

PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS ESTRUTURAIS COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE LÂMINAS DE *Eucalyptus saligna* E *Pinus caribaea*¹

Setsuo Iwakiri², Jorge Luis Monteiro de Matos², Erika da Silva Ferreira³, José Guilherme Prata² e Rosilani Trianoski⁴

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis compensados estruturais produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, var. *hondurensis* e var. *bahamensis* com diferentes composições de lâminas. Foram produzidos painéis experimentais com dimensões de 50 x 50 cm, utilizando-se cinco lâminas de 2,2 mm, com as seguintes composições: (1) painéis com todas as lâminas de mesma espécie/variedades (T1, T2, T3 e T4); e (2) painéis com lâminas de *Eucalyptus saligna* de forma intercalada com as lâminas de três variedades de *Pinus caribaea* (T5 a T10). Os painéis produzidos exclusivamente com lâminas de *Eucalyptus saligna* apresentaram valores superiores de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento, MOE e MOR paralelo e perpendicular. A composição dos painéis com lâminas das duas espécies/variedades de forma intercalada não influenciou, de forma significativa, a resistência da linha de cola e MOE e MOR perpendicular. A disposição das lâminas de *Eucalyptus saligna* na capa dos compensados resultou em maiores valores de MOE e MOR paralelo. Os resultados das propriedades mecânicas avaliadas foram satisfatórios, em comparação com os valores de referência apresentados na literatura e com aqueles requisitos mínimos requeridos pela norma técnica, indicando a viabilidade de produção de painéis compensados do tipo “combi” com combinação de espécies de folhosas e coníferas.

Palavras-chave: Compensados, *Pinus* tropicais e *Eucalyptus saligna*.

PRODUCTION OF PLYWOOD WITH DIFFERENT COMPOSITION FROM *Eucalyptus saligna* AND *Pinus caribaea*

ABSTRACT – The objective of this work was to evaluate the quality of structural plywood manufactured with veneers of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* var. *caribaea*, var. *hondurensis*, var. *bahamensis*, using different board compositions. It was manufactured experimental panels measuring 50 x 50 cm composed by 5 veneers with 2.2 mm thickness, according to following compositions: (1) panels with all veneers of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* (T1 to T4); (2) panels with veneers of *Eucalyptus saligna* mixed with *Pinus caribaea* (T5 to T10). The panels completely manufactured with veneers of *Eucalyptus saligna* showed higher values of glue line shear strength, parallel and perpendicular MOE and MOR. The panel compositions using the veneers of both species with alternate position in the layer did not effectively influence the properties of glue line shear strength, perpendicular MOE and MOR. The placing of *Eucalyptus saligna* veneers on the face of plywood resulted in higher values of parallel MOE and MOR. The results of mechanical properties of plywood evaluated in this study were satisfactory in comparison to the control values of the literature and with those the minimum values required by technical standards, indicating the feasibility of production of “combi” type plywood using different veneer combination of hardwood and softwood species.

Keywords: Plywood, Tropical pine and *Eucalyptus saligna*.

¹ Recebido em 19.08.2009 e aceito para publicação em 19.04.2011.

² Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. E-mail: <setsuo@ufpr.br> e <jgprata@ufpr.br>.

³ Universidade Federal de Pelotas, UFPEL, Brasil. E-mail: <Erika.ferreira@ufpel.edu.br>.

⁴ Pós Graduação em andamento em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil. E-mail: <rosilani@ufpr.br>.

1. INTRODUÇÃO

As espécies de *Eucalyptus* e *Pinus* tropicais surgem como alternativas interessantes para produção de painéis compensados, tendo em vista a necessidade de uso de madeiras com características diferenciadas em relação àquelas tradicionalmente empregadas para essa finalidade. A demanda pela madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* tem aumentado significativamente nas últimas duas décadas, em razão do consumo cada vez maior das indústrias tanto de madeira sólida quanto de madeira reconstituída (ABIMCI, 2008). As empresas florestais no Brasil têm investido em áreas de plantações experimentais de várias espécies do gênero *Eucalyptus* e de *Pinus* tropicais. Entre estes, destacam-se o *Pinus caribaea* variedades *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis*, que têm demonstrado grande potencial quanto aos aspectos silviculturais nas plantações florestais no Brasil. Entretanto, o *Eucalyptus saligna* é uma espécie cuja madeira apresenta densidade maior, o que pode ser um diferencial interessante na produção de painéis compensados estruturais que requerem alta resistência mecânica. Oliveira et al. (2003) determinaram para madeira de *Eucalyptus saligna* com 16 anos de idade densidade básica de 0,55 g/cm³.

O compensado estrutural é classificado como de uso exterior (EX) e trata-se de um painel multilaminado, colado com resina fenolformaldeído e destinado para uso em ambientes com elevada umidade relativa e eventualmente em contato direto com a água. A sua aplicação se destina principalmente ao setor de construção civil, de construção naval e de embalagens (BALDWIN, 1995). O uso da resina fenolformaldeído confere ao compensado alta resistência à ação da umidade e da água, em razão da sua composição química. O processo de prensagem à alta temperatura requer alguns cuidados especiais, como controle do teor de umidade das lâminas do miolo. As lâminas devem ser secas abaixo de 8% de umidade para evitar a formação de “bolhas” e de laminações no painel, em razão da alta pressão interna de vapor gerada entre as linhas de colagem das lâminas (MARRA, 1992).

O princípio de construção de um painel compensado, baseado na laminação cruzada e na restrição da linha de cola, tem como finalidade balancear os diferentes comportamentos físico-mecânicos das lâminas de camadas adjacentes, dispostas nos sentidos paralelo e perpendicular ao plano do painel (BODIG; JAYNE, 1982). De acordo com Suchsland (1972), o balanceamento

estrutural de um compensado com número ímpar de camadas pode ser alcançado, mesmo utilizando-se lâminas de espécies e espessuras diferentes, desde que o plano de simetria seja mantido para o equilíbrio de parâmetros elásticos entre as lâminas que constituem o painel.

De acordo com Marra (1992) e Tsoumis (1991), as madeiras com maior densidade apresentam menor porosidade, e isso irá influenciar na redução da penetrabilidade do adesivo no processo de formação da ligação adesiva. Segundo esses autores, a formulação do adesivo deve ser ajustada para adequação das condições de colagem em função da densidade da madeira e da finalidade de uso dos painéis.

As espécies de rápido crescimento provenientes de plantios florestais apresentam a vantagem de maior incremento volumétrico da madeira. No entanto, essa característica reflete em algumas limitações técnicas relacionadas à madeira, principalmente quanto à sua densidade e porosidade (MARRA, 1992; TSOUMIS, 1991). No caso de *Eucalyptus saligna*, ao seu crescimento rápido acrescenta-se a formação de madeira de média densidade e não de baixa densidade, como ocorrem com espécies do gênero *Pinus*. Essa característica torna-se uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis compensados para fins estruturais. No sentido de viabilizar o uso de espécies de rápido crescimento provenientes de plantios florestais manejados, Bendsten (1978) sugeriu que os conceitos tradicionais devem ser adaptados às características da matéria-prima.

Estudos realizados por Iwakiri et al. (2002) sobre painéis compensados estruturais com diferentes composições de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* demonstraram que a disposição de lâminas de *Eucalyptus saligna*, com maior densidade nas capas dos compensados, aumentou significativamente as propriedades de flexão estática. Peterson e Ziger (2007) constataram também na avaliação das propriedades mecânicas de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda* que a disposição de lâminas de *Eucalyptus dunnii*, com maior densidade nas capas dos compensados, contribuiu, de forma significativa, para o aumento de módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática.

Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de painéis compensados estruturais produzidos com diferentes composições de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, var. *hondurensis* e var. *bahamensis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas nesta pesquisa madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* variedades *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis*, provenientes de plantios florestais localizados no Município de Ventania, Paraná. As árvores de *Eucalyptus saligna* com 22 anos de idade e das três variedades de *Pinus caribaea* com 18 anos foram laminadas com espessura nominal de 2,2 mm numa indústria laminadora da região e transportadas até o local de estudo.

Para a realização do experimento, inicialmente as lâminas foram seccionadas com dimensões de 50 x 50 cm e secas em estufa com circulação forçada de ar e teor de umidade médio de 6%. Para a colagem de lâminas, foi utilizada a resina fenolformaldeído, com viscosidade Brookfield de 520 cP, pH 11,5 e teor de sólidos de 49%. A batida de cola foi preparada com a seguinte formulação, em partes por peso: resina FF (100), farinha de trigo (5), casca de coco (5) e água (5). Foi utilizada a gramatura de 380 g/m², em linha dupla.

Os painéis foram produzidos de acordo com a composição apresentada na Tabela 1. Nos Tratamentos 1 a 4, os painéis foram compostos com todas as cinco lâminas de mesma espécie/variedade. Nos Tratamentos 5 a 10, os painéis foram montados intercalando-se as lâminas de *Eucalyptus saligna* com as de três variedades de *Pinus caribaea*. Foram produzidos dois painéis por tratamento, num total de 20 peças.

Os painéis foram prensados numa prensa hidráulica de laboratório com aquecimento elétrico e dimensões de pratos de 60 x 60 cm. Os parâmetros do ciclo de prensagem foram: temperatura de 140 °C, pressão específica de 12 kgf/cm² e tempo de prensagem de 12 min. Após o acondicionamento dos painéis na câmara

Tabela 1 – Relação das regiões e número de árvores avaliadas.
Table 1 – Regions and number of tree evaluated.

Tratamento	Composição do painel
T1	Padrão – <i>Eucalyptus saligna</i> (Esa)
T2	Padrão – <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> (Pcc)
T3	Padrão – <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (Pch)
T4	Padrão – <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> (Pcb)
T5	Esa / Pcc / Esa / Pcc / Esa
T6	Pcc / Esa / Pcc / Esa / Pcc
T7	Esa / Pch / Esa / Pch / Esa
T8	Pch / Esa / Pch / Esa / Pch
T9	Esa / Pcb / Esa / Pcb / Esa
T10	Pcb / Esa / Pcb / Esa / Pcb

climática na temperatura de 20±3 °C e umidade relativa de 65±5%, foram confeccionados os corpos-de-prova para realização de ensaios de cisalhamento da linha de cola (fervura) e flexão estática. Os procedimentos adotados seguiram as recomendações da norma técnica europeia EN 310 e EN 314 para painéis de compensados. Em cada tratamento, o primeiro painel foi destinado para ensaios de flexão estática no sentido paralelo e o segundo, no sentido perpendicular à orientação das fibras das lâminas das capas. Em cada tratamento foram ensaiados 10 corpos-de-prova para ensaios de cisalhamento da linha de cola e cinco corpos-de-prova para ensaios de resistência à flexão estática paralela e cinco para perpendicular. Os resultados foram comparados pela análise de variância e pelo teste de comparação de médias (Tukey), no nível de probabilidade de 95%.

3. RESULTADOS

Os resultados apresentados nos tópicos subsequentes foram obtidos a partir da análise das variáveis experimentais.

3.1. Cisalhamento da linha de cola

Os resultados dos ensaios de cisalhamento da linha de cola no teste de fervura são apresentados na Tabela 2. Na comparação entre os painéis produzidos exclusivamente com as lâminas das espécies estudadas (T1, T2 T3 e T4), verificou-se que o valor médio de tensões de cisalhamento dos painéis de *Eucalyptus saligna* foi estatisticamente superior em relação ao dos painéis produzidos com as três variedades de *Pinus caribaea*. Entre as três variedades de *Pinus caribaea* não foram constatadas diferenças significativas nos valores médios obtidos de tensões de cisalhamento.

Nos painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* variedades *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis* (T5 a T10), de forma intercalada na sua composição, também não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas nos valores médios de tensões de cisalhamento. Os valores médios de resistência de linha de colagem entre lâminas não foram afetados pelas espécies/variedades de madeira, montadas de forma intercalada.

3.2. Flexão estática paralela

Os resultados dos ensaios de flexão estática paralela estão apresentados na Tabela 3. A análise estatística dos dados demonstra que houve diferença significativa

entre os valores médios obtidos em painéis compensados produzidos com as duas espécies estudadas. Os painéis produzidos exclusivamente com lâminas de *Eucalyptus saligna* mostraram valores médios de MOE e MOR paralelo estatisticamente superiores e diferentes em relação aos painéis produzidos com lâminas de *Pinus caribaea* variedades *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis*.

A utilização de lâminas de *Eucalyptus saligna* nas capas de compensados produzidos com lâminas intercaladas de três variedades de *Pinus caribaea* (T5, T7 e T9) resultou em valores médios de MOE e MOR paralelo estatisticamente diferentes e superiores em comparação com os painéis com lâminas de *Pinus caribaea* nas capas (T6, T8 e T10).

3.3. Flexão estática perpendicular

Os resultados médios de MOE e MOR perpendicular apresentados na Tabela 4 demonstram a mesma tendência observada nos resultados dessas propriedades obtidos na direção paralela. Os compensados produzidos exclusivamente com lâminas de *Eucalyptus saligna* apresentaram médias estatisticamente diferentes e superiores em relação aos painéis produzidos exclusivamente com lâminas das três variedades de *Pinus caribaea*. Entre os painéis produzidos com as lâminas de *Eucalyptus saligna* e três variedades de *Pinus caribaea*, verificaram-se tendências de aumento nos valores de MOE e MOR com a disposição das lâminas de *Eucalyptus saligna* na direção perpendicular às

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de cisalhamento da linha de cola.

Table 2 – Results of glue line shear test.

Tratamento	Tensão de Ruptura Média (N/mm ²)	CV (%)	Falhas na Madeira (%)
T1 <i>Esa</i>	2,34 d	21,36	29
T2 <i>Pcc</i>	1,61 abc	12,12	46
T3 <i>Pch</i>	1,19 a	19,03	63
T4 <i>Pcb</i>	1,44 ab	26,81	55
T5 <i>Esa / Pcc / Esa / Pcc / Esa</i>	1,71 bc	19,12	8
T6 <i>Pcc / Esa / Pcc / Esa / Pcc</i>	1,74 bc	8,57	58
T7 <i>Esa / Pch / Esa / Pch / Esa</i>	1,97 cd	9,38	53
T8 <i>Pch / Esa / Pch / Esa / Pch</i>	1,56 abc	7,88	41
T9 <i>Esa / Pcb / Esa / Pcb / Esa</i>	1,86 bc	22,57	58
T10 <i>Pcb / Esa / Pcb / Esa / Pcb</i>	1,77 bc	14,87	12

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 95% de probabilidade.

Tabela 3 – Resultados de módulo de elasticidade e módulo de ruptura – paralelo.

Table 3 – Results of modulus of elasticity and modulus of rupture – parallel.

Tratamento	MOE paralelo		MOR paralelo	
	Média (N/mm ²)	CV (%)	Média (N/mm ²)	CV (%)
T1 <i>Esa</i>	17.467 c	5,73	130,12 c	8,57
T2 <i>Pcc</i>	7.572 a	21,32	60,95 a	14,13
T3 <i>Pch</i>	7.598 a	20,38	75,19 a	9,48
T4 <i>Pcb</i>	8.500 a	21,80	84,05 ab	19,67
T5 <i>Esa / Pcc / Esa / Pcc / Esa</i>	15.144 b	4,52	112,46 bc	13,46
T6 <i>Pcc / Esa / Pcc / Esa / Pcc</i>	7.547 a	31,43	68,88 a	26,84
T7 <i>Esa / Pch / Esa / Pch / Esa</i>	14.254 b	5,47	120,93 c	11,81
T8 <i>Pch / Esa / Pch / Esa / Pch</i>	8.896 a	8,75	84,79 ab	8,89
T9 <i>Esa / Pcb / Esa / Pcb / Esa</i>	15.624 bc	11,05	114,11 c	25,99
T10 <i>Pcb / Esa / Pcb / Esa / Pcb</i>	7.839 a	9,78	71,67 a	11,74

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 95% de probabilidade.

Tabela 4 – Resultados de módulo de elasticidade e módulo de ruptura – perpendicular.**Table 4** – Results of modulus of elasticity and modulus of rupture – perpendicular.

Tratamento	MOE perpendicular		MOR paralelo	
	Média (N/mm ²)	CV (%)	Média (N/mm ²)	CV (%)
T1 <i>Esa</i>	4.695 f	12,16	60,10 e	14,73
T2 <i>Pcc</i>	2.132 a	26,42	34,87 a	15,36
T3 <i>Pch</i>	2.106 a	12,91	33,23 a	9,26
T4 <i>Pcb</i>	2.529 abc	12,00	34,59 a	12,65
T5 <i>Esa / Pcc / Esa / Pcc / Esa</i>	2.456 ab	17,95	36,41 ab	12,61
T6 <i>Pcc / Esa / Pcc / Esa / Pcc</i>	4.550 ef	6,19	59,02 de	6,86
T7 <i>Esa / Pch / Esa / Pch / Esa</i>	3.354 bcd	13,71	48,82 cd	11,37
T8 <i>Pch / Esa / Pch / Esa / Pch</i>	3.624 de	5,60	46,73 bc	6,01
T9 <i>Esa / Pcb / Esa / Pcb / Esa</i>	3.501 cd	20,01	47,89 c	11,56
T10 <i>Pcb / Esa / Pcb / Esa / Pcb</i>	4.175 def	21,36	51,49 cde	15,47

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 95% de probabilidade.

lâminas das capas. Os valores de MOE e MOR perpendicular foram inferiores em comparação com os obtidos na direção paralela.

4. DISCUSSÃO

A partir dos resultados, apresenta-se a discussão nos tópicos subsequentes.

4.1. Cisalhamento da linha de cola

Os maiores valores de tensões de cisalhamento da linha de cola observados em painéis de *Eucalyptus saligna* em relação aos painéis de *Pinus caribaea* indicam que a menor densidade das madeiras de *Pinus caribaea* (0,40; 0,42; e 0,43 g/cm³, respectivamente nas variedades *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis*), portanto com maior porosidade, possa ter contribuído para a penetração excessiva do adesivo na madeira e consequente enfraquecimento da linha de colagem entre as lâminas. Já nos tratamentos T5 a T10, em que as superfícies de colagem entre as lâminas de *Eucalyptus saligna* e de *Pinus caribaea* ocorrem de forma intercalada, as diferenças não foram tão pronunciadas.

Os resultados deste estudo foram superiores aos encontrados por Iwakiri et al. (2007) em painéis compensados de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni*, cujos valores médios variaram na faixa de 1,08 N/mm² a 1,40 N/mm². Na pesquisa com compensados de *Schizolobium amazonicum*, Iwakiri et al. (2011) obtiveram valores de cisalhamento da linha de cola na faixa de 0,67 a 0,84 N/mm². Outros autores apresentaram

resultados um pouco superiores em relação ao deste trabalho. Bortoletto Jr. (2003) obteve valores variando de 1,91 N/mm² a 2,27 N/mm² em compensados fenólicos produzidos com 11 espécies de *Eucalyptus*. Peterson e Ziger (2007) encontraram valores médios de 2,21 N/mm² e 2,49 N/mm² em painéis compensados produzidos com lâminas intercaladas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunni*. Todos os valores de tensão de ruptura média de cisalhamento obtidos neste estudo atendem ao requisito mínimo de 1,0 N/mm², independentemente da porcentagem de falhas na madeira, conforme estabelecido pelas normas europeia e NBR ISO 12466-2.

Com relação aos painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* variedades *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis* (T5 a T10), de forma intercalada na sua composição, Peterson e Ziger (2007) também não encontraram diferença significativa nos valores de resistência da linha de cola entre os compensados produzidos com lâminas intercaladas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunni*.

4.2. Flexão estática paralela

A diferença significativa entre as médias de resistência à flexão estática paralela, obtidas nas espécies estudadas, pode ser atribuída à maior densidade da madeira de *Eucalyptus saligna*, o que contribuiu para o aumento significativo nos valores dessas propriedades. Entretanto, entre os painéis produzidos com as três diferentes variedades de *Pinus caribaea*

não foram constatadas diferenças significativas entre as médias, tanto para MOE quanto para MOR. As variações nas densidades das madeiras de diferentes variedades de *Pinus caribaea* não foram suficientes a ponto de afetar significativamente os resultados de MOE e MOR.

Em relação aos dados da literatura, Bortoletto (2003) obteve em compensados de 11 espécies de *Eucalyptus* valores médios de MOE paralelo de 12.578 N/mm² a 19.714 N/mm² e MOR paralelo de 85,5 N/mm² a 132,4 N/mm². Iwakiri et al. (2007) encontraram em compensados de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* valores de MOE paralelo de 12.310 N/mm² e 13.386 N/mm² e MOR paralelo de 76,2 N/mm² e 75,3 N/mm², respectivamente nas duas espécies. Bortoletto Jr. e Garcia (2004) encontraram em compensado estrutural de *Pinus* spp com 18 mm de espessura valores médios de MOE e MOR paralelo de 5.932 N/mm² e 40 N/mm², respectivamente. Em compensados de *Pinus oocarpa*, Iwakiri et al. (2002) obtiveram valores de MOE e MOR paralelo de 12.409 N/mm² e 78,21 N/mm², respectivamente. Em outra pesquisa, Iwakiri et al. (2009) encontraram em compensados fenólicos produzidos com cinco espécies de pinus tropicais (*Pinus chiapensis*, *Pinus caribaea*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii*) valores médios de MOE e MOR paralelo na faixa de 4.327 a 7.843 N/mm² e 51,26 a 75,19 N/mm², respectivamente. Portanto, os resultados deste estudo estão compatíveis com os valores médios apresentados na literatura para compensados de *Eucalyptus* e de *Pinus*.

Os painéis produzidos exclusivamente com lâminas de *Eucalyptus saligna* (T1) mostraram valores médios de MOE paralelo estatisticamente diferentes e superiores em relação aos painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* nas capas e intercaladas com lâminas das três variedades de *Pinus caribaea* (T5, T7 e T9). Já para MOR paralelo não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas na comparação entre esses tratamentos. Nos estudos realizados por Peterson e Ziger (2007) com painéis compensados produzidos com lâminas de *Eucalyptus dunnii* nas capas e intercaladas com lâminas de *Pinus taeda*, foram obtidos valores de MOE paralelo de 9.845 N/mm² e MOR paralelo de 57,78 N/mm².

A análise dos resultados de MOE e MOR paralelo entre os tratamentos T5, T7 e T9, em relação aos T6, T8 e T10, evidenciou que houve influência significativa da disposição das lâminas de *Eucalyptus saligna* com

maior densidade, nas faces externas dos painéis. Esse resultado é altamente positivo dos pontos de vista técnico e econômico, devido à possibilidade de composição de compensados do tipo “combi” com a utilização combinada de lâminas de madeira de *Eucalyptus* e de *Pinus*.

De maneira geral, os painéis compensados produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* variedades *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis* mostraram valores de MOE e MOR paralelo superiores em relação aos apresentados no Catálogo Técnico da ABIMCI (2002) para compensados estruturais de madeira de *Pinus* produzidos no Brasil, cujos valores médios são, respectivamente, de 6.899 N/mm² e 38,10 N/mm².

4.3. Flexão estática perpendicular

Os maiores valores médios de MOE e MOR perpendicular obtidos nos painéis produzidos exclusivamente com lâminas de *Eucalyptus saligna*, em relação aos painéis produzidos com as três variedades de *Pinus caribaea*, demonstraram também a influência positiva da maior densidade das lâminas de *Eucalyptus saligna* nas propriedades de flexão estática perpendicular. As pequenas variações nas densidades das lâminas das três variedades de *Pinus caribaea* não influenciaram nos resultados de MOE e MOR perpendicular.

Entre os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus saligna* nas capas (1ª e 5ª camadas) e dispostas perpendicularmente a elas (2ª e 4ª camadas), constataram-se tendências de aumento nos valores médios de MOE e MOR perpendicular. Esse resultado comprova a influência da maior densidade das lâminas de *Eucalyptus saligna*, que mesmo posicionadas na 2ª e na 4ª camada contribuíram para o aumento nos resultados de MOE e MOR perpendicular, devido à disposição paralela das lâminas na direção de flexionamento dos corpos-de-prova nos ensaios de flexão estática perpendicular.

De maneira geral, os compensados produzidos com lâminas das duas espécies de forma intercalada apresentaram maiores valores de MOE e MOR perpendicular em relação aos compensados produzidos exclusivamente com lâminas de *Pinus caribaea*.

Os resultados deste estudo foram satisfatórios quando comparados com os valores apresentados na literatura. Bortoletto Jr. (2003) encontraram em compensados de 11 espécies de *Eucalyptus* valores de MOE perpendicular de 3.486 N/mm² a 4.943 N/mm² e MOR perpendicular de 46,7 N/mm² a 63,5 N/mm². Peterson e Ziger (2007) verificaram em compensados produzidos com lâminas de *Eucalyptus dunnii* nas capas e intercaladas com lâminas de *Pinus taeda* valores de MOE e MOR perpendicular de 4.926 N/mm² e 35,66 N/mm². Bortoletto Jr. e Garcia (2004) encontraram em compensado estrutural de *Pinus* sp com 18 mm de espessura valores médios de MOE e MOR perpendicular de 3.966 N/mm² e 36 N/mm², respectivamente.

Os resultados de MOR perpendicular obtidos neste estudo foram superiores aos valores médios referenciados no Catálogo Técnico da ABIMCI (2002) de 25,3 N/mm² em painéis comerciais estruturais de *Pinus* produzidos no Brasil. Quanto ao MOE perpendicular, à exceção dos painéis produzidos exclusivamente com as lâminas de *Pinus caribaea*, todos os demais tratamentos apresentaram valores médios superiores ao valor referencial de 2.838 N/mm².

5. CONCLUSÕES

Em todas as propriedades mecânicas avaliadas, os painéis produzidos exclusivamente com lâminas de *Eucalyptus saligna* apresentaram melhores resultados em relação às três variedades de *Pinus caribaea*, e entre estas não foram constatadas diferenças significativas.

A composição dos painéis com lâminas de *Eucalyptus saligna* nas capas e lâminas das três variedades de *Pinus caribaea* de forma intercalada aumentou significativamente os valores de MOE e MOR paralelo.

A disposição de lâminas de *Eucalyptus saligna* nas camadas transversais (2^a e 4^a camadas) contribuiu para o aumento dos valores médios de MOE e MOR perpendicular.

Os resultados da resistência da linha de cola e flexão estática paralela e perpendicular obtidos neste estudo foram compatíveis com os valores de referência das normas EN e NBR ISO 12466-2 e painéis comerciais de *Pinus* para uso exterior produzidos no Brasil.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 12466-2:2006. Madeira Compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Compensado de Pinus**. Curitiba: 2002. 20p. (Catálogo Técnico, 1)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2007**. Curitiba: 2008. 40p.
- BALDWIN, R. F. **Plywood and veneer-based products: manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1995. 388p.
- BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. In: **Proceedings of the economics & financial management and timber production technical committees of the forest products research society**. Atlanta: 1978. 78p.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982. 711p.
- BORTOLETTO JR., G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, v.63, p.65-78, 2003.
- BORTOLETTO JR., G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.563-570, 2004.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.- ECS. **Norma CEN**. Plywood – Determination of modulus of elasticity and modulus of rupture in static bending. EN 310: 1993a.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.- ECS. **Norma CEN**. Plywood – Determination of shear bonding strength. EN 314-2: 1993b.
- IWAKIRI, S.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.6, n.2, p.19-24, 2000.



IWAKIRI, S. et al. Produção de compensados de *Pinus taeda* L.E e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia-formaldeído. **Revista Árvore**, v.26, n.3, p.371-375, 2002.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v.37, n.3, p.363-367, 2007.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, v.39, n.3, p.669-673, 2009.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Floresta**, v.41, n.3, p.451-458, 2011.

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

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

PETERSON, J.; ZIGER, M. Avaliação das propriedades mecânicas de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus dunnii*/*Pinus taeda*. **Cerne**, v.13, n.3, p.329-338, 2007.

SUCHSLAND, O. **Warping of furniture panels**. Michigan: Agriculture Experimental Station, 1972. (Extension Bulletin E-745).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494p.