

Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas da madeira e do LVL de *Pinus merkusii*

*Comparative study of the physical and mechanical properties of the wood and of LVL of *Pinus merkusii**

GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR

Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Forestais, Piracicaba-SP, Brasil. E-mail: gbortoll@esalq.usp.br

Recibido: 03-04-09 / Aceptado: 25-01-10

Resumo

O presente estudo teve por objetivo principal determinar e comparar os valores das principais propriedades físico-mecânicas da madeira e do LVL de *Pinus merkusii*, visando quantificar possíveis ganhos em resistência, rigidez e estabilidade dimensional do LVL em relação à madeira. Para o desenvolvimento do estudo foram utilizadas 20 toras de 10 árvores coletadas aos 26 anos de idade. A partir desse material, corpos-de-prova de madeira sólida e de LVL (Laminated Veneer Lumber) foram obtidos e ensaiados conforme as prescrições da Norma Brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997). Posteriormente, os dados obtidos para os dois conjuntos (madeira e LVL) foram submetidos a uma análise de variância. Os resultados indicaram que a retratibilidade máxima radial (R) foi superior para o LVL e na direção tangencial (T) verificou-se o contrário. O valor da relação T/R foi mais favorável ao LVL. Em resistência, os ganhos médios do LVL foram de 11% a 18%, conforme a propriedade considerada. Em rigidez, os ganhos médios do LVL foram de 14% a 29%. A variabilidade dos dados das propriedades do LVL foi menor que a da madeira. Concluiu-se que além de apresentar maior resistência e rigidez, o LVL tornou-se mais homogêneo que a própria madeira que lhe deu origem.

Palavras chave: madeira, *Pinus merkusii*, LVL, propriedades, painéis.

Abstract

The main objective of this study was to determine and to compare the physical-mechanical properties values of the wood and of LVL of *Pinus merkusii*, seeking to quantify possible gain in strength, rigidity and dimensional stability of LVL in relation to the wood. 20 logs of 10 trees with 26 years old were used on this research. From this material, solid wood and LVL (Laminated Veneer Lumber) samples were obtained and tested according to Brazilian Norm NBR 7190 (ABNT, 1997). Later, the obtained data for wood and LVL were submitted to variance analysis. The results indicated that the maximum radial shrinkage (R) was superior to LVL and in the tangential direction (T) the opposite was verified. The T/R relation was more favorable to LVL. In strength, the LVL average values were superior from 11% to 18%, according to the considered property. In rigidity, the LVL average values were superior from 14% to 29%. The LVL properties data variability was smaller than the one of the wood. It is concluded that in addition to superior strength and rigidity, the LVL became more homogeneous than the own wood that gave its origin.

Key words: wood, *Pinus merkusii*, LVL, properties, panels.

1. Introdução

O processo de obtenção do LVL (Laminated Veneer Lumber) é resultado de uma longa e gradual evolução de conceitos e técnicas. A bibliografia aponta que a origem desse processo estaria no trabalho desenvolvido por Luxford (1944), citado por Schaffer *et al.* (1972) e Laufenberg (1983). Luxford construiu elementos estruturais de aviões, com elevada resistência, a partir de painéis LVL fabricados com lâminas de 3,6 mm de espessura coladas paralelamente, a frio (Matos, 1997).

O LVL distingue-se do compensado pelo fato das lâminas serem coladas, umas sobre as outras, com as fibras dispostas paralelamente. A produção comercial do LVL tem empregado lâminas com 3,2 mm de espessura, resina à base de fenol-formaldeído e prensagem a quente convencional. O LVL pode também ser produzido através da prensagem contínua, em larguras de 100 a 1200 mm, espessuras de 19 a 75 mm e comprimentos de até 25 metros (Walker, 1993).

Guss (1994) apresenta o consumo percentual por produto final obtido a partir do LVL, nos Esta-

dos Unidos da América (EUA), para uma produção de 1.062.000 m³, da seguinte maneira: vigas-I residenciais (45%); vigas e componentes residenciais (37%); vigas e componentes não residenciais (8%); tesouras (5%) e outros usos (5%).

Tissari (2005), a produção de LVL nos EUA aumentou em 47,4%, de 2001 a 2005, sendo atualmente de 2.228.600 m³. Também houve uma mudança no perfil de consumo: a demanda de LVL para vigas em 2004 foi de 57% e para vigas-I foi de 37% do total consumido, invertendo as tendências verificadas anteriormente. Tal fato se deve ao aumento do uso de madeira maciça nas “mesas” das vigas-I, em substituição ao LVL que, até então, era o principal material utilizado para essa finalidade.

De outro lado, no Brasil, o LVL ainda não é produzido em escala industrial, embora haja potencial para tanto, especialmente com vistas para exportação. Contudo, pesquisas sobre esse produto vêm sendo realizadas no país desde 1997, em escala de laboratório (Bortoletto, 2006).

De acordo com Tammela (1998), o LVL é um produto estrutural de alta qualidade com propriedades previsíveis e flexibilidade dimensional. Entre as razões que explicam a demanda crescente do LVL, as seguintes podem ser destacadas: a) o LVL pode ser produzido a partir de árvores de pequenos diâmetros e convertido em pranchas de grande comprimento; b) árvores de grandes diâmetros para produção de madeira serrada estão a cada dia menos disponíveis em certos mercados, proporcionando uma excelente oportunidade para introdução do LVL; c) com pequenas modificações, uma fábrica de compensados pode ser adaptada para produzir LVL, aumentando a sua linha de produtos e abrindo novos mercados; d) qualidade do produto, cuja estrutura é altamente homogênea, e suas propriedades: os nós, que podem estar presentes nas lâminas, são distribuídos pelo painel e dessa forma não afetam a sua resistência; uma vez em que as rachaduras ocorrem na direção longitudinal da lâmina, as mesmas ocasionam um efeito limitado sobre as propriedades mecânicas do produto final; certos procedimentos podem ser adotados, como a classificação prévia das lâminas por meios não destrutivos, proporcionando a resistência requerida para determinados produtos estruturais, bem como diferentes estratégias de montagem das lâminas, evitando empenamentos e torcimentos. Com todas essas características, o LVL apresenta

resistência superior à madeira serrada e à madeira laminada colada.

O presente estudo teve por objetivo principal determinar e comparar os valores das principais propriedades físico-mecânicas da madeira e do LVL de *Pinus merkussi*, visando quantificar possíveis ganhos em resistência, rigidez e estabilidade dimensional do LVL em relação à madeira.

2. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento do estudo foram utilizadas 20 toras de 10 árvores de *Pinus merkussi*, coletadas aos 26 anos de idade, na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, Estado de São Paulo, Brasil.

Metade das toras foi desdobrada em serraria, através de cortes tangenciais efetuados em serra de fita. Selecionou-se para o presente estudo a prancha central restante de cada tora, a qual, por sua vez, foi desdobrada através de cortes paralelos à casca em serra circular, resultando em vigas 8 x 8 cm destinadas à secagem para posterior retirada aleatória de corpos-de-prova.

A outra metade, depois das toras serem descascadas e aquecidas, foi processada em torno rotativo, visando à obtenção de lâminas de 3,0 mm de espessura nominal, destinadas à secagem para posterior produção do LVL.

A partir das lâminas secas foram produzidos 15 painéis de LVL, com 18 camadas coladas com resina à base de fenol-formaldeído (190 g/m², aplicada em linha simples), nas dimensões nominais de 22,5 x 12,5 cm e espessura de 5,4 cm. Os parâmetros de prensagem dos painéis foram os seguintes: tempo de 30 minutos, pressão específica de 11 kgf/cm² e temperatura de 150°C.

Na fase de montagem dos painéis diferentes estratégias foram adotadas: painéis montados com lâminas selecionadas aleatoriamente; painéis montados com lâminas classificadas em diferentes classes de rigidez (determinadas através de ensaios não destrutivos, pelo uso do stress wave timer) e distribuídas de diferentes maneiras ao longo das camadas, resultando em cinco tratamentos distintos. Contudo, nas análises efetuadas no presente estudo não foi feita distinção entre os tratamentos, de modo que os valores médios das propriedades dos painéis LVL compreenderam um único con-

junto de dados.

A partir das vigas de madeira sólida e dos painéis LVL gerados, corpos-de-prova foram obtidos e ensaiados conforme as prescrições da Norma Brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997). Mediante a esses ensaios as seguintes propriedades foram determinadas: densidade básica, massa específica, retratibilidade máxima tangencial, radial, longitudinal e volumétrica, resistência e rigidez à flexão estática, resistência e rigidez à compressão paralela às fibras, resistência e rigidez à tração paralela às fibras e resistência ao cisalhamento.

As comparações entre as propriedades do LVL e da madeira de *Pinus merkusii* foram realizadas através de análises de variância conduzidas ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3. Resultados e discussão

3.1 Propriedades Físicas

É possível observar na quadro 1 que houve diferenças significativas de densidade e massa específica entre o LVL e a madeira de *Pinus merkusii*.

Quadro 1. Valores médios de densidade básica e massa específica do LVL e da madeira de *Pinus merkusii*.

<i>Pinus merkusii</i>	Densidade Básica ¹ (g/cm ³)	Massa Específica Anidra ² (g/cm ³)	Massa Específica Seca ³ (g/cm ³)
LVL	240 0,501 ⁶ A	240 0,565 ⁷ A	240 0,618 ⁶ A
Madeira	48 0,438 ¹² B	48 0,492 ¹³ B	48 0,527 ¹³ B

¹Massa ao teor de umidade de 0% e o volume saturado; ²Massa e volume ao teor de umidade de 0%; ³Massa e volume ao teor de umidade médio de 12%. Médias com letras diferentes denotam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro. O número central em negrito é o valor médio, abaixo e a esquerda é o número de repetições, acima e a direita é o coeficiente de variação.

Os valores médios de densidade e massa específica foram de 14 a 17% superiores para o LVL. Provavelmente, esses resultados são devidos a densificação que ocorre durante a prensagem do LVL, bem como ao uso de parte das lâminas classificadas em classes de qualidade superior (alta rigidez e, normalmente, de maior densidade) na sua manufatura.

Na quadro 2 verifica-se que houve diferenças significativas de retratibilidade máxima radial e tangencial, bem como da relação T/R, entre o LVL e a madeira de *Pinus merkusii*.

Quadro 2. Valores médios de retratibilidade máxima do LVL e da madeira de *Pinus merkusii*.

<i>Pinus merkusii</i>	Retratibilidade Máxima				
	Radial (R)	Tangencial (T)	Longitudinal	Volumétrica	T/R
LVL	231 4,5 ¹⁶ A	231 7,0 ¹¹ B	231 0,15 ⁸⁷ A	231 11,7 ¹¹ A	231 1,6 ¹³ B
Madeira	41 4,0 ¹⁵ B	41 7,4 ⁸ A	41 0,18 ⁶⁷ A	41 11,6 ⁹ A	41 1,9 ¹⁶ A

O número central em negrito é o valor médio, abaixo e a esquerda é o número de repetições, acima e a direita é o coeficiente de variação. Médias com letras diferentes denotam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A madeira de *Pinus merkusii* apresentou valor médio inferior de retratibilidade radial. Já para retratibilidade tangencial e para a relação T/R, mostrou valores médios superiores. Esses resultados são parcialmente concordantes com Tsoumis (1991), o qual afirma ser a retratibilidade menor e a relação T/R maior na medida em que a densidade da madeira for menor. Portanto, os resultados não são inteiramente concordantes com o autor porque a madeira de *Pinus merkusii* mostrou valor médio de densidade menor e de retratibilidade tangencial maior.

Uma possível explicação para esse resultado se deve a diferenças entre os dois materiais: a madeira não possui nenhuma restrição a retratibilidade tangencial que se processa livremente durante o processo de secagem dos corpos-de-prova até o teor de umidade de 0%. Entretanto, durante o mesmo processo, o LVL permanece condicionado a certa restrição imposta pelas linhas de colagem as quais podem reduzir a movimentação das lâminas na direção tangencial.

Para as demais propriedades, tais como a retratibilidade máxima longitudinal e a volumétrica, não foram encontradas diferenças significativas entre a madeira e o LVL. É possível observar que os valores médios de retratibilidade longitudinal foram extremamente baixos. Segundo Tsoumis (1991), esses baixos valores decorrem de certo paralelismo da orientação das microfibrilas da ca-

mada S_2 com o eixo do fuste e são indicativos das ausências de madeira de compressão e de madeira juvenil, ou, das suas mínimas presenças. Contudo, pode-se notar uma ligeira tendência para valor médio de retratibilidade longitudinal mais baixo ainda para o LVL, fato que pode estar relacionado com a descontinuidade das microfibrilas da camada S_2 e com a dispersão de porções de madeiras de compressão e juvenil caso presentes em algum grau, ocasionadas pela composição laminada do LVL, bem como com a restrição imposta pelas linhas de colagem.

Na prática as diferenças de retratibilidade radial e tangencial, as quais acabaram por se compensar em termos de retratibilidade volumétrica, podem trazer certa vantagem para madeira ou para o LVL, dependendo da aplicação final. Por outro lado, o valor médio da relação T/R verificado para o LVL, inferior ao da madeira, constitui um importante ganho para esse painel, porque pode significar uma relativa redução da tendência de rachaduras e empenamentos.

3.2 Propriedades mecânicas

As quadros 3 a 6 apresentam, respectivamente, os valores médios das propriedades obtidas mediante aos ensaios de flexão estática, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras e cisalhamento paralelo às fibras do LVL e da madeira de *Pinus merkusii*. É possível observar nessas quadros 3 e 4 que os valores médios de resistência e rigidez verificados para o LVL foram significativamente superiores aos obtidos para a madeira de *Pinus merkusii* em todas as propriedades avaliadas, exceto no caso da resistência ao cisalhamento paralelo ao plano das linhas de colagem, no qual o valor médio do LVL foi equivalente ao da madeira. Este resultado evidencia que a colagem entre as lâminas do LVL foi tanto quanto, ou mais resistente que a própria madeira sólida.

Conforme pode ser observado nas quadros 3 a 6, os ganhos médios em resistência, favoráveis ao LVL em relação à madeira de *Pinus merkusii*, foram de 11% na compressão paralela, 15% na tração paralela, 16% na flexão estática e 18% no cisalhamento. Já, em rigidez, os ganhos médios, favoráveis ao LVL, foram de 14% na compressão paralela, 17% na flexão estática-*edgewise*, 19% na tração paralela e 29% na flexão estática-*flatwise*, portanto, mos-

Quadro 3. Valores médios de resistência e rigidez à flexão estática do LVL e da madeira de *Pinus merkusii*.

<i>Pinus merkusii</i>	Flexão Estática		
	Resistência (kgf/cm ²)	Rigidez (kgf/cm ²)	
		<i>flatwise</i> ¹	<i>edgewise</i> ²
LVL	₃₀ 948 ¹⁰ A	₁₅ 152.887 ¹³ A	₁₅ 139.167 ¹¹ A
Madeira	₂₄ 817 ²³ B	₂₄ 118.670 ²² B	₂₄ 118.670 ²² B

¹Força aplicada na direção perpendicular ao plano das linhas de colagem do LVL; ²Força aplicada na direção paralela ao plano das linhas de colagem do LVL. O número central em negrito é o valor médio, abaixo e a esquerda é o número de repetições, acima e a direita é o coeficiente de variação. Médias com letras diferentes denotam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Quadro 4. Valores médios de resistência e rigidez à compressão paralela às fibras do LVL e da madeira de *Pinus merkusii*.

<i>Pinus merkusii</i>	Compressão Paralela às Fibras			
	Resistência (kgf/cm ²)		Rigidez (kgf/cm ²)	
LVL	₆₀ 499 ⁷	A	₅₉ 150.186 ¹⁵	A
Madeira	₂₃ 448 ¹⁵	B	₂₃ 131.254 ²⁹	B

O número central em negrito é o valor médio, abaixo e a esquerda é o número de repetições, acima e a direita é o coeficiente de variação. Médias com letras diferentes denotam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Quadro 5. Valores médios de resistência e rigidez à tração paralela às fibras do LVL e da madeira de *Pinus merkusii*.

<i>Pinus merkusii</i>	Tração Paralela às Fibras			
	Resistência (kgf/cm ²)		Rigidez (kgf/cm ²)	
LVL	₆₀ 841 ¹⁹	A	₆₀ 137.811 ¹⁸	A
Madeira	₂₂ 734 ²²	B	₂₃ 115.415 ¹⁶	B

O número central em negrito é o valor médio, abaixo e a esquerda é o número de repetições, acima e a direita é o coeficiente de variação. Médias com letras diferentes denotam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro.

trando-se algo mais expressivos que os ganhos em resistência.

Em todas as propriedades mecânicas avaliadas, com exceção para a rigidez à tração paralela, os coeficientes de variação do LVL foram inferiores aos da madeira, colocando em evidência que

Quadro 6. Valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do LVL e da madeira de *Pinus merkusii*.

<i>Pinus merkusii</i>	Resistência ao Cisalhamento (kgf/cm ²)	
	Perpendicular ao plano das linhas de colagem do LVL	Paralelo ao plano das linhas de colagem do LVL
LVL	₃₀ 129 ⁸ A	₃₀ 110 ¹⁴ A
Madeira	₄₆ 109 ¹⁶ B	₄₆ 109 ¹⁶ A

O número central em negrito é o valor médio, abaixo e a esquerda é o número de repetições, acima e a direita é o coeficiente de variação. Médias com letras diferentes denotam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro.

a dispersão dos dados de resistência e rigidez do LVL foi menor. Sendo assim, comprova-se que o LVL se tornou mais homogêneo que a madeira que lhe deu origem. Concorre para tanto a distribuição equilibrada dos defeitos naturais da madeira, tais como nós, fissuras, rachaduras e desvios de grã, bem como das transições de lenho, proporcionada pela composição laminada do painel LVL que evita a concentração localizada desses fatores.

4. Conclusões

Houve diferenças significativas entre o LVL e a madeira de *Pinus merkusii* para todas as propriedades físicas e mecânicas determinadas no presente estudo, excetuados os casos da resistência ao cisalhamento paralelo às linhas de colagem e da retratibilidade máxima longitudinal e volumétrica nos quais se verificou igualdade estatística.

Ambos os materiais mostraram estabilidade dimensional média, entretanto, o LVL tende a apresentar menos defeitos como rachaduras e empenamentos devido ao valor da relação T/R, o qual se mostrou mais favorável a esse painel.

Em resistência, os ganhos médios do LVL, em relação à madeira, foram de 11% a 18% e, em rigidez, foram de 14% a 29%, conforme a propriedade considerada, mas com destaque para flexão estática. A variabilidade dos dados das propriedades do LVL foi menor que a da madeira. Desses modos, além de apresentar maior resistência e rigidez, o LVL tornou-se mais homogêneo que a própria madeira que lhe deu origem, corroborando as informações correntes na bibliografia.

5. Agradecimentos

O autor expressa o seu agradecimento à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Brasil, pelo suporte financeiro prestado durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa (Proc. FAPESP 03/08406-4) que deu origem ao presente manuscrito.

6. Referências

- ABNT. 1997. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Projeto de Estruturas de Madeira. Norma Brasileira NBR 7190. Rio de Janeiro, Brasil. 78 p.
- BORTOLETTO, J. G. 2006. Produção de lâminas, compensado e Laminated Veneer Lumber – LVL a partir da madeira de *Pinus merkusii*. Tese de Livre Docência, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, Brasil. 97 p.
- GUSS, L. M. 1995. Engineered wood products: the future is bright. *Forest Products Journal* 45 (7/8): 17-24.
- LAUFENBERG, T. L. 1983. Parallel-laminated veneer: processing and performance research review. *Forest Products Journal* 33 (9): 21- 8.
- LUXFORD, R. F. 1944. *Strength of glued laminated Sitka spruce made up of rotary-cut veneers*. USDA Forest Service, FPL Rep. 1512. Forest Prod. Lab. Madison, USA. 376 p.
- MATOS, J. L. M. 1997. Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil. 117 p.
- SCHAFFER, E.L., R. W. JOKERST y R. C. MOODY. 1972. FPL Press-Lam process: Fast, efficient conversion of logs into structural products. *Forest Products Journal* 22 (11): 11-18.
- TAMMELA, K. 1998. Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing. Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1, Belo Horizonte. Anais. Viçosa, SIF/UFV/DEF (1): 162-168.
- TISSARI, J. 2005. Value-added wood products industry implements policies to stay competitive: value-added wood products markets. Em linha: <http://www.unece.org/trade/timber> [Consultado: 14/12/ 2005].
- TSOUMIS, G. 1991. *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. Chapman & Hall. New York, USA. 369 p.
- WALKER, J.C.F. 1993. *Primary wood processing: principles and practice*. Chapman & Hall. London, England. 327 p.