

X CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 21, 22 e 23 de maio de 2024

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Campus Itapetininga

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE EMBUTIMENTO EM MADEIRAS DE CAMBARÁ SEGUNDO AS NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 7190 (2022) E ASTM D5764 (2018)

Gustavo Ruivo Vieira Nunes – PIBIFSP/IFSP¹

Lucas Daniel Vieira de Carvalho – PIBIC-EM/IFSP¹

Prof. Dr. Rafael dos Santos - IFSP²

Prof. Dr. Julio Cesar Molina - IFSP³

Introdução

De acordo com Paiva Filho *et al.* (2018), mesmo que o uso da madeira e estudos sobre ela acompanhe o crescimento e o desenvolvimento arquitetônico da humanidade, a madeira não é aplicada da forma correta em muitos casos no Brasil, tendo em vista que há uma falta de conhecimento e uma descrença em suas capacidades estruturais. Consequentemente, por vezes normas e parâmetros necessários para a segurança das estruturas que utilizem madeira nem sempre são seguidas de maneira correta, ocasionando acidentes e problemas estruturais.

Segundo Santos *et al.* (2020), em edificações de madeira seus sistemas não são monolíticos e sua rigidez está diretamente relacionada aos materiais e ao tipo de união utilizada, pois a ligação é a região de maior tensão da estrutura. De acordo com Almeida (2014), quando a ligação é projetada com pino metálico, é considerada a possibilidade de uma deformação de embutimento do pino na madeira. Portanto, é necessário o estudo prévio para avaliar o comportamento das propriedades mecânicas da ligação quando sujeita a tensão.

Esse tipo de conexão por pino metálico é intermediado e previsto pela norma brasileira ABNT NBR 7190 (2022a) que “estabelece os requisitos gerais de projeto e execução de estruturas de madeira incluindo as estruturas formadas por tesouras planas, paralelas ou não, com ligações pregadas, parafusadas ou executadas com chapas de dentes estampados”. Em outros países, as normas mais utilizadas são a americana ASTM D5764 (2018) e a europeia EN 383 (2007).

O embutimento, segundo Almeida (2011) *apud* Almeida (1987), é o estado de múltiplas tensões nas faces do furo da peça causado pela grande pressão exercida pelo pino na madeira. Para avaliação de seu comportamento, no Brasil, normalmente utiliza-se a norma ABNT NBR 7190 (2022a; 2022b) que determina a resistência a

¹ Estudantes do curso Técnico em Eletromecânica Integrado ao Ensino Médio, IFSP Campus Itapetininga – Itapetininga/SP. E-mail do primeiro autor: gustavo.ruivo@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutor. Campus Itapetininga do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP – Itapetininga/SP. E-mail do autor: rafasantos01@ifsp.edu.br.

³ Doutor. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, USP – São Carlos/SP. E-mail do autor: julio.molina@usp.br.

IX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 23, 24 e 25 de maio de 2023

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

embutimento na madeira nas direções paralela e perpendicular das fibras, considerando um lote homogêneo.

Objetivos

O estudo sobre as ligações de madeira passivas ao embutimento é de extrema importância para a comunidade técnica, para uso de embasamento teórico em outras pesquisas e para a prática de criar estruturas com ligações de madeira.

Neste projeto de pesquisa buscou-se realizar uma avaliação dos métodos normativos para a determinação da resistência ao embutimento de pinos metálicos em peças de madeira de cambará com base nas normas ABNT NBR 7190 (2022a; 2022b) e ASTM D5764 (2018), com posterior realização de ensaios à luz desses documentos.

Como objetivos únicos do projeto, almejou-se analisar a segurança das normas para com seus usuários que não podem realizar ensaios específicos com todos os materiais, como o ensaio de embutimento. Também busca-se comparar os resultados obtidos entre as normas, analisando se os métodos estão adequados em relação a classe de resistência da madeira.

Metodologia

A confecção dos corpos de prova para caracterização físico-mecânica e realização dos ensaios de embutimento paralelo e perpendicular às fibras foi feita de acordo as normas ABNT NBR 7190 (2022b) e ASTM D5764 (2018), normas abordadas neste trabalho. Os corpos de prova foram confeccionados, segundo as normas brasileira e americana, a partir de caibros e tábuas de cambará comprados na região de Itapetininga-SP. Os pinos de aço utilizados no ensaio e para os cálculos foram de 10 mm de diâmetro.

O Quadro 1 apresenta resumidamente cada perfil de madeira usado na realização dos ensaios da espécie estudada, bem como a quantidade necessária para cada perfil, além da indicação de para qual ensaio cada perfil foi utilizado.

Quadro 1 – Sumarização dos corpos de prova com suas respectivas dimensões.

Ensaio	Quantidade de corpos de prova	Dimensão dos corpos de prova (cm)
Densidade e umidade (NBR 7190, 2022b)	16	2 x 3 x 5
Compressão (NBR 7190, 2022b)	8	5 x 5 x 15
Embutimento Paralelo (NBR 7190, 2022b)	8	2 x 6 x 14
Embutimento Perpendicular (NBR 7190, 2022b)	8	2 x 10 x 40
Embutimento Paralelo (ASTM D5764, 2018)	8	2 x 5 x 7,5
Embutimento Perpendicular (ASTM D5764, 2018)	8	2 x 5 x 7,5

Fonte: (Elaboração própria, 2023).

Para a realização dos ensaios de compressão e de embutimento conforme ambas as normas, foi utilizada uma máquina universal de ensaio EMIC DL-30000. Além da célula de carga articulada, também foi necessário o uso de um suporte de

IX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 23, 24 e 25 de maio de 2023

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

ensaio (projetado e construído em projeto de iniciação científica anterior) para apoio do pino que atravessa os corpos de prova e é embutido nas fibras da madeira. Para medição da deformação utilizou-se de um Deflectômetro digital EE05 de faixa de medição de 0,001 - 12,500 mm.

Para a análise e comparação do valor analítico e experimental, cada documento normativo possui suas próprias equações e estas foram utilizadas para os respectivos cálculos (AWC, 2017; ABNT NBR 7190, 2022a).

Resultados

O teor de umidade (U) médio obtido dos corpos de prova foi de 15,69%, com desvio padrão de 0,67%. A densidade aparente (ρ_{ap}) média dos corpos de prova foi de 698,22 kg/m³, com desvio padrão de 33,04 kg/m³.

Para caracterização adequada de madeira nativa conhecida, utilizou-se da norma NBR 7190 (2022a) para consulta da classe de resistência baseada na resistência à compressão característica da madeira. A resistência à compressão paralela (f_{co}) média obtida nos ensaios foi de 54,50 MPa, valor já corrigido para o teor de 12% de umidade, com desvio padrão de 3,10 MPa.

Em pesquisa realizada por Medeiros (2021), encontrou-se o valor 52,22 MPa para resistência de compressão no corpo de prova utilizado como controle. Nos ensaios realizados por Dias e Lahr (2000), os autores encontraram o valor de 59,20 MPa para a resistência de compressão para a madeira de cambará. Baseado nos dados destas pesquisas, observou-se que os valores obtidos nos ensaios deste trabalho encontram-se coerentes com os valores apresentados pela literatura.

Através da norma NBR 7190 (2022b) os resultados de resistência ao embutimento experimentalmente obtidos foram 64,52 MPa e 60,75 MPa, para as direções paralela e perpendicular, respectivamente. Os valores analíticos para embutimento paralelo e perpendicular às fibras foram de 43,16 MPa e 41,39 MPa, respectivamente. Pode-se observar que os valores analíticos calculados através da densidade da madeira são consideravelmente inferiores aos valores experimentais, mostrando uma preocupação com a segurança do usuário que realizar somente a caracterização baseada na densidade da madeira, utilizando-se da estimativa analítica propiciada pela norma brasileira.

Para a norma ASTM D5764 (2018), os resultados dos ensaios experimentais de embutimento paralelo e perpendicular às fibras apresentaram, respectivamente, os valores de 56,89 MPa e 37,73 MPa. Para a obtenção das resistências analíticas, a norma NDS 2018 (AWC, 2017) considera a média da densidade aparente, ao invés da densidade aparente característica, diferentemente da norma brasileira. Os valores analíticos obtidos para a norma americana foram de 53,94 MPa para o ensaio paralelo às fibras e 40,79 MPa para o ensaio perpendicular às fibras. Comparando os resultados experimentais e analíticos, é possível observar que a norma americana superestima resistência ao embutimento da madeira, o que pode ser perigoso ao usuário que se baseia somente nos cálculos analíticos e não consegue realizar os ensaios experimentais.

IX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 23, 24 e 25 de maio de 2023

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

Considerações finais

Após os experimentos realizados, a madeira de cambará (*Qualea paraensis*) pode ser caracterizada apropriadamente. Observou-se que tanto os resultados dos ensaios físicos para caracterização, quanto os ensaios mecânicos, apresentaram valores condizentes com os resultados obtidos por outros autores. A classe de resistência da madeira observada neste estudo, baseada na resistência a compressão paralela e segundo os parâmetros da norma ABNT NBR 7190 (2022b), foi a classe D50, valor diferente do apresentado Tabela A.1 da respectiva norma para a madeira estudada, porém em sintonia com os valores de resistência obtidos em outros estudos, mostrando uma divergência que cabe ser analisada.

Em relação aos ensaios de embutimento segundo a norma brasileira, os resultados médios experimentais foram acima dos resultados obtidos através das formas analíticas, indicando um favorecimento pela segurança do usuário, caso não seja possível a realização do ensaio dedicado a propriedade de embutimento. Para o sentido paralelo às fibras, a diferença é de aproximadamente 20 MPa, mostrando grande subestima da madeira. Para o sentido perpendicular às fibras, a discrepância é menor, de aproximadamente 10 MPa, que ainda é alta, mas compreende uma margem de segurança.

Para os ensaios segundo a norma americana, os resultados médios experimentais foram inferiores dos resultados obtidos através das equações para resultados analíticos, mostrando superestima da madeira, que pode ser perigoso ao usuário que adotá-la como parâmetro. A diferença não foi tamanha como nos resultados que seguem os parâmetros da norma brasileira, porém os, aproximadamente, 7 MPa superestimados podem ser cruciais para o cálculo estrutural e consequente colapso da ligação.

Comparando ambos resultados de resistência de embutimento com a classe de resistência do material, observa-se que os ensaios que seguem os padrões da norma brasileira apresentaram resultados mais coerentes com a classe de resistência da madeira, apresentando resultados na casa dos 50 MPa, coisa que não pode ser observada com os resultados experimentais da norma americana, mostrando uma possível falha de desenvolvimento do ensaio.

Referências

ALMEIDA, D. H. **Proposta de método de ensaio para a determinação da resistência da madeira ao embutimento**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-30072014-085410/publico/2014ME_DiegoHenriquedeAlmeida.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2023.

ALMEIDA, D. H. **Análise das resistências de embutimento e de compressão para madeiras de pinus e eucalipto**. 2011. 101 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Câmpus Experimental de Itapeva, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/117985>>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

IX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 23, 24 e 25 de maio de 2023

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

AMERICAN WOOD COUNCIL. **NDS 2018**: National design specification for wood construction 2018 Edition. Leesburg: American Wood Council, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5764**: Evaluating dowel-bearing strength of wood and wood-based products. West Conshohocken: ASTM, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1. Parte 1**: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-3. Parte 3**: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro, 2022b.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Análise das relações propostas pela norma brasileira NBR 7190 para caracterização simplificada da resistência de madeiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14, 2000, São Pedro. **Anais Eletrônicos...** São Pedro, 2000, p 26701-26712. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2000/Docs/TC213-001.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 383**: Timber structures – Test methods - Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners. Brussels: 2007.

MEDEIROS, D. T. *et al.* Alterações físico-mecânicas na madeira de cambará (*Qualea paraensis*) termorretrificada. **Madera y bosques**, Xalapa, v. 27, n. 2, e2722176, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v27n2/2448-7597-mb-27-02-e2722176.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

PAIVA FILHO, J. C. *et al.* Diagnóstico do uso de madeira como material de construção no município de Mossoró-RN/Brasil. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. e12179, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/V8m9dQWQhMQw6nktY8dBbVK/?lang=pt#>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

SANTOS, F. L. D. L. *et al.* Resistência ao cisalhamento de ligações de madeira para produção de painel do sistema *wood frame* com eucalipto jovem. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. e-12908, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/sJXJZ9HHmJjqL8r7KYrNYCj/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 23 abr. 2023.