

# CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE TOROS DE MADEIRA LAMELADA COLADA

J. M. Branco<sup>1</sup>, P. J. S. Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistente, <sup>2</sup>Prof. Associado com agregação

ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal



## RESUMO

*Neste trabalho descreve-se a caracterização mecânica de toros de madeira lamelada colada pertencentes a um sistema construtivo de casas pré-fabricadas de madeira. Os módulos de elasticidade global e local à flexão, à compressão paralela e perpendicular às fibras, bem como os valores das respectivas tensões resistentes, foram obtidos de acordo com a norma Europeia EN 408:2003. Na análise destas propriedades foi tida em conta a influência do número de lamelas, ao considerar-se para cada uma das propriedades mecânicas analisadas três valores para a espessura dos toros.*

## 1- INTRODUÇÃO

O sistema construtivo com paredes de toros empilhados utilizado na construção de casas pré-fabricadas de madeira apresenta toros de madeira maciça ou lamelada colada como elemento base. O facto dos toros de madeira lamelada colada serem formados por lamelas dispostas verticalmente (glulam vertical) e não horizontalmente (glulam horizontal), como a maioria da madeira lamelada colada, constitui a particularidade da presente investigação. Os toros são obtidos a partir da colagem de lamelas, face a face, de acordo com a EN 386 (2001), podendo apresentar três possíveis espessuras, 80 mm, 120 mm e 160 mm, materializadas pela colagem de 2, 3 e 4 lamelas, respectivamente. Apesar de previstos na regulamentação vigente [EN 386 (2001)], são escassos os estudos sobre glulam vertical.

O presente trabalho resulta da necessidade de uma adequada caracterização mecânica dos toros de glulam vertical, dado que as lamelas usadas não tinham sido previamente classificadas

com vista à utilização em causa. Com este fim, foi prevista uma campanha experimental realizada no Laboratório de Estruturas da Universidade do Minho (LEST). Nesta campanha, [Cruz et al (2007a, 2007b e 2007c)], foram ensaiados: a) toros à flexão, com 3 m de comprimento, apresentando três secções transversais  $80 \times 150 \text{ mm}^2$  (2 lamelas),  $120 \times 150 \text{ mm}^2$  (3 lamelas) e  $160 \times 150 \text{ mm}^2$  (4 lamelas); b) à compressão paralela às fibras três tipos de provetes:  $45 \times 270 \times 80 \text{ mm}^3$  (1 lamela),  $120 \times 480 \times 80 \text{ mm}^3$  (3 lamelas) e  $160 \times 480 \times 80 \text{ mm}^3$  (4 lamelas); e c) à compressão perpendicular às fibras três tipos de provetes:  $45 \times 90 \times 70 \text{ mm}^3$  (1 lamela),  $120 \times 150 \times 156 \text{ mm}^3$  (3 lamelas) e  $160 \times 150 \times 208 \text{ mm}^3$  (4 lamelas).

## 2 – MATERIAL

Os toros de madeira lamelada colada ensaiados foram produzidos nas instalações da RUSTICASA e pretendem constituir exemplares representativos dos

elementos utilizados pelo processo construtivo desenvolvido por aquela empresa para a construção de habitações pré-fabricadas em madeira. Os toros são obtidos a partir da colagem de lamelas, face a face, de acordo com a EN 386 (2001), podendo apresentar três possíveis espessuras: 80 mm, 120 mm e 160 mm, materializadas pela colagem de 2, 3 e 4 lamelas, respectivamente (figura 1).

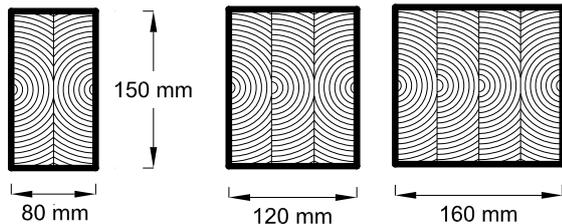


Fig 1 – Seções transversais dos troncos analisados

A madeira que constitui as lamelas é da espécie *Pinus Sylvestris* L. (Casquinha), adquirida ao fornecedor escandinavo com o requisito mínimo de ser pertencente à Classe de Qualidade VI (ou Classe C segundo a nova designação), de acordo com Anon (1994) (Nordic Timber - Grading rules for pine and spruce sawn timber). Ou seja, a madeira das lamelas é adquirida tendo por base uma classificação visual para fins não estruturais. Aquando da recepção dos toros nas instalações do LEST e no dia da realização dos ensaios, os teores em água dos toros foram medidos recorrendo a um humidímetro, tendo por base leituras em três pontos das faces de cada toro, tal como sugerido pela UNI 11035-1 (2003).

### 3 – PROCEDIMENTO DE ENSAIO

O procedimento experimental adoptado para os vários ensaios realizados é baseado no estipulado pela EN 408:2003 – Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties, CEN 2003. Trata-se de um ensaio de flexão a 4 pontos (dois pontos de carga), sendo que a força é aplicada por apenas um actuador, onde se encontra a célula de carga. A força

aplicada pelo actuador é distribuída pelos dois pontos de aplicação no provete através de um elemento metálico de elevada rigidez sendo a ligação entre o elemento metálico e o provete, rotulada.

#### 3.1 – Flexão

Foram ensaiados à flexão 24 toros com 2,7 m de vão livre: 8 com secção transversal  $80 \times 150 \text{ mm}^2$ , 8 com secção transversal  $120 \times 150 \text{ mm}^2$  e 8 com secção transversal  $160 \times 150 \text{ mm}^2$ . Foi imposto um deslocamento na célula de carga a uma velocidade constante de  $0,14 \text{ mm/s}$  ( $\leq 0,003h \text{ mm/s}$ , ver definição de  $h$  na equação 2), de forma que a força máxima fosse atingida no intervalo  $300 \pm 120 \text{ s}$ , como preconizado pela norma EN 408 (2003). A célula de carga usada tem uma capacidade máxima de 200 kN. Os deslocamentos locais são medidos na zona central do provete com um comprimento 5 vezes a sua altura, a partir de dois transdutores de deslocamentos colocados no eixo neutro das duas faces com curso de 25,0 mm. Os deslocamentos globais são medidos a partir dum transdutor de deslocamentos incorporado no actuador. A figura 2 apresenta o esquema de ensaio e as dimensões adoptadas de acordo com a EN 408 (2003).

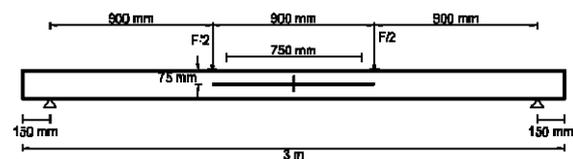


Fig 2 - Esquema de ensaio de flexão estática adoptado

#### 3.2 – Compressão paralela às fibras

Foram ensaiados à compressão paralela às fibras 24 provetes: 8 provetes com dimensões  $45 \times 80 \times 270 \text{ mm}^3$ , 8 provetes com dimensões  $80 \times 120 \times 480 \text{ mm}^3$  e 8 provetes com dimensões  $80 \times 160 \times 480 \text{ mm}^3$ . Os provetes foram colocados verticalmente entre os discos da máquina de teste. Entre o disco superior da célula de carga e o provete foi colocada uma peça metálica para evitar o esmagamento localizado no provete. Os deslocamentos locais são medidos na zona central do provete a partir de 2 extensómetros “TML PL-60-11”,

colocados nas faces maiores, com 60 mm de comprimento. Os deslocamentos globais são medidos a partir dum transdutor externo de controlo com curso de 10 mm. Foi imposto um deslocamento no topo do provete a uma velocidade constante de 0,010 mm/s para os provetes 45×80×270 mm<sup>3</sup> ( $\leq 0,00005l$  mm/s, sendo  $l$  o comprimento do provete, em milímetros), de 0,019 mm/s para os provetes 80×160×480 mm<sup>3</sup> e de 0,020 mm/s para os provetes 160×480×80 mm<sup>3</sup>, de forma que a força máxima ( $F_{m\acute{a}x}$ ) fosse atingida no intervalo 300±120 s, como preconizado pela norma. A célula de carga usada tem uma capacidade máxima de 1000 kN. A figura 3 apresenta o esquema de ensaio adoptado de acordo com a EN 408 (2003).

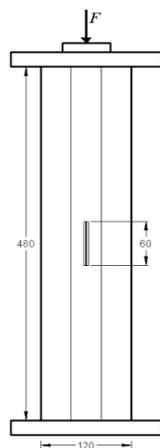


Fig 3 - Esquema de ensaio de compressão paralela às fibras adoptado

### 3.3 – Compressão perpendicular às fibras

Foram ensaiados à compressão perpendicular às fibras 30 provetes: 10 provetes de 45×90×70 mm<sup>3</sup>, 10 provetes de 120×150×156 mm<sup>3</sup> e 10 provetes de 160×150×208 mm<sup>3</sup>. Entre o disco superior da célula de carga e o provete foram colocados uma peça metálica e um dispositivo tipo rótula para evitar o esmagamento localizado no provete. As deformações locais são medidas na zona central do provete a partir de 3 transdutores de deslocamentos, com precisão 5,0 mm e 1 transdutor de deslocamento com curso de 10,0 mm, colocados nas 4 faces, com um comprimento aproximadamente 60% a altura do provete ( $0,6h=h_0$ ), distanciados da base de

cerca de um terço do seu valor. Os deslocamentos globais são medidos a partir dum transdutor de deslocamento externo de controlo com curso de 10 mm. Foi imposto um deslocamento com uma velocidade constante de 0,005 mm/s para os provetes 45×90×70 mm<sup>3</sup>, de 0,01 mm/s para os provetes de 120×150×156 mm<sup>3</sup> e de 0,011 mm/s para os provetes de 160×150×208 mm<sup>3</sup>, de forma que a força máxima ( $F_{c,90,m\acute{a}x}$ ) fosse atingida no intervalo 300±120 s, como preconizado pela norma. A célula de carga usada tem uma capacidade máxima de 500 kN. A figura 4 apresenta o esquema de ensaio e as dimensões adoptadas de acordo com a EN 408 (2003).

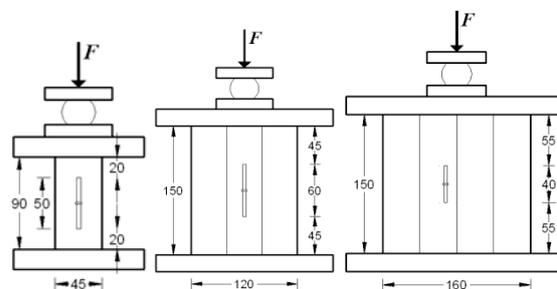


Fig 4 - Esquemas de ensaio de compressão perpendicular às fibras adoptado

## 4 – EXPRESSÃO DE RESULTADOS

### 4.1 – Flexão

O módulo de elasticidade local à flexão (MPa) é calculado a partir da seguinte equação:

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2 \Delta F}{16I \Delta w} \quad (1)$$

onde  $\Delta F$  é o incremento de carga no regime elástico (N),  $\Delta w$  é o incremento do deslocamento vertical correspondente (mm),  $a$  é a distância entre os pontos de aplicação da carga e o apoio (mm),  $l_1$  é o comprimento do dispositivo para determinação do módulo de elasticidade (mm), ou seja 750 mm, e  $I$  é a inércia (mm<sup>4</sup>) dada por:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (2)$$

onde  $b$  e  $h$  são a largura e a altura do toro (mm), respectivamente.

O módulo de elasticidade global (MPa) obtém-se a partir dos valores de deformação medidos no centro do provete a partir do seu eixo neutro, sendo calculado através da seguinte fórmula:

$$E_{m,g} = \frac{l^3 \Delta F}{bh^3 \Delta w} \left[ \frac{3a}{4l} - \left( \frac{a}{l} \right)^3 \right] \quad (3)$$

onde  $l$  é o vão da viga (mm).

A resistência à flexão (MPa) é dada por:

$$f_m = \frac{aF_{máx}}{2W} \quad (4)$$

onde  $F_{máx}$  é a carga máxima obtida (N) e  $W$  é o módulo de flexão ( $\text{mm}^3$ ), que para uma secção rectangular é igual a:

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (5)$$

O coeficiente de ductilidade estática,  $D$ , é obtido através do quociente entre o deslocamento último,  $D_u$ , correspondente ao valor da força máxima, e o deslocamento elástico,  $D_y$ , correspondente ao limite elástico:

$$D = \frac{D_u}{D_y} \quad (6)$$

#### 4.2 – Compressão paralela às fibras

A tensão de resistência à compressão paralela às fibras (MPa) é definida a partir da seguinte equação:

$$f_{c,0} = \frac{F_{máx}}{A} \quad (7)$$

onde  $F_{máx}$  é a força máxima obtida (N) e  $A$  é a área da secção transversal ( $\text{mm}^2$ ).

O módulo de elasticidade à compressão paralela (MPa) é calculado a partir da seguinte equação:

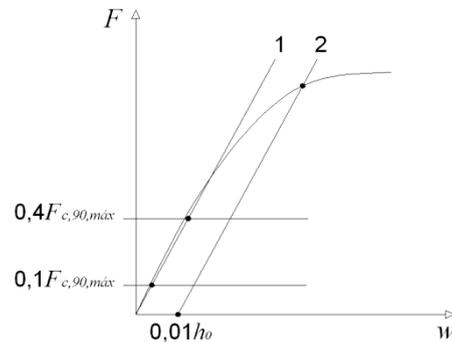
$$E_{c,0} = \frac{l_1 \cdot \Delta F}{A \cdot \Delta w} \quad (8)$$

onde  $\Delta F$  é o incremento de carga no regime elástico da curva força – deslocamento (N),  $\Delta w$  é o incremento da deformação corres-

pondente (mm) e  $l_1$  o comprimento do dispositivo para determinação do módulo de elasticidade (mm), ou seja 60 mm.

#### 4.3 – Compressão perpendicular às fibras

A força máxima de compressão perpendicular às fibras (MPa) é definida através de um processo iterativo onde se estima  $F_{c,90,max,est}$ , de acordo com a norma EN 408 (2003) (equação 9 e figura 5).



**Fig 5** - Determinação da resistência à compressão perpendicular às fibras, através da curva força-deslocamento

$$f_{c,90} = \frac{F_{c,90,max}}{bl} \quad (9)$$

onde  $F_{c,90,max}$  é a carga obtida (N) no processo iterativo e  $bl$  é a área da secção transversal ( $\text{mm}^2$ ).

O módulo de elasticidade à compressão perpendicular às fibras (MPa) é calculado a partir da seguinte expressão:

$$E_{c,90} = \frac{(F_{40} - F_{10})h_o}{(w_{40} - w_{10})bl} \quad (10)$$

onde  $F_{40}$  e  $F_{10}$  representam respectivamente 40% e 10% da força máxima  $F_{c,90,max}$  (N),  $w_{40}$  e  $w_{10}$  são os valores da deformação correspondente (mm) e  $h_o$  o comprimento de deformação local.

### 5 – APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

#### 5.1 – Flexão

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam os principais resultados em termos de teor em água ( $W$ ),

tempo ( $T$ ) correspondente à força máxima, resistência à flexão ( $f_m$ ), módulo de elasticidade global ( $E_{m,g}$ ), módulo de elasticidade local ( $E_{m,l}$ ) e coeficiente de ductilidade estática ( $D$ ). Na figura 6 apresentam-se as curvas força-deslocamento central obtidas nos ensaios à flexão dos toros de secção transversal  $160 \times 150 \text{ mm}^2$ .

**Tabela 1** - Resultados obtidos para os toros de secção transversal  $80 \times 150 \text{ mm}^2$

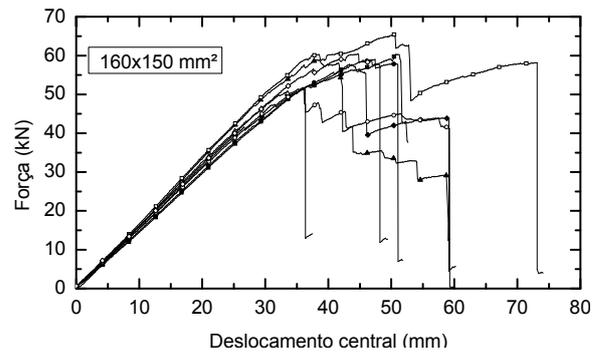
Toro	$W$ (%)	$T$ (s)	$f_m$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)	$E_{m,l}$ (MPa)	$D$
1	13,8	338	37,99	9689	9039	1,47
2	13,8	258	37,71	11454	10108	1,83
3	14,9	320	46,19	12059	11330	1,03
4	15,2	247	41,28	12917	12825	1,39
5	15,2	180	25,47	11121	11407	1,80
6	15,4	240	33,34	11519	10465	1,71
7	16,7	296	45,38	12706	11935	1,37
8	16,0	251	30,00	9926	9019	2,18
Média			37,17	11424	10766	1,60
Desvio			7,27	1173	1357	0,36
C.O.V			0,20	0,10	0,13	0,22

**Tabela 2** - Resultados obtidos para os toros de secção transversal  $120 \times 150 \text{ mm}^2$

Toro	$W$ (%)	$T$ (s)	$f_m$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)	$E_{m,l}$ (MPa)	$D$
1	15,4	268	35,65	11919	11524	2,08
2	15,1	274	34,34	11647	12389	1,82
3	15,8	315	44,25	12293	12181	1,65
4	15,7	361	53,20	13064	12583	1,32
5	16,3	320	46,34	12064	12030	1,40
6	16,3	298	39,95	11657	11349	1,50
7	16,2	355	38,54	12296	12619	2,24
8	15,8	398	48,85	11786	10429	1,69
Média			42,64	12091	11888	1,71
Desvio			6,64	469	749	0,32
C.O.V			0,16	0,04	0,06	0,19

### 5.2 – Compressão paralela às fibras

As tabelas 4, 5 e 6 apresentam os principais resultados em termos de força máxima ( $F_{c,0,max}$ ) (valor e tempo para o qual foi alcançada), resistência à compressão paralela ( $f_{c,0}$ ) e correspondente módulo de elasticidade



**Fig 6** - Curvas força-deslocamento central obtidas nos ensaios à flexão dos toros de secção transversal  $160 \times 150 \text{ mm}^2$

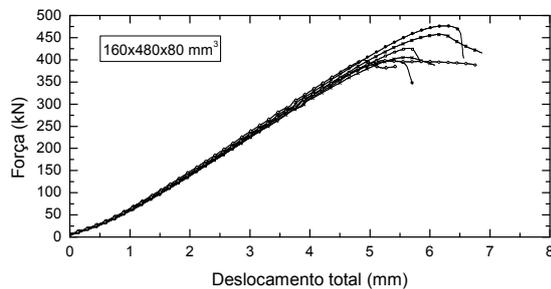
**Tabela 3** - Resultados obtidos para os toros de secção transversal  $160 \times 150 \text{ mm}^2$

Toro	$W$ (%)	$T$ (s)	$f_m$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)	$E_{m,l}$ (MPa)	$D$
1	15,9	363	45,25	11581	11274	1,48
2	15,4	340	44,28	11588	11051	1,44
3	16,3	274	44,17	13338	13116	1,80
4	16,6	322	42,39	12182	12586	1,94
5	16,6	362	49,09	13154	12139	2,14
6	15,9	257	38,68	11905	11965	1,96
7	16,3	259	38,88	12458	13783	1,18
8	15,7	320	45,32	12213	12886	1,43
Média			43,51	12302	12350	1,67
Desvio			6,64	3,47	658	927
C.O.V			0,16	0,08	0,05	0,08

**Tabela 4** - Resultados obtidos para os provetes de dimensões  $45 \times 270 \times 80 \text{ mm}^3$  (1 lamela)

Provete	$T$ (s)	$F_{c,0,max}$ (kN)	$f_{c,0}$ (MPa)	$E_{c,0}$ (MPa)
1	253	130,35	36,21	11731
2	321	139,01	38,61	12001
3	246	109,66	30,46	7789
4	268	138,53	38,48	11462
5	288	126,39	35,11	10897
6	265	130,20	36,17	9854
7	312	149,81	41,61	12130
8	340	143,19	39,77	11504
Média		133,39	37,05	10921
Desvio		12,28	3,41	1457
C.O.V		0,09	0,09	0,13

( $E_{c,0}$ ). Na figura 7 apresentam-se as curvas força-deslocamento total obtidas nos ensaios à compressão paralela às fibras para os provetes de  $160 \times 480 \times 80 \text{ mm}^2$ .



**Fig 7** - Curvas força-deslocamento total obtidas nos ensaios à compressão paralela às fibras dos provetes  $160 \times 480 \times 80 \text{ mm}^2$

**Tabela 5** - Resultados obtidos para os provetes de dimensões  $120 \times 480 \times 80 \text{ mm}^3$  (3 lamelas)

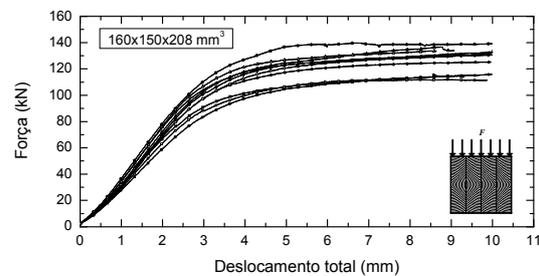
Provete	$T$ (s)	$F_{c,0,máx}$ (kN)	$f_{c,0}$ (MPa)	$E_{c,0}$ (MPa)
1	221	280,06	29,17	10486
2	244	309,44	32,23	12601
3	246	308,28	32,11	10160
4	265	365,36	38,06	14372
5	264	327,03	34,07	11340
6	251	317,26	33,05	12591
7	229	283,30	29,51	11267
8	252	321,93	33,53	12200
Média		314,08	32,72	11877
Desvio		26,80	2,79	1358
C.O.V		0,09	0,09	0,11

### 5.3 – Compressão perpendicular às fibras

As tabelas 7, 8 e 9 apresentam os principais resultados em termos de força máxima ( $F_{c,90,máx}$ ) (valor e tempo para o qual foi alcançada), resistência à compressão perpendicular às fibras ( $f_{c,90}$ ) e correspondente módulo de elasticidade ( $E_{c,90}$ ). Na figura 8 apresentam-se as curvas força-deslocamento obtidas nos ensaios à compressão perpendicular às fibras nos provetes  $160 \times 150 \times 208 \text{ mm}^3$ .

**Tabela 6** - Resultados obtidos para os provetes de dimensões  $160 \times 480 \times 80 \text{ mm}^3$  (4 lamelas)

Provete	$T$ (s)	$F_{c,0,máx}$ (kN)	$f_{c,0}$ (MPa)	$E_{c,0}$ (MPa)
1	245	399,79	31,23	11979
2	279	405,64	31,69	10483
3	309	457,33	35,73	10781
4	313	476,77	37,25	10505
5	283	426,32	33,31	11036
6	270	397,82	31,08	10515
7	262	398,73	31,15	11931
8	245	423,20	33,06	11033
Média		423,20	33,06	11033
Desvio		32,00	2,50	660
C.O.V		0,08	0,08	0,06



**Fig 8** - Curvas força-deslocamento total obtidas nos ensaios à compressão perpendicular às fibras nos provetes e dimensões  $160 \times 150 \times 208 \text{ mm}^3$  (4 lamelas)

**Tabela 7** - Resultados obtidos para os provetes de dimensões  $45 \times 90 \times 70 \text{ mm}^3$  (1 lamela)

Provete	$T$ (s)	$F_{c,90,máx}$ (kN)	$f_{c,90}$ (MPa)	$E_{c,90}$ (MPa)
1	325	7,53	2,39	239
2	289	7,97	2,53	282
3	307	8,10	2,57	279
4	348	8,19	2,60	228
5	208	7,01	2,23	464
6	290	7,22	2,29	272
7	322	8,55	2,71	290
8	237	6,92	2,20	285
Média		7,62	2,42	309
Desvio		0,56	0,18	81
C.O.V		0,07	0,07	0,26

**Tabela 8** - Resultados obtidos para os provetes de dimensões 120×150×156 mm<sup>3</sup> (3 lamelas)

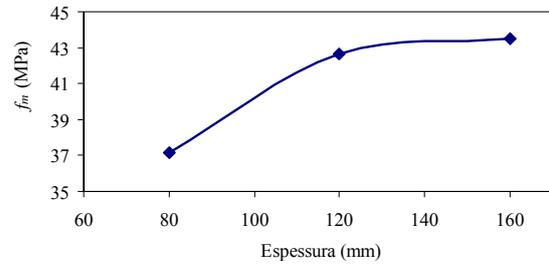
Provete	T (s)	$F_{c,90,máx}$ (kN)	$f_{c,90}$ (MPa)	$E_{c,90}$ (MPa)
1	310	49,85	2,66	330
2	353	62,15	3,32	394
3	332	63,43	3,39	470
4	327	55,93	2,99	277
5	331	57,17	3,05	237
6	355	64,24	3,43	287
7	333	64,38	3,44	368
8	354	56,29	3,01	213
Média		59,10	3,16	315
Desvio		4,89	0,26	77
C.O.V		0,08	0,08	0,25

**Tabela 9** - Resultados obtidos para os provetes de dimensões 160×150×208 mm<sup>3</sup> (4 lamelas)

Provete	T (s)	$F_{c,90,máx}$ (kN)	$f_{c,90}$ (MPa)	$E_{c,90}$ (MPa)
1	325	92,57	2,78	255
2	336	108,20	3,25	459
3	330	113,56	3,41	238
4	302	95,47	2,87	444
5	308	110,67	3,33	475
6	318	106,43	3,20	460
7	300	92,33	2,77	404
8	322	121,24	3,64	427
Média		106,89	3,21	380
Desvio		10,20	0,31	89
C.O.V		0,10	0,10	0,23

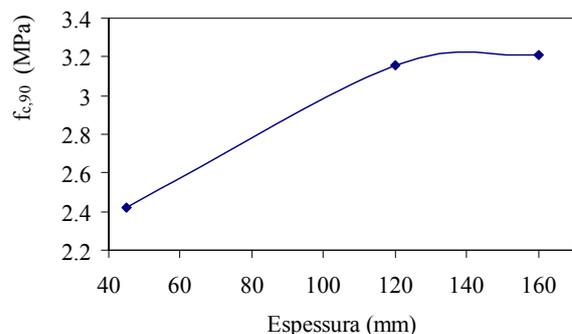
## 6 – ANÁLISE DE RESULTADOS

Com o aumento da espessura dos toros de 80 para 160 mm, correspondente à colagem de 2 lamelas e 4 lamelas, respectivamente, verifica-se um incremento nos resultados experimentais para o valor da resistência à flexão de 17%, figura 9. Pela análise dos modos de rotura obtidos nos diferentes toros ensaiados, verifica-se que a presença de *finger joints* e de nós nas proximidades das zonas de aplicação de força influencia a rotura. Esta influência é maior no caso dos toros de secção transversal menor (80×150 mm<sup>2</sup>). Enquanto

**Fig 9** - Valores experimentais médios da tensão de resistência à flexão em função da espessura do toro

que nos toros de maior secção transversal menor (80×150 mm<sup>2</sup>). Enquanto que nos toros de maior secção transversal (160×150 mm<sup>2</sup>) a rotura se deu, na maior parte dos casos, pela zona traccionada com dano localizado da zona comprimida, mediante a contribuição das várias lamelas constituintes, nos de secção menor (80×150 mm<sup>2</sup>) a rotura deu-se apenas, na maior parte dos casos, pela zona traccionada de uma lamela.

O aumento da espessura dos provetes de 45 mm para 160 mm, traduzida pelos provetes de 1 lamela e 4 lamelas, respectivamente, não contribui para uma melhoria nos resultados experimentais para o valor da tensão de resistência à compressão paralela às fibras e respectivo módulo de elasticidade. Pelo contrário, com o aumento da espessura dos provetes de 45 mm para 160 mm (1 e 4 lamelas, respectivamente) verifica-se uma melhoria nos resultados experimentais obtidos para o valor da tensão de resistência à compressão perpendicular às fibras de 25%, figura 10, e de 19% para o respectivo módulo de elasticidade.

**Fig 10** - Valores experimentais médios da tensão de resistência à compressão perpendicular às fibras em função da espessura do provete

## 7 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados da análise experimental realizada é possível concluir que:

- Os toros  $80 \times 150 \text{ mm}^2$  conduzem a valores médios de resistência à flexão de 37 MPa e módulo de elasticidade global de 11400 MPa; os toros de secção transversal  $120 \times 150 \text{ mm}^2$  conduzem a valores médios de resistência à flexão de 43 MPa e módulo de elasticidade global de 12000 MPa; os toros de secção transversal  $160 \times 150 \text{ mm}^2$  conduzem a valores médios de resistência à flexão de 44 MPa e módulo de elasticidade global de 12300 MPa;
- Os provetes  $45 \times 270 \times 80 \text{ mm}^3$  conduzem a valores médios de tensão de resistência à compressão paralela às fibras de 37 MPa e respectivo módulo de elasticidade de 10900 MPa; os provetes de dimensões  $120 \times 480 \times 80 \text{ mm}^3$  conduzem a valores médios de tensão de resistência à compressão paralela às fibras de 33 MPa e respectivo módulo de elasticidade de 11900 MPa; por último, os provetes de dimensões  $160 \times 480 \times 80 \text{ mm}^3$  conduzem a valores médios de tensão de resistência à compressão paralela às fibras de 33 MPa e respectivo módulo de elasticidade de 11000 MPa;
- Os provetes  $45 \times 90 \times 70 \text{ mm}^3$  conduzem a valores médios de tensão de resistência à compressão perpendicular às fibras de 2,4 MPa e respectivo módulo de elasticidade de 309 MPa; os provetes com 3 lamelas de dimensões  $120 \times 150 \times 156 \text{ mm}^3$  conduzem a valores médios de tensão de resistência à compressão perpendicular às fibras de 3,2 MPa e respectivo módulo de elasticidade de 315 MPa; por último, os provetes com 4 lamelas de dimensões  $160 \times 150 \times 208 \text{ mm}^3$  conduzem a valores médios de tensão de resistência à compressão perpendicular às fibras de 3,2 MPa e respectivo módulo de elasticidade de 380 MPa;
- A presença de um maior número de superfícies coladas garante um comportamento global da secção transversal mais efectivo, resultando num aumento dos valores das tensões resistentes à flexão e à compressão perpendicular às fibras e respectivos módulos de elasticidade;

- A rotura dos provetes é influenciada pela presença de nós e número de superfícies coladas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à RUSTICASA o fornecimento dos provetes necessários à realização da presente campanha experimental.

## REFERÊNCIAS

- Anon, Nordic Timber - Grading rules for pine and spruce sawn timber (The Blue Book). Stockholm: The Assoc. of Swedish Sawmillmen. ISBN 91-7322-227-5, 1994.
- Cruz, P.J.S., Branco, J.M. e Santos, A.F., Caracterização à flexão dos toros. Relatório N.º07-DEC/E-17, Universidade do Minho, 2007.
- Cruz, P.J.S., Branco, J.M. e Santos, A.F., Caracterização à compressão paralela às fibras. Relatório N.º07-DEC/E-18, Universidade do Minho, 2007.
- Cruz, P.J.S., Branco, J.M. e Santos, A.F., Caracterização à compressão perpendicular às fibras. Relatório N.º07-DEC/E-19, Universidade do Minho, 2007.
- EN 338:2003, Bois de structure – Classes de résistance. CEN, 2003.
- EN 386:2001, Glued laminated timber - Performance requirements and minimum production requirements. CEN, 2001.
- EN 408:2003, Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. CEN, 2003.
- UNI 11035-1:2003, Structural timber - Visual strength grading for Italian structural timbers: terminology and measurement of features. UNI – Milano, 2003.