



## ANÁLISE EXPERIMENTAL DE CONECTORES SEMIRRÍGIDOS EM ESTRUTURAS MISTAS DE CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) E CONCRETO

Luciano Ferreira dos Santos<sup>1</sup>; Nilson Tadeu Mascia<sup>2</sup> \*; Ramon Vilela<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Municipal de São Caetano do Sul (USCS), São Caetano do Sul/SP, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas/SP, Brasil.

\* e-mail do autor correspondente: [ntm@unicamp.br](mailto:ntm@unicamp.br)

**Resumo:** Sistemas de piso em estrutura mista CLT-Concreto como solução estrutural na concepção de edifícios de madeira têm proporcionado elevada resistência e rigidez à flexão, além de muitas outras vantagens. Neste trabalho, avaliou-se experimentalmente o comportamento mecânico de dois diferentes tipos de conexões – ligação com parafusos autoatarraxantes dispostos em X inclinados de 30° e ligação híbrida combinando a configuração anterior de parafusos com entalhe na madeira. Realizou-se o ensaio de cisalhamento de curta duração, de acordo com a norma BS EN 26891, em corpos de prova de pequenas dimensões, determinando-se a resistência das ligações. A partir dos diagramas de carga x deslocamento caracterizou-se o módulo de deslizamento para o ELS e ELU, parâmetro que quantifica a rigidez da conexão. Constatou-se via resultados obtidos que o primeiro tipo ligação é cerca de 72% mais rígido e resistente, indicando que a presença do entalhe melhora o desempenho da ligação.

**Palavras-chave:** estrutura mista; conector de cisalhamento; módulo de deslizamento; ligação semirrígida.

### EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SEMI-RIGID CONNECTORS IN COMPOSITE STRUCTURES OF CROSS-LAMINATED TIMBER (CLT) AND CONCRETE

**Abstract:** Floor system in composite CLT-Concrete structure as a structural solution in the design of timber buildings has provided high strength and flexural rigidity, in addition to many other advantages. In this work, the mechanical behavior of two different types of connections was experimentally evaluated – connection with self-tapping screws arranged in X inclined at 30° and hybrid connection combining the previous configuration of screws with wood notch. According to BS EN 26891 standard, the short-term shear test was carried out on small-size specimens, the strength of the connections was determined. From load x displacement diagrams the slip modulus for the ELS and ELU was characterized, parameter that quantifies the stiffness of the connection system. It was found from the obtained results that the first type of connection is about 72%,

indicating that the presence of the notch improves the performance of the connection.

**Keywords:** composite structure; shear connector; slip modulus; semi-rigid connection.

## 1. INTRODUÇÃO

Na concepção estrutural de edifícios de madeira, os esforços horizontais são determinantes, e a demanda por rigidez cria a necessidade de ligações rígidas nos sistemas convencionais. A adoção de um sistema de piso em estrutura mista CLT-Concreto tem se apresentado como uma solução para o aumento de rigidez à flexão e capacidade de resistência. A integração de uma estrutura mista se deve, em geral, à eficiência do sistema de ligação que pode ser feita por diversos tipos de conectores, caracterizando-se então numa ligação rígida ou flexível. Esse sistema de ligação transmite a força de cisalhamento na interface dos dois materiais e impede o desprendimento transversal dos mesmos (*uplift*). Assim, conhecer as propriedades mecânicas dos conectores de cisalhamento é fundamental.

Neste trabalho, avaliou-se de forma experimental, dois diferentes tipos de conexões: i) ligação com parafusos autoatarraxantes dispostos em X inclinados de 30° (Série PI); ii) ligação híbrida, combinando a configuração anterior com entalhe na madeira de forma retangular e contínua (Série EP). O objetivo foi determinar a resistência e a rigidez das ligações, via ensaio de cisalhamento em corpos de prova de pequenas dimensões, seguindo as recomendações da norma europeia BS EN 26891 [1].

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As peças de CLT foram fabricadas pela Crosslam-Brasil com madeira da espécie *Pinus taeda*, coladas com adesivo estrutural à base de poliuretano (Purbond® HB S709). A espessura da placa foi de 160 mm, constituída de 5 camadas, com lamelas de 40 mm e 20 mm de espessura dispostas na direção longitudinal e transversal (40L-20T-40L-20T-40L). A classificação foi C30 (camadas externas) e C20 (camadas internas) [2], conforme a NBR 7190 [3] (ver Tabela 1).

Tabela 1: Resistência e rigidez das amostras de caracterização do CLT

	$f_{c0,k}$ (MPa) (1)	$f_{c90,k}$ (MPa) (2)	$E_{c0,m}$ (MPa) (3)	$E_{c90,m}$ (MPa) (4)	(kg/m <sup>3</sup> ) <sup>(5)</sup>
Vilela e Mascia [2] <sup>(8)</sup>	47,53 $(f_{c0,12\%}) -$ 14,11% (CoV)	2,80 ( $f_{c90,12\%}$ ) - 5,54% (CoV)	18828 $(E_{c0,12\%}) -$ 17,78% (CoV)	301 $(E_{c90,12\%}) -$ 24,57% (CoV)	594 (externas) <sup>(9)</sup> 554 (internas)

<sup>(1)</sup> Resistência característica de compressão paralela às fibras; <sup>(2)</sup> Resistência característica de compressão normal às fibras; <sup>(3)</sup> Valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; <sup>(4)</sup> Valor médio do módulo de elasticidade na compressão normal às fibras; <sup>(5)</sup> Peso específico aparente à 12% de umidade; <sup>(6)</sup> Valores característicos estimados segundo os critérios da norma; <sup>(7)</sup> Valor médio de referência conforme Anexo E da norma; <sup>(8)</sup> Valor médio (aritmético) das amostras à 12% de umidade (CoV = coeficiente de variação); <sup>(9)</sup> Amostras coletadas de lamelas

externas e internas

A classe de resistência do concreto foi C30, com compressão de 34,29 MPa e de para a tração de 2,35 Mpa, valores obtidos respectivamente de ensaios de compressão e de compressão diametral em corpos de prova padrão de concreto. O módulo de deformação ( $E_{ci}$ ) e o secante ( $E_{cs}$ ) foram estimados em 30672 MPa e 26838 Mpa [4]. Para se evitar a fissuração do concreto, usou-se uma tela de aço soldada (Q159), de malha quadrada de 10 cm, bitola de 4,5 mm. Os parafusos autoatarraxantes da conexão foram da Rothoblaas©-VGS 9240, de uso estrutural, com diâmetro nominal de 9 mm, comprimento de 240 mm, resistências à extração de 11,7 MPa e ao escoamento de 1000 MPa.

Os corpos de prova (Figura 1) foram do tipo assimétrico O comprimento de ancoragem dos parafusos na madeira foi de 150 mm e no concreto de 90 mm. Entre a madeira e o concreto, utilizou-se um filme de polietileno para criar uma barreira higroscópica e controlar a influência da umidade.

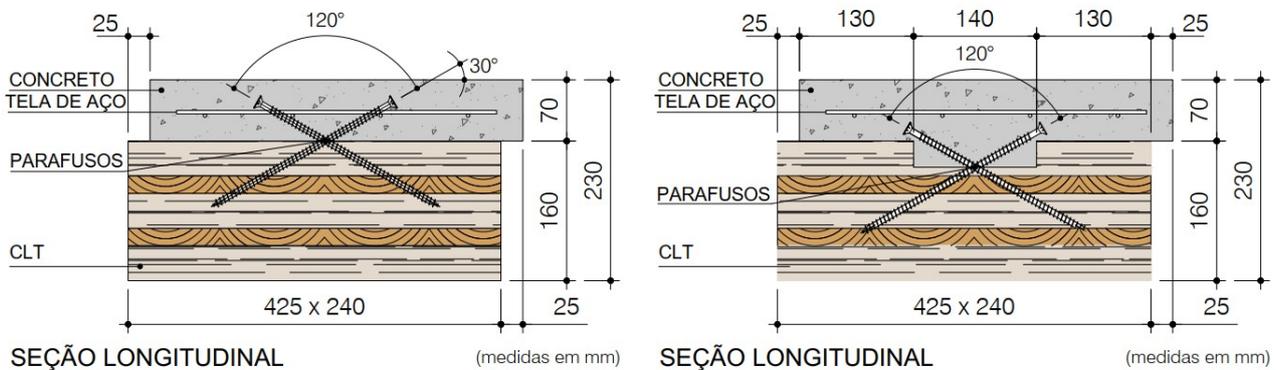


Figura 1 – Geometria corpos de prova: série PI (Esquerda). Geometria corpo de prova série EP (Direita)

Para avaliar a resistência e a rigidez das ligações realizaram-se ensaios de cisalhamento em 7 amostras de cada série, usando um equipamento (Figura 2) para computar o deslocamento relativo entre a madeira e o concreto em função da força aplicada. O carregamento foi estimativo pela carga máxima ( $F_{est}$ ) advinda de testes preliminares e mantido sem desvio maior que 20% [1]. No primeiro ciclo de carregamento, carregaram-se as amostras até  $0,4 F_{est}$  com taxa constante de  $0,2 F_{est}$  por minuto, por 30 segundos, depois aliviadas para  $0,1 F_{est}$  e mantidas por 30 segundos. No segundo ciclo, a carga seguiu até  $0,7 F_{est}$  e, o teste terminou quando atingiu a carga máxima, ou o deslocamento atinge 15 mm.

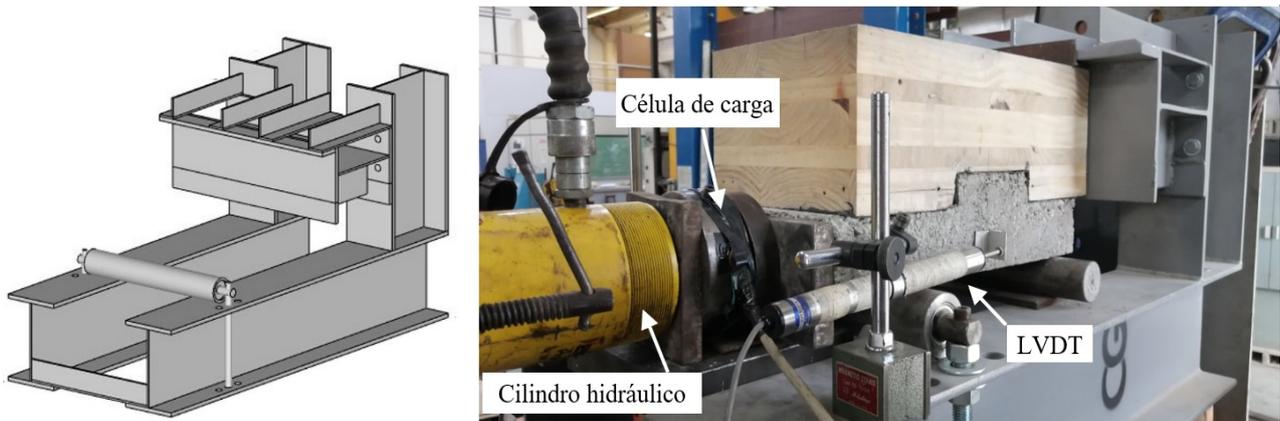


Figura 2 – Esquema do equipamento para adaptação do corpo de prova assimétrico e imagem do ensaio de uma amostra

Através do diagrama de carga/deslocamento a rigidez da ligação foi determinada e o cálculo do módulo de deslizamento para os casos: i) Estado limite de serviço (ELS), determinando-se o módulo de deslizamento ( $K_s$  ou  $K_{ser}$ ); ii) módulo de deslizamento elástico ( $K_e$ ); iii) Estado limite último (ELU), determinando-se o módulo de deslizamento último ( $K_u$ ).

Na análise estatística foi utilizado o teste-t para 2 amostras independentes para avaliar a diferença entre as médias dos grupos PI e EP, quanto aos parâmetros  $F_{max}$ ,  $K_{ser}$ ,  $K_e$  e  $K_u$ . Para a categorização da intensidade das relações adotaram-se os parâmetros correlacionais (positivo ou negativo) apresentados por [5].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os diagramas de carga versus deslocamentos das duas séries ensaiadas. Observa-se que a variação de resultados entre as amostras de uma mesma série foi pequena, porém, quando comparadas entre grupos, a diferença foi significativa. As amostras da série PI mostraram-se mais flexíveis, típicos de uma ligação semirrígida, enquanto que para a série EP as inclinações foram mais elevadas, marcantes em ligações rígidas. Na Tabela 2 estão listados os resultados das análises.

Figura 3: Diagramas de carga versus deslocamentos das amostras ensaiadas

A partir da análise estatística, os resultados de p-valor dos testes de normalidade indicaram aderência à distribuição normal. Nos testes de homogeneidade das variâncias, a resistência das ligações ( $F_{max}$ ) não se assumiu a igualdade de variâncias dos dados entre as séries, mas para as rigidezes ( $K_{ser}$ ,  $K_e$  e  $K_u$ ) a igualdade de variâncias foi assumida. O teste-t para comparar as médias dos parâmetros analisados, mostrou diferença estatística entre as séries PI e EP. Aplicando-se a

correlação de Pearson ( $r$ ), a intensidade das relações testadas categorizou-se com tamanho de efeito muito forte ( $> 0,9$ ).

Tabela 2: Resultados experimentais e estatísticos dos parâmetros avaliados

Parâmetros analisados		Resistência			Rigidez		
		$F_{max}$ (kN)	$v_{max}$ (mm)	$v_{max}/F_{max}$ (%)	$K_{ser}$ (kN/mm)	$K_e$ (kN/mm)	$K_u$ (kN/mm) <sup>(10)</sup>
Série PI	<sup>(1)</sup>	62,52	4,17	6,58	19,81	28,73	13,21
	$s$ <sup>(2)</sup>	7,88	1,54	1,80	6,93	7,51	4,61
	$CoV$ <sup>(3)</sup>	12,60	36,90	27,30	34,97	26,13	34,94
Normalidade <sup>(4)</sup>	$p$ -valor	0,725	-	-	0,155	0,322	0,155
Série EP	<sup>(1)</sup>	222,55	3,19	1,45	74,12	130,01	49,88
	$s$ <sup>(2)</sup>	23,98	0,71	0,36	18,05	24,85	12,03
	$CoV$ <sup>(3)</sup>	10,78	22,13	24,99	24,12	19,11	24,12
Normalidade <sup>(4)</sup>	$p$ -valor	0,527	-	-	0,089	0,443	0,086
Homogeneidade <sup>(5)</sup>	$p$ -valor	0,048	-	-	0,227	0,174	0,227
Teste- $t$ <sup>(6)</sup>	$p$ -valor	< 0,001	-	-	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	$t$ -valor <sup>(7)</sup>	-16,77	-	-	-7,53	-10,32	-7,53
	$\nu$ <sup>(8)</sup>	7	-	-	12	12	12
Tamanho de efeito	$r$ <sup>(9)</sup>	0,99	-	-	0,91	0,95	0,91

<sup>(1)</sup> Média amostral; <sup>(2)</sup> Desvio padrão; <sup>(3)</sup> Coeficiente de variação (%); <sup>(4)</sup> Teste de normalidade pelo método de Anderson-Darling (AD); <sup>(5)</sup> Teste de homogeneidade das variâncias pelo método de Levene; <sup>(6)</sup> Teste- $t$  (*Two sample t-test*) para comparação de médias de duas amostras independentes; <sup>(7)</sup> Estatística de teste; <sup>(8)</sup> Graus de liberdade; <sup>(9)</sup> Coeficiente de correlação de Pearson; <sup>(10)</sup>  $K_u = 2/3 K_{ser}$ , portanto, as análises estatísticas são iguais aos dois parâmetros.

#### 4. CONCLUSÕES

No tocante a resistência e rigidez da ligação, o resultado médio das amostras da série EP foi aproximadamente 72% superior aos da série PI. Isso indica que a presença do entalhe aumenta significativamente o desempenho de tais parâmetros de ligação. Além disso, a contribuição dos parafusos nessa ligação híbrida evita o modo de ruptura totalmente frágil.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BS EN 26891. Timber structures: joints made with mechanical fasteners-British Standard,1991.
- [2] Vilela, R.; Mascia, N.T. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira de *Pinus taeda* provenientes de placas de cross laminated timber. Ambiente Construído, 22021;1 (4): 89-110.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.



# VCBCTEM

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DA MADEIRA

- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [5] Field, A. Descobrimo a estatística usando o SPSS. 5. ed. Porto Alegre: Grupo A - Bookman, 2020.