

Caracterização física e mecânica de quatro espécies de madeira disponíveis no mercado madeireiro da região de Açailândia - MA e Imperatriz - MA

Physical and mechanical characterization of four wood species available in the timber market in the region of Açailândia - MA and Imperatriz – MA

Caracterización física y mecánica de cuatro especies de madera disponibles en el mercado maderero de la región de Açailândia - MA e Imperatriz – MA

Recebido: 11/07/2022 | Revisado: 26/07/2022 | Aceito: 28/07/2022 | Publicado: 06/08/2022

Maria Eduarda Ribeiro da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8594-1747>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: mariasilva.20180040242@uemasul.edu.br

Vinicius de Sousa Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5875-2980>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: viniciuslima.20180040313@uemasul.edu.br

Sandriel Lima Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0998-067X>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: sandrielnascimento.20180040180@uemasul.edu.br

Bruno Silva Lacerda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3032-6357>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: brunolacerda.20180040046@uemasul.edu.br

Victor Hugo Ferreira Vieira Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4517-2629>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: victorfernandes.20180040387@uemasul.edu.br

Waleff Alves de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3714-3729>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: waleffsousa.20180035215@uemasul.edu.br

Italo Araújo Chagas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3835-7526>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: italochagas.20180035126@uemasul.edu.br

João Miguel Santos Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8030-739X>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Brasil

E-mail: joao.dias@uemasul.edu.br

Resumo

Desde os primórdios da humanidade, a madeira é utilizada como material na construção civil, sendo considerada um dos mais antigos. Conhecer as propriedades físicas e mecânicas de uma determinada espécie de madeira a ser empregada estruturalmente é de suma importância. O objetivo deste trabalho é determinar experimentalmente o teor de umidade, a densidade aparente, o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) de quatro espécies de madeira adquiridas na região de Açailândia – MA e Imperatriz – MA. Os corpos de prova (CPs) foram confeccionados conforme a norma ABNT NBR 7190-3:2022 – Projeto de Estruturas de Madeira. Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. A seguir ao teor de umidade da espécie de sapucaia (29,56%), em ordem decrescente, ficaram as espécies angelim-pedra (24,33%), tuturubá (14,27%) e paricá (10,12%). Os valores médios de **pap** por espécie, foram: 1253,80 kg/m³ (angelim-pedra), 1226,67 kg/m³ (sapucaia), 912,17 kg/m³ (tuturubá), e 247,24 kg/m³ (paricá). A maior resistência média à flexão (MOR) foi observada para a espécie angelim-pedra (130,42 MPa), seguida pelas espécies sapucaia e tuturubá com, respectivamente, 107,21 MPa e 106,02 MPa. O menor valor médio de MOR obtido foi da espécie paricá (22,29 MPa). A ordem decrescente dos resultados de resistência à flexão das espécies apresenta-se na mesma sequência observada para os valores de

densidade aparente das madeiras, indicando, dessa forma, que a ordem da resistência à flexão das espécies apresenta relação direta entre essas duas propriedades.

Palavras-chave: Madeira; Caracterização mecânica; Caracterização física; Flexão.

Abstract

Since the dawn of humanity, wood has been used as a material in civil construction, being considered one of the oldest. Knowing the physical and mechanical properties of a particular wood species to be used structurally is of paramount importance. The objective of this work is to experimentally determine the moisture content, apparent density, modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) of four wood species acquired in the region of Açailândia – MA and Imperatriz – MA. The specimens (CPs) were made according to the ABNT NBR 7190-3:2022 – Wood Structures Project. Part 3: Test methods for defect-free specimens for wood from native forests. Following the moisture content of the sapucaia species (29.56%), in descending order, were the species angelim-pedra (24.33%), tuturubá (14.27%) and paricá (10.12%). The average values of *pap* per species were: 1253.80 kg/m³ (angelim-pedra), 1226.67 kg/m³ (sapucaia), 912.17 kg/m³ (tuturubá), and 247.24 kg/m³ (paricá). The highest mean flexural strength (MOR) was observed for the angelim-pedra species (130.42 MPa), followed by the species sapucaia and tuturubá with, respectively, 107.21 MPa and 106.02 MPa. The lowest average value of MOR obtained was from the paricá species (22.29 MPa). The decreasing order of the flexural strength results of the species is presented in the same sequence observed for the apparent density values of the woods, thus indicating that the flexural strength order of the species presents a direct relationship between these two properties.

Keywords: Wood; Mechanical characterization; Physical characterization; Bending.

Resumen

Desde los árboles de la humanidad, la madera ha sido utilizada como material en la construcción civil, siendo considerada una de las más antiguas. Conocer las propiedades físicas y mecánicas de una determinada especie de madera para ser utilizada estructuralmente es de suma importancia. El objetivo de este trabajo es determinar experimentalmente el contenido de humedad, densidad aparente, módulo de elasticidad (MOE) y módulo de ruptura (MOR) de cuatro especies de madera adquiridas en la región de Açailândia – MA e Imperatriz – MA. Los especímenes (CPs) fueron elaborados de acuerdo con la ABNT NBR 7190-3:2022 – Proyecto de Estructuras de Madera. Parte 3: Métodos de prueba para especímenes libres de defectos para madera de bosques nativos. Siguiendo el contenido de humedad de la especie sapucaia (29,56%), en orden descendente, se ubicaron las especies angelim-pedra (24,33%), tuturubá (14,27%) y paricá (10,12%). Los valores promedio de *pap* por especie fueron: 1253,80 kg/m³ (angelim-pedra), 1226,67 kg/m³ (sapucaia), 912,17 kg/m³ (tuturubá) y 247,24 kg/m³ (paricá). La mayor resistencia media a la flexión (MOR) se observó para la especie angelim-pedra (130,42 MPa), seguida de las especies sapucaia y tuturubá con, respectivamente, 107,21 MPa y 106,02 MPa. El valor promedio más bajo de MOR obtenido fue de la especie paricá (22,29 MPa). El orden decreciente de los resultados de resistencia a la flexión de las especies se presenta en la misma secuencia observada para los valores de densidad aparente de las maderas, indicando así que el orden de resistencia a la flexión de las especies presenta una relación directa entre estas dos propiedades.

Palabras clave: Madera; Caracterización mecánica; Caracterización física; Flexión.

1. Introdução

Desde os primórdios da humanidade a madeira é utilizada como material na construção civil, sendo considerada um dos materiais mais antigos (Dias, 2018). Para Segundinho, et al., (2018), as suas características físicas e mecânicas também contribuem para difusão do seu uso, possibilitando o seu emprego desde o acabamento até grandes estruturas como pontes e coberturas. No Brasil, o material está presente na maioria das etapas construtivas, uma vez que é utilizado em formas, esquadrias e forros (Paiva Filho, et al., 2018).

A madeira possui diversas vantagens para a construção civil, dentre elas, destacam-se a boa relação entre peso próprio e resistência mecânica, versatilidade para a industrialização, custo competitivo em relação ao aço e concreto armado, material ambientalmente sustentável devido à produção limpa e com baixo consumo de carbono, boa resistência ao fogo (Souto, et al., 2016).

Contudo, existem características da madeira que a torna menos vantajosa, dentre elas o fato de ser um material heterogêneo e anisotrópico. Além disso, sua higroscopicidade faz com que seja suscetível às variações de teor de umidade em função do meio circundante, podendo provocar variações volumétricas e facilitar ataques de organismos vivos, tais como micro-organismos (bactérias, bolores e fungos), insetos (coleópteros, cupins/térmitas) e brocas marinhas (moluscos e

crustáceos) (Neves, 2018). O teor de umidade é definido como a quantidade de água presente na madeira, exercendo influência nas propriedades físicas e mecânicas dos materiais, pois, no caso da madeira, o aumento do teor de umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras, resulta na redução da resistência mecânica (Crisóstomo et al., 2016).

Desta forma, conhecer as propriedades físicas e mecânicas de um determinado tipo de madeira a ser empregada estruturalmente é de suma importância, tendo em vista que o desempenho global das estruturas está relacionado com as propriedades mecânicas do material (Rodrigues, et al., 2018). Assim sendo, torna-se indispensável conhecer o teor de umidade da madeira, para que seja possível a realização da estimativa de suas propriedades físicas e mecânicas, de modo a analisar sua bio-resistência (Lima, et al., 2018).

A utilização de madeira no teor de equilíbrio ao ar, garante que o material apresente estabilidade geométrica durante o tempo de serviço da estrutura (Braz, et al., 2015), além disso pode proporcionar vantagens, tais como aumento da trabalhabilidade, diminuição do risco de ataque de agentes xilófagos (Batista, et al., 2015) e controle de defeitos de crescimento (Dittmann, et al., 2017).

Dentre as propriedades mecânicas da madeira, a resistência e a rigidez à flexão são as que mais se destacam (Gallio et al., 2016). Segundo Tramontina et al., (2013) essas propriedades expressam a resistência do material quando exposto a uma força perpendicular ao comprimento longitudinal da peça, dessa forma são determinados no ensaio o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE). Araújo (2019) diz que o MOR e MOE são considerados como parâmetros em teste de flexão estática, sendo relevante no âmbito da determinação de propriedades tecnológicas para produtos advindos da madeira.

A *Hymenobium petraeum*, popularmente chamada de angelim-pedra, ocorre na região amazônica, possuindo coloração marrom-avermelhada, podendo atingir altura de 50 m a 60 m e diâmetro de 2 m ou mais (Fortes, 2018). De acordo com Baraúna et al., (2011) a madeira angelim-pedra é uma das espécies florestais mais empregadas no setor madeireiro nos estados do Amazonas e Pará. Isso ocorre devido as suas características que possibilitam um excelente acabamento, tornando a espécie atrativa para a marcenaria, carpintaria, construção civil e naval, dentre outros setores (Iwakiri, et al., 2016).

Conforme a ABNT NBR 7190:1997 - *Projeto de estruturas de madeira*, em seu ANEXO E, a espécie apresenta os seguintes valores médios: densidade aparente ($\rho_{ap,12\%}$) de 694,00 kg/m³; resistência à compressão paralela às fibras de 59,80 MPa; resistência à tração paralela às fibras de 75,50 MPa; resistência à tração normal às fibras de 3,50 MPa; resistência ao cisalhamento de 8,80 MPa; e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras de 12.912,00 MPa.

O Tuturubá (*Pouteria oblanceolata*) é uma espécie de madeira em que suas árvores atingem 32,0 m de altura e 60,0 cm de diâmetro, sendo que, seu cerne é marrom-amarelado, com pouca distinção entre alburno e cerne, com densidade básica de 0,79 g/cm³ a 0,82 g/cm³ e geralmente é utilizada em carrocerias, cruzetas, esquadrias, estruturas de coberturas, pisos, vigas e em vários âmbitos de construção da edificação (Cruz, 2021). De acordo com LPF (2022), a espécie apresenta MOR igual a 113,17 MPa (madeira verde) e MOE de 13530,00 MPa.

De acordo com Almeida et al. (2013), a espécie amazônica paricá (*Schizolobium amazonicum Herb*) demonstra grande potencial econômico e ganha cada vez mais relevância entre as espécies de reflorestamento no Brasil, pois apresenta aumento de altura e diâmetro e rápido crescimento. Já Moritani (2018) refere que o paricá possui os seguintes valores médios: MOE igual a 9010,00 MPa, MOR de 47,32 MPa. A sapucaia (*Lecythis pisonis Cambess*) é uma espécie que ocorre na região amazônica, podendo ter altura entre 20 m e 30 m, com diâmetro médio de 90 cm, possui cerne avermelhado-amarelado, alburno amarelo e alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (Paula, 2016). Apresenta densidade básica de 0,86 g/cm³ (Teixeira, Cunha, Wimmer & de Andrade, 2019) e MOR de 111,89 MPa em condição verde e 149,84 MPa para a madeira seca (Paula, 2016). Por conseguinte, o objetivo deste trabalho é determinar experimentalmente o teor de umidade; a densidade aparente; o MOE e o MOR de quatro espécies de madeira adquiridas na região de Açailândia – MA e Imperatriz – MA.

2. Materiais e Métodos

Foram utilizadas as quatro espécies de madeira supracitadas: paricá, cedida por uma empresa de fabricação de compensados, localizada na cidade de Itinga – MA, em seguida, armazenados no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção – LEMATCON – Timoshenko da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – Campus Açailândia; angelim-pedra e tuturubá, adquiridas em uma madeireira na cidade de Açailândia – MA, estando armazenadas em um local sujeito ao intemperismo; e sapucaia, obtida no município de Imperatriz – MA, em que estava armazenada ao ar livre.

Os corpos de prova (CP) foram confeccionados conforme as disposições preconizadas na norma ABNT NBR 7190-3:2022- *Projeto de Estruturas de Madeira. Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas*. Por conseguinte, foram confeccionados seis CPs das espécies angelim-pedra, sapucaia e tuturubá, para a realização de ensaios de teor de umidade e densidade aparente, com as dimensões (2,0 x 3,0 x 5,0) cm³, sendo a maior dimensão paralela à direção das fibras. A espécie paricá contou com 12 CPs, uma vez que a empresa que cedeu a madeira proporcionou uma maior quantidade de material. Para o ensaio de flexão, os três CPs foram confeccionados nas dimensões (5,0 x 5,0 x 115) cm³, sendo a maior direção no sentido das fibras.

Os CPs foram identificados com a letra inicial da nomenclatura (segundo a sua espécie), com “A” para angelim-pedra, “P” para paricá, “S” para sapucaia e “T” para tuturubá, sendo que, para aferição do U e ρ_{ap} , acrescentou-se um número cardinal em ordem crescente. Para o ensaio de flexão, utilizou-se a nomenclatura de “F” advindo da palavra flexão, mais a letra adotada para cada espécie acrescido do número cardinal em ordem crescente. Posto isto, no Quadro 1 estão apresentadas as nomenclaturas utilizadas nos CPs e os ensaios realizados.

Quadro 1. Nomenclaturas dos corpos de prova e ensaios.

Espécie (nome científico)	Ensaio	Nomenclatura (CP)
Angelim-pedra (<i>Hymenolobium petraeum</i>)	Densidade Aparente / Teor de umidade	A1, A2, A3, A4, A5 e A6
	Flexão	FA1, FA2 e FA3
Paricá (<i>Schizolobium amazonicum Herb</i>)	Densidade Aparente / Teor de umidade	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12
	Flexão	FP1, FP2 e FP3
Sapucaia (<i>Lecythis pisonis</i>)	Densidade Aparente / Teor de umidade	S1, S2, S3, S4, S5 e S6
	Flexão	FS1, FS2 e FS3
Tuturubá (<i>Pouteria oblanceolata</i>)	Densidade Aparente / Teor de umidade	T1, T2, T3, T4, T5 e T6
	Flexão	FT1, FT2 e FT3

Fonte: Autores (2022).

Para aferição do teor de umidade e densidade aparente, foi utilizado um paquímetro, da marca Storm, uma balança eletrônica BEL, modelo S622, e uma estufa de esterilização e secagem, da marca Lucadema, modelo 80/100. Seguiu-se a metodologia da norma ABNT NBR 7190-3:2022 com exceção do tempo de frequência de aferição das massas, que foi realizada de 24 em 24 horas, conforme metodologia adotada por Silva, et al., (2019).

Os ensaios de flexão foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios Instron, modelo EMIC 23-100, operada com o auxílio do programa *BLUEHILL* (Figura 1). Os CPs foram submetidos à ruptura seguindo a metodologia da norma ABNT NBR 7190-3:2022, com taxa de aplicação de carga 10 MP.5a/min. Diante disso, os dados obtidos com o *software* foram armazenados e analisados para a construção dos gráficos de força x deflexão, obtenção dos módulos de elasticidade e ruptura à flexão.

Figura 1. Aparato de ensaio à flexão em três pontos.



Fonte: Autores (2022).

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização física

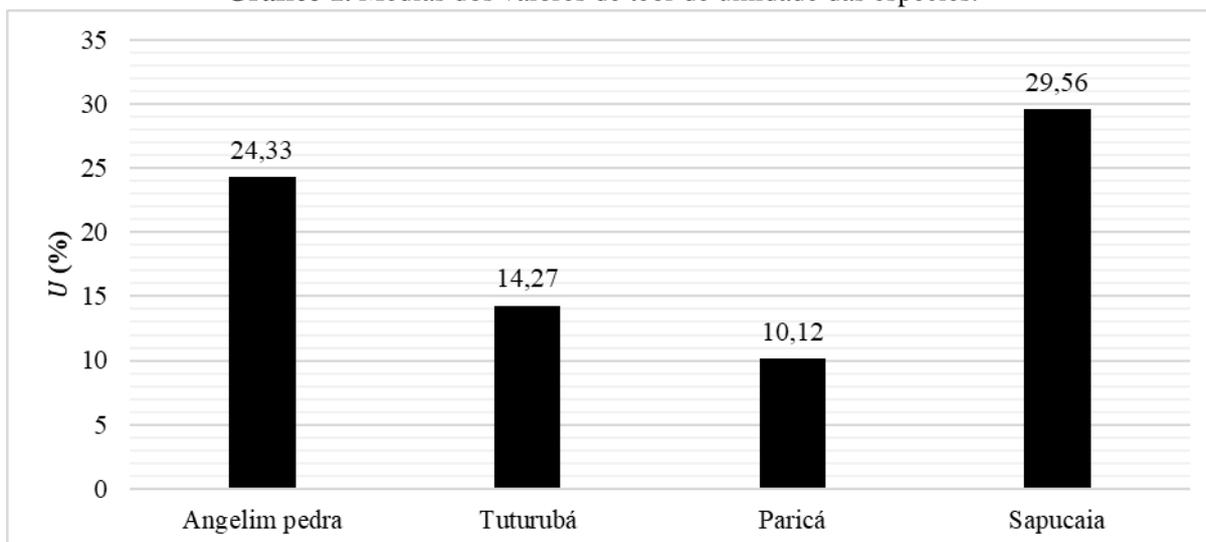
A Tabela 1 apresenta os resultados referentes ao teor de umidade e densidade aparente para as quatro espécies analisadas, além da quantidade de CPs utilizada. Avaliando os valores de teor de umidade, é possível constatar que a espécie sapucaia apresentou os maiores valores médios, conforme é possível igualmente constatar no Gráfico 1. A seguir ao teor de umidade da espécie de sapucaia, em ordem decrescente, ficaram as espécies angelim-pedra, tuturubá e paricá. Os coeficientes de variação de todos os teores de umidade ficaram abaixo de 4,40%.

Tabela 1. Propriedades físicas (teor de umidade e densidade aparente) das espécies.

Propriedades	U (%)				ρ_{ap} (kg/m ³)			
	A	T	P	S	A	T	P	S
n° CPs	6	6	12	6	6	6	12	6
Máximo	25,68	14,46	10,63	31,37	1280,41	927,89	268,37	1262,67
Média	24,33	14,27	10,12	29,56	1253,80	912,17	247,24	1226,67
Mínimo	23,02	14,11	9,59	27,93	1230,54	899,38	229,62	1165,67
CV (%)	4,40	0,86	3,19	4,19	1,47	1,35	4,72	2,70

n° CPs é o número de corpos de prova; CV é o coeficiente de variação; U (%) é o teor de umidade; ρ_{ap} é a densidade aparente; A, T, P e S são as espécies angelim-pedra, tuturubá, paricá e sapucaia, respectivamente. Fonte: Autores (2022).

Gráfico 1. Médias dos valores de teor de umidade das espécies.



Fonte: Autores (2022).

A ABNT NBR 7190-1:2022 – *Projeto de Estruturas de Madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento* classifica o teor de umidade das espécies de madeiras em função da umidade relativa do ar, dividindo em quatro classes de umidade que devem ser utilizadas para a elaboração de projetos de estruturas de madeira. Sendo a classe de umidade 1 a condição padrão de referência (12%) utilizada na norma, recomendando-se a adequação de valores de teor de umidade contidos no intervalo entre 10% e 20%, através de fórmulas indicadas no subitem 6.2.1 da referida norma.

Apesar dos coeficientes de variação serem inferiores a 4,40%, tal fato não interfere na constatação de que todos os CPs de cada espécie estão inseridos numa mesma classe de umidade. O valor de teor de umidade obtido para a espécie sapucaia está acima de 25%, o que impossibilita a correção da resistência mecânica e rigidez através das fórmulas presentes no item 5.6.1 da norma ABNT NBR 7190-1:2022.

A cidade de Açailândia-MA e Imperatriz-MA, onde foram obtidas as espécies de angelim-pedra e sapucaia, durante todo o ano de 2021, respectivamente, tiveram uma umidade relativa do ambiente média de 73,41% e 70,67% (CLIMATE-DATA, 2021). Segundo a norma ABNT NBR 7190:2022, a classe de umidade das madeiras correspondente às umidades relativas supracitadas é a 2, que resulta em uma umidade de equilíbrio da madeira de 15%. Devido ao fato das madeiras de sapucaia e de angelim-pedra não apresentarem teor de umidade em equilíbrio ao ar, ocorrerá uma diminuição da umidade, acarretando alterações dimensionais, como empenamentos, inchamentos e contrações, ocasionando problemas ao seu uso em estruturas (Souza, et al., 2016).

Segundo Corassa, et al., (2019) a umidade da madeira influencia diretamente a biodeterioração por parte de micro-organismos. Nesse sentido, os valores de teor de umidade das espécies de sapucaia e angelim-pedra contribuem para a suscetibilidade da degradação por fungos.

De acordo com Fonte e Trianoski (2015), o teor de umidade influencia o processo de colagem da madeira, uma vez que, havendo uma quantidade excessiva de moléculas de água nos poros da madeira, poderão ocorrer bolhas de vapor durante o processo de prensagem com altas temperaturas. Além disso, os mesmos autores referem que o tempo de prensagem pode ser aumentado devido à presença de umidade excessiva na madeira. Por outro lado, segundo os mesmos autores, a resistência da linha de cola poderá sofrer decréscimos de resistência mecânica devido à variação dimensional da madeira, provocada pela redução ou aumento do teor de umidade.

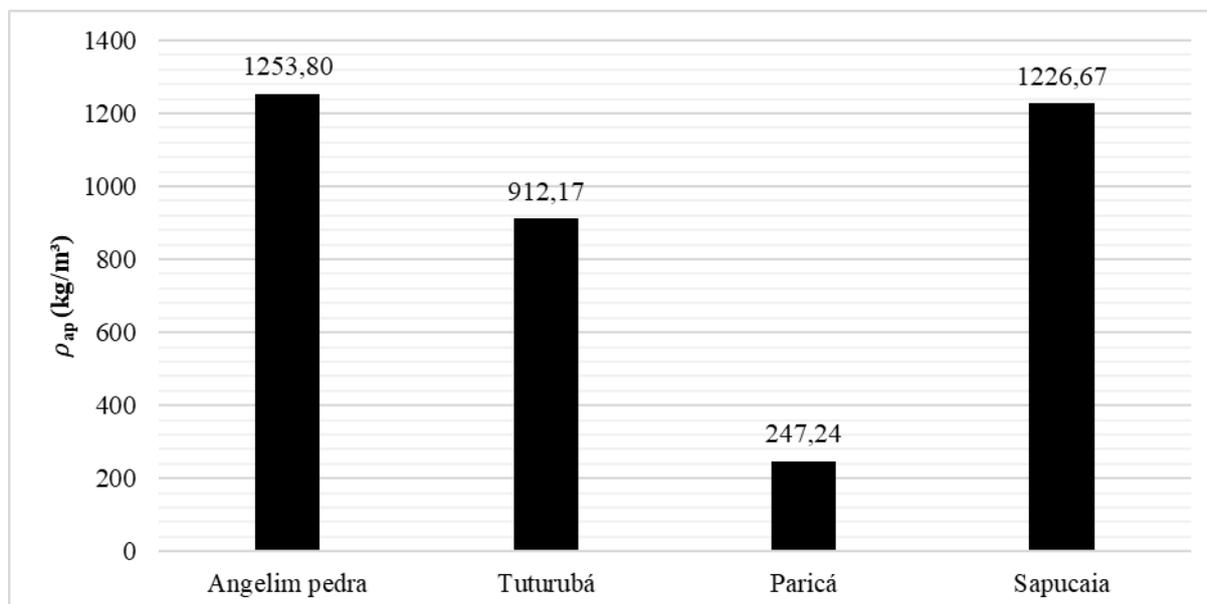
O adesivo poliuretano (PUR), quando entra em contato com a madeira, há uma formação de dióxido de carbono, criando-se bolhas de ar que diminuem a superfície de contato, fazendo com que ocorra uma redução na resistência mecânica das ligações e geram rupturas na interface madeira-adesivo (Dias, 2015). Existem adesivos que não são recomendados o seu uso em contato com umidade. Segundo Mendoza, et al., (2017), o ureia-formaldeído, de coloração branca, por exemplo, é mais indicado para elementos de madeira que são protegidos da umidade, como móveis e peças de uso interior. O mesmo autor também diz que o PVA, adesivo mais relevante para a colagem da madeira, possui baixa resistência a água. Além disso, fabricantes de adesivos de colagem de madeira recomendam teores de umidade máximos para a madeira que está sendo colada, por exemplo, a Cascola Cascorez Cola Madeira, uma cola à base de PVA, em sua ficha técnica, recomenda-se teores de umidade entre 8% e 15% para peças de madeira, de acordo com a folha de dados técnicos, CASCOLA.

Nesse sentido, as espécies de sapucaia e angelim-pedra, por terem valores muito elevados de teor de umidade, não são recomendadas para uso em colagem de madeira.

Conforme a Tabela 1 e o Gráfico 2, os valores médios de densidade aparente por espécie, em ordem decrescente, foram: 1253,80 kg/m³ (angelim-pedra); 1226,67 kg/m³ (sapucaia); 912,17 kg/m³ (tuturubá); e 247,24 kg/m³ (paricá). Posto isso, a espécie angelim-pedra apresentou maior valor médio de densidade aparente, quando comparada a outras espécies. Segundo a classificação das madeiras apresentada em Dias (2018), as espécies angelim-pedra, tuturubá e sapucaia se enquadram na categoria de madeira pesada ou de alta densidade, enquanto a madeira de paricá pode ser classificada como sendo de baixa densidade.

Rodrigues et al. (2018) afirma que as propriedades físicas e mecânicas da madeira apresentam variações entre as espécies, e até mesmo em diferentes partes da mesma árvore, demonstrando alterações provocadas pelo câmbio durante o processo de envelhecimento, além das desenvolvidas devido as condições ambientais.

Gráfico 2. Médias dos valores de densidade aparente das espécies.

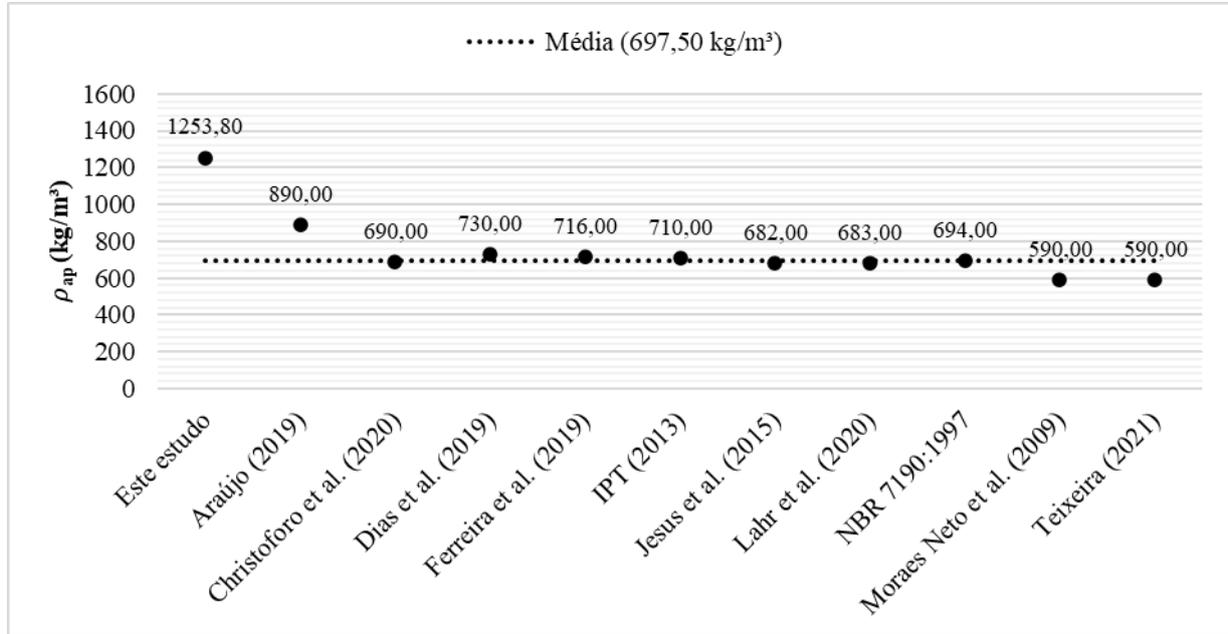


Fonte: Autores (2022).

Conforme o Gráfico 3, a densidade aparente do angelim-pedra obtida nesse estudo em comparação com outros 10 observados na literatura, apresentou valor médio de 697,50 kg/m³. Posto isso, o valor aferido nesse experimento (1253,80 kg/m³) foi o maior, demonstrando variação com valor médio de 556,30 kg/m³ e comparando com menor valor de ρ_{ap}

apresentado ($559,00 \text{ kg/m}^3$) tem-se a diferença de $663,80 \text{ kg/m}^3$. Sendo que, a diferença máxima entre apenas as bibliografias foi de $300,00 \text{ kg/m}^3$.

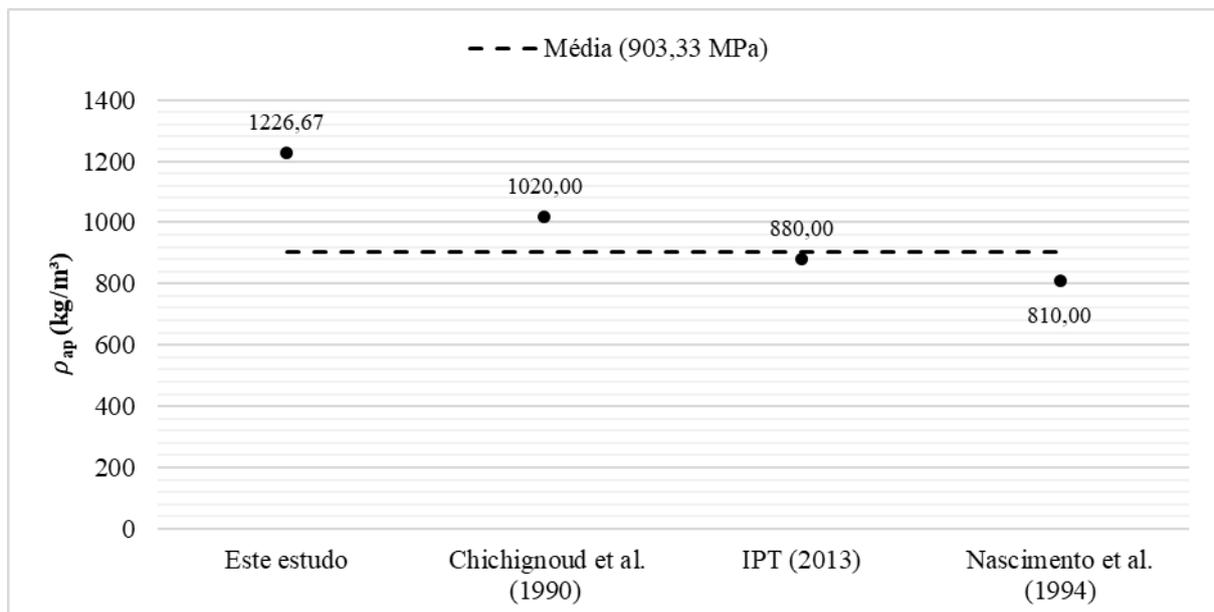
Gráfico 3. Densidade aparente do angelim-pedra presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

De acordo com Gráfico 4, o valor de ρ_{ap} da espécie sapucaia deste estudo, comparado com mais três da literatura, foi o maior ($1226,67 \text{ kg/m}^3$). Diante disso, o valor médio apresentado foi de $954,33 \text{ kg/m}^3$, então, se comparado com o valor desse experimento, tem-se a diferença de $272,34 \text{ kg/m}^3$, enquanto que se comparar com o mínimo obtido na literatura ($810,0 \text{ kg/m}^3$) a variação é de $416,67 \text{ kg/m}^3$. Acresce a isso, que a diferença máxima entre os valores da bibliografia é de $210,00 \text{ kg/m}^3$.

Gráfico 4. Densidade aparente da sapucaia presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

Conforme o Gráfico 5, a densidade aparente deste estudo, da espécie tuturubá, foi de 912,17 kg/m³ e da bibliografia foi de 960,00 kg/m³, que quando comparadas apresentam diferença de 47,85 kg/m³, ou seja, a ρ_{ap} da literatura foi a maior. Acresce a isso, a mínima utilização de bibliografias devido ao baixo acervo de estudos relacionados a ρ_{ap} do tuturubá.

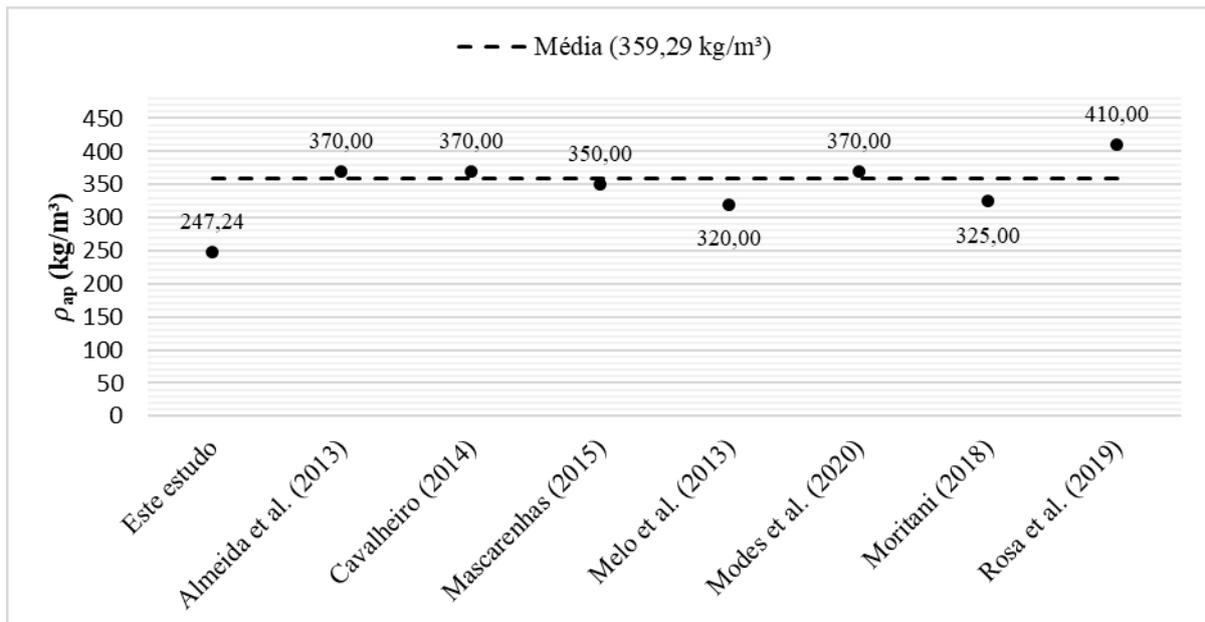
Gráfico 5. Densidade aparente do tuturubá presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

Comparativamente a outros estudos da literatura sobre a densidade aparente do paricá, o Gráfico 6 apresenta os valores obtidos nas bibliografias e nesse estudo. Observa-se que o maior valor obtido de ρ_{ap} (410,00 kg/m³) foi por Rosa, et al., (2019) e o menor valor foi obtido (247,24 kg/m³) neste estudo. Além disso, observa-se que o valor médio de ρ_{ap} (359,29 kg/m³) é maior quando comparado a este experimento.

Gráfico 6. Densidade aparente do paricá presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

A variação entre os valores de densidade aparente da mesma espécie, ocorre devido as condições em que a árvore está sujeita durante seu crescimento. De acordo com Palacio (2021), o crescimento das madeiras é o resultado da ação e da influência entre os fatores bióticos e climáticos. Ribeiro (2022) afirma que os fatores abióticos também devem ser considerados, acresce a isso, Silva, et al., (2021) relata que a relação entre condições como luminosidade e temperatura são indispensáveis para o processo fotossintético, apresentando influência no desenvolvimento da flora.

3.2 Caracterização mecânica

Na Tabela 2 estão dispostos os valores médios, máximos e mínimos de resistência e rigidez à flexão, bem como os coeficientes de variação e a quantidade de corpos de prova utilizados nos ensaios de flexão estática das quatro espécies de madeira.

Tabela 2. Propriedades mecânicas (MOR e MOE) das espécies.

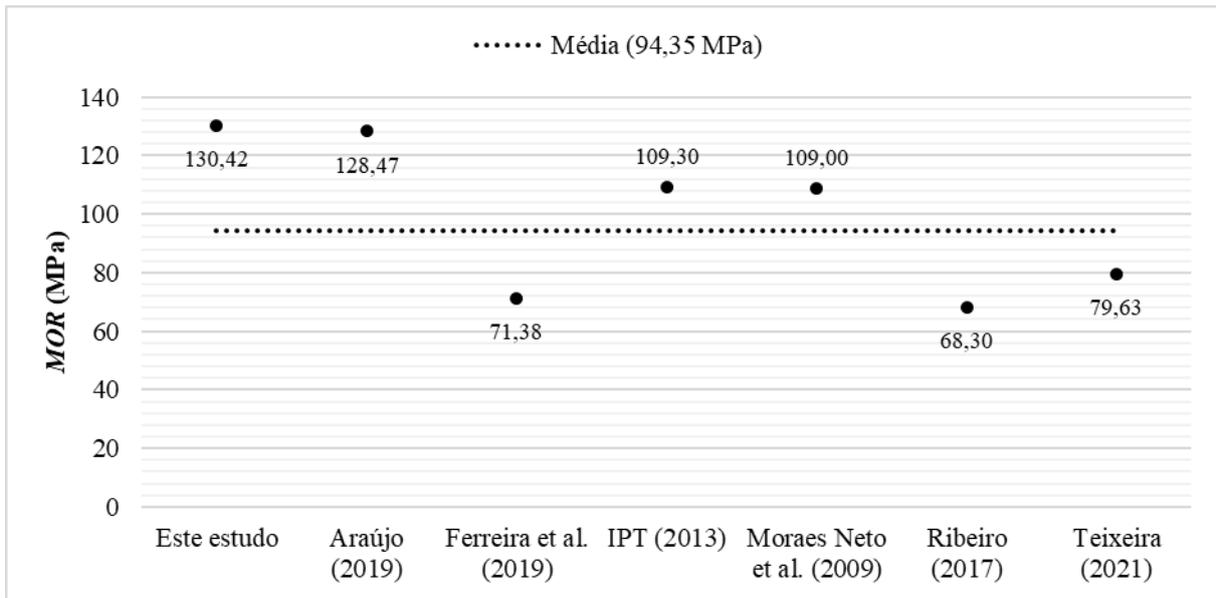
Propriedades	MOR (MPa)				MOE (MPa)			
	A	T	P	S	A	T	P	S
n° CPs	3	3	3	3	3	3	3	3
Máximo	147,01	114,07	25,22	118,65	21132,06	15596,39	6382,25	20721,32
Média	130,42	106,02	22,29	107,21	19634,27	15297,82	5975,17	18282,01
Mínimo	103,10	100,21	20,34	94,56	18437,53	14777,15	5519,75	16363,04
CV (%)	18,28	6,79	11,59	12,22	6,99	2,96	7,25	12,17

n° CPs é o número de corpos de prova; CV é o coeficiente de variação; MOR e MOE são, respectivamente, os módulos de ruptura e elasticidade à flexão; A, T, P e S são as espécies angelim-pedra, tuturubá, paricá e sapucaia, respectivamente. Fonte: Autores (2022).

A maior resistência média à flexão (MOR) foi observada para a espécie angelim-pedra (130,42 MPa), seguida pelas espécies sapucaia e tuturubá com, respectivamente, 107,21 MPa e 106,02 MPa, e, com o menor valor médio de MOR, a espécie paricá (22,29 MPa). A ordem decrescente dos resultados de resistência à flexão das espécies apresenta-se na mesma sequência observada para os valores de densidade aparente das madeiras, indicando, dessa forma, uma relação direta entre essas duas propriedades. Tal fenômeno é corroborado por Duarte, et al., (2020), que estabelece, em seu estudo, equações que demonstram relações diretas entre as propriedades mecânicas e a densidade aparente da madeira.

Comparativamente a outros estudos realizados com a espécie angelim-pedra, o Gráfico 7 apresenta os valores de MOR encontrados na literatura e neste estudo. É possível verificar que o menor valor de MOR para o angelim-pedra (68,30 MPa) foi encontrado por Ribeiro (2017) e que o valor médio encontrado neste estudo (130,42 MPa) é superior a todos os demais valores obtidos na bibliografia analisada, sendo cerca de 1,52% superior ao MOR encontrado por Araújo (2019).

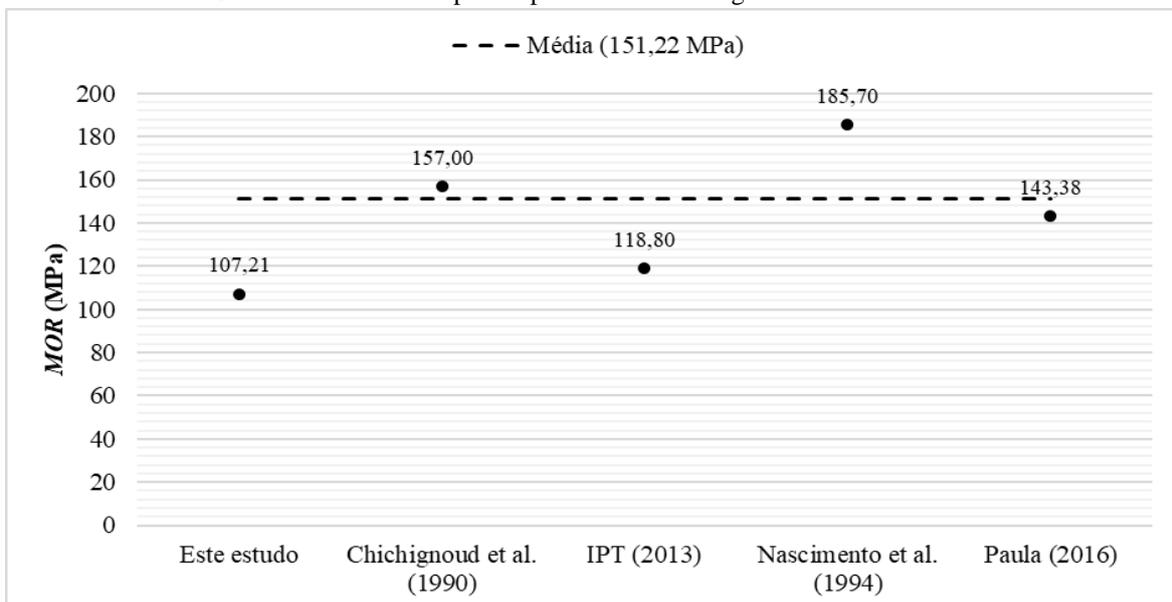
Gráfico 7. MOR do angelim-pedra presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

Observou-se dificuldade em encontrar estudos de caracterização física e mecânica das espécies sapucaia e tuturubá durante a busca na bibliografia, demonstrando, assim, uma lacuna no estudo das propriedades dessas espécies, apesar da sua disponibilidade no mercado madeireiro. Para a espécie sapucaia, foram encontrados apenas quatro estudos na bibliografia, sendo estes os trabalhos realizados por Paula (2016), que encontrou um valor de MOR igual a 143,38 MPa; Nascimento, et al., (1994), que obteve um valor de 185,70 MPa; Chichignoud et al. (1990), que encontrou o MOR da espécie igual 157,00 MPa; e o IPT (2013), que apresenta um valor de MOR igual a 118,80 MPa. Todos os valores citados anteriormente foram obtidos com a madeira de sapucaia à uma condição de teor de umidade igual a 12%, exceto para o valor apresentado pelo IPT (2013), que foi obtido com a madeira à um teor de umidade de 15%. O valor obtido por este trabalho foi de 107,21 MPa, sendo inferior aos estudos supracitados, conforme apresentado no Gráfico 8.

Gráfico 8. MOR da sapucaia presentes na bibliografia e neste trabalho.

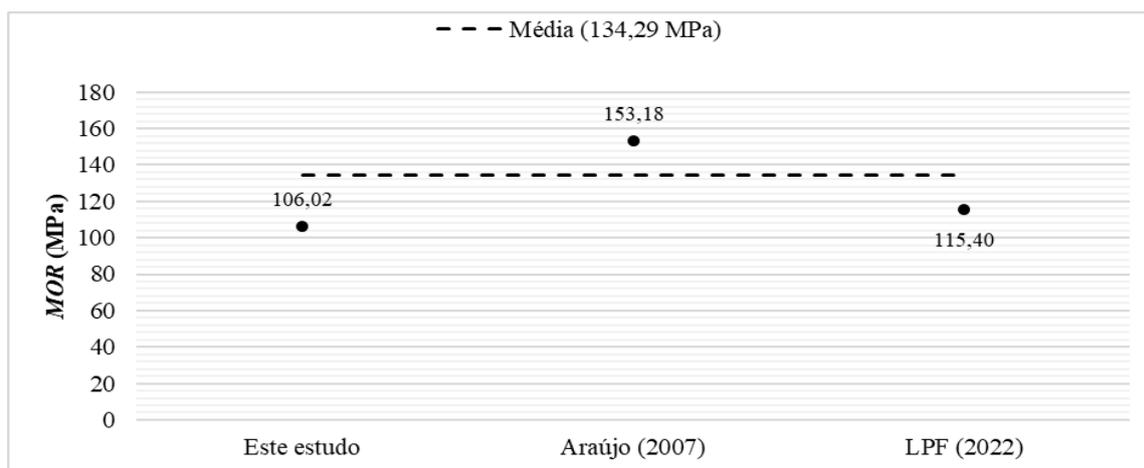


Fonte: Autores (2022).

A diferença dos valores de MOR poderá estar relacionada com o teor de umidade observado neste estudo para esta espécie, uma vez que o aumento dessa propriedade provoca a redução das propriedades mecânicas da madeira (Candaten, et al., 2018; Alam, et al., 2015).

Para os valores de MOR da espécie tuturubá foram encontrados os seguintes estudos na bibliografia: Araújo (2007), que estudou as relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras e encontrou um MOR igual a 153,18 MPa para a espécie com um teor de umidade de 12%; e LPF (2022), que apresenta um MOR de 113,17 MPa para a espécie com madeira verde. Portanto, o valor médio de MOR encontrado neste estudo para o tuturubá (106,02 MPa) é inferior aos valores citados anteriormente (Gráfico 9), sendo cerca de 6,32% inferior ao valor apresentado pelo LPF (2022).

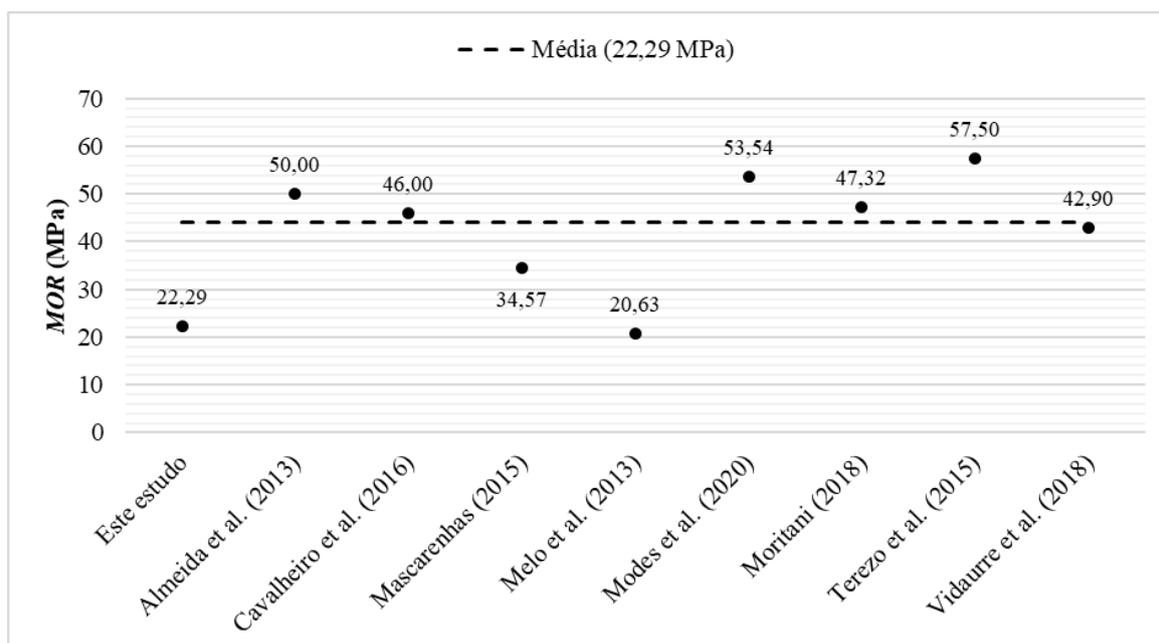
Gráfico 9. MOR do tuturubá presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

Comparativamente a outros estudos de caracterização mecânica da espécie paricá, o Gráfico 10 apresenta os valores de MOR obtidos na bibliografia analisada e neste estudo. É possível observar que o valor médio encontrado neste estudo (22,29 MPa) se encontra abaixo da média geral referente aos valores obtidos pelos outros autores, sendo 8,05% superior em relação ao valor encontrado por Melo, et al., (2013) e cerca de 61,23% inferior ao valor obtido por Terezo, et al., (2015).

Gráfico 10. MOR do paricá presentes na bibliografia e neste trabalho.



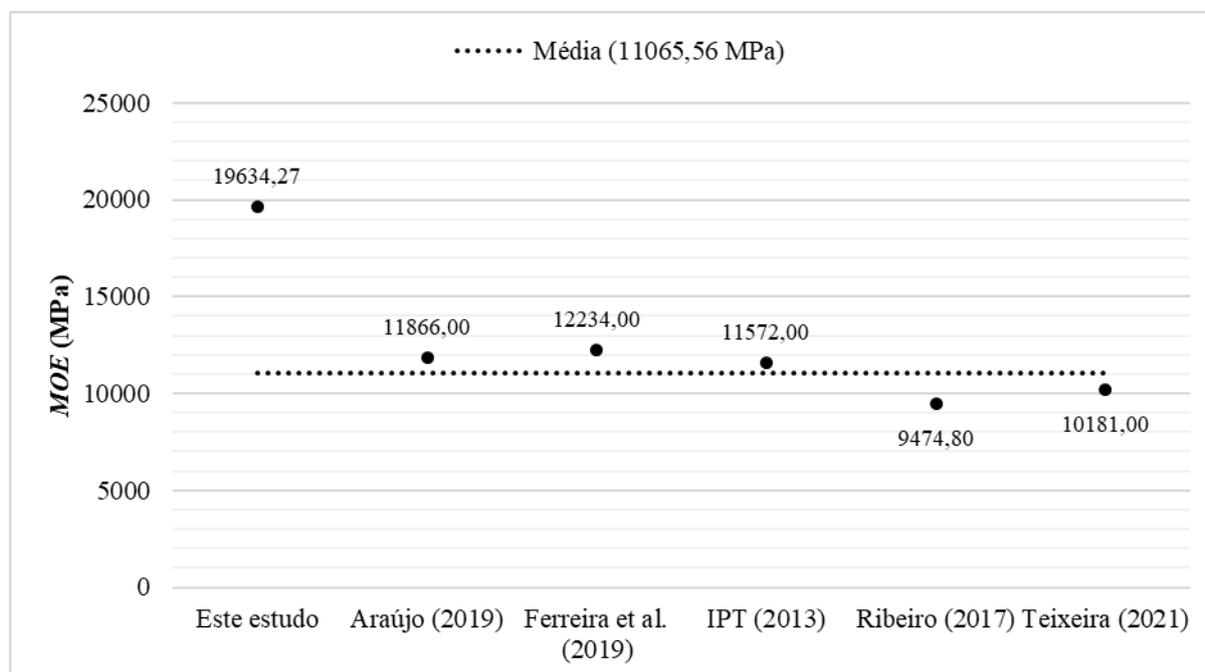
Fonte: Autores (2022).

Para os valores médios de MOE das espécies analisadas obteve-se a seguinte classificação em ordem decrescente: primeiro o angelim-pedra (19634,27 MPa), seguida da sapucaia (18282,01 MPa), tuturubá (15297,82 MPa) e, por fim, a espécie paricá (5975,17 MPa).

Conforme a ABNT NBR 7190:1997 a rigidez é uma propriedade medida pela média dos valores do MOE em seu estado elástico-linear. Dessa forma, valores elevados de MOE confere às estruturas, sujeitas à flexão, menores deslocamentos verticais, uma vez que a rigidez de uma estrutura é inversamente proporcional a sua deflexão devido a aplicação de cargas externas.

O Gráfico 11 apresenta os valores de MOE encontrados na bibliografia analisada e por este estudo para a espécie angelim-pedra. O valor médio obtido neste estudo (19634,27 MPa), para essa propriedade, é superior aos valores encontrados pelos outros autores, estando, portanto, acima da média geral.

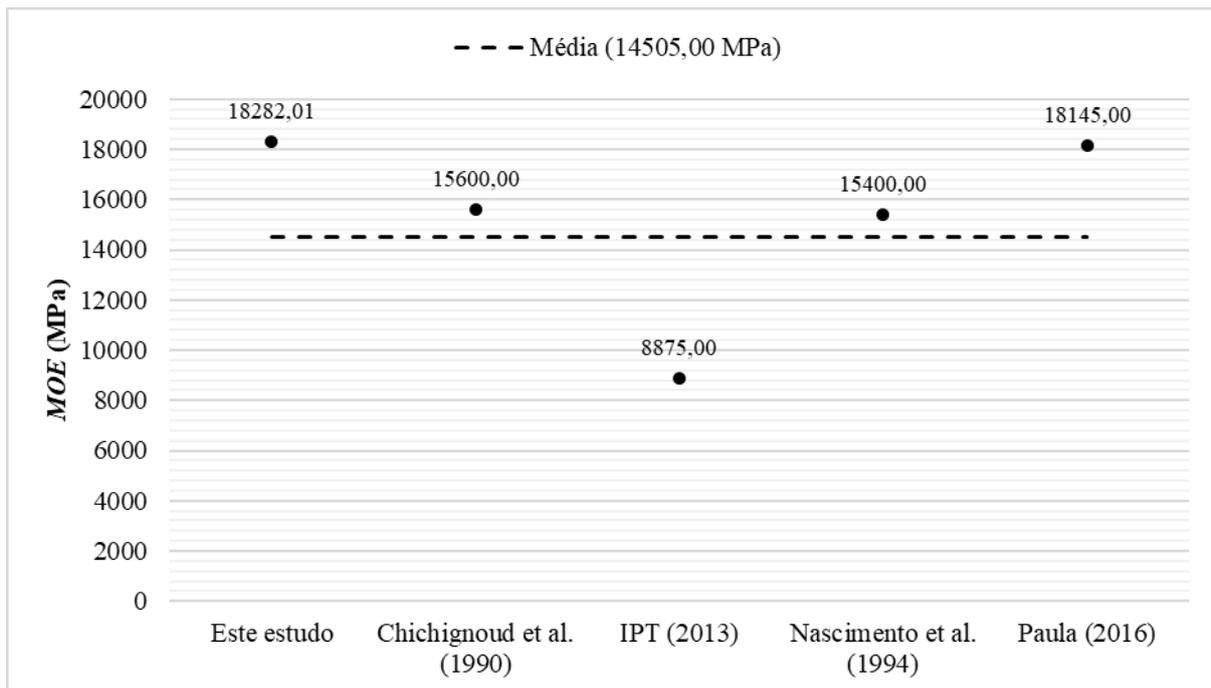
Gráfico 11. MOE do angelim-pedra presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

O valor médio obtido neste estudo para o MOE da espécie sapucaia (18282,01 MPa) é 18,71% superior ao valor encontrado por Nascimento, Garcia e Díaz (1994), que obteve um valor médio igual a 15400,00 MPa. Chichignoud et al. (1990) e Paula (2016), conforme apresentado no Gráfico 13, encontraram, respectivamente, valores iguais a 15600,00 MPa e 18145 MPa para o MOE da espécie sapucaia. Já o MOE apresentado por IPT (2013) é igual a 8875,00 MPa para a madeira verde da espécie.

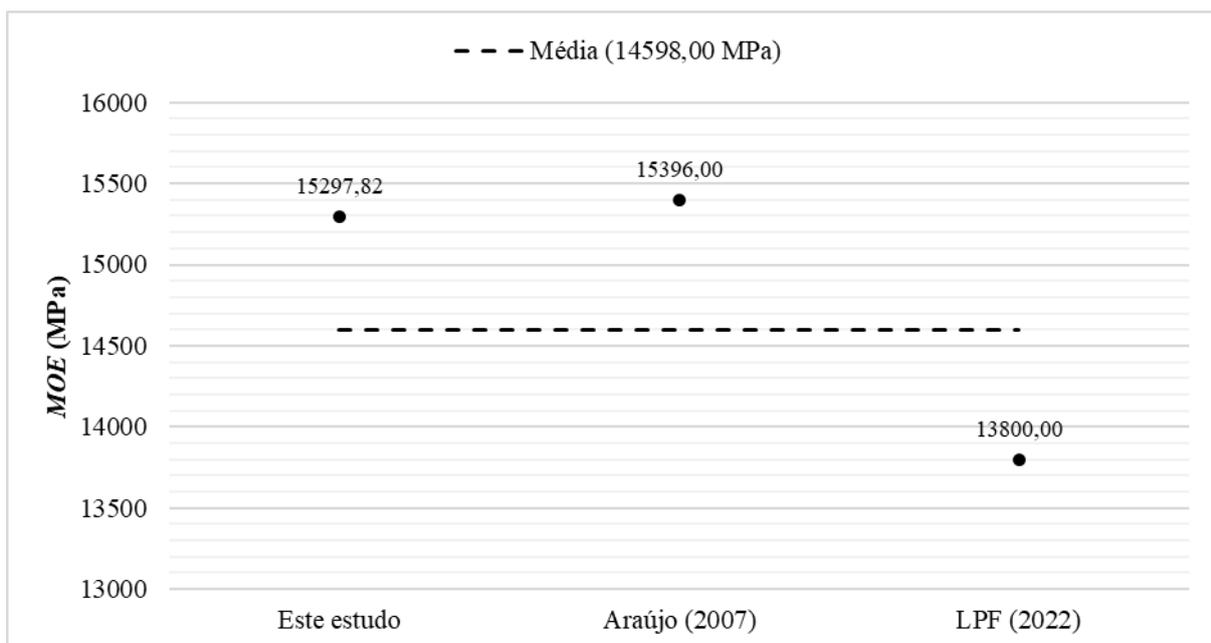
Gráfico 12. MOE da sapucaia presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

Já para a espécie tuturubá, o valor médio de MOE encontrado neste estudo (15297,82 MPa) encontra-se no intervalo dos resultados obtidos por Araújo (2007) e LPF (2022) (Gráfico 13), sendo 13,07% superior ao valor encontrado por LPF (2022) (13800,00 MPa) e 0,64% inferior ao valor obtido por Araújo (2007) (15396,00 MPa).

Gráfico 13. MOE do tuturubá presentes na bibliografia e neste trabalho.

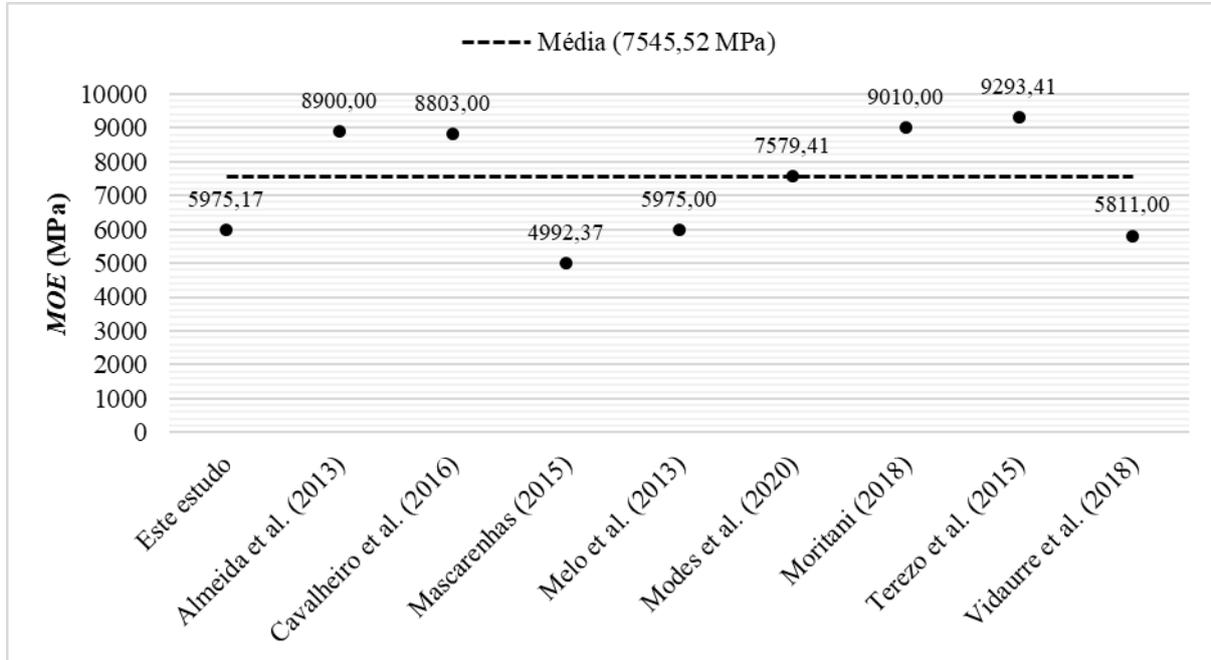


Fonte: Autores (2022).

O Gráfico 14 apresenta valores encontrados por este trabalho e por outros autores para o MOE da espécie paricá. É possível verificar que o valor médio encontrado neste estudo (5975,17 MPa) se encontra no intervalo representado pelos

resultados obtidos por Mascarenhas (2015) (4992,37 MPa) e Terezo et al. (2015) (9293,41 MPa) e que, além disso, é inferior à média dos resultados obtidos pelos demais estudos.

Gráfico 14. MOE da paricá presentes na bibliografia e neste trabalho.



Fonte: Autores (2022).

A boa relação entre MOR e ρ_{ap} é uma verificação para realização de cálculos estruturais, visto que, estruturas leves acarretam em fundações menos robustas (LAHR et al, 2013). Para a razão entre MOE e ρ_{ap} , valores elevados implicariam em estruturas mais rígidas, que estão ligadas ao surgimento de patologias como trincas e fissuras.

A Tabela 3 apresenta a relação entre propriedades mecânicas e densidade aparente em diferentes estudos para a espécie angelim-pedra, onde relação 1 é descrita por MOR/ρ_{ap} e relação 2 sendo MOE/ρ_{ap} .

Tabela 3. Relação entre propriedades mecânicas e densidade aparente da espécie angelim-pedra.

Estudos	Propriedades			Relação	
	ρ_{ap} (Kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	$\frac{MOR}{\rho_{ap}}$	$\frac{MOE}{\rho_{ap}}$
Esse estudo	1253,8	130,42	19634,27	0,104	15,660
Ferreira et al. (2019)	716,00	71,38	12234,00	0,100	17,087
Teixeira (2021)	590,00	79,63	10181,00	0,135	17,256
Moraes Neto et al. (2009)	590,00	109,00	-	0,185	-
Araújo (2019)	890,00	128,47	11866,00	0,144	13,333
IPT (2013)	710,00	109,30	11572,00	0,154	16,299

Fonte: Autores (2022).

O maior resultado da relação 1 foi observado no estudo de Moraes Neto et al. (2009) enquanto que o menor valor encontra-se no estudo de Ferreira et al. (2019), com 0,185 e 0,100 respectivamente. Para a relação 2, o maior valor foi encontrado no trabalho de Teixeira (2021), enquanto que o menor valor no estudo de Araújo (2019), sendo, nessa ordem,

17,256 e 13,333. Na Tabela 4 estão apresentados a razão entre propriedades mecânicas e densidade aparente obtidas em diferentes estudos para a espécie paricá.

Tabela 4. Relação entre propriedades mecânicas e densidade aparente da espécie paricá.

Estudos	Propriedades			Relação	
	ρ_{ap} (Kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	$\frac{MOR}{\rho_{ap}}$	$\frac{MOE}{\rho_{ap}}$
Este estudo	247,24	22,29	5975,17	0,0902	24,167
Almeida et al. (2013)	370,00	50,00	8900,00	0,135	24,054
Moritani (2018)	325,00	47,32	9010,00	0,146	27,723
Terezo et al. (2015)	327,99	57,50	9293,41	0,175	28,334
Mascarenhas (2015)	350,00	34,57	4992,37	0,099	14,264
Melo et al. (2013)	320,00	20,63	5975,00	0,064	18,672
Modes et al. (2020)	370,00	53,54	7579,41	0,145	20,485

Fonte: Autores (2022).

Na Tabela 4 é possível observar que o estudo de Terezo et al. (2015) apresentou maiores valores para as relações 1 e 2, sendo respectivamente 0,175 e 28,334. O menor valor para a relação 1 foi constatada no estudo de Melo et al. (2013), com 0,064 enquanto que para relação 2 no trabalho de Mascarenhas (2015), sendo 14,264. A Tabela 5 descreve as relações descritas acima para a espécie de sapucaia.

Tabela 5. Relação entre propriedades mecânicas e densidade aparente da espécie sapucaia.

Estudos	Propriedades			Relação	
	ρ_{ap} (Kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	$\frac{MOR}{\rho_{ap}}$	$\frac{MOE}{\rho_{ap}}$
Este estudo	1226,67	107,21	18282,01	0,087	14,904
LPF (2022)	840	111,89	14420	0,133	17,167

Fonte: Autores (2022).

Para a espécie sapucaia não foram encontradas referências que apresentavam as três propriedades (MOR, MOE e $\rho_{(ap)}$) no mesmo estudo, desta forma, para comparação foi utilizado apenas os dados disponíveis no Laboratório de Produtos Florestais-LFP (2022). Os valores obtidos nas relações 1 e 2 para esses estudos, foram inferiores aos encontrados na bibliografia, sendo respectivamente, 0,087 e 14,904. A Tabela 6 dispõe dos valores obtidos entre as relações mecânicas (MOR e MOE) e densidade aparente para a espécie tuturubá.

Tabela 6. Relação entre propriedades mecânicas e densidade aparente da espécie tuturubá.

Estudos	Propriedades			Relação	
	ρ_{ap}	MOR	MOE	$\frac{MOR}{\rho_{ap}}$	$\frac{MOE}{\rho_{ap}}$

	(Kg/m ³)	(MPa)	(MPa)		
Este estudo	912,17	106,02	15297,82	0,116	16,771
LPF (2022)	960	113,17	13530	0,118	14,094

Fonte: Autores (2022).

De forma semelhante a espécies de sapucaia, não foi encontrado nenhum estudo que apresenta as propriedades comparadas para a espécie tuturubá, assim sendo, apenas foi feito a comparação desse estudo com os dados dispostos no Laboratório de Produtos Florestais-LFP (2022). Para a relação 1 os dados obtidos nesse estudo foram inferiores ao obtido na referência, sendo respectivamente, 0,116 e 0,118. Porém, para a relação 2 o valor obtido nesse estudo foi maior do que o obtido na bibliografia, 16,771 e 14,094 respectivamente.

Com base na média dos estudos por espécie, para relação 1 o angelim-pedra apresentou o maior valor, seguido do paricá, tuturubá e sapucaia. Na relação 2, o tuturubá apresentou a menor relação, seguido do angelim pedra, sapucaia e paricá. Vale ressaltar que para o número de estudos encontrados por espécie foram diferentes, o que pode ter influenciado nos resultados. Desta forma, a espécie angelim pedra foi a mais vantajosa em relação as outras espécies.

4. Conclusões

O presente artigo, teve seu objetivo geral alcançado, tendo em vista que o teor de umidade, a densidade aparente, o MOR e o MOE foram devidamente determinados através dos ensaios realizados em conformidade com a metodologia da ABNT NBR 7190:2022. Em relação ao teor de umidade, as espécies sapucaia e angelim-pedra apresentaram, respectivamente, maiores valores possuindo suscetibilidade da biodeterioração gerada por fungos, seguida pelo tuturubá e paricá.

No que diz respeito a densidade aparente para angelim-pedra, sapucaia e tuturubá obteve-se, respectivamente, os valores de 1253,80 kg/m³, 1226,67 kg/m³ e 912,17 kg/m³ caracterizando-as como madeira de alta densidade, e para o paricá o valor de 247,24 kg/m³ sendo caracterizada como madeira de baixa densidade.

Quanto ao MOE e MOR a espécie angelim-pedra obteve os maiores resultados seguida por sapucaia, tuturubá e paricá. Diante disso, nesse estudo, notou-se que a ordem da resistência à flexão das espécies apresenta-se na mesma sequência da densidade aparente demonstrando uma relação direta entre essas duas propriedades.

Agradecimentos

Agradecemos a Mapri compensados pelo fornecimento da madeira da espécie paricá e ao programa institucional de bolsas de iniciação científica (PIBIC) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

Bibliografia

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022). NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022). 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.
- Alam, J., Das, A. K., Rahman, M. M., & Islam, M. A. (2015). Effect of waterlogged condition on wood properties of *Acacia nilotica* (L.) debile tree. *Bangladesh journal of scientific and industrial research*, 50(2), 71–76. [10.3329/bjsir.v50i2.24347](https://doi.org/10.3329/bjsir.v50i2.24347).
- Almeida, D. H., Scaliante, R. M., Macedo, L. B., Macêdo, A. N., Dias, A. A., Christoforo, A. L., & Calil Junior, C. (2013). Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) em peças de dimensões estruturais. *Revista Árvore*, 37(6), 1175–1181.
- Araújo, H. J. B. (2007). Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. *Floresta*, 37(3). [10.5380/arf.v37i3.9937](https://doi.org/10.5380/arf.v37i3.9937)
- Araújo, H. J. B. de. (2020). Caracterização do material madeira. Embrapa.br. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/210831/1/26971.pdf>
- Araújo, R. D. de. (2019). Avaliação do potencial de espécies manejadas na Amazônia para produção de painéis “EGP” (Edge Glued Panels) não estrutural. (Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM). <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/4994>
- Baraúna, E. E. P., Vieira, R. S., Monteiro, T. C., Arantes, M. D. C., Carvalho, D. M., & Lima, M. T. (2011). Tratamento térmico de madeira serrada do angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) com boro. *Journal of biotechnology and Biodiversity*, 2 (1), 30-36.

- Batista, D. C., Klitzke, R. J., & Rocha, M. P. D. (2015). Qualidade Da Secagem Convencional Conjunta Da Madeira De Clones De Três Espécies De *Eucalyptus* sp. *Ciência Florestal*, 25(3), 711-719. <https://doi.org/10.5902/1980509819621>
- Braz, R. L., Duarte, A. P. C., Oliveira, J. T. D. S., Motta, J. P., & Rosado, A. M. (2015). Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. *Floresta e Ambiente*, 22(1), 117-123. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.037913>
- Candaten, L., Rodrigues, E. F., Trevisan, R., Eloy, É., & Fontoura, M. R. (2018). Flexão estática e massa específica aparente da madeira de *Inga marginata* em diferentes condições de umidade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38. 10.4336/2018.pfb.38e201801671
- Cascola Cascorez Cola Madeira Alta força de colagem; Flexível; Pega Inicial. 2. Campo de Aplicação. (n.d.). <https://dm.henkel-dam.com/is/content/henkel/tds-br-cascola-cascorez-cola-madeira>.
- Cavalheiro, R. S., Almeida, D. H., Almeida, T. H., Araújo, V. A., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2016). Mechanical Properties of Paricá Wood Using Structural. *Jornal Internacional de Engenharia de Materiais*, 6 (2), 56-59. doi:10.5923/j.ijme.20160602.06.
- Chichignoud, M., D., Detienne, P., Parant, B., & Vantomme, P. (1990). Atlas de maderas tropicales de America Latina. Organización Internacional de las Maderas Tropicales/ Centre Technique Forestier Tropical. Nogent-sur-Mame, Yokohama.
- Climate-Data.org. (2022). Clima Açailândia: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Açailândia. <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/acailandia-29550/>
- Climate-Data.org. (2022). Clima Imperatriz: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Imperatriz. <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/imperatriz-29543/>
- Clima Imperatriz: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Imperatriz - Climate-Data.org. (n.d.). Pt.climate-Data.org. <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/imperatriz-29543/>
- Corassa, J. D. N., Tiesen, C. M. A., Dall'Oglío, O. T., & de Melo, R. R. (2019). Durabilidade natural de dez madeiras amazônicas sob condições de campo. *Nativa*, 7(6), 758-762. 10.31413/nativa.v7i6.7460
- Crisóstomo, M. C., Gouveia, F. N., & Costa, A. F. D. (2016). Relação entre o teor de umidade e a constante dielétrica de espécies de madeira da amazônia durante o processo de secagem. *Revista Árvore*, 40, 181-187. 10.1590/0100-67622016000100020
- Cruz, E. (2021). Germinação de sementes de espécies amazônicas: abiu-ucuubarana (*Pouteria oblanceolata* Pires). Embrapa Amazônia Oriental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Dias, J. M. S. (2015). Ligações estruturais com barras de aço coladas com epóxi em madeiras de alta densidade: influência dos defeitos da madeira e dos erros de produção na resistência mecânica (Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA). <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/19525>.
- Dias, J. M. S. (2018). Estrutura de Madeira. Salvador: 2B.
- Dittmann, R. L., Souza, J. T., Talgatti, M., Baldin, T., & Menezes, W. M. (2017). Métodos de empilhamento e qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia* após secagem ao ar livre. *Scientia Agraria Paranaensis*, 16(2), 260-264.10.1590/s0100-67622013000600019
- Duarte, B. B., Lahr, F. A. R., Curvelo, A. A. S., & Christoforo, A. L. (2020). Influence of Physical and Chemical Components on the Physical-Mechanical Properties of Ten Brazilian Wood Species. *Materials Research*; 23(2).10.1590/1980-5373-MR-2019-0325.
- Fonte, A. P. N., & Trianoski, R. (2015). Efeito da gramatura sobre a qualidade de colagem lateral da madeira de *Tectona grandis*. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 14(3), 224-233. 10.5965/223811711432015224
- Fortes, M. M. (2018). Efeito Da Umidade E Da Acústica Na Torrefação De Madeiras De *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* e *Dinizia excelsa*. (Dissertação Mestrado em Ciência em Ciências Florestais Universidade Brasília, Brasília, DF). https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/32143/1/2018_MylaMedeirosFortes.pdf
- Gallio, E., Santini, E. J., Gatto, D. A., Souza, J. T., Ravasi, R., Menezes, W. M., Floss, P. A., & Beltrame, R. (2016). Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. *Scientia Agraria Paranaensis*, 15(3), 244-250. 10.18188/sap.v15i3.13557
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). (2013). Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil. São Paulo.
- Iwakiri, S., Trianski, R., Fonte, A. P. N., França, M. C., Lau, P. C., & Molheken, R. (2016). Potencial de uso de madeiras de *Dinizia excelsa* Ducke e *Protium punctulatum* J.F.Macbr para produção de painéis EGP. *Scientia Forestalis*, 44 (111), 709-717. 10.18671/scifor.v44n111.17
- Laboratório de Produtos Florestais - LPF. (2022). Tuturubá. https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=203
- Lima, P. A. F., Demarchi, J., da Silva, M. F., de Moraes, M. D. A., Caldas, D. J., & Júnior, C. R. S. (2019). Qualidade da madeira de eucalipto para aplicação como mourão tratado. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2), 509-519.
- Lima, T. F. P., Almeida, T. H. D., Almeida, D. H. D., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2018). Propriedades físicas e mecânicas da madeira Tatajuba (*Bagassa guianensis*) proveniente de duas diferentes regiões brasileiras. *Matéria* (Rio de Janeiro), 23.
- Mascarenhas, A. R. P. (2015). Indicadores de qualidade ambiental e caracterização tecnológica da madeira em sistema agroflorestal multiestratificado. (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO). Recuperado de <http://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/859>

- Melo, R. R., Menezzi, C. H. S., Souza, M. R., & Stangerlin, D. M. (2013). Avaliação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície de lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). *Floresta e Ambiente*, 20(2), 238-249. doi:10.4322/foram.2013.004
- Mendoza, Z. M. dos S. H. de., Borges, P. H. de M., Ribeiro, A. dos S., & Fernandes, F. B. (2017). Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. *Multitemas*, 22(51). 10.20435/multi.v22i51.1412
- Modes, K. S., Bortoletto Júnior, G., Vivian, M. A., & Santos, L. M. H. (2020). Propriedades físico-mecânicas da madeira sólida de *Schizolobium amazonicum*. *Advances in Forestry Science*, 7(2), 989-995.10.34062/afs.v7i2.9687
- Moraes Neto, S. P., Teles, R. F., & Rodrigues, T. O. (2009). Caracterização da Madeira de cinco Procedências de *Pinus tecunumanii* implantadas no Cerrado do DF. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento (embrapa cerrados), Planaltina-DF*.
- Moritani, F. Y. (2018). Proposta de classes de resistência para peças estruturais de madeira: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda* e *Schizolobium amazonicum* (Paricá). (Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP).10.11606/D.18.2018.tde-28082018-110456
- Nascimento, C. C., Garcia, J. N., & Diáz, M. P. (1994). Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. *Madera y Bosques*, 3(1).10.21829/myb.1997.311378
- Neves, J. M. C. (2018). Ampliação de edifícios antigos em altura-Solução estrutural em madeira. (Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, Porto). <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/113220/2/274528.pdf>.
- Paiva Filho, J. C. D., Almeida, L. A., Castro, V. G. D., & Diodato, M. A. (2018). Diagnóstico do uso da madeira como material de construção no município de Mossoró-RN/Brasil. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23.
- Palacio, A. A. R. (2021). Produtividade e estado nutricional em plantações de eucalipto em função de variáveis edafoclimáticas (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Paula, M. H. (2016). Efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) E sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess). (Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/19987>
- Ribeiro, E. S. (2017). Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso. (Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/23291>
- Ribeiro, R. M. (2022). Resíduo do desdobro de madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke para produção de briquetes. *Revista Virtual de Química*, 14(1).
- Rodrigues, E., Roballo, E. A., Saturnino, K., Scain, L., & Rosso, S. (2018). Avaliação da massa específica de *Cedrella fissilis* em comparativo com demais espécies nativas. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 10(2).
- Rosa, T. O., Terezo, R. F., Mascia, N. T., & Righez, J. L. B. (2019). Madeira laminada colada de paricá reforçada com fibras sintéticas. *Floresta*, 49 (3), 459-468.
- Sapucaia (*Lecythis pisonis*). (n.d.). ITTO. <http://www.tropicaltimber.info/pt-br/specie/sapucaia-lecythis-pisonis>
- Segundinho, P. G. D. A., Regazzi, A. J., Poletti, F. S., Paula, M. O. D., Mendonça, A. R. D., & Gonçalves, F. G. (2018). Variação dos módulos de elasticidade e ruptura em madeira de cedro-australiano por meio de ensaios não destrutivo e destrutivo. *Ciência florestal*, 28, 1163-1178.
- Silva, V. P. S., Matos, D. F., Lima, T. J., Moreira, W. M., & Dias, J.M.S. (2019). Análise do teor de umidade de madeiras comercializadas na cidade de Açailândia – MA. III Semana de Engenharia Civil – SEC Marabá-PA.
- Silva, T. R. G.da., da Costa, M. L. A., Farias, L. R. A., Santos, M. A. dos., Lima Rocha, J. J. de., & Silva, J. V. (2021). Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. *Research, Society and Development*, 10(4), e19710413817-e19710413817. 10.33448/rsd-v10i4.13817
- Souto, L. G., da Silva Bueno, L., & de Deus, P. (2016). Técnicas construtivas utilizando madeira e sua evolução histórica. *IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação*, 62-76.
- Souza, A. P., Stangerlin, D. M., de Melo, R. R., & Uliana, E. M. (2016). Sazonalidade da umidade de equilíbrio da madeira para o Estado de Mato Grosso. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(88), 423-433.
- Teixeira, D. E., Cunha, L. E., Wimmer, P., & de Andrade, A. (2019). Resistência à abrasão, dureza Janka e a correlação com outras propriedades em 14 espécies de madeiras tropicais brasileiras com potencial para utilização em pisos de madeira. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 10(2), 135-141.
- Teixeira, J. N. (2021). Propriedades físicas e mecânicas da madeira de angelim SP obtidas de árvores provenientes de regiões distintas do país. (Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São carlos, SP). <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/14402>.
- Terezo, R. F., Szücs, C. A., Valle, Â., Sampaio, C. A. P., & Stüpp, Â. M. (2015). Propriedades da madeira de paricá em diferentes idades para uso estrutural. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 6(3), 244-253. 10.12953/2177-6830/rcm.v6n3p244-253.
- Tramontina, J., Tomasi, J., Tres, J., Chechi, L., & Denardi, L. (2013). Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade da espécie *Ateleia glazioviana* Baill. *Enciclopédia Biosfera*, 9(16), 1833-1839.
- Vidaurre, G. B., Vital, B. R., Oliveira, A. C., Oliveira, J. T. S., Moulin, J. C., Silva, J. G. M., & Soranso, D. R. (2018). Physical and mechanical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. *Revista Árvore*, 42(1), 1-9.10.1590/1806-90882018000100001