

A influência do Efeito de Grupo em ligações parafusadas de madeira

The influence of the Group Effect on screwed wood connections

RESUMO

Ana Lara Zanuto Leopoldino
analara_zanuto@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Jorge Luís Nunes de Góes
jorgegoes01@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

As edificações em madeira são projetadas e construídas com a união de diversos elementos estruturais como vigas, pilares, etc. Os elementos estruturais assim como as ligações que os unem devem ser projetados de forma a atender certos requisitos, como, por exemplo, a economia e segurança. As ligações em madeira, em particular as formadas por pinos metálicos, apresentam um fenômeno característico chamado de efeito de grupo, que consiste na redução da eficiência estrutural em função do número de pinos em linha. Esse fenômeno vem sendo estudado há anos e já se encontra previsto em documentos normativos, entretanto, com diferenças significativas. Considerando que a norma brasileira de projeto de estruturas de madeira se encontra atualmente em revisão, surge a oportunidade de verificar experimentalmente o efeito de grupo e comparar os resultados com as recomendações dos documentos normativos. Neste trabalho foram avaliadas ligações com parafusos passantes sextavados M10-ISO 8.8, em madeira da espécie *Apuleia leiocarpa* (Garapeira), com espaçamento de 5d, variando o número de parafusos em linha. Os resultados indicaram que o documento normativo europeu está a favor da segurança e os documentos normativos brasileiro e norte americano são contrários à segurança.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

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



PALAVRAS-CHAVE: Conectores. Resistência. Efeito de grupo. Estruturas.

ABSTRACT

Wooden buildings are designed and built with the union of several structural elements such as beams, pillars, etc. The structural elements as well as the connections that unite them must be designed in order to meet certain requirements such as economy and safety. The wooden connections, in particular those formed by metallic pins, present a characteristic phenomenon called group effect, which consists in the reduction of structural efficiency depending on the number of pins in line. This phenomenon has been studied for years and is already foreseen in normative documents, however, with significant differences. Considering that the Brazilian norm for the design of wooden structures is currently under review, the opportunity arises to experimentally verify the group effect and compare the results with the recommendations of the normative documents. In this work, connections with M10-ISO 8.8 hexagonal bolts were evaluated, in wood of the *Apuleia leiocarpa* species (Garapeira), with 5d spacing, varying the number of screws in line. The results indicated that the European normative document is in favor of security and the Brazilian and North American normative documents are against security.

KEYWORDS: Connectors. Resistance. Group effect. Structures.



INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais não renováveis. A busca por soluções ambientalmente corretas e mais econômicas é um desafio. O uso da madeira pode ser uma alternativa, pois é um material renovável e quando comparado aos utilizados nas construções tradicionais, não se esgota facilmente devido à rápida velocidade de renovação pela natureza.

Naturalmente a madeira tem limitação em suas dimensões. Para obter peças que vençam grandes vãos e alcancem maiores alturas é necessário o uso de ligações entre peças de madeira. No Brasil o método de ligações mais utilizado é através de pinos metálicos. Para atender os requisitos de projetos e transferir efetivamente os esforços entre peças ligadas, algumas conexões necessitam de mais de um pino metálico.

Este trabalho apresenta diversos estudos que concluem que em ligações com múltiplos pinos a distribuição dos esforços entre eles não é uniforme e a resistência da ligação não pode ser considerada como a simples multiplicação da capacidade de carga de um único pino pelo número total de conectores, sendo este fenômeno conhecido com efeito de grupo.

O efeito de grupo é considerado pelos documentos normativos para projetos em madeira através de redutores do número real de pinos para um número efetivo, como é o caso do documento brasileiro (ABNT NBR 7190:1997) e europeu (CEN EUROCODE 5:2008). Nos Estados Unidos (AWC NDS:2018) é introduzido um coeficiente redutor da resistência da ligação como é utilizado para outros fatores, como a umidade da peça, por exemplo.

Para determinar a capacidade de carga das estruturas em madeira deve ser levada em conta a resistência do material e das ligações. A distribuição da carga aplicada em um elemento é afetada pela rigidez relativa dos membros de madeira com os elementos de ligação, portanto a resistência da estrutura é influenciada pela resistência da ligação. Essa distribuição de carga é desigual quando se utiliza diversos conectores em linha. A capacidade de carga destes é menor que a simples multiplicação da capacidade de um único conector pelo número de elementos de ligação (MOSS, 1997).

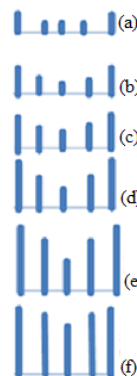
Segundo Hossain et al, (2019) até a década de 1960, o efeito de grupo não era explicitamente considerado no dimensionamento de estruturas de madeira e a capacidade de carga de uma conexão era simplesmente assumida como a resistência de um único fixador multiplicado pelo número de conectores da ligação. Baseados em estudos, a partir da década de 1970 os documentos normativos passaram a utilizar fatores de redução para considerar o efeito de grupo nas ligações com pinos metálicos.

Doyle (1964) testou ligações com um único parafuso e com oito parafusos divididos em duas linhas, cada uma com quatro, variou em seus ensaios o diâmetros dos pinos e espaçamento entre eles e concluiu que a carga suportada pelas ligações com múltiplos parafusos de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro foi entre 61% e 78% da carga suportada na ligação com um único pino e entre 79% e 93% para pinos de $\frac{1}{2}$ " de diâmetro. Afirmou então que a carga suportada por cada parafuso na ligação múltipla não era proporcional à carga que um único parafuso suportava nos corpos de prova de ligação simples.

Cramer (1967), realizou um estudo experimental e teórico para ligações parafusadas em linha e observou que a distribuição de esforços entre os parafusos não foi uniforme. Os pinos externos são mais solicitados que os internos e, conforme o número de parafusos aumenta, menos carga é transferida aos internos e a solicitação dos extremos é maior.

Concordando com essa última premissa, a pesquisa experimental de Beedle et al, (1964) constatou que, em uma linha de parafusos, os próximos às extremidades podem atingir seus limites elásticos enquanto pinos centrais da linha têm solicitação distante do limite, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Força por parafuso com incremento gradual (a) os parafusos das extremidades são solicitados logo no início do carregamento; (b) os parafusos seguintes começam a ser solicitados após os extremos; (c) início da solicitação do parafuso central; (d) início da plastificação dos parafusos das extremidades; (e) início da plastificação dos parafusos seguintes; (f) plastificação do parafuso central.



Fonte: Beedle et al. (1964)

Wilkinson (1980), após revisar métodos analíticos propostos por Cramer (1967) e Lantos (1969), sugere um método analítico para a distribuição de carga em uma ligação multiparafusada considerando a não linearidade do escoamento de um único pino e os defeitos de fabricação das ligações.

Wilkinson (1986) investigou as conclusões do método que havia sugerido em 1980, após avaliá-lo na prática. Os resultados evidenciaram que cada linha de parafusos possui uma distribuição de carga única, que depende da variação na curva de carga e deslizamento e do modo de fabricação das peças, por exemplo, a perfuração mal executada resulta na transmissão de carga menor para esse parafuso. Concluiu então que o uso de uma curva de distribuição única para todos os casos de ligações com parafusos em linha não é a favor da segurança, uma vez que os fatores citados (distribuição não uniforme das cargas e efeitos da fabricação) não são considerados.

Apesar da afirmação de Wilkinson (1986), os projetos em madeira têm como base os métodos propostos por Cramer (1967) e Lantos (1969) e o desempenho das estruturas é satisfatório devido à adoção de coeficientes que subestimam a capacidade de carga das estruturas, portanto estas não são submetidas a esforços próximos de seus limites.

A ABNT NBR 7190:1997 considera o efeito de grupo através do número efetivo de pinos por ligação. Segundo a norma, nas ligações com até oito pinos dispostos

em linha paralela às fibras da madeira, a resistência total é dada pela soma das resistências de cada pino. Em ligações com mais de oito pinos em linha, o número de pinos deve ser substituído pelo número efetivo, dado pela Eq. (1).

$$n_{ef} = 8 + \frac{2}{3} (n_c - 8) \quad (1)$$

Onde:

n_{ef} = Número efetivo de pinos por ligação;

n_c = Número de pinos metálicos.

Para parafusos, o CEN EUROCODE 5:2008 determina a Eq. (2) para obter o número efetivo de conectores em uma ligação:

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,94} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \right\} \quad (2)$$

Onde:

n = Número de parafusos em uma linha;

d = Diâmetro do parafuso;

a_1 = Espaçamento entre parafusos na direção das fibras.

O documento normativo norte americano (AWC NDS 2018) considera o efeito de grupo através do fator (C_g), obtido pela Eq. (3):

$$C_g = \left[\frac{m(1-m^{2n})}{n[(1+R_{EA}m^n)(1+m)-1+m^{2n}]} \right] \left[\frac{1+R_{EA}}{1-m} \right] \quad (3)$$

Onde:

$C_g = 1$ para fixadores passantes com $D < 1/4''$;

n = Número de fixadores em uma linha;

R_{EA} = O menor entre $\frac{E_s A_s}{E_m A_m}$ e $\frac{E_m A_m}{E_s A_s}$;

E_m = Módulo de elasticidade do membro principal;

E_s = Módulo de elasticidade dos membros laterais;

A_m = Área da seção bruta do membro principal;

A_s = Soma das áreas da seção bruta dos membros laterais;

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1};$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right];$$

s = Espaçamento de eixo a eixo de fixadores em linha;

γ = Carregamento/módulo de deslizamento de um conector;

D = Diâmetro do fixador do tipo passante.

MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental foi realizado nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão, no Laboratório de Estruturas, utilizando um lote de madeira da espécie Garapeira (*Apuleia leiocarpa*).

Foram confeccionados corpos de prova para realização dos ensaios de caracterização da madeira, sendo estes: compressão paralela às fibras, densidade e teor de umidade. Para análise da resistência das ligações foram realizados ensaios com corpos de prova com pinos em corte duplo. Os métodos de ensaio e dimensões dos corpos de prova foram realizados de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.

Para os ensaios de compressão paralela às fibras foram confeccionados sete (7) corpos de prova de 5cm x 5cm x 15cm, de acordo com o Anexo B do documento normativo brasileiro (ABNT NBR 9170:1997) e os procedimentos de carga seguiram o proposto pela mesma norma. Os ensaios de umidade e densidade foram realizados em dezoito (18) corpos de prova de 3cm x 2cm x 5 cm e os procedimentos de secagem, pesagem e cálculos para obter o teor de umidade e densidade também foram seguindo os procedimentos norma brasileira.

Para os ensaios em ligações foram utilizados parafusos tipo passante, sextavados, de rosca parcial, com diâmetro de 10 mm (M10), produzidos em aço estrutural ISO 4016 (898-1) Classe 8.8.

O espaçamento entre parafusos na direção paralela às fibras e em relação às extremidades estão de acordo com a proposta de revisão da norma brasileira (PN ABNT NBR 7190:2013). Foram confeccionados seis corpos de prova para cada número de parafusos, variando de um a oito parafusos, portanto no total 48 corpos de prova. A Figura 2 mostra os corpos de prova de 1 a 8 parafusos.

Os procedimentos de ligações atenderam as especificações do CEN EN 26891:1991.

Figura 2: Corpo de prova para ensaio de ligação de 1 a 8 parafusos



Fonte: Autoria própria (2020)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios de caracterização dos materiais foram realizados conforme descrito na metodologia desse trabalho. Os ensaios para obter a umidade e densidade utilizaram os mesmos dezoito corpos de prova. A média dos valores de umidade e densidade e o coeficiente de variação dos resultados estão descritos na Tabela 1. O ensaio de compressão paralela às fibras foi realizado com sete corpos de prova. A média da resistência à compressão dos corpos de prova e o coeficiente

de variação dos valores obtidos nos corpos de prova estão também apresentados na Tabela 1.

Para os cálculos do efeito de grupo para a norma norte americana (AWC NDS 2018) adotou-se o módulo de elasticidade (E_{c0}) da madeira apresentado no Anexo E da norma brasileira com valor de 18.359 MPa.

Tabela 1. Resultados ensaios de caracterização.

Propriedade	Média	Coef. Variação (%)	Número de Cps.
Umidade	11,75 %	13,9	18
Densidade	863,9 Kg/M ³	5,0	18
Compressão	68,0 MPa	10,7	7

Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados obtidos nos ensaios de ligações parafusadas dos corpos de prova de um a oito parafusos foram tabelados e para obter o valor do efeito de grupo foi calculada a resistência média por parafuso, dividindo o valor obtido nos ensaios pelo número de parafusos dos corpos de prova. O efeito de grupo representa uma redução na resistência por conector quando tem-se uma ligação com mais de um parafuso, portanto seu valor é dado com a relação entre a resistência por parafuso nos corpos de prova e a resistência por parafuso em uma ligação com um único conector, tendo assim a porcentagem de eficiência da ligação multiparafusada.

Um dos principais objetivos desse trabalho é comparar os resultados obtidos experimentalmente com os documentos normativos que regem os projetos de construções de madeira, nomeadamente, o brasileiro (ABNT NBR 9170:1997), europeu (CEN EUROCODE 5:2008) e norte americano (AWC NDS 2018). A Figura 3 apresenta de forma gráfica o efeito de grupo para cada um dos casos.

Observa-se que a norma brasileira, representada pelo tracejado verde, subestima o efeito de grupo ao não considerar uma redução da resistência com o aumento do número de parafusos até oito. Esse critério adotado pela norma comparado com os resultados obtidos experimentalmente mostra-se contra segurança.

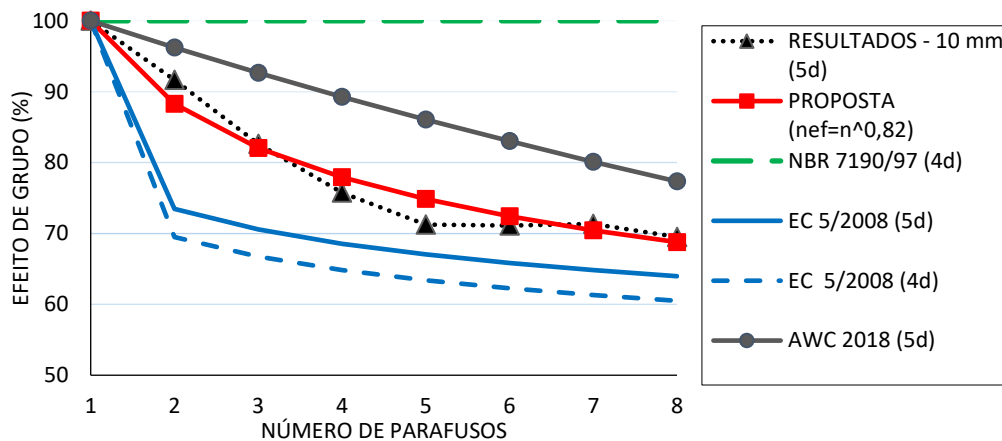
Comparando os resultados desse trabalho com o previsto na norma europeia, para o mesmo espaçamento utilizado nos experimentos, 5d, a curva azul com linha sólida da Figura 3, podemos concluir que a norma europeia superestima o efeito de grupo em relação ao que foi observado nos resultados experimentais.

Comparando com a norma norte americana, representada pela linha cinza da Figura 3, os resultados experimentais obtidos nesse trabalho apresentam um efeito de grupo inferior ao proposto pela norma, para a madeira e tipo de conector estudados.

Quando comparados os resultados entre a própria norma europeia, curva azul e azul tracejada, apenas variando o espaçamento de 5d para 4d, observamos que o maior espaçamento entre conectores resulta em um menor efeito de grupo. Sendo assim a proposta de revisão da norma brasileira de alteração do espaçamento mínimos entre conectores em linha de 4d para 5d proporciona maior segurança estrutural.

Com base nos resultados experimentais, propõe-se uma equação para descrever o efeito de grupo, quando o número de parafusos (n) é substituído por um número efetivo (n_{ef}), sendo o número de parafusos (n) elevado a 0,82 obtemos a curva vermelha.

Figura 3: Análise dos resultados do efeito de grupo



Fonte: Autoria própria (2020)

CONCLUSÕES

O efeito de grupo e os fatores que o influenciam necessitam de estudos mais aprofundados para entendimento do fenômeno e sua correta consideração nos projetos de madeira. São necessários mais ensaios experimentais com maior variação de fatores, visto que esse trabalho trata apenas de uma espécie de madeira e um tipo de conector. Para maior aprofundamento do assunto sugerem-se ensaios com condições de carregamentos cíclicos e dinâmicos.

Os resultados experimentais obtidos nessa pesquisa e a comparação com outros documentos normativos europeu e norte americano levam a conclusão de que a norma brasileira carece de revisão quanto à consideração do efeito de grupo.

A análise da norma europeia (CEN EUROCODE 5:2008) para diferentes espaçamentos entre parafusos em linha permite concluir que um maior espaçamento gera um menor efeito de grupo, portanto a consideração de espaçamento mínimo de 5d proposta pela revisão da norma brasileira (PN ABNT NBR 7190:2013) é uma opção mais segura para os projetos de madeira.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, 2º PN REVISÃO NBR 7190 – **Projeto de estruturas de madeira**, setembro, 2013, 74 p.

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

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

BEEDELE, L.S. **Structural Steel Desing**. New York, Ronald Press. 1964.

CRAMER, C.O. **An analytical and experimental examination of wood tension joints having a large number of bolts**. Madison, WI: University of Wisconsin. Ph.D. Thesis. 1967

DOYLE, D.V.. **Performance of joints with eight bolts in laminated Douglas-fir**. Res. Pap. FPL–RP–10. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 31 p. 1964

HOSSAIN, A; POPOVSKI, M; TANNERT, T; **Group Effects for Shear Connections with Self-Tapping Screws in CLT**, *Jornal Struct Engneer*, 2019.

LANTOS, G. **Load distribution in a row of fasteners subjected to lateral load**. *Wood Sci.* 1(3):129-136. Jan. 1969

MOSS, P. J. **Multiple-bolted joints in wood members: a literature review**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–97. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 18 p. 1997.

NDS (National Design Specification) **National design specification for wood construction**. Leesburg, VA: American Wood Council, 2018.

WILKINSON, T.L. **Assessment of modification factors for a row of bolt or timber connectors**. United States Departament of Agriculture, Dezembro, 1980.

WILKINSON, T. L. **Load Distribution Among Bolts Parallel to Load**. United States. Departamento f Agriculture. Setembro, 1986.