

Efeito da temperatura na resistência de ligações parafusadas

Andreza Geraldi ¹; Ana Julia Zunta Carniel ²; Thaisa Schmoller ²; Gustavo Savaris ²; Carlos Eduardo Tino Balestra ²; Wagner Alessandro Pansera ²

¹ Universidade Federal do Paraná; ² Universidade Federal de Santa Catarina; ³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Em regiões de clima quente, as estruturas de madeira instaladas sob telhas metálicas são expostas a elevadas temperaturas, que podem influenciar negativamente em suas propriedades mecânicas. Este trabalho avalia, experimentalmente, a resistência de ligações duplas parafusadas de madeira de *Pinus* sp. submetidas à temperaturas entre 200 °C e 300 °C, variando o tempo de permanência na mufla de trinta minutos a três horas. Os resultados demonstraram um aumento na resistência das ligações até a primeira hora de aquecimento, em relação à peça sem exposição ao calor, entretanto, a exposição por um período acima de uma hora resultou em carbonização da madeira, reduzindo a resistência da ligação.

Palavras-chave: Temperatura, Ligação parafusada, Resistência.

Temperature effect on bolted connection strength

Abstract: In hot climates, wood structures installed under metal roofs are exposed to high temperatures, which may adversely affect their mechanical properties. This work evaluates, experimentally, the performance of bolted connections of *Pinus* sp. subjected to temperatures between 200 °C and 300 °C, with exposure time varying from thirty minutes to three hours. The results demonstrated an increase in connections strength until the first hour of heating when compared to specimens without exposure to heat, however, exposure for a period of more than one hour resulted in carbonization of the wood, reducing the connection strength.

Keywords: Temperature, Bolted connection, Strength.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas da madeira em condições normais estão relacionadas, principalmente, com a densidade, a anatomia e o teor de umidade desse material. Mas quando ela é exposta a temperaturas elevadas, essas propriedades são modificadas, podendo ocorrer efeitos positivos ou negativos (MANRÍQUEZ, 2012).

Em regiões onde a temperatura do ambiente ultrapassa 35 °C, a temperatura sob os telhados pode chegar a até 65 °C (MORAES; RODRIGUES; CORREIA, 2011). Quando submetidas a altas temperaturas, as propriedades mecânicas da madeira são alteradas devido à redução do teor de umidade, surgimento de tensões internas nas fibras, formação de fendas na parede celular, perda de peso de carboidratos e amolecimento da lignina (MANRÍQUEZ; MORAES, 2009).

A lignina é um dos três polímeros naturais da madeira, sua quantidade varia entre 15 e 30% do material, sendo a sua substância mais abundante. Ela exerce a função adesiva entre os diversos tecidos da árvore, dando-lhes rigidez e resistência (SANTOS, 2008). Segundo Manriquez (2012), quando exposta a temperaturas até 100 °C ocorrem mudanças na estrutura da lignina, devido à saída de umidade, entre 100 °C e 150 °C ocorre a transição vítrea da lignina, sendo esta a alteração do estado ordenado rígido para um estado desordenado que origina o comportamento plástico, entre 150 °C e 200 °C ocorre o seu re-endurecimento, o que pode ocasionar aumento de resistência e a partir dos 200 °C ocorre aumento forte da taxa de degradação da lignina.

Em faixas de temperatura entre 120 °C e 280 °C ocorre a termorretificação da madeira, melhorando sua estabilidade dimensional e resistência natural (BARREIROS; BELEZIA, 2016). Além disso, a madeira ganha durabilidade quanto aos agentes biológicos, como fungos (MODES et al., 2017), e, também, tem sua cor uniformizada, valorizando esteticamente o produto final (LOPES et al., 2014). Para cada espécie de madeira a termorretificação deve ocorrer em uma faixa de temperatura diferente, levando em consideração a temperatura de transição vítrea do material (SILVA, 2011).

Neste sentido, este trabalho avalia experimentalmente a resistência de ligações parafusadas utilizando madeira de *Pinus* sp. submetidas à elevadas temperaturas, visto que as ligações são os pontos estratégicos do esquema estrutural.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do material e corpos de prova

Para realização deste trabalho optou-se pela utilização de madeira *Pinus* sp., devido à sua disponibilidade no comércio local e utilização em estruturas de madeira de pequeno porte. As amostras foram retiradas de um lote homogêneo, cujo volume não era superior a 12 m³. Os corpos de prova foram extraídos aleatoriamente ao longo do lote e isentos de defeitos, distando, no mínimo, cinco vezes sua menor dimensão, ou 30 cm das extremidades da peça.

Seguindo as recomendações da norma NBR 7190 (ABNT, 1997), seis corpos de prova de seção retangular (2,0 cm x 3,0 cm), e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm foram utilizados para determinação da umidade. Outros doze corpos de prova com seção transversal de 5,0 cm x 5,0 cm e comprimento de 15,0 cm ao longo das fibras foram utilizados para determinação da resistência à compressão paralela às fibras, divididos em dois tratamentos de seis corpos de prova cada: um tratamento ensaiado com umidade natural e outro após secagem em estufa por 24 horas a temperatura de 100 °C.

Para determinação da resistência de ligações duplas parafusadas foram montados 36 corpos de prova compostos por três peças de madeira, sendo as talas laterais com 44mm x 22 mm x 170 mm e a peça central com 44 mm x 44 mm x 170 mm, ligadas utilizando dois parafusos do tipo sextavado 8.8, enegrecido de têmpera, de rosca parcial de 10 mm de diâmetro, com tensão de escoamento característica de 640 N/mm² e tensão de ruptura de 800 N/mm², inseridos em furos realizados com broca de diâmetro 10,5 mm.

2.2 Tratamento dos corpos de prova e experimentação

Os 36 corpos de prova de ligações parafusadas foram divididos em seis tratamentos, de seis corpos de prova cada, conforme apresentado na Tabela 1. Os tratamentos 1 e 2 foram ensaiados nas condições de umidade natural e após secagem em estufa a 100 °C durante 24 horas, respectivamente. Os tratamentos 3 a 6 foram inseridos em um forno elétrico industrial regulado em 300 °C, ocorrendo um aquecimento gradativo das peças a partir da temperatura ambiente. Para monitoramento da temperatura dos exemplares foi utilizado um termômetro de infravermelho, constatando que nenhum dos tratamentos chegou à temperatura máxima regulada para o forno.

Tabela 1. Temperatura máxima e tempo de exposição dos corpos de prova.

Grupo	Temperatura máxima (°C)	Tempo de exposição
1	Sem exposição	-
2	100 °C	24 h
3	230 °C	30 min
4	243 °C	60 min
5	261 °C	90 min
6	278 °C	180 min

Após submetidos à temperatura, os exemplares permaneceram em temperatura ambiente no laboratório, em torno de 23°C, para resfriamento, sendo então envolvidos com filme plástico até a

data de realização dos ensaios. Os corpos de prova foram ensaiados em uma máquina universal de ensaios, sendo comprimidos com taxa de carregamento igual a 2 mm/min até a ruptura.

Para verificar se existem diferenças entre os tratamentos nos resultados de resistência das ligações parafusadas obtidos experimentalmente foi realizada uma análise de variância (ANOVA) utilizando o programa R, com nível de significância de 0,05 e teste de Tukey-Kramer para comparações múltiplas.

3. RESULTADOS

O lote de madeira utilizado apresentou teor de umidade igual a 14,5% com desvio padrão de 1,74% e resistência à compressão paralela às fibras em umidade natural e após secagem em estufa iguais a 31,61 MPa e 51,46 MPa, respectivamente.

Na Figura 1 são apresentados os exemplares após submetidos ao aquecimento no forno industrial. Durante o processo de aquecimento das peças foi observada a acentuação da cor da madeira após 30 minutos de exposição ao calor e a saída de resina da madeira com mudança de coloração após 60 minutos, adquirindo um tom alaranjado e ocorrendo carbonização da superfície externa da madeira nas peças do grupo 6.

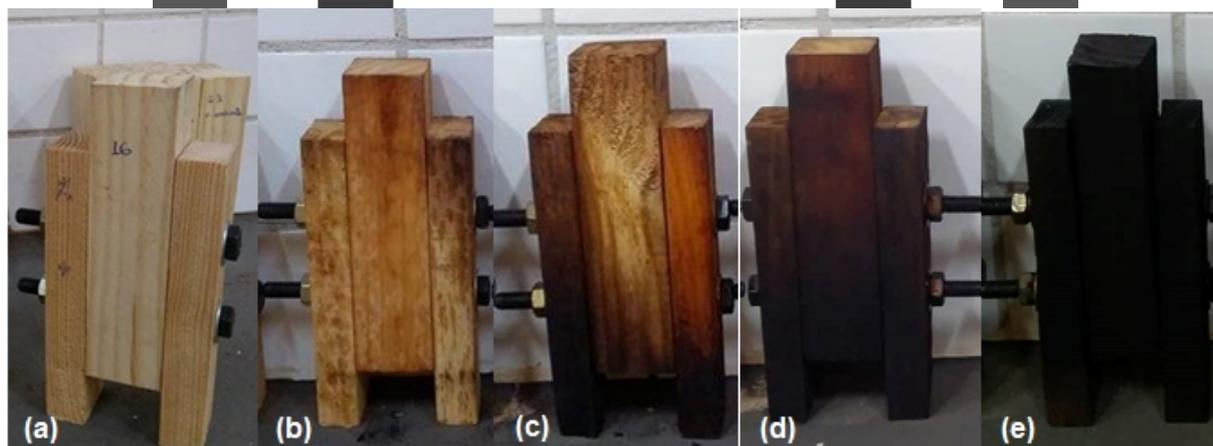


Figura 1. Exemplares após aquecimento em forno industrial: (a) Grupo 2; (b) Grupo 3; (c) Grupo 4; (d) Grupo 5; (e) Grupo 6.

As médias das forças de compressão obtidas experimentalmente para cada grupo de exemplares de ligações são apresentadas na Tabela 2. Nos ensaios de compressão das ligações a ruptura ocorreu por fendilhamento da madeira nas peças laterais da ligação.

Tabela 2. Média das forças de compressão máximas suportadas pelos exemplares de ligações.

Grupo	Resistência (kN)	Desvio padrão (kN)
1	37,84	3,76
2	47,05	6,78
3	48,95	4,22
4	49,26	5,02
5	33,93	5,64
6	26,34	4,89

4. DISCUSSÃO

A secagem da madeira em estufa resultou em aumento de 24,33% na resistência das ligações em relação à madeira em seu estado natural, fato este esperado, visto que a redução da umidade resulta em aumento da resistência à compressão da madeira e consequentemente em sua resistência ao embutimento dos pinos da ligação.

A análise de variância demonstrou que somente entre os grupos 3 e 4 não houve variação significativa na resistência das ligações. As ligações ensaiadas apresentaram um aumento de resistência com a exposição à temperatura superior a 200 °C por até uma hora (Grupo 4), quando a temperatura máxima foi de 243 °C.

Após 90 minutos de exposição ao calor e atingindo uma temperatura máxima de 263 °C, as peças do grupo 5 apresentaram resistência média inferior às peças de madeira em estado natural. Esta redução de resistência pode ser atribuída à degradação da lignina, como apresentado por Santos (2008), sendo este efeito acentuado com o tempo de exposição.

Nas peças grupo 6 a superfície externa da madeira foi totalmente carbonizada e observou-se a formação de brasa na região de contato entre o parafuso e a madeira, gerando folga na ligação. As peças deste grupo apresentaram resistência média aproximadamente 30% inferior às peças em estado natural.

5. CONCLUSÕES

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que dependendo do tempo de exposição das peças de madeira às temperaturas inferiores a 270 °C não ocorrem efeitos deletérios em suas propriedades mecânicas, podendo ser até mesmo uma maneira de melhorá-lo por meio de termorretificação.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

BARREIROS, R. M.; BELEZIA, C. M. Efeito da retificação térmica nas características e propriedades físicas de madeira *Pinus elliottii*. In: XV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Curitiba-PR. Anais... Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2016.

LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Propriedades físicas da madeira de teca termorretificada. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.4, p. 569-577, 2014.

MANRÍQUEZ, M. J. **Coefficientes de modificação das propriedades mecânicas da madeira devidos à temperatura**. 2012. 269 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MANRÍQUEZ, M. J.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.

MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A.; GARLET, A. Influência da termorretificação na resistência a degradação biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 993-1002, 2017.

MORAES, P. D.; RODRIGUES, J. P. C.; CORREIA, N. D. F. Behavior of bolted timber joints subjected to high temperatures. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, p. 225-232, 2012.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SILVA, M. M. E. **Efeito da termorretificação na resistência biológica da madeira de Bracatinga-comum (*Mimosa scabrella*)**. 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2011.