

# PROPRIEDADES DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS LAMINADAS PARALELAS UTILIZADOS COMO ALTERNATIVA À MADEIRA MACIÇA

Joana Mendes Ferraz<sup>1</sup>, Cláudio Henrique Soares Del Menezzi<sup>2</sup>, Divino Eterno Teixeira<sup>3</sup>,  
Esmeralda Yoshiko Arakaki Okino<sup>4</sup>, Frederico de Souza<sup>5</sup>, Alex Gomes Bravim<sup>6</sup>

(recebido: 24 de abril de 2008; aceito: 22 de dezembro de 2008)

**RESUMO:** LSL (*laminated strand lumber*) e OSL (*oriented strand lumber*) são compostos estruturais recentemente introduzidos no mercado dos países que, tradicionalmente, empregam a madeira na construção civil. Surgiram como uma alternativa ao uso de madeira maciça, tendo em vista sua escassez. Objetivou-se, principalmente, neste estudo verificar o efeito do uso de partículas com diferentes comprimentos nas propriedades físicas e mecânicas desse tipo de painel. Foram produzidos seis painéis utilizando-se partículas de 15 cm (*oriented strand lumber* - OSL) e 30 cm (*laminated strand lumber* - LSL), produzidas a partir de lâminas de *Chrysophyllum* sp. Foram determinadas as propriedades de flexão estática (MOE// e MOR//), compressão paralela (COMP//), inchamento em espessura (IE), absorção de água (AA) e expansão lateral (EL) após 2 e 24 horas de imersão em água, segundo a norma ASTM D5456 (ASTM, 2006). As propriedades de resistência foram comparadas com as da madeira sólida. Foi feita também avaliação não-destrutiva das propriedades de flexão por meio da técnica de ondas de tensão. Os resultados obtidos indicaram que não houve diferença significativa entre OSL e LSL, para as propriedades mecânicas. No entanto, para as propriedades físicas, o OSL apresentou-se com maior estabilidade dimensional, dados os menores valores de IE, AA e EL. Quando comparados à madeira sólida de *Chrysophyllum* sp., os painéis OSL e LSL obtiveram valores de resistência mecânica próximos, mas estatisticamente inferiores.

Palavras-chave: LSL, OSL, propriedades físicas e mecânicas, geometria das partículas.

## PROPERTIES OF LAMINATED STRAND PANELS USED AS AN ALTERNATIVE TO SOLID WOOD

**ABSTRACT:** *Laminated strand lumber and oriented strand lumber (LSL/OSL) are structural composite lumber, which has been recently introduced in the building construction market, as an alternative to solid wood utilization. This research aimed to analyze the technical feasibility of producing LSL and OSL. Additionally, it was also investigated the effect of using different lengths of particles on physical and mechanical properties of the composites and comparing it to Chrysophyllum sp solid wood. Six wood panels were produced, utilizing particles of 15 and 30 centimeters of length, divided into two analyses (OSL/LSL), with three repetitions in each one. The following tests were performed: static bending (MOE//, MOR//) non-destructive testing (MOEd//), parallel compression strength (COMP//); thickness swelling (TS), water absorption (AA) and linear expansion (EL) for 2 and 24 hours. These tests were conducted according to the ASTM D 5456 (ASTM, 2006). It was not identified the effect of particle length on mechanical properties. On the other hand, the composite produced with shorter particles (OSL) presented better dimensional stability than the LSL, produced with longer ones. Flexural properties and compression strength of OSL/LSL composites presented values close, but still lower, than those observed for solid wood.*

Key words: LSL, OSL, physical and mechanical properties, particle geometry.

### 1 INTRODUÇÃO

O século XX apresentou um grande desenvolvimento de produtos engenheirados de madeira (PEM), muitos dos quais desenvolvidos para usos

específicos, geralmente relacionados à construção civil. Em resposta à demanda do mercado, a indústria madeireira desenvolveu tecnologias para o uso mais eficiente de árvores com menores dimensões (AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION, 2006).

<sup>1</sup>Engenheira Florestal, Departamento de Engenharia Florestal/EFL – Faculdade de Tecnologia/FT – Universidade de Brasília/UnB – Cx. P. 04357 – 70919-970 – Brasília, DF – joanamendesferraz@gmail.com

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal, Professor Dr. em Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Florestal/EFL – Faculdade de Tecnologia/FT – Universidade de Brasília/UnB – Cx. P. 04357 – 70919-970 – Brasília, DF – cmenezzi@unb.br

<sup>3</sup>Engenheiro Florestal, Dr. em Produtos Florestais – Laboratório de Produtos Florestais/LPF – Ministério do Meio Ambiente/MMA – 70000-000 – Brasília, DF – divino.teixeira@ibama.gov.br

<sup>4</sup>Engenheira Química, Mestre em Química – Laboratório de Produtos Florestais/LPF – Ministério do Meio Ambiente/MMA – 70000-000 – Brasília, DF – esmeralda.okino@ibama.gov.br

<sup>5</sup>Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciências Florestais – Departamento de Engenharia Florestal/EFL – Faculdade de Tecnologia/FT – Universidade de Brasília/UnB – Cx. P. 04357 – 70919-970 – Brasília, DF – fredericodesouza@hotmail.com

<sup>6</sup>Engenheiro Florestal, Departamento de Engenharia Florestal/EFL – Faculdade de Tecnologia/FT – Universidade de Brasília/UnB – Cx. P. 04357 – 70919-970 – Brasília, DF – zamborens@yahoo.com.br

De acordo com a Associação de Madeira Engenheirada dos Estados Unidos (APA), os PEMs são divididos em quatro categorias: (a) painéis estruturais, que incluem os compensados e painéis de partículas orientadas (OSB) e *waferboard*; (b) madeira laminada colada (MLC); (c) compostos estruturais utilizados em substituição à madeira maciça: painel de lâminas paralelas (LVL), *parallel strand lumber* (PSL), *laminated strand lumber* (LSL) e *oriented strand lumber* (OSL); (d) vigas em perfil I (PEDROSA et al., 2005). De acordo com Nelson (1997), o termo genérico “compostos estruturais de madeira” descreve um grupo de produtos que combina lâminas ou partículas com dimensões e características definidas em função de suas aplicações finais com adesivos estruturais para formar produtos engenheirados de madeira. Graças ao processo de produção, defeitos como nós e/ou inclinação da grã, normalmente encontrados na madeira serrada são eliminados, ou ao menos reduzidos (GUPTA & SILLER, 2005).

Esses compostos estruturais podem ser utilizados nas mesmas aplicações estruturais da madeira serrada, como vigas, colunas e encabeçamentos. Dentre esses compostos, o painel de lâminas paralelas (LVL) é o mais difundido, foi utilizado pela primeira vez na Segunda Guerra Mundial para confeccionar hélices de avião. Desde 1970, vem sendo utilizado na construção civil (WILSON & DANCER, 2004).

O PSL (*parallel strand lumber*) é um composto estrutural produzido a partir de partículas de madeira com dimensões médias de 13 mm de largura, 6 mm de espessura e com comprimento de aproximadamente 150 vezes a espessura da partícula (BAO, 2002). Utilizando-se partículas desse comprimento, o processo de produção do PSL foi idealizado para utilizar resíduos provenientes da produção do compensado ou LVL (MOODY et al., 1999). Embora não haja nenhuma limitação do comprimento, uma vez que é utilizada prensa contínua, os comprimentos típicos do PSL são acima de 18 metros, sendo limitados pelo transporte (BAO, 2002). O PSL é mais resistente à contração, rachaduras, encurvamento e encanoamento e, por sua vez, pode ser utilizado na construção de vigas e colunas, vigas em I, caibros, além de aceitar tratamento preservativo (PATTERSON, 2005).

O LSL (*laminated strand lumber*) é um composto estrutural produzido com partículas de madeira com espessura variando de 0,6 a 1,3 mm, com comprimento de 300 mm e com larguras variáveis, orientadas paralelamente (LAM & PRION, 2003). Diferentemente do LVL e do PSL, a

matéria-prima do LSL não é limitada a toras de espécies utilizadas comercialmente: pequenas toras de espécies variadas, espécies subutilizadas e de rápido crescimento, também são aceitas no processo de produção. O LSL, dentre todos os compostos estruturais, é o que apresenta um maior rendimento na utilização da tora, em torno de 72% (NELSON, 1997).

Os adesivos utilizados na produção de LSL são de uso exterior. São pulverizados nas partículas e curados pela injeção de vapor. Assim, esse produto necessita de um maior grau de alinhamento das partículas que o OSB, além de pressões mais elevadas, o que resulta em uma maior densificação (MOODY et al., 1999). Esse tipo de produto é bastante utilizado na confecção de encabeçamentos, vigas, colunas, caibros verticais, frechais de telhado, janelas, portas e batentes de portas e móveis (TANKUT et al., 2004). O uso do LSL está se expandindo no mercado internacional como um composto estrutural alternativo à madeira, principalmente nos países da América do Norte. No Brasil, porém, ainda não existem indústrias de LSL e ainda não se têm pesquisas sobre esse tipo de material.

O OSL (*oriented strand lumber*) é um tipo de LSL cujas partículas, com 15 cm de comprimento, são revestidas com um adesivo estrutural e, posteriormente, orientadas paralelamente (BAO, 2002). Sendo o OSL utilizado como um composto estrutural, as propriedades mecânicas requeridas são substancialmente diferentes daquelas de outros painéis. Pode-se afirmar, por exemplo, que o comprimento da partícula tem um papel importante na determinação das propriedades mecânicas desse painel. Geralmente, o OSL é confeccionado a partir de partículas mais longas quando comparado ao OSB, e a orientação tem significativo efeito na resistência.

Segundo Chirasatitsin et al. (2005), pesquisas vêm revelando que o aumento do comprimento da partícula tem resultado no aumento da flexão estática do painel. A geometria das partículas é um dos fatores básicos a afetar as propriedades importantes do painel e seu processo de produção, juntamente com a espécie de madeira, o tipo e a quantidade de adesivo, os aditivos, a estrutura do painel formado pela orientação das partículas, a disposição das camadas e as condições de prensagem do colchão. As propriedades mecânicas, como a resistência à flexão estática, resistência à tração paralela e perpendicular e resistência ao arrancamento de parafuso e prego são propriedades importantes do painel e são afetadas diretamente pela geometria da partícula. A mesma também influi nas propriedades físicas dos painéis, como absorção

de umidade, mudanças correspondentes em dimensões e características da superfície (MOSLEMI, 1974).

Objetivou-se, no presente estudo analisar as propriedades de painéis LSL e OSL, os quais possuem partículas com diferentes comprimentos e, mais especificamente, comparar as propriedades físicas e mecânicas entre os painéis. Adicionalmente, o estudo, também, objetivou comparar as propriedades mecânicas dos compostos, com propriedades da madeira maciça de *Chrysophyllum* sp.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção e preparação das partículas

Lâminas decorativas e pranchas de amapá (*Chrysophyllum* sp.) foram adquiridas no comércio local e identificadas macroscopicamente por meio da comparação com o material depositado na Xiloteca (Index Xilarium FPBW) do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), do Serviço Florestal Brasileiro (SFB). A espécie *Chrysophyllum* sp, conhecida popularmente como amapá ou marfim-arana, é uma espécie arbórea de pequeno a médio porte, medindo de 10 a 20 metros de altura, com diâmetros maiores que 60 centímetros (CHUDNOFF, 1984). Sua madeira apresenta cor indistinta entre o cerne e o albúrnio, porosidade difusa, tilos presentes, grã ondulada e textura média (NISGOSKI et al., 2003). Essa madeira pode ser usada na construção civil, na carpintaria, na produção de móveis e lâminas decorativas, atividades essas que produzem muito resíduo que pode ser aproveitado.

As lâminas foram adquiridas nas dimensões de 2600 mm x 900 mm x 0,6 mm ( $c \times l \times e$ ), e densidade média (12%) de 0,68 g/cm<sup>3</sup>. As pranchas, em número de três, foram adquiridas nas dimensões de 1500 mm x 200 mm x 30 mm ( $c \times l \times e$ ). As lâminas foram cortadas manualmente em duas dimensões distintas: a) LSL - 300 mm x 15 mm x 0,6 mm ( $c \times l \times e$ ); e b) OSL - 150 mm x 15 mm x 0,6 mm. Dessa forma, o coeficiente de esbeltez ( $\lambda$ ), definido como a relação entre o comprimento e a espessura da partícula, foi de 500 e 250, respectivamente.

### 2.2 Produção dos painéis

Inicialmente, as partículas foram secas em estufa até atingirem 4% de teor de umidade (TU). As partículas de 300 mm de comprimento foram utilizadas para a produção do LSL, enquanto que as partículas de 150 mm foram para o OSL. Para cada tipo de produto (OSL/LSL) foram produzidos três painéis nas dimensões de 620 mm x 400

mm x 20 mm ( $c \times l \times e$ ) e densidade de 0,76 g/cm<sup>3</sup>. Foram utilizados 8% de adesivo fenol-formaldeído, aplicados por meio de aspersão através de uma pistola de ar comprimido, com abertura de 2,5 mm, em um misturador de partículas do tipo tambor rotatório.

Após a aplicação de adesivo, formou-se o colchão em camada única com as partículas orientadas paralelamente ao eixo de maior comprimento com o auxílio de um sistema orientador de partículas. Esse sistema era composto por uma caixa formadora (620 mm x 400 mm x 200 mm) e uma grade na parte superior, cujas aletas distanciadas 5 cm uma das outras, proporcionavam a orientação desejada. O colchão, primeiramente, foi pré-prensado a frio, por 90 segundos à pressão final máxima de 10,4 MPa. Posteriormente, o painel foi prensado a quente em uma prensa INDUMEC por dez minutos à temperatura de 170°C, e pressão específica constante de 5,9 MPa. Logo após a prensagem, os painéis foram esquadrejados (500 mm x 350 mm) e acondicionados em câmara climática (20 ± 3°C; 651%) até atingirem peso constante.

### 2.3 Determinação das propriedades físicas e mecânicas

Após o acondicionamento, foram cortados quatro corpos-de-prova (CP), por painel para cada ensaio, segundo a norma ASTM D5456 (ASTM, 2006) para determinação das propriedades de flexão estática (MOE//, MOR//), resistência à compressão paralela (COMP//) e de inchamento em espessura (IE), absorção de água (AA) e expansão lateral (EL), após 2 e 24 horas de imersão em água. A norma exige seção transversal mínima de 38 mm x 38 mm para o ensaio de compressão paralela. Entretanto, dada a limitação da espessura do painel, empregou-se seção transversal de 20 mm x 20 mm, e o comprimento ( $L$ ) foi determinado de modo a cumprir a exigência da norma:  $15 < L/i < 17$ ; onde  $i$  é o raio de giração. As pranchas de madeira foram desdobradas para obtenção dos CPs para determinação de MOE//, MOR // e COMP//. Para evitar efeito variável adicional, empregaram-se as mesmas dimensões e procedimentos de ensaios segundo ASTM D5456 (ASTM, 2006).

Antes do ensaio destrutivo de flexão estática dos painéis OSL/LSL e da madeira sólida foi determinado o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd//) com o auxílio do equipamento Metriguard 239A Stress Wave Timer. Esse equipamento possui dois sensores: o excitador, que origina uma vibração de frequência progressiva no CP; e o detector, que capta a vibração. O valor captado por esse detector - o tempo de propagação da onda - será indicado

no visor do aparelho. Por meio do tempo de propagação, da densidade do painel e da distância percorrida pela onda foi possível determinar o MOEd utilizando-se as equações 1 e 2:

$$MOE_d = \frac{v^2 \times D}{g} \times 10^{-5} \quad (1)$$

$$v_0 = \frac{L}{t \times 10^{-6}} \quad (2)$$

Onde:

$MOE_d$  = módulo de elasticidade dinâmico, MPa;

$v_0$  = velocidade de propagação da onda, m/s;

$L$  = distância percorrida pela onda, m;

$t$  = tempo de trânsito da onda,  $\mu$ s;

$D$  = densidade do painel,  $kg/m^3$ ;

$g$  = aceleração da gravidade,  $9,804 m/s^2$ ;

#### 2.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada por meio do programa estatístico *SPSS for Windows 13.0* e consistiu-se de duas etapas. Na primeira etapa foi feita análise de variância (ANOVA) para avaliar o efeito do comprimento da partícula sobre as propriedades dos painéis LSL e OSL. Na segunda etapa, utilizou-se a análise de covariância (ANCOVA) - covariável densidade - seguida pelo teste de

Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para separação das médias das propriedades mecânicas do OSL, LSL e madeira sólida.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propriedades Físicas e Mecânicas

A densidade (D) dos painéis, determinada pela razão entre massa e volume à umidade de equilíbrio, variou de 0,70 a 0,80  $g/cm^3$ . A distribuição manual das partículas acarreta certa variação na densidade do painel, o que pode implicar em CPs de densidades distintas. Para eliminar esse efeito, a densidade foi utilizada como fator um covariante (0,75  $g/cm^3$ ). Os valores médios obtidos pelos ensaios físicos e mecânicos são apresentados na Tabela 1.

Nota-se, pela Tabela 1, que os valores médios de COMP// e de MOR// foram maiores para o OSL (51,2 MPa e 85,5 MPa, respectivamente), ao passo que os valores médios de MOE// e MOEd// apresentaram-se superiores para o LSL, chegando a 12912 MPa e 11135 MPa, respectivamente. Entretanto, não houve diferença significativa entre os compostos estruturais.

Dessa forma, não foi identificado o efeito do comprimento da partícula sobre a resistência mecânica. Esse resultado corrobora os resultados obtidos por Meyers (2001). O autor estudou o efeito da geometria, orientação e densidade sobre as propriedades de resistência de painéis OSL. Foram estudados três comprimentos (100; 200 e 300 mm) e três

**Tabela 1** – Valores médios e coeficiente de variação das propriedades físicas e mecânicas do OSL e LSL.

**Table 1** – Mean values and coefficient of variation of physical and mechanical properties of OSL and LSL.

Propriedade	OSL (15 cm)		LSL (30 cm)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
MOE// (MPa) <sup>NS</sup>	12345,4	7,7	12912,1	13,6
MOEd// (MPa) <sup>NS</sup>	10789,2	2,5	11135,7	2,0
MOR// (MPa) <sup>NS</sup>	85,5	9,2	74,3	10,1
COMP// (MPa) <sup>NS</sup>	51,2	15,8	48,6	22,2
IE2H (%) <sup>*</sup>	5,2	15,0	11,1	17,0
IE24H (%) <sup>*</sup>	9,7	12,5	20,2	14,2
AA2H (%) <sup>*</sup>	14,3	15,2	21,1	9,9
AA24H (%) <sup>*</sup>	30,4	6,2	45,1	4,0
EL2H (%) <sup>NS</sup>	0,8	20,0	1,02	15,7
EL24H (%) <sup>*</sup>	1,9	7,2	2,7	4,8

Nota: \* diferença significativa ao nível de 5% pela ANOVA; NS: diferença não significativa. Legenda: MOE// - módulo de elasticidade paralelo; MOR// - módulo de ruptura paralelo; MOEd// - módulo de elasticidade dinâmico paralelo; COMP// - compressão paralela; IE - inchamento em espessura; AA - absorção de água; EL - expansão lateral.

larguras (12,5; 19,0 e 25 mm). Os resultados indicaram que o comprimento não influenciou diretamente as propriedades, que foram afetadas significativamente pela orientação e densidade do painel. Quanto maior o grau de orientação das partículas e maior a densidade do painel, melhores foram as propriedades de resistência. Entretanto, o autor ressalta que a geometria da partícula influenciou no grau de orientação, facilitando-a durante o processo de produção.

Comparando-se os resultados observados das propriedades de flexão observa-se que os compostos produzidos possuem propriedades mecânicas compatíveis com a literatura. Pode-se observar, de maneira ilustrativa, na Tabela 2, uma comparação entre os resultados observados para as propriedades mecânicas (MOE e MOR) dos painéis OSL/LSL produzidos e alguns produtos engenheirados de referências nacionais e internacionais. Nota-se que os OSL/LSL produzidos nessa pesquisa são produtos com boas propriedades mecânicas, apresentando valores superiores aos painéis LSL da literatura. Os painéis em estudo apresentaram valores de MOE semelhantes ao compensado, valores superiores aos LSL da literatura e próximos aos do PSL.

Com relação aos valores obtidos para COMP paralela, observa-se que estão também compatíveis com aqueles obtidos por outros autores. Tankut et al. (2004), estudando o efeito do tratamento com retardante de fogo sobre as propriedades de LSL comerciais, encontraram valor

de 35,9 MPa para COMP, enquanto que Chirasatitsin et al. (2005) obtiveram 53,7 MPa para OSL produzido com madeira de *Hevea brasiliensis*. Meyers (2001) obteve valor médio de 26,7 MPa para painéis OSL produzidos com partículas de 200 mm de *Populus tremuloides*.

Com relação às propriedades físicas, pode-se observar que os valores médios de IE2H e 24H, AA2H e 24H e EL24H apresentaram diferença estatisticamente significativa entre o OSL e LSL. O OSL apresentou-se mais estável dimensionalmente, uma vez que seus valores médios de IE, AA e EL (2 e 24H) foram inferiores aos do LSL, com médias de 5,2% e 9,7%; 14,3% e 30,4%; 0,8% e 1,9%, respectivamente. Já o ensaio de EL2H não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os resultados de ambos os tratamentos. A relativa instabilidade dimensional do LSL, comparativamente ao LVL e PSL, é destacada por Nelson (1997). Segundo esse autor, isso ocorre devido à alta densificação que é requerida para a produção dos painéis LSL (i.e. maiores níveis de tensão de compressão), resultando assim em uma maior movimentação dimensional com a variação do teor de umidade.

Segundo Moslemi (1974), um aumento no coeficiente de esbeltez ( $\lambda$ ) acarreta, até certo ponto, efeitos desejáveis no módulo de ruptura, no inchamento em espessura e na estabilidade dimensional. Entretanto, com um  $\lambda > 300$ , os efeitos sobre essas propriedades tendem a ser desfavoráveis. Com isso, pode-se afirmar que os

**Tabela 2** – Valores de MOE e MOR de compostos estruturais encontrados na literatura nacional e internacional.

**Table 2** – Values of MOE and MOR of structural composite according to national and international references.

Tipo de painel	Espécie	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Adesivo	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Fonte
PSL	<i>Pinus/Liriodendron tulipifera</i>	n.i	FF	13898	n.i	1
LSL	<i>Chrysophyllum</i> sp.	0,74	FF	12912	74,2	2
OSL	<i>Chrysophyllum</i> sp.	0,76	FF	12345	85,5	2
LSL	n.i	0,69	MDI	11851	47,8	4
Compensado	<i>Pinus taeda</i>	n.i	FF	11591	76,8	3
LSL	<i>Populus tremuloides</i>	n.i	MDI	10426	n.i	1
OSL	<i>Hevea brasiliensis</i>	0,72	MDI	9420	99,2	6
LSL	<i>Populus tremuloides</i>	n.i	MDI	9030	n.i	1
OSB	<i>Eucalyptus grandis</i>	0,70	FF	5592	40,6	5
OSB	<i>Pinus taeda</i>	0,70	FF	5563	40,9	5

Nota: n.i: Não informado; UF: uréia-formaldeído; FF: fenol-formaldeído; MDI: Isocianato. Fonte: 1: Lam & Priom (2003); 2: Pesquisa atual; 3: Iwakiri et al. (2002); 4: Tankut et al. (2004); 5: Iwakiri et al. (2004); 6: Chirasatitsin et al. (2005).

resultados obtidos nesse estudo condizem com as afirmações do autor, uma vez que os painéis OSL apresentaram-se melhores que os painéis LSL, no que diz respeito a essas propriedades. Chirasatitsin et al. (2005) avaliaram o efeito do comprimento da partícula (50, 100 e 150 mm) sobre as propriedades de painéis OSL com madeira de *Hevea brasiliensis*. Percebeu-se que o aumento do comprimento da partícula implicou em aumento na resistência à tração, à compressão, módulo de ruptura e de elasticidade à flexão do painel OSL.

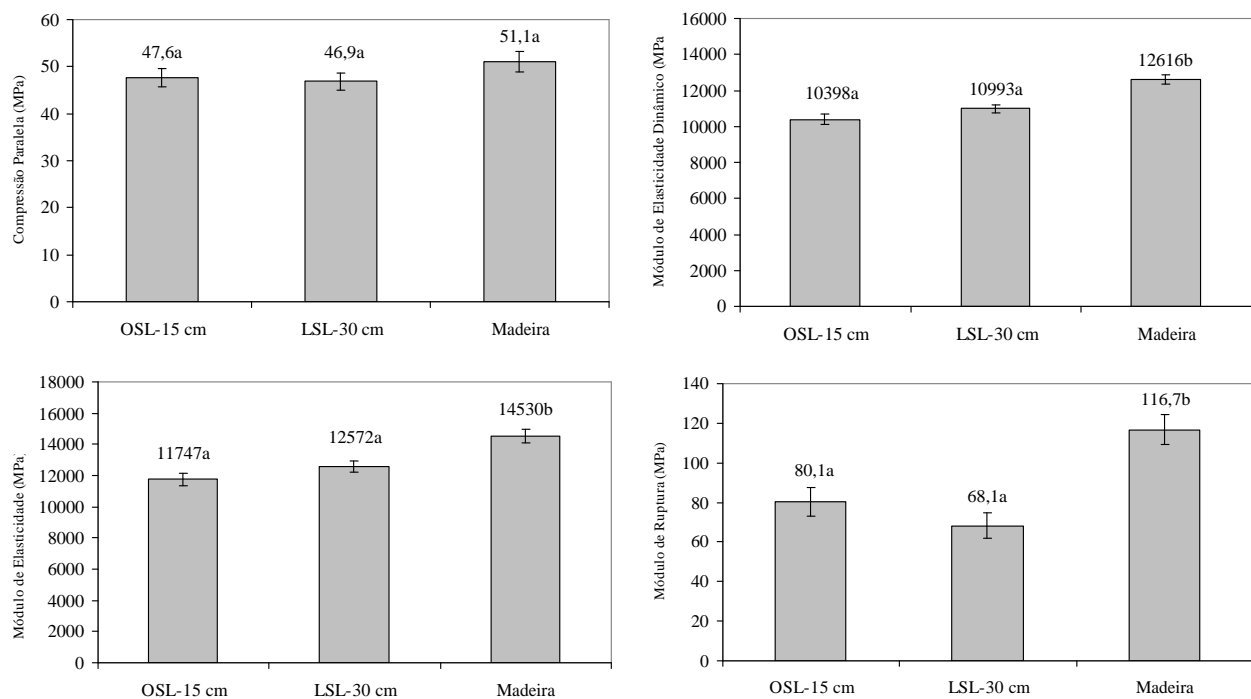
### 3.2 Comparação com a madeira sólida

Os valores médios obtidos nos ensaios mecânicos dos compostos e da madeira podem ser visualizados na Figura 1. Observa-se que os valores de COMP//, MOE// e MOEd//, para os painéis OSL e LSL, aproximaram-se bastante dos valores da madeira sólida. Os valores de COMP// para o OSL e LSL foram equivalentes a 91,8% e 93,2% dos valores de resistência obtidos para a madeira sólida, respectivamente. Para MOEd// esses valores foram

equivalentes a 82,4% e 87,2%, enquanto para MOE// foi de 80,9% e 86,5%. Por outro lado, os valores de MOR// observados para os painéis variaram de 68,7% para o OSL a 58,3% para LSL. Chirasatitsin et al. (2005) avaliando OSL obtiveram valores médios equivalentes a 90% da madeira sólida quando trabalharam com partículas com  $\lambda=360$ , produzidas a partir de *Hevea brasiliensis*. Pela análise da Figura 1 observa-se uma tendência da madeira sólida apresentar valores médios de COMP//, MOR//, MOE// e MOEd// superiores ao OSL e LSL. De fato, para MOE//, MOEd// e MOR//, houve diferença estatisticamente significativa entre os painéis e a madeira, enquanto que, para o COMP// não houve diferença estatisticamente significativa.

### 3.3. Avaliação não-destrutiva das propriedades de flexão

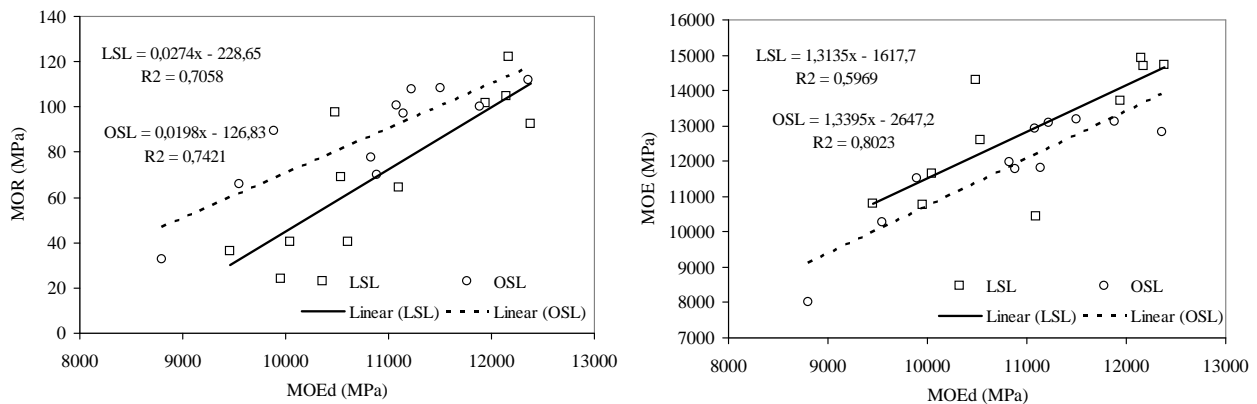
A Figura 2 apresenta a dispersão dos dados para a estimativa não-destrutiva das propriedades de flexão dos painéis OSL e LSL. Para as equações lineares para a estimativa de MOR// em função do MOEd// apresentaram



Nota: Valores estimados para densidade de 0,73 g/cm<sup>3</sup>; letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

**Figura 1** – Valores comparativos entre as propriedades dos painéis OSL/LSL e a madeira sólida de *Chrysophyllum* sp.

**Figure 1** – Comparative values between OSL/LSL properties and *Chrysophyllum* sp solid wood properties.



**Figura 2** – Estimativa de MOR// e MOE//, em função do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd//) dos painéis OSL e LSL.

*Figure 2* – Estimated values of OSL/LSL MOR// and MOE// as function of dynamic modulus of elasticity (MOEd//).

coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 70%, os quais podem ser considerados valores relativamente altos para esse tipo de ensaio. Por outro lado, as equações para predição de MOE// apresentaram  $R^2$  inferiores a 60% para o LSL, enquanto que para OSL foi superior a 80%.

De um modo geral, a predição das propriedades de flexão dos painéis OSL foi mais precisa que para os LSL. Esse resultado não era esperado. Isso porque o LSL, produzido com partículas de 300 mm, apresenta menos interrupções ao longo do eixo por onde propaga a onda de tensão, comparativamente ao OSL, produzidos com partículas de 150 mm. Segundo Han et al. (2006), a existência de espaços vazios e descontinuidade em materiais compostos podem influir na propagação da onda, dissipando-a e aumentando o tempo da propagação, dessa forma dificultando a estimativa das propriedades.

#### 4 CONCLUSÕES

As propriedades mecânicas não foram influenciadas pela geometria da partícula que, por outro lado, influenciou as propriedades físicas.

O OSL, com partícula de menor comprimento, apresentou-se mais estável dimensionalmente.

Os painéis OSL e LSL apresentaram propriedades mecânicas próximas às da madeira sólida, mas estatisticamente inferiores. Exceção foi observada para a resistência à compressão paralela, cujos valores foram similares.

Foi possível estimar adequadamente as propriedades de flexão de ambos os painéis utilizando-se a técnica de propagação de ondas de tensão. Entretanto

os modelos foram mais significativos para os painéis OSL.

O presente estudo apresenta novas informações a respeito da produção de OSL/LSL no Brasil, mas é preciso ressaltar, no entanto, a necessidade de novas pesquisas que aprofundem os aspectos relativos à viabilidade técnica e verifiquem aspectos econômicos para sua produção a partir de espécies comerciais.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Produtos Florestais e seus funcionários, pela contribuição na realização deste trabalho; à FINATEC, pelo auxílio financeiro; e a Alba Química, pela doação do adesivo utilizado.

#### 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION. **Engineered wood products primer awareness guide**. [S.l.], 2006. 8 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5456**: standard specification for evaluation of structural composite lumber products. West Conshohocken, 2006. 20 p.
- BAO, Z. Structural composite lumber. In: APA. **Engineered wood handbook**. New York: Mc Graw-Hill, 2002. chap. 6, p. 6.1-6.49.
- CHIRASATITSIN, S.; PRASERTSAN, S.; WISUTMETHANGOON, W.; KYOKONG, B. Mechanical properties of rubberwood oriented strand lumber. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 27, n. 5, p. 1047-1055, 2005.

- CHUDNOFF, M. **Tropical timbers of the world**. Madison: Forest Products Laboratory, 1984. 464 p.
- GUPTA, R.; SILLER, T. S. Stress distribution in structural composite lumber under torsion. **Forest Products Journal**, Madison, v. 55, n. 2, p. 51-56, Feb. 2005.
- HAN, G.; WU, Q.; WANG, X. Stress-wave velocity of wood-based panels: effect of moisture, product type, and material direction. **Forest Products Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 28-33, 2006.
- IWAKIRI, S.; MENEZZI, C. S.; LAROCCA, C.; VENSON, I.; MATOSKI, S. S. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 92-97, 2002.
- IWARIKI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2004.
- LAM, F.; PRION, H. Engineered wood products for structural purposes. In: THELANDERSSON, S.; LARSEN, H. J. **Timber engineering**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 81-102.
- MEYERS, K. L. **Impact of strand geometry and orientation on mechanical properties of strand composites**. 2001. 115 p. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) – Washington State University, Washington, DC, 2001.
- MOODY, R. C.; HERNANDEZ, R.; LIU, J. Y. Glued structural members. In: \_\_\_\_\_. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA Forest Service, 1999. chap. 11, 463 p.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard: materials**. Southern Illinois: University Carbondale, 1974. v. 1, 244 p.
- NELSON, S. Structural composite lumber. In: \_\_\_\_\_. **Engineered wood products: a guide for specifiers, designers and users**. Madison: PFS Research Foundation, 1997. chap. 6, p. 6/147-6/172.
- NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; CECCANTINI, G. Caracterização anatômica macroscópica das madeiras utilizadas para a laminação na região de Curitiba - PR. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 4, n. 1/2, p. 47-52, 2003.
- PATTERSON. **Canada Solid Wood Products 2005**. Washington, DC: GAIN Reports; USDA, 2005.
- PEDROSA, A. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Produção de vigas estruturais em perfil “T” com painéis de madeira reconstituída de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 3, 2005.
- TANKUT, N. D.; SMITH, L. A.; SMITH, W. A. Physical and mechanical properties of laminated strand lumber treated with fire retardant. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 6, p. 63-70, 2004.
- WILSON, J. B.; DANCER, E. R. **Laminated veneer lumber: pacific northwest and southeast**. [S.l.: s.n.], 2004.