

INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE LÂMINAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC) DE *TOONA CILIATA* PRODUZIDA COM ADESIVO POLIURETANO VEGETAL

*INFLUENCE OF NUMBER OF LAMINAS IN RESISTANCE TO COMPRESSION OF GLUED
LAMINATED TIMBER (GLULAM) OF TOONA CILIATA PRODUCED WITH VEGETABLE
POLYURETHANE ADHESIVE*

FARIA, Douglas Lamounier

Doutorando em Engenharia de Biomateriais, Engenheiro Civil, Universidade Federal de Lavras
douglas.lamounier@yahoo.com

CRUZ, Thiago Moreira

Doutorando em Engenharia de Biomateriais, Engenheiro Florestal, Universidade Federal de Lavras
thiago.moreira.cruz@gmail.com

MESQUITA JÚNIOR, Laércio

Doutorando em Engenharia de Biomateriais, Engenheiro Civil, Universidade Federal de Lavras
laercomjr@gmail.com

DUARTE, Paulo Junio

Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira, Engenheiro Florestal, Universidade Federal de Lavras
pauloduarte.floresta@gmail.com

MENDES, Lourival Marin

Professor Titular, Engenheiro Florestal, Universidade Federal de Lavras
lourival@dcf.ufla.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência à compressão de vigas de madeira laminada colada (MLC) de *Toona ciliata* (Cedro Australiano). Para isso, três árvores com sete anos de idade foram cortadas para obtenção de lâminas com dimensões de 15 x 60 x 1200 mm. As vigas de MLC foram produzidas com 5, 7 e 9 lâminas de *Toona ciliata*, sendo confeccionadas 3 vigas para cada tratamento, totalizando 9 vigas, utilizando o poliuretano vegetal como adesivo. Foi determinada a resistência a compressão paralela às fibras, resistência a compressão normal às fibras e resistência a compressão normal às fibras em corpo de prova estrutural das vigas de MLC. Os valores das propriedades analisadas ficaram próximos aos observados na literatura, não sendo verificado diferenças estatísticas para os tratamentos avaliados.

Palavras-chave: Cedro Australiano. Comportamento mecânico. Compressão.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the compressive strength of glued laminated timber beams (Glulam) of *Toona ciliata* (Australian Cedar). For this, three trees with seven years

of age were cut to obtain laminas with dimensions of 15 x 60 x 1200 mm. The glulam beams were produced with 5, 7 and 9 *Toona ciliata* laminas, and 3 beams were made for each treatment, totaling 9 beams, using the vegetal polyurethane as an adhesive. The compressive strength parallel to the fibers, the normal compression strength to the fibers and the normal compression strength to the fibers in the structural test piece of the MLC beams were determined. The values of the properties analyzed were close to those observed in the literature, and no statistical differences were verified for the evaluated treatments.

Keywords: Australian Cedar. Mechanical behavior. Compression.

1. INTRODUÇÃO

A madeira laminada colada (MLC) é uma opção de uso, por se tratar de produto obtido pela associação de peças da madeira (lâminas) que requer precisão de fabricação em todos os seus estágios. As lâminas, unidas por colagem, ficam dispostas de modo que suas fibras estejam paralelas entre si (BODIG; JAYNE, 1993) e formem um componente estrutural. Tais lâminas de madeira são selecionadas, coladas com adesivo à prova d'água, sob pressão variável de 0,7 a 1,5 MPa (SEGUNDINHO et al., 2013).

Devido a escassez da madeira, a utilização da MLC se tornou necessária para que houvesse a substituição do material natural pelo manufaturado, contribuindo, assim, para a diminuição da sua extração. As matérias-primas utilizadas para produzir MLC são a madeira e o adesivo. A madeira é o elemento principal, e o adesivo é o responsável para unir as peças de madeira formando um produto final. Em alguns casos, o valor do adesivo pode ser maior que o da madeira, portanto, geralmente é preferível usar mais madeira e menos adesivo.

Apesar das vantagens apresentadas pela técnica da MLC, melhorias podem ser feitas para que se obtenha a possibilidade de utilização da mesma de forma ainda mais ampla (LENZI et al., 2018). Tais melhorias podem ser atingidas por meio da utilização de diferentes números de lâminas, bem como diferentes espessuras das lâminas utilizadas, resultando em vigas laminadas coladas com acréscimo de rigidez e resistência, e conseqüentemente, podendo ter uma redução na quantidade de adesivo utilizado, uma vez que mais linhas de cola no elemento estrutural significam maiores custos ao produto (ALMEIDA et al., 2014).

Estudos envolvendo a quantidade e o número de lâminas foram realizados por Icimoto et al., (2016), onde os autores trabalhando com a espécie *Pinus oocarpa* realizaram ensaios com MLC produzidas com diferentes combinações de número de lâminas (4, 6, 8) e espessura das lâminas (25, 16,70 e 12,50 mm), mostrando não haver diferenças estatísticas significativas para as propriedades módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) oriundas do ensaio de flexão estática.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a quantidade de lâminas (5, 7, 9) na resistência à compressão de vigas de MLC produzidas com a madeira de *Toona ciliata* (Cedro Australiano) coladas com adesivo poliuretano vegetal (à base de óleo de mamona), visando enquadrar a madeira de *Toona ciliata* como uma espécie substituta às aquelas tradicionalmente utilizadas na fabricação de MLC, como Pinus e Eucalipto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. OBTENÇÃO DA MADEIRA DE *TONNA CILIATA*

Para realização deste estudo, foram cortadas três árvores da espécie *Toona ciliata* (Cedro Australiano) com sete anos de idade em uma plantação localizada em Campo Belo, Minas Gerais. De cada árvore, foram retiradas duas toras a partir da base com comprimento de 1,50 m. As seis toras foram levadas para a serraria da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM), pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada em Lavras, Minas Gerais. As toras foram desdobradas e transformadas em pranchas com auxílio de uma serra circular. Em seguida as pranchas foram acondicionadas em câmara de climatização a uma temperatura de 22 ± 2 °C e 65 ± 5 % de umidade relativa até estabilização. A madeira de *Toona ciliata* apresentava uma densidade aparente média de $0,320 \text{ g/m}^3$ com 12% de umidade.

2.2. PRODUÇÃO DAS VIGAS DE MLC DE *TOONA CILIATA*

Das pranchas foram obtidas lâminas com dimensões de 20 x 70 x 1200 mm que foram secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 103 ± 2 °C até atingir a umidade de 8%. Posteriormente, as faces foram aplainadas até atingir as dimensões finais de 15 x 60 x 1200 mm. As lâminas foram classificadas pela técnica de excitação por impulso com o emprego do equipamento *Sonelastic* (Sonelastic, ATCP, Brasil). Para a produção das vigas de MLC, as lâminas foram classificadas de acordo com o valor de MOE, sendo aquelas maiores que 1000 MPa destinadas às faces enquanto aquelas menores que 1000 MPa foram empregadas no miolo. Três vigas de MLC foram produzidas para cada tratamento, totalizando 9 vigas (Tabela 1). Cada viga foi colada com adesivo poliuretano vegetal (a partir de óleo de mamona), bi-componente, na proporção de 1 para 1,5 do componente A para o componente B, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 1: Delineamento experimental.

Tratamento	Número de lâminas	Adesivo
T1	5	Poliuretano vegetal
T2	7	
T3	9	

Fonte: Dos autores.

Tabela 2: Parâmetros para a produção das vigas de MLC.

Parâmetro	Poliuretano vegetal
Viscosidade aparente (25 °C)	430,63 cP
Teor de sólidos (%)	79.43
pH	7.0
Gramatura (g.m ⁻²)	350
Prensagem / tempo	1 MPa / 24 h

Fonte: Dos autores.

2.3. PROPRIEDADES DAS VIGAS DE MLC DE *TOONA CILIATA*

Após a prensagem, as vigas foram acondicionadas em ambiente com temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$ até atingir a umidade de equilíbrio higroscópico de 12%. Visando avaliar o comportamento mecânico das vigas de MLC quando submetidas a esforço de compressão, corpos de prova foram retirados para realização de ensaios de resistência à compressão paralela às fibras (Figura 1a), compressão normal às fibras (Figura 1b) e compressão estrutural (Figura 1c) de acordo com a norma D 143 (ASTM, 2000).

Figura 1. Corpos de prova para ensaios de resistência à compressão; a) Compressão paralela às fibras, b) Compressão normal às fibras, c) Compressão estrutural. Seta preta indica a linha de cola.



Fonte: Dos autores.

As dimensões dos corpos de prova para realização do ensaio de resistência a compressão paralela às fibras (Figura 1a) foram de 25 x 25 x 100 mm (largura, espessura e comprimento, respectivamente). Para o ensaio de resistência a compressão normal às fibras (Figura 1b), os corpos de prova possuíam dimensões de 45 x 45 x 75 mm (largura, comprimento e espessura) para o tratamento T1; 45 x 45 x 105 mm (largura, comprimento e espessura) para o tratamento T2; e 45 x 45 x 135 mm (largura, comprimento e espessura) para o tratamento T3. Já para a determinação da resistência a compressão estrutural das vigas de MLC (Figura 1c), os corpos de prova apresentavam dimensões de 45 x 90 x 75 mm (largura, comprimento e espessura) para o tratamento T1; 45 x 90 x 105 mm (largura, comprimento e espessura) para o tratamento T2; e 45 x 90 x 135 mm (largura, comprimento e espessura) para o tratamento T3. Os ensaios realizados para obtenção da resistência à compressão das vigas de MLC foram realizados em uma máquina universal de ensaios, modelo EMIC DL, com célula de carga de 300 kN, pertencente ao Laboratório de Estruturas, localizado no Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise estatística por meio de ANOVA. Em caso de significância, foi aplicada a comparação de médias por meio do teste Tukey. Todos os testes foram efetuados no programa *Sisvar* 5.6 a 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vigas de MLC produzidas com madeira de *Toona ciliata* apresentaram resistência média a compressão paralela às fibras de 24,38 MPa.

Em estudo realizado por Magalhães; Santos (2009) com vigas de MLC de Eucalipto, os autores obtiveram valores médios de resistência a compressão paralela às fibras de 84,2 MPa, valores muito superiores aos observados neste estudo. A mesma diferença foi observada comparando os resultados encontrados neste trabalho aos resultados obtidos por Segundinho et al. (2015), cujos autores avaliaram as propriedades de MLC produzidas com *Acacia mangium* e adesivos estruturais. Os autores verificaram resistência média a compressão paralela às fibras de 52,72 MPa utilizando adesivo poliuretano. Os resultados superiores obtidos por Magalhães; Santos (2009) e Segundinho et al. (2015) se devem à maior densidade das espécies em estudo, uma vez que Magalhães; Santos (2009) utilizaram madeira de Eucalipto, que normalmente apresenta densidade superior a 0,600 g/cm³ e Segundinho et al. (2015) utilizaram a espécie *Acacia mangium*, que apresentou densidade aparente média de 0,620 g/cm³ a 12% de umidade. Sendo assim, apesar dos resultados verificados neste trabalho estarem abaixo daqueles observados na literatura, pode-se inferir que a menor resistência foi devido a menor densidade aparente da espécie *Toona ciliata* (0,320 g/m³), tornando ainda essa espécie uma opção para a produção de MLC.

Os valores médios obtidos para os ensaios de compressão normal às fibras e compressão estrutural das vigas de MLC são apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3. Valores médios de compressão normal às fibras e compressão estrutural.

Tratamento	Compressão normal	Compressão estrutural
T1	3,13 (0,02) A	3,09 (0,17) A
T2	3,20 (0,38) A	3,05 (0,10) A
T3	3,12 (0,36) A	2,89 (0,08) A

Desvio padrão entre parênteses. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Fonte: Dos autores.

Observando os resultados encontrados para compressão normal e compressão estrutural das vigas de MLC estudadas, nota-se que não houve diferença estatística

significativa para ambas propriedades avaliadas. Ou seja, à medida que houve um acréscimo no número de lâminas das vigas, as vigas se comportaram de maneira semelhante.

Comparando os resultados obtidos nesta pesquisa com aqueles observados por Segundinho et al. (2018) trabalhando com MLC de *Eucalyptus sp.* e adesivo poliuretano, nota-se que os autores encontraram valores médios para compressão normal e compressão estrutural superiores, sendo 10,61 e 5,93 MPa, respectivamente. Tal diferença pode ser atribuída à diferentes fatores, como densidade da madeira utilizada pelos autores (0,635 g/cm³), espessura e número de lâminas de cada elemento de MLC (os autores utilizaram lâminas com 22,5 mm de espessura e 16 lâminas em cada viga), bem como características inerentes da espécie (anatomia, características químicas, físicas e mecânicas).

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo podem levar a concluir que a variação no número de lâminas (5, 7, 9) não influenciou significativamente na resistência à compressão das vigas de MLC avaliadas, conduzindo a resultados equivalentes.

Assim, buscando uma economia associada à fabricação de vigas de MLC, a melhor configuração investigada consiste na utilização de 5 lâminas, diminuindo a quantidade de lâminas, e conseqüentemente o número de linhas de cola, reduzindo a quantidade de adesivo, fornecendo:

- Redução de custos envolvidos na colagem;
- Manuseio e processamento de um menor número de lâminas;
- Redução no tempo de montagem das vigas pela indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. H.; CAVALHEIRO, R. S.; MACEDO, L. B.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L.; CALIL JUNIOR, C.; ROCCO, F. A. L. **Evaluation of Quality in the Adhesion of Glued Laminated Timber (Glulam) of Paricá and Lyptus Wood Species**. International Journal of Materials Engineering, Rosemead, v. 4, p. 114-118, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143 – Standard test methods for small clear specimens of timber**. Philadelphia, PA, 2000.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: V. N. Reinhold, 1993.

ICIMOTO, F. H.; CALIL NETO, C.; FERRO, F. S.; MACEDO, L. B.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; CALIL JÚNIOR, C. **Influence of lamellar thickness on strength and stiffness of glued laminated timber beams of *Pinus oocarpa***. International Journal of Materials Engineering, Rosemead, v. 6, n. 2, p. 51-55, 2016.

LENZI, F.; MATIAS, P. O.; RISSON, A. V. **Análise da utilização de fibras de vidro em vigas de madeira laminada colada submetidas à flexão simples**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 124-141, 2018.

MAGALHÃES, L. N.; SANTOS, P. R. D. L. **A madeira laminada colada como material estrutural de uma construção sustentável**. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 25-27, 2009.

SEGUNDINHO, P. G. A.; FRANÇA, L. C. A.; NETO, P. N. M.; GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S. **Madeira lamelada colada (MLC) com *Acacia mangium* e adesivos estruturais**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 533-540, 2015.

SEGUNDINHO, P. G. A.; SILVA, A. C.; GONÇALVES, F. G.; REGAZZI, A. J. **Caracterização da madeira laminada colada de *Eucalyptus* sp. produzida com adesivos resorcinol-fenol-formaldeído e poliuretano**. Ciência da Madeira, Pelotas, v. 9, n. 2, p. 123-133, 2018.

SEGUNDINHO, P. G. A.; ZANGIÁCOMO, A. L.; CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. **Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm.)**. Cerne, Lavras, v. 19, n. 3, p. 441-449, 2013.