



## ANÁLISES EXPERIMENTAIS DE ESTRUTURA RETICULADA MLC- GLULAM VINCULADA COM LIGAÇÕES SEMIRRÍGIDAS

### EXPERIMENTAL ANALYSIS OF GLULAM ORTHOGONAL RETICULATED STRUCTURE WITH SEMI-RIGID JOINT

Dussarrat Brito, Leandro<sup>(1)</sup>; Icimoto, Felipe Hideyoshi<sup>(2)</sup>; Pereira, Marcos Cesar Moraes<sup>(3)</sup>;  
Nogueira, Rodrigo de Souza<sup>(4)</sup>; Calil Junior, Carlito<sup>(5)\*</sup>

<sup>(1)</sup>DSc. Pesquisador Pós-Doutorado em Engenharia de Estruturas. SET/LaMEM/EESC/USP. São Carlos, Brasil.

<sup>(2)</sup>DSc. Pesquisador Pós-Doutorado em Engenharia de Estruturas. SET/LaMEM/EESC/USP. São Carlos, Brasil.

<sup>(3)</sup>MSc. Doutorando em Engenharia de Materiais. CEM/LaMEM/EESC/USP. São Carlos, Brasil.

<sup>(4)</sup>MSc. Doutorando em Engenharia de Estruturas. SET/LaMEM/USP. São Carlos, Brasil.

<sup>(5)</sup>PhD. Prof. Titular. Departamento Engenharia de Estruturas, SET. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, LaMEM. Escola de Engenharia de São Carlos, EESC. Universidade de São Paulo, USP. São Carlos, Brasil.

<sup>(5)\*</sup>Contacto: [calil@sc.usp.br](mailto:calil@sc.usp.br)

CÓDIGO: F1- 4608343 -CLEM\_2019

#### Resumo

Este trabalho se caracteriza por estudos experimentais realizados em um protótipo original de estrutura reticulada ortogonal, tipo grelha, apoiada nos quatro cantos, constituída por elementos estruturais em madeira lamelada colada (GRELHA MLC-GLULAM) de pinus SP, vinculadas com barras nervuradas de aço CA-50 coladas com adesivo epóxi, idealizando-as como ligações semirrígidas momento-resistente. O posicionamento das barras de aço CA-50 coladas com adesivo epóxi, foi admitido segundo as recomendações normativas da ABNT NBR 7190: 1997 e do Anexo C do PrEN 1995-2: 2003 “Bonded in steel rods”. Os ensaios experimentais estáticos a flexão foram realizados com auxílio do sistema de aquisição de dados SYSTEM 5000, utilizando-se 15 canais com transdutores de deslocamento LVDT, abaixo dos NÓS intermediários das ligações e, um canal de aquisição de dados para a célula de carga, diante dos estudos de hipóteses de cargas atuantes sobre os elementos estruturais do modelo da estrutura proposta nesta pesquisa. Os resultados experimentais da proposta estrutural indicam a possibilidade obtenção de otimizações na utilização de ligações semirrígidas pela transferência parcial de momentos resistente entre as vinculações com barras de aço CA-50 coladas entre os elementos estruturais MLC-GLULAM, assimilando-se assim ao comportamento da deformada mais efetiva ao que seria de um modelo teórico de grelha estrutural.

*Palavras-chave: engenharia; estruturas; madeira; ligações semirrígidas.*

#### Abstract

This paper is characterized on the experimental studies carried out on an original prototype orthogonal reticulated structure, type grid model structure, supported in four corners, constituted by structural members in glued laminated timber (MLC-GLULAM) of pinus SP, connected gluing with epoxy resin bonded in steel rods CA-50 anchored, through insertion in holes in the end grain of the timber members, idealized as semi-rigid moment resisting connections. The positioning of bonded steel rods CA-50 was accepted according to the normative recommendations of ABNT NBR 7190: 1997 and of Annex C of PrEN 1995-2: 2003 “Bonded in steel rods”. Static flexural tests were performed with the aid of the SYSTEM 5000, using 15 channels with displacement transducers under the intermediary nodes of the connections and a data acquisition channel for the load cell, of the different hypotheses studies of loading on the structural members of the structure. The experimental results of the structural proposal indicate the possibility of optimizations in the use of semi-rigid connections by the partial moment-resistant transfer bonding with steel rods CA-50 between structural member MLC-GLULAM, thus assimilating the a deformed behavior more effective than it would be for a grid model.

*Keywords: engineering; timber structures; semi-rigid connections; glued-in rods.*



## 1. INTRODUÇÃO

Em geral, as estruturas em forma de GRELHA MLC, não se caracterizam por um sistema estrutural de grelha, propriamente dito. Formando-se assim por um sistema visual de “Falsa” GRELHA MLC. As construções de pérgulas com “Falsas” GRELHAS MLC, em geral, tem sido projetadas através de pequenas peças MLC secundárias, fixadas apenas por cisalhamento, em VIGAS MLC principais de mesmas dimensões de seção transversal (bxh), tendo-se assim uma visão geral hipotética em forma de grelha.

Em geral, quando se dimensiona conectores metálicos em ligações resistentes ao cisalhamento, é usual, admitir como vinculação simplesmente apoiada. Ou seja, admitindo-se um tipo de vinculação onde não há a efetiva transferência de momento entre os elementos estruturais.

No entanto, diante da fundamentação teórica conceitual, uma estrutura global para adquirir comportamento efetivo de grelha, é fundamental que as ligações além de serem resistentes ao cisalhamento devem garantir a continuidade entre os elementos estruturais, ou seja, possuir também a função de ligação MOMENTO→RESISTENTE.

Para isto, considera-se fundamental a realização de trabalhos com experimentos em um protótipo em escala real, fundamentados pela base conceitual de estudos de comportamento realmente efetivo para modelo de grelha.

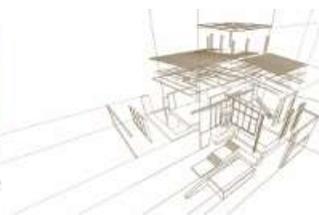
Assim, visando um estudo sistêmico de otimização através de ligações semirrígidas em análises de estruturas especiais em Madeira Lamelada Colada, este trabalho caracteriza-se pela originalidade na idealização de um protótipo de GRELHA MLC-GLULAM, constituída por peças MLC de *Pinus spp.*, vinculadas pela união de barras nervuradas de aço CA50 coladas com adesivo epóxi. Para os posicionamentos das barras de aço coladas na seção transversal das peças foram admitidas as recomendações, dimensões e espaçamentos mínimos, de acordo com os critérios normativos para ligações dispostos na ABNT NBR 7190 e no prEN 1995-2: 2003 Anexo C (informative) Bonded-in steel rods, do Eurocódigos. Para avaliação do comportamento global desta estrutura, com auxílio do DATA SYSTEM 5000, utilizando-se célula de carga e 15 transdutores de deslocamentos sob os NÓS de ligações intermediários, foram realizados ensaios experimentais estáticos de flexão no protótipo original idealizado em GRELHA MLC-GLULAM, posicionado-se suas extremidades, sobre quatro apoios de canto.

## 2. METODOLOGIA

Para análises na confecção do modelo experimental, partiu-se do princípio teórico para modelagem de um sistema de estrutura reticulada com peças de madeira lamelada colada (MLC-GLULAM), onde admitiu-se nas vinculações entre os elementos estruturais, conexões semirrígidas em ligações com barras de aço nervuradas CA-50, coladas com adesivo epóxi, impondo-se desta maneira um modelo assimilando-se ao sistema clássico de grelha.

Assim, os principais métodos de ensaios para caracterização das propriedades dos materiais e análises experimentais, destacam-se: os ensaios à compressão paralela às fibras de madeira; os ensaios de delaminação de peças MLC de *Pinus spp.*, de corpos-de-prova colados para o sistema de madeira lamelada colada; e ensaios de arrancamento de barras nervuradas de aço CA50 coladas com adesivo epóxi em corpos de prova de peças MLC de *Pinus spp.*

Na caracterização de originalidade deste trabalho, para as avaliações globais de comportamento desta estrutura foram realizados ensaios experimentais estáticos de flexão no protótipo original idealizado em GRELHA MLC-GLULAM, posicionando-se suas extremidades, sobre quatro



apoios de canto. Estes ensaios foram realizados com auxílio do DATA SYSTEM 5000, utilizando-se célula de carga e 15 transdutores de deslocamentos sob os NÓS de ligações intermediários.

## 2.1. Concepção da estrutura do protótipo da GRELHA MLC-GLULAM

Diante dos critérios normativos de projeto, a modulação padronizada das dimensões das peças do protótipo experimental da GRELHA MLC idealizada, destacam-se os seguintes parâmetros conforme ilustrações que seguem nas figuras indicadas neste trabalho:

- largura de projeto para cada peça MLC  $b = 8\text{cm}$ ;
- altura de projeto para cada peça MLC  $h = 15\text{cm}$ ;
- diâmetro das barras de aço CA-50  $\phi = 12,5\text{mm}$ ;
- comprimento de cada barra de aço CA-50 interna  $L_{bt} = 33\text{cm}$ ;
- adesivo epóxi bicomponente COMPOUND® VEDACIT (Figura 4);
- diâmetro dos furos nas peças MLC para colagem das barras de aço CA-50 dever ser maior que  $df = (1,5 \cdot \Phi)$ , ou  $df = (\Phi + 2,5\text{mm})$ , portanto para  $\phi = 12,5\text{mm}$ ,  $df = 19\text{mm}$ ;
- espaçamentos livres dispostos ortogonalmente entre as peças MLC da malha da grelha  $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ .

A quantidade e as dimensões padronizadas das peças MLC ( $b \times h$ ), em centímetros, idealizadas para montagem do protótipo experimental da GRELHA MLC foram:

- 2 peças MLC ( $8 \times 15$ ) com 280 cm de comprimento;
- 2 peças MLC ( $8 \times 15$ ) com 200 cm de comprimento;
- 15 peças MLC ( $8 \times 15$ ) com 88 cm de comprimento;
- e 8 peças MLC ( $8 \times 15$ ) com 40 cm de comprimento.

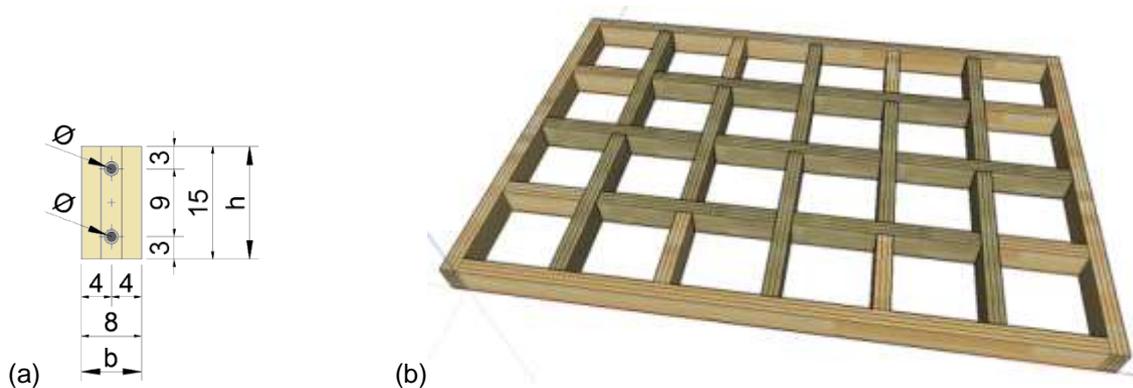
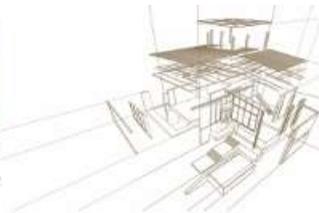


Figura 1. Detalhes do projeto na concepção da estrutura: (a) Seção transversal das peças MLC idealizado para montagem do protótipo experimental da GRELHA MLC-GLULAM ilustrando-se a modulação em (b). Fonte: Brito (2018).



## 2.2. Procedimento de montagem do protótipo da GRELHA MLC-GLULAM

As etapas no procedimento de montagem e colagem das peças MLC partiu-se da região central para as bordas externas do protótipo de GRELHA MLC-GLULAM (idealizado nesta pesquisa), onde são indicadas sequencialmente na Figura 2.

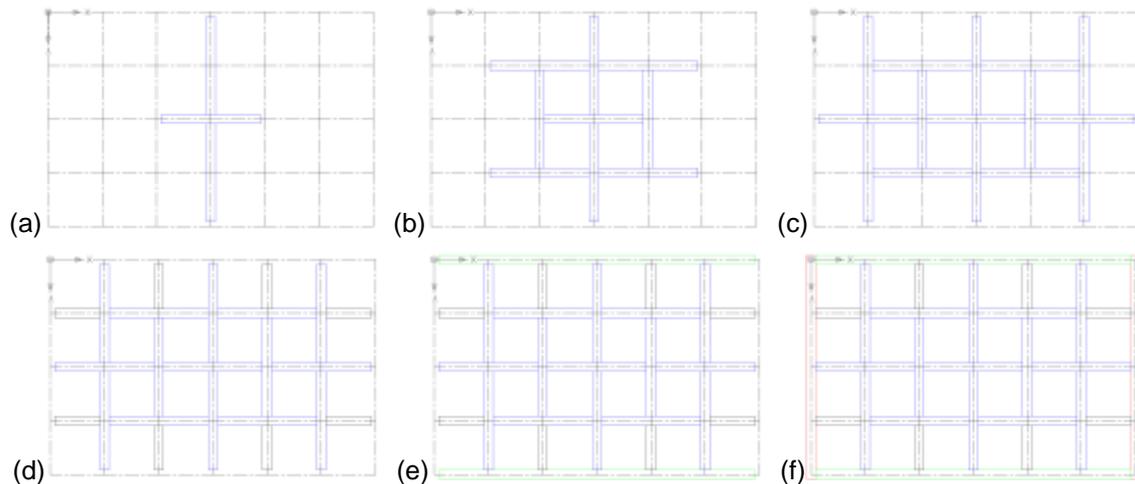


Figura 2: Sequência para o procedimento de montagem e colagem das peças MLC (8x15), partindo-se da região central para as bordas externas do protótipo original de GRELHA MLC-GLULAM idealizado nesta pesquisa. Fonte: Brito (2018).

Na Figura 3 ilustra-se o modelo idealizado das vinculações entre elementos estruturais MLC, na flexibilização de ligações semirrígidas VIGA↔VIGA↔VIGA MLC para o protótipo de GRELHA MLC-GLULAM, idealizado nesta pesquisa.

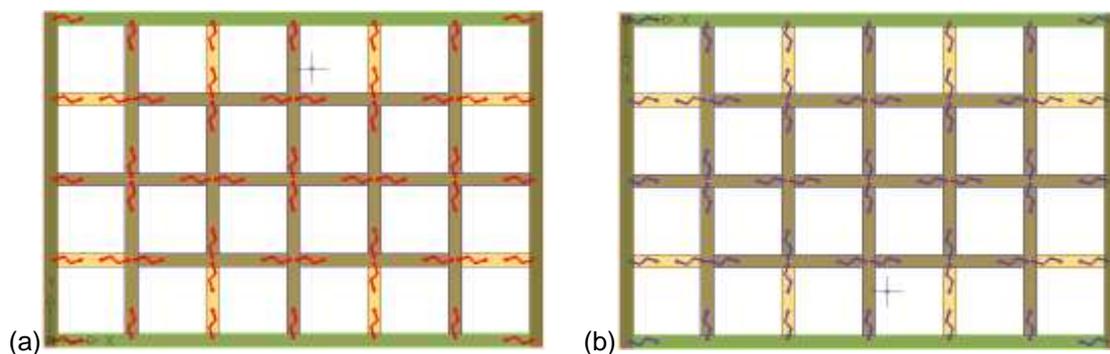


Figura 3. Modelo idealizado das vinculações entre elementos estruturais MLC, na flexibilização de ligações semirrígidas VIGA↔VIGA↔VIGA MLC para o protótipo original de GRELHA MLC-GLULAM: representação de molas de rigidez na região **tracionada** e na região **comprimida** do modelo. Fonte: Brito (2018).

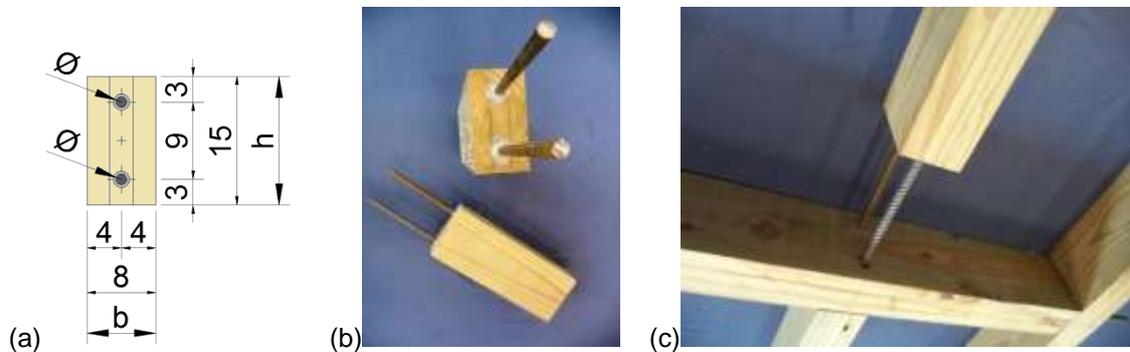


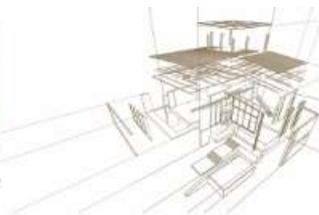
Figura 4: Detalhes de montagem e colagem: (a) Seção transversal das peças MLC idealizado para montagem do protótipo experimental da GRELHA MLC; (b) colagem das barras CA-50 nas peças MLC (8x15) de 40 cm de comprimento; (c) exemplo de posicionamento para colagem das peças MLC de 88cm de comprimento, espaçadas 48cm de eixo a eixo, na modulação padronizada do protótipo experimental da GRELHA MLC-GLULAM. Fonte: Brito (2018).

### 3. ANÁLISE EXPERIMENTAL E RESULTADOS

Com auxílio do equipamento DATA SYSTEM 5000, utilizando-se célula de carga e 15 transdutores de deslocamentos sob os NÓS de ligações intermediários, conforme ilustram-se as figuras que seguem, foram realizados ensaios experimentais estáticos de flexão no protótipo original idealizado em GRELHA MLC-GLULAM, posicionando-se as extremidades das peças MLC de borda sobre quatro apoios de canto.

Na sequência de realização dos ensaios experimentais submetidas à flexão, para análise do comportamento do protótipo de GRELHA MLC, preliminarmente foi analisada a hipótese sob a condição de carregamento admitindo-se aplicação de carga concentrada no NÓ central da GRELHA MLC-GLULAM, indicada na Figura 5(a).

Assim, para avaliação global no comportamento do protótipo de GRELHA MLC de *Pinus spp.*, idealizado nesta etapa da pesquisa, na primeira hipótese experimental, através da utilização de uma célula de carga, mediu-se a variação de cargas concentradas aplicadas no NÓ central da GRELHA MLC, obtendo-se através do sistema de aquisição de dados DATA SYSTEM 5000, as respectivas variações em valores de flechas, diante do posicionamento de cada um dos 15 transdutores de deslocamento LVDT's, conforme ilustram-se na Figura 5(b).



(a)



(b)

Figura 5: Esquema estático de flexão para avaliação global no comportamento do protótipo de GRELHA MLC de *Pinus spp.*, na primeira hipótese de carregamento idealizada nesta pesquisa: (a) Célula de carga e anel no pistão do pórtico de reação, posicionado no eixo do NÓ central da GRELHA MLC; (b) posicionamento de 15 transdutores de deslocamento, sob os NÓS principais da GRELHA MLC. Fotos: Brito (2018).

De acordo com as indicações apresentadas nos diagramas das Figuras 7 a 10 que seguem, limitando-se a flecha na relação  $L/300$  para avaliação no Estado Limite de Serviço (ELS), tem-se  $u_{lim(ELS)}=9,866\text{mm}$  para o vão de 2960mm, onde de acordo com as correlações dos resultados experimentais extraídos dos transdutores de deslocamento (LVDT's) dos ensaios de flexão, em análise ao protótipo de GRELHA MLC-GLULAM desta pesquisa, nota-se que o comportamento real deste modelo tende a se aproximar aos valores de flechas nos NÓS diante da hipótese de ligações SEMIRRÍGIDAS VIGA↔VIGA↔VIGA MLC, admitindo-se como redistribuição parcial de MOMENTOS↔RESISTENTES.

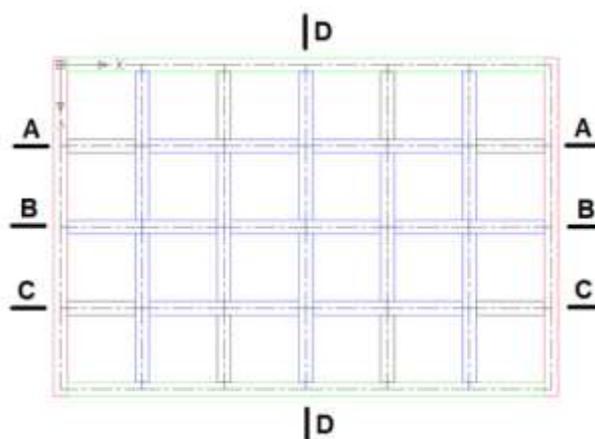


Figura 6: Posição dos eixos no protótipo de GRELHA MLC-GLULAM, para representação dos diagramas com indicações dos valores aproximados das flechas da deformada, limitando-se a flecha máxima no NÓ central na relação  $L/300$ .

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo geral de valores aproximados das cargas registrados pela CÉLULA [20] e dos respectivos valores dos deslocamentos registrados pelos LVDT's, limitando-se a flecha máxima no NÓ central pela relação  $L/300$ .



*Tabela 1: Resumo de valores aproximados das cargas na CÉLULA [20] e dos deslocamentos registrados pelos LVDT's, limitando-se a flecha máxima no NÓ central pela relação L/300.*

CÉLULA [20] kN	LVDT [2] mm	LVDT [3] mm	LVDT [5] mm	LVDT [7] mm	LVDT [8] mm	LVDT [9] mm	LVDT [10] mm	LVDT [11] mm	LVDT [12] mm	LVDT [13] mm	LVDT [14] mm	LVDT [15] mm	LVDT [16] mm	LVDT [17] mm	LVDT [18] mm
0.2149	-0.02	-0.1	-0.11	-0.07	-0.05	-0.05	-0.07	-0.07	-0.05	-0.05	-0.16	-0.07	-0.04	-0.07	-0.05
0.5527	-0.09	-0.33	-0.35	-0.3	-0.19	-0.21	-0.29	-0.35	-0.31	-0.21	-0.42	-0.29	-0.05	-0.36	-0.19
0.6755	-0.09	-0.4	-0.44	-0.39	-0.22	-0.24	-0.36	-0.45	-0.4	-0.26	-0.51	-0.37	-0.09	-0.43	-0.23
0.7676	-0.12	-0.48	-0.53	-0.46	-0.29	-0.28	-0.45	-0.52	-0.47	-0.3	-0.6	-0.42	-0.09	-0.48	-0.26
0.9518	-0.16	-0.59	-0.71	-0.58	-0.36	-0.38	-0.58	-0.72	-0.6	-0.39	-0.79	-0.58	-0.11	-0.66	-0.37
1.0132	-0.18	-0.67	-0.78	-0.68	-0.41	-0.4	-0.64	-0.78	-0.65	-0.42	-0.88	-0.61	-0.12	-0.72	-0.38
1.0439	-0.19	-0.74	-0.85	-0.74	-0.44	-0.46	-0.72	-0.85	-0.74	-0.49	-0.97	-0.68	-0.12	-0.79	-0.44
1.2281	-0.21	-0.8	-0.92	-0.79	-0.47	-0.48	-0.79	-0.95	-0.82	-0.53	-1.06	-0.75	-0.16	-0.86	-0.47
1.4738	-0.27	-0.99	-1.17	-0.98	-0.61	-0.64	-0.98	-1.2	-1.02	-0.65	-1.34	-0.93	-0.16	-1.07	-0.61
1.9650	-0.35	-1.39	-1.67	-1.4	-0.83	-0.88	-1.41	-1.7	-1.47	-0.92	-1.89	-1.32	-0.27	-1.52	-0.84
2.1799	-0.37	-1.52	-1.81	-1.56	-0.93	-0.95	-1.55	-1.88	-1.62	-1.02	-2.12	-1.44	-0.27	-1.68	-0.93
2.4256	-0.39	-1.66	-2	-1.67	-1.02	-1.03	-1.67	-2.05	-1.74	-1.09	-2.28	-1.56	-0.32	-1.84	-1.00
2.5177	-0.43	-1.74	-2.08	-1.76	-1.03	-1.07	-1.77	-2.17	-1.83	-1.13	-2.38	-1.61	-0.32	-1.91	-1.03
2.6098	-0.41	-1.82	-2.18	-1.83	-1.1	-1.1	-1.84	-2.23	-1.89	-1.18	-2.49	-1.68	-0.34	-1.97	-1.10
2.6712	-0.44	-1.91	-2.27	-1.9	-1.13	-1.12	-1.93	-2.32	-1.98	-1.22	-2.59	-1.75	-0.34	-2.04	-1.12
2.8554	-0.46	-2.02	-2.41	-2.05	-1.22	-1.24	-2.05	-2.51	-2.14	-1.29	-2.77	-1.92	-0.37	-2.18	-1.22
3.0089	-0.5	-2.11	-2.48	-2.12	-1.29	-1.26	-2.15	-2.58	-2.2	-1.38	-2.88	-1.95	-0.37	-2.29	-1.24
3.1932	-0.51	-2.24	-2.7	-2.28	-1.34	-1.36	-2.31	-2.78	-2.36	-1.45	-3.09	-2.09	-0.39	-2.45	-1.38
3.2853	-0.53	-2.31	-2.75	-2.32	-1.39	-1.41	-2.37	-2.86	-2.45	-1.5	-3.19	-2.14	-0.43	-2.52	-1.42
3.3774	-0.57	-2.39	-2.87	-2.44	-1.46	-1.48	-2.43	-3	-2.52	-1.55	-3.3	-2.26	-0.44	-2.59	-1.45
3.5923	-0.57	-2.46	-2.93	-2.48	-1.47	-1.52	-2.51	-3.05	-2.6	-1.62	-3.41	-2.33	-0.43	-2.72	-1.52
3.6537	-0.62	-2.54	-3.07	-2.56	-1.54	-1.57	-2.6	-3.16	-2.65	-1.64	-3.49	-2.39	-0.46	-2.79	-1.56
4.0529	-0.67	-2.83	-3.42	-2.88	-1.68	-1.76	-2.92	-3.55	-3.01	-1.85	-3.92	-2.63	-0.5	-3.1	-1.73
4.1450	-0.69	-2.89	-3.5	-2.95	-1.74	-1.81	-3.03	-3.65	-3.1	-1.89	-4.02	-2.73	-0.51	-3.19	-1.78
4.3292	-0.71	-3.06	-3.66	-3.11	-1.84	-1.89	-3.22	-3.83	-3.25	-2.01	-4.25	-2.89	-0.57	-3.36	-1.89
4.4827	-0.74	-3.14	-3.8	-3.2	-1.91	-1.93	-3.25	-3.95	-3.38	-2.05	-4.34	-2.95	-0.58	-3.45	-1.94
4.5441	-0.73	-3.23	-3.9	-3.28	-1.91	-2	-3.32	-4.06	-3.41	-2.12	-4.46	-3.04	-0.6	-3.53	-1.94
4.6976	-0.76	-3.31	-3.97	-3.35	-2	-2.05	-3.41	-4.15	-3.5	-2.17	-4.6	-3.09	-0.6	-3.65	-2.03
5.0661	-0.82	-3.56	-4.26	-3.62	-2.13	-2.19	-3.66	-4.45	-3.74	-2.33	-4.94	-3.33	-0.6	-3.87	-2.19
5.2503	-0.83	-3.71	-4.47	-3.76	-2.25	-2.27	-3.85	-4.65	-3.94	-2.42	-5.15	-3.51	-0.66	-4.04	-2.31
5.4345	-0.85	-3.81	-4.56	-3.86	-2.29	-2.34	-3.91	-4.76	-4.01	-2.47	-5.28	-3.56	-0.67	-4.17	-2.33
5.5266	-0.89	-3.86	-4.68	-3.95	-2.35	-2.38	-4.01	-4.86	-4.08	-2.52	-5.36	-3.63	-0.69	-4.22	-2.38
5.8951	-0.92	-4.11	-4.97	-4.2	-2.51	-2.51	-4.27	-5.18	-4.36	-2.66	-5.73	-3.87	-0.76	-4.49	-2.53
5.9872	-0.96	-4.2	-5.07	-4.27	-2.52	-2.6	-4.35	-5.26	-4.47	-2.72	-5.84	-3.95	-0.74	-4.58	-2.57
6.2942	-0.99	-4.45	-5.36	-4.51	-2.67	-2.74	-4.61	-5.6	-4.72	-2.89	-6.18	-4.19	-0.83	-4.85	-2.73
6.4784	-1.03	-4.53	-5.46	-4.62	-2.71	-2.79	-4.68	-5.66	-4.83	-2.95	-6.28	-4.24	-0.83	-4.92	-2.78
6.6934	-1.05	-4.68	-5.66	-4.78	-2.81	-2.91	-4.85	-5.88	-5.01	-3.05	-6.51	-4.41	-0.89	-5.14	-2.87
6.7855	-1.08	-4.78	-5.75	-4.88	-2.88	-2.96	-4.94	-5.98	-5.07	-3.09	-6.63	-4.46	-0.87	-5.21	-2.94
7.0311	-1.12	-4.95	-5.94	-5.06	-2.96	-3.05	-5.11	-6.2	-5.25	-3.19	-6.85	-4.62	-0.9	-5.39	-3.04
7.1232	-1.15	-5.03	-6.03	-5.13	-3.03	-3.08	-5.21	-6.28	-5.32	-3.25	-6.99	-4.72	-0.9	-5.49	-3.08
7.2460	-1.13	-5.1	-6.14	-5.18	-3.06	-3.13	-5.3	-6.4	-5.43	-3.3	-7.07	-4.79	-0.94	-5.57	-3.13
7.3381	-1.17	-5.17	-6.25	-5.28	-3.1	-3.17	-5.37	-6.51	-5.52	-3.35	-7.22	-4.89	-0.97	-5.67	-3.16
7.4609	-1.2	-5.25	-6.33	-5.37	-3.17	-3.25	-5.44	-6.6	-5.59	-3.44	-7.3	-4.96	-0.96	-5.73	-3.23
7.6145	-1.2	-5.35	-6.42	-5.44	-3.22	-3.27	-5.56	-6.68	-5.66	-3.48	-7.43	-4.99	-0.96	-5.82	-3.29
7.7373	-1.22	-5.43	-6.53	-5.53	-3.28	-3.34	-5.63	-6.81	-5.76	-3.53	-7.55	-5.07	-1.01	-5.92	-3.32
7.7987	-1.24	-5.5	-6.64	-5.62	-3.32	-3.37	-5.7	-6.93	-5.85	-3.6	-7.64	-5.14	-1.01	-5.99	-3.36
7.9215	-1.28	-5.59	-6.74	-5.69	-3.35	-3.43	-5.8	-7.01	-5.94	-3.63	-7.78	-5.23	-0.99	-6.12	-3.41
8.0443	-1.28	-5.69	-6.83	-5.81	-3.42	-3.5	-5.88	-7.11	-6.03	-3.71	-7.85	-5.3	-1.05	-6.17	-3.48
8.1671	-1.31	-5.72	-6.94	-5.86	-3.45	-3.55	-5.97	-7.23	-6.12	-3.76	-7.99	-5.36	-1.08	-6.28	-3.53
8.2592	-1.33	-5.85	-7.03	-5.95	-3.5	-3.63	-6.06	-7.35	-6.17	-3.81	-8.12	-5.47	-1.08	-6.37	-3.58
8.4435	-1.35	-5.99	-7.22	-6.11	-3.61	-3.68	-6.23	-7.51	-6.37	-3.9	-8.29	-5.62	-1.13	-6.53	-3.69
8.6277	-1.38	-6.05	-7.31	-6.18	-3.66	-3.77	-6.28	-7.61	-6.48	-3.95	-8.43	-5.7	-1.15	-6.6	-3.74
8.9347	-1.42	-6.34	-7.59	-6.44	-3.81	-3.87	-6.56	-7.93	-6.7	-4.11	-8.79	-5.91	-1.17	-6.89	-3.90
9.0268	-1.44	-6.42	-7.68	-6.51	-3.86	-3.93	-6.64	-8.03	-6.81	-4.16	-8.89	-5.99	-1.19	-6.96	-3.93
9.3646	-1.49	-6.64	-7.97	-6.78	-3.98	-4.08	-6.9	-8.29	-7.04	-4.32	-9.19	-6.23	-1.22	-7.23	-4.11
9.4567	-1.51	-6.72	-8.09	-6.86	-4.05	-4.15	-6.97	-8.44	-7.12	-4.38	-9.33	-6.3	-1.24	-7.34	-4.13
9.6102	-1.52	-6.81	-8.16	-6.92	-4.1	-4.2	-7.05	-8.53	-7.23	-4.41	-9.44	-6.36	-1.24	-7.41	-4.18
9.7330	-1.54	-6.87	-8.27	-7	-4.13	-4.24	-7.16	-8.64	-7.3	-4.46	-9.54	-6.43	-1.28	-7.5	-4.21
9.8251	-1.58	-6.96	-8.37	-7.08	-4.18	-4.3	-7.24	-8.73	-7.39	-4.52	-9.65	-6.52	-1.28	-7.55	-4.27
9.9172	-1.59	-7.04	-8.46	-7.18	-4.25	-4.34	-7.31	-8.81	-7.48	-4.57	-9.79	-6.59	-1.31	-7.66	-4.34
<b>10.0400</b>	<b>-1.59</b>	<b>-7.11</b>	<b>-8.59</b>	<b>-7.27</b>	<b>-4.28</b>	<b>-4.39</b>	<b>-7.4</b>	<b>-8.96</b>	<b>-7.57</b>	<b>-4.59</b>	<b>-9.86</b>	<b>-6.64</b>	<b>-1.31</b>	<b>-7.73</b>	<b>-4.37</b>

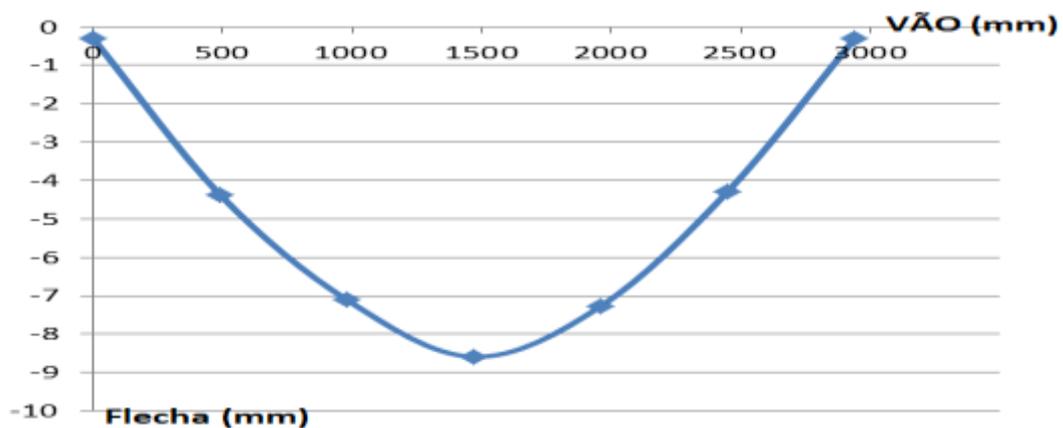
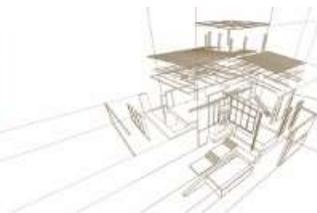


Figura 7: Representação da deformada no Eixo A\_A da GRELHA MLC-GLULAM.

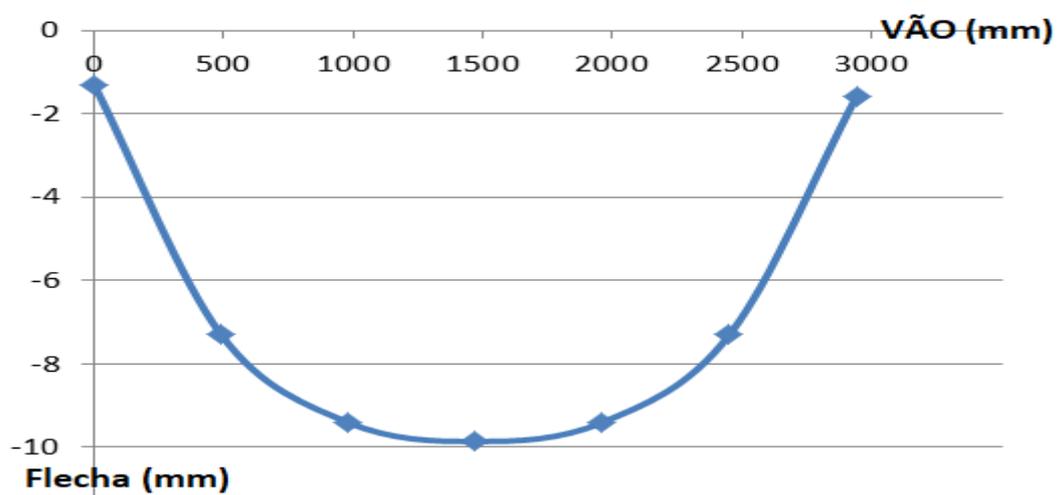


Figura 8: Representação da deformada no Eixo B\_B da GRELHA MLC-GLULAM.

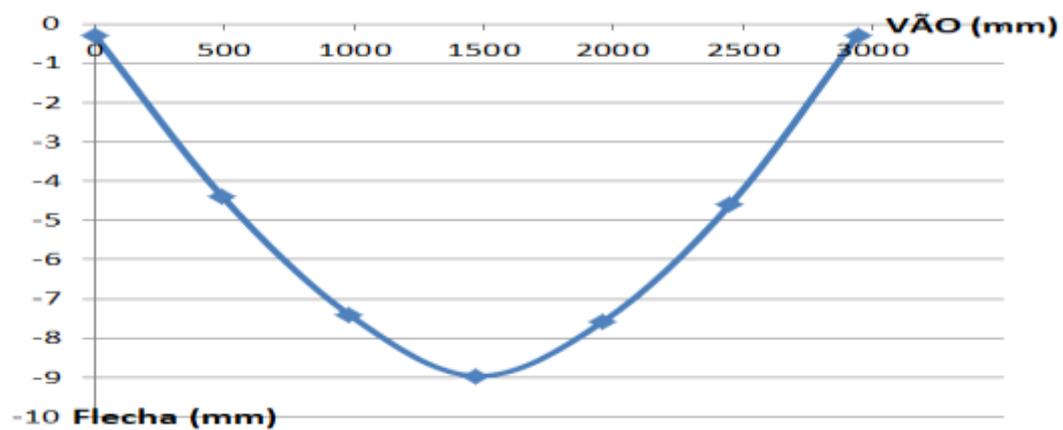


Figura 9: Representação da deformada no Eixo C\_C da GRELHA MLC-GLULAM.

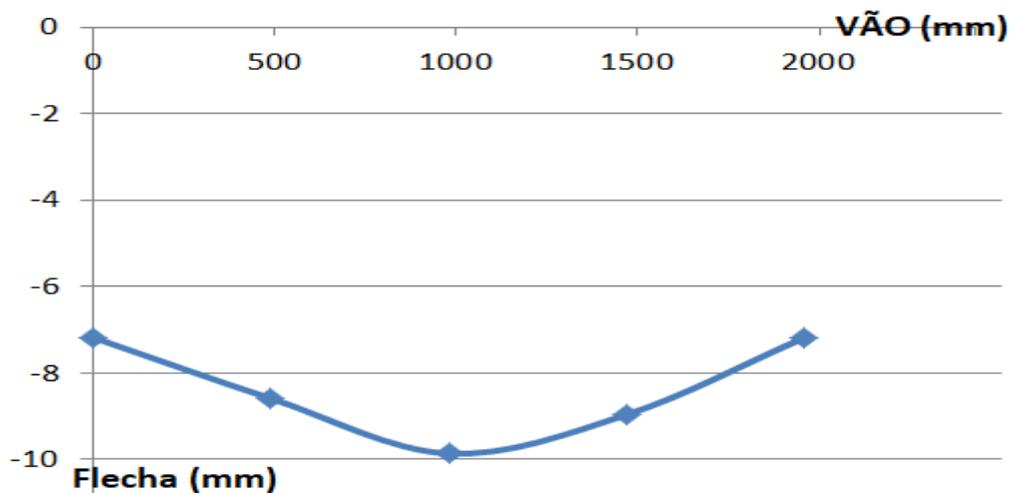


Figura 10: Representação da deformada no Eixo D\_D da GRELHA MLC-GLULAM.

#### 4. CONCLUSÕES

Durante a montagem dos elementos estruturais na confecção da grelha observou-se imprecisões milimétricas devido a imperfeições geométricas ocorridas nos processos manuais de furação e colagem. Diante destas imprecisões, notou-se pequenas variações dos deslocamentos detectadas nos transdutores de deslocamento LVDT's posicionados sob os NÓS da GRELHA MLC-GLULAM.

Diante dos resultados experimentais dos ensaios estáticos de flexão na fase elástica observados pela simetria contínua dos deslocamentos detectados pelos LVDT's no sistema de aquisição de dados DATA SYSTEM 5000, nota-se que na hipótese com carregamento concentrado no nó central da GRELHA MLC-GLULAM, indica-se ao comportamento similar ao teórico de grelha para o modelo original de otimização das ligações semirrígidas com vergalhões nervurados CA-50 colados com adesivo epóxi entre os elementos estruturais.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Comissão de Pesquisa (CPq) do programa de Pós-Doutorado, ao Departamento de Engenharia de Estruturas e ao Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, pela oportunidade na realização deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). ABNT NBR 7190: 1997. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). Texto base de etapa do projeto de revisão de norma ABNT NBR 7190: 2018. Projetos de estruturas de madeira. Texto base de etapa do Projeto de Revisão, disponibilizado em reunião do CB-02. Brasil.



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Brito, L.D. (2018). Otimização de ligações semirrígidas em análise numérica de estruturas especiais em madeira laminada colada. Relatório final: Modalidade Pós-Doutorado. Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). São Carlos, Brasil.

Eurocode (1997). Glued-in steel rods. Anexo A (informative). PrENV 1995-2: 1997.

Eurocode (2003). Bonded-in steel rods. Anexo C (informative). PrEN 1995-2: 2003.