



**Universidade de Aveiro**  
Departamento de Engenharia Civil

# ENSAIO DE VIGAS DE MADEIRA LAMELADA COLADA

---

## Relatório Final

**Requerente:** Signinum - Gestão de Património Cultural;  
Rua Sete, N.º 85, Paredes, 4845-024 Rio Caldo,  
Terras de Bouro

**Identificação do trabalho:** Ensaios de vigas de madeira lamelada colada

**Local de trabalho:** Laboratório de Engenharia Civil da Universidade  
de Aveiro

**Aveiro, 07 de agosto de 2014**

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS.....	3
3. RESULTADOS .....	5
4. CONCLUSÃO .....	9
Bibliografia.....	9

## 1. INTRODUÇÃO

Por solicitação da empresa Signinum - Gestão de Património Cultural com sede na Rua Sete, N.º 85, Paredes, 4845-024 Rio Caldo, Terras de Bouro, vem o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro apresentar os resultados dos ensaios realizados em vigas de madeira lamelada colada no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

A execução e coordenação dos trabalhos estiveram a cargo do Professor Doutor Aníbal Costa e do Professor Doutor Humberto Varum.

## 2. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

Foram ensaiadas à flexão duas vigas de madeira lamelada colada da classe GL 28h de acordo com as disposições da norma EN 408 [1] e com as dimensões de  $17 \times 31 \times 730 \text{ cm}^3$  e  $17 \times 21 \times 730 \text{ cm}^3$ . As vigas são compostas por lamelas de pinho coladas entre si e unidas topo a topo por uniões dentadas. A viga de maior secção é composta por 9 lamelas e a de menor secção por 6 lamelas de igual espessura ao longo do eixo longitudinal da viga. Ambas as vigas apresentavam nós distribuídos por várias lamelas com diâmetros compreendidos entre 2 e 4cm, sensivelmente.

As vigas foram rececionadas no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro no dia 18 de junho de 2014 e acondicionadas no seu interior até à data do ensaio. A viga de maior secção foi ensaiada no dia 28 de julho e a de menor secção no dia 31 de julho.

As vigas foram instrumentadas em 9 pontos, de acordo com o esquema da Figura 1, com transdutores de deslocamento de forma a aferir flechas, rotações e esmagamento nos apoios. Foram usados dois tipos de transdutores: transdutores de fio (Fi) e LVDT's (Linear Variable Displacement Transducers, Li). Os transdutores foram colocados: (i) a meio metro dos apoios (F1, F2, F6 e F7); (ii) a meio vão (F4); (iii) nos pontos de aplicação da carga de ensaio (F3 e F5); e, (iv) sobre os apoios (L16 e L17).

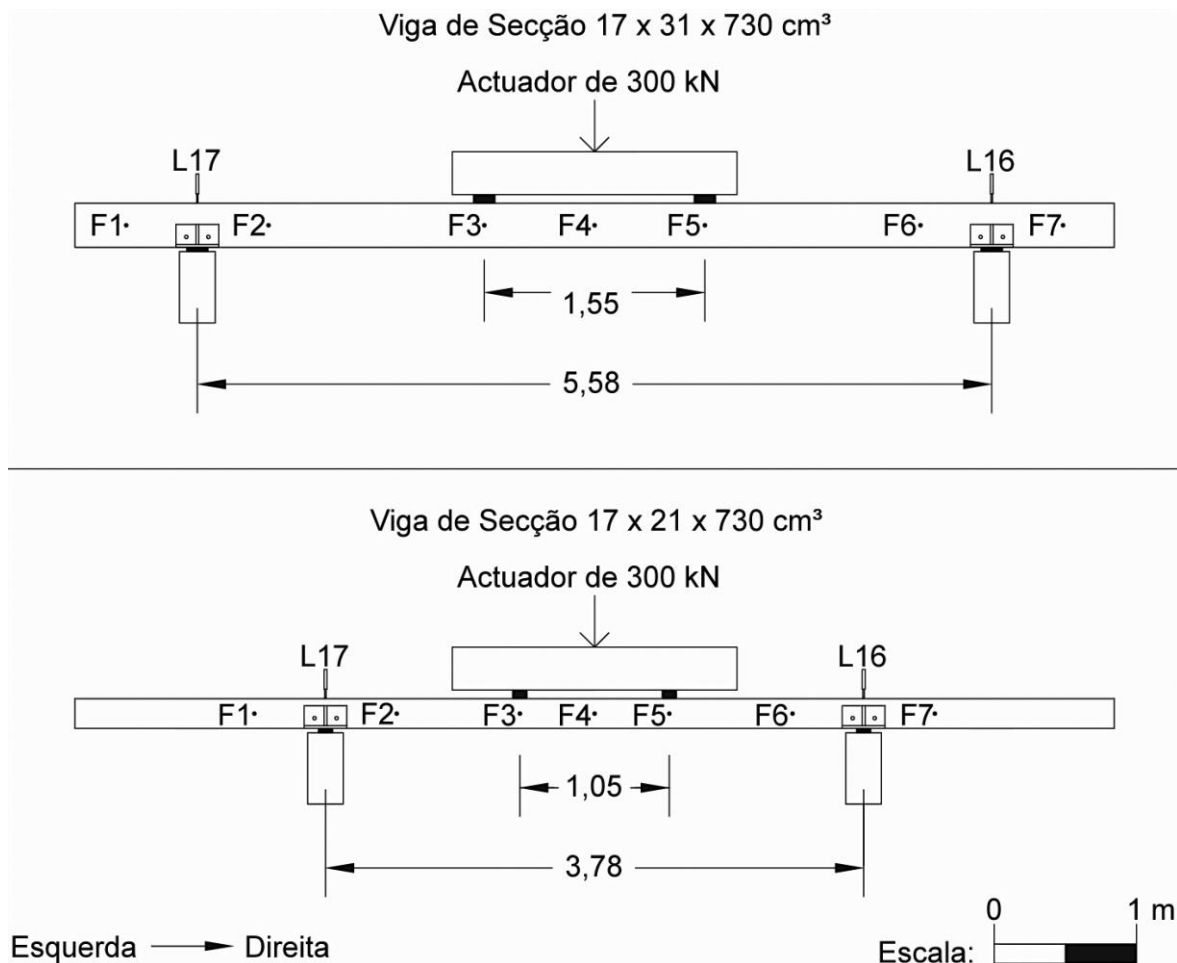


Figura 1 – Esquema de ensaio e instrumentação das vigas de madeira

A distância entre apoios e os pontos de aplicação da carga foram definidos de acordo com os artigos 10<sup>o</sup> e 13<sup>o</sup> da norma EN 408 [1]. De acordo com esta norma, as peças a ensaiar devem ser simetricamente carregadas sobre um vão igual a 18 vezes a altura da viga e os pontos de aplicação da carga devem distar de 5 vezes a altura desta.

A carga foi imposta durante o ensaio a uma velocidade de 1 mm/s e a duração dos ensaios foi inferior a 300 s, de acordo com a disposição constante no ponto 13.2<sup>o</sup> da norma EN 408 [1].

### 3. RESULTADOS

De acordo com a norma NP EN 1194 [2], as estruturas de madeira lamelada colada da classe GL 28h apresentam as seguintes propriedades mecânicas:

Tabela 1 – Propriedades mecânicas para madeira lamelada colada da classe GL28h

$\rho^{(1)}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_{0,mean}^{(1)}$ [MPa]	$f_m^{(2)}$ [MPa]
410	12600	28

1 – Valor médio  
2 – Valor característico (quantilho 5% inferior)

A rotura observada por ambas as vigas foi uma rotura tipo frágil. Na Figura 2 é possível visualizar-se os danos que as vigas apresentaram após os ensaios.



Figura 2 – Rotura apresentada pelas vigas após ensaio de flexão: a) viga de secção 17 x 31 cm<sup>2</sup>  
b) Viga de secção 17 x 21 cm<sup>2</sup>

Os diagramas Força versus Deslocamento, apresentados na Figura 3, confirmam o carácter de rotura frágil e representam um comportamento linear até ao momento em que se dá a rotura.

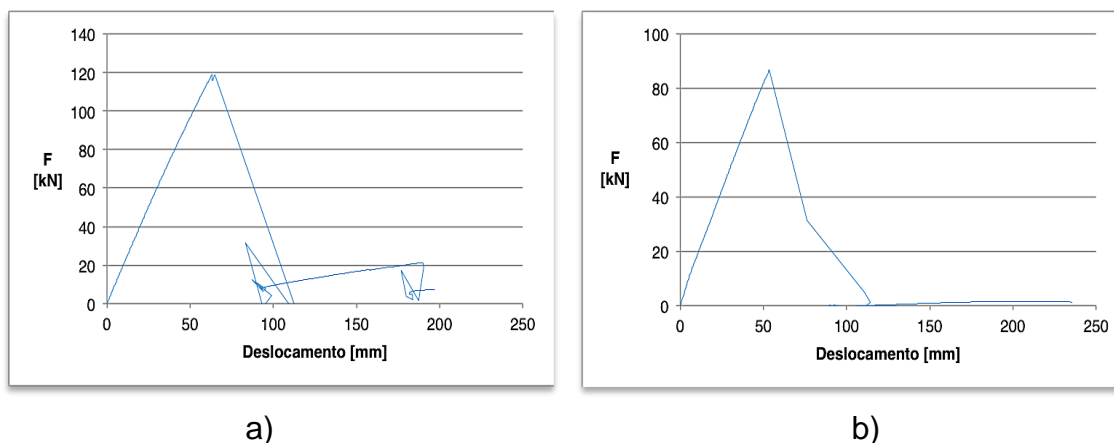


Figura 3 – Diagramas Força vs Deslocamento a meio-vão (F4): a) viga de secção 17x31  $cm^2$  ; b) viga de secção 17x21  $cm^2$

Na Tabela 2 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos nos ensaios de flexão para ambas as vigas, de acordo com as disposições da norma EN 408 [1] para a resistência à flexão ( $f_m$ ) e para o módulo de elasticidade global ( $E_{m,g}$ ). Além destes valores apresentam-se ainda a carga máxima ( $F_{max}$ ) aplicada durante o ensaio e as rotações nos apoios esquerdo e direito das vigas ( $\theta_{esq}$  e  $\theta_{dir}$ ), respetivamente.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de flexão

Viga [ $cm^3$ ]	$F_{max}$ [kN]	$f_m$ [MPa]	$E_{m,g}$ [MPa]	Flecha [mm]	$\theta_{esq}$ [ $^\circ$ ]	$\theta_{dir}$ [ $^\circ$ ]
17 x 31 x 730	119,13	44,08	15376,00	63,13	2	2
17 x 21 x 730	86,90	47,47	12556,88	53,60	2	2

Para a viga de maior secção, 17 x 31  $cm^2$ , a força máxima aplicada foi de 119,13  $kN$ , a que corresponde uma tensão normal máxima de 44,08  $MPa$  e uma flecha máxima a meio vão de 63,13  $mm$ . Para a viga de menor secção, 17 x 21  $cm^2$ , a força máxima aplicada foi de 86,90  $kN$ , a que corresponde uma tensão normal máxima de 47,48  $MPa$  e uma flecha máxima a meio vão de 53,60  $mm$ . Ambas as vigas apresentaram uma rotação de 2 $^\circ$ , na secção sobre os apoios.

A resistência à flexão ( $f_m$ ) obtida para ambas as vigas foi calculada de acordo com as disposições constantes do ponto 13.3º da norma EN 408 [1]:

$$f_m = \frac{a \cdot F_{max}}{2 \cdot W} \quad (1)$$

em que:

- **a** – distância entre uma posição de carga e o apoio mais próximo, em milímetros;
- **F<sub>max</sub>** – força máxima registada no ensaio, em Newtons;
- **W** – módulo de flexão, em milímetros ao cubo.

O módulo de elasticidade global ( $E_{m,g}$ ) foi determinado de acordo com as disposições constantes no artigo 10º da norma EN 408 [1] e de acordo com a expressão:

$$E_{m,g} = \frac{l^3(F_2 - F_1)}{bh^3(w_2 - w_1)} \left[ \left( \frac{3a}{4l} \right) - \left( \frac{a}{l} \right)^3 \right] \quad (2)$$

em que:

- **l** – distância entre apoios (vão) em flexão, em milímetros;
- **b** – base da secção, em milímetros;
- **h** – altura da secção em milímetros;
- **(F<sub>2</sub> - F<sub>1</sub>)** – incremento de carga na porção reta do diagrama Força vs Deslocamento entre 0,1F<sub>max</sub> e 0,4F<sub>max</sub> com uma correlação linear superior a 0,99 e que contenha pelo menos a porção reta entre 0,2F<sub>max</sub> e 0,3F<sub>max</sub>, em newtons;
- **(w<sub>2</sub> - w<sub>1</sub>)** – incremento de deformação correspondente a (F<sub>2</sub> - F<sub>1</sub>), em milímetros.

A Figura 4 apresenta os valores de deslocamento vertical nos apoios das vigas. Valores negativos nos gráficos da Figura 4 representam deslocamentos verticais

descendentes, enquanto que valores positivos representam deslocamentos verticais ascendentes.

A viga de menor secção apresentou um ligeiro esmagamento em ambos os apoios, designadamente, junto ao apoio esquerdo apresentou uma deformação de  $0,14 \text{ mm}$  e junto ao apoio direito  $0,39 \text{ mm}$ , Figura 4 b). A viga de maior secção apresentou um ligeiro esmagamento no início do ensaio, no apoio da direita, que foi recuperado à medida que a viga foi sendo carregada. Os sensores L16 e L17, colocados sobre a viga e ao eixo desta e dos apoios, podem ter registado um pequeno ajuste deste apoio e após os 20 kN de carga passaram a registar a elevação da viga provocada pela rotação dos apoios.

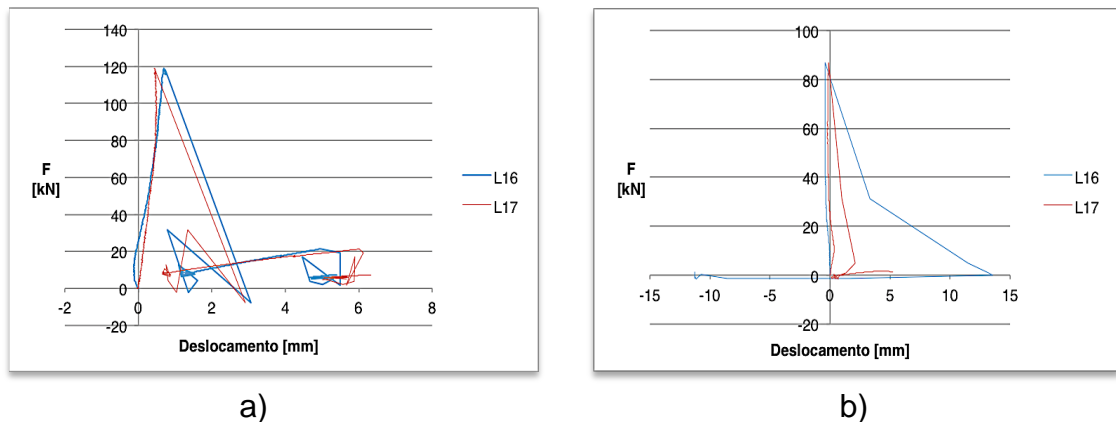


Figura 4 – Deslocamento vertical nos apoios das vigas, registado pelos sensores L16 e L17 : a) viga de secção  $17 \times 31 \text{ cm}^2$  b) Viga de secção  $17 \times 21 \text{ cm}^2$



## 4. CONCLUSÕES

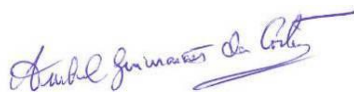
As vigas ensaiadas apresentaram uma resistência à flexão ( $f_m$ ) de 44,08 e 47,47 MPa, para a viga de maior secção e de menor secção, respetivamente.

Verifica-se que a resistência à flexão obtida é superior ao descrito na norma NP EN 1194 [2] (ver Tabela 1) em cerca de 1,6 vezes para a viga de maior secção e 1,7 vezes para a viga de menor secção. Para o módulo de elasticidade os resultados diferem muito pouco do que consta na mesma norma. Nomeadamente, para a viga de maior secção o módulo de elasticidade é 1,2 vezes maior enquanto que para a viga de menor secção os valores são muito próximos.

O esmagamento ocorrido junto aos apoios da viga de menor secção, ainda que na ordem das décimas de milímetro, pode dever-se à insuficiente largura dos apoios especificada na norma EN 408 [1] e utilizados no ensaio desta viga.

Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 25 de agosto de 2014

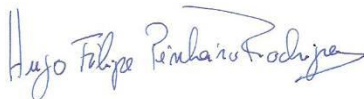
### Equipa Técnica



Aníbal Costa  
Prof. Catedrático - UA



Humberto Varum  
Prof. Auxiliar - UA



Hugo Rodrigues  
Prof. Eng. Colaborador UA



Jorge Fonseca  
Bolseiro - UA

## Bibliografia

- [1] CEN, 2003, "EN 408 - Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. ," p. 31.
- [2] IPQ, 2002, "NP EN 1194 - Estruturas de madeira. Madeira lamelada colada. Classes de resistência e determinação dos valores característicos," Instituto Português da Qualidade, p. 16.