

## **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE LIGAÇÕES ESTRUTURAIS EM MADEIRA LAMELADA COLADA POR MEIO DE PARAFUSOS AUTOPERFURANTES**

### **EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF GLULAM STRUCTURAL CONNECTIONS THROUGH SELF-DRILLING SCREWS**

João CUNHA<sup>1</sup>; Edgar V. Mantilla CARRASCO<sup>2</sup>; Jorge BRANCO<sup>3</sup>, Paulo LOURENÇO<sup>4</sup>

**RESUMO** – Neste artigo é avaliado o comportamento de ligações autoperfurantes em madeira glulam, utilizando a metodologia de cálculo preconizada pelo Eurocódigo 5 para o cálculo da força estimada e para a identificação dos modos de rotura. O programa experimental e os cálculos para o coeficiente de deslizamento foram definidos pela Norma Europeia EN 26891:1991. Os resultados experimentais obtidos são discutidos e comparados com a metodologia proposta por Tomasi. Os resultados indicam que o modo de rotura, neste tipo de ligação, é o modo f. Os valores de capacidade de carga obtidos pelo Eurocódigo 5, quando comparados com os experimentais, são conservadores e os obtidos pelo método proposto por Tomasi superestima.

**Palavras-chave:** parafusos autoperfurantes, madeira laminada colada, ligações estruturais

**ABSTRACT** - In this paper we evaluated the behavior of self-drilling wood glulam connections, using the calculation methodology recommended by the Eurocode 5 for calculating the estimated strength and the identification of failure modes. The experimental program and the calculations for the coefficient of slip defined by the European standard EN 26891:1991. The experimental results are discussed and compared with the methodology proposed by Tomasi. The results indicate that the mode of failure in this type of connection is the way f. The load capacity values obtained by the Eurocode 5 when compared with the experimental, are conservative and those obtained by the method proposed by Tomasi overestimates.

**Keywords:** self-drilling screws, glulam, structural joints

---

<sup>1</sup> Mestrando, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal. cunha.civil@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas, UFMG. E-mail: mantilla@dees.ufmg.br

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal. jbranco@civil.uminho.pt

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal. pbl@civil.uminho.pt

## INTRODUÇÃO

O sistema de ligação WT SFS apresenta uma variedade de tipologias para ligações madeira – madeira, nomeadamente secções mistas como ligações laje – viga, viga – coluna, asnas, entre outros.

Em termos de ligações laje – viga, Angeli et al. (2010) apresenta um estudo na utilização deste tipo de conectores com varias inclinações para aplicação em pavimentos tradicionais de madeira. Com o objetivo de determinar a rigidez dos pavimentos Piazza et al., (2010), investigaram a utilização do sistema WT SFS em vigas antigas, com uma inclinação de 45°. Dentro deste conceito, Tomasi et al. (2010) propõe um método de cálculo da capacidade de carga das ligações dependendo da sua inclinação de penetração.

As ligações auto perfurantes são usadas para reforço de ligações viga principal – secundária, de vigas entalhadas e até reforço da compressão normal às fibras.

Neste trabalho o objetivo é à verificação e determinação dos modos de rotura de parafusos auto perfurantes, WT SFS, com uma penetração de 45° em relação às fibras, obtendo os coeficientes de deslizamento e carga de rotura do sistema utilizado.

## MATERIAIS E METODOS

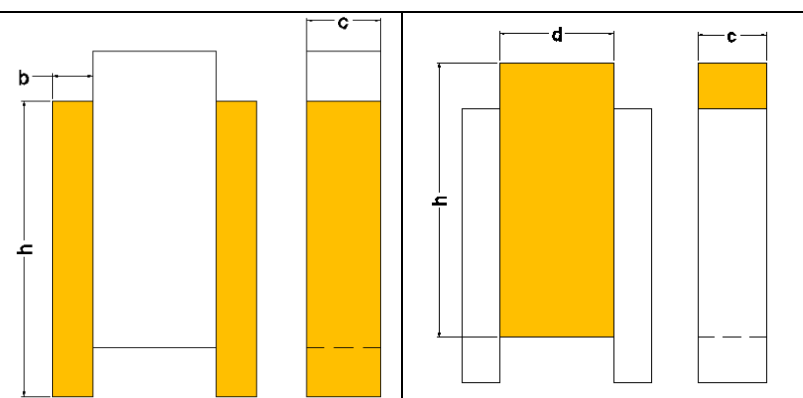
A madeira utilizada para o desenvolvimento do programa experimental foi a lamelada colada (glulam). A especificação da classe de resistência e os valores característicos da madeira lamelada colada foram fornecidos pelo fabricante e seguem as recomendações da Norma Portuguesa EN 1194:1999, (Tabela 1). As dimensões da glulam estão especificadas no Quadro 1.

Tabela 1 – Valores característicos da resistência, da rigidez (N/mm<sup>2</sup>) e da massa volúmica (kg/m<sup>3</sup>).

<b>Característica mecânica</b>	<b>GL 24h</b>
Resistência à flexão	$f_{m,g,k}$ 24
Resistência à tracção	$f_{t,0,g,k}$ 16.5
	$f_{t,90,g,k}$ 0.4
Resistência à compressão	$f_{c,0,g,k}$ 24
	$f_{c,90,g,k}$ 2.7
Resistência ao corte	$f_{v,g,k}$ 2.7
Módulo de elasticidade	$E_{0,g,mean}$ 11600
	$E_{0,g,05}$ 9400
	$E_{90,g,mean}$ 390
Módulo de distorção	$G_{g,mean}$ 720
Massa Volúmica	$\rho_{g,k}$ 380

Quadro 1 – Dimensões da madeira lamelada colada (Glulam).

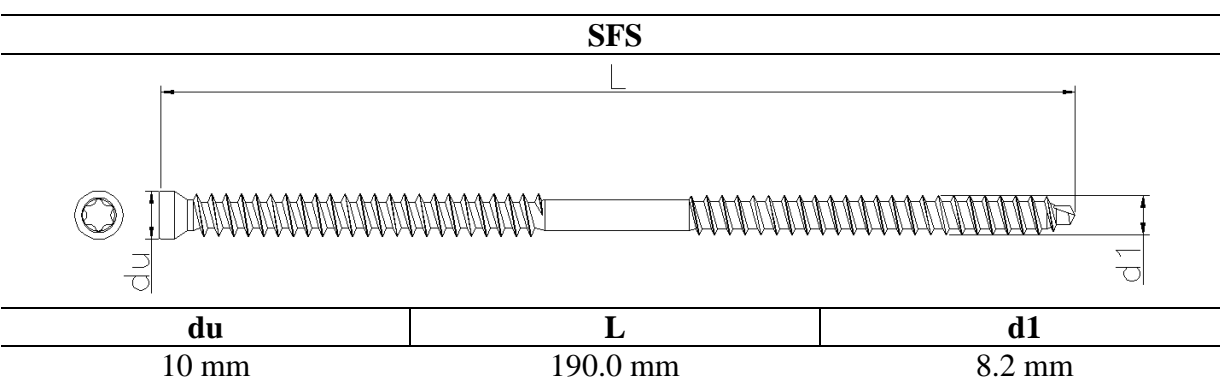
Glulam			
b (mm)	h (mm)	c (mm)	d (mm)
66	480	120	200



Relativamente às ligações foram usados parafusos auto perfurantes WT SFS de 8.2 mm de diâmetro e com um comprimento de 190 mm. Quadro 2 estão apresentadas as características.

Quadro 2 – Características geométricas dos conectores WT SFS.

SFS		
du	L	d1
10 mm	190.0 mm	8.2 mm



Os provetes foram preparados usando uma cunha de madeira com uma de inclinação de 45° para garantir que os ligadores fossem aparafusados com o máximo de precisão, como mostrado na Figura 1. Com este material procedeu-se à ligação dos 3 blocos de glulam através dos parafusos, produzindo 4 provetes. De modo a combater os momentos que poderiam surgir, durante o ensaio, provocando abertura entre os blocos de madeira, foram colocados travamentos laterais, apenas encostado evitando desta maneira a introdução de forças de atrito. Assim os ligadores ficariam só submetidos ao esforço de corte.



Figura 1 – Preparação dos provetes (corpos-de-prova).

O procedimento de ensaio foi preparado com base na Norma Europeia EN 26891:1991. Que consiste em seguir um programa de carga definido pela norma, obtendo uma curva carga - deslocamento o mais próxima possível da que está apresentada na Figura 2-b.

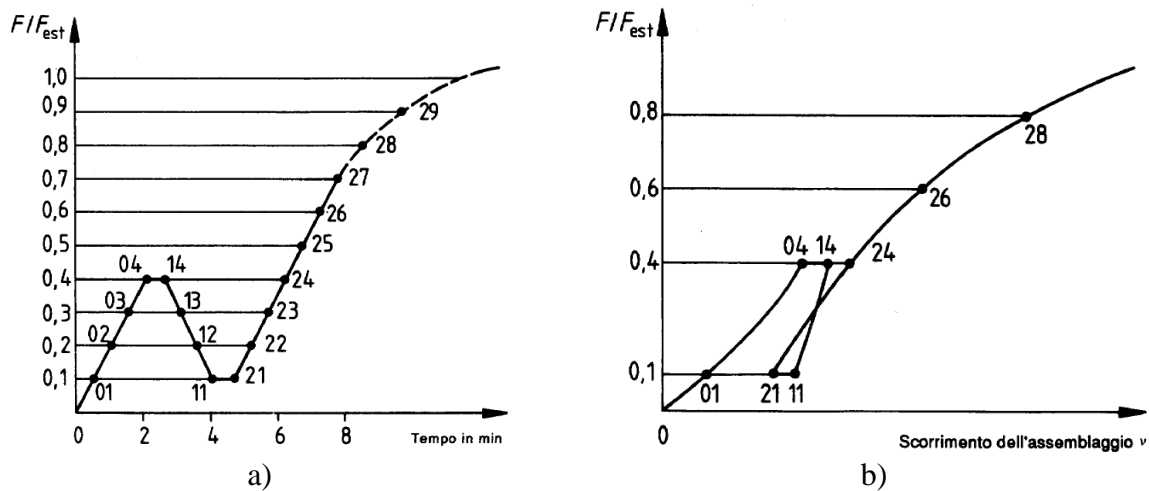


Figura 2 – a) Programa de carga b) e curva carga – deslocamento esperada

Para a obtenção destes gráficos, o cálculo da força estimada,  $F_{est}$ , foi realizado através do Eurocódigo 5, item 8.2.2, Equação (1). Nesta equação cada expressão representa um modo de ruptura.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,1,k} t_1 d & \text{a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{(1 + \beta)} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_1}{t_2} + \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_1}{t_2} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{(2 + \beta)} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} t_1^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{(1 + 2\beta)} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} t_2^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{f)} \end{array} \right. \quad (1)$$

Na Figura 3 é apresentado o esquema de ensaio. Para a leitura da força aplicada foi usado uma célula de carga de 10 kN e para a medida do deslocamento relativo entre as peças de madeira foi utilizado LVDTs com sensibilidade de 0,01 mm, precisão na leitura de dados de  $\pm 0.1\%$  e um fundo de escala de 40 mm. Para a colocação dos LVDTs, optou-se pela fixação de 2 cantoneiras no ponto onde os parafusos se cruzam, ou seja, a meio do provete, Figura 4. Desta forma a medida do deslizamento entre as peças é mais precisa, enquanto que nos testes realizados por Tomasi et al. (2010) a medida do deslocamento relativo entre as 2 peças pode ser fortemente influenciada pela deformação da madeira. A metodologia adoptada

para a realização dos ensaios foi o mais possível concordante com a Norma Europeia EN 26891.

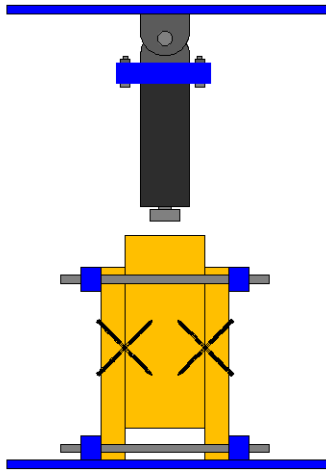


Figura 3 – Esquema de ensaio.

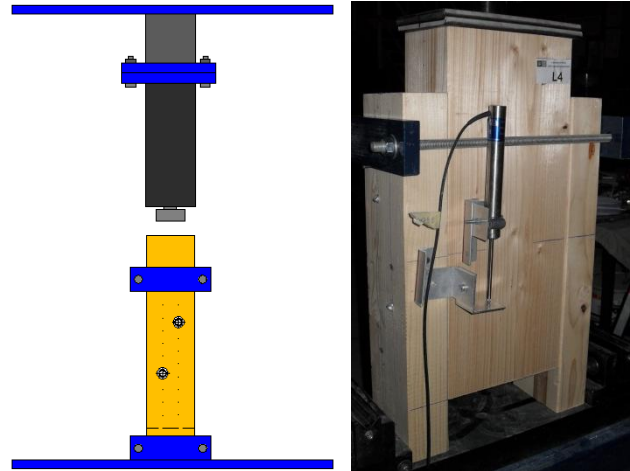
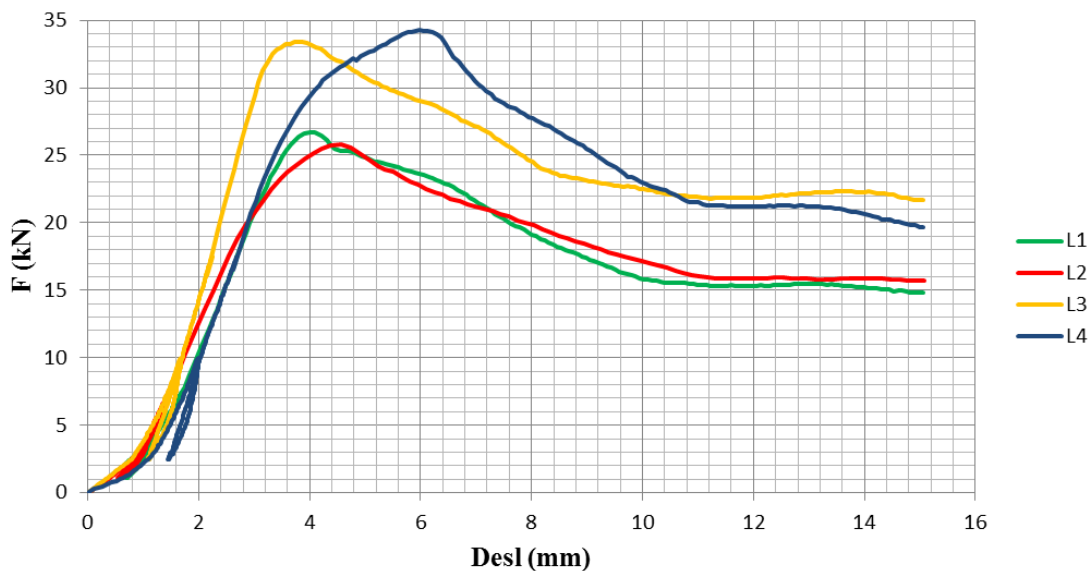


Figura 4 – Provette antes do ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras e tabelas seguintes, apresentam-se os resultados dos ensaios experimentais realizados e os parâmetros obtidos a partir deles. A força máxima ( $F_{max}$ ) alcançada no ensaio do primeiro provete, permitiu a determinação da força estimada ( $F_{est}$ ) para os ensaios seguintes.

Na Figura 5 é apresentado as curvas Força – deslocamento obtidos nos ensaios de corte assim como um exemplo da deformabilidade do provete após o ensaio.



a)

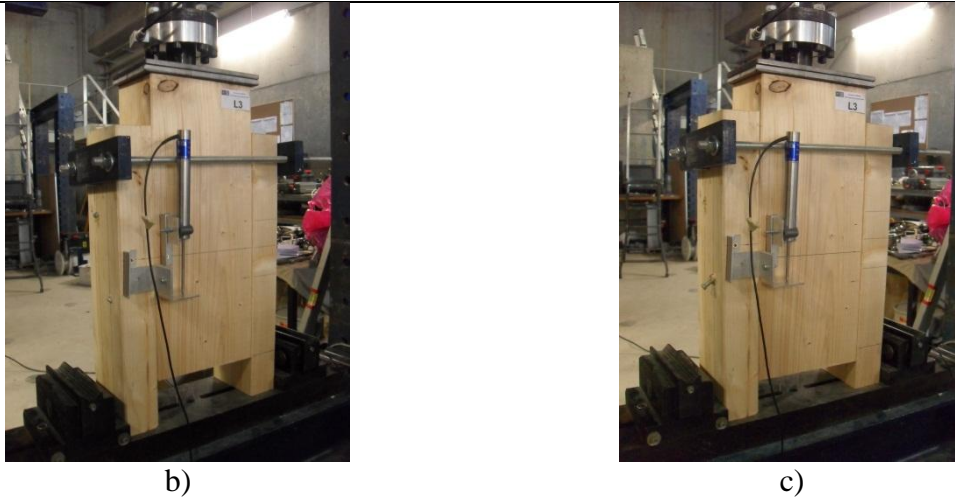


Figura 5 – a) Curva de resultados Força – deslocamento, b) Provete L\_3 antes do ensaio e c) Provete L\_3 depois do ensaio.

De acordo com a EN 26891, o valor do módulo de deslizamento,  $K_{ser}$ , foi determinado a partir dos valores da força e deslocamento nos pontos  $0.1F_{est}$  e  $0.4F_{est}$ , utilizando a Equação (2).

$$K_{ser} = 0,4 \cdot F_{est} / v_{i,mod} \quad (2)$$

Sendo  $F_{est}$  a força estimada e  $v_{i,mod}$  obtido através da Equação (3).

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3} (v_{0.4} - v_{0.1}) \quad (3)$$

Onde  $v_{0.4}$  e  $v_{0.1}$  representam o valor dos deslocamentos obtidos para  $0.4F_{est}$  e  $0.1F_{est}$ , respectivamente.

Os resultados obtidos nos ensaios e os calculados estão apresentados na Tabela .





Tabela 2 – Resultados dos ensaios de corte.

Provete	$F_{est}$ kN	$F_{max}$ kN	$K_{ser}$ (exp) N/mm
L 1	20.97	25.78	7.63
L 2	20.97	26.72	6.93
L 3	25.0	33.41	5.99
L 4	25.0	34.25	5.03
<b>Média</b>	<b>22.99</b>	<b>30.04</b>	<b>6.39</b>

No Quadro são apresentados e identificados os modos de rotura obtidos nos testes experimentais.



Quadro 3 – Modos de rotura.

Modo de rotura obtidos nos testes	Modo de rotura preconizado pelo EC 5
	
	

A Figura 6 representa esquematicamente o mecanismo que desenvolveu à identificação do modo de rotura dos conectores. Está em vista a formação de 2 rotulas plásticas na deformação do conector.

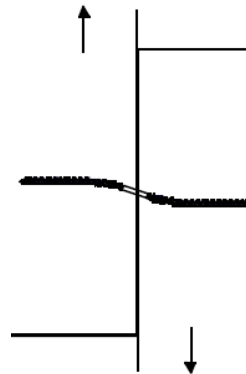


Figura 6 – Mecanismo de rotura.

Com a finalidade de comparar os resultados referentes à capacidade de carga, foi estimada a força máxima: através do Eurocódigo por meio da equação 1-f, através do método de cálculo de Tomasi et al. (2010) por meio da Equação (4) e pela fornecedora dos conectores a qual define um valor característico resistente de 10.98 kN por cada par de conectores, ou seja,  $R_{v,k} = 21.96$  kN.

$$R_f = F_{ax,a,Rk} \times (\mu \cdot \cos \alpha + \text{sen } \alpha) + (1 - \mu \cdot \tan \alpha) \times \sqrt{2\beta / (1 + \beta)} \times \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d \cdot \cos^2 \alpha} \quad (4)$$

com o coeficiente de fricção igual a zero,  $\mu=0$ , o ângulo de penetração  $45^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ , obtém-se:  $R_f = 34.24$  kN.

Na figura 7 é apresentada um figura comparando estes valores. Observa-se que o Eurocódigo subestima o valor da capacidade de carga da ligação em 30,6%, a fornecedora dos

conectores também subestima em 36,8%, já o método proposto por Tomasi superestima em 12,3%.

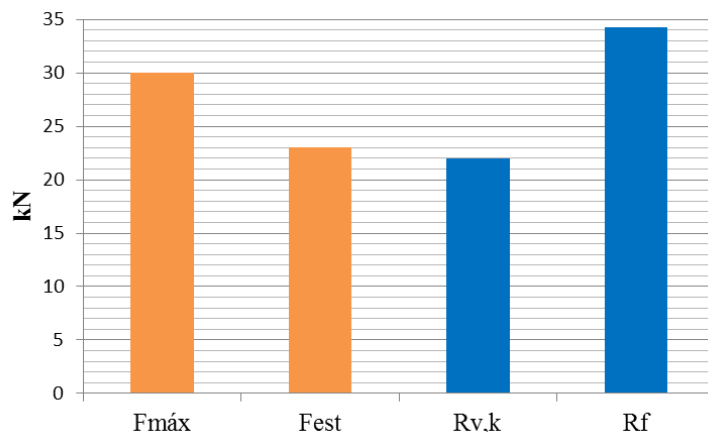


Figura 7 – Gráfico representativo da média da  $F_{máx}$  e  $F_{est}$  e dos valores característicos de  $R_{v,k}$  e  $R_f$ .

## CONCLUSÕES

Para a avaliação das forças resistentes a Rhotoblaas e o EC 5 apresentam os valores mais conservativos, enquanto que o método de cálculo de Tomasi ultrapassa os valores experimentais obtidos nestes ensaios de corte.

Em atenção aos modos de rotura, obteve-se, segundo o EC 5, um tipo de rotura f, que consiste na formação de 2 rótulas plástica que proporciona à deformação dos parafusos nesses pontos.

É necessário referir que o tipo de madeira utilizado nestes ensaios influencia nos resultados, pois a ocorrência de esmagamento da madeira na zona interfere na capacidade resistente do parafuso.

## REFERÊNCIAS

ANGELI, A., TOMASI, R., PIAZZA, M., RIGGIO, M. Refurbishment of tradicional Timber Floor by means of wood - wood composite structures assembled with inclined screw connectors. In: **World Conference Timber engineering** – Trentino, Italy, 20 a 24 de junho de 2010.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, EN 408: 2003. **Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties**, Brussels, 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, EN 1995-1-1:2004. Eurocode 5: **Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings**, Brussels, 2004.

UNI EN 26891:1991. Strutture di legno. **Assemblaggi realizzati tramite elementi meccanici di collegamento. Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e Deformabilita**. Italia, 1991.



---

TOMASI, R., CROSATTI, A., PIAZZA, M. Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws. **Construction and Building Materials**, v. 24, p.1560-1571, 2010.

PIAZZA, M., RIGGIO, M., TOMASI, R., GIONGO, I. Comparison of In Situ and Laboratory Testing for Characterization of Old Timber Beams Before and After Intervention. **Advanced Materials Research**, v. (133 - 134), p. 1101-1106, 2010.