



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E
TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



RODRIGO VICTOR LIMA SANTOS

DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE ELEMENTOS DE MADEIRA
LAMELADA COLADA (MLC) SEGUNDO A NBR 7190/2022

São Cristóvão – SE

2026

RODRIGO VICTOR LIMA SANTOS

**DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE ELEMENTOS DE MADEIRA
LAMELADA COLADA (MLC) SEGUNDO A NBR7190/2022**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como requisito para o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Emerson Figueiredo dos Santos

São Cristóvão - SE

2026

ATA DE DEFESA

Rodrigo Victor Lima Santos

Dimensionamento à Flexão de Elementos de Madeira Lamelada Colada (MLC) segundo a NBR 7190/2022

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como requisito para o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: **21 de maio de 2026**

Banca Examinadora

Nota

Orientador(a): Prof. Dr. Emerson Figueiredo dos Santos (UFS)	—	7,5
Examinador(a): Prof. Dr. Higor Sérgio Dantas de Argôlo (UFS)	—	6,5
Examinador(a): Prof. Me. Marcílio Fabiano Goivinho da Silva (IFS)	—	7,0
Média Final:		7,0

RESUMO

A construção civil é um setor essencial para o desenvolvimento econômico de qualquer país, desempenhando um papel fundamental na geração de empregos e infraestrutura. No entanto, também se caracteriza como uma das indústrias que mais consomem recursos naturais e matérias-primas, sendo, portanto, uma das principais responsáveis pelos impactos ambientais. Entre as alternativas sustentáveis emergentes, destaca-se o uso de madeiras engenheiradas, como a madeira lamelada colada (MLC). Essa tecnologia apresenta vantagens significativas, pois, além de ser uma solução estrutural eficiente, utiliza um recurso renovável e contribui para a redução da emissão de carbono na construção. O avanço no uso da MLC tem gerado grande interesse devido à sua versatilidade e potencial de aplicação em estruturas variadas. O presente trabalho busca analisar o dimensionamento à flexão de elementos de Madeira Lamelada Colada (MLC), abordando os aspectos técnicos envolvidos em seu comportamento estrutural, com foco em vigas submetidas à flexão, evidenciando seu papel na busca por práticas mais sustentáveis na construção civil.

Palavras-chaves: Estrutura de madeira; dimensionamento; madeiras engenheiradas; madeira lamelada colada.

ABSTRACT

Civil construction is an essential sector for the economic development of any country, playing a fundamental role in job creation and infrastructure development. However, it is also characterized as one of the industries that consume the greatest amount of natural resources and raw materials, thus being one of the main contributors to environmental impacts. Among the emerging sustainable alternatives, the use of engineered wood products, such as Glued Laminated Timber (Glulam), stands out. This technology presents significant advantages since, besides being an efficient structural solution, it uses a renewable resource and contributes to the reduction of carbon emissions in construction. The advancement in the use of Glulam has generated considerable interest due to its versatility and potential application in various structural systems. This study aims to analyze the flexural design of Glued Laminated Timber (Glulam) elements, addressing the technical aspects involved in their structural behavior, with a focus on beams subjected to bending, highlighting their role in the pursuit of more sustainable practices in civil construction.

Keywords: Timber structures; structural design; engineered wood; glued laminated timber.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 DESENVOLVIMENTO	10
2.1 Madeira Lamelada Colada (MLC)	10
2.2 Ligação.....	13
3 APLICAÇÃO	21
3.2.1 Dados para dimensionamento de viga de seção composta justaposta com ligação pregada.....	21
3.2.4 MLC com uma madeira de classe inferior	26
3.2.5 MLC com madeiras Classes C40 e C20.....	27
4 CONCLUSÃO	29

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o uso da madeira na construção civil demonstra sua grande relevância estrutural, atribuída às suas excelentes propriedades físicas e mecânicas, especialmente no que se refere ao comportamento à flexão (MIOTTO, 2009). Apesar do surgimento de materiais sintéticos e industrializados, a madeira permanece amplamente utilizada como matéria-prima em diversas aplicações estruturais e arquitetônicas (DIAS; LAHR, 2004).

A madeira, embora tradicionalmente significativa na arquitetura brasileira, perdeu seu protagonismo estrutural ao longo do século XX com o avanço do concreto armado, que passou a ser o principal material das construções civis, em função de sua padronização e capacidade de atender à crescente complexidade dos projetos urbanos e industriais (TORRES, 2010). Essa mudança de paradigma relegou a madeira a funções menos nobres, como estruturas auxiliares ou coberturas, especialmente em edificações de baixo padrão (MARCHI, 2021).

De acordo com a ABNT NBR 7190:2022, entende-se por madeira lamelada colada, para fins estruturais, o elemento produzido a partir de tábuas de dimensões reduzidas, coladas entre si e dispostas de tal forma que a orientação das fibras seja paralela ao eixo longitudinal da peça final. No início dos anos 2000, a adoção da Madeira Lamelada Colada (MLC) ainda enfrentava entraves substanciais no Brasil (CALIL JR.; LAHR; DIAS, 2003). Conforme apontado por Miotto (2009), a escassez de empresas capacitadas para sua fabricação, o alto custo dos adesivos estruturais e a limitada difusão de conhecimento técnico relacionado à madeira engenheirada impediam sua consolidação como alternativa competitiva aos sistemas construtivos convencionais (HELENE, P.; TERZIAN, P., 2013).

Contudo, nos últimos anos, observa-se uma mudança gradual nesse cenário ((HARTE, 2017; ABED et al., 2022). A publicação da NBR 7190-6:2022 trouxe diretrizes específicas para o controle da qualidade da colagem em elementos estruturais de MLC, representando um marco importante para a padronização e a segurança do uso da madeira em sistemas construtivos. Paralelamente, a busca por materiais de menor impacto ambiental e maior eficiência energética favoreceu a redescoberta da madeira como um elemento viável e moderno no contexto da construção civil (MARCHI, 2021).

Estudos como o de Gomes et al. (2025) demonstram que, desde que respeitados parâmetros técnicos adequados de fabricação e projeto, a MLC apresenta excelente desempenho estrutural, especialmente quando produzida com espécies amplamente disponíveis no âmbito nacional, como *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*. O estudo reforça o potencial do material

como uma solução estrutural competitiva, ainda que determinadas limitações estejam associadas ao tipo de adesivo e às condições de uso (GOMES et al., 2025).

O avanço na cadeia produtiva também é perceptível, com o surgimento de empresas especializadas na fabricação de componentes de madeira engenheirada, principalmente nas regiões Sul e Sudeste (GOMES et al., 2025; MIOTTO, 2009). Esse movimento tem viabilizado a aplicação da MLC em projetos inovadores, que valorizam estética, leveza e sustentabilidade, embora o setor ainda enfrente desafios relacionados à oferta e aos custos de produção (MIOTTO, 2009).

Ainda que os obstáculos identificados anteriormente não tenham sido completamente superados, o uso da madeira lamelada colada vem sendo cada vez mais considerado em obras de médio e grande porte, impulsionado por novas demandas de eficiência ambiental e viabilidade estrutural (SILVA; ALMEIDA, 2023). A tendência observada é de crescimento, especialmente com o fortalecimento da base normativa e o amadurecimento técnico da indústria e dos profissionais envolvidos (Gomes et al., 2025).

No cenário internacional, observa-se uma realidade distinta da brasileira, uma vez que, em países como Estados Unidos, Japão e no Norte da Europa, a madeira mantém participação relevante na construção de habitações (FAO, 1998). O processo de industrialização contribuiu para que houvesse a ascensão do material como uma solução viável para atender a demanda por moradias nas grandes cidades (TORRES, 2010; GOMES et al., 2025).

A seguir, apresentam-se algumas das recomendações da NBR 7190:2022:

- Evitar a composição da peça com espécies diferentes. Devem ser empregadas tábuas com densidade aparente entre 400 e 750 kg/m³, considerando um teor de umidade de 12%;
- Tanto as tábuas utilizadas quanto o produto final devem ser submetidos a tratamento preservativo, a fim de garantir durabilidade e proteção contra agentes biológicos;
- As tábuas devem estar secas, com teor de umidade não superior a 18% no momento da colagem;
- Antes do início da fabricação, as tábuas devem passar por classificação visual (análise de nós, grã, etc.) e avaliação do módulo de elasticidade;
- A união de topo entre tábuas deve ser feita por meio de emenda dentada (*finger joint*);
- Os adesivos empregados devem ser do tipo estrutural, com propriedades compatíveis com as condições ambientais às quais os elementos estruturais estarão expostos durante toda a vida útil.

Atualmente, muitos projetos têm adotado o uso da madeira desde a etapa estrutural, com o objetivo de construir edificações inteiramente com esse material (HARTE, 2017; ABED et al., 2022). Nesse contexto, a madeira lamelada colada tem se destacado devido às suas propriedades técnicas e estéticas. Essa tecnologia permite a utilização da madeira em estruturas que vão desde pequenas obras — como passarelas, escadas e abrigos — até grandes construções com vãos extensos (WOODSOLUTIONS, 2022). Além disso, a técnica possibilita a execução de formas curvas ou complexas, ampliando significativamente as opções arquitetônicas e o potencial expressivo da madeira nas construções contemporâneas (WOODSOLUTIONS, 2022; THINK WOOD, 2023).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar a evolução do uso da madeira na construção civil, com ênfase na madeira lamelada colada (MLC), destacando suas propriedades estruturais, a regulamentação técnica vigente, inclusive quando empregadas madeiras de classes de resistências inferiores.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Madeira Lamelada Colada (MLC)

A técnica de fabricação da Madeira Lamelada Colada (MLC) teve origem na Alemanha, ainda no século XIX, e representa um importante avanço tecnológico no aproveitamento estrutural da madeira (MIOTTO, 2009). Para a produção de elementos de MLC, as espécies mais recomendadas são o *Pinus* (conífera) e o *Eucalyptus* (folhosa), ambas amplamente cultivadas no território brasileiro, em razão de sua boa adaptação climática e ampla disponibilidade comercial (GOMES et al., 2025).

O processo produtivo da MLC, regulamentado nacionalmente pela ABNT por meio da ABNT NBR 7190:2022 e internacionalmente por normas como a ASTM D2559, envolve etapas específicas, tais como a secagem da madeira, a classificação das lâminas quanto às suas propriedades mecânicas, a execução de emendas, a colagem com adesivos estruturais e posterior acabamento. A correta execução e a sequência adequada dessas etapas resultam em peças leves, de elevada resistência e capazes de vencer grandes vãos, características fundamentais para aplicações arquitetônicas inovadoras e sustentáveis (GOMES et al., 2025).

Ainda segundo Gomes et al. (2025), a manutenção dos elementos de MLC, quando empregados em ambientes protegidos das intempéries, é praticamente insignificante, o que amplia sua atratividade em projetos de longo prazo. Além disso, a expansão da silvicultura de *Pinus* e *Eucalyptus* no Brasil, aliada à crescente demanda por construções mais limpas e de menor impacto ambiental, favorece a perspectiva de maior difusão da técnica no mercado nacional (ABIMCI, 2022; IPEF, 2023). Soma-se a isso o fato de que a MLC permite o aproveitamento estrutural de madeiras de menor resistência mecânica, as quais, quando utilizadas de forma maciça, não atendem aos requisitos de desempenho exigidos em projetos de engenharia (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003; MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010).

Por meio da colagem de lâminas com as fibras orientadas de forma paralela e dispostas em posições estrategicamente definidas, obtém-se uma peça homogênea, com propriedades mecânicas superiores às da madeira maciça original, permitindo o uso racional de recursos naturais e a ampliação do leque de espécies viáveis para aplicações estruturais (WOODSOLUTIONS, 2022; HARTE, 2017). Essa possibilidade representa uma melhoria substancial em termos de sustentabilidade e economia de materiais, especialmente diante da ampla disponibilidade de espécies como o *Pinus* e o *Eucalyptus* no Brasil (Figura 1).

Figura 1 – Madeiras utilizadas na produção de MLC.



Fonte: TIMBAU Estruturas, 2025. Disponível em: <https://timbauestruturas.com.br/2025/09/24/mlc-de-pinus-e-eucalipto-uma-analise-tecnica-definitiva/>. Acesso em: 13 jan. 2026.

Apesar dos avanços, o custo de produção da MLC ainda se mantém elevado no Brasil, principalmente devido ao preço dos adesivos estruturais de alta performance e à baixa escala de fabricação, fatores que impactam diretamente o preço final do produto, quando comparado a sistemas tradicionais, como o concreto armado (MIOTTO, 2009; GOMES et al., 2025).

A escolha entre as madeiras de Pinus e Eucalyptus para aplicações estruturais deve considerar propriedades físicas, mecânicas, durabilidade e custo-benefício (ABNT, 2022; MOLINA et al., 2003). O Pinus apresenta densidade média em torno de 560 kg/m^3 e módulo de elasticidade de aproximadamente 10.500 MPa , sendo indicado para estruturas leves e mobiliário (MOLINA et al., 2003; CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003). Contudo, em termos de durabilidade, é mais suscetível ao ataque de insetos e fungos, o que exige a adoção de tratamento preservativos para prolongar sua vida útil (MOLINA et al., 2003).

O Eucalyptus, por sua vez, apresenta, em geral, maior resistência mecânica em comparação ao Pinus, sendo amplamente empregado em elementos estruturais como vigas e postes (MOLINA et al., 2003; CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010). Algumas espécies podem apresentar elevada densidade, o que exige maior controle dos processos de secagem e colagem. Apesar disso, seu uso em elementos de Madeira Lamelada Colada (MLC) é tecnicamente viável, desde que sejam selecionadas espécies adequadas — como o *Eucalyptus grandis* — e adotadas boas práticas de fabricação, garantindo o desempenho estrutural do material.

Por outro lado, a Massaranduba (*Manilkara huberi*) destaca-se pela elevada densidade, frequentemente superior a 1.000 kg/m^3 , valor acima da faixa usualmente recomendada para madeiras de uso estrutural geral segundo a NBR 7190:2022, o que pode influenciar processos de fabricação, colagem e ligações estruturais. Apesar disso, sua notável resistência natural à

deterioração e seu potencial de aplicação em estruturas expostas, como decks, pontes e elementos sujeitos a condições climáticas severas, merecem destaque. Assim, a seleção da espécie e do método construtivo mais adequado deve considerar os requisitos de desempenho do projeto, mesmo em casos de exceção quanto à densidade, além de aspectos de sustentabilidade e viabilidade econômica. (MELO *et al.*, 2012).

No que diz respeito aos custos, o *pinus* se apresenta como a opção mais econômica, seguido pelo *eucalyptus*, enquanto a massaranduba possui um valor mais elevado, refletindo sua alta qualidade e menor disponibilidade no mercado (IPEF, 2023; ABIMCI, 2022). Dessa forma, a escolha entre essas madeiras deve considerar não apenas o custo inicial, mas também a relação custo-benefício ao longo da vida útil da estrutura, especialmente em projetos que demandam elevada durabilidade e baixa manutenção (ABIMCI, 2022; IPEF, 2023).

Diante desses aspectos, a decisão sobre qual madeira utilizar deve ser pautada nas exigências específicas de cada projeto, levando em conta fatores como resistência mecânica, durabilidade, disponibilidade e orçamento. Além disso, o uso de tratamentos preservativos pode ser determinante para ampliar a longevidade da madeira, especialmente no caso do pinus e do eucalyptus (CIB – Centro de Informação da Madeira, 2021). Dessa forma, a seleção consciente do tipo de madeira a ser empregado possibilita um melhor aproveitamento dos recursos naturais e um desempenho mais eficiente das estruturas construídas.

O estudo concentrou-se em três variáveis principais: tipo de adesivo, pressão de colagem e espessura das lamelas. Para isso, foram utilizados adesivos do tipo resorcinol-formaldeído (Cascophen RS-216-M), um adesivo natural à base de óxido de magnésio e proteína de soja, e um adesivo poliuretano bicomponente. As espécies de madeira escolhidas foram *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*, amplamente utilizadas no setor madeireiro brasileiro (GOMES *et al.*, 2025).

Os ensaios de delaminação e cisalhamento mostraram que a pressão ideal de colagem varia conforme a densidade da madeira. Para o Pinus, uma pressão de 0,7 MPa foi suficiente para garantir boa aderência, enquanto o Eucalyptus, por ser mais denso, exigiu 1,2 MPa para atingir os níveis aceitáveis de resistência, conforme os limites estipulados pela NBR 7190:2022. Pressões superiores, como 1,5 MPa, não trouxeram melhorias significativas e, ao contrário, comprometeram a colagem por favorecerem a absorção excessiva do adesivo pela madeira, fenômeno conhecido como linha de cola faminta (GOMES *et al.*, 2025).

Outro dado significativo está relacionado à distribuição das tensões nas linhas de cola. A análise revelou que a resistência ao cisalhamento foi maior quando a ruptura ocorreu na madeira, e não no adesivo, o que demonstra a eficácia da colagem. Esse resultado foi mais

evidente nas amostras de Eucalyptus coladas com Cascophen sob 1,2 MPa de pressão (GOMES et al., 2025).

Apesar do apelo sustentável, o adesivo natural apresentou desempenho inferior em termos de resistência à umidade. As porcentagens de delaminação ultrapassaram os limites tolerados pela norma, restringindo seu uso a ambientes internos e evidenciando a necessidade de aperfeiçoamento na formulação ou nas condições de aplicação desse tipo de cola (GOMES et al., 2025).

A espessura das lamelas também se mostrou um fator determinante. As vigas compostas por lamelas de 3,5 cm apresentaram desempenho superior em resistência ao cisalhamento, contrariando parte da literatura, que sugeria melhor desempenho em espessuras menores. Esse comportamento pode estar associado à maior área de contato e à estabilidade dimensional proporcionada por lamelas mais espessas (GOMES et al., 2025).

Com base nos resultados, os autores destacam que a aplicação das diretrizes da NBR 7190:2022 é eficaz no controle da qualidade da colagem de MLC, desde que os parâmetros de fabricação sejam cuidadosamente adaptados às características específicas da madeira e do adesivo utilizados.

2.2 Ligação

Devido à limitação do comprimento, peças de madeira necessitam ser conectadas para transmissão de esforços. Esta conexão é denominada ligação. As primeiras construções em madeira utilizavam ligações com transmissão direta, nas quais não havia dispositivos intermediários, limitando-se à atuação de esforços de contato como compressão e cisalhamento. Em 1949, as ligações indiretas, onde utiliza-se pinos para transmissão de esforços, foram objeto de estudos desenvolvidos por Johansen (PFEIL, 2013).

Historicamente, os pinos eram usados como reforço de ligações por entalhe. Posteriormente, ganharam destaque na ligação, com função de transmitir os esforços entre peças. Os estudos indicaram que a resistência da ligação depende da resistência da madeira ao embutimento do pino, e da resistência à flexão do pino. Mais recentemente, o uso de adesivos tem se intensificado como uma alternativa ou complemento aos conectores mecânicos, em função do avanço tecnológico desses materiais.

Na engenharia, a escolha e o uso de pregos e/ou adesivos são fundamentais em diversas áreas, especialmente na construção e no projeto de estruturas de madeira, uma vez que este material de construção apresenta comprimento limitado. Ambos desempenham papéis cruciais na resistência, estabilidade e durabilidade das estruturas. Nesse contexto, apresentam-se a

seguir as formulações para o dimensionamento de ligações utilizando pregos e adesivos para vigas de seção composta justaposta, à luz da NBR7190:2022.

Pregos

Em construções de pequeno e médio porte, os pregos representam uma solução econômica e prática para união de peças, sendo amplamente utilizados na montagem de telhados, pisos e até em móveis (PFEIL; PFEIL, 2013; CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003). Além de sua aplicação em elementos de vedação e acabamento, os pregos desempenham um papel essencial em ligações estruturais, especialmente em vigas de seção composta justaposta, nas quais são responsáveis pela solidarização entre as peças que compõem a seção (ABNT, 2022; PFEIL; PFEIL, 2013). MOLINA et al. (2003) destacam que o uso de pregos galvanizados ou de aço tratado é recomendado em regiões onde a madeira pode estar exposta à umidade ou ao calor, devido à resistência à corrosão desses materiais, garantindo a longevidade e desempenho da estrutura.

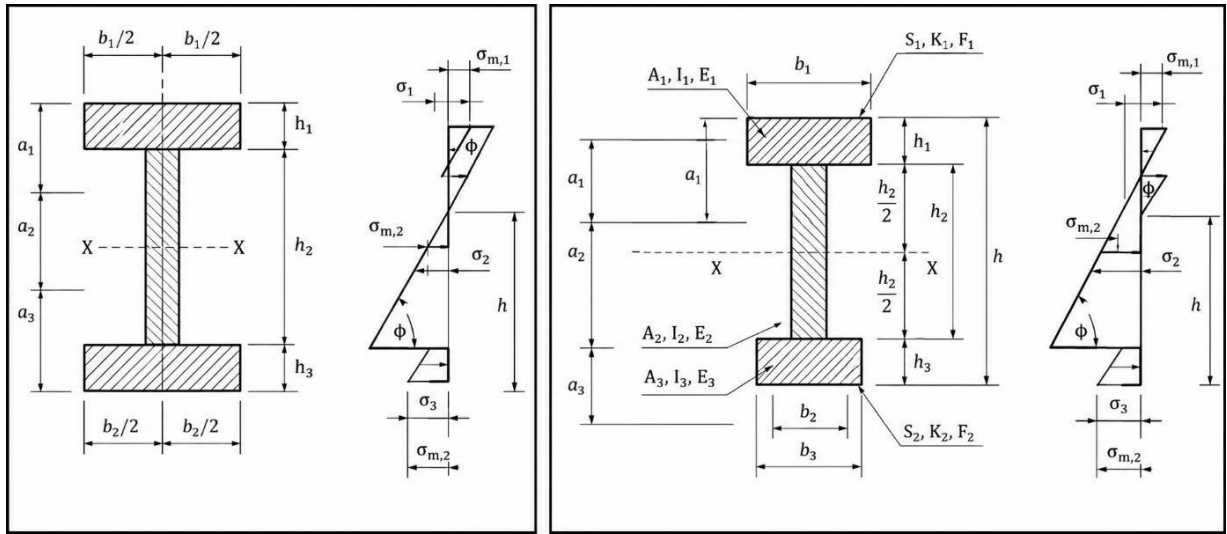
Além do uso tradicional em estruturas de madeira, as ligações desempenham um papel crucial no desempenho de vigas de seção composta justaposta (REF ABNT, 2022; PFEIL; PFEIL, 2013). Em tais configurações, a eficácia das conexões entre os elementos justapostos determina a capacidade da viga em resistir às cargas aplicadas e manter sua integridade estrutural (PFEIL; PFEIL, 2013; CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003). SALINAS (2023) realizou uma avaliação experimental de vigas compostas de madeira parafusadas com seção tipo I, demonstrando que a rigidez das ligações influencia significativamente o comportamento das vigas, especialmente no que tange à resistência e à deformabilidade sob cargas de flexão. Da mesma forma, SEDOSKI (2013) analisou vigas de madeira compostas com diferentes geometrias de encaixe entre mesas e alma, concluindo que a geometria da ligação afeta diretamente a rigidez e a resistência ao cisalhamento das vigas. Esses estudos ressaltam a necessidade de um dimensionamento adequado das ligações, considerando fatores como o tipo de conector, o espaçamento entre eles e as propriedades dos materiais envolvidos, conforme as diretrizes estabelecidas na NBR 7190:2022. Assim, a correta seleção e execução das ligações são fundamentais para garantir a segurança, a eficiência e a durabilidade das estruturas de madeira.

A utilização de vigas de seção composta justaposta surge como solução para aumento da capacidade de carga do elemento estrutural, decorrente do acréscimo de rigidez flexional. Nesse contexto, a NBR7190:2022 indica que a tensão normal devido à flexão que ocorrem em vigas de seção composta justaposta é dada por:

$$\sigma_{\max i} = \sigma_i + \sigma_{m,i}$$

onde $\sigma_{\max}$ é a tensão máxima em cada peça que compõe a seção, σ_i é a tensão no centroide da peça, e $\sigma_{m,i}$ é a tensão na extremidade da seção da peça. O índice i indica o número da peça que compõe a seção composta. De acordo com a NBR7190:2022, este índice assume um valor máximo de 3 (três) podendo-se utilizar seções conforme disposição indicadas na Figura 2.

Figura 2 – Disposição de seção transversal composta utilizada pela NBR7190:2022.



Fonte: Item 7.1.12 da NBR7190/2022

As tensões normais determinadas no centroide do elemento e na extremidade do elemento são dadas, respectivamente, por:

$$\sigma_i = \gamma_i \cdot E_i \cdot a_i \cdot \frac{M_d}{(EI)_{ef}}$$

$$\sigma_{m,i} = 0,5 \cdot E_i \cdot h_i \cdot \frac{M_d}{(EI)_{ef}}$$

onde E_i é o módulo de elasticidade de cada peça que compõe a seção.

O produto flexional $(EI)_{ef}$ é indicado pela norma como rigidez efetiva. Ela é determinada pela condição de semi-rigidez atribuída pela ligação pregada. A rigidez efetiva é dada, de acordo com a NBR7190:2022, por:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

onde I_i é o momento de inércia do elemento ($I_i = b_i \cdot h_i^3/12$). As distâncias entre os centroides e a linha neutra (a_i) são dadas por:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i}$$

$$a_1 = \frac{(h_1 + h_2)}{2} - a_2$$

$$a_3 = \frac{(h_2 + h_3)}{2} + a_2$$

A determinação destas distâncias e da rigidez efetiva depende do fator de redução de inércia do conjunto, dado pela equação:

$$\gamma_i = \frac{1}{[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i^2}{K_i \cdot L_{ef}^2}]}$$

onde E_i é o módulo de elasticidade de cada elemento da seção transversal, A_i é a área de cada parte da seção transversal, s_i é o espaçamento dos pregos na interface do elemento i com o elemento 2, K_i é o módulo de deslizamento da ligação do elemento i com o elemento 2, e L_{ef} é o vão efetivo da viga: $L_{ef} = L$, para vigas biapoeadas; $L_{ef} = 0,8 \cdot L$, para vigas contínuas; e $L_{ef} = 2 \cdot L$, para vigas em balanço.

O espaçamento entre os pregos pode ser uniforme ou variar, conforme a força de cisalhamento, entre um valor mínimo, geralmente tomado como 7 (sete) vezes o diâmetro do prego, e um valor máximo, até 4 (quatro) vezes o valor mínimo. Cabe ressaltar que quanto menor o espaçamento entre os pregos, maior será o fator de redução, aumentando, por conseguinte, a rigidez efetiva. De acordo com a NBR7190:2022, um espaçamento efetivo pode ser utilizado, dado por:

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{min} + 0,25 \cdot s_{max}$$

O módulo de deslizamento, quando associado ao ELU, é chamado de K_u e é tomado com 2/3 do k_{ser} , que é determinado por meio da equação presente na figura 3 da NBR7190:2022.

Figura 3 – Valores de K_{ser} para conectores em N/mm

Conectores	K_{ser}
Pinos Parafuso de porca e arruela com ou sem folga ^a Parafuso Autoatarraxante Prego (com pré-furação)	$\rho_{med}^{1,5} \frac{d}{23}$
Prego (sem pré-furação)	$\rho_{med}^{1,5} \frac{d^{0,8}}{30}$
Anel Metálico	$\frac{\rho_{med} d_c}{80}$
^a A folga pode ser adicionada separadamente da deformação. Legenda K_{ser} é a rigidez de serviço de uma seção de corte de um pino metálico, expresso em Newton por milímetros (N/mm). ρ_{med} é a densidade específica média em kg/m ³ , dado pela multiplicação da densidade aparente característica pelo valor 1,20. d é o diâmetro efetivo do pino metálico, expresso em milímetros (mm).	

Fonte: Item 7.1.12 da NBR7190/2022

Cada uma das tensões máximas encontradas nas peças que compõem a seção composta deve ser inferior à resistência de projeto de cada elemento. De acordo com o item 6.2.6 da NBR7190:2022, a resistência de projeto é dada por:

$$f_{c0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w}$$

onde $f_{c0,k}$ é a resistência característica à compressão paralela às fibras, e γ_w é o coeficiente minorador da resistência, igual a 1,4, e k_{mod} é o coeficiente modificador da resistência da madeira. Este coeficiente é o resultado do produto de dois coeficientes modificadores: k_{mod1} e k_{mod2} . O primeiro está relacionado com o tempo de aplicação da carga variável. Como a madeira é um material viscoelástico, o efeito reológico propicia um aumento gradativo da deformação. Como compensação, a redução deste coeficiente objetiva aumentar as dimensões da peça. A Figura 4 apresenta o valor do k_{mod1} .

Figura 4 – Classes de carregamento e valores de k_{mod1}

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Seis meses a dez anos	0,70	0,45
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
Instantânea	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

Fonte: Item 5.8.4.1 da NBR7190/2022

O segundo coeficiente modificador (k_{mod2}) está associado à classe de umidade da madeira utilizada, e pode ser determinado por meio da figura 5.

Figura 5 – Valores de k_{mod2}

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70 ^a	0,90
^a Não é permitido o uso do MLCC para classe de umidade (4).		

Fonte: Item 5.8.4.2 da NBR7190/2022

Como o intuito deste trabalho é avaliar a capacidade de carga em termos da tensão normal, a ligação não será verificada.

Adesivos

De acordo com o item 6.7.4.8.4 da NBR 7190:2022, a verificação das juntas coladas deve garantir que a tensão solicitante na linha de cola não ultrapasse a resistência de cálculo do adesivo. Essa condição assegura que a colagem apresente desempenho adequado frente aos

esforços de cisalhamento atuantes. Para isso, a referida norma indica que a espessura final de cada lamela não deve exceder 50mm.

Para critérios de verificação, a tensão atuante não deve exceder à tensão resistente de projeto. Para esta última, introduz-se um terceiro coeficiente modificador (k_{mod3}) para compor o coeficiente modificador. O k_{mod3} é dado por:

$$k_{mod3} = C_e \cdot C_c \cdot C_t$$

onde C_e é o fator de redução devido à emenda de entalhes múltiplos, tomado igual a 0,95 quando da sua ocorrência de entalhes longitudinais. Caso contrário, deve-se atribuir valor 1,0 a esse fator.

O coeficiente C_c está relacionado à curvatura da viga. Em peças retas, assume valor igual a 1,0. Em peças curvas, é dado pela equação:

$$C_c = 1 - 2000 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$$

onde t é a espessura das lamelas, e r é o menor raio de curvatura das lamelas.

Por fim, C_t é o coeficiente relacionado à temperatura à qual a peça estará exposta. Seu valor é apresentado na figura 6.

Figura 6 – Fatores de modificação.

Tipo de propriedade	Teor de umidade da madeira em serviço	Temperatura ambiente °C		
		°C ≤ 38	38 < °C ≤ 52	52 < °C ≤ 66
Tração paralela e módulo de elasticidade	Seca ou úmida	1,0	0,9	0,9
Demais propriedades e ligações	Seca < 16 %	1,0	0,8	0,7
	Úmida ≥ 16 %	1,0	0,7	0,5

Fonte: NBR7190/2022

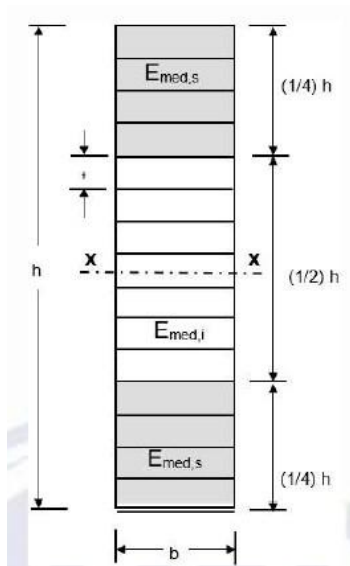
Para determinação da tensão atuante, deverá ser utilizada a rigidez flexional, de acordo com o item 6.7.4.10 da NBR7190:2022, baseada na Figura 7.

$$EI = 2 \cdot E_{med,s} \cdot I_{(1/4)} + E_{med,i} \cdot I_{(1/2)}$$

onde $E_{med,s}$ é o valor médio dos módulos de elasticidade do lote de valores superior, $E_{med,i}$ é o valor médio dos módulos de elasticidade do lote de valores inferior, $I_{(1/4)}$ é o momento de inércia da quarta parte mais afastada em relação ao baricentro x , e $I_{(1/2)}$ é o momento de inércia

da metade central da seção transversal em relação ao baricentro x . A equação infere que as madeiras com maior rigidez sejam posicionadas nas extremidades, de modo que se possa obter a maior rigidez flexional. A norma indica, ainda, que se o número de lamelas para compor a parcela de $\frac{1}{4}$ não seja inteiro, arredonda-se para um número superior quando a casa decimal for superior ou igual a 0,5.

Figura 7– Seção transversal de lamelas com diferentes módulos de elasticidade.

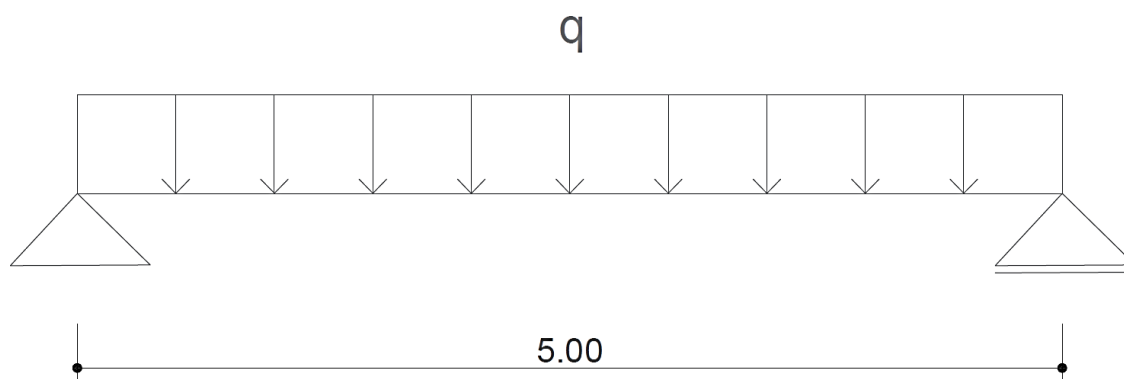


Fonte: NBR7190/2022

3 APLICAÇÃO

Neste estudo, foi analisado o dimensionamento de uma viga biapoiada de madeira de 5,0m de vão, submetida a carregamento uniformemente distribuído, compatíveis com aplicações reais em edificações de pequeno porte, como mostra a Figura 7. A viga em questão foi analisada em duas soluções estruturais distintas: uma viga de seção composta justaposta com ligação pregada, formada por três peças (Figura 8); e outra em MLC, formada por 4 (quatro) lamelas (peças) (Figura 9). Ambas apresentam as mesmas dimensões finais de seção transversal e devem atender aos respectivos critérios estabelecidos pela NBR 7190:2022 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), por meio das formulações apresentadas no item 2. Desta forma, será verificada, para cada seção transversal, a capacidade de carga de cálculo, parâmetro utilizado para as análises.

Figura 8 – Esquema de viga biapoiada com carregamento uniforme distribuído.

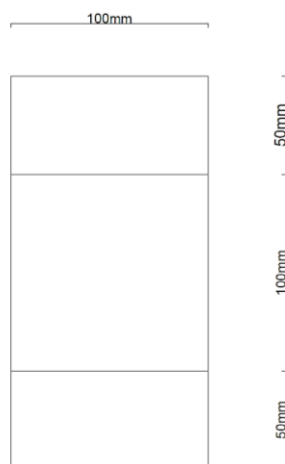


Fonte: Autor (2026).

3.2.1 Viga de seção composta justaposta com ligação pregada

A figura 8 ilustra o modelo adotado para a seção transversal da viga composta justaposta com ligação pregada, formada por três peças de madeira com dimensões nominais de 100 x 50mm, com uma madeira de classe D40.

Figura 9 – Seção transversal composta justaposta com ligação pregada formada por três peças.



Fonte: Autor (2026).

O elemento foi enquadrado na classe de umidade 1, conforme a NBR 7190, pela aplicação ser em ambiente interno, e para análise estrutural adotou-se o modelo de viga biapoiada, servindo para a determinação dos esforços e verificação do desempenho estrutural. Adicionalmente, visando garantir o funcionamento conjunto das peças da seção transversal, realizou-se a especificação dos pregos, que são responsáveis pela transferência dos esforços entre os componentes.

1. Especificação do prego

De acordo com o item 7.1.9 da NBR7190:2022, os pregos estruturais devem ser confeccionados em aço com baixo teor de carbono. O diâmetro desses elementos de fixação, conforme estabelecido no item 7.2 da referida norma, deve ter um valor mínimo de 3,0mm, sendo o valor máximo limitado a um quinto da menor espessura das peças de madeira conectadas. Assim,

$$d \begin{cases} \geq 3,0mm \\ \leq \frac{50}{5} = 10,0mm \end{cases}$$

Adotar-se o diâmetro de 3,9mm, conforme o catálogo de Perfis Estruturais da Gerdau (GERDAU, 2023). O comprimento do prego depende da espessura das peças a serem conectadas, uma vez que a norma estabelece que o prego deve penetrar, no mínimo, 12 (doze)

vezes o diâmetro na peça de madeira. Para a seção analisada, observa-se que o comprimento mínimo do prego deve ser:

$$50 + 12d = 50 + 12 \times 3,9 = 96,8 \cong 97mm$$

As dimensões obtidas correspondem ao prego 19 x 42, com diâmetro de 3,9mm e comprimento de 97mm, conforme o catálogo de Perfis Estruturais da Gerdau (GERDAU, 2023).

2. Espaçamento entre os pregos

Como indicado no Capítulo 2, o valor do espaçamento mínimo entre os pregos é de $7 \times 3,9 = 27,3mm$, valor que, para fins práticos, pode ser arredondado para 30mm. Entretanto, ao se considerar o espaçamento efetivo e o fato de o prego apresentar penetração parcial, observa-se que a configuração da ligação pode gerar interferência entre os elementos de fixação ou procurar a fragilização da peça de madeira. Dessa maneira, adota-se um espaçamento efetivo de 60mm.

3. Módulo de deslizamento

A partir do diâmetro do prego (3,9mm), pode-se determinar o módulo de deslizamento, considerando a densidade de $660kg/m^3$ (madeira D40).

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot 660^{1,5} \cdot \frac{3,9}{23} = 1916,73 N/mm$$

4. Fator de redução da inércia do conjunto

Para a madeira adotada (D40), o módulo de elasticidade é de 13000MPa. Considerando os outros dados já obtidos, determinam-se os fatores redutores da inércia do conjunto para os elementos 1 e 3. Vale ressaltar que para o elemento 2, a norma indica que o fator de redução deve ser tomado igual a 1.

$$\gamma_1 = \gamma_3 = \frac{1}{[1 + \frac{\pi^2 \cdot 13000 \cdot (100 \cdot 50) \cdot 60}{1916,73 \cdot 5000^2}]} = 0,55$$

5. Rigidez efetiva

Para determinação da rigidez efetiva, deve-se, antes, calcular as distâncias dos centros das peças até o centroide da seção composta.

$$a_2 = \frac{0,55 \cdot 13000 \cdot (100 \cdot 50) \cdot (50 + 100) - 0,55 \cdot 13000 \cdot (100 \cdot 50) \cdot (100 + 50)}{2 \cdot (0,55 \cdot 13000 \cdot 100 \cdot 50 + 1 \cdot 13000 \cdot 100 \cdot 100 + 0,55 \cdot 13000 \cdot 100 \cdot 50)} = 0$$

$$a_1 = \left(\frac{50+100}{2}\right) - 0 = 75mm \quad a_3 = \left(\frac{100+50}{2}\right) - 0 = 75mm$$

Assim,

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= [13000 \cdot \frac{100 \cdot 50^3}{12} + 0,55 \cdot 13000 \cdot (100 \cdot 50) \cdot 75^2] \\ &+ [13000 \cdot \frac{100 \cdot 100^3}{12} + 1 \cdot 13000 \cdot (100 \cdot 100) \cdot 0^2] \\ &+ [13000 \cdot \frac{100 \cdot 50^3}{12} + 0,55 \cdot 13000 \cdot (100 \cdot 50) \cdot 75^2] \\ (EI)_{ef} &= 5,38 \times 10^{11} Nmm^2 \end{aligned}$$

6. Tensão Normal

Como as peças que compõem a viga são da mesma madeira, a tensão normal máxima acontece nas peças extremas. Logo,

$$\sigma_{máx.} = (0,55 \cdot 13000 \cdot 75 + 0,5 \cdot 13000 \cdot 50) \cdot \frac{M_d}{5,38 \times 10^{11}}$$

Considerando que a carga variável tem tempo de aplicação de longa duração ($k_{mod1} = 0,7$) e que a madeira é de classe de umidade 1 ($k_{mod2} = 1,0$), a resistência de projeto é de:

$$f_{c0,d} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \frac{40}{1,4} = 20 MPa$$

Escrevendo a carga distribuída em função do momento fletor e limitando a tensão atuante à resistência de projeto, verifica-se que a capacidade de carga da viga é de:

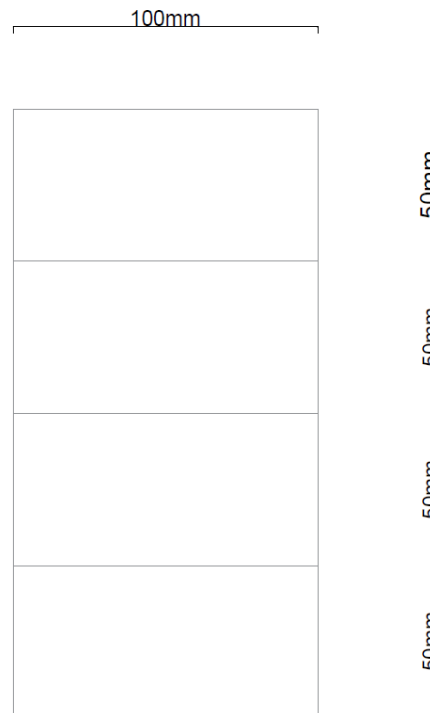
$$q_d = 4,0 kN/m.$$

3.2.2 MLC com Madeira de Classe C40

1. Rigidez à flexão do elemento estrutural de MLC

Para manter a coerência com o modelo adotado na seção com ligação pregada, considera-se a utilização de quatro peças de madeira da classe C40 ($E = 14.000 \text{ Mpaa}$), com dimensões de $100 \times 50 \text{ mm}$, de forma a compor uma seção equivalente de 200 mm de largura. Com base na seção transversal apresentada na Figura 9, determina-se a rigidez à flexão do conjunto.

Figura 10 – Seção transversal para MLC formada por quatro peças.



Fonte: Autor (2026)

$$EI = 2 \cdot 14000 \cdot \left(100 \cdot \frac{50^3}{12} + 100 \cdot 50 \cdot 75^2\right) + 14000 \cdot 100 \cdot \frac{100^3}{12}$$

$$EI = 9,33 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Para a determinação da tensão máxima atuante, utiliza-se a equação aplicável à ligação pregada. Para esse fim, adota-se o fator de redução da rigidez igual a 1,0, ou seja, desconsidera-se qualquer redução de rigidez. Essa hipótese se justifica pelo emprego de adesivo, que garante a continuidade da transferência de esforços entre as peças, eliminando o deslizamento relativo na interface. Dessa forma, o comportamento estrutural passa a ser equivalente ao de uma seção monolítica. Logo,

$$\sigma_{\text{máx.}} = 14000 \cdot \left(75 + \frac{50}{2}\right) \cdot \frac{M_d}{9,33 \times 10^{11}}$$

Seguindo o item 6.7.4.9 da NBR7190:2022, para a obtenção da resistência de cálculo de cálculo $f_{c0,d}$ é necessário determinar o valor do coeficiente k_{mod3} . Para tanto, considera-se que, em razão do comprimento da viga, não há emendas longitudinais ($C_e = 1,0$), a viga é considerada reta ($C_c = 1,0$). Por fim, admite-se que a viga será inserida em ambiente com temperatura abaixo de 38°C ($C_t = 1,0$). Logo tem-se:

$$k_{mod3} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0$$

Com efeito, a resistência de cálculo é dada por:

$$f_{c0,d} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{40}{1,4} = 28,57 MPa$$

Logo, a verificação em termos de tensão fica:

$$14000 \cdot \left(75 + \frac{50}{2}\right) \cdot \frac{M_d}{9,33 \times 10^{11}} \leq 28,57 MPa$$

Limitando a tensão atuante à resistência de projeto, e escrevendo carga distribuída de cálculo em função do momento fletor de cálculo, chega-se à capacidade de carga da viga de 6,1 kN/m.

Observamos que a capacidade de carga distribuída da viga MLC, atendendo a norma NBR 7190, apresenta resultado 7% superior à viga de seção composta justaposta de ligação pregada, considerando a mesma madeira.

Com esses resultados de rigidez flexional conclui-se que o material em MLC justifica sua elevada capacidade de controlar deformações, mostrando suas vantagens em relação a seção formada por ligação pregada. Além da rigidez flexional, também podemos destacar a influência da temperatura, que tem papel crucial na análise de sensibilidade a diferentes temperaturas e de interação entre peças.

3.2.4 MLC com uma madeira de classe inferior

Com o objetivo de viabilizar a comparação dos resultados e fundamentar as análises, adota-se uma madeira do grupo das coníferas, classe de resistência C30, com resistência característica à flexão ($f_{c0,k} = 30$ MPa), módulo de elasticidade médio paralelo às fibras ($E_{c0,md} = 12.000$ MPa), e densidade média ($\rho_{med} = 460$ kg/m³), obtém-se uma rigidez à flexão de $8,00 \times 10^{11} Nmm^2$, conforme os critérios da NBR 7190:2022 apresentados no item 5.7.1.

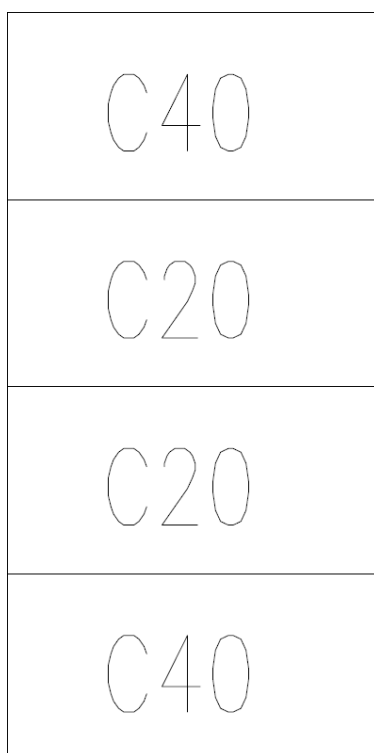
Considerando-se que as lâminas se encontram integralmente coladas, o fator de redução da rigidez (gamma), o que elimina o escorregamento e resulta em comportamento monolítico. Aplicando os coeficientes de modificação (k_{mod} e γ_M) ou os fatores de modificação da resistência segundo a NBR 7190:2022. Com isso, obteve-se uma carga distribuída admissível de 4,6 kN/m

A comparação evidencia que a viga de madeira lamelada colada, com madeira de classe C30, apresenta capacidade de carga distribuída inferior à obtida com madeira classe C40 e, em relação à viga com ligação pregada, desempenha relativamente competitivo. Enquanto a viga com ligação pregada em madeira de classe D40 apresentou capacidade de carga 4,0 kN/m, a viga em MLC com madeira C30 alcançou 4,6kN/m, correspondendo a aproximadamente 15 % da capacidade resistente da seção de classe superior.

3.2.5 MLC com madeiras Classes C40 e C20

A diversidade de possibilidades da madeira lamelada colada permite a combinação de lamelas de diferentes classes de resistência, o que contribui para a otimização do desempenho estrutural. Nesse tópico, adotou-se madeira de classe C40 para as peças localizadas nos quartos superior e inferior da seção e madeira de classe C20 para as peças localizadas na região central (vide Figura 10), considerando um contexto em que elementos de maior e menor rigidez são combinados de forma planejada. Ressalta-se que as partes mais afastadas do centroide da seção transversal contribuem de maneira significativa para a rigidez flexional.

Figura 11 – Seção transversal para MLC com classes de resistência C40 e C20.



Fonte: Autor (2026)

Assim, as lamelas localizadas nos quartos superior e inferior possuem módulo de elasticidade superior ($E_{med,s} = 14000MPa$), enquanto as lamelas no meio possuem módulo

de elasticidade inferior ($E_{med,i} = 9500MPa$).

$$EI = 2 \cdot 14000 \cdot \left(100 \cdot \frac{50^3}{12} + 100 \cdot 50 \cdot 75^2\right) + 9500 \cdot 100 \cdot \frac{100^3}{12}$$

$$EI = 8,96 \times 10^{11} Nmm^2$$

Como feito no item 3.2.2 para determinação da tensão máxima atuante, considera-se que não há redução da inércia. Tal condição faz o espaçamento tender a zero. Logo,

$$\sigma_{\text{máx.}} = 14000 \cdot \left(75 + \frac{50}{2}\right) \cdot \frac{M_d}{8,96 \times 10^{11}}$$

Considerando as mesmas condições de resistência de cálculo do tópico 3.2.2, temos uma verificação de tensão:

$$14000 \cdot \left(75 + \frac{50}{2}\right) \cdot \frac{M_d}{8,96 \times 10^{11}} \leq 28,57MPa$$

Escrevendo o momento fletor de cálculo em função da carga distribuída e limitando a tensão atuante à resistência de projeto, verifica-se que a capacidade de carga da viga é de $q_d = 5,85 \text{ kN/m}$. A partir dos cálculos encontrados, chegamos em mais um ponto crucial do estudo: a substituição das lamelas localizadas na parte central por madeira de menor resistência reduziu, levemente, a capacidade de carga quando utilizada madeira de maior resistência (6,1kN/m). Por outro lado, ainda se manteve superior à capacidade de carga utilizada seção composta justaposta com ligação pregada (5,7kN/m).

4 CONCLUSÃO

A presente análise comparativa entre a viga composta com ligação pregada e a viga em madeira lamelada colada (MLC) permitiu avaliar, o desempenho estrutural de ambas as soluções, tendo como parâmetro a capacidade de carga distribuída de uma viga biapoiada, conforme os critérios estabelecidos pelas normas NBR 7190:2022. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que ambas as vigas atendem aos requisitos normativos de segurança, contudo, a viga em MLC apresentou desempenho técnico superior em diversos aspectos, apresentando vantagens construtivas relevantes em relação à viga composta com ligação pregada.

Dentre essas vantagens, destaca-se a dispensa de fixadores mecânicos ao longo da seção transversal, o que contribui para uma maior homogeneidade estrutural e reduz o risco de problemas em pontos específicos da viga. Em contrapartida, a viga composta exige controle rigoroso na disposição e no espaçamento dos pregos, o que pode comprometer o desempenho estrutural caso haja falhas na execução.

Com base na análise técnica e nas normas vigentes, a viga em madeira lamelada colada se mostra uma alternativa estrutural mais eficiente e indicada para o caso proposto, principalmente em situações que exigem maior controle das deformações e desempenho a longo prazo. No entanto, é importante destacar que a escolha entre os sistemas deve levar em conta também aspectos econômicos, logísticos e de execução, que influenciam diretamente na viabilidade prática das soluções em obras reais.

Para ampliar a compreensão sobre o tema, é recomendável que estudos futuros explorem melhor a relação custo-benefício de cada sistema construtivo, considerando não apenas o desempenho técnico, mas também fatores como disponibilidade dos materiais, facilidade na montagem, durabilidade e necessidades de manutenção ao longo do tempo. Também seria interessante aplicar a mesma metodologia de dimensionamento a diferentes espécies de madeira, com variadas classes de resistência, para obter comparações mais consistentes e apoiar decisões mais bem fundamentadas sobre o uso da madeira na construção civil.

5 REFERÊNCIAS

ABIMCI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Relatório Setorial 2022. Curitiba, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-6: Projeto de estruturas de madeira – Parte 6: Método de ensaio para avaliação da qualidade da colagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:2022 – Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 2022.

AZAMBUJA, M. A. Estudo do comportamento estrutural da madeira laminada colada. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22112010-145050/publico/MaximilianoAzambujaD.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2024.

BRITO, M. R.; CECCHIN, D.; BERTOLINI, L. C. Desempenho de ligações pregadas em vigas compostas de madeira. Revista Madeira em Engenharia, v. 6, n. 2, p. 35–44, 2020.

CAMPOS, J. A. **Estruturas de Concreto**: Análise e Dimensionamento. São Paulo: Blucher, 2015.

CATÁLOGO DE GERDAU. Gerdau S/A. Disponível em: <https://mais.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais>. Acesso em: 10 de mai. 2025.

CIB – CENTRO DE INFORMAÇÃO DA MADEIRA. Tratamento de madeiras para aumentar a durabilidade. Lisboa, 2021. Disponível em: <https://www.cib.org.pt/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

DIAS, Antônio A.; LAHR, Francisco Antonio Rocco. Estruturas de Madeira: propriedades, dimensionamento e desempenho. São Paulo: Editora USP, 2004.

FRANÇA, L. C. A. Dimensionamento de elementos estruturais de madeira laminada colada. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/field/anexo/tcc_lelio_caiado_abreu_franca.pdf. Acesso em: 5 dez. 2024.

GOMES, N. B. et al. Análise dos parâmetros de fabricação de elementos de madeira lamelada colada na resposta da qualidade de colagem com base na NBR 7190-6. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 25, e136707, jan./dez. 2025.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 2013.

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Preços médios de madeiras. 2023. Disponível em: <https://www.ipef.br/estatisticas/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

LEITE, T. M. et al. Uso de madeiras laminadas em estruturas arquitetônicas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MADEIRAS NA CONSTRUÇÃO, CIMAD 2017, 2017, Buenos Aires. Anais... Argentina: Universidade Nacional Noroeste – Buenos Aires, 2017. Disponível em: <https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T7-20.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2025.

MARCHI, M. A. et al. Análise do desempenho estrutural de madeira laminada colada para uso em pontes de pequeno porte. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 10, n. 3, p. 42-56, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1857/1202>. Acesso em: 05 de mai. 2025.

MELO, R. R. de; SANTOS, R. C. dos; LEITE, H. G. Características físicas e químicas de resíduos de serragem de madeiras tropicais da Amazônia. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1127–1136, 2012.

MELO, R.R.; SANTOS, R.C.; SILVA, J.R.M.; SILVA, A.G.M. Caracterização elementar, química e energética de resíduos de *Manilkara huberi* (Maçaranduba) do estado do Pará. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, n. 4, p. 633-638, 2012. Disponível em: ResearchGate.

MIOTTO, José Luiz. Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro. 2009. 325 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-15062009094616/publico/2009DO_JoseLMiotto.pdf. Acesso em: 07 de mai. 2025.

MOLINA, J. C. et al. Madeira para construção civil: propriedades físico-mecânicas de madeiras de reflorestamento. São Paulo: IPT, 2003.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, T. F.; ALMEIDA, J. P. Wooden structural systems: laminated timber and its mechanical performance. *Revista Brasileira de Engenharia*, v. 27, n. 3, p. 145-160, 2021.

SALINAS, Ferdinando Miguel Ruis. Avaliação experimental de vigas compostas de madeira parafusadas com seção I. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SEDOSKI, Maiko Cristian. Análise em vigas de madeira compostas perfil “I”, com encaixe diferenciado entre mesas e alma. 2013. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

SILVA, L. R.; ALMEIDA, C. J. Normatização e avanços no uso de madeira engenheirada no Brasil. *Construção Sustentável*, v. 10, n. 1, p. 45-60, 2023.

SILVA, Lucas R. et al. A evolução do uso de materiais engenheirados de madeira no Brasil. *Revista Unoesc*, v. 13, n. 2, p. 80-95, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/28779/16963>. Acesso em: 5 de mai. 2025.

SILVA, T. A.; MARTINS, A. G.; PEREIRA, M. L. Comparativo técnico-econômico entre madeira laminada colada e madeira serrada. *Revista Construindo*, v. 12, n. 1, p. 15–24, 2022.

SILVA, T. F.; ALMEIDA, J. P.; OLIVEIRA, R. S. Wooden structural systems: laminated timber and its mechanical performance. *Revista Brasileira de Engenharia*, v. 27, n. 3, p. 145-160, 2021.

TORRES, João Tiago Caridade. Universidade do Porto (Portugal) *ProQuest Dissertations & Theses*, 2010. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/e5deabeb387226bccd92e6a61e521433/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 07 de mai. 2025.