

# Efeitos do comportamento material pela simplificação da isotropia transversal para modelagem computacional de vigas de madeira lamelada colada

**Palavras-Chave:** Modelagem Computacional, Flecha, Tensões normais

**Autores:**

**Karen Zheng, FEAGRI – UNICAMP**

**Prof. Dr. Julio Soriano (orientador), FEAGRI – UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

A madeira lamelada colada (MLC) é considerada um material de construção sustentável, devido ao uso eficiente de recursos naturais e integrado ao setor do agronegócio. Suas propriedades estruturais superiores, obtidas por meio do arranjo de lamelas coladas paralelamente, garantem alta capacidade de vencer grandes vãos, o que supera os limites apresentados pela madeira serrada convencional (Moody; Hernandez, 1997; Hiramatsu, et al., 2010). A escolha da MLC favorece ainda o uso de espécies variadas e propicia melhor performance ao transformar um material naturalmente anisotrópico em produtos com comportamento mais homogêneo.

Para a modelagem estrutural de vigas em MLC, recorre-se frequentemente a simulações numéricas, que reduzem o tempo e os custos em comparação com ensaios experimentais. Apesar da madeira ser considerada ortotrópica, a prática comum em MLC é adotar a hipótese de isotropia transversal, isto é, propriedades uniformes na direção normal às fibras. Essa simplificação é validada por resultados de pesquisas experimentais e/ou computacionais que avaliam o comportamento estrutural de vigas de MLC (Zhong et al., 2014).

A hipótese da consideração da MLC como um material totalmente homogêneo implica na simplificação da isotropia transversal em isotropia total, o que poderia acarretar facilidades nas elaborações dos projetos. Essa pesquisa tem como objetivo avaliar possíveis diferenças, dado ao comportamento material como sendo isotrópico ou de isotropia transversal, assumidos na modelagem computacional de vigas de madeira lamelada colada.

## METODOLOGIA:

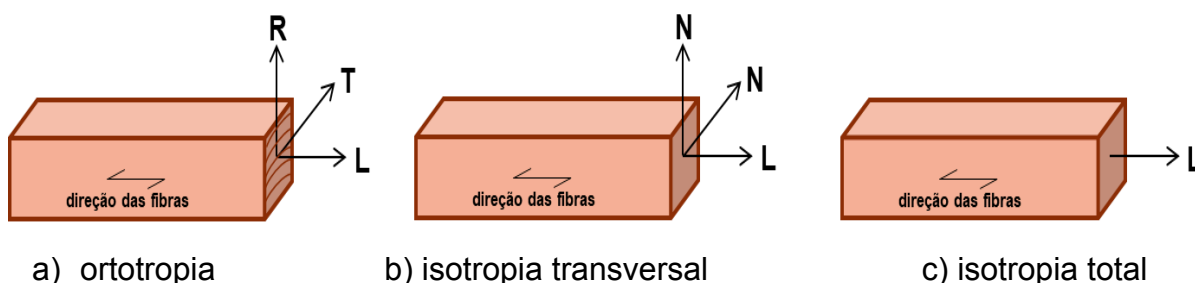
ABNT NBR 7190-1 (ABNT, 2022) estabelece para o grupo botânico das coníferas 12 classes de resistência e para folhosas 8 classes de resistência. Para esta pesquisa, foram selecionadas as

classes C24 e C40 e as classes D24 e D40, com suas propriedades apresentadas na tabela 1. Essas escolhas permitem uma análise comparativa entre classes de resistência e entre grupos botânicos.

Propriedades	Coníferas		Folhosas	
	C24	C40	D24	D40
Flexão, $f_{bk}$ (MPa)	24	40	24	40
Densidade média $\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	420	500	580	660
Módulo de elasticidade a 0° médio, $E_{0,med}$ (GPa)	11	14	10	13
Módulo de elasticidade a 90° médio, $E_{90,med}$ (GPa)	0,4	0,5	0,7	0,9
Módulo de elasticidade transversal médio, $G_m$ (GPa)	0,7	0,9	0,6	0,8

Tabela 1 - Classe de resistência (fonte: adaptada da ABNT 2022)

Foram desenvolvidos dois modelos distintos (Figura 1) para representação do material da viga MLC. O primeiro considera a hipótese de isotropia transversal (Figura 1b), onde as propriedades elásticas são diferentes entre a direção paralela (longitudinal) às fibras da madeira e a direção normal (radial e tangencial) às fibras. O segundo modelo assume isotropia total (Figura 1c), simplificando ainda mais o comportamento do material ao considerar as propriedades elásticas como idênticas em todas as direções.



L= eixo paralelo às fibras; N = eixo normal às Fibras; R = eixo radial; T = eixo tangencial aos anéis de crescimento

Figura 1 - Representação dos eixos que referenciam a propriedades mecânicas do material. (fonte: autoria própria)

A geometria das vigas simuladas (Figura 2) foi definida para altura da seção transversal igual a 0,5 m, valor compatível com vigas de MLC projetadas para vencer vãos de aproximadamente 10

metros, respeitando a relação altura/vão típica de 1/20. Para as lamelas individuais, a espessura máxima foi limitada a 0,05 m, em conformidade com o estabelecido no item 6.7.4.9 da ABNT (2022). A largura da seção transversal foi adotada igual a 0,1 m, de modo a atender o requisito de estabilidade lateral da ABNT (2022), que exige  $b \geq h/7$  ( $\sim 0,07$  m)

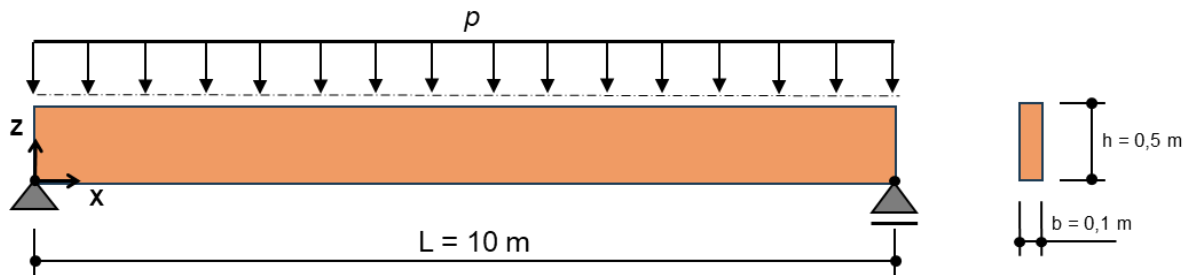


Figura 2 - Geometria da viga (fonte: autoria própria)

Para ambos os modelos, foram aplicados carregamentos correspondentes ao peso próprio da viga, utilizando-se da densidade correspondente a cada classe de resistência e ativação da aceleração da gravidade. Adicionalmente, aplicou-se uma carga uniformemente distribuída  $p = 8.000$  N/m (Figura 2), simulando condições de uso estrutural. Essa carga adicional foi calculada com as equações clássicas da resistência dos materiais, impondo-se como limite da tensão normal da flexão o valor de  $f_{bk} = 24$  MPa (Tabela 1).

A modelagem das vigas foi realizada com uma malha discretizada por elementos tridimensionais (SOLID186) da biblioteca do ANSYS. A malha foi definida de forma mapeada por elementos de tamanho 0,1 m, que corresponde a largura da viga (Figura 3).

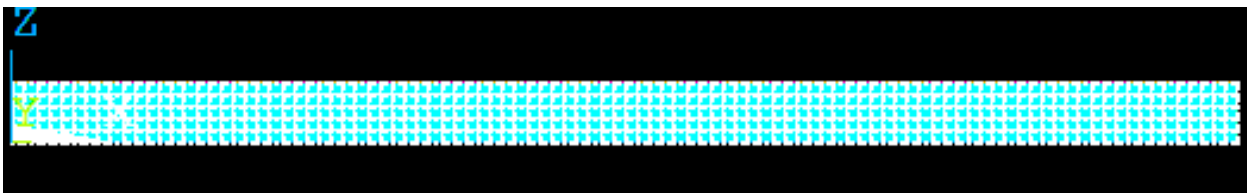


Figura 3 - Viga mapeado (fonte: autoria própria)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Da modelagem computacional das vigas e seus respectivos modelos (isotropia transversal e isotropia total), para essa seção de análise de discussão, foram extraídos os resultados de reações de apoio, deslocamentos verticais (flechas) e tensões normais de flexão.

No que diz respeito às reações de apoio verticais (Z), para uma mesma classe de resistência, os resultados mostraram que não houve diferença entre os dois modelos de isotropia (Figura 4), confirmando que a escolha do modelo material não interfere no cálculo dessas reações, independentemente do tipo de carregamento aplicado.

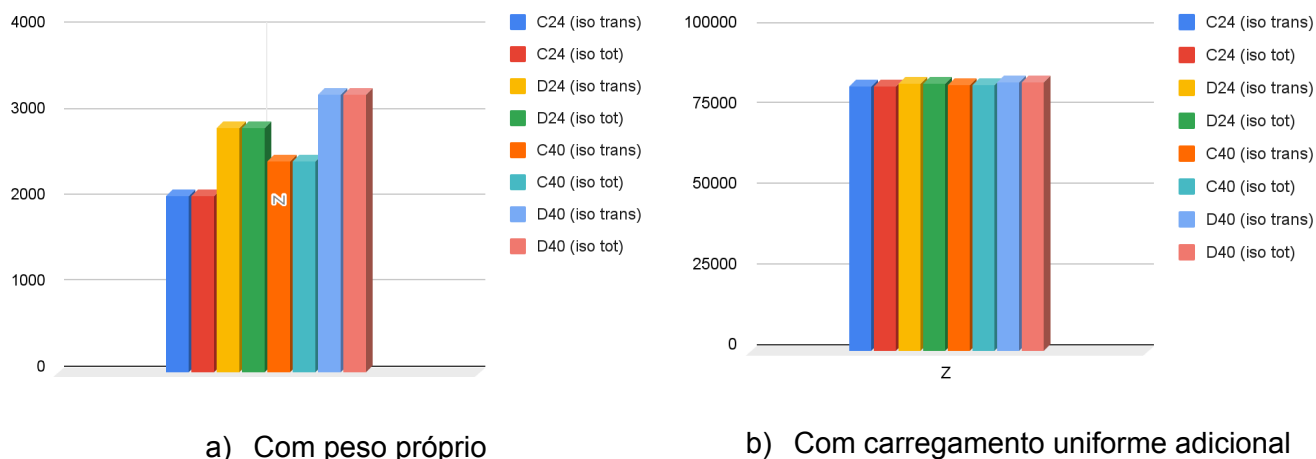


Figura 4 - Comparação de reação de apoio (N)

No entanto, as diferenças observadas de uma classe para outra (Figura 4a) são devidas às diferenças densidades, as quais são associadas às respectivas classes de resistência (Tabela 1).

A análise dos deslocamentos verticais máximos (flechas) evidenciou comportamento diferente entre os modelos de isotropia (Figura 5).

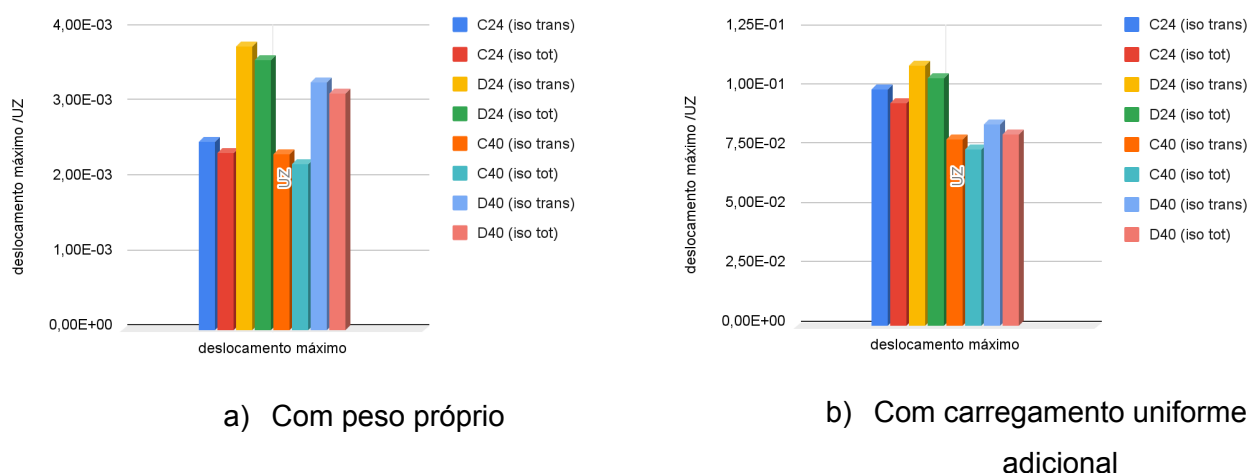


Figura 5 - Comparação de deslocamentos verticais (m)

O modelo isotropia total mostrou deslocamentos máximos menores em todas as classes de resistência avaliadas, indicando maior rigidez global em relação ao modelo com isotropia transversal. Essa diferença decorre do fato de o modelo isotrópico empregar o maior valor de módulo de elasticidade em todas as direções, enquanto a isotropia transversal reconhece módulos de elasticidade inferiores na direção normal (Tabela 1). Nas simulações, a diferença nos deslocamentos máximos variou de 4 a 6%, por exemplo, para a classe C24, o deslocamento reduziu de 5,7% ao passar de isotropia transversal para total.

Quanto às tensões normais de flexão na direção longitudinal (Figura 6), os resultados obtidos em ambos os modelos de isotropia apontaram diferenças pouco expressivas, com variações inferiores a 1% em todos os cenários avaliados.

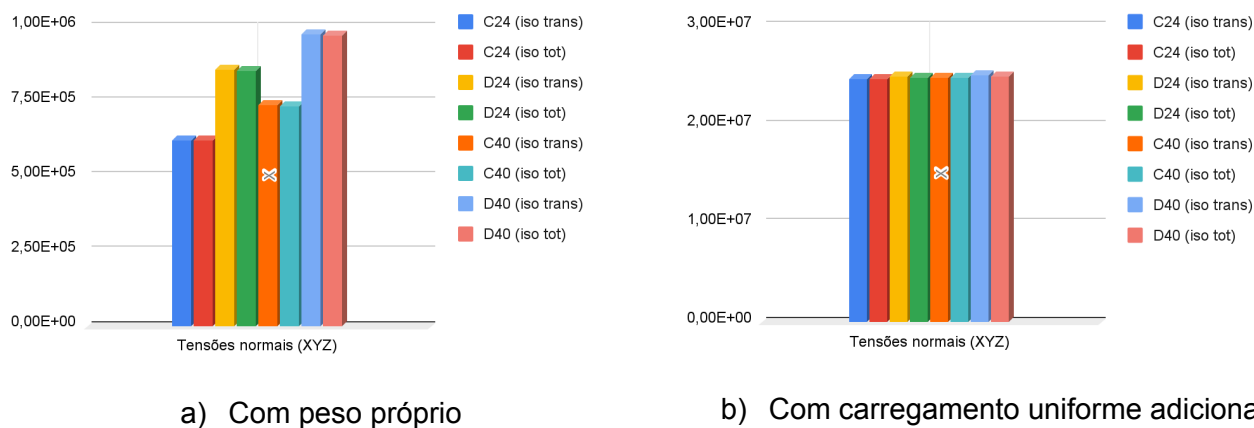


Figura 6 - Comparação de tensões normais de flexão (Pa)

## CONCLUSÕES:

Os resultados obtidos indicam que a substituição do modelo de isotropia transversal pelo modelo de isotropia total nas análises estruturais de vigas de madeira lamelada colada (MLC) é justificada para os parâmetros avaliados. A adoção do modelo isotrópico total proporciona deslocamentos verticais máximos e tensões normais máximas muito próximas às calculadas pelo modelo de isotropia transversal, com diferenças pouco significativas para as classes de resistência analisadas (C24, D24, C40 e D40). Dessa forma, o modelo de isotropia total pode ser utilizado como alternativa válida em simulações computacionais como rotina de cálculo de MLC, oferecendo simplificação sem comprometer a confiabilidade dos resultados estruturais. Tendo em vista o grande número de variáveis envolvidas no problema, como continuidade deste trabalho, outras análises devem ser feitas, considerando-se outras geometrias de viga, outros tipos de elementos finitos e estatística.

## BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-1: projeto de estruturas de madeira: parte 1: critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022.

HIRAMATSU, Y. et al. Strength properties of glued laminated timber made from edge-glued laminae II: bending, tensile, and compressive strength of glued laminated timber. **Journal of Wood Science**, v. 57, n. 1, p. 66–70, 2010.

MOODY, R.; HERNANDEZ, R. **Engineered wood products-A guide for specifiers, designers and users**. [s.l.] PFS Research Foundation, 1997.

ZHONG, W. et al. Experimental and numerical investigation on compression orthotropic properties of Spruce Wood in Axial and Transverse Loading Directions. **Engineering Transactions**, v. 62, n. 4, p. 381–401, 2014.