





## Influência do teor de umidade em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Dipteryx odorata*

### Influence of moisture content on physical and mechanical properties of *Dipteryx odorata* wood

Iuri Fazolin Fraga<sup>1</sup>, Felipe Nascimento Arroyo<sup>1</sup> , Larissa Soriani Zanini Ribeiro Soares<sup>1</sup>,  
Vinicius Borges de Moura Aquino<sup>2</sup> , Heloiza Candeia Ruthes<sup>1</sup> ,  
André Luis Christoforo<sup>1</sup> , Francisco Antonio Rocco Lahr<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil. Rodovia Washington Luiz, s/n, 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Sul e Sudeste do Pará, Departamento de Engenharia Civil. Rua Geraldo Ramalho, s/n, 68560-000, Santana do Araguaia, PA, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas. Avenida Trabalhador São Carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil.

e-mail: iurifraga@outlook.com, lipe.arroyo@gmail.com, larissazanini@iftm.edu.br, aquino.vini@hotmail.com, heloruthes@gmail.com, christoforoal@yahoo.com.br, frocco@sc.usp.br

#### RESUMO

O Brasil possui um vasto território florestal que privilegia a disseminação de inúmeras espécies arbóreas. Para que uma espécie de madeira seja utilizada em um sistema estrutural, são necessárias uma série de caracterizações de suas propriedades físico-mecânicas. Neste contexto, uma das variáveis a ser estudada é o teor de umidade, cuja variabilidade pode interferir de forma significativa em suas propriedades. A norma brasileira vigente estabelece modelos de correção das resistências e rigidezes para a umidade de equilíbrio, admitindo um aumento linear inversamente proporcional ao teor de umidade. Todavia, em algumas espécies, este fenômeno pode não ocorrer, conduzindo a valores constantes ou mesmo menores. Portanto, esta pesquisa objetivou, com o auxílio da análise de variância, investigar a influência da variação do teor de umidade (de 12% ao ponto de saturação das fibras) em doze propriedades mecânicas da espécie *Dipteryx odorata*. Dentre tais, quatro não apresentaram variações significativas entre a umidade de 12% e o ponto de saturação, concluindo que a formulação normativa não abrange todas as propriedades, para todas as espécies. Ademais, verificou-se que os modelos de correção da norma conduzem a valores de resistência superiores àqueles obtidos experimentalmente, subestimando as estruturas e desfavorecendo a segurança.

**Palavras-chave:** Madeira tropical; Umidade de equilíbrio; Saturação das fibras; Correção da umidade.

#### ABSTRACT

Brazil has a large forest territory that favors the incidence of numerous tree species. For a wood species to be used in a structural system, a series of characterizations of its physical-mechanical properties are necessary. In this context, one of the variables to be studied is the moisture content, whose variability can significantly interfere with its properties. The current Brazilian standard establishes models for correcting strength and stiffness for equilibrium moisture, admitting a linear increase inversely proportional to the moisture content. However, in some species, this phenomenon may not occur, leading to constant or even smaller values. Therefore, this research aimed, with the aid of analysis of variance, to investigate the influence of variation in moisture content (from 12% to fiber saturation point) on twelve mechanical properties of the species *Dipteryx odorata*. Among these, four did not show significant variations between 12% moisture and saturation point, concluding that the standard formulation does not cover all properties for all species. Furthermore, it was found that the standard correction models lead to strength values higher than those obtained experimentally, underestimating the structures and disfavoring safety.

**Keywords:** Tropical wood; Equilibrium moisture; Fiber saturation; Moisture correction.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira, um material proveniente de fonte natural e renovável, é manipulada pelo homem desde a Antiguidade. Atualmente, ela tem sido amplamente utilizada na construção civil ao redor do mundo, seja na forma de sistemas estruturais, ou de outros subsistemas. São nos países do Hemisfério Norte que seu emprego é mais notado, sobretudo nas residências unifamiliares construídas através do sistema *wood frame* [1–3].

Assim como todo material de emprego estrutural, a madeira apresenta vantagens, dentre elas: excelentes propriedades mecânicas [4] e uma reduzida relação entre resistência e densidade [5,6], tornando as edificações relativamente mais leves, quando comparadas aos sistemas convencionais. Por tais motivos, nos últimos anos, têm-se observado significativos avanços nos produtos derivados da madeira, sobretudo provenientes de florestas plantadas, despertando a atenção de consumidores interessados em produtos que sejam ecologicamente corretos e que promovam a racionalização da construção [7].

Outra vantagem a se destacar é a possibilidade da utilização de diferentes espécies em seu processamento. Sabe-se que o Brasil é atualmente um dos maiores detentores de potencial florestal do mundo, com uma diversidade arbórea estimada em mais de 15000 espécies somente na Amazônia [8–10]. Uma dessas espécies nativas é a *Dipteryx odorata*, conhecida popularmente como Champanhe. As *Dipteryx odorata* fazem parte do grupo das folhosas e são bastante densas ( $950\text{--}1000\text{ kg/m}^3$ ), duras e altamente duráveis quando expostas à luz solar [11]. São frequentemente encontradas nos estados ou países que abrigam a Floresta Amazônica [12,13].

Para que uma espécie de madeira seja utilizada estruturalmente, é necessária uma série de caracterizações de suas propriedades físicas e mecânicas a fim de se estudar seu comportamento frente às solicitações, bem como estabelecer padronizações de valores, como classes de resistência e rigidez. Dessa forma, propicia-se um melhor direcionamento de seu emprego na construção civil [14,15]. A caracterização de espécies de madeira é uma temática frequentemente estudada pelos cientistas, cujos estudos englobam avaliação e determinação das propriedades físicas e mecânicas de novas espécies [12–14,16,17], estimativas de resistência e rigidez por intermédio de metodologias não convencionais [15,18] e estudo das propriedades de algumas espécies de madeira para o uso específico em produtos industrializados [19].

Uma das variáveis a ser estudada durante o processo de caracterização é a porcentagem do teor de umidade presente na madeira, haja vista que esta condição pode interferir de forma significativa nas condições físicas e mecânicas do material [20]. No Brasil, os projetos de estruturas de madeira e rotinas experimentais devem atender aos parâmetros da norma ABNT NBR 7190 [21]. Esta, por sua vez, apresenta alguns modelos de correção das propriedades de resistência e de rigidez da madeira para a umidade de equilíbrio. Para tal, considera-se aumento de variação linear das propriedades de resistência e rigidez à medida em que há um decréscimo no teor de umidade [21].

Diante do exposto, além dos estudos de caracterização, diversos pesquisadores se dedicam em avaliar a influência que o teor de umidade exerce sobre as propriedades de diferentes espécies de madeira. LAHR *et al.* [22] investigaram a influência do teor de umidade em 15 propriedades físicas e mecânicas da madeira de Jatobá extraídas de diferentes regiões da Amazônia. Os autores observaram divergência significativa em oito das 15 propriedades avaliadas, sendo que a umidade de 12% apresentou valores médios superiores à condição saturada nas propriedades de resistência na compressão paralela (37%), resistência na tração paralela (29%) e cisalhamento (36%) na direção paralela às fibras; módulo de resistência na flexão (26%), módulo de elasticidade na compressão paralela (9%) e 200 direções paralelas (35%) e normal (28%) às fibras; e inferior na densidade aparente [22].

GÜNTEKIN e AKAR [23] estudaram a influência do teor de umidade nas propriedades físicas e mecânicas ortotrópicas da madeira de pinho preto. Os autores observaram que tanto o módulo de Young quanto a resistência à compressão das amostras testadas foram fortemente afetados pelo teor de umidade. As propriedades citadas diminuem linearmente com o aumento do teor de umidade [23].

SALA *et al.* [24] avaliaram a influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas básicas (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) de compósitos à base de madeira. O aumento do teor de umidade em diferentes tipos de painéis à base de madeira resultou em uma leve redução do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade [24].

SOARES *et al.* [25] observaram que nem sempre elevações no teor de umidade provocam reduções significativas nas propriedades mecânicas da madeira. Estudando a espécie de *Cedrelinga catenaeformis*, os autores observaram que a tenacidade aumentou cerca de 59% na condição saturada. Ademais, a maioria das propriedades avaliadas não apresentou variações significativas, contrapondo a previsão normativa [25].

RUTHES *et al.* [26] obtiveram conclusão semelhante à de SOARES *et al.* [25]. Das propriedades mecânicas avaliadas da espécie *Vatairea sp.*, a maioria também não apresentou variações significativas. Além disso,

os erros mais significativos obtidos nas estimativas foram para propriedades que foram significativamente influenciadas pelo teor de umidade [26].

Analisando os trabalhos citados anteriormente [22–26] e sabendo que o documento normativo vigente [21] foi desenvolvido baseado em um número limitado de espécies, é evidente a necessidade de verificação da precisão dos modelos de correção das propriedades físicas e mecânicas frente a variação do teor de umidade. Considerando que a madeira é um material natural, heterogêneo e anisotrópico, os modelos de correção propostos pela ABNT NBR 7190 [21] tornam-se muito genéricos mediante as várias propriedades do material. Outro fenômeno que pode ser observado é a inversão da previsão, isto é, ao invés de conferir maiores valores com a redução do teor de umidade, há uma redução de certas propriedades, seja de resistência, rigidez ou tenacidade. Todos os fatores mencionados podem conduzir a um projeto subestimado, desfavorecendo a segurança estrutural.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência da variação do teor de umidade (do ponto de saturação das fibras à umidade de equilíbrio de 12%) em doze propriedades mecânicas da madeira de *Dipteryx odorata*, dada a ausência de trabalhos na literatura que fazem análises semelhantes com a referida espécie. Para a obtenção dos resultados, foi utilizada análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância e teste de Anderson-Darling com a finalidade de atestar a normalidade da distribuição. Paralelamente, objetiva-se também confirmar a adequação das equações de correção prescritas pela ABNT NBR 7190 [21] que corrigem, para 12% do teor de umidade, os valores das propriedades físicas e mecânicas obtidos nos ensaios experimentais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A rotina experimental de caracterização das propriedades físicas e mecânicas das amostras de madeira foi desenvolvida no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo (USP).

As peças de madeira ensaiadas foram todas da espécie *Dipteryx odorata* (Champanhe), extraída da região sul do estado de Roraima (Brasil) e fornecida na condição verde e também seca ao ar por empresa do ramo madeireiro localizada na região da cidade de São Carlos (Brasil, SP). Ressalta-se que as dimensões nominais das peças ensaiadas foram de  $6 \times 16 \times 330$  cm, totalizando um lote homogêneo de aproximadamente  $1,0$  m<sup>3</sup>.

Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades físicas e mecânicas, determinadas segundo prescrições e métodos da norma brasileira ABNT NBR 7190 [21] “Projeto de estruturas de madeira”. Para tal, dispôs-se de 12 corpos de prova para a realização de cada tipo de ensaio [21] e para cada teor de umidade (12% e do ponto de saturação das fibras), resultando em 372 determinações.

**Tabela 1:** Propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

SIGLA	SIGNIFICADO
$\rho_{12}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade aparente
$\rho_{FSP}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade do ponto de saturação das fibras
$\varepsilon_{rt}$ (%)	Retração radial total
$\varepsilon_t$ (%)	Retração tangencial total
$f_{c0}$ (MPa)	Resistência à compressão paralela às fibras
$f_{t0}$ (MPa)	Resistência à tração paralela às fibras
$f_{t90}$ (MPa)	Resistência à tração perpendicular às fibras
$f_{v0}$ (MPa)	Resistência ao cisalhamento na direção paralela às fibras
$f_{s0}$ (MPa)	Resistência ao fendilhamento paralelo às fibras
$f_{tm}$ (MPa)	Resistência convencional no ensaio de flexão estática
$E_{c0}$ (MPa)	Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras
$E_{t0}$ (MPa)	Módulo de elasticidade na tração paralela às fibras
$E_{tm}$ (MPa)	Módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática
$f_{h0}$ (MPa)	Dureza paralela às fibras
$f_{h90}$ (MPa)	Dureza perpendicular às fibras
$W$ (daN·m)	Tenacidade

De posse do teor de umidade das amostras próximas de 12%, os valores de resistência ( $f$ ) e rigidez ( $E$ ) foram corrigidos para o teor de umidade de 12% ( $f_{12}$ ;  $E_{12}$ ) com o auxílio das Equações 1 e 2 [21], em que  $f_U$  e  $E_U$  correspondem, respectivamente, à resistência e ao módulo de elasticidade das amostras associadas ao teor de umidade  $U$ . Insta salientar que o uso de tais expressões é recomendado para teores de umidade entre 12% e 20%.

$$f_{12} = f_U \cdot \left[ 1 + \frac{3 \cdot (U - 12)}{100} \right] \quad (1)$$

$$E_{12} = E_U \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot (U - 12)}{100} \right] \quad (2)$$

Conhecidos os valores das propriedades de resistência e de rigidez nos teores de umidade associados ao ponto de saturação das fibras e também próximos à umidade de equilíbrio ( $\approx 12\%$ ), as Equações 1 e 2 foram também utilizadas na tentativa de se estimar tais propriedades para 12% de umidade partindo-se do teor de umidade do ponto de saturação das fibras, determinado experimentalmente.

Com base nos valores corrigidos (próximos de 12% para exatamente 12%) da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,12}$ ), a Equação 3 [21] foi utilizada para a determinação do valor característico ( $f_{c0,k}$ ) e posterior categorização da madeira em uma das classes de resistência do grupo das folhosas (C20; C30; C40; C60), em que  $f_1, f_2$  à  $f_n$  denotam os valores da resistência à compressão ( $f_{c0,12}$ ) em ordem crescente dos “ $n$ ” corpos de prova testados ( $n = 12$ , por espécie de madeira avaliada).

$$f_{c0,k} \geq \begin{cases} f_1 \\ 0,70 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} \\ 1,10 \cdot \left[ 2 \cdot \left( \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} \right) - f_{\frac{n}{2}} \right] \end{cases} \quad (3)$$

A análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância, foi utilizada para verificar a influência da variação do teor de umidade (de 12% à umidade associada ao ponto de saturação das fibras) nas propriedades investigadas. Da ANOVA, valor-p (probabilidade p) inferior ao nível de significância implica na diferença significativa das médias de uma determinada propriedade causada pela variação do teor de umidade, e não significância em caso contrário.

O teste de Anderson-Darling (também avaliado ao nível de 5% de significância) foi utilizado para verificar a normalidade na distribuição dos resíduos e igualdade das variâncias. Valor-p igual ou superior ao nível de significância implica no atendimento dos dois requisitos, o que valida o modelo da ANOVA.

### 3. RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das propriedades avaliadas da espécie *Dipteryx odorata* (Champagne) relacionados aos teores de umidade de 12% (valores corrigidos) e também do ponto de saturação das fibras (FSP), além do coeficiente de variação (CV). Insta mencionar que os valores médios dos teores de umidade obtidos no ponto de saturação das fibras, assim como daqueles próximos à umidade de equilíbrio de 12% [21], foram iguais a 19,39% e 12,47%, respectivamente.

Na Tabela 2 também são apresentados os valores das razões entre as propriedades obtidas para o teor de umidade corrigido para 12% e do ponto de saturação das fibras (12%/FSP), bem como os resultados da ANOVA e do teste de Anderson-Darling (A-D), ambos com 5% de significância.

Paralelamente aos valores apresentados na Tabela 2, têm-se, na Tabela 3, os erros das Equações 1 e 2, calculados a partir dos valores médios estimados das propriedades de resistência e rigidez, sendo estes últimos determinados conforme as referidas equações.

**Tabela 2:** Resultados das propriedades físicas e mecânicas das madeiras da espécie *Dipteryx odorata*.

PROPRIEDADE	MC – 12%		MC – FSP		VALOR-P ANOVA	VALOR-P A-D	12%/FSP
	$\bar{x}$	CV (%)	$\bar{x}$	CV (%)			
$\rho_{12}$ ( $g/cm^3$ )	1,11	9,11	1,25	7,31	0,002	0,067	0,89
$\varepsilon_{rt}$ (%)	3,98	18,15	–	–	–	–	–
$\varepsilon_{ut}$ (%)	6,45	17,15	–	–	–	–	–
$f_{c0}$ (MPa)	94,52	9,16	78,85	8,55	0,000	0,490	1,20
$f_{t0}$ (MPa)	122,57	19,90	112,85	20,51	0,328	0,519	1,09
$f_{t90}$ (MPa)	2,88	18,96	5,43	11,55	0,000	0,276	0,53
$f_{v0}$ (MPa)	18,13	18,93	17,69	12,98	0,714	0,751	1,03
$f_{s0}$ (MPa)	0,77	17,06	1,02	15,92	0,000	0,154	0,76
$f_{tm}$ (MPa)	167,93	17,59	148,67	13,00	0,072	0,713	1,13
$E_{c0}$ (MPa)	23307,06	11,72	20081,50	13,12	0,008	0,096	1,16
$E_{t0}$ (MPa)	22978,04	6,06	20330,67	11,44	0,003	0,739	1,13
$E_{tm}$ (MPa)	23562,95	12,79	19739,14	8,70	0,001	0,128	1,19
$f_{h0}$ (MPa)	139,83	11,02	120,97	9,81	0,003	0,398	1,16
$f_{h90}$ (MPa)	129,60	17,36	109,65	10,56	0,012	0,464	1,18
$W$ (daN·m)	2,34	25,55	2,33	16,46	0,952	0,088	1,01

**Tabela 3:** Resultados da estimativa dos valores médios da resistência e da rigidez.

PROPRIEDADES	EXPERIMENTAL	ESTIMADOS	DIFERENÇA EXPER. – EST.	ERRO (%)
$f_{c0}$ (MPa)	94,52	96,33	-1,81	1,92
$f_{t0}$ (MPa)	122,57	137,88	-15,31	12,49
$f_{t90}$ (MPa)	2,88	6,64	-3,76	130,37
$f_{v0}$ (MPa)	18,13	21,61	-3,48	19,19
$f_{s0}$ (MPa)	0,77	1,25	-0,47	61,11
$f_{tm}$ (MPa)	167,93	181,64	-13,71	8,16
$E_{c0}$ (MPa)	23307,06	23050,26	256,80	1,10
$E_{t0}$ (MPa)	22978,04	23336,27	-358,22	1,56
$E_{tm}$ (MPa)	23562,95	22657,29	905,66	3,84

#### 4. DISCUSSÃO

Dispondo da Equação 3, o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}$ ) foi quantificado em 82,35 MPa. Portanto, a espécie estudada se enquadra na classe C60, grupo das Folhosas ( $f_{c0,k} \geq 60$  MPa), conforme demonstrado por DE ALMEIDA *et al.* [12].

Pela Tabela 2, observa-se que dentre as doze propriedades mecânicas avaliadas, nove resultaram em coeficientes de variação (CV) inferiores quando o teor de umidade era igual ao ponto de saturação das fibras (FSP). KRETSCHMANN [20], BODIG e JAYNE [27], apontam que a resistência da madeira diminui com o aumento do teor de umidade, até o ponto de saturação das fibras. Segundo os autores, a partir deste ponto não há mais diminuição nos valores, permanecendo constantes. Dessa forma, justifica-se a redução dos coeficientes de variação a partir do ponto de saturação das fibras. No que se refere ao teste de Anderson-Darling, a ANOVA utilizada foi válida em todas as propriedades de resistência e rigidez investigadas.

Ainda analisando a Tabela 2, de acordo com os resultados da ANOVA, nota-se que das seis propriedades de resistência investigadas, apenas três ( $f_{c0}$ ,  $f_{t90}$ ,  $f_{s0}$ ) foram afetadas de forma significativa pela variação no teor de umidade, haja vista que configuram valores-p inferiores a 5% (0,05). Esses resultados revelam certa semelhança com aqueles encontrados por SOARES *et al.* [25] e RUTHES *et al.* [26]. O valor da resistência à compressão na direção paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) a 12% de umidade foi 20% superior ao valor desta mesma propriedade na condição saturada (19,39%). Quanto aos outros dois valores afetados ( $f_{t90}$ ,  $f_{s0}$ ), os resultados na umidade de 12% reduziram,



respectivamente, em 47% e 24%, quando comparados aos resultados na condição saturada (19,39%). Este efeito é contrário ao estabelecido na Equação 1, cuja previsão é de um aumento progressivo nas propriedades de resistência em função da redução do teor de umidade. Portanto, fica evidente a necessidade de uma equação específica de correção em função da propriedade analisada. Outro fator que justifica uma análise sistêmica da Equação 1 são os erros contidos na Tabela 3, especialmente para estas duas propriedades ( $f_{90}$ ,  $f_{s0}$ ), cujos valores estão na ordem de 130% e 61%, respectivamente, evidenciando uma discrepância. Os valores das demais propriedades de resistência ( $f_{10}$ ,  $f_{30}$ ,  $f_m$ ) não foram afetados pela variação no teor de umidade, ou seja, para estas três propriedades, os valores podem ser considerados constantes ou independentes do teor de umidade associado, resultado este que também difere do modelo de variação linear proposto pela Equação 1.

Já com as três propriedades de rigidez avaliadas, todas ( $E_{c0}$ ,  $E_{t0}$ ,  $E_{tm}$ ) foram afetadas de forma significativa pela variação do teor de umidade, haja vista que apresentam valores-p inferiores a 5% (0,05). Para a condição de 12% de umidade, os valores médios das rigidezes ( $E_{c0}$ ,  $E_{t0}$ ,  $E_{tm}$ ) foram, respectivamente, 16%; 13%; e 19% superiores aos valores destas propriedades para a madeira na condição saturada com teor de umidade de 19,39%, valores estes coerentes com o previsto pela Equação 2. Analisando a Tabela 3, nota-se que os erros são da ordem de 1% a 4% para os três módulos de elasticidade, demonstrando uma eficácia da Equação 2 para estas três propriedades. Ademais, observa-se também, pela Tabela 3, que tanto o módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras ( $E_{c0}$ ), quanto o módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática ( $E_{tm}$ ) sofreram reduções em relação aos resultados experimentais, favorecendo a segurança.

Com relação às outras quatro propriedades analisadas ( $\rho$ ,  $f_{h0}$ ,  $f_{h90}$  e  $W$ ), diferente de SOARES *et al.* [25], apenas a tenacidade ( $W$ ) não foi significativamente afetada pelas variações no teor de umidade, havendo uma diferença ínfima entre os resultados na umidade de 12% e àqueles na condição saturada de 19,39%. As demais propriedades ( $\rho$ ,  $f_{h0}$ ,  $f_{h90}$ ) foram significativamente afetadas, com uma redução de 11% na densidade aparente ( $\rho$ ); aumento de 16% na dureza paralela às fibras ( $f_{h0}$ ) e aumento de 18% na dureza perpendicular às fibras ( $f_{h90}$ ), todas em relação à condição de 12% de umidade.

Pela Tabela 3, se as expressões da norma brasileira [21] forem utilizadas para teores de umidade próximos a 20%, ressaltando que estas expressões são consideradas para teores de umidade que variam entre 10% e 20%, ainda sim espera-se resistências estimadas significativamente superiores aos valores experimentais, chamando a atenção para o desenvolvimento de novas pesquisas na temática.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou avaliar a influência do teor de umidade nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Dipteryx odorata* (Champanhe). Mediante experimentação e tratamento dos dados com análise de variância, pontua-se as seguintes considerações:

- Dentre as seis propriedades de resistência avaliadas, três não foram afetadas de forma significativa pela variação no teor de umidade. Das que sofreram expressivas modificações, duas tiveram seu valor reduzido com a diminuição no teor de umidade, contrapondo a previsão normativa.
- Dentre as três propriedades de rigidez, todas foram afetadas significativamente pela variação no teor de umidade. Para estas propriedades da espécie estudada, a equação normativa não apresentou imprecisões, haja vista que os erros não ultrapassaram a ordem de 4%.
- Todas as propriedades de resistência estimadas pelas equações normativas apresentaram valores superiores aos determinados experimentalmente.

Mediante as considerações apontadas, fica evidente que a norma brasileira subestima as estruturas de madeira para algumas espécies, desfavorecendo a segurança. Diante do exposto, pesquisas envolvendo outras espécies são essenciais para se chegar a conclusões mais precisas quanto aos efeitos da variação do teor de umidade. Uma forma de solucionar os problemas decorrentes do não favorecimento da segurança em projetos estruturais seria a definição de grupos de espécies que apresentam comportamento semelhante, atribuindo-lhes conversões de propriedades individuais, a fim de minimizar os efeitos da generalização das equações normativas.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] DE ARAUJO, V.A., CORTEZ-BARBOSA, J., GAVA, M., *et al.*, "Classification of wooden housing building systems", *BioResources*, v. 11, n. 3, pp. 7889–7901, 2016. doi: <http://doi.org/10.15376/biores.11.3.DeAraujo>.
- [2] KIRKHAM, W.J., GUPTA, R., MILLER, T.H., "State of the art: seismic behavior of wood-frame residential structures", *Journal of Structural Engineering*, v. 140, n. 4, pp. 04013097, 2014. doi: [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000861](http://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000861).

- [3] PAN, Y., VENTURA, C.E., FINN, W.D.L., *et al.*, “Effects of ground motion duration on the seismic damage to and collapse capacity of a mid-rise woodframe building”, *Engineering Structures*, v. 197, n. 109451, pp. 109451, 2019. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109451>.
- [4] CHRISTOFORO, A.L., ALMEIDA, D.H., VARANDA, L.D., *et al.* “Estimation of wood toughness in Brazilian tropical tree species”, *Engenharia Agrícola*, v. 40, n. 2, pp. 232–237, 2020. doi: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n2p232-237/2020>.
- [5] CALIL JUNIOR, C., DIAS, A.A., “Use of timber in rural construction”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 1, n. 1, pp. 71–77, 1997. doi: <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v1n1p71-77>.
- [6] RAMAGE, M.H., BURRIDGE, H., BUSSE-WICHER, M., *et al.*, “The wood from the tress: The use of timber in construction”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 68, pp. 333–359, 2017. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>.
- [7] CALIL NETO, C., CHRISTOFORO, A.L., RIBEIRO FILHO, S.L.M., *et al.*, “Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada”, *Ciência Florestal*, v. 24, n. 4, pp. 989–996, 2014. doi: <http://doi.org/10.5902/1980509816612>.
- [8] SOUSA-BAENA, M.S., GARCIA, L.C., PETERSON, A.T., “Completeness of digital accessible knowledge of the plants of Brazil and priorities for survey and inventory”, *Diversity & Distributions*, v. 20, n. 4, pp. 369–381, 2013. doi: <http://doi.org/10.1111/ddi.12136>.
- [9] TER STEEGE, H., VAESSEN, R.W., CÁRDENAS-LÓPEZ, D., *et al.*, “The discovery of the Amazonian tree flora with an update checklist of all known tree taxa”, *Scientific Reports*, v. 6, pp. 29549, 2016. doi: <http://doi.org/10.1038/srep29549>. PubMed PMID: 27406027.
- [10] TER STEEGE, H., PRADO, P.I., LIMA, R.A.F., *et al.*, “Biased-corrected richness estimates for the Amazonian tree flora”, *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, pp. 10130, 2020. doi: <http://doi.org/10.1038/s41598-020-66686-3>. PubMed PMID: 32576943.
- [11] LOUREIRO, A.A., DE FREITAS, J.A., RAMOS, K.B.L., *et al.* *Essências madeireiras da Amazônia*, 4 ed., Manaus, Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazônia (INPA), 2000.
- [12] DE ALMEIDA, D. H., CHAHUD, E., FERRO, F. S., *et al.* “Physical and Mechanical Properties of *Dipteryx odorata* (Aublet) Willd”, *Advanced Materials Research*, v. 1025–1026, pp. 46–49, 2014. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.46>.
- [13] ARAÚJO, S.O., VITAL, B.R., OLIVEIRA, B., *et al.*, “Physical and mechanical properties of heat treated wood from *Aspidosperma populifolium*, *Dipteryx odorata* and *Mimosa scabrella*”, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, v. 18, n. 1, pp. 143–156, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-221x2016005000015>.
- [14] LIMA, T.F.P., DE ALMEIDA, T.H., DE ALMEIDA, D.H., *et al.*, “Physical and mechanical properties of Tatajuba wood specie (*Bagassa guianensis*) from two different Brazilian regions”, *Revista Matéria*, v. 23, n. 3, pp. e12185, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0519>.
- [15] SOARES, L.S.Z.R., SILVA, D.A.L., PANZERA, T.H., *et al.*, “Estimation of properties of Mandioqueira wood by natural frequency of vibration and apparent density”, *Revista Matéria*, v. 26, n. 3, pp. e13051, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13051>.
- [16] SCHULZ, H.R., GALLIO, E., ACOSTA, A.P., *et al.*, “Evaluation of physical properties of six fore wood species”, *Revista Matéria*, v. 25, n. 3, pp. e12795, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1095>.
- [17] SCHULZ, H.R., ACOSTA, A.P., GALLIO, E., *et al.*, “Evaluation of thermochemical and physicomechanical properties of three fast growing forest species”, *Revista Matéria*, v. 25, n. 3, pp. e12818, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1118>.
- [18] WOLENSKI, A.R.V., PEIXOTO, R.G., CHRISTOFORO, A.L., *et al.*, “Estimation of the characteristic tensile strength of the wood in the parallel direction to the grains through of probability models”, *Revista Matéria*, v. 24, n. 4, pp. e12531, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620190004.0856>.
- [19] SEGUNDINHO, P.G.A., OLIVEIRA, R.G.E., GONÇALVES, F.G., *et al.*, “Evaluation of wood from the hybrid *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* to be used in glued laminated timber”, *Revista Matéria*, v. 26, n. 3, pp. e13030, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13030>.
- [20] KRETSCHMANN, D.E., “The influence of juvenile wood content on shear parallel, compression, and tension perpendicular to grain strength and mode I fracture toughness of loblolly pine at various ring orientation”, *Forest Products Journal*, v. 58, n. 7–8, pp. 89–96, 2008. [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2008/fpl\\_2008\\_kretschmann001.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2008/fpl_2008_kretschmann001.pdf). acessado em maio de 2022.

- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 7190 Projeto de estruturas de madeira*, Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- [22] LAHR, F.A.R., CHRISTOFORO, A.L., SILVA, C.E.G., *et al.*, “Evaluation of physical and mechanical properties of Jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne) wood with different levels of moisture content and different regions of extractions”, *Revista Árvore*, v. 40, n. 1, pp. 147–154, 2016. doi: <http://doi.org/10.1590/0100-67622016000100016>.
- [23] GÜNTEKIN, E., AKAR, S., “Influence of moisture content on elastic constants of scots pine wood subjected to compression”, *Fuel Processing Technology*, v. 62, n. 204, pp. 41–53, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.12841/wood.1644-3985.220.09>.
- [24] SALA, C.M., ROBLES, E., GUMOWSKA, A., *et al.*, “Influence of moisture content on the mechanical properties of selected wood-based composites”, *BioResources*, v. 15, n. 3, pp. 5503–5513, 2020. doi: <http://doi.org/10.15376/biores.15.3.5503-5513>.
- [25] SOARES, L.S.Z.R., FRAGA, I.F., PAULA, L.S., *et al.*, “Influence of moisture content on physical and mechanical properties of *Cedrelinga catenaeformis* wood”, *BioResources*, v. 16, n. 4, pp. 6758–6765, 2021. doi: <http://doi.org/10.15376/biores.16.4.6758-6765>.
- [26] RUTHES, H.C., MASCARENHAS, F.J.R., SOARES, L.S.Z.R., *et al.*, “Influence of moisture content on physical and mechanical properties of *Vatairea sp.* wood”, *Revista Árvore*, v. 46, pp. e4606, 2022. doi: <http://doi.org/10.1590/1806-908820220000006>.
- [27] BODIG, J., JAYNE, B.A. *Mechanics of wood and wood composites*, reprint ed., New York, Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1993.