

**Caracterização das Propriedades Dinâmicas do Bambu da Espécie
*Phyllostachys aurea***

**Dynamic Proprieties Characterization of the Bamboo Species
*Phyllostachys aurea***

DOI:10.34117/bjdv7n2-324

Recebimento dos originais: 10/01/2021

Aceitação para publicação: 10/02/2021

Ana Claudia Dal Prá Vasata

Mestra em Engenharia Civil, Centro Universitário de Pato Branco (UNIDEP)
Endereço: Rua Tamoio, 1302, Centro, Pato Branco/PR
E-mail: anavasata.a@gmail.com

Alana Karolyne Dametto dos Santos

Acadêmica do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
– Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB)
Endereço: Rua Aderbal Ramos da Silva, 60, bairro Progresso, São Lourenço do
Oeste/SC
E-mail: alanasantos@alunos.utfpr.edu.br

Leonardo Pirola dos Santos

Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
– Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB)
Endereço: Rua Afonso Pena, 795, bairro Jardim Primavera, Pato Branco/PR
E-mail: leonardosantos.2016@alunos.utfpr.edu.br

Ana Caroline Cadorin

Acadêmica do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
– Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB)
Endereço: Rua Visconde de Tamandaré, 175, bairro Santa Terezinha, Pato Branco/PR
E-mail: anacadorin@yahoo.com.br

Leonardo Müller Portes

Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
– Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB)
Endereço: Rua Iguazu, 824, Centro, Pato Branco/PR
E-mail: leoportes@live.com

Paôla Regina Dalcanal

Doutora em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus
Pato Branco (UTFPR-PB)
Endereço: Via do Conhecimento, km 01, Pato Branco/PR
E-mail: paolardalcanal@utfpr.edu.br

Paulo Rogério Novak

Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB)

Endereço: Via do Conhecimento, km 01, Pato Branco/PR
E-mail: novak@utfpr.edu.br

Fabiano Ostapiv

Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB)

Endereço: Via do Conhecimento, km 01, Pato Branco/PR
E-mail: fabianoostapiv@utfpr.edu.br

RESUMO

O bambu é um material natural, sustentável e abundante na natureza, que possui características físicas e dinâmicas favoráveis à sua utilização como material de construção para fins estruturais. Porém, ainda não é muito explorado na construção civil brasileira pela falta de normatização nacional, bem como poucos estudos nesta área. Sendo assim, o presente trabalho desenvolve uma análise das características dinâmicas da espécie de bambu *Phyllostachys aurea*, visando aumentar o conhecimento sob essa espécie. Considerando a ausência de normativas brasileiras para ensaios com bambu, apresentam-se a metodologia de ensaio com base na norma americana para a condição de contorno de viga uniforme engastada. No ensaio experimental, utilizam-se um martelo de impacto e um acelerômetro para excitação e leitura da vibração da amostra, respectivamente, e um analisador de sinais para a interpretação dos dados e determinação das frequências naturais da amostra. Os testes, considerando a amostra engastada de bambu, forneceram os valores da frequência fundamental, do coeficiente de amortecimento e do módulo de elasticidade, respectivamente iguais a 38,09 Hz, 0,04387 ou 4,39% e 11,63 GPa.

Palavras-chave: Dinâmica estrutural. Módulo de elasticidade dinâmico. Fator de amortecimento.

ABSTRACT

Bamboo is a natural, sustainable and abundant material in nature, which has physical and dynamic characteristics favorable to its use as a building material for structural purposes. However, it is poorly explored by the Brazilian civil construction due to the lack of national standards, as well as few studies in this area. Thus, the present work develops an analysis of the dynamic characteristics of the bamboo species *Phyllostachys aurea*, aiming to increase knowledge about this species. Considering the absence of Brazilian standards for bamboo's investigation, this research presents the test methodology based on American standard for a boundary condition of cantilever beam. In the experimental test it are used an impact hammer, an accelerometer to excite and read the sample vibration, respectively, and a signal analyzer for data interpretation and determination of the natural frequencies of the sample. The tests, considering the cantilever bamboo sample, provided the values of fundamental frequency, damping coefficient and modulus of elasticity, respectively equal to 38.09 Hz, 0.04387 or 4.39% and 11.63 GPa.

Keywords: Structural dynamic. Dynamic modulus of elasticity. Damping coefficient.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada uma indústria com grande impacto ambiental devido à utilização de materiais advindos de fontes não renováveis. Na busca de alternativas que reduzam esse impacto, o bambu apresenta-se como uma opção sustentável para as construções e é tema de diferentes estudos que visam disseminar o conhecimento deste material e torná-lo acessível em termos técnicos (DE OLIVEIRA JUNIOR et al., 2020).

As características do bambu são favoráveis para a construção, sendo este fato evidenciado pela utilização deste material desde a antiguidade, em especial nos países orientais e em alguns países da América Latina. No Brasil, é utilizado para decoração e em produtos manufaturados, porém ainda não é devidamente explorado nas estruturas civis.

As propriedades que tornam o bambu favorável para a construção civil são: leveza, flexibilidade e resistência, podendo ser comparado com a madeira em relação a estes aspectos. Além disso, é sustentável e possui um rápido crescimento. Segundo Bertacchini et al. (2020), um dos fatores que está diretamente relacionado com a resistência mecânica do bambu é o teor de lignina, sendo assim um dos critérios de escolha da espécie correta de bambu.

Quanto às suas propriedades dinâmicas, segundo Tamayo (2009), o bambu apresenta poucos danos estruturais quando submetido aos abalos sísmicos de grande magnitude, se comparado aos materiais convencionais. Alguns exemplos são estruturas de bambu que resistiram aos abalos sísmico de 7,6 graus na escala Richter na Costa Rica em 1992 e na Colômbia em 1998.

A espécie *Phyllostachys aurea*, conhecida popularmente por cana da Índia, vara de pescar e bambu-jardim, é nativa da China e encontrada em diversos outros países, como o Brasil. Seus colmos variam de 4 a 12 m de comprimento e de 2 a 7 cm de diâmetro. É comumente utilizada em construções, tendo boa resistência à compressão e elevada resistência aos ataques de insetos (CHAMORRO, 2011).

Quanto às análises dinâmicas, destacam-se os estudos de Armandei; Darwish e Ghavami (2015), que encontraram valores de 9,07 Hz para a primeira frequência natural e 5,31 GPa para o módulo de elasticidade dinâmico da espécie *Phyllostachys aurea*. Outro estudo importante é o de Rosa (2005), que determinou a primeira frequência natural e o módulo de elasticidade dinâmico para a mesma espécie, obtendo, respectivamente, 9,5 Hz e 9,87 GPa, além de um coeficiente de amortecimento de 1,322%.

A maior dificuldade encontrada para uma ampla utilização do bambu como material estrutural é a falta de normas específicas e também a falta de conhecimento dos profissionais da área no tocante às peculiaridades deste material. Assim, estudos sobre as propriedades do bambu contribuem para a viabilização técnica e econômica de seu emprego como material de construção. E, esta pesquisa vem de encontro a esta necessidade, focando nos aspectos de caracterização dinâmica da espécie de bambu *Phyllostachys aurea*.

São realizados testes para a verificação do modo de elasticidade dinâmico, frequência natural fundamental e coeficiente de amortecimento. A frequência natural é uma característica própria do material e depende de suas massa e rigidez, podendo ser obtida por análises experimentais ou numéricas. Por meio desta frequência é possível determinar os níveis de vibração da estrutura para que a mesma não entre em ressonância. Já o amortecimento é a propriedade de uma estrutura dissipar energia (ROSA, 2005).

2 METODOLOGIA

Os colmos de bambu da espécie *Phyllostachys aurea* foram coletados na cidade de Pato Branco, Paraná, no mês de novembro de 2018 e armazenados em local sem luminosidade e protegido de intempéries. Para este trabalho, a amostra utilizada foi retirada da parte basal do colmo do bambu, ou seja, a parte com maior diâmetro localizada próximo à raiz do bambu.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Vibrações do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. Para a sua realização, utilizou-se um martelo de impacto com ponteira de borracha do modelo 2303-10 do fabricante ENDEVCO e um acelerômetro modelo 256-100 S/N 13657, com sensibilidade de 9,795 mV/m/s² também do fabricante ENDEVCO.

A verificação das propriedades dinâmicas dos colmos de bambu foi realizada por meio do método de uma viga engastada em balanço e teve como base a norma americana ASTM E 756 – *Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials*, que determina a frequência natural, coeficiente de amortecimento do material e o módulo de elasticidade dinâmico (E_D) para uma viga uniforme engastada (ASTM, 2010).

O colmo de bambu foi beneficiado de modo que seu formato fosse o mais próximo possível de uma viga uniforme, utilizando-se, para isso, o comprimento entre nós, conforme Figura 1. Deste modo, o corpo de prova apresentou comprimento de 230 mm,

sendo 30 mm engastados e 200 mm de vão livre, 13 mm de largura, 3,6 mm de espessura e massa de 0,01043 kg.

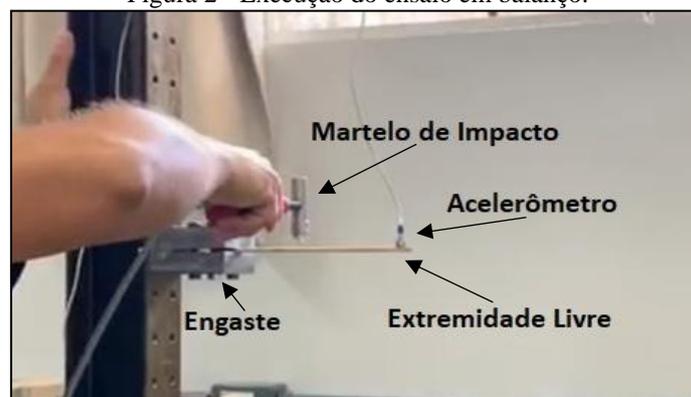
Figura 1 - Corpo de prova.



Fonte: Autores (2019)

Para a verificação da frequência natural aplicou-se uma excitação de magnitude desconhecida no centro da amostra com o martelo de impacto. Posicionou-se o acelerômetro na extremidade livre, por meio do qual obtiveram-se os sinais de vibração e, com o auxílio do analisador de sinais, modelo 01 dB-Metravib, do fabricante AREVA, foi possível determinar a frequência natural da amostra. Este procedimento foi repetido cinco vezes. A Figura 2 mostra a execução do ensaio.

Figura 2 - Execução do ensaio em balanço.



Fonte: Autores (2019)

Através da análise dos sinais gerados no ensaio, calculou-se o coeficiente de amortecimento (ζ) por meio da Eq. (1) (RAO, 2008).

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \quad (1)$$

onde: δ é o decremento logarítmico, adimensional, calculado pela Eq. (2). Segundo Rao (2008), o decremento logarítmico é dado pela obtenção da taxa de redução de um impulso provocado em um sistema vibratório amortecido e é definido como o logaritmo natural da razão entre duas amplitudes.

$$\delta = \frac{1}{m} \ln \left(\frac{X_1}{X_{(m+1)}} \right) \quad (2)$$

sendo m o número de ciclos; X_1 e $X_{(m+1)}$ os valores do primeiro e do enésimo deslocamentos, respectivamente, medidos experimentalmente em m , no domínio do tempo.

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico (E_D) utilizou-se a Eq. (3), conforme a ASTM E 756, item 10.2.1, para vigas uniformes, com valores expressos em Pa, (ASTM, 2010).

$$E_D = 12 \frac{(\rho L^4 f_n^2)}{(t^2 C_n^2)} \quad (3)$$

em que ρ é a massa específica (kg/m^3); L o comprimento total da viga (m); f_n a frequência natural (Hz); t a espessura da viga (m); C_n o coeficiente para o modo n , que para uma viga uniforme engastada corresponde a $C_1 = 0,55959$; $C_2 = 3,5069$; $C_3 = 9,8194$; $C_4 = 19,242$; $C_5 = 31,809$, e para $n > 3$, $C_n = (\pi/2)(n-0,5)^2$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os sinais obtidos pelos impactos na amostra engastada foram interpretados utilizando-se o *software* Matlab. Com isso encontrou-se a frequência natural da amostra de 38,09 Hz.

O cálculo do decremento logarítmico (δ) foi realizado de acordo com a Eq. (2), considerando cinco ciclos ($m = 5$), resultando em seis pontos de deslocamento ($X_{(m+1)} = X_{(6)}$) e calculando-se a média dos valores para obter um decremento logarítmico médio para cada um dos cinco sinais. A partir dos valores de decremento logarítmico calculou-

se o fator de amortecimento de acordo com a Eq. (1). Os valores encontrados podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1- Decremento logarítmico (δ) e coeficiente de amortecimento (ζ) da amostra engastada.

Sinal	δ	ζ
1	0,2823	0,0449
2	0,2104	0,0335
3	0,2967	0,0471
4	0,3009	0,0478
5	0,2892	0,0459
Valor Médio	0,2759	0,04387

Fonte: Autores (2020)

O módulo de elasticidade dinâmico (E_D) foi determinado utilizando-se a Eq. (3). O cálculo foi realizado para o primeiro modo de vibração, sendo assim, considera-se $C_n = C_1$ e a frequência natural é a encontrada previamente. Os dados para obtenção do E_D , bem como o valor obtido para o mesmo podem ser visualizados na Tabela 2:

Tabela 2 –Parâmetros utilizados para obtenção do módulo de elasticidade dinâmico (E_D) e valor obtido para o mesmo na amostra engastada.

Dados	Valor
L (m)	0,23
t (m)	0,0036
Largura (m)	0,013
f_1 (Hz)	38,09
Massa (kg)	0,01043
ρ (kg/m ³)	968,97
C_1	0,55959
E_D (GPa)	11,63

Fonte: Autores (2020).

Os resultados encontrados divergem em relação aos estudos feitos por Armandei; Darwish e Ghavami (2015) e por Rosa (2005), pois as propriedades dinâmicas apresentadas são dependentes do tamanho da amostra, reforçando-se, assim, a importância de normatização para os ensaios com bambu. A Tabela 3 apresenta uma análise comparativa entre os resultados do presente estudo e os dos autores mencionados.

Tabela 3 - Análise comparativa dos resultados para a espécie *Phyllostachys aurea*.

	Rosa (2005)	Armandei; Darwish e Ghavami (2015)	Autores (2020)
Comprimento (m)	0,55	0,70	0,23
Espessura (m)	0,005	0,008	0,0036
Largura (m)	0,038	0,035	0,013
Frequência Natural (Hz)	9,5	9,07	38,09
Coefficiente de Amortecimento (%)	1,322	-	4,3870
E _D (GPa)	9,87	5,31	11,63

Fonte: Autores (2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios realizados neste trabalho foram encontrados a frequência natural fundamental, o coeficiente de amortecimento e o módulo de elasticidade dinâmico para uma amostra engastada de bambu da espécie *Phyllostachys aurea*. Obtendo-se valores de, respectivamente, 38,09 Hz, 0,04387 ou 4,39% e 11,63 GPa.

Os métodos demonstrados são adaptações de normas americanas existentes para materiais uniformes. No entanto, deve-se considerar que o bambu é um material natural e, por isso, possui variação das propriedades na espessura do colmo, sendo assim, os resultados obtidos são aproximados. Para uma verificação dos valores sugere-se a realização de testes modais em um trabalho futuro.

Considerando-se a ausência de normativas brasileiras para o bambu, este estudo contribui para o conhecimento científico dos métodos para a determinação das propriedades dinâmicas dos colmos e pode ser reproduzido com mais amostras e outras espécies de bambu.

REFERÊNCIAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 756: Standard test method for measuring vibration-damping properties of materials.** West Conshohocken, PA, 2010, 12 p.

ARMANDEI, M.; DARWISH, I. F.; GHAVAMI, K. Experimental study on variation of mechanical properties of a cantilever beam of bamboo. **Construction and Building Materials**, Elsevier, v. 101, p. 784–790, 2015.

BERTACCHINI, G. H. VIOLIN, R. Y. T. DE LIMA, K. M. VAROTO, R. A. P. Utilização do bambu da espécie *dendrocalamus asper* em vigotas pré-moldadas de concreto armado para análise da deformação. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 20654-20666, 2020.

DE OLIVEIRA JUNIOR, F. A. S. BESSA, C. V. D. MARINHO, R. O. MARINHO, R. L. N. MIRANDA, L. J. C. SANTOS, E. C. Análise da substituição do aço por bambu em estruturas de concreto armado. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72453-72467, 2020.

CHAMORRO, L. J. C. **Análise estrutural dinâmica de um pórtico plano de bambu da espécie *Phyllostachys aurea*.** 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

RAO, S. S. **Vibrações mecânicas.** 4ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008.

ROSA, C. C. **Análise experimental das propriedades dinâmicas do bambu das espécies *guadua*, *dendrocalamus* e *aurea*.** 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

TAMAYO, P. L. **Estudo teórico experimental das propriedades dinâmicas do bambu.** 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.