

Capítulo 44

FLEXÃO DINÂMICA DA MADEIRA DE *CORYMBIA CITRIODORA* (HOOK.) K.D. HILL & L.A.S. JOHNSON SUBMERSA EM ÁGUA E SECA AO AR LIVRE

GUILHERME VALCORTE¹; SÂMARA MAGDALENE VIEIRA NUNES²; TALITA BALDIN²; ROBERTA RODRIGUES ROUBUSTE¹; LAURA HOFFMANN DE OLIVEIRA¹; MAIARA TALGATTI¹

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

Autor correspondente (e-mail): gvalcorte@gmail.com

Resumo: O conhecimento sobre as propriedades tecnológicas da madeira possibilita a obtenção de parâmetros que auxiliam na determinação da utilização adequada desse material. Nesse contexto, uma importante propriedade a ser determinada é a **capacidade da madeira resistir** a impactos. Diante disso, esse estudo teve como objetivo determinar a resistência ao impacto da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson submersa em água e seca ao ar livre. Para tanto, foram usados 20 corpos de prova de cada tratamento com dimensões de 2 x 2 x 30 cm, respectivamente, largura, espessura e comprimento. Estes foram submetidos em sua região central ao impacto do pêndulo de Charpy no plano tangencial dos anéis de crescimento. Para avaliar o comportamento da resistência ao impacto da madeira dos tratamentos distintos, os dados foram submetidos à análise de variância e detectando-se a existência de ao menos uma diferença entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. A madeira seca ao ar livre resultou nas maiores médias para os parâmetros avaliados, com valor de resistência ao impacto de 92,51 KJ.m⁻², enquanto a madeira saturada apresentou um valor de 67,31 KJ.m⁻². Os resultados encontrados mostraram que a madeira de *Corymbia citriodora* foi mais resistente ao impacto quando seca ao ar livre.

Palavras-chave: propriedades físicas e mecânicas, resistência ao impacto, qualidade da madeira.

DYNAMIC BENDING OF WOOD FROM *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. JOHNSON SUBMERGED IN WATER AND DRIED IN THE OPEN AIR

Abstract: Knowledge about the technological properties of wood makes it possible to obtain parameters that help determine the proper use of this material. In this context, an important property to be determined is the ability of wood to resist impacts. Therefore, this study aimed to determine the impact strength of *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson submerged in water and dried outdoors. For this purpose, 20 samples of each treatment were used, with dimensions of 2 x 2 x 30 cm, respectively, width, thickness and length. These were subjected in their central region to the impact of the Charpy pendulum on the tangential plane of the growth rings. To evaluate the behavior of the impact strength of wood from different treatments, the data were subjected to analysis of variance and detecting the existence of at least one difference between treatments, the means were compared by Tukey's test at the level of 5 % of probability. Open-air dried wood resulted in the highest averages for the evaluated parameters, with an impact resistance value of 92.51 KJ.m⁻², while saturated wood presented a value of 67.31 KJ.m⁻². The results found showed that *Corymbia citriodora* wood was more resistant to impact when dried outdoors.

Keywords: physical and mechanical properties, impact resistance, wood quality.

1. INTRODUÇÃO

O fortalecimento da utilização da madeira como matéria-prima para fins industriais ou no sistema construtivo está diretamente relacionado ao conhecimento das suas propriedades físicas e mecânicas (GONÇALVES et al., 2009). A madeira é um material orgânico, heterogêneo e que apresenta em sua composição celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, possuindo versatilidade de usos para produção de variados produtos (BELTRAME et al., 2013).

Existe uma diversidade de ensaios que podem ser executados com a finalidade de avaliar esse material (HAMM et al., 2007). Os ensaios de propriedades físico-mecânicas são importantes para determinar a sua utilização. Assim, ao aliar as respostas das características físicas e mecânicas a aspectos econômicos, estéticos, de durabilidade e trabalhabilidade, pode-se classificar e agrupar madeiras para usos a que se mostram mais adequadas (MORAES NETO et al., 2009).

Quanto às propriedades físicas da madeira, pode-se destacar a massa específica e a retratibilidade, enquanto para as propriedades mecânicas é realizada a avaliação da compressão, cisalhamento, dureza, flexão e tração (GALLIO et al., 2016). Dentre as propriedades mecânicas que podem ser avaliadas, pode-se destacar a flexão dinâmica, em que o seu estudo ocasiona na determinação da capacidade de resistência ao impacto (BELTRAME et al., 2010). A sua determinação, em termos práticos, é importante no uso da madeira para fabricação de cabos de ferramentas, estruturação de escadas, carrocerias, mastros, dentre outros (MORESCHI, 2005).

Moreschi (2005) salienta que há fatores que podem interferir na resistência ao impacto, como por exemplo, o formato e as dimensões dos corpos-de-prova, o teor de umidade, a massa específica, a temperatura e as propriedades anatômicas da madeira. Diante disso, o estudo da qualidade da madeira em condições extremas de umidade é de grande importância para determinar a sua qualidade para condições que exijam sua resistência, pois diversas propriedades sofrem mudanças de acordo com a variação de umidade (BELTRAME et al., 2010).

A madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson tronou-se amplamente apreciada para aplicação na indústria moveleira, da construção civil, para produção de carvão vegetal, postes e dormentes (VILLAS BÔAS et al., 2009). Fato ocasionado por sua durabilidade e resistência. Entretanto, por possuir um longo ciclo produtivo e ainda não ser comum encontrar extensos plantios dessa espécie, ainda são escassos estudos de suas propriedades (CUNHA et al., 2019).

Considerando a importância do conhecimento do comportamento da madeira em diferentes situações, o objetivo deste estudo é determinar a flexão dinâmica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson submetida a dois processos: submersa em água e seca ao ar livre.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°40'31" de latitude sul e 53°54'45" de longitude oeste de Greenwich, altitude média de 130 metros. O Clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido,

sem estiagens. Apresentando temperatura média anual de 19°C, precipitação média anual de 1,769 mm e umidade relativa de 82 % (MORENO, 1961).

O solo da região é classificado como Argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), pertencendo a unidade de mapeamento São Pedro (BRASIL, 1973). Esta unidade de mapeamento é característica por apresentar solos mediamente profundos, não hidromórficos, avermelhados, textura superficial franco arenosa, friáveis, bem drenados e possuem horizonte B textural. Sendo solos ácidos e pobres em matéria orgânica (STRECK et al., 2002).

Para o estudo foi utilizada uma árvore de *Corymbia citriodora* proveniente de áreas de reflorestamento e plantios homogêneos, do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), pertencente a Secretária da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), localizado no Distrito de Boca do Monte, Santa Maria – RS. A árvore selecionada possuía 18 anos, com Diâmetro a altura de 1,30m do solo (DAP) de 28 cm e altura de aproximadamente 25 metros. A amostragem foi realizada considerando a disponibilidade de material e o tamanho da área de estudo de apenas 30 m², assim considerou-se que a amostra de uma árvore seria suficiente para demonstrar as propriedades mecânicas desta espécie.

A árvore abatida e seccionada foi desdobrada em tábuas na serraria do DDPA. Com o auxílio da serra fita vertical e carro porta toras retiraram-se as cunhas do tronco e gerou-se um pranchão, do qual removeu-se a parte central, descartando o cerne e fazendo 6 tábuas de 0,25m de espessura e 3,0 m de comprimento a partir do alburno.

As tábuas foram divididas e submetidas a dois tratamentos. Em um tratamento, elas ficaram submersas em água potável durante 7 meses e no outro elas ficaram alocadas em ambiente aberto com circulação de ar durante o mesmo período de tempo. Depois desse período, as tábuas dos dois tratamentos foram transformadas em 20 corpos de prova com dimensões de 2,0 cm de largura x 2,0 cm de espessura x 30,0 cm de comprimento, que foram usados na obtenção da densidade aparente e para realizar o teste de flexão dinâmica.

Os corpos de prova dos dois tratamentos foram pesados em balança analítica e, em seguida, com o auxílio de um paquímetro mensurou-se suas dimensões, usadas para determinação do volume. Em posse desses dados, foi possível calcular a massa específica corrigida para as amostras dos dois tratamentos avaliados.

Para a realização do teste de flexão dinâmica, utilizou-se o pêndulo CHARPY (Figura 1), submetendo os corpos de prova ao impacto na sua região central, no vão de 24 cm do equipamento. Desta forma, o corpo de prova foi posicionado de modo que o impacto ocorresse no plano tangencial dos anéis de crescimento, de acordo com recomendação de Moreschi (2005).

Figura 1 – Pêndulo CHARPY usado no teste.



Fonte: Autores.

Após a queda do pêndulo e o impacto com o corpo de prova, foi obtido o trabalho absorvido (W) em joule, na escala graduada da máquina. Esses valores em joule foram convertidos em kgm utilizando a relação $1 \text{ joule} = 0,101972 \text{ kgm}$.

Logo após obter os resultados do trabalho absorvido (W), foram calculados o coeficiente de resiliência e a cota dinâmica, conforme descrito por Moreschi (2005).

O cálculo do coeficiente de resiliência (K) utilizou-se a Eq. 1.

$$K = \frac{W}{b * (h^{10/12})} \quad (1)$$

Em que:

K = Coeficiente de resiliência (kgm/cm²);

W = Trabalho absorvido para romper o corpo de prova (Kgm);

b e h = aresta da seção transversal do corpo de prova (cm).

A cota dinâmica é calculada segundo a Norma AFNOR com a finalidade de comparar as diferentes madeiras. Neste estudo será utilizada para verificar as diferenças entre os tratamentos. Para fins práticos, de acordo com Moreschi (2005), quanto maior o valor do coeficiente de resiliência maior a resistência da madeira à flexão dinâmica.

Para o cálculo da cota dinâmica utilizou-se a Eq. 2.

$$CD = \frac{K}{P.aparente^2} \quad (2)$$

Em que:

CD = cota dinâmica (kgf.cm/g);

K = coeficiente de resiliência (Kgm/cm²);

MEA = massa específica aparente (g/cm³).

Adicionalmente, foi aferido a resistência da madeira a flexão dinâmica, resistência ao impacto (f_{bw}) de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para o cálculo resistência do impacto, utilizou-se a Eq. 3.

$$Fbw = \frac{1000 * w}{b * h} \quad (3)$$

Em que:

Fbw = Resistência ao impacto;

W = Energia necessária para fraturar o corpo de prova;

b e h = dimensões transversais do corpo de prova (mm).

Após os ensaios de flexão dinâmica, os corpos de prova foram pesados e colocados em estufa com temperatura constante de 103° por 48 horas, para obtenção da massa seca. Com esses valores foi possível obter o teor de umidade das peças, utilizando a Eq. 4.

$$TU\% = \frac{MU - MS}{MS} * 100 \quad (4)$$

Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA e em caso de rejeição da hipótese nula, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é possível observar os resultados das médias para a massa específica corrigida (P_{ap}), o trabalho absorvido (W), o coeficiente de resiliência (K), a cota dinâmica da madeira (CD) e a resistência ao impacto (Fbw) de *Corymbia citriodora*. Analisando os resultados, verifica-se que a madeira seca ao ar livre apresentou as maiores médias para todos os parâmetros avaliados, indicando que o seu elevado teor de umidade não teve influência negativa na sua capacidade de resistir aos impactos. Além disso, todas as médias observadas para os tratamentos diferiram entre si

Tabela 1 – Comparação de médias observadas nos tratamentos da madeira saturada e seca ao ar livre.

Tratamento	Parâmetros					
	Pap (g cm ⁻³)	TU (%)	Fbw (KJ.m ⁻²)	W (kg.m)	K (Kg.m.cm ⁻²)	CD (Kg mm g ⁻¹)
Saturado	0,89 a*	13,05 a	67,31 a	3,04 a	0,92 a	0,61 a
Ar livre	0,98 b	55,47 b	92,51 b	4,01 b	1,24 b	1,26 b

Legenda: P_{ap} : massa específica corrigida; TU: teor de umidade; W: trabalho absorvido; Fbw: resistência ao impacto; K: coeficiente de resiliência; CD: cota dinâmica. *Médias nas colunas seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade de erro.

A madeira seca ao ar livre apresentou maior valor de massa específica (P_{ap}) e de teor de umidade. O elevado valor de umidade desse material está diretamente associado com a superioridade do valor de sua massa específica, visto que o peso da água presente nos espaços vazios compreendidos entre suas células é maior.

Os resultados para W e Fbw indicam que a madeira seca ao ar livre também apresentou maior resistência ao impacto, sendo capaz de absorver a maior parte da força a qual foi submetida. Resultados que corroboram com a tendência apontada por Beltrame et al. (2010) de que o acréscimo de umidade corresponde ao aumento da resistência ao choque. Comportamento observado devido ao aumento da elasticidade da madeira com o acréscimo de água, que faz com que o material absorva e dissipe melhor as cargas a ele impostas (PERTUZZATTI et al., 2010).

Observa-se também que a média do teor de umidade apresentado pela madeira saturada foi cerca de 4 vezes menor do que os valores apresentados para o material seco ao ar livre e com valores de resistência também inferiores ao segundo tratamento.

Conforme indicado por Carvalho (1996) e Beltrame et al. (2010) madeiras com valores de CD superiores a 1,2 podem ser consideradas altamente resilientes, valor que corresponde ao encontrado na madeira seca ao ar livre. Esse tratamento, também resultou em um maior valor de coeficiente de resiliência (K), que indica uma maior resistência da madeira a flexão dinâmica. O estudo realizado por Pedroso e Matos (1987) com espécies de Eucalipto encontrou valores médios de K variando de 0,25 a 1,17 Kg.m.cm⁻² e de CD variando de 0,32 a 1,32, valores próximos aos encontrados nesse trabalho.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados desse estudo, a madeira de *Corymbia citriodora* apresenta-se mais resistente ao impacto quando seca ao ar livre, tratamento em que também apresentou um maior teor de umidade, quando comparada a amostras submersas em água.

REFERÊNCIAS

- BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; MODES, K. S.; STANGERLIN, D. M.; TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 499-504, 2010.
- BELTRAME, R.; MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; LAZAROTTO, M.; HASELEIN, C. R. Resistência ao choque da madeira de *Platanus x acerifolia* em diferentes condições de umidade. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 771-778, 2013.
- CUNHA, Gláucio Mello; GAMA-RODRIGUES, Antonio Carlos; GAMA-RODRIGUES, Emanuela Forestieri; MOREIRA, Gisele Rodrigues. Nutrient Cycling in *Corymbia citriodora* in the State of Rio de Janeiro, Brazil. **Floresta e Ambiente**, Alegre, v. 26, n. 2, 2019.
- CARVALHO, A. Escola Superior de Tecnologia de Viseu - **Estrutura Anatômica, Propriedades, Utilizações**. Vol. I, Instituto Florestal, 1996. Disponível em: <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/jqomarclo/Tim3/tim3_TP1_Na2.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2021.
- GALLIO, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A.; SOUZA, J. T. de.; RAVASI, R.; MENEZES, W. M. de.; FLOSS, P. A.; BELTRAME, R. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 244-250, 2016.
- GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. da S.; LUCIA, R. M. D.; SARTORIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.
- HAMM, L. G.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; TREVISAN, R.; MULLER, M. T.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Resistência ao impacto da madeira de três espécies florestais. In: XVI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, PESQUISA E RESPONSABILIDADE AMBIENTAL. **Anais...** Pelotas, RS, 2007.
- MORAES NETO, S.P.; RODRIGUES, T.O.; VALE, A.T.; SOUZA, M.R. Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no cerrado do distrito federal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v.251).
- MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: UFPR, 2005. 168 p.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: UFPR, 2009. 208 p.
- PEDROSO, O.; MATTOS, J. R. **Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Ataliba Paz, 1987. 181p. (Publicação IPRNR, n.20).
- PERTUZZATTI, A.; CONTE, B.; MISSIO, A.; GATTO, D.A.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J.; Influência da umidade na resistência da madeira de Eucalipto a impactos. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p.1-6. 2017.
- VILAS BÔAS, O; MAX, J.C.M, MELO, A.C.G. Crescimento comparativo de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* no município de Marília, SP. **Revista Instituto Florestal**, v. 21(1): p. 63-72. 2009.