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

LUCAS D. V. CARVALHO, GUSTAVO R. V. NUNES[1], RAFAEL SANTOS[2], JÚLIO C. MOLINA[3]

[1] Estudantes de Eletromecânica Integrado ao Ensino Médio, Bolsista do CNPq, IFSP, Campus Itapetininga, vieira.carvalho@aluno.ifsp.edu.br.
[2] Doutor em Engenharia Mecânica, Professor, IFSP, Campus Itapetininga, rafasantos01@ifsp.edu.br
[3] Doutor em Engenharia Civil, Professor, USP, Campus São Carlos, julio.molina@usp.br
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 5.02.04.02-5 Propriedades Físico-Mecânicas da Madeira

RESUMO: Existem diversos tipos de ligações utilizadas nas estruturas de madeira e o estudo dessas ligações é de extrema importância para a estrutura de modo geral, pois garantem a segurança da edificação. Atualmente existem diversas normas que são utilizadas para a avaliação de ligações em estruturas de madeira, como a ABNT NBR 7190 (2022a; 2022b) no Brasil e a ASTM D5764 (2018) internacionalmente. Este trabalho buscou avaliar os métodos empregados nas normas brasileira e americana para a determinação da resistência de embutimento de pinos metálicos em corpos de prova de madeira de Peroba do Norte (*Goupia glabra*). Os resultados mostraram que a norma brasileira, recentemente atualizada, prioriza a segurança ao apresentar resultados analíticos subestimados em relação ao resultado experimental. A norma americana, entretanto, apresentou um modelo analítico de estimativa para os ensaios perpendiculares às fibras preocupante, pois superestimou a resistência ao embutimento da madeira, podendo levar a um dimensionamento equivocado da ligação de uma estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Embutimento; Peroba do Norte; Ligação estrutural; Pinos metálicos.

STUDY OF THE EMBEDDING STRENGTH IN PEROBA DO NORTE WOOD ACCORDING TO ABNT NBR 7190 (2022) E ASTM D5764 (2018) STANDARDS

ABSTRACT: There are various types of connections used in timber structures, and the study of these connections is of extreme importance for the overall integrity of the structure, as they ensure the safety of the building. Currently, there are several standards used for the assessment of connections in timber structures, such as ABNT NBR 7190 (2022a; 2022b) in Brazil and ASTM D5764 (2018), internationally. This study aimed to evaluate the methods employed in the Brazilian and American standards for determining the embedment strength of metal dowels in test specimens of Peroba do Norte wood (*Goupia glabra*). The results indicated that the recently updated Brazilian standard prioritizes safety by presenting analytical results that are underestimated in relation to the experimental results. In contrast, the American standard presented an analytical model for perpendicular-to-grain testing that is concerning, as it overestimated the embedment strength of the wood, which could lead to incorrect sizing of a structural connection.

KEYWORDS: Embedding; Peroba do Norte; Structural connection; Metal dowels.

INTRODUÇÃO

A Peroba do Norte (*Goupia glabra*) é uma madeira nativa da região norte do Brasil, encontrada principalmente na região amazônica (Pereira; Trindade, 2023), ela apresenta coloração avermelhada e cheiro característico. As madeiras são amplamente utilizadas em edificações, porém

muitas vezes as normas reguladoras, que promovem a segurança da construção, não são utilizadas corretamente, o que pode acabar ocasionando em problemas estruturais, logo, eventuais acidentes.

Segundo Stamato (1998) essa resistência de embutimento de pinos metálicos em madeira, parte da combinação de duas circunstâncias diferentes, sendo o efeito da flexão do pino e de seu embutimento na madeira. Como definido pela ABNT NBR 7190-3 (2022b) a resistência ao embutimento (f_e) é obtida através da razão de força pela área, tanto na direção paralela (f_{e0}) quanto perpendicular (f_{e90}) às fibras. A norma americana ASTM D5764 (2018) também é amplamente utilizada para determinar a resistência ao embutimento da madeira, e a definição utilizada por esta norma é a mesma da brasileira.

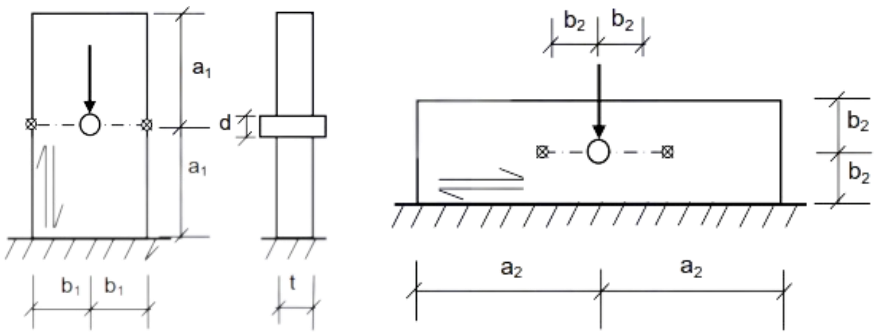
Analisando o estudo da resistência ao embutimento da madeira é notável sua grande importância, pois dessa forma é possível fazer construções em madeira confiáveis, evitando grande parte dos problemas estruturais e dos acidentes, assegurando desta forma a vida de muitas pessoas. Diante disso, este projeto tem como objetivo estudar a resistência ao embutimento de pinos metálicos em peças de madeira de Peroba do Norte (*Goupia glabra*). Também é objetivo deste trabalho comparar os resultados obtidos pelas normas brasileira e americana, a fim de concluir se os resultados dos métodos condizem com a classe de resistência da madeira utilizada.

MATERIAL E MÉTODOS

Quantificação das peças de madeira

Antes de qualquer etapa prática do projeto foi necessário estipular a quantia de madeira necessária para a confecção dos corpos de prova que iriam ser utilizados e, para tanto, foram utilizadas as medidas previstas nas normas brasileira e americana para cada um dos ensaios previstos neste projeto. Entre os modelos de corpos de prova utilizados estão os corpos de prova para medição da umidade e densidade da madeira, para ensaio de compressão paralela às fibras, para o ensaio de embutimento paralelo e perpendicular às fibras pela norma ABNT NBR 7190 (2022a; 2022b) e para o ensaio de embutimento paralelo e perpendicular às fibras pela norma ASTM D5764 (2018).

O primeiro corpo de prova é o de ensaio de umidade e densidade da madeira, foram utilizados 8, que tem 30 mm de espessura, 20 mm de largura e 50 mm de comprimento. O segundo é o de compressão paralela às fibras, que também foram utilizados 8 corpos de prova, os quais possuem 50 mm de largura, 50 mm de espessura e 150 mm de comprimento. Já a terceira amostra é dos ensaios de embutimento pela norma brasileira, que foram utilizadas 6 amostras com medidas baseadas no diâmetro do pino (10 mm), sendo essas medidas de 60mm de largura, 20 mm de espessura e 140 mm de comprimento para a direção paralela (Figura 1a) e 100 mm de largura, 20 mm de espessura e 400 mm de comprimento para a direção perpendicular (Figura 1b). O quarto tipo de corpo de prova é o de embutimento de acordo com a norma americana, a qual também utiliza medidas baseadas no diâmetro do pino, em que foram utilizadas 12 amostras, 6 para cada direção em relação às fibras, com 50 mm de largura, 20 mm de espessura e 75mm de comprimento (Figura 2).



(a) (b)

FIGURA 1. Corpos de prova para embutimento (a) paralelo e (b) perpendicular às fibras segundo a norma brasileira. Fonte: (ABTN NBR 7190-3, 2022b).

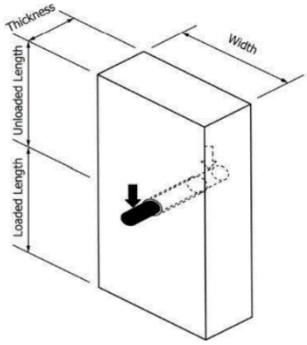


FIGURA 2. Corpo de prova para embutimento paralelo e perpendicular às fibras segundo a norma americana. Fonte: (ASTM D5764, 2018).

Para todos os corpos de prova, incluindo umidade e densidade, embutimento segundo a norma brasileira e embutimento de acordo com a norma americana foi pensado em utilizar a mesma espessura, pois isso facilitaria na compra das madeiras, que de acordo com as medidas, os corpos de prova puderam ser retirados de tábuas com 2 cm de espessura. Já os corpos de prova para compressão foram retirados de caibros, devido suas dimensões. O armazenamento das tábuas e caibros usados para a confecção dos corpos de prova foi feito a através de entabicamento, a fim de garantir a estabilidade de sua umidade com o ambiente, garantindo ainda que não houvesse empenamento das peças.

Ensaios realizados

Umidade e densidade da madeira

Os ensaios de umidade e densidade são destinados à caracterização das propriedades físicas da madeira, e são calculados através das Equações 1 e 2. Os ensaios apresentam diversos procedimentos, assim como prevê a norma ABNT NBR 7190-3 (2022b), os quais foram realizados nos laboratórios por meio dos equipamentos do IFSP Campus Itapetininga.

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s}\, x\, 100 \quad (1)$$

Em que:
U (%) é o teor de umidade da madeira em porcentagem (%);
m_i é a massa inicial do corpo de prova em gramas (g);
m_s é a massa da madeira "seca" do corpo de prova em gramas (g).

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Em que:
ρ_{ap} é a densidade aparente, em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);
m é a massa do corpo de prova na umidade de equilíbrio, em quilogramas (kg);
V é o volume do corpo de prova na umidade de equilíbrio, em metros cúbicos (m^3).

Compressão paralela às fibras

O ensaio de compressão é utilizado para caracterização mecânica da madeira, sendo utilizado inclusive para cálculos analíticos de outras propriedades, incluindo a resistência ao embutimento. A resistência à compressão paralela às fibras é definida como a força máxima de compressão ($F_{c0,max}$) dividida pela área (A) do corpo de prova, conforme a Equação 3, e seu ensaio segue um diagrama de carga e descarga de acordo com a norma ABNT NBR 7190-3 (2022b).

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (3)$$

Em que,
f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras, em megapascal (MPa);
$F_{c0,max}$ é a força máxima de compressão exercida no ensaio, em Newtons (N);
A é a área da seção transversal comprimida, em milímetros quadrados (mm^2).

Embutimento da madeira

Os ensaios de embutimento paralelo e perpendicular às fibras da madeira foram realizados de acordo com as normas brasileira e americana. A norma brasileira, dentre outros procedimentos, estabelece que a velocidade de ensaio deve ser de 10 MPa/min e o ensaio conduzido de modo que a força última ou o deslocamento de 5 mm do pino seja alcançada de 8 a 12 minutos.

Para a norma americana, também foi adotado um incremento de carga equivalente a 10 MPa/min, de tal forma que o ensaio tivesse uma velocidade similar ao empregado pela norma brasileira, mas que ainda fosse o suficiente para que os ensaios durassem, em média, 6 minutos, respeitando os limites previstos na norma americana. Os métodos e equações utilizadas para calcular os valores característicos de embutimento pela norma brasileira são apresentados na ABNT NBR 7190-1 (2022a). A norma americana, por sua vez, apresenta cálculos analíticos para determinação da resistência ao embutimento, através de uma norma complementar, a NDS 2018 (AWC, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após todos os ensaios de embutimento foi possível fazer tabelas e gráficos com os dados que foram obtidos, assim a análise e a comparação entre valores experimentais e analíticos é simplificada.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de resistência ao embutimento, resistência corrigida para 12% de umidade, embutimento característico, embutimento obtido de forma analítica e valores de desvio padrão. Os gráficos da Figura 3 apresentam curvas Força (N) x Deformação (mm) do ensaio de um corpo de prova para cada direção e cada norma, os quais apresentaram comportamento similar aos valores médios dos ensaios.

TABELA 1. Análise dos resultados de embutimento segundo as normas ABNT NBR 7190-3 (2022) e a ASTM D5764 (2018). Fonte: (Elaboração própria, 2024).

		f_e (MPa)	f_e (U12%, MPa)	$f_{e,k}$ (U12%, MPa)	$f_{e,k}$ (Mpa) (Analítica)
ABNT	Paralelo	64,28 ± 5,12	70,67 ± 5,62	65,76	47,63
	Perpendicular	68,08 ± 8,93	74,84 ± 9,81	74,56	45,36
ASTM	Paralelo	69,06 ± 3,25	75,93 ± 3,58	75,33	59,83
	Perpendicular	33,64 ± 2,83	36,98 ± 3,11	35,79	47,41

Se comparado os valores analíticos aos experimentais, nota-se que a norma americana proporciona segurança aos usuários quando se considera ligações em que a força será exercida em direção paralela ao sentido das fibras da madeira, porém os valores em relação a direção perpendicular já não garantem a segurança necessária que uma norma reguladora deveria oferecer. Esse problema ocorre pois o valor analítico da resistência ao embutimento perpendicular foi bem superior a resistência obtida de modo experimental, colocando em risco os usuários que utilizam do valor analítico para construir uma estrutura, devido às grandes chances da ligação colapsar.

Considerando essas avarias, o uso da norma americana deve ser cauteloso principalmente para esforços de embutimento perpendicular, buscando comparar os valores analíticos aos experimentais, para garantir não somente o sucesso e confiabilidade do projeto, mas também a segurança da estrutura.

Para a norma brasileira, os corpos de prova ensaiados tanto na direção paralela quanto perpendicular, apresentaram deformação das fibras e em alguns casos o fendilhamento causado pelo embutimento do pino, no entanto o fendilhamento até as bordas dos corpos de prova da direção perpendicular são mais raros, devido suas fibras estarem organizadas de forma longitudinal ao corpo, logo o maior comprimento das fibras evita que o fendilhamento ocorra por completo (Figuras 4a e 4b). Para a norma americana, por outro lado, os corpos de prova ensaiados tanto na direção paralela quanto perpendicular, apresentaram o fendilhamento em vários casos (Figuras 4c e 4d), pois as dimensões do corpo de prova são menores (logo o comprimento das fibras também), e por consequência permite que as fibras sejam separadas mais facilmente.

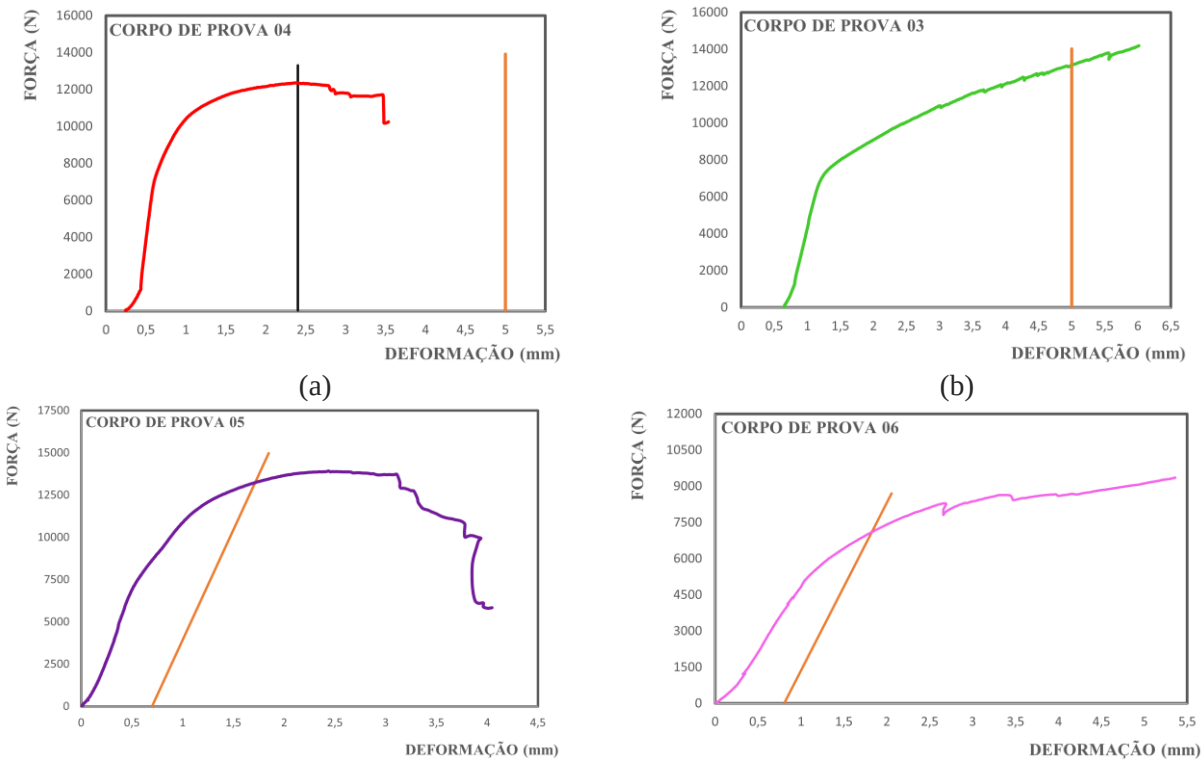
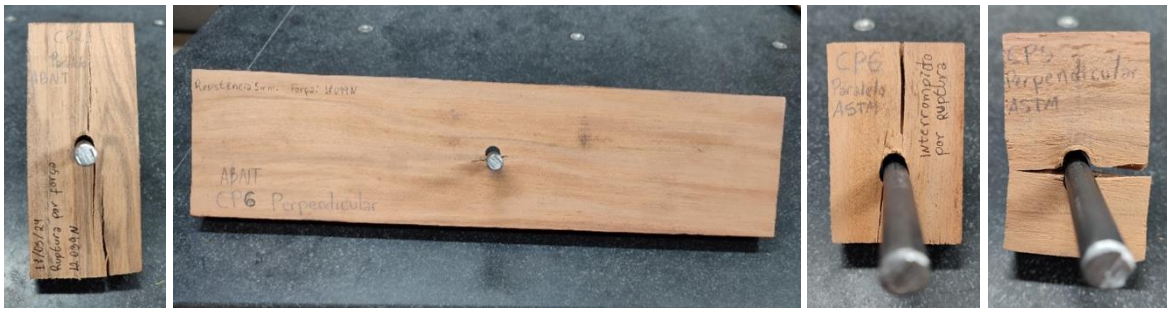


FIGURA 3. Gráficos do ensaio de embutimento (a) paralelo e (b) perpendicular segundo a norma brasileira ABNT NBR 7190-3 (2022b). Gráficos do ensaio de embutimento (c) paralelo e (d) perpendicular segundo a norma americana (ASTM D5764, 2018).



(a) (b) (c) (d)

FIGURA 4. Imagens dos corpos de prova ensaiados pela norma brasileira (a) na direção paralela e (b) n direção perpendicular às fibras. Imagens dos corpos de prova ensaiados pela norma americana (c) na direção paralela e (d) n direção perpendicular às fibras.

CONCLUSÕES

Observou-se que os resultados da norma ABNT apresentam a resistência característica experimental acima da resistência característica analítica, caráter esse que confere alta confiabilidade no uso da norma. No entanto, a norma ASTM apresenta a resistência característica experimental da direção perpendicular abaixo da resistência característica analítica de mesma direção, o que pode implicar em falhas estruturais ao superestimar a resistência da ligação.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

L. D. V. C. e G. R. V. N. contribuíram com revisão bibliográfica, estudo do tema, metodologia e escrita primária do texto. R. S e J. C. M. procederam com a revisão do texto e supervisão do desenvolvimento do estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à instituição pelo fornecimento dos espaços, de equipamentos e materiais para execução do projeto, agradecimentos também ao CNPq pela disponibilidade da bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

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.

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

PEREIRA, C. A. B.; TRINDADE, C. A. **Comparação entre o módulo de elasticidade da madeira peroba do norte na flexão de peças estruturais e na compressão em corpos de prova**. Caderno dos Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil (ECIV/FAENG/UFMS 2023), Campo Grande, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufms.br/jspui/retrieve/9366f9e4-1cbc-49fc-a249-b80d57ebfadd/1020.pdf. Acesso em: 26 dez. 2023.

STAMATO, G. C. **Resistência ao embutimento da madeira compensada**. 1998. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenheiras de Estruturas) - Universidade de São Paulo, campus São Carlos, 1998. Disponível em: http://web.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998ME_GuilhermeCorreaStamato.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.