

DESLOCAMENTOS VERTICAIS DE VIGAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA ARMADA AVALIADOS POR MODELAGEM COMPUTACIONAL

LUCAS SACRAMONI PEIXOTO¹, JULIO SORIANO², BRUNO PIVA PELLIS³

¹Engenheiro Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola (Métodos Não Destrutivos Aplicados a Materiais, Estruturas e Árvores), UNICAMP/Campinas-SP, (19) 982621117, lucas.sacramoni@gmail.com

²Engenheiro Civil, Prof. Livre Docente, UNICAMP/Campinas-SP, julio.soriano@feagri.unicamp.br

³Engenheiro Agrícola, Engenheiro projetista, Allpine Comércio de Madeiras e Serviços/Salto-SP, bruno.piva@gmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: A madeira laminada colada (MLC) representa um dos principais produtos tecnológicos e derivados da madeira. Um melhor desempenho estrutural de peças de MLC pode ser obtido com a utilização de reforços com barras de aço coladas internamente nessas peças. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de vigas de MLC armadas com barras de aço, tendo por base os deslocamentos verticais experimentais e os deslocamentos obtidos com a modelagem computacional. Para tanto, vigas de MLC com e sem reforço metálico foram ensaiadas sob flexão estática por quatro pontos e, também modeladas com o software Ansys (R19.1). Nas peças armadas foram empregadas as taxas de armadura (relação entre as áreas de aço e de madeira) iguais a 2% e 4%. Foi observado que a modelagem proporcionou deslocamentos verticais precisos quando comparados com os resultados dos ensaios laboratoriais. Foi possível concluir que o aumento da taxa de armadura fez reduzir as diferenças entre os resultados experimentais e da modelagem.

PALAVRAS-CHAVE: Derivados da madeira; reforços metálicos; rigidez a flexão.

VERTICAL DISPLACEMENTS OF GLUED-LAMINATED TIMBER BEAMS REINFORCED EVALUATED BY COMPUTATIONAL MODELING

ABSTRACT: The glued laminated timber (Glulam) represents one of the main technological and derived products of wood. The improvements structural performance of Glulam can be obtained by using reinforcements with steel bars bonded internally to these pieces. This research aimed to evaluate the performance of Glulam beams reinforced with steel bars, based on the experimental vertical displacements and the values obtained by the computational modeling. For this, unreinforced and reinforced Glulam beams were tested by bending at four points and were modeled by Ansys (R19.1) software. In the reinforced beams, the reinforcement ratio (ratio of cross-sections of steel and timber) were equal to 2% and 4%. It was observed that the modeling provided precise vertical displacements when compared with the experimental results. It was possible to conclude that the increase of the reinforcement ratio reduced the differences between the experimental results and the modeling results.

KEYWORDS: Wood derivates; steel reinforcement; bending stiffness.

INTRODUÇÃO: Os produtos derivados da madeira em relação aos convencionais de madeira serrada proporcionam vantagens para a construção civil. No caso, a madeira laminada colada (MLC), que é formada por lâminas solidarizadas por adesivo estrutural, proporciona peças com grandes dimensões, bem como a inovação arquitetônica com formas diferenciadas (FIORELLI & DIAS, 2006; MASCIA et al., 2018).

A aplicação de reforços em peças de MLC é uma técnica que proporciona maiores rigidez e resistência mecânica (GHAZIJAHANI et al., 2017; SORIANO et al., 2016; LUCA & MARANO, 2012; NEGRÃO 2012). Os reforços com elementos metálicos podem ser aplicados tanto nas zonas tracionadas quanto comprimidas das peças de MLC, mostrando-se eficiente para a redução de flechas e o aumento da capacidade de carregamento (LUCA & MARANO, 2012; SORIANO et al., 2016; GHAZIJAHANI et al., 2017).

O desempenho mecânico das peças de madeira reforçada depende de parâmetros, tais como propriedades dos materiais, da taxa e da disposição da armadura na seção transversal (SORIANO et al., 2016; LUCA & MARANO, 2012; NEGRÃO, 2012). O comportamento estrutural dessas peças reforçadas pode ser avaliado por simulações numéricas com a discretização da estrutura pelo método dos elementos finitos (MIOTTO & DIAS, 2012; ZHANG et al., 2015; UZEL et al., 2018).

A presente pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho de vigas de MLC armadas com barras de aço, tendo por base os deslocamentos verticais experimentais e os deslocamentos verticais obtidos com a modelagem computacional.

MATERIAL E MÉTODOS: Na etapa experimental foram ensaiadas vigas de madeira laminada colada, com seção transversal de 52 mm x 154 mm e o vão entre apoios medindo 2.820 mm (PELLIS, 2016). Com relação as taxas de armadura (Figura 1) foram empregadas as seguintes nomenclaturas: MLC0-e (madeira laminada colada sem reforço), MLCA2-e (2% de reforço, com uma barra em cada borda) e MLCA4-e (4% de reforço, com duas barras em cada borda). Os reforços foram constituídos por barras nervuradas de aço CA50, com diâmetro de 10 mm, posicionadas internamente a 27 mm de cada borda e coladas com adesivo poliuretânico. As vigas foram ensaiadas em flexão a 4 pontos, segundo as recomendações da norma ASTM D198 (2014) e, com carregamento aplicado de forma incremental.

As condições de ensaios e taxas de armadura foram adotadas nas simulações (Figura 1), que foram realizadas com o software Ansys (R19.1), sendo MLCA2-n (2% de reforço, com duas barras) e MLCA4-n (4% de reforço, com quatro barras). A madeira foi considerada isotrópica, com o módulo de elasticidade igual a 12.435 MPa, coeficiente de Poisson igual a 0,4; massa específica de 537 kg·m⁻³. Para o aço o módulo de elasticidade foi igual a 210.000 MPa, massa específica de 7.850 kg·m⁻³ e o coeficiente de Poisson igual a 0,3. O elemento Solid186-homogeneo foi empregado para a discretização tanto da madeira quanto das barras de aço.

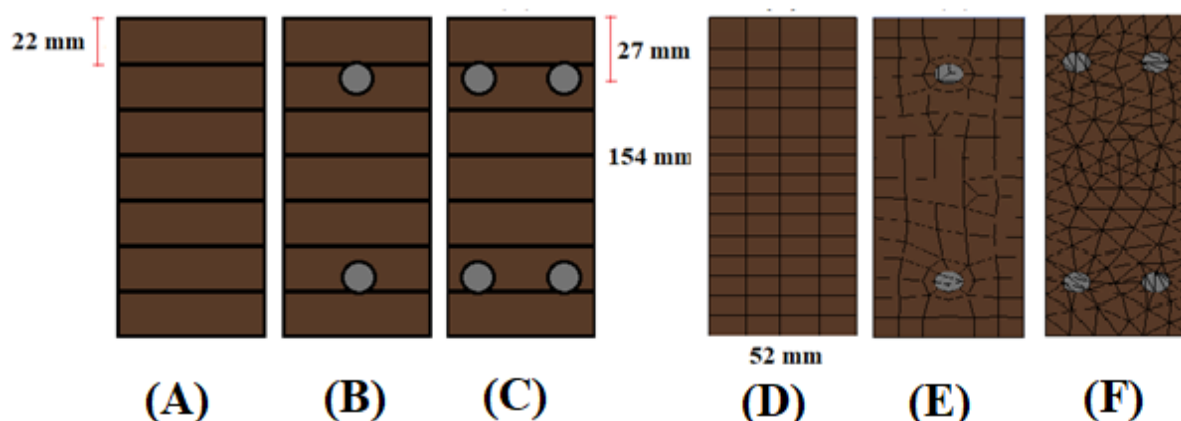


FIGURA 1. Seções transversais e parâmetros geométricos das vigas: (A) MLC-e, (B) MLCA2-e, (C) MLCA4-e, (D) MLC-n, (E) MLCA2-n e (F) MLCA4-n.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Para verificação da parametrização das condições de simulação das vigas de MLC e MLCA pelo Ansys (R19.1) os resultados dos incrementos de carga aplicada *versus* deslocamento vertical máximo (flecha) foram plotados na Figura 2, os quais foram agrupados em experimental e numérico. As flechas apresentadas são menores que o valor limite de 14,1 mm ($L=2.820/200$) estabelecido para estruturas de madeira (NBR 7190, 1997). O aumento da rigidez pela associação do aço com a MLC, com consequente redução das flechas (GHAZIJAHANI et al., 2017; LUCA & MARANO, 2012), foi evidenciado nesta pesquisa tanto para os resultados experimentais quanto da modelagem numérica (Figura 2).

Nota-se que os resultados numéricos mais se aproximaram dos resultados experimentais em razão das maiores taxas de armadura empregadas. Por exemplo, para o carregamento $P=2.000\text{N}$, os erros médios foram de 6,59% para a MLC; 2,49% para a MLC2; 0,54% para MLC4, sendo essas reduções atribuídas à presença do aço que, diferentemente da madeira, é um material homogêneo. Esses resultados corroboram com a afirmação de que a presença do reforço reduz as variações dos resultados experimentais da madeira laminada colada (SORIANO et al., 2016). Com isto, verificou-se que o modelo numérico empregado melhor representou o comportamento das peças de MLC armadas.

Finalmente, o aumento de rigidez proporcionado pelo reforço em aço pode ser avaliado pela modelagem computacional e explorado como vantagem na fabricação de peças de MLC.

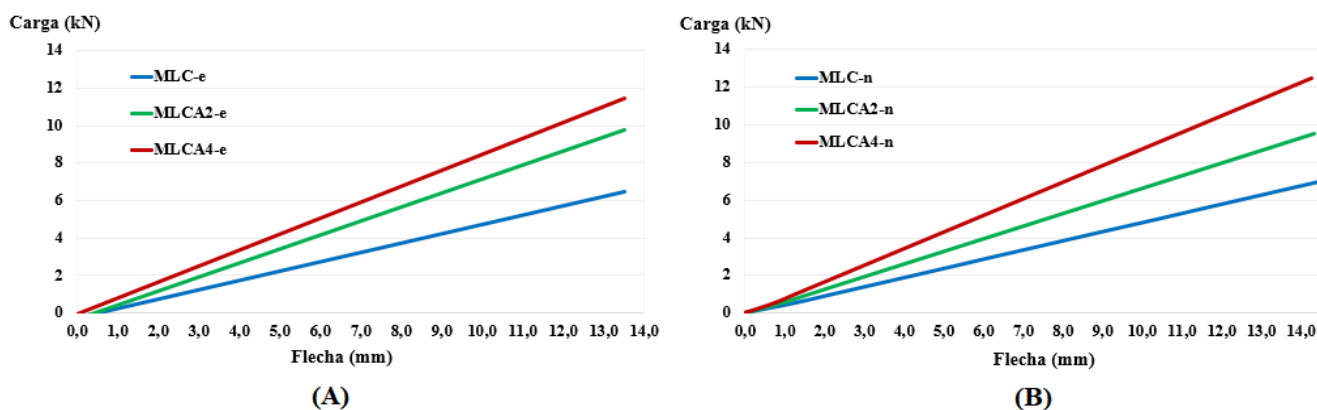


FIGURA 2. Carregamento *versus* deslocamento vertical máximo (flecha): (A) resultados experimentais e (B) resultados das simulações pelo Ansys (R19.1).

CONCLUSÕES: Os resultados desta pesquisa mostraram que o aumento da homogeneidade das peças de madeira laminada colada, pela associação de reforços com barras circulares de aço, implicou em resultados da modelagem computacional pelo Ansys (R19.1) mais próximos dos resultados obtidos nos ensaios de flexão em laboratório.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao apoio obtido da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (proc. 2017/18076-4).

REFERÊNCIAS:

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D198-14:** Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ANSYS. Academic Research Mechanical - Release R19.1. ANSYS, Inc.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190:** Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- FIORELLI, J; DIAS, A.A. Fiberglass-reinforced Glulam Beams: Mechanical Properties and Theoretical Model. **Materials Research**, São Paulo, v. 9, n. 3, p.263-269, 2006.
- GHAZIJAHANI, T.G. et al. Composite Timber Beams Strengthened by Steel and CFRP. **Journal of Composites for Construction**, v. 21, n. 1, fev. 2017. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- LUCA, V.; MARANO, C. Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars. **Construction and Building Materials**, [s.i.], v. 30, n. 1, p.206-217, maio 2012.
- MASCIA, N. T. et al. Numerical analysis of glued laminated timber beams reinforced by Vectran fibers. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 359-373, jul./set. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- MIOTTO, J.L; DIAS, A.A. Evaluation of perforated steel plates as connection in glulam–concrete composite structures. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.216-223, mar. 2012.
- NEGRÃO, J. H. Prestressing systems for timber beams. Conference. In: **World conference on timber engineering**, 2012, Auckland. Auckland: Curran Associates, Inc., 2012. v. 1, p. 252-262.
- PELLIS, B.P. **Método da seção homogeneizada aplicada a vigas de madeira laminada colada armada**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- SORIANO, J.; PELLIS, B.P.; MASCIA, N.T. Mechanical performance of glued-laminated timber beams symmetrically reinforced with steel bars. **Composite Structures**, Campinas, v. 150, p.200-207, 5 maio 2016.
- UZEL, M. et al. Experimental investigation of flexural behavior of glulam beams reinforced with different bonding surface materials. **Construction and Building Materials**, Ankara, v. 158, p.149-163, jan. 2018.
- ZHANG, J. *et al.* Research on residual bending capacities of used wood members based on the correlation between non-destructive testing results and the mechanical properties of wood. **Journal Of Zhejiang University-science A**. Zhejiang, v.16, n.7, p. 541-550, 8 jul. 2015.