

## Caracterização físico-mecânica da madeira de tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires)

### Physical-mechanical characterization of tuturubá wood (*Pouteria oblanceolata* Pires)

Vinicius de Sousa Lima<sup>1</sup> , Maria Gabriela Sales da Silva<sup>1</sup> , Gabriel Cruz Menezes<sup>1</sup> ,  
Rita Dione Araújo Cunha<sup>2</sup>, Sandro Fábio César<sup>2</sup>, Andrea Ferraz Silva Pereira<sup>3</sup> ,  
João Miguel Santos Dias<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão. Rua Topázio, 100, Vila São Francisco, Açailândia, MA, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Rua Prof. Aristides Novis, 2 Federação, Salvador, BA, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências de Imperatriz, Unidade Bom Jesus. Av. da Universidade, Residencial Dom Afonso Felipe Gregory, Imperatriz, MA, Brasil.

e-mail: viniciuslima.20180040313@uemasul.edu.br, mariasilva.20200006807@uemasul.edu.br, gabrielmenezes.20190006914@uemasul.edu.br, ritadi@uol.com.br, sfcesarpaz@uol.com.br, andreafrzs@gmail.com, joao.dias@uemasul.edu.br

#### RESUMO

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é crucial para a segurança e eficácia do dimensionamento das estruturas. Além de favorecer a diversificação e abastecimento do mercado madeireiro, a determinação de tais propriedades, para diferentes espécies nativas, pode contribuir para a redução da exploração concentrada de madeiras tropicais. Entre as madeiras disponíveis para a construção civil na Região Tocantina do Maranhão encontra-se o tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires). Neste contexto, este estudo teve como objetivo determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de tuturubá, visando o seu uso em estruturas de edificações. Foram determinados: o teor de umidade, a densidade aparente, as resistências à compressão paralela e perpendicular às fibras, a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, a resistência à flexão e os módulos de elasticidade à compressão paralela às fibras e à flexão. Obteve-se um teor de umidade médio de 13,88%, uma densidade aparente média de 992,04 kg.m<sup>-3</sup>, o valor médio da resistência à compressão paralela às fibras igual a 60,03 MPa e o valor característico de 56,86 MPa, sendo o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras de 22761 MPa. A resistência média à compressão perpendicular às fibras foi de 10,74 MPa e a resistência média ao cisalhamento paralelo às fibras foi igual a 10,47 MPa. A resistência à flexão média foi de 154,82 MPa e o valor característico igual a 128,37 MPa, enquanto o valor médio do módulo de elasticidade à flexão foi de 21026 MPa. Os resultados permitiram classificar a madeira de tuturubá como pertencente à classe de resistência mecânica D50. Comparativamente com outras espécies disponíveis no mercado madeireiro, a madeira de tuturubá apresentou propriedades mecânicas superiores às madeiras de pequiá (*Caryocar villosum*) e tauari (*Couratari oblongifolia*). Esta caracterização físico-mecânica evidencia o potencial da madeira de tuturubá para utilização em estruturas de edificações.

**Palavras-chave:** Estruturas; Propriedades físicas; Propriedades mecânicas; Classe de resistência mecânica.

#### ABSTRACT

Knowledge of the physical and mechanical properties of wood is crucial for the safety and efficiency of structural design. In addition to promoting diversification and supply in the timber market, determining these properties for different types of native woods can contribute to reduce the concentrated overexploitation of tropical woods. Among the woods available for construction purposes in the Tocantina region of Maranhão State is tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires). In this context, the present study aimed to evaluate the physical and mechanical properties of tuturubá wood for its use in building structures. The characterizations carried out were: moisture content, apparent density, compressive strength parallel and perpendicular to the grain, shear

strength parallel to the grain, flexural strength, modulus of elasticity in compression parallel to the grain and three-point bending test. For the average moisture content, a percentage value of 13.88% was checked, and for the average apparent density, a value of  $992.04 \text{ kg.m}^{-3}$  was obtained. For the compressive strength parallel to the grain, an average value of 60.03 MPa was determined, while the characteristic value was 56.86 MPa. The compressive modulus of elasticity parallel to the grain determined was equal to 22761 MPa. The average values for compressive strength perpendicular to the grain and shear strength parallel to the grain were 10.74 MPa and 10.47 MPa, respectively. For flexural strength, average and characteristic values were 154.82 and 128.37 MPa, respectively. For the flexural modulus of elasticity, an average value of 21026 MPa was determined. The results allowed tuturubá wood to be classified in mechanical resistance class D50. Compared to other commercially available wood species, tuturubá has better mechanical properties than pequiá (*Caryocar villosum*) and tauari (*Couratari oblongifolia*) woods. This physical-mechanical characterization high-lights the potential of tuturubá wood for use in building structures.

**Keywords:** Structures; Physical properties; Mechanical properties; Mechanical resistance class.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material utilizado na construção civil e, em razão dos avanços científicos e tecnológicos, tornou-se possível um controle eficaz de seu processo de produção, tendo em vista seu uso como material de construção [1, 2]. Um exemplo disso é o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas, tido como indispensável para dimensionar, de forma segura e econômica, uma estrutura de madeira [3, 4]. A importância do conhecimento das propriedades físico-mecânicas da madeira para o dimensionamento estrutural é justificada pelo fato de que este material apresenta complexidade na sua composição química e anatômica, que se reflete na anisotropia das suas propriedades físicas e mecânicas [5]. Por outro lado, as propriedades físicas e mecânicas da madeira poderão variar entre árvores de uma mesma espécie, devido a fatores, tais como: exposição solar, qualidade do solo, pluviosidade e outros fatores inerentes ao clima local [6, 7], o que evidencia ainda mais a relevância da realização da caracterização físico-mecânica de madeiras destinadas ao uso estrutural.

Segundo MEDEIROS *et al.* [8], a exploração de madeira tropical no Brasil se restringe a pequenos grupos de espécies, das quais se destacam a maçaranduba (*Manilkara huberi*), jatobá (*Hymenaea spp.*), pequiá (*Caryocar villosum*), sucupira (*Bowdichia spp.*), tauari (*Couratari oblongifolia*) e timborana (*Piptadenia suaveolens*). Ainda segundo o mesmo autor, uma das principais causas para essa exploração preferencial é o desconhecimento das propriedades físicas e mecânicas de outras espécies florestais. Nesse sentido, torna-se imprescindível a realização de estudos com demais espécies para diversificação e abastecimento do comércio madeireiro.

O tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires) é uma das espécies de madeira comercializadas na Região Tocantina do Maranhão. Segundo o SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA [9], esta espécie tem ocorrência no Brasil, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru e Venezuela. No Brasil, o tuturubá ocorre nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Pará e Maranhão. De acordo com o laboratório de produto florestais [10], o tuturubá é uma árvore que apresenta altura comercial em torno de 12,50 m e diâmetro à altura do peito de cerca de 54 cm, com tronco retilíneo, textura fina, cerne marrom-amarelado com brilho e cheiro ausentes e possui pouca distinção visual entre seu alburno e cerne, sendo considerada uma espécie de crescimento lento. Segundo JÁCOME *et al.* [11], as espécies do gênero *Pouteria sp.* não estão incluídas na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção.

A madeira de tuturubá é utilizada frequentemente na fabricação de carrocerias, cruzetas, esquadrias, escadas, coberturas, pisos, vigas e construção de edificações [12]. Apesar das várias finalidades dessa madeira na construção civil, conforme destacado por CRUZ [12], ainda são escassos os trabalhos que apresentam a caracterização física e mecânica desta espécie. Alguns autores realizaram estudo da densidade básica [13, 14] e densidade aparente [10, 15, 16] dessa espécie. Quanto à caracterização mecânica, o LABORATÓRIO DE PRODUTO FLORESTAIS [10] apresenta valores de resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão perpendicular às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, resistência à tração perpendicular às fibras, resistência ao fendilhamento, resistência e rigidez à flexão. Já no estudo de SILVA *et al.* [16], foi apresentado valores de resistência e rigidez à flexão. Durante a pesquisa bibliográfica, não foram encontrados estudos que apresentassem valores do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de tuturubá. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires) visando o seu uso em estruturas de edificações.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização física e mecânica, foram utilizados corpos de prova (CPs) obtidos a partir de peças de dimensões  $(6 \times 12 \times 500) \text{ cm}^3$  de madeira de tuturubá (*Pouteria oblanceolata* Pires), adquiridas em uma empresa

madeira, localizada no município de Açailândia-MA. O corte das peças para obtenção dos CPs foi realizado de acordo com as dimensões (Tabela 1) apresentadas na norma ABNT NBR 7190-3 [17]. Foram obtidos 12 CPs para a realização dos ensaios de caracterização física (teor de umidade e densidade aparente) e 12 CPs para cada ensaio de caracterização mecânica (resistência e rigidez à compressão paralela às fibras, resistência à compressão perpendicular às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e resistência e rigidez à flexão). A quantidade de CPs por ensaio levou em consideração o critério da norma [17] para caracterização mínima da resistência mecânica de espécies pouco conhecidas.

A determinação da densidade aparente foi realizada através da aferição das dimensões dos 12 CPs, recorrendo a um paquímetro digital da marca MTX, modelo 316119. A massa de cada um dos 12 CPs foi aferida através de balança da marca Bel, modelo S622, com precisão de 0,01 g. De posse de todas as dimensões e massas, a densidade aparente foi determinada, dividindo-se a massa pelo respectivo volume de cada um dos CPs (Equação 1). A densidade aparente do lote de madeira de tuturubá foi obtida através da média aritmética dos resultados dos 12 CPs.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{ap}$  = densidade do CP, em quilogramas por metros cúbicos ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );

$m$  = massa do CP, em quilogramas (kg);

$V$  = volume do CP, em metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ).

Para a obtenção do teor de umidade do lote de madeira de tuturubá, recorreu-se aos 12 CPs utilizados na determinação da densidade aparente. Os CPs foram inseridos em uma estufa de secagem da marca Lucadema, modelo 80/100, sob uma temperatura de  $103 \pm 2$  °C, com leitura das massas em intervalos de tempo de 24 horas, em uma balança da marca Bel, modelo S622, com precisão de 0,01 g, até atingir, entre dois resultados consecutivos, uma variação inferior ou igual a 0,5%. O teor de umidade de cada amostra foi obtido por meio da Equação 2. O teor de umidade do lote foi determinado através da média aritmética dos 12 resultados da amostra.

$$U = \frac{(m_i - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$U$  = teor de umidade da amostra, em porcentagem (%);

$m_i$  = massa inicial do CP, em gramas (g);

$m_s$  = massa seca do CP, em gramas (g).

**Tabela 1:** Taxas de carregamento e dimensões dos CPs utilizadas nos ensaios.

| PROPRIEDADE | Nº TOTAL DE CPs | SEÇÃO TRANSVERSAL |             | COMPRIMENTO* (cm) | TAXA DE CARREGAMENTO (MPa/min) |
|-------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------------|--------------------------------|
|             |                 | LARGURA (cm)      | ALTURA (cm) |                   |                                |
| $U$         | 12              | 2,00              | 3,00        | 5,00              | -                              |
| $\rho_{ap}$ |                 |                   |             |                   |                                |
| $f_{c0}$    | 12              | 5,00              | 5,00        | 15,00             | 10,00                          |
| $E_{c0}$    | 12              | 5,00              | 5,00        | 15,00             | 10,00                          |
| $f_{c90}$   | 12              | 5,00              | 5,00        | 10,00             | 10,00                          |
| $f_{v0}$    | 12              | 5,00              | 5,00        | 6,40              | 2,50                           |
| $f_M$       | 12              | 5,00              | 5,00        | 115,00            | 10,00                          |
| $E_{M0}$    | 12              | 5,00              | 5,00        | 115,00            | 10,00                          |

\*medido na direção das fibras.  $U$ : teor de umidade;  $\rho_{ap}$ : densidade aparente;  $f_{c0}$  e  $E_{c0}$ : resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, respectivamente;  $f_{c90}$ : resistência à compressão perpendicular às fibras;  $f_{v0}$ : resistência ao cisalhamento paralelo às fibras;  $f_M$  e  $E_{M0}$ : resistência e módulo de elasticidade à flexão, respectivamente. Fonte: Os autores.

Para os ensaios da caracterização mecânica, foi utilizada uma máquina universal de ensaios INSTRON EMIC 23-100, com células de cargas de 1 MN (para ensaios de resistência à compressão paralela e perpendicular às fibras) e 100 kN (para os demais ensaios), além dos respectivos acessórios com geometria em conformidade com a norma [17].

Para se obter a carga de ruptura, necessária à realização do ensaio para obtenção do módulo de elasticidade, realizaram-se 3 ensaios de resistência à compressão paralela às fibras. Posteriormente, conforme exposto na norma [17], foi seguido um ciclo de aumento de carga até 50% da carga de ruptura, manutenção deste carregamento durante 30 segundos e posterior decréscimo até 10% da carga de ruptura, antes do incremento, até ocorrer a ruptura do CP. A resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) foi calculada através da Equação 3, presente no item 5.4.2 da norma [17]. O módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras ( $E_{c0}$ ) foi determinado através da Equação 4, presente no item 5.4.2 da norma [17].

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,m\acute{a}x}}{A} \quad (3)$$

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (4)$$

Onde:

$f_{c0}$  = resistência à compressão paralela às fibras, em Megapascals (MPa);

$F_{c0,m\acute{a}x}$  = máxima força aplicada ao CP durante o ensaio, em Newtons (N);

$A$  = área da seção transversal do CP, em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

$E_{c0}$  = módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, em Megapascals (MPa);

$\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  = tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência  $f_{c0}$ , em Megapascals (MPa);

$\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  = deformações específicas medidas no CP, correspondentes a 10% e 50%.

Os resultados correspondentes a resistência à compressão perpendicular às fibras ( $f_{c90}$ ), foram obtidos por meio da análise dos diagramas de tensão-deformação de cada um dos 12 CPs, sendo o valor de  $f_{c90}$  determinado pela deformação específica residual de 2 %. No ensaio de determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ( $f_{v0}$ ), os CPs foram submetidos a um carregamento monotônico crescente (vide Tabela 1) até a sua ruptura, sendo o valor dessa propriedade calculado através da Equação 5, presente no item 5.8.2 da norma [17].

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,m\acute{a}x}}{A_{v0}} \quad (5)$$

Onde:

$f_{v0}$  = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, em Megapascals (MPa);

$F_{v0,m\acute{a}x}$  = máxima força aplicada ao CP durante o ensaio, em Newtons (N);

$A_{v0}$  = área inicial da seção crítica do CP, em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

A determinação da resistência à flexão ( $f_M$ ) e módulo de elasticidade à flexão ( $E_{M0}$ ) foi realizada através do ensaio de flexão em três pontos, conforme a norma [17], com carga aplicada no centro geométrico do CP. A resistência à flexão ( $f_M$ ) foi calculada através da Equação 6, exposta no item 5.10.2 da norma [17], enquanto o módulo de elasticidade à flexão ( $E_{M0}$ ) foi calculado através da Equação 7, presente no item 5.10.2 da norma [17].

$$f_M = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W_e} \quad (6)$$

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%})L^3}{(v_{50\%} - v_{10\%})4bh^3} \quad (7)$$

Onde:

$f_M$  = resistência à flexão, em Megapascals (MPa);

$M_{\max}$  = máximo momento fletor aplicado ao CP, em Newtons vezes milímetros (N.mm);

$W_e$  = módulo de resistência elástico da seção transversal do CP, em milímetros cúbicos (mm<sup>3</sup>);

$E_{M0}$  = módulo de elasticidade à flexão, em Megapascals (MPa);

$F_{M, 50\%}$  e  $F_{M, 10\%}$  = forças correspondentes, respectivamente, a 50% e 10% da força máxima estimada, em Newtons (N);

$v_{50\%}$  e  $v_{10\%}$  = deslocamentos no meio do vão correspondentes, respectivamente, as forças  $F_{M, 50\%}$  e  $F_{M, 10\%}$ , em milímetros (mm);

$L$  = comprimento do vão entre os apoios, em milímetros (mm);

$b$  = largura da seção transversal do CP, em milímetros (mm);

$h$  = altura da seção transversal do CP, em milímetros (mm).

De posse dos resultados da caracterização físico-mecânica, foi realizada a correção das propriedades mecânicas para o teor de umidade de referência de 12%, conforme preconizado na ABNT NBR 7190-1 [18], a fim de determinar sua classe de umidade e de resistência mecânica. Além disso, a correção das propriedades mecânicas para o teor de umidade de referência de 12% também permitiu a comparação direta com os demais trabalhos de caracterização física e mecânica, presentes na bibliografia. Os valores característicos das propriedades mecânicas foram obtidos por meio da Equação 8, presente no item 4.6 da norma [17].

$$f_k = \left( 2 \times \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - X_{\frac{n}{2}} \right) \times 1,1 \quad (8)$$

Onde:

$f_k$  = valor característico, em Megapascals (MPa);

$X_i$  = resultado, em Megapascals (MPa), correspondente ao elemento “ $i$ ”, sendo  $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$ ;

$n$  = número de CPs ensaiados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

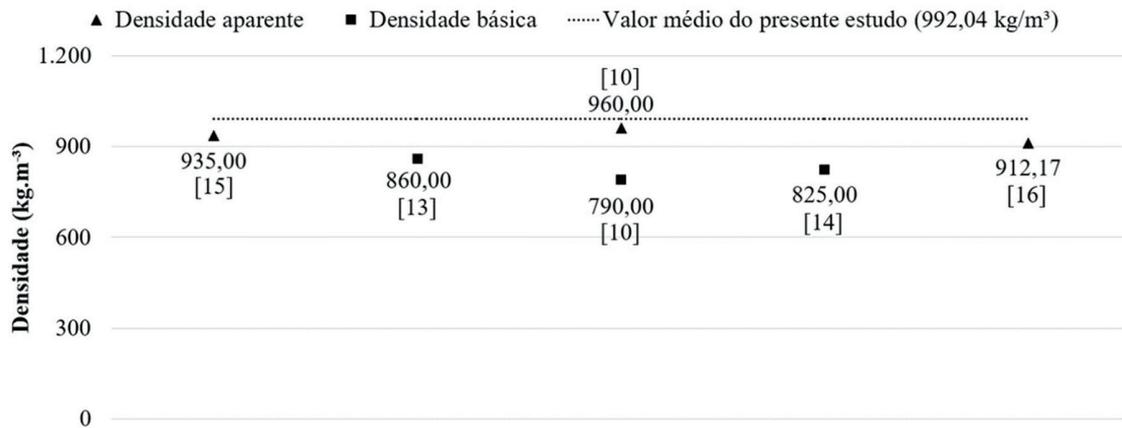
O valor médio obtido para o teor de umidade foi igual a 13,88% (Tabela 2). Esse resultado permite enquadrar o lote de madeira de tuturubá ensaiado na classe de umidade 2, conforme estabelecido na norma [18]. Por outro lado, considerando a classe de umidade 2, o teor de umidade em equilíbrio máximo da madeira para valores entre 65% a 75% de umidade relativa do ambiente é de 15%. De acordo com os dados do CLIMATE-DATA [19], a cidade de Açailândia-MA apresentou umidade relativa média do ar igual a 73,42% durante o período de 1991 a 2021. Assim sendo, é possível afirmar que o lote de madeira analisado apresentava teor de umidade em equilíbrio com o ar.

Com base na categorização das espécies de madeira de acordo com sua densidade, presente em DIAS [20], o lote de madeira analisado pode ser classificado como madeira pesada ou de alta densidade. Comparativamente com a bibliografia, o resultado obtido neste trabalho para a densidade aparente foi superior aos demais, conforme exposto no gráfico da Figura 1. No entanto, apesar dos demais trabalhos terem obtido densidades aparentes e básicas inferiores a este estudo, todos permitem classificar o tuturubá como sendo uma madeira de alta densidade.

**Tabela 2:** Propriedades físicas do tuturubá.

| VALOR    | $U$ (%) | $\rho_{ap}$ (kg·m <sup>-3</sup> ) |
|----------|---------|-----------------------------------|
| Máximo   | 14,18   | 1003,48                           |
| Médio    | 13,88   | 992,04                            |
| Mínimo   | 13,35   | 980,12                            |
| C.V. (%) | 1,79    | 0,67                              |

C.V.: coeficiente de variação;  $U$ : teor de umidade;  $\rho_{ap}$ : densidade aparente. Fonte: Os autores.

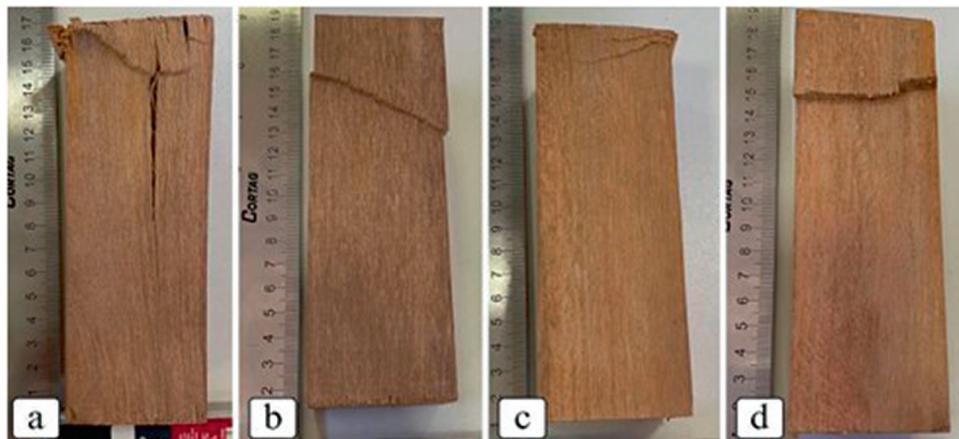


**Figura 1:** Comparação entre valores médios de densidade do tuturubá. Fonte: Os autores.

**Tabela 3:** Propriedades mecânicas do tuturubá corrigidas para o teor de umidade-padrão de 12%.

| VALOR        | $f_{c0}$ | $E_{c0}$ | $f_{c90}$ | $f_{v0}$ | $f_M$  | $E_{M0}$ |
|--------------|----------|----------|-----------|----------|--------|----------|
| Máximo (MPa) | 68,06    | 31528    | 11,41     | 14,11    | 197,75 | 23870    |
| Médio (MPa)  | 60,03    | 22761    | 10,74     | 10,47    | 154,82 | 21026    |
| Mínimo (MPa) | 47,55    | 17899    | 10,09     | 3,94     | 120,92 | 16311    |
| C.V. (%)     | 9,10     | 16,95    | 3,82      | 25,66    | 14,95  | 11,74    |
| $f_k$ (MPa)  | 56,86    | -        | 10,74     | 6,15     | 128,37 | -        |

$f_k$ : valor característico;  $f_{c0}$  e  $E_{c0}$ : resistência e rigidez à compressão paralela às fibras, respectivamente;  $f_{c90}$ : resistência à compressão perpendicular às fibras;  $f_{v0}$ : resistência ao cisalhamento paralelo às fibras;  $f_M$  e  $E_{M0}$ : resistência e rigidez à flexão, respectivamente. Fonte: Os autores.



**Figura 2:** Ruptura por divisão em cunha (a), cisalhamento (b), esmagamento superficial (c) e esmagamento (d). Fonte: Os autores.

Os valores dos coeficientes de variação, obtidos para as propriedades de resistência e rigidez da madeira de tuturubá (Tabela 3), encontram-se dentro do limite estabelecido pela norma [17], sendo 18% para esforços normais e 28% para esforços tangenciais. Para a resistência à compressão paralela às fibras foi encontrado valor médio de 60,03 MPa. Considerando a classificação das rupturas da madeira em ensaios de resistência à compressão paralela às fibras, presente no estudo de VILELA [21], foram identificados os seguintes tipos de ruptura: divisão em cunha (Figura 2a), cisalhamento (Figura 2b), esmagamento superficial (Figura 2c) e esmagamento (Figura 2d).

Com base no valor característico obtido para a resistência à compressão paralela às fibras, foi possível classificar o tuturubá como pertencente à classe de resistência mecânica D50, conforme a norma [18]. A Figura 3 apresenta o gráfico comparação do valor médio encontrado neste estudo para a resistência à compressão paralela

às fibras com os valores obtidos por outros estudos que consideraram espécies de madeira que podem ser encontradas no mercado madeireiro da Região Tocantina do Maranhão. Como é possível observar, o valor médio obtido para a resistência à compressão paralela às fibras neste estudo foi 22,90% menor que o valor apresentado em [10] para a espécie tuturubá, porém maior que todos os valores encontrados para as espécies de pequiá (*Caryocar villosum*) e tauari (*Couratari oblongifolia*). Os valores apresentados para as madeiras de maçaranduba (*Manilkara huberi*), jatobá (*Hymenaea spp.*), sucupira (*Bowdichia spp.*) e timborana (*Piptadenia suaveolens*) foram maiores que o valor médio obtido neste estudo.

Considerando as espécies de madeira da classe de resistência D50, presentes na norma [17], é possível referir que o lote de tuturubá deste estudo poderá constituir uma alternativa ao consumo algumas espécies utilizadas frequentemente em estruturas de madeira na Região Tocantina do Maranhão, tais como: anjelim pedra (*Hymenobium paetrum*), cupiúba (*Goupia glabra*) e goiabão (*Planchonella pachycarpa*). Perante a inexistência de fornecedores de madeira engenheirada para fins estruturais nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil, a existência de alternativas às espécies comumente utilizadas, poderá atenuar o consumo excessivo de algumas madeiras nativas.

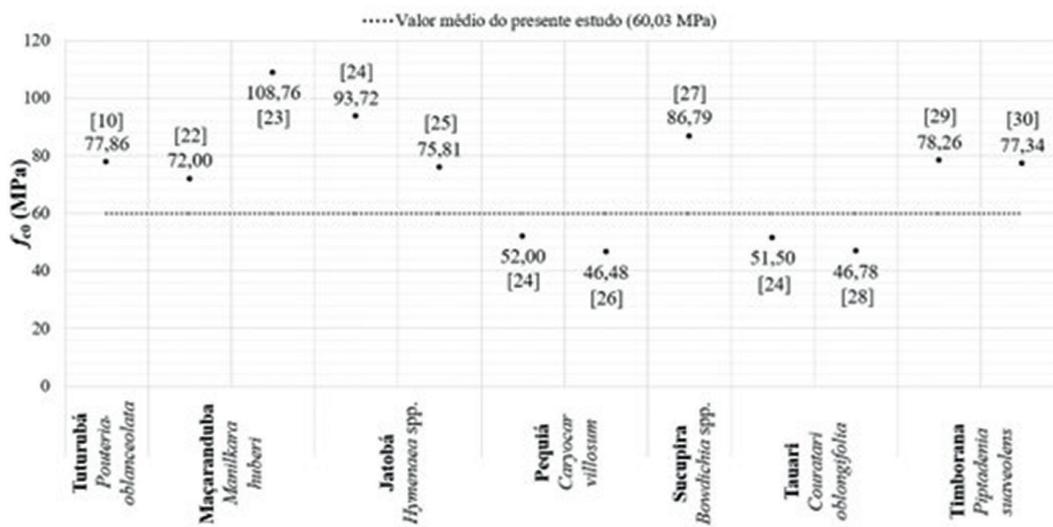


Figura 3: Comparação de valores médios de resistência à compressão paralela às fibras. Fonte: Os autores.

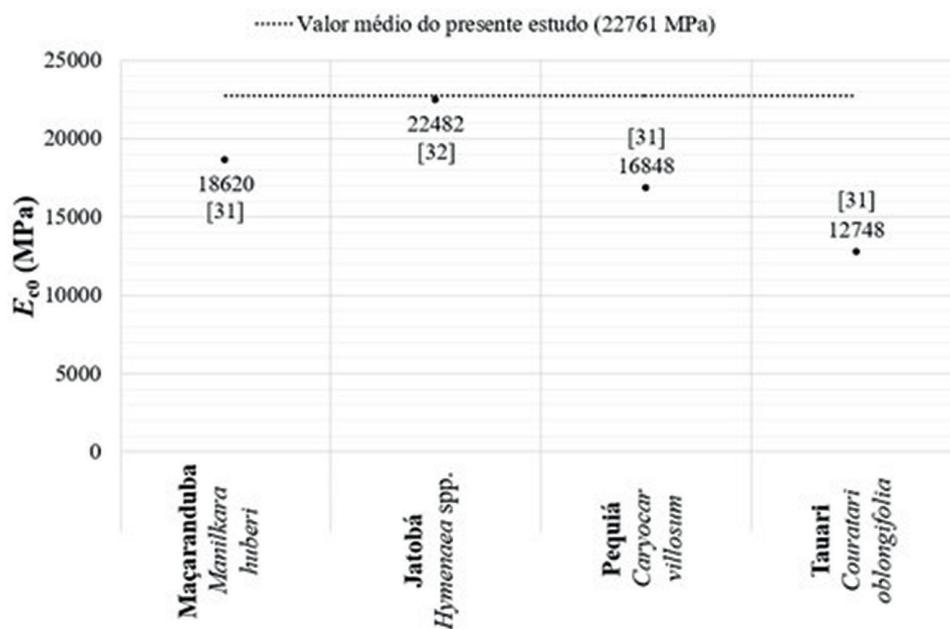


Figura 4: Comparação dos valores médios do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras. Fonte: Os autores.

O valor médio do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras foi de 22761 MPa (Tabela 3). Como é possível observar na Figura 4, o valor médio obtido neste estudo foi superior a todos os módulos de elasticidade à compressão paralela às fibras das madeiras de maçaranduba (*Manilkara huberi*), jatobá (*Hymenaea spp.*), pequiá (*Caryocar villosum*) e tauari (*Couratari oblongifolia*). O valor médio do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras foi 37,95% superior ao módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras da classe de resistência D50 e 16,72% superior ao valor da classe de resistência D60 da norma [18].

No ensaio de determinação da resistência à compressão perpendicular às fibras, foi encontrado o resultado de 10,74 MPa para o valor médio. Conforme exposto no item 5.6.2 da norma [17], a resistência à compressão perpendicular às fibras é determinada através da deformação específica residual de 2 %, sendo equivalente a tensão no limite de proporcionalidade. Quanto ao tipo de ruptura, os CPs exibiram modo fratura dúctil durante este ensaio (Figura 5), tendo sido observado a deformação residual em todos os CPs.

O valor médio obtido neste estudo para a resistência à compressão perpendicular às fibras foi 21,78% menor que o valor apresentado por [10] para a espécie tuturubá (Figura 6) e menor que os valores das espécies de maçaranduba (*Manilkara huberi*), jatobá (*Hymenaea spp.*), sucupira (*Bowdichia spp.*) e timborana (*Piptadenia*

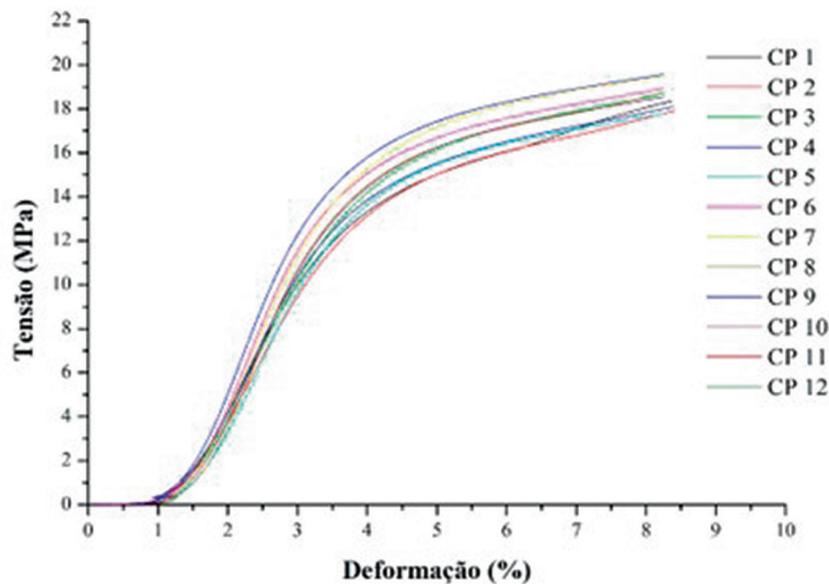


Figura 5: Diagrama tensão-deformação do ensaio de compressão perpendicular às fibras dos 12 CPs. Fonte: Os autores.

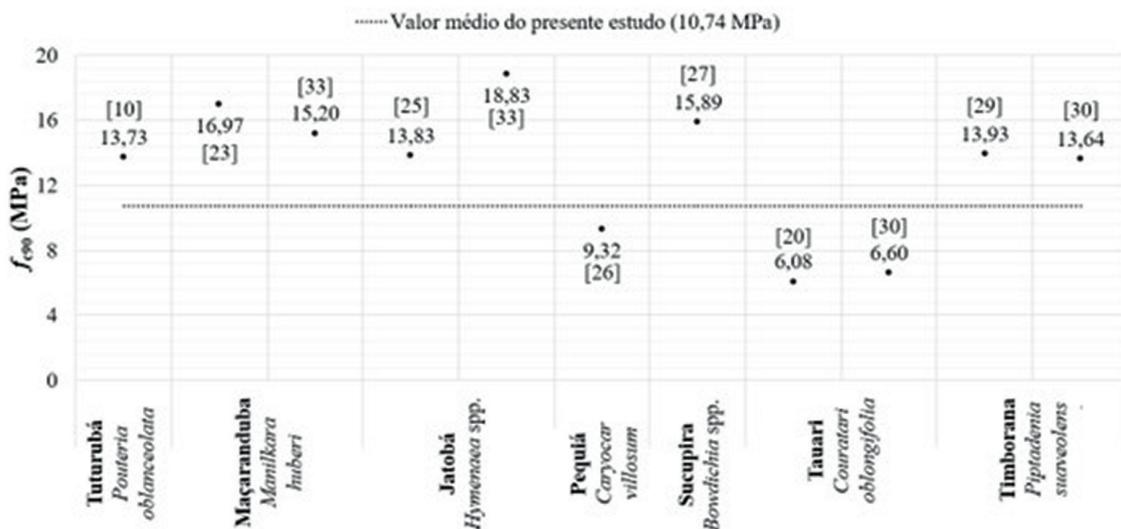


Figura 6: Comparação dos valores médios de resistência à compressão perpendicular às fibras. Fonte: Os autores.

*suaveolens*). No entanto, o valor médio da resistência à compressão perpendicular às fibras do lote de madeira ensaiado, foi superior aos resultados obtidos para as espécies de pequiá (*Caryocar villosum*) e tauari (*Couratari oblongifolia*).

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras apresentou um valor médio de 10,47 MPa. Os CPs apresentaram modo de fratura frágil durante o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras (Figura 7), o qual exibiu pequenas deformações no momento da falha no CP. Na Figura 8 é possível constatar a comparação entre os valores médios para resistência ao cisalhamento paralelo às fibras presentes na literatura e o resultado obtido neste trabalho. O valor encontrado por [10], para o tuturubá, foi 52,63% superior ao obtido neste estudo. Comparativamente com as outras espécies, o valor médio obtido neste estudo foi menor que os encontrados para as espécies maçaranduba (*Manilkara huberi*), jatobá (*Hymenaea spp.*), pequiá (*Caryocar villosum*), sucu-

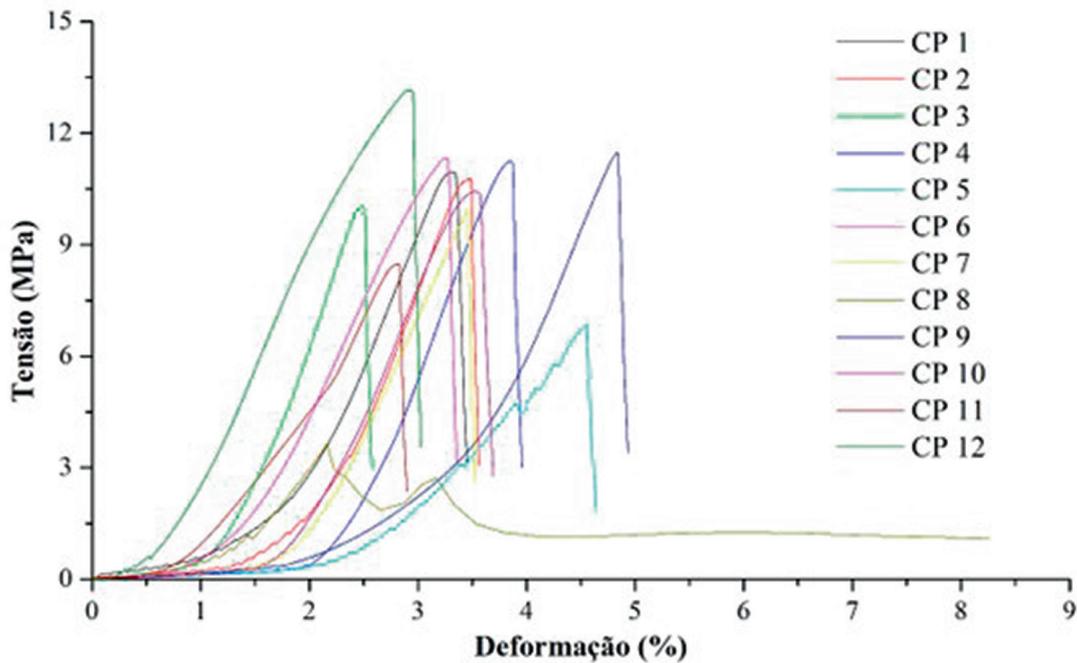


Figura 7: Diagrama tensão-deformação dos CPs no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras. Fonte: Os autores.

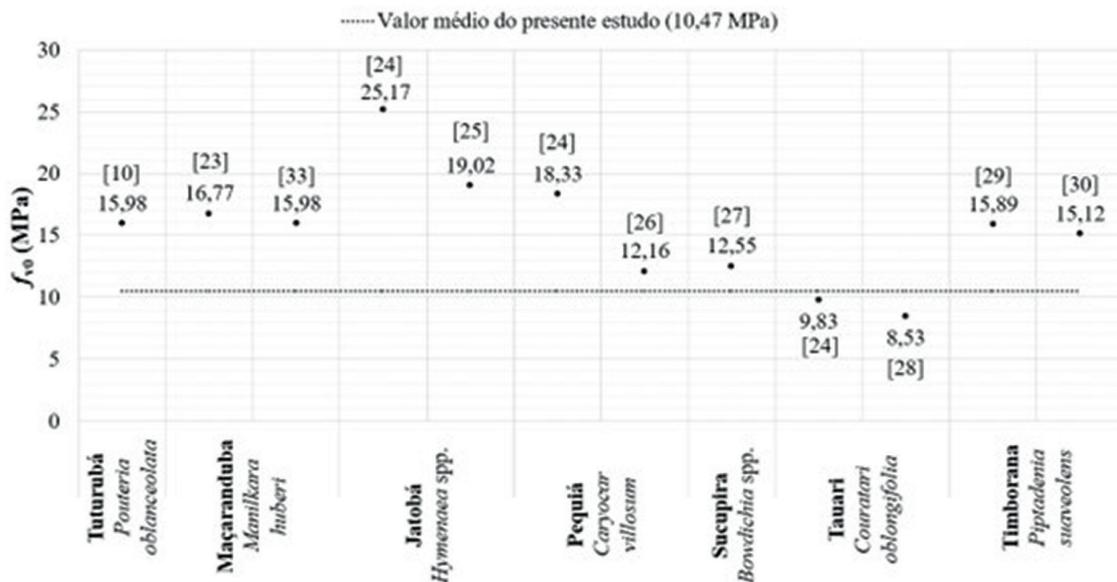


Figura 8: Comparação entre valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Fonte: Os autores.

pira (*Bowdichia* spp.) e timborana (*Piptadenia suaveolens*), sendo superior apenas ao resultado proveniente da madeira de tauari (*Couratari oblongifolia*). Quando comparado com a Tabela 2 da norma [18], o valor característico obtido neste estudo foi 12,14% menor que o da classe D50 e 2,50% maior que o da classe D40.

Os CPs utilizados para a determinação da resistência à flexão exibiram modo de fratura frágil (Figura 9), apresentando os tipos de rupturas de lascamento por tração, tração em fibras inclinadas e tração simples [21]. Segundo VILELA [21], a ruptura por tração simples raramente ocorre no ensaio de flexão, no entanto, o mesmo autor ressalta a possibilidade de ocorrência em madeiras de alta densidade, tais como a espécie tuturubá. Já a ruptura do tipo lascamento por tração ocorre em amostras com baixo teor de umidade.

Em comparação com os dados encontrados na literatura para outras espécies de madeira (Figura 10), o valor médio obtido no presente estudo foi superior à maioria dos valores apresentados. Em LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS [10], é apresentado o valor médio de 153,18 MPa para a resistência à flexão da madeira de tuturubá, sendo tal valor 1,06% menor que o resultado encontrado para este estudo. Os valores

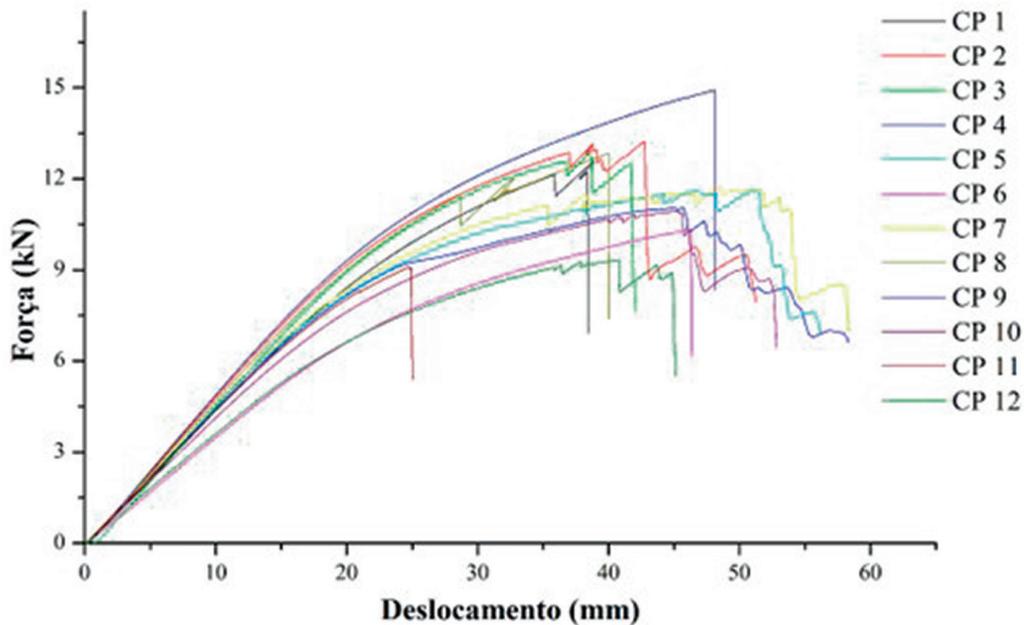


Figura 9: Diagrama tensão-deformação dos CPs submetidos ao ensaio de flexão. Fonte: Os autores.

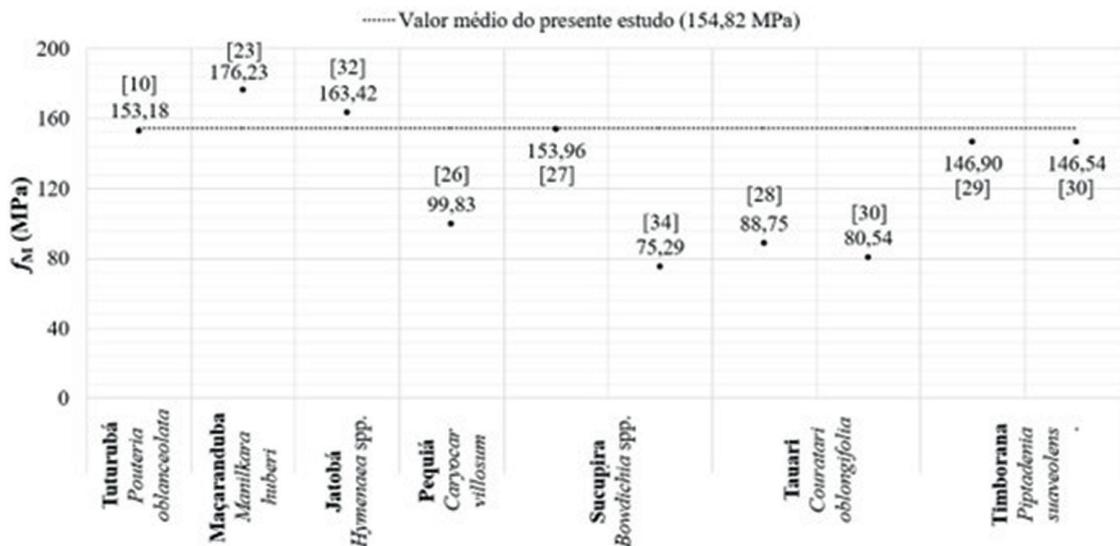
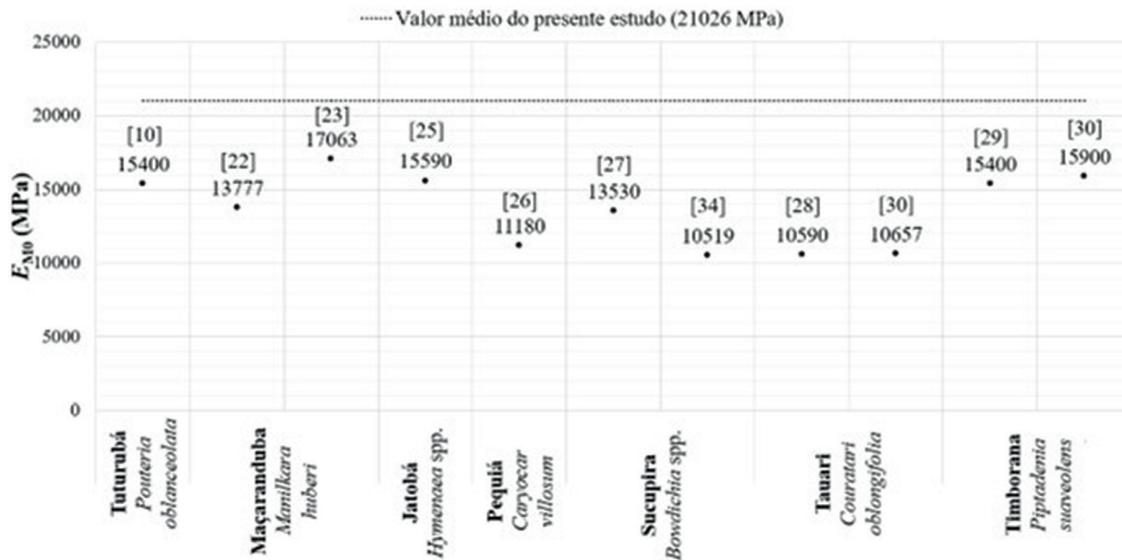


Figura 10: Comparação de valores médios de resistência à flexão. Fonte: Os autores.



**Figura 11:** Gráfico de comparação de valores médios de módulos de elasticidade à flexão. Fonte: Os autores.

encontrados para as espécies pequiá (*Caryocar villosum*), sucupira (*Bowdichia spp.*), timborana (*Piptadenia suaveolens*) e tauari (*Couratari oblongifolia*) foram menores que o valor médio obtido neste estudo, enquanto os valores das madeiras de maçaranduba (*Manilkara huberi*) e jatobá (*Hymenaea spp.*) foram superiores.

Para o módulo de elasticidade à flexão, foi encontrado o valor médio de 21026 MPa. A média obtida neste trabalho foi 36,53% maior que o resultado apresentado por LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS [10] para a madeira de tuturubá (Figura 11), superando também os módulos de elasticidade da maçaranduba (*Manilkara huberi*), jatobá (*Hymenaea spp.*), pequiá (*Caryocar villosum*), sucupira (*Bowdichia spp.*), timborana (*Piptadenia suaveolens*) e tauari (*Couratari oblongifolia*).

Ao avaliar as propriedades mecânicas da madeira de tuturubá em relação a outras espécies comercializadas na Região Tocantina do Maranhão, observou-se que, em termos de resistência mecânica, o tuturubá se destaca em comparação com as madeiras de pequiá (*Caryocar villosum*) e tauari (*Couratari oblongifolia*). No entanto, quanto aos módulos de elasticidade à compressão paralela às fibras e à flexão, o tuturubá exibiu valores superiores às espécies de maçaranduba (*Manilkara huberi*), jatobá (*Hymenaea spp.*), pequiá (*Caryocar villosum*), sucupira (*Bowdichia spp.*), timborana (*Piptadenia suaveolens*) e tauari (*Couratari oblongifolia*).

#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo consistiu na caracterização física e mecânica do tuturubá (*Pouteria oblancoolata* Pires), com base na metodologia da norma [17], visando sua utilização em estruturas de edificações. O teor de umidade médio das amostras foi enquadrado na classe de umidade 2 da norma [18], enquanto a densidade aparente média permitiu classificar essa espécie como pesada ou de alta densidade. Os dados obtidos para as propriedades mecânicas permitiram classificar essa madeira como pertencente a classe de resistência mecânica D50, conforme a norma [18], sendo possível o seu emprego em estruturas de madeira, podendo constituir-se como uma alternativa às espécies já utilizadas.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] SILVA, D.A.L., AQUINO, V.B.M., LAHR, F.A.R., *et al.*, “Influência dos parâmetros de fabricação nas Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis de Partícula de Média Densidade”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 25, n. 1, pp. e12580, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0908>
- [2] FRAGA, I.F., ARROYO, F.N., SOARES, L.S.Z.R., *et al.*, “Influência do teor de umidade em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Dipteryx odorata*”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 27, n. 3, pp. e20220084, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2022-0084>
- [3] RODRIGUES, E.B., ROBALLO, E.A., SATURNINO, K., *et al.*, “Avaliação da massa específica de *Cedrella fissilis* em comparativo com demais espécies nativas”, *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 10, n. 2, pp. 1–6, 2018.
- [4] GALLIO, E., ZANATTA, P., MACHADO, S.F., *et al.*, “Caracterização de propriedades tecnológicas de três folhosas deterioradas por térmitas”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 23, n. 4, pp. e12239, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180004.0573>

- [5] MATOS, G.S., MOLINA, J.C., “Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 21, n. 04, pp. 1069–1079, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0098>
- [6] SILVA, J.G.M., MEDEIROS NETO, P.N., SORANSO, R.R., *et al.*, “Influence of anatomy on the adhesion performance of four wood specie”, *Research, Society and Development*, v. 9, n. 4, pp. e31942727, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2727>
- [7] LIMA, T.F.P., ALMEIDA, T.H., ALMEIDA, D.H., *et al.*, “Propriedades físicas e mecânicas da madeira Tatajuba (*Bagassa guianensis*) proveniente de duas diferentes regiões brasileiras”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 23, n. 3, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0519>
- [8] MEDEIROS, D.T.D., MELO, R.R.D., CADEMARTORI, P.H.G.D., *et al.*, “Caracterização da madeira de espécies da Amazônia”, *Madera y Bosques*, v. 27, n. 2, pp. e2722209, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2021.2722209>
- [9] SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA, <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/306836>, acessado em setembro de 2023.
- [10] LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, [https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com\\_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=203](https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=203), acessado em agosto de 2023.
- [11] JÁCOME, C.C., DUARTE, P.J., PIRES, M.R., *et al.*, “Anatomia macroscópica de madeiras comercializadas no município de São João Evangelista, estado de Minas Gerais, Brasil”, In: Vangelista, W.V. (ed), *Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades*, São Paulo, Editora Científica Digital, pp. 230–243, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.37885/210504704>
- [12] CRUZ, E. *Germinação de sementes de espécies amazônicas: abiu-ucuubarana* (Pouteria oblanceolata Pires Pires), <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1136573/germinacao-de-sementes-de-especies-amazonicas-abiu-ucuubarana-pouteria-oblanceolata-pires>, acessado em agosto de 2023.
- [13] LIRA, J.N., NASCIMENTO, C.C., DE PAULA, E.V.C.M. “Avaliação da Densidade Básica da Madeira do Cerne e Alburno de Oito Espécies de Madeira”, In: *XVIII Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/FAPEAM/INPA*, Manaus, Brasil, 2009.
- [14] MARQUES, M.H.B., “*Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas*”, Tese de D.Sc., Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- [15] DEL MENEZZI, C.H., FARIAS, H.P., SIQUEIRA, M.L., “Modelling the effect of grain orientation on the lag screw withdrawal load for tropical hardwoods”, In: *World Conference on Timber Engineering*, Quebec, Canadá, 10–14 August 2014.
- [16] SILVA, M.E.R., LIMA, V.S., NASCIMENTO, S.L., *et al.*, “Caracterização física e mecânica de quatro espécies de madeira disponíveis no mercado madeireiro da região de Açailândia-MA e Imperatriz-MA”, *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, pp. e416111032824, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32824>
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 7190-3: Projeto de estruturas de madeira. Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas*, Rio de Janeiro, ABNT, 2022.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento*, Rio de Janeiro, ABNT, 2022.
- [19] CLIMATE-DATA, <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/acailandia-29550/>, acesso em setembro de 2023.
- [20] DIAS, J.M.S., *Estruturas de madeira*, Salvador, Editora 2B Educação, 2018.
- [21] VILELA, R., “*Desempenho estrutural de placas de Cross Laminated Timber submetidas à flexão*”, Tese de D.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2020.1127189>
- [22] ARAUJO, A.J.C., BALBONI, B.M., MOUTINHO, V., “Physical and mechanical characterization of *Astronium lecontei* and *Manilkara huberi* branch wood”, *Floresta e Ambiente*, v. 27, n. 2, pp. e20170468, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.046817>
- [23] ANDRADE, A., *Pisos de madeira: características de espécies brasileiras*, Piracicaba, ANMP, 2015.
- [24] RODRIGUES, E.F.C., “*Análise da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de acordo com a inclinação dos anéis de crescimento na seção transversal*”, Tese de D.Sc., Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, 2022.

- [25] LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, [https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com\\_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=123](https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=123), acessado em agosto de 2023.
- [26] LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, [https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com\\_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=55](https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=55), acessado em agosto de 2023.
- [27] LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, [https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com\\_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=29](https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=29), acessado em agosto de 2023.
- [28] LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/component/madeirasbrasileiras/especiestudada?especiestudadaid=117&Itemid=>, acessado em agosto de 2023.
- [29] LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, [https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com\\_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=195](https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especiestudada&especiestudadaid=195), acessado em agosto de 2023.
- [30] ROCHA, J.S., “*A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas*”, Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 1994.
- [31] JESUS, J.M.H., LOGSDON, N.B., FINGER, Z., ““Classes de resistência de algumas madeiras de Mato Grosso”, E&S”, *Engineering and Science*, v. 3, n. 1, pp. 35–42, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.18607/ES201532552>
- [32] LAHR, F.A.R., CHRISTOFORO, A.L., SILVA, C.E.G.D., *et al.*, “Avaliação de propriedades físicas e mecânicas de madeiras de Jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne) com diferentes teores de umidade e extraídas de regiões distintas”, *Revista Árvore*, v. 40, n. 1, pp. 147–154, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000100016>
- [33] ARAÚJO, H.J.B., “Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras”, *Floresta*, v. 37, n. 3, pp. 399–416, 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v37i3.9937>
- [34] LATREILLE, A.J., WÜNSCH, D.G., SOUZA, J.T., *et al.*, “Propriedades físico-mecânicas em madeira de *Dipteryx alata*, *Astronium graveolens*, *Bowdichia virgilioides* e *Eucalyptus grandis*”, *Revista do Instituto Florestal*, v. 30, n. 2, pp. 143–150, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.24278/2178-5031.201830203>