

## Efeito de grupo em ligações pregadas: avaliação experimental

### Group effect in nailed joints: experimental evaluation

#### RESUMO

Humberto Shoiti Ueda

[ueda@alunos.utfpr.edu.br](mailto:ueda@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Jorge Luís Nunes de Góes

[jgoes@utfpr.edu.br](mailto:jgoes@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Consideradas como pontos críticos de uma estrutura, as ligações exigem atenção e responsabilidade ao se projetar, a fim de garantirem três requisitos básicos: segurança, desempenho em serviço e durabilidade. Em relação às estruturas de madeira, material que ganha cada vez mais destaque devido principalmente à questão de sustentabilidade, as ligações mais utilizadas no país são os pregos e os parafusos devido a sua disponibilidade, custo reduzido e simplicidade de execução. O fenômeno denominado efeito de grupo relaciona a influência da quantidade de conectores empregados em linha com a resistência total da ligação e, sua consideração é proposta tanto pela norma nacional NBR 7190/97 quanto pela norma europeia EUROCODE 5/04. Para o estudo foram confeccionados corpos de prova utilizando-se a espécie da madeira *Apuleia leiocarpa* (Garapeira) e pregos lisos do modelo comercial 20 x 30 e os resultados obtidos a partir dos ensaios foram comparados com os resultados teóricos das normas. Os resultados dos ensaios indicaram a necessidade de revisão do documento normativo brasileiro por apresentarem comportamentos diferentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estrutura. Pregos. Resistência.

#### ABSTRACT

Considered as structures critical spots. the joints need attention and responsibility when designing, in order to ensure three basics requirements: safety, service performance and durability. Regarding to timber structures, material that recives increasingly highlighted mainly because of the sustentability, the most used joints in country are nails ans screws due to their available, low cost and easy execution. The phenomenon called group effect relates the amount of conectors influence employed in line with the joint total strength and its consideration is proposed as well as the national standard NBR 7190/97 and European standard EUROCODE 5/04. To the study were made proof bodies using the *Apuleia leiocarpa* wood species (Garapeira) and smooth nails of the comercial model 20 x 30 and the results obtained from tests were compared with the standars theoretical results. The tests results showed the necessity of a revision in the Brazilian document for presenting different behaviors.

**KEYWORDS:** Structure. Nails. Strength.

**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.



## INTRODUÇÃO

A utilização da madeira pelos seres humanos como material de construção para edificações ocorre há mais de mil anos, demonstrando tamanha durabilidade como aponta Mello (2007), porém, no Brasil, o seu emprego em estruturas de edificações não é tão popular quanto o concreto devido à diversos fatores como por exemplo o desconhecimento de suas propriedades e o preconceito desenvolvido ao longo dos anos, de acordo com Zenid (2011).

No entanto, a necessidade do uso de materiais cada vez mais sustentáveis, que gerem menores quantidades de resíduos e impactem menos o ambiente torna a madeira em um material atrativo. Segundo Bissoli-Dalvi (2020), a madeira possui características mecânicas e estéticas satisfatórias, além de ter um alto grau de sustentabilidade.

Por se tratar de um material natural e possuir limitação de dimensões, em muitos casos, para atender aos requisitos de um projeto, é necessário que se façam ligações de peças. E estas ligações são consideradas pontos críticos da estrutura, necessitando assim que seja dada devida importância ao seu dimensionamento. Portanto, torna-se oportuno e necessário maiores estudos sobre o material e suas ligações.

Existem diversos tipos de conectores no mercado nacional, sendo as principais os pinos metálicos, como os pregos e parafusos, devido a sua disponibilidade, custo reduzido e fácil execução. O comportamento estrutural das ligações em madeira é influenciado por diversos fenômenos físicos, sendo um deles o chamado efeito de grupo que consiste na influência da quantidade de pregos em relação à eficiência individual dos pregos ao instalados em uma única linha. Tal influência afeta diretamente a resistência da ligação.

Segundo Johansen (1949) a resistência das ligações por pinos metálicos depende de dois fatores: a resistência à flexão do pino metálico e o embutimento da madeira. E a partir desta análise foi possível o desenvolvimento de cálculos nos quais são apresentados pelas normas brasileira e europeia, sendo a primeira de maneira mais simplificada com menos considerações, enquanto a segunda leva em consideração outros fenômenos.

Em 2013, Sorensen constatou que diversos fatores influenciam o fenômeno do efeito de grupo como: teor de umidade e densidade da madeira, características dos pinos metálicos quanto à qualidade, textura e a penetração do pino metálico. Sabe-se também que a quantidade de pregos e o espaçamento entre eles também são fatores que influenciam tal fenômeno e ambos são abordados tanto na norma brasileira quanto na norma europeia.

A norma nacional ABNT NBR 1790:1997 se encontra atualmente em revisão e sua proposta é de que o espaçamento mínimo entre conectores seja reduzido de seis diâmetros (6d), para cinco diâmetros (5d) do pino metálico, e que para ligações com até oito pinos em linha e em direção paralela às fibras, não haja a redução de resistência individual dos conectores, sendo apenas a partir do oitavo conector considerado  $2/3$  da resistência individual do pino metálico. A equação 1 apresenta o cálculo do número efetivo de pinos metálicos ( $n_0$ ) que serão úteis para o cálculo da resistência da ligação,  $n$  se refere ao número de pinos metálicos empregados na ligação.

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

A norma europeia CEN EUROCODE 5:2004 ao se referir às ligações pregadas e ao cálculo do número efetivo de pregos ( $n_0$ ) utiliza o coeficiente ( $K_{ef}$ ) que está diretamente relacionado com os espaçamentos entre conectores ( $a_1$ ). A equação 2 e quadro 1 indicam os valores adotados.

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

Quadro 1 - Valores para o  $K_{ef}$

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 (2020).

De acordo com Gonçalves et al. (2018), a partir de dois pinos metálicos a resistência da ligação não mantém a proporcionalidade do resultado teórico proposto pela norma brasileira. Por outro lado, ao comparar com os resultados teóricos da norma europeia, os valores de ensaio se encontravam com eficiência acima do resultado teórico. Os autores também desenvolveram a equação 3 do número efetivo de conectores em linha para os resultados obtidos.

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

No ano de 2018, Oda desenvolveu um estudo no qual analisou o efeito de grupo de ligações em madeira utilizando-se múltiplos pregos com espaçamentos de seis diâmetros (6d). Sendo assim, a análise da influência do espaçamento entre os pregos e a resistência da ligação pode ser estudada ao se comparar os resultados de Oda (2018) com os do presente estudo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A espécie de madeira *Apuleia Leiocarpa* (Garapeira) foi utilizada para a confecção de todos os corpos de prova e pertencia ao mesmo lote. Os pinos metálicos utilizados foram pregos lisos com padrão comercial de 20x30, diâmetro de 4,4 mm e comprimento total de 69 mm. Tais medidas atendem os requisitos mínimos de penetração da normativa nacional, pois este tipo de ligação é classificado por possuir apenas uma seção de corte.

Para as etapas de classificação da madeira foram seguidos os procedimentos regidos pela NBR 7190/97 que se constituem, para este estudo, em determinação do teor de umidade, densidade aparente e compressão paralela às fibras. Em relação à determinação do teor de umidade, foram extraídos onze corpos e prova de seção transversal 3,0 cm x 2,0 cm e comprimento de 5,0 cm ao longo das fibras. Inicialmente foram obtidas as massas iniciais ( $m_i$ ) dos corpos e prova de maneira individual, utilizando-se da balança de precisão, após a secagem na estufa a temperatura de 95°C, pesou-se novamente obtendo-se a massa seca ( $m_s$ ), com

ambos os dados, em gramas, foi possível determinar o teor de umidade (U), em porcentagem, através da utilização da equação 4.

$$U = \frac{m_i - m_s}{m_s} \quad (4)$$

A densidade aparente da madeira, em g/cm<sup>3</sup> foi possível obter a partir da massa inicial (m<sub>i</sub>) e as dimensões dos corpos de prova A, B e C sendo largura, altura e comprimento respectivamente e com a unidade em centímetros como mostra a equação 5.

$$\rho_{ap} = \frac{m_i}{(A \times B \times C)} \quad (5)$$

Para a realização dos ensaios de compressão paralela às fibras foram corpos de prova com dimensões de 5cm x 5cm x 15 cm e ensaiados na Máquina Universal de Ensaios EMIC, modelo DL 30000.

Para o ensaio experimental de ligação foram confeccionados sete tipos de corpo de prova diferentes variando-se nas quantidades de pregos (1, 2, 4, 6, 8, 10 e 12) em cada peça lateral, em decorrência desta variação, o comprimento de cada tipo de corpo de prova alterou-se de forma a atender todos os espaçamentos mínimos propostos pela revisão da norma brasileira NBR 7190. Ao todo foram confeccionados 39 testes em corpos de prova de ligação. A figura 1 mostra um exemplar de cada tipo de corpo de prova de ligação e o quadro 2 a descrição de suas dimensões.

Figura 1 - Tipos de corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 2 - Dimensões dos corpos de prova para ensaio de ligação

Corpo de prova	Número de pregos em cada peça lateral	Peça central		Peça lateral	
		Seção transversal (mm x mm)	Comprimento (mm)	Seção transversal (mm x mm)	Comprimento (mm)
1	1	50 x 50	83,6	25 x 50	83,6
2	2	50 x 50	105,6	25 x 50	105,6
3	4	50 x 50	149,6	25 x 50	149,6
4	6	50 x 50	193,6	25 x 50	193,6
5	8	50 x 50	237,6	25 x 50	237,6
6	10	50 x 50	281,6	25 x 50	281,6
7	12	50 x 50	325,6	25 x 50	325,6

Fonte: Autoria própria (2020).

O ensaio experimental de resistência da ligação atendeu aos procedimentos da norma europeia EN 383:93, empregando a Máquina Universal de Ensaios EMIC, modelo DL 30000. O valor resultante da resistência última da ligação era determinada quando o corpo de prova atingia a ruptura ou quando o deslocamento limite entre as peças (de 15 mm) fosse alcançado. A figura 2 mostra o exemplo de corpo de prova sendo ensaiado.

Figura 2 - Corpo de prova para ensaio de ligação



Fonte: Autoria própria (2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicada a metodologia foi possível obter os resultados referentes à classificação da madeira, o quadro 3 apresenta os resultados de teor de umidade, densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras.

Quadro 3 – Resultado dos ensaios de caracterização da madeira

Propriedade	Média	Coef. variação (%)	Número de cps.
<b>Umidade</b>	9,47 %	8,48	11
<b>Densidade</b>	836 Kg/m <sup>3</sup>	3,85	11
<b>Compressão</b>	67,3 MPa	5,84	4

Fonte: Autoria própria (2020).

O quadro 4 apresenta os valores de resistência média das ligações e, por consequência, os valores de resistência média individual dos pregos, sendo estes últimos valores, o resultado da divisão das resistências das ligações pela quantidade de pregos em linha reta do respectivo corpo de prova. O quadro 4 também apresenta o coeficiente de variação (CV) entre os resultados apresentados pelos corpos de prova. O valor do efeito de grupo foi determinado pela divisão da resistência média individual do prego em corpos de prova com mais de um prego em linha ( $R_n$ ) com o valor de resistência média individual do CP com apenas um prego ( $R_1$ ) como mostra a equação 6.

$$\text{Efeito de grupo (\%)} = \frac{R_n}{R_1} \quad (6)$$

O número efetivo de pregos pode ser calculado a partir dos dados de efeito de grupo e número de pregos em linha como visto na equação 7.

$$\text{Número efetivo de pregos} = \frac{(\text{Efeito de grupo (\%)} \times \text{Número de pregos em linha})}{100} \quad (7)$$

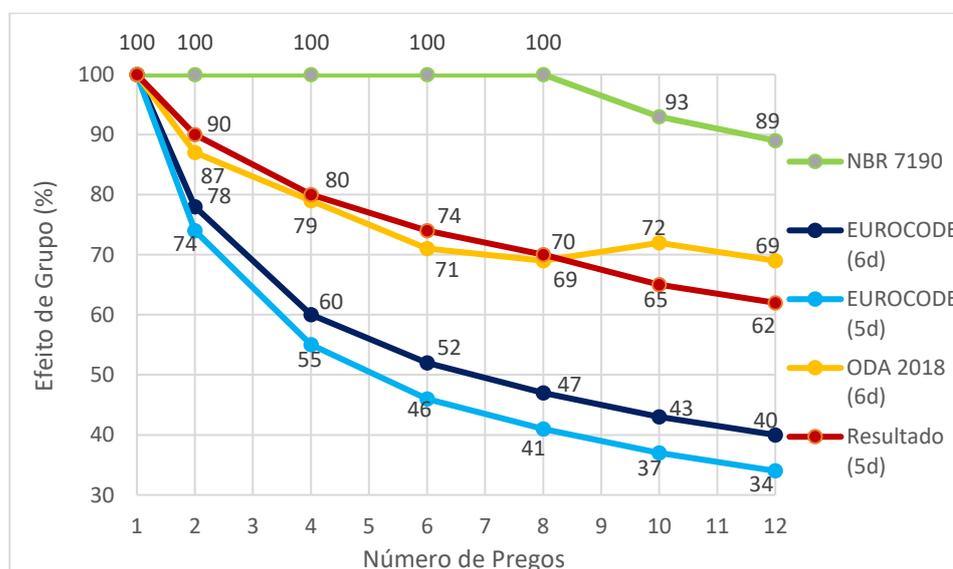
Quadro 4 - Resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova com ligações

Número de pregos em cada peça lateral	Resistência média da ligação (N) CV =	Resistência média individual do prego (N)	Efeito de grupo (%)	Número efetivo de pregos
1	8361 CV = 10,75%	4196	100	1,00
2	15032 CV = 3,89%	3758	90	1,80
4	26720 CV = 6,74%	3340	80	3,20
6	37260 CV = 5,42%	3105	74	4,44
8	46928 CV = 5,07%	2933	70	5,60
10	54318 CV = 11,39%	2614	65	6,5
12	62743 CV = 12,56%	2614	62	7,44

Fonte: Autoria Própria (2020).

O gráfico 1 reúne todos os resultados de efeito de grupo, tanto das normas brasileira e europeia, quanto os dois resultados experimentais sendo um realizado com espaçamento entre pregos de 6d, e este estudo com o espaçamento de 5d.

Gráfico 1 - Resultados de efeito de grupo para pregos 20x30



Fonte: Autoria própria (2020).

## CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios de ligações demonstraram o efeito de grupo quando ligações com mais de um conector em linha são executadas. A cada novo prego

adicionado há uma tendência de redução de eficiência da ligação, corroborando com as indicações da bibliografia consultada.

O texto do documento normativo brasileiro preconiza que o efeito de grupo é significativo e deve ser considerado apenas para ligações com mais de oito conectores em linha, entretanto, contraria o constatado experimentalmente, podendo resultar em ligações inseguras para todos os casos avaliados.

Com relação ao modelo proposto pela norma europeia pode-se observar uma proporcionalidade dos resultados experimentais quando comparados com os preconizados pela norma, entretanto, em todos os casos o modelo na norma europeia foi conservador.

A influência do espaçamento entre os conectores foi avaliada experimentalmente comparando os resultados obtidos com os resultados de Oda (2018). Para ligações realizadas com 10 e 12 pregos pôde-se constatar a redução da eficiência de ligações com espaçamento de 5d, frente a ligações com espaçamento de 6d, conforme esperado. Entretanto, para o número menor de pregos em linha, os resultados se mostraram equivalentes.

Em razão da divergência entre os resultados experimentais obtidos e o indicado pelas normas brasileira e europeia, considera-se pertinente a realização de mais estudos sobre o tema, considerando a possível influência de fatores como, diferentes espécies de madeira, teor de umidade, fadiga, pré-furação, esbeltez do conector, dentre outros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação pelo fomento financeiro, o Programa de Educação Tutorial do Ministério da Educação e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão.

## 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, 2ª PN REVISÃO NBR 7190 – **Projeto de estruturas de madeira**, setembro, 2013, 74 p.

BISSOLVI-DALVI, Márcia et al. **Avaliação da Sustentabilidade da Madeira por Meio da Ferramenta ISMAS. Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 24 16 ago. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.077214>.

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

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

GONÇALES, Nathalia Gabriela; ODA, Camilla; GÓES, Jorge Luís Nunes de. **Estudo do Efeito de Grupo em Ligações de Madeira com Parafusos Passantes.** In: **16º ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS & 3º 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.

JOHANSEN, K. W. **Theory of timber connections.** International association for Bridge and Structural Engineering. Zurich. Vol. 9. 1949.

MELLO, Roberto Lacomte de. **PROJETAR EM MADEIRA: UMA NOVA ABORDAGEM.** Orientador: Prof. Dr. Paulo Castilho Lima. 2007. 195 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

ODA, Camilla. **Avaliação Experimental do Efeito de Grupo de Ligações Pregadas em Madeira.** 2018. 14 p. Relatório de Atividade de Iniciação Científica (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

SORENSEN, Christian O., NYMARK, Ruth-marie; BAASTAD, Lars. **Experimental Investigations of the Shear Capacity of Nails in a Row.** Open Journal Of Civil Engineering, [s.l.], v. 03, n. 03, p. 173-181, 2013. Scientific Research Publishing, Inc., <http://dx.doi.org/10.4236/ojce.2013.33021>.

ZENID, Geraldo José. **Madeira na construção civil.** São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., 2011.