



# CRIAÇÃO DE MODELO COMPUTACIONAL E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UMA VIGA DE MADEIRA LAMINADA COLADA

**Palavras-Chave: MADEIRA LAMINADA COLADA, ENSAIOS DESTRUTIVOS, SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

**Autores:**

**FELIPE ANTUNES DE SOUZA, FEAGRI – UNICAMP**

**Prof. Dr. WILLIAM MARTINS VICENTE (orientador), FEAGRI - UNICAMP**

**ARTUR FERNANDO DE VITO JÚNIOR (coorientador), FEAGRI - UNICAMP**

---

## **INTRODUÇÃO:**

A madeira laminada colada (MLC) é um material de construção amplamente utilizado no mundo, principalmente no hemisfério norte, como em países europeus, Canadá e Estados Unidos, onde há madeira de fácil trabalhabilidade em boa quantidade. Essa utilização crescente é devida às suas excelentes propriedades mecânicas, durabilidade e sustentabilidade, e essas características tem cativado a atenção de pesquisadores a estudarem o comportamento desse material de forma prática e ajustando com a modelagem computacional, afim de A crescente demanda por esse material motivou muitos pesquisadores a realizarem estudos experimentais e modelagem computacional para entender melhor o comportamento mecânico da madeira laminada colada sob diferentes condições de carregamento (CENTRAL ASSOCIATION, 2019; P. D. Kremer et al., 2019; J. Xue et al., 2021).

A madeira laminada colada apresenta diversas vantagens em relação ao concreto e o aço, tais como a sua leveza, resistência, durabilidade e principalmente o baixo impacto ambiental em relação aos outros materiais, destacando-se a capacidade da madeira sequestrar carbono da atmosfera. Além disso, a madeira é um material renovável, o que significa que é possível plantar mais árvores e substituir as que foram utilizadas na construção. Outra vantagem é a facilidade de processamento da madeira em relação a produção de peças únicas com equipamentos relativamente simples, que pode ser cortada, moldada e perfurada com ferramentas comuns, sem a necessidade de equipamentos de corte ou solda (D'Amico et al., 2021; Hart et al., 2021). Porém quando se compara com produção em escala e locais especializados essa diferenciação de facilidade de processamento seja com madeira ou outros materiais é nula.

Por outro lado, a madeira laminada colada também apresenta algumas desvantagens em relação ao concreto e o aço, como a sua menor resistência à corrosão e a necessidade de proteção contra insetos e fungos. Além disso, a madeira pode ser mais vulnerável a incêndios (Sean et al, 2016) do que

o concreto e o aço, embora possa ser tratada com retardantes de chama para reduzir esse risco, e se destacam outros pontos como limitadas geometrias comercialmente utilizadas, preço elevado, dificuldade de encaixe da MLC em projetos mais tradicionais, e necessidade de verificação periódica nas características mecânicas de cada lote. Por fim, a disponibilidade e a qualidade da madeira podem variar dependendo da região, o que pode afetar o custo e a viabilidade do uso da MLC em algumas áreas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar experimentalmente e modelar computacionalmente o comportamento mecânico da madeira laminada colada. A avaliação experimental foi realizada por meio de testes mecânicos em vigas de madeira laminada colada. Além disso, a modelagem computacional foi utilizada para simular o comportamento mecânico da madeira laminada colada sob diferentes condições de carregamento e validar os resultados experimentais obtidos. Foi utilizado o *ANSYS WORKBENCH 2022* como software de análise estrutural baseados em elementos finitos para modelar o comportamento da MLC e avaliar a distribuição de tensões e deformações nas juntas e vigas, assim como efetuar métodos de otimização topológica.

## **METODOLOGIA:**

Por meio de uma parceria com a empresa ITA Construções foram obtidas 3 vigas de MLC para utilização em estudos e pesquisas no setor de madeira para a Faculdade de Engenharia Agrícola, na UNICAMP. Inicialmente foi escolhida para o ensaio destrutivo a viga de MLC identificada como viga 2, que possui dimensões de 3 metros de comprimento, 6 cm de largura e 15 cm de altura, composta por 5 lâminas de eucalipto reflorestado de 3 cm cada. A viga escolhida foi cortada em 3 partes iguais de 1 metro cada na serra de meia esquadria localizada no Laboratório de Madeira, na faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Essa divisão das vigas para ensaio não segue exatamente a ABNT NBR 7190/2022 na questão de dimensões para ensaio devido a ser um processo experimental e a dificuldade para obtenção de vigas para estudos acadêmicos sem parcerias consolidadas, desta forma ainda sobram 2 vigas que seguem a norma vigente e podem ser utilizadas para constatar os resultados obtidos com essas vigas alternativas.

Por conseguinte, a viga identificada como 2B foi a escolhida para se efetuar o ensaio de flexão a 3 pontos no laboratório da faculdade. O ponto de aplicação de força gradual se localizava no centro da viga, e os apoios a uma distância de 15 cm de cada extremidade. Assim, foi aplicada progressivamente a força no centro da viga e medida a deformação no centro por células medidoras, que transmitem para o software no computador esses valores e geram uma tabela no Excel, disponível no GitHub no seguinte link <https://github.com/fantunes8/IC-MLC-Beam/issues/1>.

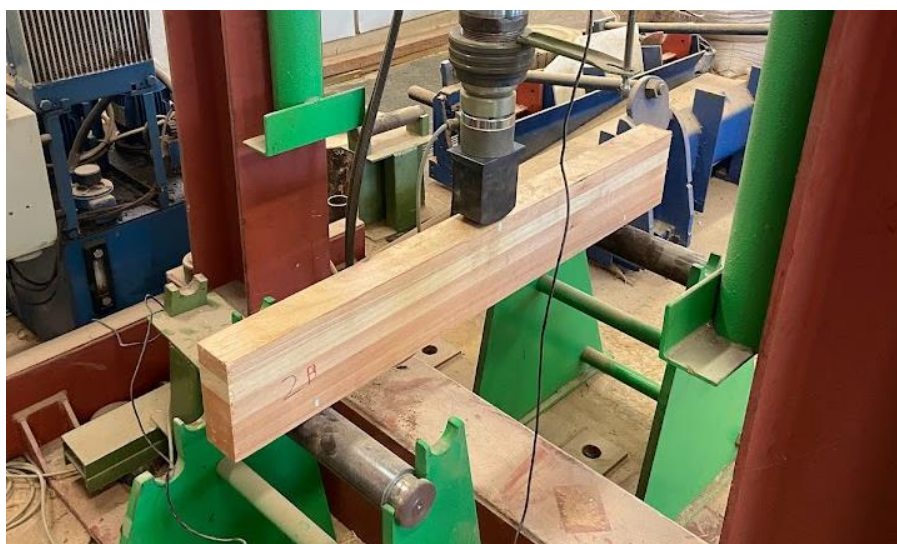


Figura 1. Ensaio de flexão de 3 pontos com viga de MLC

Após efetuar o ensaio destrutivo de flexão de 3 pontos, os dados gerados foram utilizados para gerar um gráfico de carga de força por flecha de deformação até o ponto de ruptura da viga, então foi criado um modelo no *software Ansys Workbench 2022* para fazer a comparação e ajuste de resultados, e verificar quão bem o ensaio real era representado pelo software, que utiliza técnicas como método dos elementos finitos para calcular esforços e deformações que a viga irá sofrer com estas mudanças estruturais. As dimensões do modelo foram de 995 cm de comprimento, 6 cm de largura e 15 cm de altura, assim como nossa viga real, e há essa pequena mudança de comprimento devido ao desbaste de material pela serra ao se cortar a viga.

Além disso, a escolha de material para se fazer a simulação computacional é muito importante devido a natureza que será aplicada nos cálculos e como irá se comportar a estrutura. O material escolhido na simulação foi madeira de carvalho visto que é um material ortotrópico, e os coeficientes utilizados para cálculos estão na biblioteca padrão do software.

Foi gerada uma malha estrutural com elementos finitos de dimensão de 1 cm<sup>3</sup> por toda a viga, gerando uma malha com 9000 elementos.

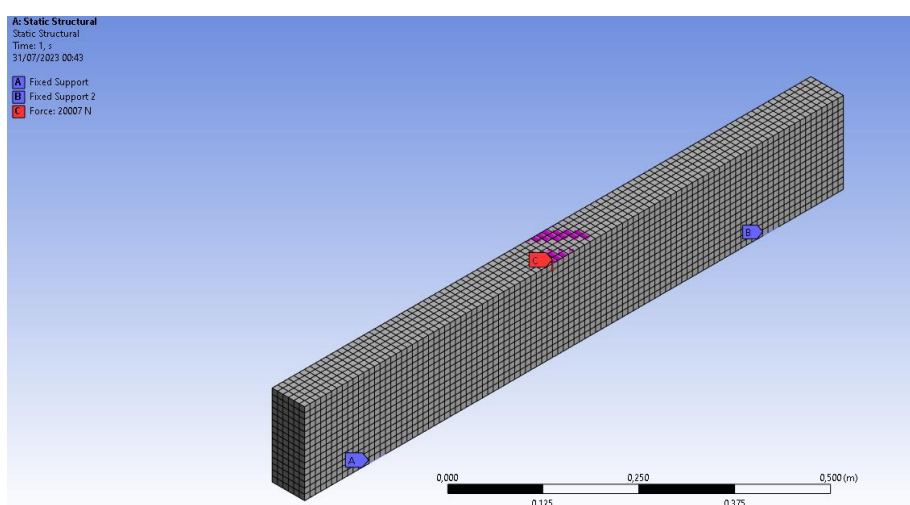


Figura 2. Modelo do ensaio de flexão de 3 pontos com viga de MLC no Ansys Workbench

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Como resultados do ensaio de flexão de 3 pontos, foram obtidos os valores de força por flecha de deslocamento no ponto de aplicação de força, que foi no centro da viga.

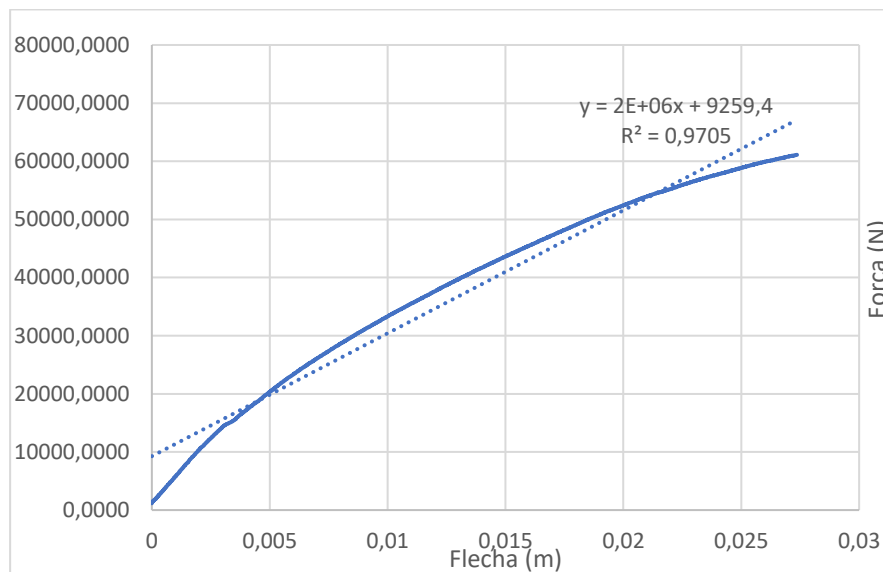


Gráfico 1. Carga de força por flecha de deformação no ponto de aplicação de força do ensaio de flexão de 3 pontos

Já na simulação computacional foi obtido os seguintes valores para a aplicação de força nas determinadas condições:

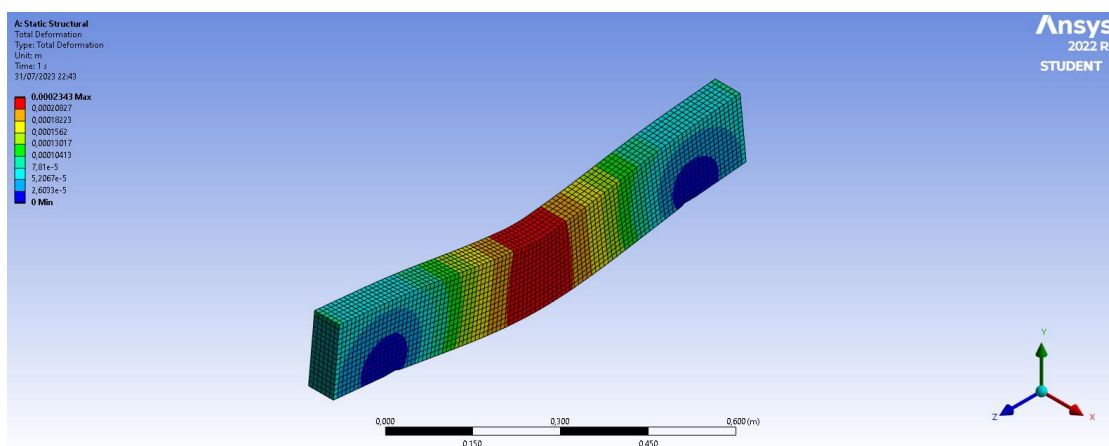


Figura 3. Simulação computacional utilizando madeira de carvalho (material ortotrópico)

Com base nestes resultados e discussões, pode-se discutir que há uma série de fatores que podem alterar o comportamento real da viga de MLC com o modelo computacional feito no Ansys Workbench. Um desses fatores é a diferença de propriedades, principalmente do módulo de elasticidade, entre as lâminas de madeira utilizadas mesmo que sejam da mesma espécie. Isso acontece devido a uma série de fatores e como a madeira é um material ortotrópico, pode haver diferença entre as lâminas que afetem o comportamento e se diferencie da natureza uma viga maciça de eucalipto, por exemplo. Para verificar esse ajuste seria necessário fazer um ensaio de cada lâmina para obter as propriedades e ajustar o modelo a essas condições para gerar resultados mais precisos e constatar diferenças do modelo experimental. Um outro ponto a se destacar é o ponto de ruptura da viga ensaiada ter ocorrido

em um finger joint, que são emendas dentadas na direção do comprimento da viga para aumentar o seu tamanho, visto que as lâminas necessitam de um tamanho específico para se adequarem as normas. Essas emendas representaram pontos de fragilidade na viga e no ensaio de flexão a emenda estava exatamente no ponto de maior flecha de deformação, constatando que é um ponto de fragilidade e pode variar a resistência da viga de MLC de acordo com a localização das emendas.

## CONCLUSÕES:

Pode-se concluir que a viga de MLC tem uma disposição maior a se deformar conforme aos esforços em comparação com vigas de madeira maciças, e isso é importante para a resistência de estruturas sem que ocorra trincas ao ser submetida a cargas estruturais. Além disso, foi observado que a localização das emendas denteadas são um fator importante na utilização das vigas de MLC, e deve-se evitar que os pontos de maior deformação se concentrem sobre as emendas para evitar trincas e rupturas, e na simulação computacional foi visto que onde houve a maior flecha de deformação ocorreu a quebra da viga no ensaio de flexão de 3 pontos.

## BIBLIOGRAFIA

ABNT. **Projeto de Estruturas de Madeira**. NBR 7190, Rio de Janeiro, 2022.

Central City Association. **White Paper: Mass Timber A Faster, More Affordable, And More Sustainable Way To Build Housing**. Technical Report, Central City Association, Los Angeles, California, 2019.

P. D. Kremer, M. A. Symmons. **Mass timber construction as an alternative to concrete and steel in the australia building industry: a pestel evaluation of the potential**. International Wood Products Journal 6 (2015) 138–147. doi:10.1179/2042645315Y.0000000010.

J. Xue, G. Ren, L. Qi, C. Wu, Z. Yuan. **Experimental study on lateral performance of glued-laminated timber frame infilled with cross laminated timber shear walls**. Engineering Structures 239 (2021) 112354. doi:https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112354.

D'Amico, B., Pomponi, F., & Hart, J. (2021). **Global potential for material substitution in building construction: The case of cross laminated timber**. Journal of Cleaner Production, 279. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123487

Hart, J., D'Amico, B., & Pomponi, F. (2021). **Whole-life embodied carbon in multistory buildings: Steel, concrete and timber structures**. Journal of Industrial Ecology, 25(2), 403–418. https://doi.org/10.1111/jiec.13139

Sean A. Lineham, Daniel Thomson, Alastair I. Bartlett, Luke A. Bisby, Rory M. Hadden. **Structural response of fire-exposed cross-laminated timber beams under sustained loads**. Fire Safety Journal, Volume 85, 2016.

Pfeil, W., Pfeil, W. **Estruturas de Madeira**. 6ª edição. Universidade Federal do Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003