

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE VIGAS DE
MADEIRA LAMINADA COLADA TRATADA DE SERINGUEIRA
(*Hevea brasiliensis*)
STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF TREATED GLUED LAMINATED TIMBER
BEAMS OF RUBBER WOOD (*Hevea brasiliensis*)**

FARIA, Douglas Lamounier

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

MESQUITA JÚNIOR, Laércio

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

LOPES, Daiane Erika

Graduanda em Ciências Biológicas-Licenciatura,
Universidade Federal de Lavras
daianelopes899@gmail.com

MENDES, Lourival Marin

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

GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito

Professor Titular, Engenheiro Florestal,
Universidade Federal de Lavras
jose.guimaraes@ufla.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de vigas de madeira laminada colada (MLC) produzidas com madeira tratada de seringueira (*Hevea brasiliensis*). As árvores foram cortadas, seccionadas em toras com 1,30 m de comprimento e posteriormente tratadas com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e CCB (Borato de Cobre Cromatado). Após o tratamento, foram obtidas lâminas nas dimensões de 20 x 60 x 1200 mm, em que parte foi tratada com piretróide por pincelamento. As vigas de MLC foram produzidas com 3 lâminas, sendo confeccionadas 5 vigas para cada composição, totalizando 20 vigas utilizando adesivo epóxi. Foram determinadas as resistências a compressão paralela às fibras nas condições seca e saturada, cisalhamento paralelo às fibras nas condições seca e saturada e cisalhamento da linha de cola dupla “H”. Os resultados indicaram que os tratamentos preservativos com CCA e CCB reduziram significativamente a resistência da linha de cola, comportamento ocasionado pela presença de soluções preservantes nas células da madeira, que diminuem a penetração do adesivo na madeira.

Palavras-chave: Resistência mecânica; falha na madeira; tratamento preservativo.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the mechanical behavior of glued laminated (Glulam) timber beams produced with treated rubber tree (*Hevea brasiliensis*). The trees were harvested, sectioned into 1.30 m long logs and then treated with CCA (Copper Chrome Arsenic) and CCB (Copper Chrome Boron). After treatment, 20 x 60 x 1200 mm laminas were obtained, in which part was treated with pyrethroid by brush. The glulam beams were produced with 3 lâminas, being made 5 beams for each composition, totaling 20 beams using epoxy adhesive. Resistance to the parallel compression of the fibers in the dry and saturated conditions, shear parallel to the fibers in the dry and saturated conditions and shear of the double glue line “H” was determined. The results indicated that preservative treatments with CCA and CCB significantly reduced the resistance of the glue line, behavior caused by the presence of preservative solutions in wood cells, which decrease the penetration of the adhesive in the wood.

Keywords: Mechanical resistance. Wood failure. Preservative treatment.

1. INTRODUÇÃO

A expansão do plantio de seringueira no país provoca uma oferta significativa da madeira dessa cultura ao final de sua rotação (25-30 anos), o que leva ao interesse em estudos sobre essa matéria-prima. No Brasil, a madeira de *Hevea* obtida ao final do ciclo produtivo do látex é utilizada na maioria das vezes e, tradicionalmente, para uso como lenha apesar de apresentar boas características de trabalhabilidade (colagem, pregação, perfuração, entre outras) e pode ser facilmente dobrada com o uso de vapor e facilmente tingida (EUFRADE JUNIOR et al., 2015).

Em geral as madeiras tradicionalmente comercializadas não apresentam resistência a degradação a agentes xilófagos devido ao seu rápido crescimento, sendo necessário certos tratamentos para maior duração da madeira (CANADIAN WOOD COUNCIL, 2018). No caso da *Hevea brasiliensis*, os fungos manchadores, de bolor e apodrecedores de madeira são ameaças reais a sua composição estrutural. Devido a alta severidade no decaimento do lenho de *Hevea brasiliensis*, existe a necessidade do tratamento preservativo para evitar a infestação por organismos biodegradadores, principalmente em países tropicais de clima quente e úmido (TEOH et al., 2011).

A preservação do material depende da adição de substâncias tóxicas ou repelentes, conhecidas como conservantes na madeira, com foco no aumento a resistência à deterioração e durabilidade (LEPAGE et al., 2017). No Brasil, os tratamentos mais utilizados são os

baseados no CCA e CCB (VIDAL et al., 2015). A madeira preservada apresenta maior vida útil comparada ao lenho *in natura*, implica menor esforço relacionado a substituição e menor custo de manutenção (LEBOW, 2010).

A MLC consiste de laminas justapostas de forma retilínea ou curvadas, com a grã de todas as peças essencialmente paralelas ao eixo longitudinal do elemento (STARK et al., 2010), sendo então uma técnica promissora, principalmente para usos estruturais onde a única limitação de tamanho, espessura e curvaturas das peças a serem confeccionadas é o maquinário utilizado.

Estudos envolvendo o tratamento preservativo da madeira foram realizados por Segundinho et al. (2014), em que os autores avaliaram a resistência à flexão estática de vigas de MLC de Teca, Pinus e Lyptus, antes e após tratamento preservativo pressurizado com CCA e CCB. Os autores concluíram que a madeira de Pinus apresentou os melhores resultados, levando em consideração a combinação tratamento preservativo da madeira e adesivo, uma vez que as propriedades físicas da madeira permaneceram as mesmas antes e após o tratamento químico. Calil Neto et al. (2014) realizaram estudos envolvendo a combinação de espécies (Pinus, Lyptus e Teca), tratamento preservativo (CCA, CCB-óxido e CCB-salino) e adesivo (Resorcinol-formaldeído e Poliuretano), em que a combinação que apresentou o melhor desempenho foi com a madeira de Pinus com qualquer tipo de adesivo e tratamento preservativo, podendo ser usada em ambiente externo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de vigas de MLC produzidas com madeira tratada de *Hevea brasiliensis*, coladas com adesivo epóxi, visando observar a qualidade da ligação adesiva sob diferentes ensaios mecânicos e condições físicas de ensaio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COLETA E PREPARO DA MADEIRA DE SERINGUEIRA

Três árvores de seringueira (*Hevea brasiliensis*), clone Pb 235, com 25 anos de idade e DAP (diâmetro à altura de 1,30m do solo) maior que 500 mm foram coletadas no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado em Lavras (altura: 900 m; latitude: 21°14'S e longitude: 45°00'W) estado de Minas Gerais, Brasil. De cada árvore, toretes foram obtidos da área basal, com comprimento de 1,30 m. Uma parte dos toretes foram tratados com CCA e CCB dentro de 24 horas após o corte das árvores. O CCB e CCA são produtos

solúveis em água, fungicidas e inseticidas à base de borato de cobre cromatado e arseniato de cobre cromatado, respectivamente, ambos apresentando 2,5% de ingredientes ativos, possuindo boa mobilidade na madeira, sendo indicados para o tratamento de material verde.

O método de substituição de seiva foi utilizado pela transpiração radial. Após a fixação dos preservativos, as toras foram secas por 20 dias em temperatura ambiente e seccionadas em tábuas. Para o tratamento à base do preservativo piretróide, foi utilizado o produto Pentox. A aplicação do produto foi feita por pincelamento das tábuas. As tábuas foram condicionadas em ambiente com temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$.

2.2 PRODUÇÃO DAS VIGAS DE MLC DE SERINGUEIRA

Das tábuas centrais foram obtidas lâminas com seção transversal de 25 mm x 70 mm e comprimento de 1200 mm, as quais foram secas até atingir um teor de umidade de 12%. Posteriormente, as faces foram aplainadas para atingir as dimensões finais de 20 mm x 60 mm x 1200 mm. As peças foram classificadas pela técnica de excitação por impulso com o equipamento Sonelastic (Sonelastic, ATCP, Brasil). Para produção das vigas, as lâminas foram classificadas de acordo com o valor do MOE, sendo as peças com maiores valores aplicadas nas faces e as peças com menores valores no núcleo. O delineamento experimental é mostrado na Tabela 1. Cada viga foi produzida com 3 lâminas coladas com adesivo epóxi (TEKBOND, Brasil), bicomponente, na proporção de 1:1 da resina (Bisfenol) para o catalisador (Trietilenotetramina) (Tabela 2).

Tabela 1. Delineamento experimental.

Composições	Preservativos	Repetições
MLC-ST	Madeira sem preservativo	6
MLC-CCA	CCA	6
MLC-CCB	CCB	6
MLC-TOX	Piretróide	6

Fonte: Dos autores.

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

Parâmetro	Valor
Viscosidade aparente (25 °C)	Resina: 30000 – 50000 cP Catalisador: 20000 – 35000 cP
pH	11
Gramatura	350 g.m ⁻²
Pressão e tempo de prensagem	1 MPa; 24 h

Fonte: Dos autores.

Após a prensagem, as vigas foram acondicionadas em um ambiente com temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$ até atingir o teor de umidade de 12%.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MLC DE SERINGUEIRA

Foram realizados ensaios de cisalhamento e compressão na linha de cola para avaliação de sua qualidade utilizando-se os corpos de prova obtidos a partir dos elementos de MLC produzidos de acordo com a ASTM D 905-08 (ASTM, 2013). Os ensaios mecânicos foram de compressão paralela às fibras na condição seca e saturada, seguindo as diretrizes da norma D143 (ASTM, 2000); cisalhamento paralelo às fibras na condição seca e saturada, seguindo as diretrizes da norma D905-08 (ASTM, 2013), em que posteriormente foi avaliada a porcentagem da falha na madeira, com auxílio de uma malha quadriculada, com precisão de 1% (38,1 x 50,8 mm); cisalhamento em corpo de prova tipo 'H' (*push-out*) na condição seca, de acordo com a norma AITC 190 (2007), visando avaliar a resistência ao cisalhamento e consequentemente à qualidade de duas linhas de cola. Os corpos de prova foram extraídos de maneira aleatória ao longo do comprimento de cada elemento de MLC.

Os ensaios 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

Para avaliar as propriedades das vigas de MLC de seringueira, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Scott-Knott, ambos com 5% de significância. Os dados foram processados no software *Sisvar*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os valores médios para compressão paralela às fibras das vigas de MLC nas condições seca e saturada.

Tabela 3. Valores médios de compressão paralela às fibras nas condições seca e saturada.

Composições	Compressão paralela seca (MPa)	Compressão paralela saturada (MPa)
MLC-ST	49,27 (1,77) A	42,56 (2,61) A
MLC-CCA	43,86 (2,11) A	38,95 (1,99) A
MLC-CCB	44,09 (2,77) A	39,20 (2,47) A
MLC-TOX	46,58 (2,34) A	40,06 (2,37) A

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

Observa-se que não houve diferenças estatísticas significativas entre as composições estudadas para as propriedades de compressão paralela às fibras das vigas de MLC nas condições seca e saturada. Esse mesmo comportamento também foi observado por

Segundinho et al. (2018), em que os autores trabalhando com vigas de MLC de *Eucalyptus sp.* produzida com adesivos resorcinol-fenol-formaldeído (RFF) e poliuretano (PUR) verificaram valores médios de resistência a compressão paralela às fibras de 50,90 e 48,15 MPa, para os adesivos PUR e RFF, respectivamente, na condição seca. Já para a condição saturada, os autores notaram uma diminuição nos valores médios, sendo de 30,98 e 27,98 MPa, para os adesivos PUR e RFF, respectivamente.

A Tabela 4 apresenta os valores médios para resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e falha na madeira das vigas de MLC nas condições seca e saturada.

Tabela 4. Valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e falha na madeira nas condições seca e saturada.

Composições	Resistência ao cisalhamento seca (MPa)	ao FM (%)	Resistência ao cisalhamento saturada (MPa)	FM (%)
MLC-ST	10,23 (1,36) A	82,50	6,56 (1,61) A	78,00
MLC-CCA	7,11 (2,06) B	60,00	4,95 (1,99) B	55,50
MLC-CCB	6,76 (1,30) B	67,50	5,23 (1,36) B	62,50
MLC-TOX	9,87 (1,61) A	78,50	7,11 (2,06) A	74,50

Desvio padrão entre parênteses. FM: Falha na madeira. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: Dos autores.

Observa-se para resistência ao cisalhamento paralelo às fibras das vigas de MLC que os tratamentos preservativos com CCA e CCB apresentaram os menores valores médios, nas duas condições estudadas, seca e saturada. Comportamento semelhante ao observado por Calil Neto et al. (2014), em que os autores trabalhando com vigas de MLC de *Pinus sp* encontraram valores médios para resistência ao cisalhamento na condição seca de 7,03, 4,93 e 5,82 MPa, para vigas sem tratamento, tratadas com CCA e CCB, respectivamente. Para a condição saturada, os autores também notaram diminuição nos valores médios, apresentando 3,11, 2,62 e 2,59 MPa, para vigas sem tratamento, tratadas com CCA e CCB, respectivamente.

Em relação aos teores de falha, nota-se que os tratamentos preservativos reduziram significativamente a resistência da linha de cola das vigas de MLC. Esse comportamento foi observado nas duas condições analisadas, em que pode-se aferir que as soluções preservantes prejudicaram a penetração do adesivo nas células da madeira, resultando em uma ligação adesiva mais fraca, com menores teores de falha na madeira.

A Tabela 5 apresenta os valores médios para resistência ao cisalhamento “H” e falha na madeira das vigas de MLC.

Tabela 5: Valores médios de resistência ao cisalhamento “H” e falha na madeira.

Composições	Resistência ao cisalhamento “H” (MPa)	FM (%)
MLC-ST	7,42 (1,70) A	87,50
MLC-CCA	7,29 (1,89) A	75,00

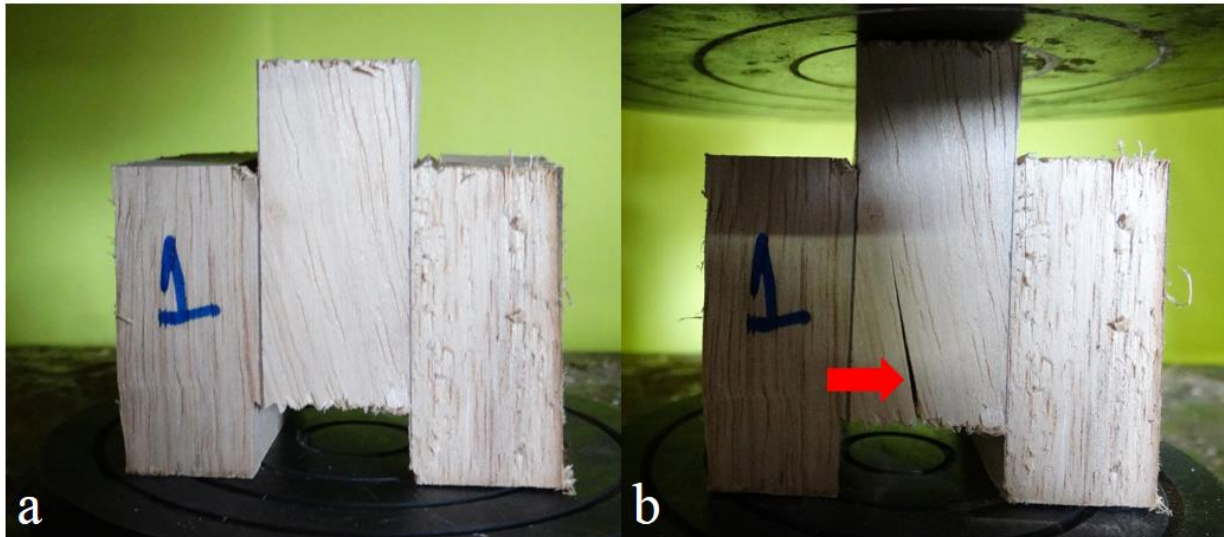
MLC-CCB	6,52 (2,38) A	72,50
MLC-TOX	7,19 (1,29) A	84,00

Desvio padrão entre parênteses. FM: Falha na madeira. Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: Dos autores.

Diante dos valores apresentados na Tabela 5, nota-se que nenhuma das composições estudadas diferiram estatisticamente para resistência ao cisalhamento “H”. Os valores médios obtidos neste trabalho encontram-se próximos aos observados por Almeida et al. (2014), cujos autores avaliaram a qualidade da adesão de vigas de MLC de Paricá e Lyptus, utilizando adesivos resorcinol-formaldeído (RF) e melanina-ureia-formaldeído (MUF), apresentando valores médios para resistência ao cisalhamento “H” de 9,50 e 7,75 MPa para peças de MLC utilizando madeira de Lyptus e adesivos MUF e RF, respectivamente. Para a madeira de Paricá, os autores observaram valores médios de 6,20 e 6,70 MPa para peças de MLC utilizando adesivos MUF e RF, respectivamente. Observa-se que os resultados observados neste trabalho encontram-se próximos àqueles presentes na literatura.

A Figura 1 apresenta corpos de prova de MLC sem tratamento preservativo (MLC-ST) de resistência ao cisalhamento “H” antes e após a ruptura.

Figura 1. Corpos de prova de resistência ao cisalhamento “H”; a) Corpos de prova antes do ensaio, b) Corpos de prova após o ensaio. Seta vermelha indica falha na madeira.



Fonte: Dos autores.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho indicaram que as peças de MLC submetidas à esforços de compressão paralela às fibras nas condições seca e saturada não apresentaram diferenças estatísticas entre as composições avaliadas, o mesmo comportamento foi observado para resistência ao cisalhamento em corpos de prova do tipo “H”.

Já para resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, observou-se que os tratamentos preservativos reduziram significativamente os valores médios para tal propriedade avaliada, podendo concluir que as soluções preservantes ocuparam as estruturas internas da madeira, prejudicando a ancoragem do adesivo, resultando assim em menores valores médios e consequentemente menores valores de falha na madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. H.; CAVALHEIRO, R. S.; MACÊDO, L. B.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L.; CALIL JÚNIOR, C.; LAHR, F. A. R. **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, n. 3, p. 114-118, 2014.
- AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. AITC 190 – **Structural glued laminated timber.** Colorado. 20p, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 143 – **Standard test methods for small clear specimens of timber.** Philadelphia, PA, 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 905-08 - **Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading.** Pennsylvania; 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190 - **Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro; 1997.
- CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; CALIL JÚNIOR, C. **Analysis of specie-treatment-adhesive combinations for glulam purpose.** International Journal of Materials Engineering, Rosemead, v. 4, n. 1, p. 41-47, 2014.
- CANADIAN WOOD COUNCIL. **Durability Solutions.** Disponível em: <<http://cwc.ca/design-with-wood/durability/durability-solutions/>>. Acessado em: 25 outubro 2019.
- EUFRADE JR, H. J.; OHTO, J. M.; SILVA, L. L.; PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. **Potential of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case study in Brazil.** Journal of Wood Science, v. 61, p. 384-390, 2015.
- LEBOW, S. T. **Wood Preservation.** United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. In: U. S. DEPT. OF AGRICULTURE, FOREST SERVICE, and FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Madison, WI, 2010. p. 328-355.
- LEPAGE, E.; SALIS, A. G. de; GUEDES, E. C. R. **Tecnologia de proteção da madeira.** 1 ed., Montana Química S. A, 2017. 225 p.
- SEGUNDINHO, P. G. A.; CALIL NETO, C.; DIAS, A. A.; CALIL JUNIOR, C.; CHRISTOFORO, A. L. **Evaluation of brazilian reforestation species in glulam beams before and after Preservative chemical treatment.** International Journal of Materials Engineering, Rosemead, v. 4, n. 6, p. 192-195, 2014.

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.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. **Wood-Based Composite Materials: panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composite materials.** In: FPL – FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook – wood as an engineering material. Centennial Edition. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: USDA/FPL, 2010. Capt 11. p.1-28.

TEOH, YI PENG; DON, MASHITAH MAT; UJANG, SALMIAH. **Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): a case study in Malaysia.** Journal of Wood Science, v. 57, n. 4, p. 255-266, 2011.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I. P. **Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n.1, p. 257-271, 2015.