

Avaliação Experimental do Efeito de Grupo de Ligações Pregadas em Madeira

Experimental Investigation of the Group Effect of Nailed Bonds in Wood

Camilla Oda
camillaoda@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Jorge Luís Nunes de Góes
jgoes@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campo Mourão, Paraná, Brasil

RESUMO

Em estruturas de madeira para se obter as dimensões desejadas em projeto, muitas vezes é necessário que haja a união de peças. Esta união pode ser feita por diversos modelos de conectores. No Brasil os mais utilizados são o parafuso e o prego devido ao baixo custo no mercado e o fácil manuseio. Ao posicionar múltiplos conectores em linha paralela às fibras da madeira um dos fenômenos que pode ocorrer é o efeito de grupo, ao qual, é caracterizado pela influência da quantidade de conectores na resistência da ligação, através do estudo da eficiência individual do pino. Diversas bibliografias divergem quanto a influência desse fenômeno, por isso, esta análise tem por objetivo avaliar o efeito de grupo em ligações pregadas através de avaliação experimental, comparação dos resultados teóricos obtidos pelas normas brasileira e europeia referentes ao projeto de estruturas em madeira e pelo equacionamento obtido pelo estudo de outros autores. Na avaliação experimental variou-se o número de pregos em 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 em linha. Ao comparar os resultados, verificou-se que com relação à essa análise, a norma brasileira resulta em valores contra a segurança, a norma europeia é conservadora, e utilizando o equacionamento de outros autores há maior proximidade com os resultados obtidos pela avaliação experimental.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas de madeira. Efeito de grupo. Ligações pregadas.

ABSTRACT

In timber structures, in order to obtain the desired dimensions in project, it is often necessary that there is the union of pieces. This union can be done by several models of connectors. In Brazil the most used are the screw and the nail due to the low cost in the market and the easy handling. By positioning multiple connectors in line parallel to the fibers of the wood, one of the phenomena that can occur is the group effect, in which it is characterized by the influence of the quantity of connectors in the bond strength, through the study of the individual efficiency of the pin. Several bibliographies differ about the influence of this phenomenon. Therefore, this analysis has as objective to evaluate the group effects in bonds nailed through experimental evaluation, comparison of the theoretical results obtained by the Brazilian and European norms referring the design of wood structures and by equation obtained by the study of other authors. In the experimental evaluation, the number of nails was varied in 1, 2, 4, 6, 8, 10 and 12 in line. When comparing the results, it was verified that in relation to this analysis, the Brazilian standard results in values against safety, the European standard is conservative, and using the equation of other authors there is greater proximity to the results obtained by the experimental evaluation.

KEYWORDS: Timber structures. Group Effect. Nailed bonds.

Recebido: 31 ago. 2018.

Aprovado: 04 out. 2018.

Direito autoral:

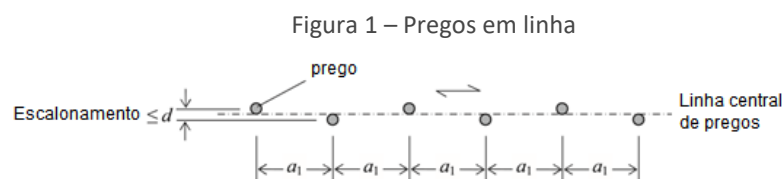
Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Existem inúmeros fenômenos que podem ser analisados nas ligações com pinos metálicos em estruturas de madeira, um deles é o efeito de grupo que ocorre nas ligações de pinos metálicos em linha, ao qual, verifica-se a influência da quantidade de conectores na resistência da ligação, através do estudo da eficiência individual do pino.

Segundo a norma europeia relativa a projeto de estruturas de madeira, EUROCODE 5/04, entende-se como ligação em uma única linha aquela em que os pinos metálicos se apresentam a uma distância menor que o diâmetro do conector (d) com referência ao pino seguinte, distantes a um espaçamento de a_1 na direção paralela às fibras da madeira, conforme apresentados na Figura 1.



Fonte: Adaptado EUROCODE 5/04

A norma brasileira, NBR 7190/97, especifica que ao utilizar o espaçamento de seis vezes o diâmetro do conector entre os pinos metálicos da ligação, tanto com pregos quanto para parafusos de até oito pinos em linha na direção paralela às fibras, utiliza-se a equação 1, em que n_0 é o número efetivo de conectores e n é o número de conectores na ligação.

$$n_0 = 8 + \frac{2}{3}(n - 8) \quad (1)$$

A norma europeia (EUROCODE 5/04) indica que para essa configuração de ligação pregada, deve-se calcular o número efetivo de conectores (n_0), por meio de um coeficiente (k_{ef}) relacionado ao espaçamento entre os conectores (a_1), conforme indicam o quadro 1 e a equação 2:

Quadro 1 – Valores de k_{ef}

Espaçamento*	k_{ef}	
	Sem pré-furação	Com pré-furação
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

*Para espaçamentos intermediários é permitida a interpolação linear do k_{ef}

Fonte: Autoria própria (2018).

$$n_0 = n^{k_{ef}} \quad (2)$$

A avaliação experimental baseada na configuração disposta pela norma brasileira realizada pelos autores Gonçalves, Oda, Góes (2017), apresenta o efeito de grupo que ocorre em ligações com parafusos. A equação 4 apresenta o equacionamento sugerido no cálculo do número de conectores efetivos (n_0), em que n é o número de conectores em linha.

$$n_0 = n[100 - 13,85 \ln(n)] \quad (3)$$

Portanto, este estudo prioriza as ligações pregadas e tem por finalidade, a comparação dos valores obtidos por meio da avaliação experimental e dos valores teóricos advindos dos modelos de cálculos apresentados pela norma brasileira e pela norma europeia.

MÉTODOS

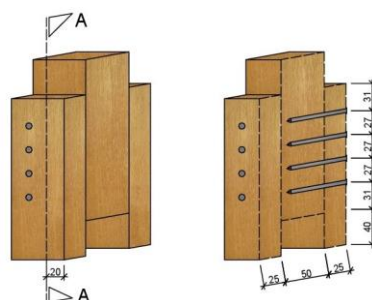
A confecção dos corpos de prova e os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Sistemas Estruturais da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), campus Campo Mourão.

A madeira utilizada em todo o experimento é de um mesmo lote da espécie *Apuleia leiocarpa* (Garapeira) e as ligações foram realizadas utilizando pregos lisos, padrão comercial 20x30, diâmetro de 4,4 mm e comprimento de 69 mm, ao qual atendem aos critérios mínimos de penetração da norma brasileira, uma vez que esta ligação é tipificada por possuir apenas uma seção de corte.

Tanto a caracterização da madeira (teor de umidade e a densidade aparente da madeira) quanto o ensaio de compressão paralela às fibras dos corpos de prova utilizados para a avaliação experimental do efeito de grupo, basearam-se nos procedimentos descritos pela NBR 7190/97. Estes são compostos por uma peça central (50 mm x 60 mm), e duas laterais (25 mm x 60 mm), tanto a central quanto as laterais possuem o mesmo comprimento, conforme a Figura 2. Todos os ensaios foram realizados através da Máquina Universal de Ensaio modelo DL 30000.

Na montagem dos corpos de prova, variou-se o número de conectores em 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 em cada peça lateral e por consequência, alterou-se também o comprimento das mesmas, resultando assim em: 102, 129, 183, 237, 291, 345 e 399 milímetros, respectivamente, conforme a Figura 3.

Figura 2 – Corpo de prova de análise de efeito de grupo.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 3 - Confecção dos corpos de prova



Fonte: Autoria Própria (2018).

RESULTADOS

A caracterização da madeira resultou em teor de umidade de 12,30%, coeficiente de variação de 3,57% e densidade aparente da madeira de 826 kg/m³ com coeficiente de variação de 5,20%, ambos foram utilizados oito corpos de prova.

O Quadro 3 detalha os valores obtidos no ensaio de compressão às fibras paralelas da madeira. Além disso, calculou-se a porcentagem do efeito de grupo, através da equação 4 em que (R_n) é a resistência média individual do prego nas ligações e (R_1) é o valor da resistência média individual da ligação com apenas um prego.

$$\text{Efeito de grupo (\%)} = \frac{R_n}{R_1} \quad (4)$$

Quadro 2 - Resultados do ensaio de compressão paralela às fibras da madeira

Número de pregos em cada peça lateral	Número efetivo de pregos	Número de repetições	Resistência média da ligação (N)	Resistência média individual do prego (N)	Efeito de grupo (%)
1	1,00	6	8681 CV=15,50%	4340	100
2	1,74	6	15068 CV=3,35%	3767	87
4	3,16	6	27402 CV=7,38%	3425	79
6	4,24	6	36779 CV=9,97%	3065	71
8	5,55	6	48185 CV=14,31%	3012	69
10	7,16	6	62173 CV=12,43%	3109	72
12	8,26	6	71759 CV=9,34%	2990	69

Fonte: Autoria própria (2018).

Para calcular o número efetivo de pregos segundo a norma brasileira e a norma europeia, foram utilizadas as equações (1 e 2, respectivamente) e, portanto, o efeito de grupo em porcentagem foi obtido pela equação 5. O quadro 4 apresenta os valores resultantes dos cálculos.

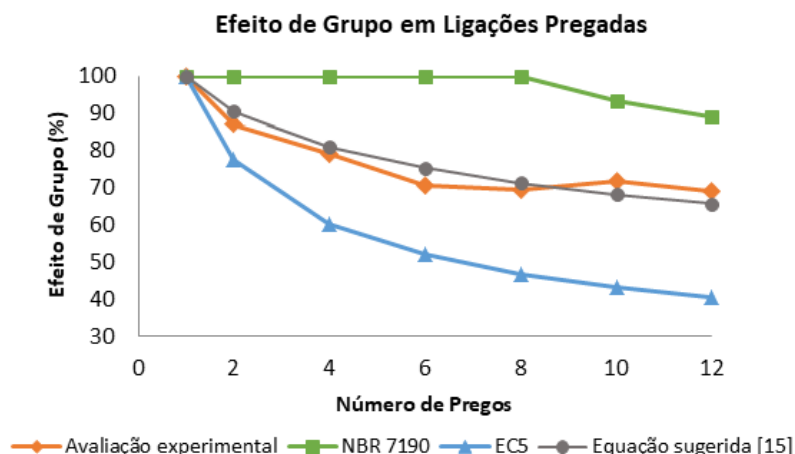
$$\text{Efeito de grupo (\%)} = \frac{\text{Número efetivo de pregos}}{\text{Número de pregos em linha}} \times 100 \quad (5)$$

Quadro 3 - Resultados obtidos pela norma brasileira e europeia

Número de pregos em cada peça linha	NBR		EUROCODE	
	Número efetivo de pregos	Efeito de grupo (%)	Número efetivo de pregos	Efeito de grupo (%)
1	1	100	1,00	100
2	2	100	1,55	78
4	4	100	2,41	60
6	6	100	3,11	52
8	8	100	3,73	47
10	9,34	93	4,30	43
12	10,67	89	4,82	40

Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 4 - Confeção dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2018).

A Figura 4 evidencia a diferença entre as porcentagens do efeito de grupo determinados pela avaliação experimental, norma brasileira, europeia e equação sugerida pelos autores Gonçalves, Oda, Góes (2017).

DISCUSSÃO

Ao analisar os dados, verificou-se que nesta avaliação experimental, o valor de efeito de grupo assemelha-se à análise obtida pelos autores Gonçalves, Oda, Góes (2017), porém, contrapõe ao exposto pela norma brasileira, verificando-se que o resultado experimental obtido vai contra a segurança com relação ao fenômeno de efeito de grupo. Quanto à comparação com os modelos de cálculo da norma europeia, pode-se perceber que os valores sugeridos pela norma estão a favor da segurança com relação aos dados experimentais, porém, tendem a serem conservadores, podendo assim, não favorecer na economia da quantidade de material.

CONCLUSÕES FINAIS

Pelo fato de ter apresentado divergências quanto às normas vigentes, é necessário que haja maiores estudos quanto à esse fenômeno, analisando se o mesmo comportamento ocorre em outras espécies diferentes de madeira, em outros modelos de prego, variando-se seu diâmetro e comprimento e principalmente a influência dos espaçamentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto Estruturas de Madeiras. Rio de Janeiro: 1997

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EUROCODE 5**: Design of Timber Structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. Bruxelas, 2004.



GONÇALES, Nathalia Gabriela; ODA, Camilla; GÓES, Jorge Luís Nunes de. Estudo do Efeito de Grupo em Ligações de Madeira com Parafusos Passantes. In: 16° ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS & 3° CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA, 56., 2018, São Carlos. **Anais Eletrônicos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos-usp, 2018. p. 1 - 2048.

AGRADECIMENTOS

Os desenvolvedores deste projeto agradecem ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação pelo fomento financeiro, pelo Programa de Educação Tutorial desenvolvido pelo Ministério da Educação e pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, pela infraestrutura cedida.