

# Análise do comportamento mecânico de vigas de madeira maciça com sistema de protensão por cabos de aço

DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/civiltec.v2i1.5346>

Naiara Menegaro Bratti<sup>1</sup>

Augusto Wanderlind<sup>2</sup>

Marcio Vito<sup>3</sup>

## 1 Introdução

Em meio a tantos materiais de construção, a madeira possui diversas propriedades de interesse técnico e econômico para a construção civil. O baixo consumo de energia para seu processamento e a característica sustentável intrínseca à sua obtenção, além de ser de fácil manuseio no canteiro de obras, fornecem aspectos vantajosos à economia. Por fim, a elevada resistência mecânica à tração e à compressão a torna capaz de ser empregada como material estrutural (TAZARV; CARNAHAN; WEHBE, 2019). A madeira, quando empregada de forma estrutural, apresenta grandes deformações até sua ruptura, sendo considerada um material dúctil. Tal comportamento é satisfatório para a segurança estrutural, porém é possível afirmar que sua rigidez física é intermediária ou baixa, acarretando deslocamentos excessivos antes de se atingir sua capacidade de carga resistente máxima. Para aumentar a eficiência de sua resistência, é necessário atenuar o seu deslocamento vertical quando aplicada como um elemento de viga sob flexão. Novas alternativas têm sido estudadas, dentre elas o uso de materiais de reforço com maior rigidez física e a protensão de elementos elásticos (D'AVENI; D'AGATA, 2017). Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema de protensão em vigas de madeira maciça da espécie *Eucalyptus Saligna*.

## 2 Metodologia

Foi realizado um comparativo de comportamento em relação à capacidade de carga, à rigidez da viga e à flecha máxima. Para aferir esses resultados, foram realizados oito en-

<sup>1</sup> Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, [nai\\_bratti@hotmail.com](mailto:nai_bratti@hotmail.com)

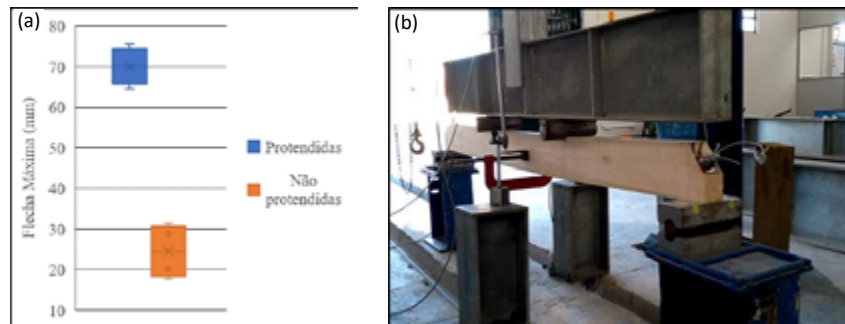
<sup>2</sup> Mestre, Engenheiro Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, [augustoawd@gmail.com](mailto:augustoawd@gmail.com)

<sup>3</sup> Mestre, Engenheiro Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, [marciovito@unesc.net](mailto:marciovito@unesc.net)

saios de flexão estática a quatro pontos, quatro com vigas de madeira maciça sem reforço e quatro com vigas de madeira maciça reforçadas por cabo de aço protendido. O cabo de aço utilizado foi da classe 6x7 com alma de fibra artificial e diâmetro de 1/8" (3,18 mm), que possui alto teor de carbono e resistência mínima à ruptura de 7,3 kN. A seção transversal de todas as vigas foi de 6,5 cm de largura e 14 cm de altura, sendo que as vigas reforçadas possuíam dois sulcos quadrados com 5 mm de lado, para acomodação dos cabos de aço. O comprimento adotado em cada elemento foi de 210 cm, atingindo um vão teórico de 200 cm. Para realizar o método de protensão nas vigas de madeira, foram necessários dois eixos de blocagem bitola 3/8". Ele foi realizado de acordo com sistema utilizado por Cardoso (2013). Os equipamentos utilizados na realização dos ensaios foram o macaco hidráulico e a célula de carga da marca HBM para aplicação e obtenção do carregamento, sendo este aplicado de forma monotônica a fim de simular uma carga estática. Para aferir os deslocamentos verticais, foram acoplados à viga no centro do vão dois medidores LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*). Essas informações foram transmitidas para um computador por meio do sistema de dados QuantumX MX840B da marca HBM. Os ensaios foram realizados no Laboratório Experimental de Estruturas do Parque Científico e Tecnológico (Iparque) da UNESC.

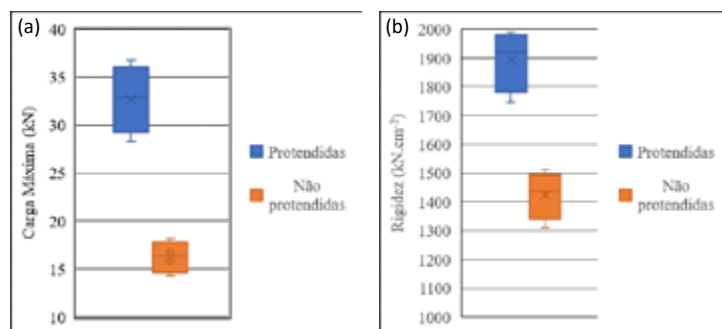
### 3 Resultados

A análise dos resultados mostrou, após a aplicação do método estatístico ANOVA, que as vigas protendidas obtiveram carga máxima, rigidez e ductilidade superiores às vigas não protendidas. A ductilidade pode ser entendida como uma reserva de segurança para a estrutura, pois as vigas protendidas apresentaram uma flecha máxima antes de sofrerem ruptura 185% maior em média, ocasionando uma situação de grande plastificação das fibras de madeira. Para a seção da viga testada, não houve instabilidade geométrica. Esse resultado é apresentado na Figura 1 (a). A viga protendida no momento do ensaio de flexão estática a quatro pontos também pode ser visualizada na Figura 1 (b). Os demais resultados observados correspondem a um acréscimo médio de 101% na carga máxima suportada pela viga protendida quando submetida ao esforço de flexão pura. A rigidez da viga protendida se mostrou 33% superior à viga sem protensão, o que pode representar um acréscimo de 8 kN de carga em uma situação de serviço. Esses resultados podem ser visualizados graficamente na Figura 2 (a e b), em que os dados estão representados em *box plot* com as médias e suas variações.



**Figura 1** - Ensaio de flexão estática a quatro pontos: (a) resultados de flecha máxima e (b) viga protendida submetida ao ensaio de flexão

**Fonte:** Elaborada pelos Autores.



**Figura 2** - Ensaio de flexão estática a quatro pontos: (a) resultados em *box plot* da carga máxima atingida na flexão e (b) rigidez à flexão

**Fonte:** Elaborada pelos Autores.

## 4 Conclusões

É possível afirmar que a viga de madeira protendida com cabos de aço apresenta resultados mecânicos significativamente superiores aos de uma mesma viga não protendida. O colapso das vigas não protendidas ocorreu, na seção transversal analisada, por ruptura frágil das fibras tracionadas. Nas vigas protendidas, esse colapso passou a ocorrer por deformação excessivamente plástica. Fato que corrobora a segurança estrutural e utiliza eficientemente a capacidade das fibras da madeira.

**Palavras-Chave:** Sistema de protensão; Vigas de madeira; Seção transversal; Ensaio de flexão estática.

## Referências

CARDOSO, Rafael de Bona. **Atenuar o deslocamento vertical em vigas de madeira utilizando cabo de aço**. 2013. 21 f. Artigo de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

D'AVENI, A.; D'AGATA, G. Post-tensioned timber structures: New perspectives. **Construction and Building Materials**, v. 153, p. 216-224, 2017.

TAZARV, M.; CARNAHAN, Z.; WEHBE, N. Glulam timber bridges for local roads. **Engineering Structures**, v. 188, p. 11-23, 2019.