8%.

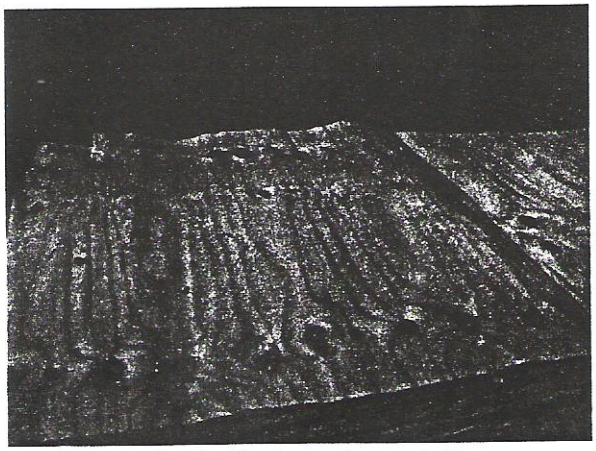
FIGURA 5 – SISTEMA DE MEDIÇÃO DA UMIDADE NAS LÂMINAS



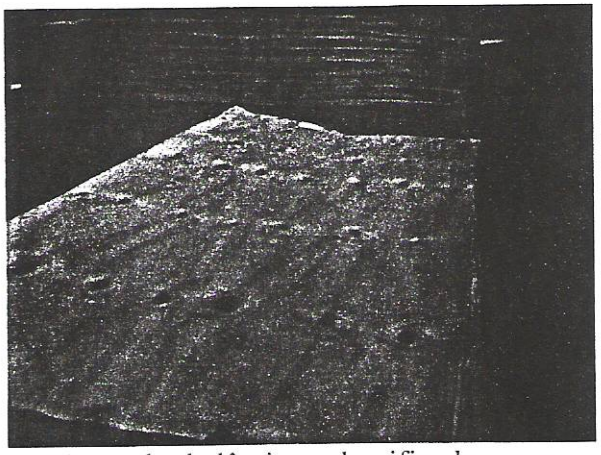
3.1.3 Classificação das lâminas

A classificação visual das lâminas seguiu, primeiramente, os critérios de qualidade certificados e adotados pela indústria, separando as lâminas da classe C de acordo com as especificações exigidas pelo Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM). Destas lâminas, foram selecionadas aquelas com maior proporção de anéis outonais, o que denota maior proximidade com a casca, que é uma qualidade desejada na produção de PLP. Foram evitadas, ainda, lâminas com fileiras de nós pouco distanciados e defeitos na superfície que pudessem comprometer a colagem das chapas, como rugosidade excessiva e rachaduras de maior profundidade (FIGURA 6).

FIGURA 6 – LÂMINAS DE PINUS PRÉ-CLASSIFICADAS



Exemplo de lâminas descartadas por distância entre nós e rachadura de topo.

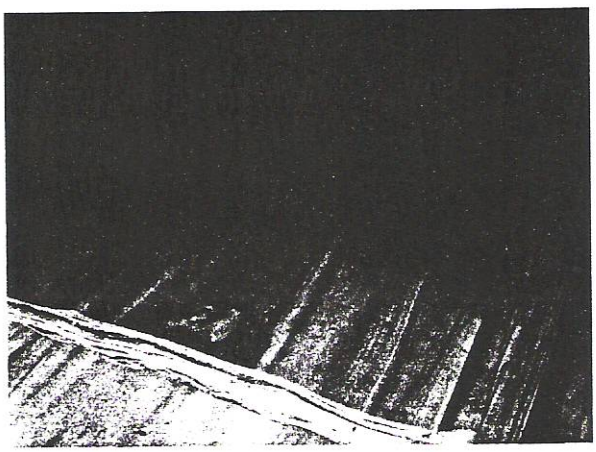


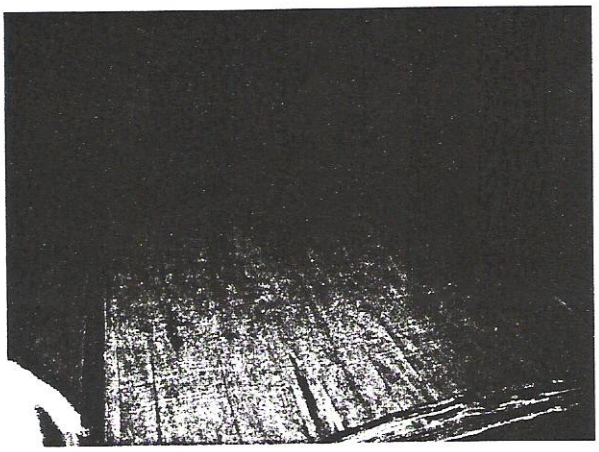
Exemplo de lâminas classificadas para produção dos painéis.

3.2 MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

Da mesma forma que o Pinus, o Eucalipto foi escolhido para os mesmos compostos, PLP e compensado, atendendo a proposta do projeto de uso de espécies exóticas de plantios comerciais, como também, a expectativa do potencial da espécie para composição na fabricação deste tipo de elemento, visto que há uma maior proximidade desta espécie com a classe de resistência das coníferas norte-americanas, além da grande disponibilidade do gênero a que ela pertence. A madeira é proveniente da região de Três Barras em Santa Catarina, também próxima ao Paraná (FIGURA 7).

FIGURA 7 – LÂMINAS DE EUCALIPTO UTILIZADAS PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS





3.2.1 Obtenção das lâminas

As lâminas foram obtidas de toras pré-aquecidas, o que ajuda na limpeza da casca evitando o desgaste da faca do torno. As lâminas para a confecção do PLP foram retiradas com 3 mm e as lâminas destinadas para produção do compensado foram torneadas com 2 mm de espessura. Depois de serem secas, até atingirem uma umidade final entre 6 e 10%, foram classificadas visualmente quanto à presença de defeitos. Foram necessárias 55 lâminas para fabricação das 5 chapas de PLP, e outras 25 lâminas para fabricação das 5 chapas de compensado. Neste caso, o processo também foi fiel às realidades da indústria, como proposto no trabalho.

Depois de pré-aquecidas por 8 a 12 horas a uma temperatura de 40 a 60°C, as toras seguiram para o torno Thoms e Benato. As lâminas longas foram guilhotinadas com 2,50 m X 1,40 m, e as curtas que saíram do mesmo torno tiveram que ser cortadas ao meio com 1,25 m X 1,40 m para formar as contra-faces do compensado.

3.2.2 Secagem das lâminas

No secador Omeco com fluxo cruzado, as lâminas foram secas sob uma temperatura em torno de 150 °C, com velocidades de avanço que variaram de acordo com a espessura até chegarem a umidade desejada, entre de 6 e 10%.

3.2.3 Classificação das lâminas

Buscou-se fazer a classificação das lâminas sob os mesmos critérios de qualidade especificados para o Pinus, mesmo não existindo estes critérios controladores para uma certificação do Eucalipto, que ainda não existe para a espécie. As lâminas que apresentaram os mesmos defeitos observados no Pinus também foram desclassificadas.

3.3 RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

Foi utilizada em sua constituição líquida e em quantidade equivalente a 50 kg para formulação dos 60 kg do adesivo a ser empregado na produção do PLP e do compensado. Além da resina, foram utilizados também: cerca de 5 a 6 kg de farinha de trigo, como extensor e mais 5 litros de água. A formulação, que é a mesma normalmente utilizada pela indústria, encontra-se descrita na TABELA 6, assim como a formulação encontrada na literatura, apresenta-se na TABELA 7.

TABELA 6 – FORMULAÇÃO DA RESINA FENOL-FORMALDEÍDO UTILIZADA NA INDÚSTRIA

Composição	Pinus (partes)	Eucalipto (partes)
Fenol-formaldeído	100	100
Água	10	10
Extensor	10-12	10-12

TABELA 7 – FORMULAÇÃO DA RESINA FENOL-FORMALDEÍDO CONSTATADA NA LITERATURA

Composição	Pinus* (partes)	Eucalipto** (partes)
Fenol-formaldeído	100	100
Água	10	10
Extensor (farinha de trigo)	10	10
Material de enchimento (casca de coco em pó)	2	2

FONTES: * MATOS (1997, p. 52) e ** PIO (2002, p. 59)

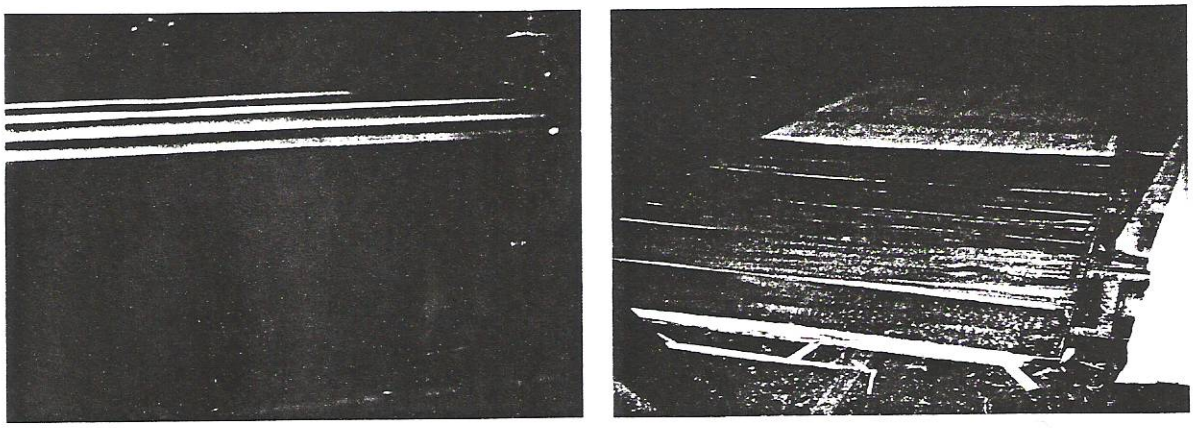
3.4 FABRICAÇÃO DO PLP E DOS COMPENSADOS

Os 10 painéis PLP produzidos: 5 de *Pinus taeda* L. e 5 de *Eucalyptus dunnii* Maiden com 11 camadas, ambos com 32 mm de espessura; e os 10 painéis compensados (5 de cada espécie) de 5 camadas e espessura de 9 mm; todos com 1,22 m de largura e 2,44 m de comprimento; tiveram as variáveis do processo determinadas pelo próprio fabricante, seguindo a proposição do projeto de se produzir elementos engenheirados a partir de matéria-prima proveniente de um processo contínuo aplicado naturalmente na indústria da Região Norte-catarinense.

3.4.1 Aplicação do adesivo

O adesivo foi aplicado nas 2 faces das lâminas pares por um aplicador de rolos calibrados para uma gramatura da linha de cola dupla de aproximadamente 420 g/m^2 para o Pinus e 400 g/m^2 para o Eucalipto (FIGURA 8).

FIGURA 8 – APLICADOR DO ADESIVO E MONTAGEM DAS CHAPAS



3.4.2 Prensagem

Depois de montadas, as chapas seguiram para uma prensa Omeco de alimentação e descarga manual, com 30 aberturas. As condições para o ciclo de prensagem são apresentados na TABELA 8.

TABELA 8 – VARIÁVEIS DA PRENSAGEM

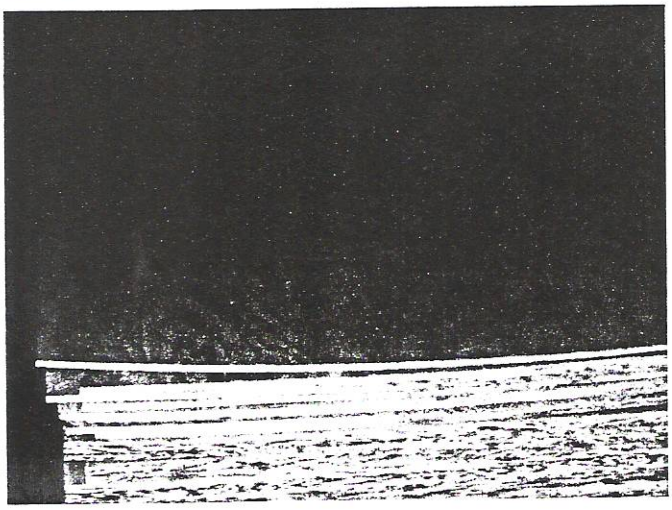
Espécies	Tipo de painel	Pressão (kgf/cm^2)	Temperatura (°C)	Tempo de prensagem (min)	Tempo de fechamento*/ abertura da prensa
Pinus	PLP	9,2	135 ± 5	25	2min05s/ 2min05s
	compensado	9,2	135 ± 5	9	2min05s/ 2min05s
Eucalipto	PLP	9,2	130 ± 5**	25	2min05s/ 3min**
	compensado	9,2	130 ± 5**	9	2min05s/ 3min**

NOTA: * O tempo de fechamento foi considerado do carregamento até a consolidação da pressão final.
** A temperatura foi reduzida e o tempo de abertura foi controlado manualmente no intuito de evitar o colapso, devido à maior propensão para formação de bolhas nas chapas de Eucalipto.

3.4.3 Acondicionamento e Dimensionamento

Depois do acondicionamento, as chapas foram esquadrejadas nas dimensões finais de 1,22 X 2,44 m, e calibradas numa lixadeira até a espessura de 32 mm para o PLP e 9 mm para o compensado. Ao final do processo de fabricação, as chapas seguiram para expedição, seguindo os mecanismos usuais dentro do sistema original do fabricante (FIGURA 9).

FIGURA 9 – PAINÉIS PLP E COMPENSADO DE PINUS AGUARDANDO EXPEDIÇÃO.



3.5 FABRICAÇÃO DO OSB

O OSB de *Pinus* spp. com espessura de 9 mm foi produzido em Ponta Grossa no Estado do Paraná. A matéria-prima é proveniente das florestas do próprio fabricante e de terceiros em várias regiões do Paraná e, também, de Santa Catarina. Essa matéria-prima segue, dentro da indústria, um processo semelhante ao apresentado resumidamente na FIGURA 4 do item 2.7.2.

As toras são descascadas ainda no pátio, posteriormente são levadas aos "flakers" canadenses fabricados pela CAE que as processam em partículas "strand" de 100 X 25 X 0,5 mm. As partículas primeiramente são secas e depois misturadas ao adesivo a base de resina PMUF (composta por base fenólica, melanínica e uréica), tratado com produtos contra agentes degradadores. Em seguida se dirigem para as estações formadoras e orientadoras alemãs da Dieffenbacher, que formam o colchão com 100 a 400 mm de espessura. O colchão sofre uma compactação na razão de 10:1, chegando a espessuras finais dos painéis de 6 a 50 milímetros e, segue para uma prensa contínua de 2,640 m de largura por 44 m de comprimento, onde é submetido a uma temperatura de 190 a 230°C e a uma pressão média de 3 MN/m^2 (30,6 kgf/cm^2) exercida gradualmente por pistões seqüenciados.

Na saída da prensa as chapas são esquadrejadas por uma serra de deslocamento oblíquo que não impede o movimento contínuo da linha. Antes de serem armazenados, os

Painéis de Partículas ("strand") Orientadas passam pela grade de acondicionamento, que tem seu temporizador programado de acordo com o produto.

3.6 RESINA RESORCINOL-FORMALDEÍDO

A resina Cascophen RS-216-M, fabricada pela Borden Química S.A., a base de resorcinol-formol, é a mais indicada para colagens a frio de elementos como estas vigas "I-joists". Quando formulada a 20°C, a mistura da resina com o endurecedor em pó FM-60-M tem sua vida útil em panela resumida a pouco mais de 4 horas. Este tempo se reduz a 1 hora e meia se a temperatura for de 32°C. Outras características desta resina estão apresentadas na TABELA 9.

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DA CASCOPHEN RS216-M

Característica	Condições de teste	Valores
Viscosidade	Brookfield, 2/30/25°C	530-650 cP
Teor de sólidos	1 g / 3 h / 105°C	53-58 %
Gel Time (Resina+endurecedor)	21°C	3,5-6,0 horas
pH	25°C	6,9-7,5

FONTE – BORDEN (2002, p. 1)

3.7 FABRICAÇÃO DAS VIGAS "I" ("I-JOISTS")

Uma quantidade em torno 2 kg do adesivo, responsável pela ligação dos compostos na produção das Vigas "I", foram formulados e utilizados conforme a composição apresentada na TABELA 10.

TABELA 10 – FORMULAÇÃO DO ADESIVO A BASE DE RF

Composição	Partes
Resorcinol-formaldeído (RS-216-M)	100
Endurecedor (FM-60-M)	20

FONTE – BORDEN (2002, p. 1)

A resina foi aplicada a uma gramatura de 400 g/m^2 em linha dupla. Além da gramatura, foram observados os seguintes aspectos durante a montagem das vigas (MATSUNAGA,1995):

- Umidade da madeira: segundo o fabricante, uma boa colagem se dá com uma umidade entre 8 e 14%;
- Espalhamento da cola: foi feito com o uso de um pincel nas duas superfícies a serem coladas, das almas e das flanges;
- Tempo de montagem: a resina requer um tempo mínimo de montagem, que nada mais é do que o tempo compreendido entre o espalhamento da cola até a aplicação da pressão. No entanto, este tempo não deve nunca exceder o tempo máximo de montagem, que é proporcional à temperatura, de acordo com a TABELA 11;
- Prensagem a frio: a pressão exercida ficou em torno de 686,5 kPa (7 kgf/cm^2); e o tempo mínimo de aplicação da pressão seguiu as recomendações do fabricante da resina, como exposto na TABELA 12;
- Tempo requerido após a prensagem: de 8 a 10 dias em repouso em ambiente com temperatura, preferencialmente, acima de 20°C.

TABELA 11 – TEMPO MÁXIMO DE MONTAGEM EM MINUTOS

Tipo de Montagem	20°C	26°C	32°C	38°C
Montagem aberta (superfícies expostas)	15'	10'	7'	5'
Montagem fechada (superfícies juntas)	60'	40'	25'	15'

FONTE - BORDEN (2002, p. 2)

TABELA 12 – TEMPO MÍNIMO DE PRENSAGEM EM HORAS

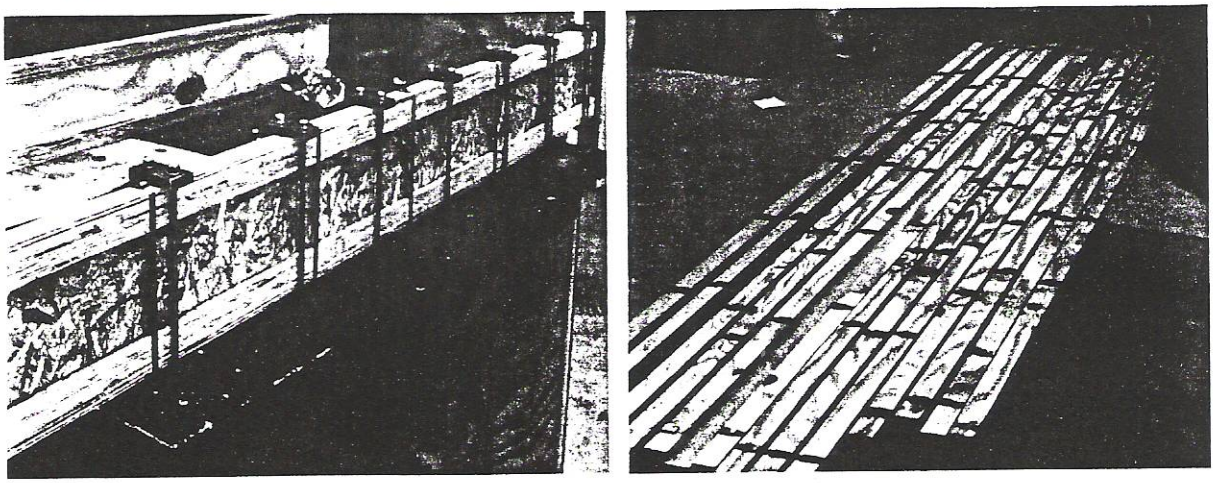
Prensagem	20°C	24°C	28°C	32°C
Tempo de prensagem (min)	10 a 14	8 a 10	6 a 8	5 a 6

FONTE – BORDEN (2002, p. 2)

As 30 vigas foram produzidas pela colagem das flanges de PLP de *Pinus taeda* L e *Eucalyptus dunnii* Maiden com as almas de compensados das mesmas espécies e painéis OSB de *Pinus taeda* L. A prensagem foi feita por meio de mecanismos de barras roscadas sobre toda extensão das vigas, distantes não mais que 30 cm uns dos outros. Nos entremeios dos mecanismos de prensagem foram feitas amarras com tiras de aço tencionadas para que as

vigas permanecessem prensadas durante a cura, que ocorre de 10 a 15 horas sob temperaturas entre 32 e 20°C. As vigas permaneceram amarradas por mais de 4 dias, aguardando os testes, conforme recomendação do fabricante do adesivo para estabilização do elemento (FIGURA 10).

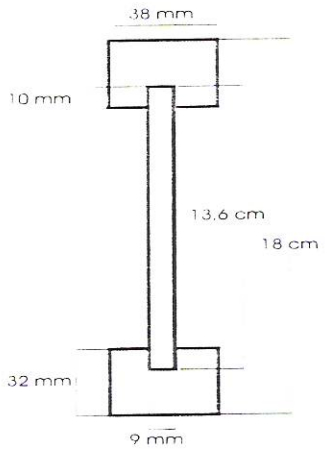
FIGURA 10 – PRENSAGEM E AMARRAÇÃO DAS VIGAS



As 60 flanges de comprimento (2,44 m) e espessura (32 mm = 1-$^{1}/_{4}$pol.), iguais aos das chapas PLP, foram cortadas com um largura de 1-$^{1}/_{2}$pol. ou 38,10 mm, e tiveram canaletas de largura igual a 3/8pol. (≅9 mm) e profundidade de 10 mm feitas no centro de uma de suas faces. Para composição das 30 almas, as peças dos compensados e o OSB, foram cortados também com comprimento (2,44 m) e espessura (9 mm) iguais aos dos painéis e com largura de 13,6 cm (≅5-$^{3}/_{8}$pol.).

Ao final, as vigas "I", depois de coladas ficaram com 18,0 cm de altura (7-$^{1}/_{8}$pol.). As medidas da seção foram estabelecidas de acordo com os padrões para os testes determinados pelo "Wood Committee D7", divisão de produtos de madeira da ASTM (FIGURA 11). A altura (*h*), que foi estabelecida em 5:1, conforme a relação (*a*/*h*), constante na normativa D198 (ASTM, 1994, p. 60), que deve ser de no mínimo 5:1 a no máximo 12:1, sendo "*a*" a distância entre os pontos de aplicação da força e os pontos de reação nos apoios das vigas durante os testes de flexão estática.

FIGURA 11 – DESENHO DA SEÇÃO DA VIGA



3.8 PLANO EXPERIMENTAL

Para este estudo foi proposta e executada a avaliação dos seguintes aspectos para constituição das hipóteses.

a) A produção da matéria-prima para as vigas, ou seja, das chapas, obedeceu aos parâmetros de produção dos próprios fabricantes; tanto a dos compensados, como dos painéis de lâminas paralelas e dos painéis de partículas orientadas;
b) Os painéis foram confeccionados com dimensões que possibilitaram a produção de vigas "I", buscando-se atender as normas para os testes e os padrões da ASTM;
c) Os painéis passaram por testes preliminares antes da composição das vigas. Todos passaram por avaliações da resistência à flexão estática e da massa específica aparente, e os painéis que compuseram as almas (compensados e OSB) foram testados também quanto à resistência a compressão perpendicular;
d) As vigas "I" foram produzidas com o objetivo de se estabelecer um comparativo entre as variações das combinações entre as flanges e as almas, e desta forma procurar identificar a contribuição de cada um dos compostos na performance das vigas, através da medição do MOE, MOR e da deflexão.

3.8.1 Delineamento estatístico dos testes preliminares

3.8.1.1 AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS E DO OSB

Os ensaios dos 3 componentes das almas (os Compensados das 2 espécies e o OSB) seguiram princípios iguais. Os objetivos principais dos ensaios foram:

a) Verificar o nível da qualidade das chapas de cada tipo, através das propriedades físicas e mecânicas mais relevantes em termos estruturais, levando-se em conta sua posição na composição das vigas;
b) Utilizando-se dos mesmos dados, evidenciar o nível de heterogeneidade entre os materiais, quando significativo, para poder, desta forma, estabelecer as comparações desejadas, inferindo-se sobre esta hipótese;
c) Possibilitar a verificação da existência, ou não, de relações entre as possíveis variações nas propriedades das repetições das chapas, com as das repetições das vigas.

Estas análises foram executadas com as medições da resistência à flexão estática (FIGURA 12), atendendo a normativa D3043-95, da resistência à compressão perpendicular, de acordo com a D3501-94, e da massa específica aparente das chapas, com a D2395-83; todas da ASTM.

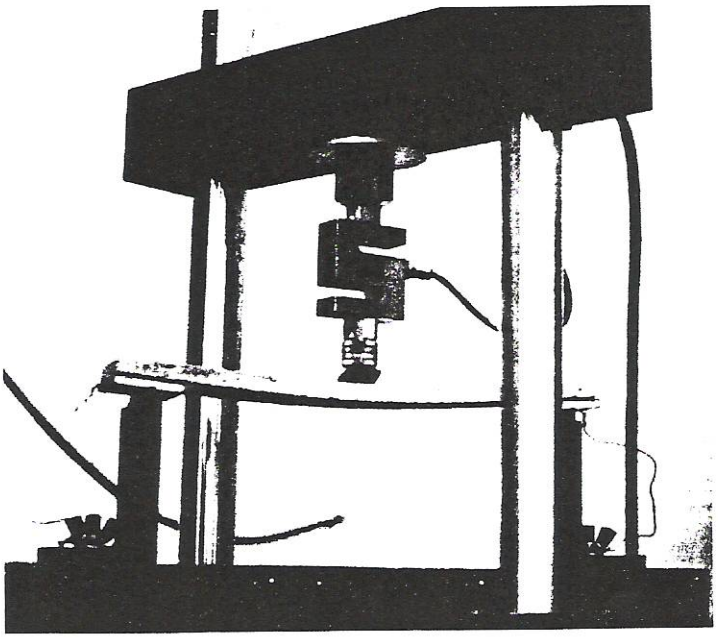
Seguindo as normativas D2395 (ASTM, 1983, p. 355) e D3043 (ASTM, 1995, p. 410), foram utilizados os mesmos corpos de prova para obtenção da massa específica e da resistência a flexão estática, com largura de 50 mm (para corpos com mais de 6 mm de espessura), 500 mm de comprimento (acima de 48 vezes a espessura mais 50 mm) e 9 mm de espessura. Foram retirados 10 corpos de prova(5 paralelos e 5 perpendiculares à orientação das fibras) de cada uma das 15 chapas, perfazendo o total de 150, conforme apresentado na TABELA 13.

TABELA 13 –DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS COMPENSADOS E OSB

Painel	Orientação	Repetições	Nº de painéis	Nº de corpos de prova
Compensado de Pinus	//	5	5	25
	⊥	5	5	25
Compensado de Eucalipto	//	5	5	25
	⊥	5	5	25
OSB	//	5	5	25
	⊥	5	5	25
Total				150

- // - paralela
- ⊥ - perpendicular

FIGURA 12 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA DOS PAINÉIS OSB



A massa específica aparente foi determinada pela pesagem e dimensionamento dos corpos de prova acondicionados e estabilizados com aproximadamente 12% de teor de umidade.

Para os testes de resistência à compressão perpendicular, de acordo com a norma D3501 da ASTM (1994, p. 442), os corpos de prova dos compensados e do OSB (9 mm) com

mais de 6 mm de espessura devem ter largura de no mínimo 25 mm, não podendo ser menor que a espessura, e comprimento de no máximo 7 vezes a dimensão da espessura. Sendo assim, os 75 corpos com comprimento de 60 mm e largura de 25 mm foram cortados como delineado na TABELA 14.

TABELA 14 - DELINEAMENTO ESTATÍSTICO PARA OS TESTES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS COMPENSADOS E OSB

OSB Painel	Repetições	Nº de painéis	Nº de corpos de prova
Compensado de Pinus	5	5	25
Compensado de Eucalipto	5	5	25
Total			50

Os 75 corpos de prova tiveram sua seção determinada em medição da suas dimensões. Estes corpos permaneceram em câmara climatizada por cerca de uma semana. Os ensaios de Compressão Perpendicular, seguiram os procedimentos descritos na D3501 da ASTM (1994, p. 442).

3.8.1.2 AVALIAÇÃO DO PLP

Os ensaios das duas espécies do PLP, ou LVL, que vieram a compor as flanges das vigas, foram objetivados da mesma forma que os componentes das almas. Para isto, buscou-se realizar os ensaios expondo o material aos esforços, na mesma posição em que se encontraria nas vigas, ou seja, com o plano de orientação das lâminas na horizontal.

Para tal, a opção pelos testes de resistência à flexão estática, deste caso, seguiu uma adaptação às especificações constantes na normativa D198 da ASTM (1994, p. 60), onde o comprimento foi estabelecido para aplicação da carga em um único ponto, pois tal tipo de teste, para espessura deste painel, poderia ficar comprometido por um comprimento muito elevado, caso este fosse estabelecido através da D3043 (ASTM, 1995, p. 410). Sendo assim, os 50 corpos de prova, 25 de Pinus e 25 de Eucalipto (5 de cada painel), conforme a TABELA 15, foram obtidos com seção de largura igual a 38 mm, altura de 32 mm e um comprimento de 552 mm, sendo 452 mm relativos ao vão entre os apoios, atendendo a uma relação "*a*/*h*" de 7:1, com mais 10 mm se estendendo além destes.

TABELA 18 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE AS CHAPAS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

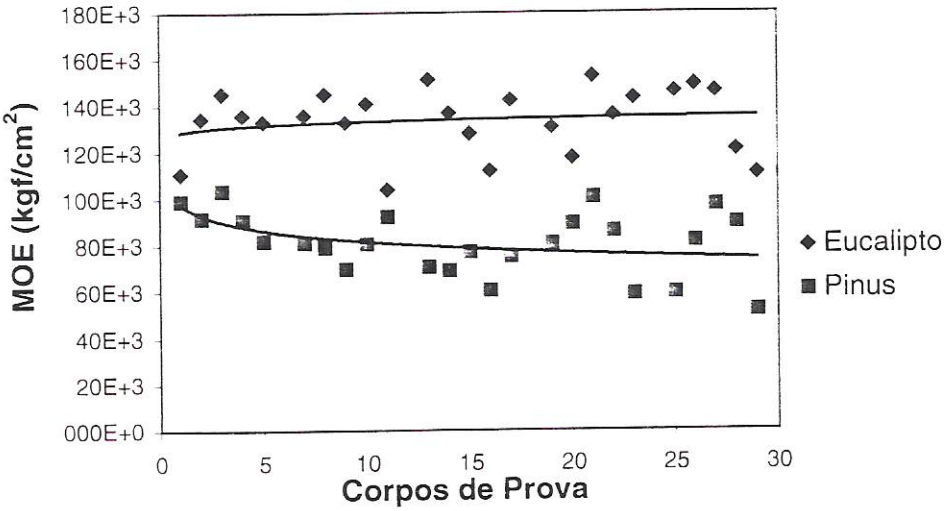
	Painel	MOE kgf/cm^2	CV%
PLP de Eucalipto	9	135972,98	9,75
	10	134473,26	12,32
	8	134056,56	11,21
	6	131989,18	9,73
	7	131804,20	13,08
	Média geral	133659,24 a*	11,3
PLP de Pinus	1	93417,48	8,92
	4	82939,30	9,91
	2	80588,66	9,11
	5	75632,06	18,64
	3	70360,18	25,75
	Média geral	80587,54 b*	15,62

NOTA: * Médias estatisticamente diferentes, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A média do MOE, obtida por MATOS (1997, p. 68), para as chapas de Pinus fabricadas com lâminas de 3,2 da base e do topo, classificadas por meio de testes não destrutivos, foi de 96.725,5 kgf/cm^2 e está mais próxima da média de 80.587,5 kgf/cm^2, observada neste trabalho, uma vez que a média obtida pelo autor, para as chapas produzidas com lâminas não classificadas, foi de 57.026,5 kgf/cm^2. PIO, (2002, p. 133), apresentou as médias que obteve para o PLP de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden de 6 classes de resistência. Apesar da média da massa específica, destas classes, de 0,723g/cm^3, se aproximar bastante da média do *E. dunnii* (0,776 g/cm^2), o valor médio do MOE entre as classes estabelecidas pelo autor de 97.508,1 kgf/cm^2 é significativamente inferior aos 133.659,2 kgf/cm^2 obtidos neste trabalho, não podendo ser estabelecido como base comparativa.

Entre o Eucalipto e o Pinus utilizados nesse trabalho, observa-se uma diferença estatística significativa (Apêndices 4 e 5, p. 80 e 81), entre as médias do MOE. Esta diferença, apresentada graficamente na FIGURA 16,provavelmente foi influenciada pela diferença acentuada verificada entre as massas específicas aparentes, uma vez que, praticamente, todas as demais variáveis na produção das chapas foram as mesmas para os dois materiais.

FIGURA 16 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA DISPERSÃO ENTRE O MOE DOS PAINÉIS PLP DE PINUS E EUCALIPTO



A variação existente entre as espécies está relacionada à média das repetições de cada uma delas. Mas entre as médias de cada repetição, ou seja, de cada painel da mesma espécie, a diferença testada pela análise de variância e pelo teste de Tukey (Apêndices 4 e 5, p. 80 e 81) , mostrou-se não significativa, como está ilustrada nas tendências do gráfico da FIGURA 16.

4.1.1.3 ANÁLISE DO MÓDULO DE RUPTURA

Os valores médios do MOR estão listados na TABELA 19, para o Pinus e o Eucalipto. Neste caso, ao contrário do que ocorreu com o MOE, a média para o MOR do Pinus observada por MATOS (1997, p. 68), igual a 408 kgf/cm^2 foi inferior aos 678,5 kgf/cm^2, e a do *E. grandis* (PIO, 2002, p. 129), de 1135,18 kgf/cm^2, foi mais elevada que os 915 kgf/cm^2, observados para o *E. dunnii* neste trabalho.

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA O MOR ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS PAINÉIS PLP DE *Pinus taeda* L. E DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

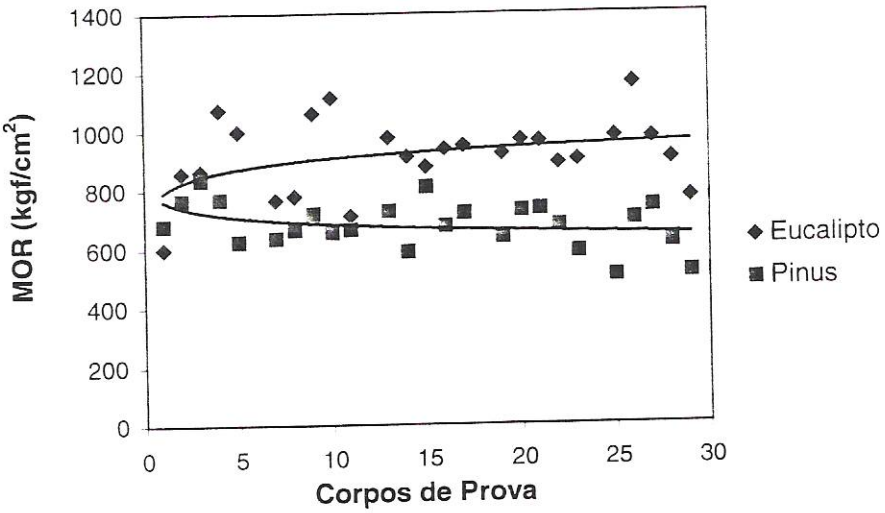
	Painel	MOR kgf/cm^2	CV%
PLP de Eucalipto	10	956,08	14,75
	8	930,96	4,13
	9	927,62	3,83
	7	886,00	21,03
	6	878,82	20,57
	Média geral	915,90 a*	14,65
PLP de Pinus	1	735,44	11,20
	3	703,94	11,44
	4	671,96	9,23
	2	667,96	4,64
	5	613,42	17,11
	Média geral	678,54 b*	11,24

NOTA: * Médias estatisticamente diferentes, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A análise de variância feita sobre a interação dos valores do Pinus e do Eucalipto comprovou a diferença estatística entre as médias das duas espécies, confirmada pelos resultados do teste de médias de Tukey (Apêndices 6 e 7, p. 82 e 83), da mesma forma que ocorreu com a massa específica e com o MOE. Tal diferença se encontra apresentada graficamente na FIGURA 17.

A seleção das lâminas, mencionada no item anterior, também pode ser responsável pela mesma condição apresentada na medição MOE do PLP. A análise estatística demonstrou que não há variação significativa, entre as médias do Módulo de Ruptura, dos painéis PLP, dentro da mesma espécie. A diferença estatística não significativa entre as médias dentro das espécies e, a diferença estatística significativa entre as duas espécies, demonstradas pela análise de variância simples, e comprovadas pelo teste de médias de Tukey (Apêndices 6 e 7, p. 82 e 83), são apresentadas nas tendências do gráfico da FIGURA 17.

FIGURA 17 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DA DISPERSÃO DO MOR DOS PAINÉIS PLP DE PINUS E EUCALIPTO



4.1.2 Propriedades dos painéis compensados e do osb

4.1.2.1 ANÁLISE DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Os resultados desta variável dos painéis Compensados de Pinus e Eucalipto e dos painéis OSB podem ser vistos nas TABELAS 20, 21 e 22.

TABELA 20 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM *Eucalyptus dunnii* MAIDEN

	Painel	Orientação	Massa Específica g/cm^3	CV%
Compensado de Eucalipto	10	⊥	0,744	1,958
	10	//	0,744	1,063
	6	//	0,728	1,020
	9	//	0,680	1,939
	8	//	0,676	1,411
	6	⊥	0,669	2,686
	9	⊥	0,666	2,837
	8	⊥	0,653	2,629
	7	⊥	0,642	1,333
	7	//	0,628	1,361
Média geral			0,683 a*	1,918

TABELA 21 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS OSB PRODUZIDOS COM *Pinus* spp.

	Painel	Orientação	Massa Específica g/cm^3	CV%
OSB	4	⊥	0,653	1,858
	1	⊥	0,639	2,777
	5	⊥	0,637	3,408
	3	⊥	0,636	1,520
	5	//	0,632	3,636
	2	//	0,630	3,042
	3	//	0,626	1,718
	4	//	0,621	1,701
	1	//	0,619	2,838
	2	⊥	0,610	2,324
Média geral			0,630 b*	2,587

TABELA 22 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM *Pinus taeda* L.

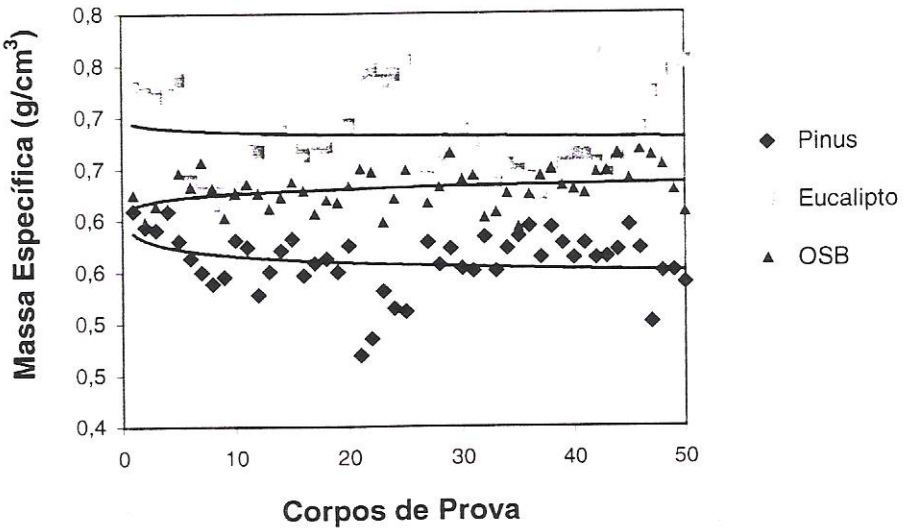
	Painel	Orientação	Massa Específica g/cm^3	CV%
Compensado de Pinus	1	//	0,596	2,106
	2	⊥	0,577	2,875
	3	⊥	0,574	2,143
	4	⊥	0,573	2,228
	1	⊥	0,562	2,239
	3	//	0,561	3,891
	4	//	0,558	2,051
	2	//	0,556	2,995
	5	⊥	0,531	4,185
	5	//	0,502	4,954
Média geral			0,559 c*	3,047

NOTA: * Médias estatisticamente diferentes, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Inversamente ao que ocorreu com os painéis PLP, os valores para massa específica obtidos para os painéis OSB, para os compensados de Pinus e, principalmente, para os compensados de Eucalipto, se mostraram diferentes estatisticamente, entre os painéis do mesmo material. Estes resultados, conforme esperado, demonstraram a eficiência da seleção realizada com as lâminas do PLP, porque as lâminas empregadas na fabricação dos compensados não foram selecionadas quanto à preferência pelo lenho adulto.

Conforme os resultados da ANOVA (Apêndice 9, p. 85) rejeitou-se a hipótese de nulidade, desta forma confirmando a existência de variação significativa entre os painéis de cada material e entre os materiais, confirmada pelo teste de Tukey (Apêndice 10, p. 86), que está relacionado graficamente ao lado das médias gerais nas TABELAS 20, 21 e 22. A distribuição mais difusa dos pontos apresentada na FIGURA 18, assim como os maiores desvios a partir das linhas de tendência, levemente mais inclinadas, demonstram o resultado apresentado nas tabelas.

FIGURA 18 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DAS MASSAS ESPECÍFICAS OBTIDAS DOS MATERIAIS COMPONENTES DAS ALMAS DAS VIGAS "I"



A heterogeneidade dos três materiais foi analisada estatisticamente com uma interação das médias, que revelou uma diferença significativa entre elas. Existe uma mescla entre os pontos dos três materiais, mas uma distância entre as linhas de tendência, principalmente a do OSB (FIGURA 18). A diferença da massa específica aparente, existente entre as espécies, nos painéis PLP, se confirmou também nos Compensados. E o que pode explicar a variação entre o OSB fabricado com Pinus e o Compensado do mesmo gênero é a alta razão de compactação do colchão, em que uma massa maior de material ocupa o mesmo volume do painel laminado. Em números relativos a massa específica aparente do Compensado de Eucalipto foi 22,18% maior que a do Compensado de Pinus e 8,41% maior que a do OSB, enquanto este último apresentou um valor 12,90% maior que o do Compensado de Pinus.

4.1.2.2 ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os resultados para o MOE, obtidos nos ensaios dos Compensados de Pinus e Eucalipto e do OSB, nos sentidos de orientação paralela e perpendicular, são apresentados na TABELA 23, juntamente com o resultado do teste de média de Tukey (Apêndices .13 e 15, p. 89 e 91)

TABELA 23 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* Maiden E O OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOE kgf/cm²	CV%
Paralela	Compensado de Eucalipto	8	143262,6	5,956
		10	141256,9	19,679
		6	137364,6	10,021
		9	128467,4	20,909
		7	113721,2	3,421
		Geral	132814,5 a	10,021
	Compensado de Pinus	4	70788,2	14,847
		3	70036,5	14,218
		5	65918,3	20,116
		2	56060,3	11,239
		1	51506,3	6,660
		Geral	62861,9 b	10,515
	OSB	5	51506,5	19,817
		2	50212,4	5,802
		3	49667,7	5,312
		1	48025,5	2,795
		4	45881,4	16,326
		Geral	49058,7 b	8,589
Perpendicular	Compensado de Eucalipto	6	50555,6	4,070
		9	45659,2	6,524
		8	42063,4	4,458
		7	39712,9	9,453
		10	39611,7	5,176
		Geral	43520,5 a	4,294
	Compensado de Pinus	2	53143,2	12,062
		3	37430,3	7,990
		4	37078,1	14,219
		1	30662,3	9,501
		5	22599,0	9,986
		Geral	36182,6 a	8,356
	OSB	3	38812,6	32,760
		5	35273,9	27,839
		1	29513,0	38,048
		2	25506,4	38,985
		4	24388,1	9,320
		Geral	30698,8 b	22,761

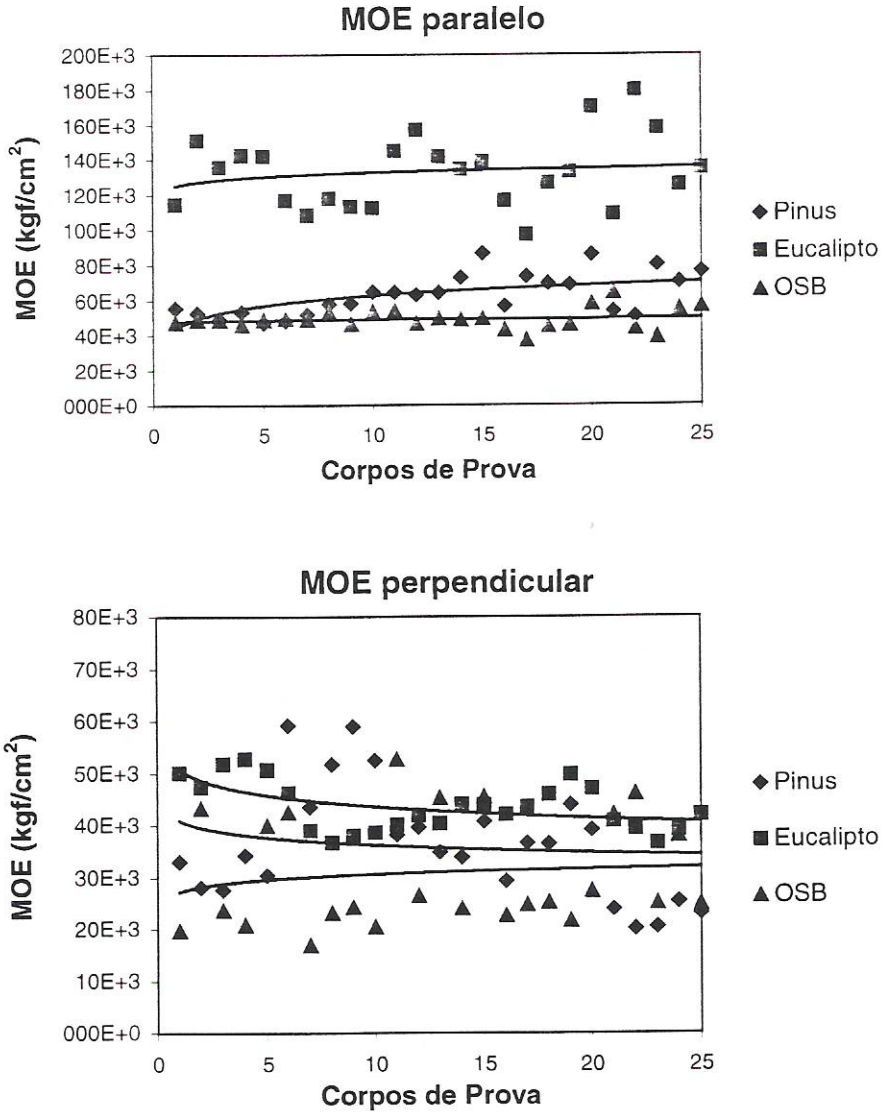
A análise de variância das médias entre as repetições de cada material apresentou, estatisticamente no sentido paralelo, uma variação não significativa do OSB e do Compensado de Eucalipto e significativa do Compensado de Pinus. No sentido perpendicular somente o OSB apresentou variação não significativa. Estes resultados que podem ser verificados nos Apêndices 12 e 14 (p. 88 e 90), estão representados no gráfico da FIGURA 19.

As médias do MOE na resistência à flexão estática dos painéis OSB e dos compensados, no sentido paralelo, apresentaram-se com uma heterogeneidade relativamente superior que a do MOE no sentido perpendicular.

A interação entre os tipos de material também foi feita em separado para os dois planos de orientação dos testes. Na FIGURA 19 é possível verificar que as tendências do sentido paralelo são mais definidas, pelos menores desvios. Isso explica a maior distância no gráfico entre os tratamentos, quando comparada com a análise do sentido perpendicular. Também nestes gráficos demonstrativos, pode ser ressaltada a ordenação do desempenho de cada um dos tratamentos. Observa-se que, apesar de possuir massa específica superior que a do Compensado de Pinus, o OSB apresenta um valor médio do MOE inferior. Isso se explica pela característica da matéria-prima utilizada no painel, que é constituído por lâminas mais curtas. A descontinuidade no plano interrompe, de certa forma, a resistência às forças de tração e compressão respectivamente nas superfícies inferior e superior do painel, efeito comumente observado em outros painéis aglomerados.

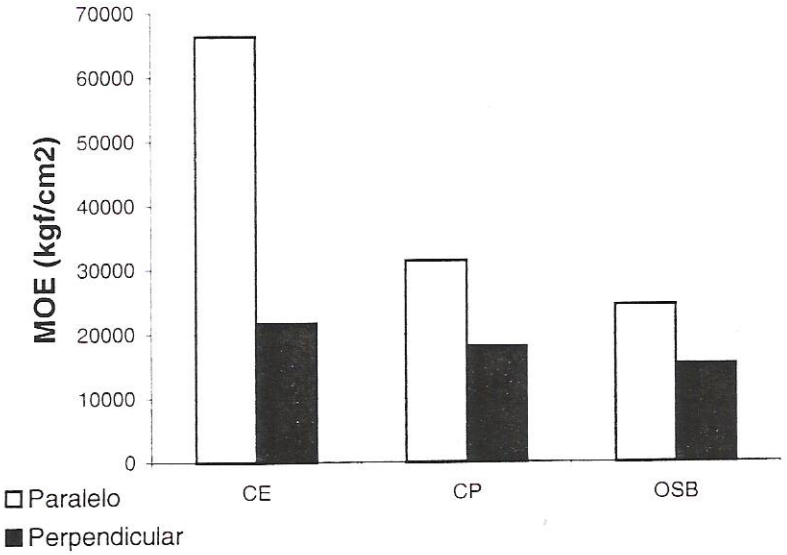
Em valores relativos das diferenças numéricas no sentido paralelo, o MOE do Compensado de Eucalipto foi 111,28% superior ao do Compensado de Pinus, que por sua vez, foi 28,14% superior ao do MOE do OSB. Tais comparações, no sentido perpendicular, apresentaram valores menos expressivos, tendo estes sido respectivamente, 20,28% e 17,86% de variação.

FIGURA 19 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS MATERIAIS COMPONENTES DAS ALMAS



A FIGURA 20 apresenta um histograma das médias do MOE paralelo e perpendicular dos três materiais, onde se pode verificar a diferença entre as duas orientações, que se deve principalmente pelo número de lâminas com a grã no sentido do comprimento dos corpos de prova, que é maior na orientação paralela.

FIGURA 20 – HISTOGRAMA DEMONSTRATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DAS MÉDIAS DOS MATERIAIS E DOS PLANOS DE ORIENTAÇÃO



4.1.2.3 ANÁLISE DO MÓDULO DE RUPTURA

O Módulo de Ruptura foi obtido a partir da mesma bateria de ensaios de flexão a que foram submetidos os corpos para obtenção do Módulo de Elasticidade. Os resultados obtidos neste experimento para esta variável, que constam na TABELA 24, apresentaram desvios consideráveis no plano perpendicular para os dois Compensados, principalmente o de Pinus; e no plano paralelo para o OSB; onde os valores médios do MOR tiveram a hipótese da nulidade rejeitada por ambos os testes: da análise de variância (Apêndices 17 e 19, p. 93 e 95) e de médias de Tukey (Apêndices 18 e 20, p. 94 e 96).

Apesar das variações entre as repetições de alguns dos tratamentos, destacaram-se mais as variações verificadas entre os tratamentos, que foram comprovados pelos resultados tanto da análise da variância, como dos testes de Tukey (TABELA 24).

TABELA 24 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O MÓDULO DE RUPTURA ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE OS TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* MAIDEN E O OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOR kgf/cm²	S kgf/cm²	CV%
Paralelo	Compensado de Eucalipto	9	779,88 a	131,96	16,92
		10	675,00 a	164,91	24,43
		7	649,74 a	70,01	10,77
		6	625,32 a	123,29	19,72
		8	616,98 a	74,27	12,04
		Geral	**669,38 a**	**83,80**	**12,52**
	Compensado de Pinus	4	510,90 a	95,36	18,66
		3	498,66 a	49,44	9,91
		1	458,02 a	103,05	22,50
		5	386,94 a	73,78	19,07
		2	354,88 a	104,42	29,42
		Geral	**441,88 b**	**62,05**	**14,04**
	OSB	1	231,36 a	15,68	6,78
		2	230,16 a	24,19	10,51
		5	180,36 b	26,33	14,60
		3	179,46 c	18,44	10,27
		4	169,52 c	33,08	19,51
		Geral	**198,17 c**	**17,20**	**8,68**
Perpendicular	Compensado de Eucalipto	9	466,48 a	29,80	6,39
		10	420,94 a	65,63	15,59
		6	357,98 a	99,92	27,91
		7	355,58 a	55,32	15,56
		8	338,34 b	60,38	17,84
		Geral	**387,86 a**	**46,78**	**12,06**
	Compensado de Pinus	2	520,04 a	77,09	14,82
		4	407,26 b	61,66	15,14
		3	400,02 b	60,85	15,21
		1	312,42 b	32,28	10,33
		5	212,12 c	24,56	11,58
		Geral	**370,37 a**	**38,85**	**10,49**
	OSB	4	168,80 a	9,25	5,48
		3	159,98 a	27,81	17,38
		1	149,08 a	20,80	13,95
		2	144,52 a	20,89	14,46
		5	139,94 a	27,10	19,36
		Geral	**152,46 b**	**15,69**	**10,29**

Os compensados das duas espécies apresentaram diferença não significativa entre as médias do MOR paralelo das suas repetições, e significativa entre as médias da variável no sentido perpendicular (Apêndices 17 e 19, p. 93 e 95). Já as médias do MOR dos painéis OSB dentro da análise estatística tiveram resultados inversos, apresentando diferença significativa entre as repetições no sentido paralelo e não significativa no sentido perpendicular.

Como na análise do MOE, a análise da interação entre os três materiais também foi feita em separado para os dois planos de orientação nos testes do MOR. Na análise de variância entre os três materiais os resultados demonstraram haver uma diferença significativa em ambos os planos (Apêndices 17 e 19, p. 93 e 95). O teste de Tukey mostrou haver diferença significativa entre os três materiais no plano paralelo; e no perpendicular apenas entre o OSB e os outros dois Compensados (Apêndices 18 e 20, p. 94 e 96).

Os valores correspondentes às médias das repetições apresentadas na TABELA 24 geraram as tendências apresentadas nos gráficos da FIGURA 21, em que podem ser verificadas as distâncias entre as médias dos três tratamentos.

No histograma da FIGURA 22 constam as tendências dos três tratamentos nos dois planos. Percebe-se a maior distância da média do OSB no sentido perpendicular, conforme resultados do teste de Tukey e, além disso, que a distância entre as médias dos dois planos do OSB e os outros dois materiais é possivelmente o fator mais responsável pela variação da interação. A ordenação do desempenho dos tratamentos se assemelha ao do MOE, mas é menos distante entre os compensados das duas espécies no sentido perpendicular.

FIGURA 21 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DO MÓDULO DE RUPTURA DOS MATERIAIS DAS ALMAS DAS VIGAS "I"

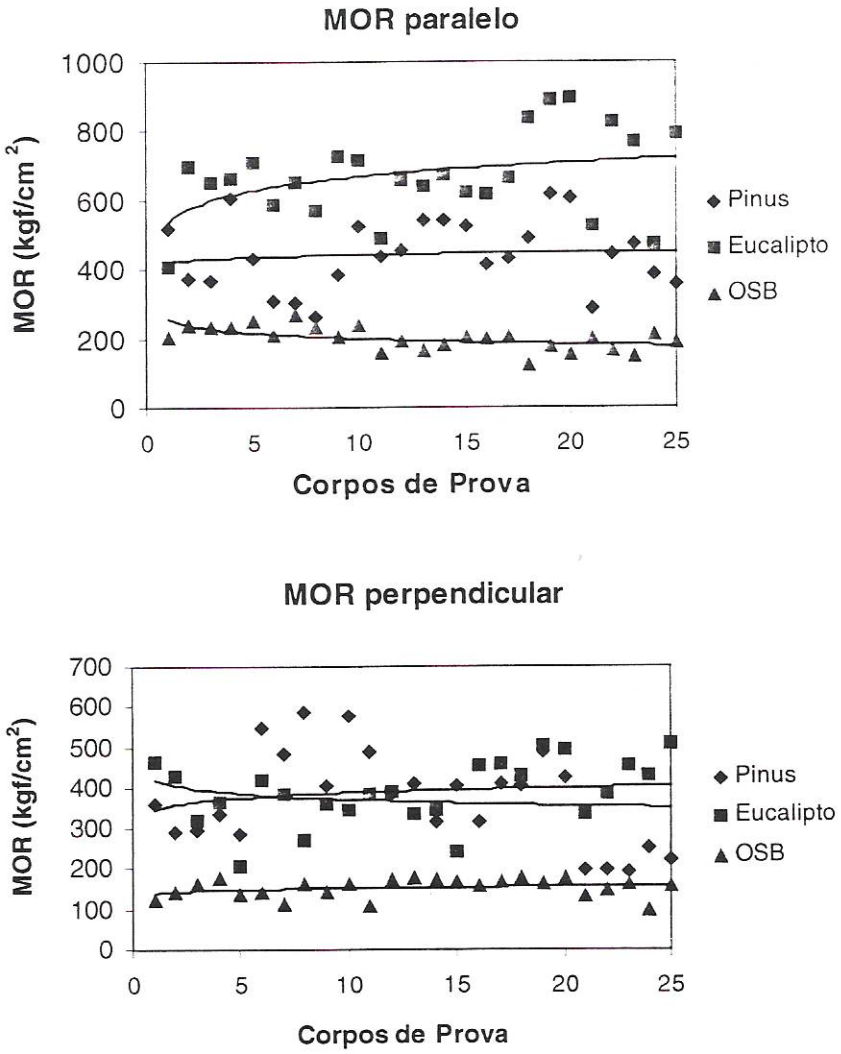
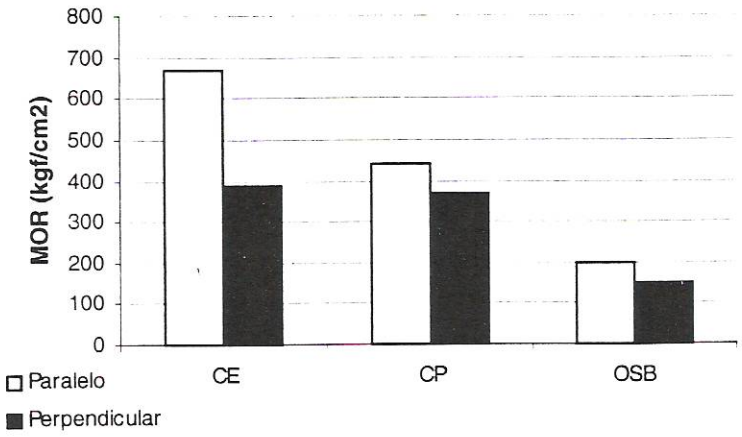


FIGURA 22 – HISTOGRAMA DEMONSTRATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DAS MÉDIAS DOS MATERIAIS E DOS PLANOS DE ORIENTAÇÃO



Em valores numéricos relativos, o MOR no sentido paralelo do Compensado de Eucalipto foi 51,49% maior que o do Compensado de Pinus, que por sua vez foi 122,98% maior que o do OSB, sendo que o MOR do Compensado de Eucalipto dista 237,78% do OSB. No sentido perpendicular as mesmas comparações, respectivamente, tiveram valores calculados de 4,72%, 142,93 e 154,40%, que foram menores que os do sentido paralelo.

4.1.2.4 ANÁLISE DA TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR

Esta propriedade foi avaliada, conforme a norma citada, para medição da resistência dos elementos das almas, contra o sentido de esforço que estes viriam a assumir nesta mesma posição na composição das vigas.

Os resultados obtidos para esta variável estão listados na TABELA 25, que exibe diferença estatística significativa entre as repetições dentro do mesmo material apenas das médias do tratamento do Compensado de Eucalipto. E uma diferença entre o OSB e os Compensados, representada pelo teste de Tukey ao lado das médias gerais.

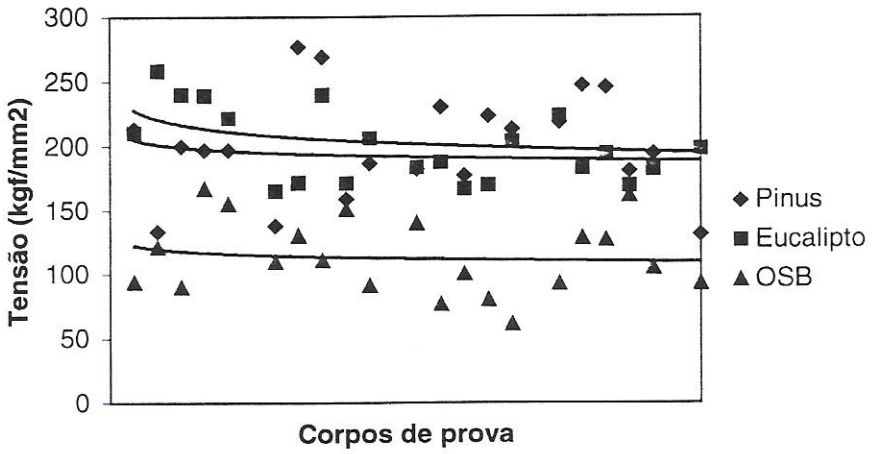
TABELA 25 – VALORES MÉDIOS VERIFICADOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO ENTRE AS REPETIÇÕES E ENTRE TRATAMENTOS DOS COMPENSADOS E O OSB

	Tratamento Nº do Painel	Tensão kgf/cm²	S kgf/mm²	CV	CV%
Eucalipto	**6**	233,8 a	18,5	0,0790	7,90
	10	216,9 a	30,7	0,1417	14,17
	7	190,6 a	31,7	0,1665	16,65
	9	190,1 a	20,3	0,1068	10,68
	8	182,1 b	14,8	0,0814	8,14
	Geral	**202,7 a**	**24,2**	**0,1193**	**11,93**
Pinus	**4**	216,7 a	29,6	0,1366	13,66
	2	205,7 a	63,7	0,3095	30,95
	3	205,0 a	24,3	0,1184	11,84
	1	188,1 a	31,2	0,1658	16,58
	5	145,4 a	30,2	0,2075	20,75
	Geral	**192,2 a**	**38,5**	**0,2002**	**20,02**
OSB	**1**	125,6 a	34,8	0,2775	27,75
	4	123,0 a	26,4	0,2145	21,45
	2	118,7 a	22,7	0,1917	19,17
	5	104,4 a	16,6	0,1593	15,93
	3	91,7 a	30,2	0,3294	32,94
	Geral	**112,7 b**	**26,9**	**0,2387**	**23,87**

As médias da tensão na resistência a compressão perpendicular dos painéis OSB e dos compensados, apresentaram-se estatisticamente homogêneas. A análise de variância das médias (Apêndice 22, p. 98) dentro dos tratamentos comprovou, estatisticamente, que os desvios entre elas foram significativos apenas para o Compensado de Eucalipto, que teve o F calculado na ANOVA (4,06), maior que o tabelado (2,87).). O que foi confirmado pelo teste de médias de Tukey (Apêndice 23, p. 99).

O gráfico das tendências das repetições é apresentado na FIGURA 23, onde se pode verificar a horizontalidade dos pontos nos tratamentos. Contudo, observa-se uma dispersão difusa na distribuição das entradas da interação pode ser verificada no gráfico da FIGURA 23. Isso se deu, possivelmente, pela proximidade entre as médias e seus desvios, exceto pelo OSB, que apresentou resistência a compressão inferior às dos Compensados.

FIGURA 23 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVO DA DISPERSÃO DAS MÉDIAS DA TENSÃO PARA OS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E O OSB



4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DAS VIGAS "I"

4.2.1 Propriedades mecânicas das vigas

Os ensaios de flexão estática permitiram que fossem calculados o MOE e o MOR listados na TABELA 26, através da obtenção, da carga e da deflexão no limite proporcional, e da carga máxima no ponto de ruptura.

TABELA 26 – VALORES MÉDIOS DO MOE, MOR E DA DEFLEXÃO DAS VIGAS "I"

Flanges	Almas	Tratamentos	MOE kgf/cm2	MOR kgf/cm2	DEFLEXÃO cm
Eucalipto	OSB	T4	196207,79	981,42	1,01
	CP	T5	141723,20	1034,72	1,28
	CE	T6	132607,14	1037,18	1,27
Média geral			**156846,04**	**1017,77**	**1,19**
Pinus	OSB	T1	136160,43	929,25	1,27
	CP	T2	120445,21	976,32	1,33
	CE	T3	104167,58	831,71	1,13
Média geral			**120257,74**	**912,42**	**1,24**

CP – Compensado de Pinus / CE- Compensado de Eucalipto

Entre as repetições de cada tratamento não houve variação significativa, fato comprovado pelos valores de F calculados para as repetições individuais das vigas, inferiores aos tabelados (Apêndices 25-27, p. 101-103), tanto para o MOE como para o MOR e a Deflexão no Limite Proporcional. Mesmo tendo havido variações constatadas, entre as chapas utilizadas na montagem das vigas, isto revela que não houve correlação entre as variações nas performances das chapas e das vigas. Esta relação foi observada devido à matéria-prima empregada nas vigas ter sido proveniente diretamente da indústria, fato que poderia ter tido maior influência, como poderá ser visto nos itens seguintes, caso houvesse variação significativa nas repetições dos materiais das flanges.

Os testes dos corpos de prova não demonstraram comprometimentos na colagem ou em outros fatores da montagem das Vigas, pois todas sofreram rompimento nas chapas das almas. A estabilidade dos corpos durante os testes e a obtenção de resultados demonstrou ter havido compatibilidade entre os 5 materiais em todas as combinações.

4.2.1.1 MÓDULO DE ELASTICIDADE APARENTE

Os resultados dos ensaios das vigas mostrados na TABELA 26 mostraram, entre outras características, a diferença entre as médias dos tratamentos, que foi comprovada pela análise da variância pelo método fatorial e pelo teste de Tukey (Apêndices 25 e 28, p. 101 e 104). Esta diferença entre os tratamentos, representada pelo valor de F calculado maior que o tabelado (Apêndice 25, p. 101) e pelo teste de médias de Tukey (Apêndice 28, p. 104), permitiu a rejeição de H_0.

Os valores médios do MOE obtidos para os tratamentos T1 e T4, compostos com OSB, foram os que revelaram maior variação entre as flanges das duas espécies, o que deve ser observado com atenção, porque o OSB, dentre as chapas das almas foi o que apresentou maior uniformidade. Isto, de acordo com características dos experimentos fatoriais, indica a existência de uma forte interação entre os fatores Flange e Alma; em outras palavras, neste caso, que a variação das espécies nas flanges tem forte influência na constituição das vigas. Isto fica evidenciado quando observamos que a contribuição percentual na variação das flanges é maior que a das chapas das almas, como mostram os valores dos Coeficientes de Variação (%) das TABELAS 27 e 28.

TABELA 27 – VARIAÇÃO DO MOE DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS

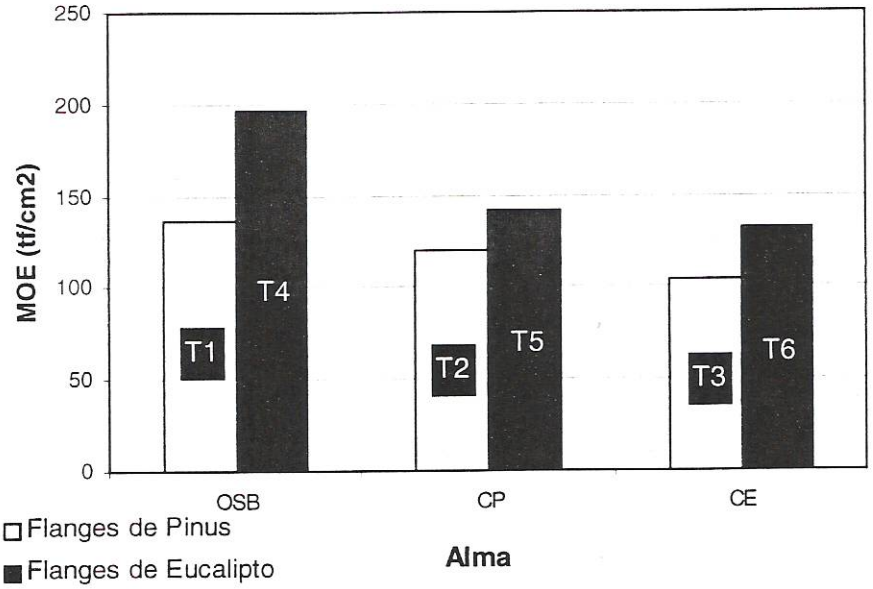
Alma	MOE	
	Média (kgf/cm2)	CV%
OSB	166184,11	25,55
CP	131084,21	11,48
CE	118387,36	16,99
Média	138551,89	18,00
Média geral		17,87

TABELA 28 – VARIAÇÃO DO MOE DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES

Flange	MOE	
	Média (kgf/cm2)	CV%
FP	120257,74	13,30
FE	156846,04	21,93
Média	138551,89	17,61
Média geral		18,67

Os valores observados nas TABELAS 26, 27 e 28 apresentam-se evidenciados no histograma da FIGURA 24, onde os valores do OSB correspondem aos tratamentos T1 e T4, os identificados com CP (Compensado de Pinus) correspondem aos tratamentos T2 e T5, e os com CE (Compensado de Eucalipto) aos tratamentos T3 e T6.

FIGURA 24 – GRÁFICO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DAS VIGAS "I" (tf/cm^2)



NOTA: T - tratamento

Além da maior diferença apresentada entre as médias dos CV%, a maior contribuição da variação das flanges para o MOE ficou evidente na Análise da Variância (Apêndice 25, p. 101), onde o F calculado do fator Flange (17,28) maior que o F calculado do Fator Alma (10,55), proporcionalmente aos seus valores de F tabelados (respectivamente 4,35 e 3,49). Em valores percentuais, as flanges de Eucalipto apresentaram um acréscimo médio de 30,43% em relação as flanges de Pinus, enquanto que a média das almas de OSB representou um acréscimo no MOE de 26,78% em relação ao Compensado de Pinus, e 40,37% em relação ao Compensado de Eucalipto; e o Compensado de Pinus registrou um MOE médio 10,72% superior ao do Compensado de Eucalipto.

4.2.1.2 MÓDULO DE RUPTURA

Ao contrário do MOE, o MOR apresentou valores numericamente mais uniformes, menor variação entre os tratamentos e entre os fatores. Sendo que esta variação teve que ser rejeitada dentro da Análise de Variância, a qual teve todos os valores calculados de F

inferiores aos tabelados (Apêndice 26, p. 102), comprovando a hipótese da nulidade, que assume não haver diferença entre as médias testadas.

TABELA 29 - VARIAÇÃO DO MOR DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS

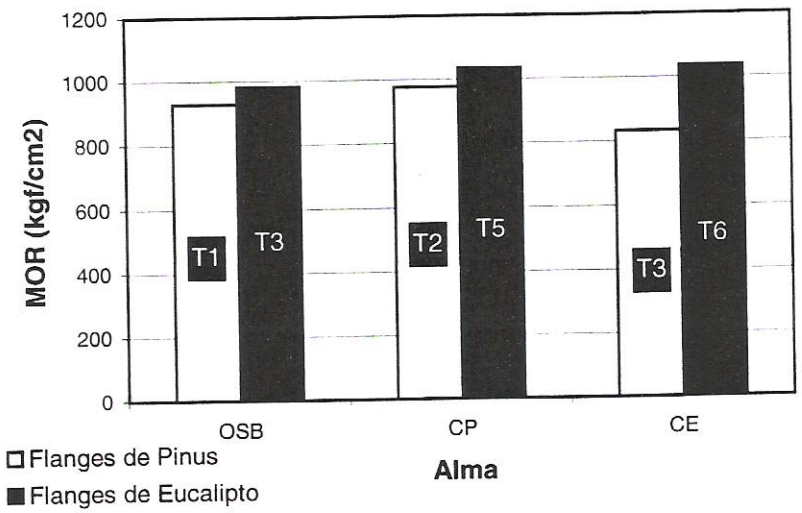
Alma	MOR	
	Média (tf/cm2)	CV%
OSB	955,33	3,86
CP	1005,52	4,11
CE	934,45	15,55
Média	965,10	7,84
Média geral		3,79

TABELA 30 - VARIAÇÃO DO MOR DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES

Flange	MOR	
	Média (tf/cm2)	CV%
FP	912,42	8,08
FE	1017,77	3,10
Média	965,10	5,59
Média geral		7,72

Também no caso do MOR, a diferença entre os CV% das flanges sobre o Fator Alma foi maior. Mas neste caso, a variação numérica mais sutil entre os fatores das almas em comparação a mesma variação analisada no MOE, contribuiu para uma distribuição mais gradual das médias, que pode ser mais bem verificada no histograma da FIGURA 25.

FIGURA 25 - HISTOGRAMA DO MÓDULO DE RUPTURA DAS VIGAS "I" (tf/cm^2)



A relação direta das médias revela um acréscimo de 11,55% do MOR das flanges de Pinus para as flanges de Eucalipto. Nas almas houve uma inversão, em que o OSB não apresenta os maiores valores para o MOR. A média do Compensado de Pinus é 5,25% superior à média do OSB e 7,61% maior que a do Compensado de Eucalipto, e a média do OSB é somente 2,24% maior que a do Compensado de Eucalipto. Estes valores da diferença relativa entre os elementos dos fatores, muito mais baixos que os do MOE, servem também para confirmar os resultados dos testes estatísticos da ANOVA (Apêndice 26, p. 102) e de Tukey (Apêndice 28, p. 104), que demonstraram não haver variações significativas entre nenhum dos fatores observados.

4.2.1.3 DEFLEXÃO NO LIMITE PROPORCIONAL

As médias da Deflexão apresentadas na TABELA 26 também foram analisadas separadamente em relação aos Fatores Flange e Alma, como se apresenta nas TABELAS 31 e 32. E para variável Deflexão os resultados dos testes estatísticos se assemelham aos obtidos para o MOR, em que novamente os resultados dos valores de F calculados foram menores que os tabelados (Apêndice 27, p. 103), determinando que as diferenças existentes entre as médias são estatisticamente não significativas.

TABELA 31 - VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO DAS FLANGES SOBRE AS ALMAS

Alma	DEFLEXÃO	
	média	CV%
OSB	1,14	16,10
CP	1,31	2,82
CE	1,20	8,49
Média	1,22	9,13
Média geral		6,84

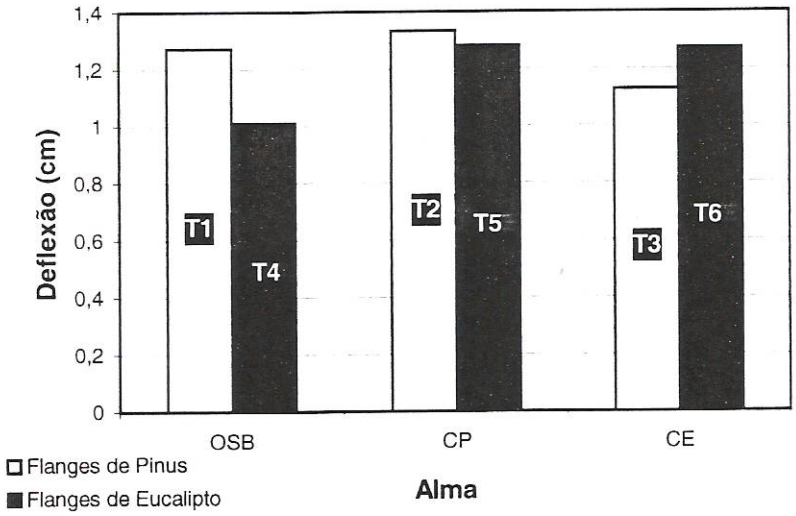
TABELA 32 - VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO DAS ALMAS SOBRE AS FLANGES

Flange	DEFLEXÃO	
	média	CV%
FP	1,24	8,43
FE	1,19	12,83
Média	1,22	10,63
Média geral		3,26

Como pode ser verificado na TABELA 31, a maior variação no CV% é observada nas Flanges relacionadas com o OSB, que também apresentam uma participação maior na

variação dos tratamentos que o Fator Alma. Esta variação só não é maior porque houve uma inversão das médias do Fator Flange relacionado com o Compensado de Eucalipto, onde a Flange de Eucalipto sofreu uma deflexão superior à de Pinus, ao contrário do que ocorreu com as outras 2 variantes do Fator Alma. Estes dados podem ser verificados no histograma da FIGURA 26.

FIGURA 26 – HISTOGRAMA DA DEFLEXÃO DAS VIGAS "I"



A média das Flanges de Pinus é 4,71% superior à da Flange de Eucalipto, o que neste caso, como já foi dito, deve ser avaliado com cautela, devido a inversão que houve na combinação com o Compensado de Eucalipto. A deflexão média dos tratamentos com compensado de Pinus foi 8,83% acima da média da deflexão dos tratamentos com Compensado de Eucalipto e 14,36% superior em relação aos tratamentos com OSB, e o Compensado de Eucalipto apresentou uma média 5,08% acima do OSB.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A produção de vigas estruturais em perfil "I" é uma alternativa eficaz para utilização racional de materiais reconstituídos de madeira, combinando economia de insumos e grande eficiência na relação do peso com a resistência.

A introdução, proposta por este trabalho, aos conhecimentos deste tipo de elemento estrutural com o uso de espécies de reflorestamentos, que podem proporcionar uma menor pressão sobre as espécies nativas, utilizadas largamente na sua forma maciça em estruturas de telhados e demais peças na construção civil, se constitui em importante benefício ambiental e, é imprescindível para consolidação de um novo sistema construtivo.

Os resultados obtidos nos testes preliminares permitiram concluir, que a classificação das lâminas para produção do PLP foi válida, por estes terem apresentado valores mais uniformes que os compensados das 2 espécies. Além disso, o Eucalipto se apresentou como uma boa alternativa na composição dos painéis PLP e dos Compensados, mesmo considerando as perdas sofridas com a delaminação de algumas chapas, que foram descartadas.

A metodologia empregada para estes testes preliminares mostrou-se eficiente e apresentou resultados satisfatórios, dentro do esperado, como a variação entre as médias das repetições das chapas, por estas terem sido produzidas da mesma forma que seriam em escala industrial, como a excelente relação resistência/espessura obtida para o PLP, tanto de Pinus como de Eucalipto e, também, como a variação significativa entre os materiais, que se constituiu de maneira importante para inferência da hipótese de que poderia haver variação entre estes materiais nas combinações nas vigas.

A comparação dos testes preliminares com os ensaios finais das vigas permitiu a conclusão de que não existiu correlação entre as variações das repetições das chapas e as das repetições das vigas, quando feita a distribuição aleatória das almas e das flanges nas combinações das repetições, da mesma forma que ocorreria na indústria. Pois as Almas tiveram diferenças significativas entre suas repetições, para algumas de suas variáveis, enquanto que as repetições das vigas não se apresentaram da mesma forma. A ausência desta correlação pode estar relacionada com a menor contribuição que as almas exerceram sobre a resistência das vigas, em comparação com as flanges, que não apresentaram diferença significativa dentro das espécies.

A metodologia empregada para os testes das vigas também promoveu resultados bastante satisfatórios. O mais destacado deles foi a comprovação da importância e das vantagens citadas na revisão da literatura quanto ao desenho da seção "I", como na economia de material em relação à eficiência na resistência. Esta constatação foi possível com a verificação da maior contribuição que a variação da espécie representou nas flanges em comparação às almas, de forma que se pôde concluir que a maior quantidade de material nas extremidades se converte, evidentemente, em benefícios para com a resistência das vigas.

As contribuições relativas das flanges, dentro do esperado, foram superiores às das almas em todas as variáveis (MOE, MOR e deflexão), devido às posições em que estas se encontram no elemento, onde são maiores os efeitos das tensões.

As menores deflexões atingidas pelas vigas com flanges de Eucalipto foram, em parte, responsáveis pelo maior acréscimo do Fator Flange no MOE do que no MOR, pois neste primeiro, a deflexão participa do cálculo no denominador da fórmula. Isto pode ser quantificado pelo acréscimo relativo na ordem de 30,43% no MOE, e de apenas 11,55% no MOR das flanges de Eucalipto quando comparadas às de Pinus.

Os valores médios do MOE para o Fator Alma decresceram do OSB para o Compensado de Pinus e depois para o Compensado de Eucalipto. Já nos valores do MOR das vigas com flange de Eucalipto houve uma inversão, onde o decréscimo ocorreu do Compensado de Eucalipto para o Compensado de Pinus e, finalmente, para o OSB. Nas vigas com flanges de Pinus, o decréscimo foi do Compensado de Pinus para o Compensado de Eucalipto, passando pelo OSB.

Na média, os valores relativos expressam um MOE do OSB 26,78% superior ao MOE do Compensado de Pinus, e 40,37% superior ao MOE do Compensado de Eucalipto. O MOR do Compensado de Pinus é 5,25% maior que o MOR do OSB, e 7,61% maior que o MOR do Compensado de Eucalipto.

O valor mais elevado encontrado para o MOE, de 196.207 kgf/cm^2, foi obtido para o tratamento 4, que combinou flanges de Eucalipto com alma de OSB, e o menor, de 104.167,58 kgf/cm^2, foi conferido no tratamento 3 que combinou flanges de Pinus com alma de Compensado de Eucalipto.

O tratamento 6, que combinou flanges e alma de Eucalipto, obteve o MOR mais elevado, de 1037,18 kgf/cm^2, e o tratamento 3 (flanges de Pinus com alma de Compensado de

Eucalipto) apresentou o menor MOR, de 831,71 kgf/cm^2. Deve-se ressaltar que a hipótese da nulidade para esta variável foi confirmada, ou seja, os valores superiores, assim como os inferiores, não diferem da média dos tratamentos.

O F calculado para a interação dos Fatores Flange e Alma, inferior ao tabelado nas 3 variáveis, que confirma a nulidade da variação entre as médias, comprova a compatibilidade entre os materiais utilizados, e que qualquer combinação destes apresenta um desempenho satisfatório.

Mesmo o MOE tendo apresentado variações numericamente maiores para alguns dos tratamentos, estas variações não foram tão acentuadas quando considerados os conjuntos dos fatores, o que pôde ser conferido nos desdobramentos.

No conjunto das variáveis MOE, MOR e Deflexão, podemos concluir para efeitos de consideração, que o Tratamento 4, que combinou flanges de Eucalipto com alma de OSB, foi o que somou o melhor destes conjuntos; principalmente por este ter apresentado o melhor resultado para o MOE, que foi a única variável a apresentar diferença significativa entre os tratamentos.

Baseando-se na realização deste estudo e nas conclusões, pode-se recomendar para futuros estudos:

a) Que seja realizada, sempre que possível, a classificação do material, esteja ele na forma de partículas ou madeira laminada, para produção de painéis destinados a composição de elementos estruturais.
b) A realização de estudos semelhantes com vigas de dimensões que possam ser comparadas com as designações pré-determinadas da APA, SBA ou outros órgãos.
c) A busca de outras formas de materiais para composição das vigas, como madeira sólida, sarrafeados e PSL ("Paralel Strand Lumber"), e até mesmo outras espécies de madeira.
d) O desenvolvimento de testes comparativos entre desenhos da seção em vigas com mesma altura e mesma composição, relacionando resistência/peso ou volme de material.
e) O desenvolvimento de estudos de viabilidade econômica para produção comercial de diversos tipos de elementos engenheirados de madeira.

f) A inclusão da análise de outras propriedades em estudos das vigas, como a compressão perpendicular (na viga), cisalhamento, linha de cola, entre outras.

g) A execução de outros testes complementares com cada combinação com um número maior de repetições para minimização do erro estatístico e para obtenção de dados quantitativos, e não somente qualitativos, permitindo o maior conhecimento destes elementos, e o ajuste de equações que relacionem as propriedades com as dimensões.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. de; MENDES, L. M.; PIO, N. da S. **Influência das Variáveis de Processamento na Produção de Painéis OSB**. Curitiba, 1999. 79 f. Trabalho de Pós-graduação (Disciplina Tecnologia da Produção de Painéis OSB) – Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.01 on Fundamental Test Methods and Properties. **D2395 - Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials**. In: Anual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA 1983.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.02 on Lumber and Engineered Wood Products. **D198 - Standard methods of static tests of lumber in structural sizes**. In: Anual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.03 on Panel Products. **D3043 - Standard methods of testing structural panels in flexure**. In: Anual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Committee D7 on Wood. Subcommittee D07.03 on Panel Products. **D3501 - Standard test methods for wood-based structural panels in compression**. In: Anual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA 1994.

BALDWIN, R. F. **Plywood and Veneer-based Products: Manufacturing Practices**. São Francisco, CA, EUA, Miller Freeman Inc., 1995.

BORDEN. **Boletim Técnico: Cascophen RS-216-M – Resina a base de resorcinol-formol, indicada para colagem à prova d'água de madeiras**. Departamento Técnico, 2002.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw Material, Manufacturing Process, Properties, and Uses. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais**...Viçosa, MG: SIF, UFV, DEF, 1998. p. 173-185.

DELESPINASSE. B. F. M. **Simulação de nálise de investimentos na indústria de compensados no Brasil**. Curitiba, 1995. 71 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **APA Performance Rated I-Joists**. Disponível em: <http://www.apawood.org/pdfs/managed/ Z725A.pdf> Acesso em 06 de jun. 2002.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **Engineered Wood Construction Guide**. Disponível em: <http://www.apawood.org/pdfs/managed/ E30rEWP.pdf> Acesso em 06 de jun. 2002.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **PRI-400: Performance Standards for APA EWS I-joists**. Disponível em: <http://apawood.org/pdfs/managed/EWSX720F.pdf > Acesso em 06 de jun. 2002.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **Understanding Engineered Wood Products** Disponível em: <http://www.apawood.org/woodu/secure/ 101/unit_one/1unit1_story.cfm> Acesso em 06 de jun. 2002.

FISETTE, P. **The Argument for I-joists: New products and increased competition make superior I-joist performance available at solid-lumber prices**. In: Fine Homebuilding Magazine, n. 129, p. 70-73, 2000. Disponível em: <http:// www.taunton.com/finehomebuilding/pages/h00039.asp> Acesso em 09 de jun. 2002.

FISETTE, P. **The Evolution of Engineered Wood I-joists**. 2000. Disponível em: <http://www.umass.edu/bmatwt/publications/articles/i_joist.html> Acesso em 20 de ago. 2003.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: Basic information on wood as a material of construction with data for its use in design and specifcations. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1955, 528 p.

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.

GROMALA, D. S. Systems approach to design. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY. **Wood Products for Engineered Structures**: Issues affecting growth and acceptance of engineered wood products. Madison, Wisconsin: Forest Products Society, 1992. p. 41.

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* Maiden atingidos por geadas em Campo do Tenente, PR**. Curitiba, 1998. 112 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. 1ª edição. Curitiba, 1998. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná: Série didática.

JANSSENS, D. P. The Increasing Recognition of Oriented Strand Board (OSB) as a Prefered Strucutural Panel. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais**...Viçosa, MG: SIF, UFV, DEF, 1998. p. 169-172.

KNIGHT, W. StatPrime: public domain. **Statistical tables**. Disponível em: <http://www.math.unb.ca/~knight/utility/f0.htm> Acesso em 22 de set. 2003.

KOEHLER, H. S. **Estatística experimental**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1996.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology, vol. II, Wood Based Materials**. Berlim: Springer-Verlag, 1968.

KRYGIER, C.; BARNECUT, S. Wood Promotion Network. **New Products in Small Building Floor Systems: I-Joists, Laminated Timber, and Open Web Truss Joists**. Disponível em: <http://www.apawood.org/pdfs/managed/ Z725A.pdf> Acesso em 09 de jun. 2002.

LAUFENBERG, T. L. Enhancements to performance: wood composites. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY. **Wood Products for Engineered Structures**: Issues affecting growth and acceptance of engineered wood products. Madison, Wisconsin: Forest Products Society, 1992. p. 47.

MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding**: principles and practice. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MATOS, J L. M. **Estudo Sobre a Produção de Painéis Estruturais de Lâminas Paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997. 117 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MATSUNAGA, D.. Curitiba, 1997. 117 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MUÑIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 236 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NATIONAL COMMITEE ON WOOD UTILIZATION. United States Department of Commerce. **Wood Construction**: principles, practice and details. Nova York: McGraw-Hill Book Company, 1929.

PALMA, H. A. L. **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensado de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1994. 171 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PIO, N. S. **Produção de Painéis Estruturais LVL de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com Lâminas Pré-classificadas**. Curitiba, 2002. 170 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PIZZI, A. **Wood Adhesives**: Chemistry and Technology. National Timber Research Institute. Pretoria, África do Sul. Nova York: Marcel Dekker, 1983.

ROCHA, M. P. da. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. Curitiba, 2000. 185 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. Curitiba, 1998. 215 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, I. P. da. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife: UFRPE, 1999.

SILVA, J. C. G. L. **Análise da eficiência econômica de indústria de compensado no Estado do Paraná**. Curitiba, 1987. 143 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

STEIDA, C. Título da parte. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS. **Wood Product Demand and the Enviroment**. 1992. p. 225.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. Technical Bulletin. **Comparison of Oriented Strandboard (OSB) and Construction Plywood (CDX)**. Disponível em: <http://www.osbguide.com/pdfs/TB116.pdf>. Acesso em 04 de março 2003.

TAMELLA, K. Laminated Veneer Lumber (LVL) Manufecturing. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais**...Viçosa, MG: SIF, UFV, DEF, 1998. p. 162-168.

TOLEDO, G. L., OVALLE, I. I. **Estatística básica**. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 1995.

WHITE, R. H. Enhancements to performance: design for fire resistance. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY. **Wood Products for Engineered Structures**: Issues affecting growth and acceptance of engineered wood products. Madison, Wisconsin: Forest Products Society, 1992. p. 63.

WILSON, J. B. **Wood Product Demand and the Enviromen**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS, 1992. p. 97.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE, DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE PINUS E EUCALIPTO 77
APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES 78
APÊNDICE 3 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN E ENTRE OS PAINÉIS 79
APÊNDICE 4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES 80
APÊNDICE 5 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN E ENTRE OS PAINÉIS 81
APÊNDICE 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES 82
APÊNDICE 7 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN E ENTRE OS PAINÉIS 83
APÊNDICE 8 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB 84
APÊNDICE 9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L E *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 85
APÊNDICE 10 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L E *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES 86
APÊNDICE 11 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB 87
APÊNDICE 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L E *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 88
APÊNDICE 13 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 89

APÊNDICE 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L E *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES 90
APÊNDICE 15 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 91
APÊNDICE 16 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB 92
APÊNDICE 17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L E *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB ENTRE ELES 93
APÊNDICE 18 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 94
APÊNDICE 19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L E *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 95
APÊNDICE 20 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 96
APÊNDICE 21 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA TENSÃO MÁXIMA NOS TESTES DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB 97
APÊNDICE 22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TENSÃO MÁXIMA NO TESTE DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L E *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 98
APÊNDICE 23 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DA TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *PINUS TAEDA* L, *EUCALYPTUS DUNNII* MAIDEN, DO OSB E ENTRE ELES 99
APÊNDICE 24 – TABELAS DE DUPLA ENTRADA DAS MÉDIAS DO MOE, MOR E DEFLEXÃO DOS TRATAMENTOS DAS VIGAS "I" 100
APÊNDICE 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOE DAS VIGAS "I" COM OS DESDOBRAMENTOS 101
APÊNDICE 26 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOR DAS VIGAS "I" COM OS DESDOBRAMENTOS 102
APÊNDICE 27 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFLEXÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DAS VIGAS "I" COM OS DESDOBRAMENTOS ... 103
APÊNDICE 28 – TABELAS DOS TESTES DE MÉDIA DE TUKEY PARA O MOE, MOR E DEFLEXÃO 104

APÊNDICE 1 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE, DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE PINUS E EUCALIPTO

PLP	Nº do Painel	Massa Específica g/cm³	S g/cm³	CV	CV%
Pinus	1	0,587	0,011	0,018	1,82
	2	0,611	0,016	0,026	2,65
	3	0,606	0,014	0,023	2,29
	4	0,580	0,019	0,033	3,31
	5	0,593	0,036	0,061	6,06
Média geral		**0,595**	**0,021**	**0,035**	**3,54**
Eucalipto	6	0,787	0,020	0,025	2,52
	7	0,750	0,027	0,036	3,60
	8	0,781	0,014	0,018	1,83
	9	0,779	0,015	0,020	1,98
	10	0,782	0,021	0,026	2,65
Média geral		**0,776**	**0,023**	**0,026**	**2,57**
		MOE kgf/cm²	**S kgf/cm²**	**CV**	**CV%**
Pinus	1	93417,480	8329,218	0,089	8,92
	2	80588,660	7984,068	0,099	9,91
	3	70360,180	6411,086	0,091	9,11
	4	82939,300	15456,395	0,186	18,64
	5	75632,060	19477,912	0,258	25,75
Média geral		**80587,536**	**12589,777**	**0,156**	**15,62**
Eucalipto	6	131989,18	12864,18	0,097	9,75
	7	131804,20	16241,60	0,123	12,32
	8	134056,56	15025,88	0,112	11,21
	9	135972,98	13232,93	0,097	9,73
	10	134473,26	17594,77	0,131	13,08
Média geral		**133659,24**	**15097,95**	**0,113**	**11,30**
		MOR kgf/cm²	**S kgf/cm²**	**CV**	**CV%**
Pinus	1	735,440	82,344	0,112	11,20
	2	667,960	31,018	0,046	4,64
	3	703,940	80,502	0,114	11,44
	4	671,960	62,009	0,092	9,23
	5	613,420	104,967	0,171	17,11
Média geral		**678,544**	**76,271**	**0,112**	**11,24**
Eucalipto	6	878,82	180,74	0,206	20,57
	7	886,00	186,29	0,210	21,03
	8	930,96	38,41	0,041	4,13
	9	927,62	35,56	0,038	3,83
	10	956,08	141,04	0,148	14,75
Média geral		**915,90**	**134,16**	**0,146**	**14,65**

APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L. *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
PLP PINUS	**Chapas**	0,003318	4	0,00083	$1,86^{ns}$	2,87
	Resíduo	0,008905	20	0,000445		
	Total	0,012223	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
PLP EUCALIPTO	**Chapas**	0,004319	4	0,00108	$2,71^{ns}$	2,87
	Resíduo	0,007974	20	0,000399		
	Total	0,012293	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE AS ESPÉCIES	**CHAPAS**	0,414406	9	0,046045	109,12**	2,12
	ERRO	0,016879	40	0,000422		
	TOTAL	0,431285	49			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 3 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E ENTRE OS PAINÉIS

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 0,03992
PLP PINUS	2	0,610932		a
	3	0,605861	0,00507	a
	5	0,592733	0,018198	a
	1	0,587108	0,023824	a
	4	0,58	0,030932	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 0,03777
PLP EUCALIPTO	6	0,78714		a
	10	0,781725	0,005415	a
	8	0,781064	0,006076	a
	9	0,778642	0,008498	a
	7	0,750026	0,037114	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 0,04345
PLP EUCALIPTO	6	0,787		a
	10	0,782	0,005415	a
	8	0,781	0,006	a
	9	0,779	0,008	a
	7	0,750	0,037	a
PLP PINUS	2	0,611	0,176	b
	3	0,606	0,175864	c
	5	0,593	0,188	d
	1	0,587	0,192	e
	4	0,580	0,170	f

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
PLP DE PINUS	**CHAPAS**	1,5E+09	4	374117264	2,36^{ns}	2,87
	ERRO	3,17E+09	20	158502488		
	TOTAL	4,67E+09	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
PLP DE EUCALIPTO	**CHAPAS**	62020792	4	15505198	0,07^{ns}	2,87
	ERRO	4,56E+09	20	227947980		
	TOTAL	4,62E+09	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE AS ESPÉCIES	**CHAPAS**	3,68E+10	9	4085117401	21,14**	2,12
	ERRO	7,73E+09	40	193225234		
	TOTAL	4,45E+10	49			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%

** Significativo a 95% de probabilidade

ns – não significativo

APÊNDICE 5 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden E ENTRE OS PAINÉIS

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 23816,3
PLP DE PINUS	1	93417,48		a
	4	82939,3	10478,18	a
	2	80588,66	12828,82	a
	5	75632,06	17785,42	a
	3	70360,18	23057,3	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 28561
PLP DE EUCALIPTO	9	135972,98		a
	10	134473,26	1499,72	a
	8	134056,56	1916,42	a
	6	131989,18	3983,8	a
	7	131804,2	4168,78	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 29404,1
PLP DE EUCALIPTO	9	135972,98		a
	10	134473,26	1499,72	a
	8	134056,56	1916,42	a
	6	131989,18	3983,8	a
	7	131804,2	4168,78	a
PLP DE PINUS	1	93417,48	42555,5	b
	4	82939,3	48864,9	c
	2	80588,66	12828,82	c
	5	75632,06	17785,42	c
	3	70360,18	23057,3	c

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L. *Eucalyptus dunnii* Maiden E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
PLP DE PINUS	**CHAPAS**	41393,09	4	10348,27	$1,78^{ns}$	2,87
	ERRO	116345,8	20	5817,29		
	TOTAL	157738,9	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
PLP DE EUCALIPTO	**CHAPAS**	21237,654	4	5309,4134	$0,30^{ns}$	2,87
	ERRO	359996,34	20	17999,817		
	TOTAL	381233,99	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE AS ESPÉCIES	**CHAPAS**	766830,4	9	85203,38	7,16**	2,12
	ERRO	476342,1	40	11908,55		
	TOTAL	1243173	49			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%

** Significativo a 95% de probabilidade

ns – não significativo

APÊNDICE 7 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS DE *Pinus taeda* L. *Eucalyptus dunnii* Maiden E ENTRE OS PAINÉIS

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 144,283
PLP DE PINUS	1	735,44		a
	4	703,94	31,5	a
	2	671,96	63,48	a
	3	667,96	67,48	a
	5	613,42	122,02	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 253,799
PLP DE EUCALIPTO	10	956,08		a
	8	930,96	25,12	a
	9	927,62	28,46	a
	7	886	70,08	a
	6	878,82	77,26	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 230,837
PLP DE EUCALIPTO	10	956,08		a
	8	930,96	25,12	a
	9	927,62	28,46	a
	7	886	70,08	a
	6	878,82	77,26	a
PLP DE PINUS	1	735,44	220,64	a
	3	703,94	252,14	b
	4	671,96	63,48	b
	2	667,96	67,48	b
	5	613,42	122,02	b

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 8 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

	Nº do Painel	Orientação	Massa Específica g/cm^3	CV%
COMPENSADO DE PINUS	1	Paralel	0,5964444	2,106091
	2	Paralel	0,5555887	2,995483
	3	Paralel	0,5608884	3,891153
	4	Paralel	0,5583198	2,050673
	5	Paralel	0,5020895	4,953795
	1	Perpend	0,5620153	2,238678
	2	Perpend	0,5765961	2,87534
	3	Perpend	0,5744128	2,142668
	4	Perpend	0,5727829	2,228313
	5	Perpend	0,530767	4,185416
Média geral			**0,55899**	**3,04744**
COMPENSADO DE EUCALIPTO	6	Paralel	0,7282078	1,019644
	7	Paralel	0,627864	1,360884
	8	Paralel	0,6758726	1,411274
	9	Paralel	0,6795491	1,939077
	10	Paralel	0,7436485	1,062532
	6	Perpend	0,6692406	2,686343
	7	Perpend	0,6419063	1,332788
	8	Perpend	0,6534809	2,629211
	9	Perpend	0,6663249	2,837055
	10	Perpend	0,744455	1,958238
Média geral			**0,683055**	**1,91818**
OSB	1	Paralel	0,6189729	2,838206
	2	Paralel	0,629618	3,041564
	3	Paralel	0,6264782	1,717699
	4	Paralel	0,6210029	1,70064
	5	Paralel	0,6323554	3,636451
	1	Perpend	0,6389798	2,776638
	2	Perpend	0,6102547	2,32352
	3	Perpend	0,6357949	1,519508
	4	Perpend	0,6528717	1,857932
	5	Perpend	0,6373864	3,408297
Média geral			**0,6303715**	**2,58715**

APÊNDICE 9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO DE PINUS	**Chapas**	0,0309995	9	0,0034444	11,87**	2,12
	Resíduo	0,0116075	40	0,0002902		
	Total	0,042607	49			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO DE EUCALIPTO	**Chapas**	0,078144	9	0,0086827	50,58**	2,12
	Resíduo	0,0068667	40	0,0001717		
	Total	0,0850107	49			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
OSB	**Chapas**	0,0065052	9	0,0007228	2,72**	2,12
	Resíduo	0,0106389	40	0,000266		
	Total	0,017144	49			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE OS TIPOS DE PAINEL	**CHAPAS**	0,503362	29	0,017357	71,54**	1,56
	ERRO	0,029113	120	0,000243		
	TOTAL	0,532475	149			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 10 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 0,03603
COMPENSADOS DE PINUS	Paralel	1	0,596444		a
	Perpen	2	0,576596	0,019848	a
	Perpen	3	0,574413	0,022032	a
	Perpen	4	0,572783	0,023661	a
	Perpen	1	0,562015	0,034429	a
	Paralel	3	0,560888	0,035556	a
	Paralel	4	0,55832	0,038125	b
	Paralel	2	0,555589	0,021007	b
	Perpen	5	0,530767	0,045829	c
	Paralel	5	0,502089	0,072323	d

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 0,02772
COMPENSADOS DE EUCALIPTO	Perpen	10	0,744455		a
	Paralel	10	0,743648	0,000807	a
	Paralel	6	0,728208	0,016247	a
	Paralel	9	0,679549	0,064906	b
	Paralel	8	0,675873	0,067776	c
	Perpen	6	0,669241	0,058967	d
	Perpen	9	0,666325	0,013224	d
	Perpen	8	0,653481	0,026068	d
	Perpen	7	0,641906	0,037643	e
	Paralel	7	0,627864	0,048009	f

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 0,0345
OSB	Perpen	4	0,652872		a
	Perpen	1	0,63898	0,013892	a
	Perpen	5	0,637386	0,015485	a
	Perpen	3	0,635795	0,017077	a
	Paralel	5	0,632355	0,020516	a
	Paralel	2	0,629618	0,023254	a
	Paralel	3	0,626478	0,026394	a
	Paralel	4	0,621003	0,031869	a
	Paralel	1	0,618973	0,033899	a
	Perpen	2	0,610255	0,042617	b

TRAT	Orientação	Média	Dif	W 0,02856
Comp de Eucalipto	Paralel	0,691028		a
	Perpen	0,675082	0,015947	a
OSB	Perpen	0,635057	0,040024	b
	Paralel	0,625685	0,009372	b
Comp de Pinus	Perpen	0,563315	0,062371	c
	Paralel	0,554666	0,008649	c

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 11 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOE kgf/cm²	S kgf/cm²	CV%
Paralela	Compensado de Euclipto	8	143262,6	8533,3	5,956
		10	141256,9	27797,5	19,679
		6	137364,6	13765,8	10,021
		9	128467,4	26861,1	20,909
		7	113721,2	3890,6	3,421
		Geral	**132814,5**	**13310,4**	**10,021**
	Compensado de Pinus	4	70788,2	10510,2	14,847
		3	70036,5	9958,1	14,218
		5	65918,3	13260,3	20,116
		2	56060,3	6300,7	11,239
		1	51506,3	3430,5	6,660
		Geral	**62861,9**	**6610,1**	**10,515**
	OSB	5	51506,5	10206,9	19,817
		2	50212,4	2913,3	5,802
		3	49667,7	2638,2	5,312
		1	48025,5	1342,4	2,795
		4	45881,4	7490,6	16,326
		Geral	**49058,7**	**4213,5**	**8,589**
Perpendicular	Compensado de Euclipto	6	50555,6	2057,7	4,070
		9	45659,2	2978,9	6,524
		8	42063,4	1875,3	4,458
		7	39712,9	3754,1	9,453
		10	39611,7	2050,1	5,176
		Geral	**43520,5**	**1868,7**	**4,294**
	Compensado de Pinus	2	53143,2	6410,1	12,062
		3	37430,3	2990,7	7,990
		4	37078,1	5272,1	14,219
		1	30662,3	2913,2	9,501
		5	22599,0	2256,8	9,986
		Geral	**36182,6**	**3023,4**	**8,356**
	OSB	3	38812,6	12715,0	32,760
		5	35273,9	9819,9	27,839
		1	29513,0	11229,1	38,048
		2	25506,4	9943,7	38,985
		4	24388,1	2272,9	9,320
		Geral	**30698,8**	**6987,4**	**22,761**

APÊNDICE 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO DE PINUS	**CHAPAS**	1494264743	4	373566185,7	4,28**	2,87
	ERRO	1747727190	20	87386359,49		
	TOTAL	3241991933	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO DE EUCALIPTO	**CHAPAS**	2,923E+09	4	730743257	2,06^{ns}	2,87
	ERRO	7,087E+09	20	354334264		
	TOTAL	1,001E+10	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
OSB	**Chapas**	94281531	4	23570383	0,66^{ns}	2,87
	Resíduo	710157398	20	35507870		
	Total	804438929	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE	**CHAPAS**	1,05E+11	14	7,52E+09	47,30**	1,86
	ERRO	9,54E+09	60	1,59E+08		
	TOTAL	1,15E+11	74			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 13 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 17683,86
COMPENSADO PINUS	Paralel	4	70788,16		a
	Paralel	3	70036,48	751,68	a
	Paralel	5	65918,32	4869,84	a
	Paralel	2	56060,26	14727,9	a
	Paralel	1	51506,34	19281,82	b

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 17683,9
COMPENSADO EUCALIPTO	Paralel	8	143262,6		a
	Paralel	10	141256,9	2005,74	a
	Paralel	6	137364,6	5898	a
	Paralel	9	128467,4	14795,26	a
	Paralel	7	113721,2	29541,48	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 17683,9
OSB	Paralel	5	51506,5		a
	Paralel	2	50212,42	1294,08	a
	Paralel	3	49667,68	1838,82	a
	Paralel	1	48025,54	3480,96	a
	Paralel	4	45881,4	5625,1	a

	TRAT	Orientação	Média	Dif	W 23126
ENTRE	Eucalipto	Paralel	132814,5		a
	Pinus	Paralel	62861,91	69952,63	b
	OSB	Paralel	49058,71	13803,2	b

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E DA INTERAÇÃO ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO PINUS	**CHAPAS**	2525039931	4	631259982,7	34,53**	2,87
	ERRO	365631149,7	20	18281557,48		
	TOTAL	2890671081	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO EUCALIPTO	**CHAPAS**	429833072	4	107458268	15,39**	2,87
	ERRO	139684799	20	6984240		
	TOTAL	569517872	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
OSB	**Chapas**	774794198	4	193698549	$1,98^{ns}$	2,87
	Resíduo	1,953E+09	20	97647407		
	Total	2,728E+09	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE	**CHAPAS**	5,8E+09	14	4,14E+08	10,11**	1,86
	ERRO	2,46E+09	60	40971068		
	TOTAL	8,26E+09	74			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 15 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 8088,388
COMPENSADO PINUS	Perpen	2	53143,16		a
	Perpen	3	37430,32	15712,84	b
	Perpen	4	37078,1	352,22	b
	Perpen	1	30662,28	6768,04	b
	Perpen	5	22598,98	14831,34	c

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 4999,37
COMPENSADO EUCALIPTO	Perpen	6	50555,58		a
	Perpen	9	45659,22	4896,36	a
	Perpen	8	42063,4	8492,18	b
	Perpen	7	39712,88	5946,34	c
	Perpen	10	39611,66	2451,74	c

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 18693,3
OSB	Perpen	3	38812,62		a
	Perpen	5	35273,92	3538,7	a
	Perpen	1	29512,98	9299,64	a
	Perpen	2	25506,36	13306,26	a
	Perpen	4	24388,06	14424,56	a

	TRAT	Orientação	Média	Dif	W 11736,5
ENTRE	Eucalipto	Perpen	43520,55		a
	Pinus	Perpen	36182,57	7337,98	a
	OSB	Perpen	30698,79	12821,76	b

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 16 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

Orientação	Painel	Tratamento Nº do Painel	MOR kgf/cm²	S kgf/cm²	CV%
Paralela	Compensado de Eucalipto	9	779,88	131,956	16,92
		10	675,00	164,910	24,43
		7	649,74	70,007	10,77
		6	625,32	123,294	19,72
		8	616,98	74,270	12,04
		Geral	**669,38**	**83,801**	**12,52**
	Compensado de Pinus	4	510,90	95,36	18,66
		3	498,66	49,44	9,91
		1	458,02	103,05	22,50
		5	386,94	73,78	19,07
		2	354,88	104,42	29,42
		Geral	**441,88**	**62,05**	**14,04**
	OSB	1	231,36	15,679	6,78
		2	230,16	24,191	10,51
		5	180,36	26,328	14,60
		3	179,46	18,435	10,27
		4	169,52	33,076	19,51
		Geral	**198,17**	**17,199**	**8,68**
Perpendicular	Compensado de Eucalipto	9	466,48	29,801	6,39
		10	420,94	65,627	15,59
		6	357,98	99,922	27,91
		7	355,58	55,322	15,56
		8	338,34	60,376	17,84
		Geral	**387,86**	**46,782**	**12,06**
	Compensado de Pinus	2	520,04	77,09	14,82
		4	407,26	61,66	15,14
		3	400,02	60,85	15,21
		1	312,42	32,28	10,33
		5	212,12	24,56	11,58
		Geral	**370,37**	**38,85**	**10,49**
	OSB	4	168,80	9,249	5,48
		3	159,98	27,809	17,38
		1	149,08	20,798	13,95
		2	144,52	20,894	14,46
		5	139,94	27,098	19,36
		Geral	**152,46**	**15,692**	**10,29**

APÊNDICE 17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO PINUS	**CHAPAS**	410,05278	4	102,5132	$2,85^{ns}$	2,87
	ERRO	719,371	20	35,96855		
	TOTAL	1129,4238	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO EUCALIPTO	**CHAPAS**	356,85694	4	89,214234	$1,53^{ns}$	2,87
	ERRO	1159,8487	20	57,992436		
	TOTAL	1516,7057	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
OSB	**Chapas**	73,70392	4	18,42598	7,67**	2,87
	Resíduo	48,08268	20	2,404134		
	Total	121,7866	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE	**CHAPAS**	12074,41	14	862,45783	26,85**	1,86
	ERRO	1927,3024	60	32,121707		
	TOTAL	14001,712	74			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 18 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA PARALELO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 166,005
COMPENSADO PINUS	Paralel	3	498,66		a
	Paralel	4	489,24	9,42	a
	Paralel	1	458,02	40,64	a
	Paralel	5	386,94	111,72	a
	Paralel	2	360,88	137,78	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 224,192
COMPENSADO EUCALIPTO	Paralel	9	779,88		a
	Paralel	10	675	104,88	a
	Paralel	7	649,74	130,14	a
	Paralel	6	625,32	154,56	a
	Paralel	8	616,98	162,9	a

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 46,0124
OSB	Paralel	1	231,36		a
	Paralel	2	230,16	1,2	a
	Paralel	5	180,36	51	b
	Paralel	3	179,46	50,7	c
	Paralel	4	169,52	10,84	c

	TRAT	Orientação	Média	Dif	W 158,218
ENTRE	Eucalipto	Paralel	669,384		a
	Pinus	Paralel	438,748	230,636	b
	OSB	Paralel	198,172	240,576	c

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MÓDULO DE RUPTURA PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO PINUS	**CHAPAS**	1301,4469	4	325,36172	22,26**	2,87
	ERRO	292,27244	20	14,613622		
	TOTAL	1593,7193	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO EUCALIPTO	**CHAPAS**	168,6721	4	42,168026	2,81 ns	2,87
	ERRO	300,17196	20	15,008598		
	TOTAL	468,84406	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
OSB	**Chapas**	11,558816	4	2,889704	1,46 ns	2,87
	Resíduo	39,5356	20	1,97678		
	Total	51,094416	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE	**CHAPAS**	5507,522	14	393,3944	37,35**	1,86
	ERRO	631,98	60	10,533		
	TOTAL	6139,502	74			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 20 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DO MÓDULO DE RUPTURA PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 103,938
COMPENSADO PINUS	Perpen	2	520,04		a
	Perpen	4	407,26	112,78	b
	Perpen	3	400,02	7,24	b
	Perpen	1	312,42	94,84	b
	Perpen	5	212,12	195,14	c

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 125,154
COMPENSADO EUCALIPTO	Perpen	9	466,48		a
	Perpen	10	420,94	45,54	a
	Perpen	6	357,98	108,5	a
	Perpen	7	355,58	110,9	a
	Perpen	8	338,34	128,14	b

TRAT	Orientação	Chapas	Média	Dif	W 41,98
OSB	Perpen	4	168,8		a
	Perpen	3	159,98	8,82	a
	Perpen	1	149,08	19,72	a
	Perpen	2	144,52	24,28	a
	Perpen	5	139,94	28,86	a

	TRAT	Orientação	Média	Dif	W 94,0222
ENTRE	Eucalipto	Perpen	387,864		a
	Pinus	Perpen	370,372	17,492	a
	OSB	Perpen	152,464	235,4	b

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 21 – VALORES MÉDIOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA TENSÃO MÁXIMA NOS TESTES DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS E EUCALIPTO E DO OSB

	Tratamento Nº do Painel	Tensão kgf/cm²	S kgf/cm²	CV	CV%
COMPENSADO DE PINUS	1	188,1	31,2	0,1658	16,58
	2	205,7	63,7	0,3095	30,95
	3	205,0	24,3	0,1184	11,84
	4	216,7	29,6	0,1366	13,66
	5	145,4	30,2	0,2075	20,75
	Geral	**192,2**	**38,5**	**0,2002**	**20,02**
COMPENSADO DE EUCALIPTO	6	233,8	18,5	0,0790	7,90
	7	190,6	31,7	0,1665	16,65
	8	182,1	14,8	0,0814	8,14
	9	190,1	20,3	0,1068	10,68
	10	216,9	30,7	0,1417	14,17
	Geral	**202,7**	**24,2**	**0,1193**	**11,93**
OSB	1	125,6	34,8	0,2775	27,75
	2	118,7	22,7	0,1917	19,17
	3	91,7	30,2	0,3294	32,94
	4	123,0	26,4	0,2145	21,45
	5	104,4	16,6	0,1593	15,93
	Geral	**112,7**	**26,9**	**0,2387**	**23,87**

APÊNDICE 22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA TENSÃO MÁXIMA NO TESTE DE COMPRESSÃO PERPENDICULAR DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L E *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO PINUS	**CHAPAS**	15784,373	4	3946,0932	2,67^{ns}	2,87
	ERRO	29613,057	20	1480,6528		
	TOTAL	45397,43	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
COMPENSADO EUCALIPTO	**CHAPAS**	9497,8574	4	2374,4643	4,06**	2,87
	ERRO	11697,782	20	584,88908		
	TOTAL	21195,639	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
OSB	**Chapas**	4080,9215	4	1020,2304	1,41^{ns}	2,87
	Resíduo	14465,78	20	723,289		
	Total	18546,702	24			

	FONTES DE VARIAÇÃO	SQ	GL	QM	F	F*
ENTRE	**CHAPAS**	150536,6	14	10752,614	11,57**	1,86
	ERRO	55776,618	60	929,61031		
	TOTAL	206313,22	74			

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 23 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO MÉTODO DE TUKEY DA TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L, *Eucalyptus dunnii* Maiden, DO OSB E ENTRE ELES

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 72,7917
COMPENSADO DE PINUS	4	216,7347		a
	2	205,7118	11,02288	a
	3	205,0128	11,7219	a
	1	188,1163	28,61837	a
	5	145,3864	71,34826	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 45,7501
COMPENSADO DE EUCALIPTO	6	233,8141		a
	10	216,9387	16,87535	a
	7	190,5885	43,22562	a
	9	190,1378	43,67627	a
	8	182,1027	51,71135	b

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 50,8758
OSB	1	125,5805		a
	4	122,9797	2,600806	a
	2	118,6817	6,898748	a
	5	104,4228	21,15763	a
	3	91,71628	33,8642	a

TRAT	Chapas	Média	Dif	W 46,3601
ENTRE	Eucal	202,7164		a
	Pinus	192,1924	10,52398	a
	OSB	112,6762	90,04018	b

NOTA: W é o valor calculado como comparador em função do QMresíduo, do número de repetições e de um valor tabelado entre o número de argumentos e do GLresíduo.

APÊNDICE 24 – TABELAS DE DUPLA ENTRADA DAS MÉDIAS DO MOE, MOR E DEFLEXÃO DOS TRATAMENTOS DAS VIGAS "I"

MOE (kgf/cm^2)	FLANGES			
ALMA	Pinus	Eucalipto	Total	C
OSB	680802.2	981039.0	1661841.1	
Pinus	602226.1	708616.0	1310842.1	
Eucalipto	520837.9	663035.7	1183873.6	
Total	1803866.1	2352690.7	4156556.8	5.759E+11

MOR (kgf/cm^2)	FLANGES			
ALMA	Pinus	Eucalipto	Total	C
OSB	4646.2	4907.1	9553.3	
Pinus	4881.6	5173.6	10055.2	
Eucalipto	4158.6	5185.9	9344.5	
Total	13686.4	15266.6	28953.0	2.79E+7

Deflexão (mm)	FLANGES			
ALMA	Pinus	Eucalipto	Total	C
OSB	6,36	5,06	11,42	
Pinus	6,66	6,4	13,06	
Eucalipto	5,64	6,36	12	
Total	18,66	17,82	36,48	44,35968

APÊNDICE 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOE DAS VIGAS "I" COM OS DESDOBRAMENTOS

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Rep	4	2,61E+09	6,53E+08	1,12 ns	2,87
Trat	5	2,44E+10	4,89E+09	8,41**	2,71
Flanges	1	1,00E+10	1,00E+10	17,28**	4,35
Almas	2	1,23E+10	6,13E+09	10,55**	3,49
FlangesXAlmas	2	2,13E+09	1,06E+09	1,83 ns	3,49
Erro	20	1,16E+10	5,81E+08		
Total	29	3,87E+10			

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Flanges	1	1,00E+10	1,00E+10	17,28**	4,35
Almas/Fpinus	2	2,56E+09	1,28E+09	2,20 ns	3,49
Almas/Feucalipto	2	1,18E+10	5,91E+09	10,18**	3,49
Trat	5	2,44E+10	4,89E+09	8,41**	2,71
Rep	4	2,61E+09	6,53E+08		
Erro	20	1,16E+10	5,81E+08		
Total	29				

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Almas	2	1,23E+10	6,13E+09	10,55**	3,49
Flange/OSB	1	9,01E+09	9,01E+09	15,51**	4,35
Flanges/CP	1	1,13E+09	1,13E+09	1,95 ns	4,35
Flanges/CE	1	2,02E+09	2,02E+09	3,48 ns	4,35
Trat	5	2,44E+10	4,89E+09	8,41**	2,71
Rep	4	2,61E+09	6,53E+08		
Erro	20	1,16E+10	5,81E+08		
Total	29				

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%

** Significativo a 95% de probabilidade

ns – não significativo

APÊNDICE 26 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MOR DAS VIGAS "I" COM OS DESDOBRAMENTOS

	GL	SQ	QM	F	F*
Rep	4	443622,8	110905,7	2,33 ns	2,87
Trat	5	147566,6	29513,3	0,62 ns	2,71
Flanges	1	83239,7	83239,7	1,75 ns	4,35
Almas	2	26687,9	13343,9	0,28 ns	3,49
FlangesXAlmas	2	37638,9	18819,5	0,40 ns	3,49
Erro	20	952634,7	47631,7		
Total	29	1543824,1			

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Flanges	1	83239,7	83239,7	1,75 ns	4,35
Almas/Fpinus	2	54398,6	27199,3	0,57 ns	3,49
Almas/Feucalipto	2	9928,2	4964,1	0,10 ns	3,49
Trat	5	147566,6	29513,3	0,62 ns	2,71
Rep	4	443622,8	110905,7		
Erro	20	952634,7	47631,7		
Total	29				

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Almas	2	26687,9	13343,9	0,28 ns	3,49
Flange/OSB	1	6804,5	6804,5	0,14 ns	4,35
Flanges/CP	1	8529,0	8529,0	0,18 ns	4,35
Flanges/CE	1	105545,2	105545,2	2,22 ns	4,35
Trat	5	147566,6	29513,3	0,62 ns	2,71
Rep	4	443622,8	110905,7		
Erro	20	952634,7	47631,7		
Total	29				

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%
** Significativo a 95% de probabilidade
ns – não significativo

APÊNDICE 27 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFLEXÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DAS VIGAS "I" COM OS DESDOBRAMENTOS

	GL	SQ	QM	F	F*
Rep	4	0,03642	0,009105	0,16 ns	2,87
Trat	5	0,36592	0,073184	1,25 ns	2,71
Flanges	1	0,02352	0,02352	0,40 ns	4,35
Almas	2	0,13832	0,06916	1,18 ns	3,49
FlangesXAlmas	2	0,20408	0,10204	1,74 ns	3,49
Erro	20	1,17058	0,058529		
Total	29	1,57292			

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Flanges	1	0,02352	0,02352	0,40 ns	4,35
Almas/Fpinus	2	0,10992	0,05496	0,94 ns	3,49
Almas/Feucalipto	2	0,23248	0,11624	1,99 ns	3,49
Trat	5	0,36592	0,073184	1,25 ns	2,71
Rep	4	0,03642	0,009105		
Erro	20	1,17058	0,058529		
Total	29				

F.V.	GL	SQ	QM	F	F*
Almas	2	0,13832	0,06916	1,18 ns	3,49
Flange/OSB	1	0,169	0,169	2,89 ns	4,35
Flanges/CP	1	0,00676	0,00676	0,12 ns	4,35
Flanges/CE	1	0,05184	0,05184	0,89 ns	4,35
Trat	5	0,36592	0,073184	1,25 ns	2,71
Rep	4	0,03642	0,009105		
Erro	20	1,17058	0,058529		
Total	29				

* Valor tabelado para distribuição de F a 95%

** Significativo a 95% de probabilidade

ns – não significativo

APÊNDICE 28 – TABELAS DOS TESTES DE MÉDIA DE TUKEY PARA O MOE, MOR E DEFLEXÃO

Trat	Média kgf/cm²	Dif	W 47976,6
T4	196207,8		a
T5	141723,2	54484,59	b
T1	136160,4	5562,769	b
T6	132607,1	9116,058	b
T2	120445,2	21277,99	b
T3	104167,6	37555,62	b

Trat	Média	Dif	W 17261,06
OSB	166184,11		a
CP	131084,21	35099,906	b
CE	118387,36	12696,848	b

Trat	Média	Dif	W 14223,5
FE	156846,04		a
FP	120257,74	36588,305	b

Trat	Média kgf/cm²	Dif	W 434,333
T6	1037,181		a
T5	1034,724	2,457327	a
T4	981,4187	55,76243	a
T2	976,315	60,86611	a
T1	929,2478	107,9334	a
T3	831,7108	205,4704	a

Trat	Média	Dif	W 156,265
CP	1005,519		a
OSB	955,3332	50,18618	a
CE	934,446	71,07347	a

Trat	Média	Dif	W 128,766
FE	1017,775		a
FP	912,4245	105,35	a

Trat	Média mm	Dif	W 0,48146
T2	1,332		a
T5	1,28	0,052	a
T1	1,272	0,06	a
T6	1,272	0,06	a
T3	1,128	0,204	a
T4	1,012	0,32	a

Trat	Média	Dif	W 0,17322
CP	1,306		a
CE	1,2	0,106	a
OSB	1,142	0,164	a

Trat	Média	Dif	W 0,142737
FP	1,244		a
FE	1,188	0,056	a