

Estudo do Efeito de Grupo em Ligações de Madeira com Parafusos Passantes

Study of the Group Effect in Wood Connections with Bolts

Nathália Gabriela Gonçalves

nathaliagoncales@alunos.utfpr.edu.br

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

No Brasil, os pinos metálicos, caracterizados por pregos e parafusos, são utilizados com frequência nas ligações em elementos estruturais de madeira. Quando as ligações são realizadas com múltiplos conectores posicionados em linha, na mesma direção da força atuante, os mesmos nem sempre são mobilizados igualmente, ou seja, alguns podem ser mais solicitados que outros. A esse comportamento dá-se o nome de Efeito de Grupo. Neste trabalho são realizados estudos teóricos e experimentais sobre o efeito de grupo em ligações de madeira utilizando parafusos sextavados passantes, com porca e arruelas. São identificados e discutidos os fatores que influenciam o Efeito de Grupo, como espaçamento entre os conectores, elbeltez dos conectores, propriedades mecânicas da madeira e do aço, entre outras. Foram realizados ensaios em corpos de prova de ligações com madeira da espécie Garapeira (*Apuleia leiocarpa*), variando a quantidade de parafusos em linha de um até oito. Os estudos indicaram a necessidade de revisão do modelo brasileiro, haja vista que o mesmo produziu resultados contra a segurança. Quanto ao modelo da norma europeia, os resultados indicaram que o mesmo produz resultados satisfatórios para maiores quantidades de parafusos, mas distintos para quantidades menores. Considerando que é mais frequente o uso de ligações com apenas dois parafusos em linha, o modelo da norma europeia também não se mostrou adequado.

PALAVRAS-CHAVE: Efeito de grupo. Ligações parafusadas. Madeira. Pinos metálicos. Parafusos sextavados.

ABSTRACT

In Brazil, fasteners such as nails and bolts are often used in structural wooden units. When connections are done by multiple connectors aligned in a parallel row in the same direction than the applied load, they are not always mobilized equally. In this sense, some may be more loaded than others. This is called Group Effect. In this work, theoretical and experimental studies were carried out on the effect of group in wood bolted connections. The factors influencing the Group Effect are identified and discussed, such as the spacing between connectors, the slenderness of connectors, the mechanical properties of wood and steel, among others. Tests performed wood connections of the species Garapeira (*Apuleia leiocarpa*), varying the number of bolts in a row from one to eight. The studies indicated the need to review the Brazilian code, since it goes against structural safety. As for the European standard model, the results indicated that it produces satisfactory evidence for higher volumes of bolt, but different for few fasteners. Considering that the use of connections with only two in-line pins is more frequent, the model of the European standard was also not adequate, corroborating with some results of the bibliography.

KEYWORDS: Group Action. Bolted connections. Timber. Metallic pins. Bolts.

Recebido: 09 fev. 2016.

Aprovado: 12 mar. 2016.

Direito autorial:

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





INTRODUÇÃO

A utilização da madeira em estruturas de grandes dimensões requer a ligação entre várias peças maciças. A determinação da resistência da estrutura está vinculada a resistência da ligação, uma vez que as junções enfraquecem as seções. As ligações mecânicas das peças de madeira podem ser feitas através de pinos metálicos, cavilhas ou conectores, sendo os pinos metálicos os mais utilizados no Brasil, constituídos por pregos e parafusos. O desenvolvimento desse modelo de ligação está intimamente ligado ao desempenho das construções em madeira.

Na união de grandes peças maciças de madeira, muitas vezes, um único parafuso na ligação não é o suficiente, fazendo-se necessário a utilização de diversos desses conectores. Um dos fenômenos que ocorre ao fazer uso deste recurso é o efeito de grupo, fenômeno este que ocorre através de uma distribuição desigual de carga ao longo de uma linha de conectores. O efeito de grupo apresenta-se como um fenômeno de grande importância para a determinação da resistência das ligações.

Para a análise do efeito de grupo em ligações parafusadas, a norma vigente no Brasil estabelece que para até 8 conectores, não há redução da resistência do conector. A partir dessa quantidade é necessário corrigir número de conectores. Já o documento normativo europeu indica equações para cada tipo de conector.

Portanto, este artigo tem por objetivo verificar o efeito de grupo nas ligações parafusadas em estruturas de madeira por intermédio da comparação de resultados obtidos experimentalmente e dos previstos por norma nacional, ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997), e europeia, CEN EUROCODE 5 (CEN, 2004).

EFEITO DE GRUPO

A resistência das ligações parafusadas é dependente do comportamento dos múltiplos conectores presentes na ligação que resistem em conjunto a um determinado esforço. Usualmente os parafusos são posicionados em linha, considerando linha a situação em que os parafusos estão posicionados paralelamente a direção das fibras da madeira. Nesse tipo de ligação, é possível observar um fenômeno denominado efeito de grupo, em que a resistência da ligação é efetivamente menor do que a resistência de um único conector multiplicado pelo número de conectores presentes na ligação.

Lantos apud Sorensen (2013) baseou-se no pressuposto que os conectores rígidos não compartilham a aplicação do carregamento igualmente, resultando em maior esforço em certas regiões. A distribuição de carga desigual implica diretamente na capacidade de carga de uma linha de conectores e para garantir um dimensionamento seguro, faz-se necessário o conceito de número efetivo de conectores. Zahn (1991) buscou reduzir o modelo analítico de Lantos para uma única equação em que fosse possível determinar o número de conectores necessários para suportar determinada carga através de um fator “K” chamado de “fator de modificação de linha”.

No estudo realizado por Jorissen (1998), a não linearidade da distribuição do carregamento por conector foi avaliada para a determinação do número efetivo de conectores. O autor elaborou uma equação buscando considerar o

diâmetro, o número de conectores, esbeltez e o espaçamento das ligações. Segundo Jorissen, o aumento da uniformidade do carregamento e do número efetivo de conectores é proporcional a esbeltez do conector. Ainda segundo o autor, o número efetivo de conectores se torna menor conforme o número de parafusos por linha é aumentado.

ABNT NBR 7190 (1997)

De acordo com a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) o cálculo da resistência de uma ligação com pinos dispostos em linha, paralelamente ao esforço transmitido, é baseado na capacidade de carga de um único conector multiplicado pelo número de conectores presentes na ligação, para até 8 pinos. Em ligações com mais de oito pinos em linha, os pinos suplementares possuem apenas 2/3 da sua resistência individual. O número efetivo de pinos pode ser calculado através da equação abaixo, sendo n o número de pinos presentes na ligação. A norma brasileira não faz distinção para ligações com pregos ou parafusos.

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

CEN Eurocode 5 (2004)

A norma europeia aborda de maneira distinta o número efetivo de conectores em ligações pregadas ou parafusadas. Para ligações parafusadas o número efetivo de conectores, para uma linha com “ n ” parafusos na direção paralela as fibras, depende do valor do espaçamento a_1 e pode ser determinado conforme a equação 2

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right. , \quad (2)$$

Sendo, a_1 o espaçamento entre os parafusos na direção paralela às fibras; d o diâmetro do parafuso; n o número de parafusos em linha;

Para carregamento perpendicular às fibras da madeira, o número efetivo de conectores é igual ao número de parafusos na ligação (equação 3). Para ligações com parafusos inclinados, o número efetivo de parafusos é determinado através de interpolação entre as equações 2 e 3:

$$n_{ef} = n. \quad (3)$$

METODOLOGIA

Para a investigação experimental, os corpos de prova foram confeccionados no Laboratório de Estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão (UTFPR) a partir de um lote de madeira da espécie Garapeira (*Apuleia leiocarpa*). Os pinos utilizados no ensaio foram parafusos sextavados de rosca parcial com diâmetro de 12 mm (M12) produzidos em aço

estrutural ISO 4016 Classe 8.8 especificado segundo a norma ISO 4016 (2000). As arruelas utilizadas possuíam diâmetro interno (d_1) igual a 13,5 mm e diâmetro externo (d_2) igual a 44,0 mm, especificadas segundo norma DIN 440R (2001).

Os corpos de prova utilizados possuíam espessura “t” igual a 25 mm para as cobrejuntas e 50 mm para as peças centrais. A geometria dos corpos de prova de ligações atenderam as especificações do item 8.3.4 da ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997). O espaçamento dos parafusos na direção perpendicular às fibras foi de 4d (mínimo permitido por norma). Foram realizadas três repetições de oito corpos de prova cada, os corpos de prova tinham número de parafusos variando de 1 até 8 parafusos.

Foram realizados testes preliminares para caracterização da resistência à compressão paralela às fibras e da resistência ao embutimento da madeira utilizada. Os ensaios de compressão paralela às fibras seguiram as especificações da norma brasileira ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997). A determinação da força de embutimento deu-se a partir realização de ensaios de acordo com a metodologia da norma europeia CEN EN 383 (CEN, 2007).

Durante a montagem dos corpos de prova, foi utilizado um dispositivo tipo sargento para manter as peças em posição para receberem a pré-furação com diâmetro 5mm acima do diâmetro nominal do parafuso. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma CEN EN 26891 (CEN, 1991) sendo o valor de resistência da ligação determinado pelo valor da força resistida pelo corpo de prova quando o deslocamento atingir 15 mm, ou a força última do ensaio, caso ocorra com menos de 15mm de deslocamento. Os ensaios de ligação foram realizados na máquina universal de ensaios EMIC DL30000, do Laboratório de Sistemas Estruturais da UTFPR, Campus Campo Mourão.

RESULTADOS

Os resultados dos ensaios preliminares de caracterização dos materiais utilizados neste trabalho estão apresentados na Tabela 1. Esses ensaios de caracterização foram realizados nas mesmas condições de umidade dos ensaios de ligações.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios preliminares de caracterização dos materiais

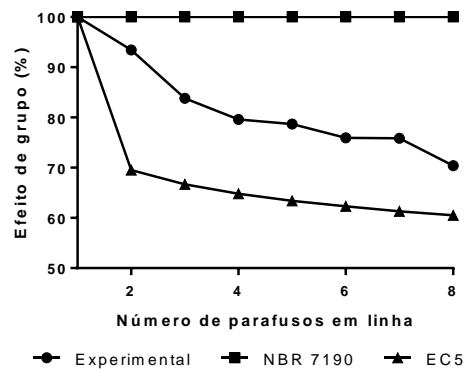
U	Madeira		Parafuso	
	ρ	$f_{c0,m}$	$f_{e0,m}$	$f_{u,m}$
13,51%	740 kg/m³	57,84 MPa	90,58 MPa	872,5MPa
(8 CP) CV=1,82%	(8 CP) CV=1,39%	(6CP) CV=12,7%	(7CP) CV=9,77%	(3CP) CV=1,2%

Fonte: Adaptado Silva Junior (2017).

Sendo $f_{c0,m}$ a resistência média à compressão paralela às fibras da madeira, $f_{e0,m}$ a resistência média ao embutimento da madeira e $f_{u,m}$ a resistência média à tração do pino metálico.

Os resultados obtidos para o efeito de grupo, em ligações parafusadas, foram calculados de acordo com as normas brasileira e europeia e comparados com resultados experimentais.

Figura 1 – Análise de resultados do efeito de grupo.



Fonte: Autoria própria.

Observando a figura 1 pode-se notar que a recomendação da norma brasileira não se mostra adequada para determinar a capacidade de carga de ligações com múltiplos pinos em linha, sendo contra a segurança em todos os casos estudados. Já o equacionamento sugerido pela norma europeia se mostra conservador em todo o intervalo estudado, apesar da tendência ser satisfatória, quando comparada com os resultados experimentais.

Considerando que os modelos de estimativa de efeito de grupo sugeridos pelos dois documentos normativos apresentaram resultados não satisfatórios, foi determinada uma curva empírica expressa na equação 4. O parâmetro y representa o fenômeno efeito de grupo em porcentagem e o parâmetro n é o número de parafusos em linha paralelo às fibras da madeira. Da mesma forma pode-se exprimir a equação empírica para o cálculo do número efetivo de pinos para a ligação estudada (equação 5):

$$y = 100 - 13,85 \ln(n), \quad (4)$$

$$n_{ef} = n [1 - 0,1385 \ln(n)]. \quad (5)$$

Deve-se ressaltar que as equações obtidas são válidas apenas para os casos estudados, ou seja, para determinada espécie de madeira, sob determinado teor de umidade, tipo de parafuso, diâmetro de parafuso, espaçamento, número de conectores em linha, etc.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento das ligações com mais de um parafuso posicionados em linha, paralelamente ao esforço, necessita ser compreendido para o correto dimensionamento desse tipo de ligação. Os fatores que influenciam no efeito de grupo das ligações devem ser profundamente estudados para o entendimento do fenômeno analisado.

A partir dos resultados experimentais encontrados na pesquisa é possível concluir que o modelo da norma brasileira carece de revisão e, que o modelo sugerido pela norma europeia é conservador para a madeira estudada, sob determinadas condições de contorno. Torna-se evidente a necessidade de

maiores estudos sobre o tema. As equações empíricas desenvolvidas neste estudo podem ser avaliadas por outros pesquisadores em seus futuros trabalhos sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, **NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira**, Rio de Janeiro, 1997, 107 p.

COMITÊ EUROPEU DE NORMATIZAÇÃO. **EUROCODE 5: Design of Timber Structures**. Brussels, 2008.

COMITÊ EUROPEU DE NORMATIZAÇÃO. **EN383: Timber Structures. Test Methods. Determination of Embedding Strength and Foundation Values for Dowel Type Fasteners**. European Standard, Brussels, 1993.

COMITÊ EUROPEU DE NORMATIZAÇÃO. **EN26891: Timber Structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for determination of strength and deformation**. European Standard, Brussels, 1991.

JORISSEN, A. **Double shear timber connections with dowel type fasteners**. College voor Promoties aangewezen, Technische Universiteit Delft, Países Baixos, 1998.

SILVA JUNOR, J; GÓES, J. L. N; Avaliação experimental da resistência de ligações em madeira com parafusos passantes. In: XV EBRAMEM, 15, 2017, Curitiba. 2017. **Anais eletrônicos...**Curitiba, 2017

SORENSEN, C. O.; NYMARK, R. M.; BAASTAD, L. Experimental investigations of the shear capacity of nails in a row. **Open Journal of Civil Engineering**, 2013, 3, 173-181. Set. 2013.

ZAHN, J. J. Design equation for multiple-fastener wood connections. **Journal of Structural Engineering**, nov. 1991, p. 3477-3486.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio financeiro do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) através do Programa de Educação Tutorial (PET) desenvolvido pelo Ministério da Educação (MEC) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Campo Mourão pela disponibilização de equipamentos e infraestrutura necessários para a realização desse trabalho.