

Caracterização das Propriedades Dinâmicas do Bambu

Bamboo Dynamic Properties Characterization

RESUMO

Alana Karolyne Dametto dos Santos
Autor
alanasantos@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Paóla Regina DalCanal
paolardalcanal@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

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 metodologias de ensaio baseadas em normas americanas para dois tipos de condições de contorno: ensaio engastado e ensaio bi apoiado. No ensaio experimental, utilizam-se um martelo de impacto, 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. Vibração – medição. Pesquisa experimental.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



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 methodologies of tests based on American standards for two types of boundary conditions: cantilever and simply supported. 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. Vibration measure. Experimental research.



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.

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. Quanto às suas propriedades dinâmicas, segundo Tamayo (2009), o bambu apresenta poucos danos estruturais quando submetido à 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).

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.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Vibrações do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. Para a realização dos mesmos, 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 $9,795 \text{ mV/m/s}^2$ também do fabricante ENDEVCO.

A verificação das propriedades dinâmicas dos colmos de bambu é realizada por dois métodos distintos, utilizando-se o mesmo equipamento e modificando-se as condições de contorno e consequentes análises.

O ensaio em balanço, baseou-se na 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. O corpo de prova possui 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.

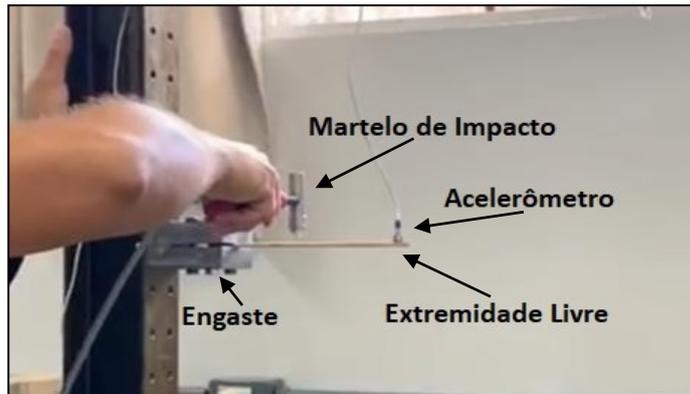
Figura 1 - Corpo de prova.



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, através 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 $X_{(m+1)}$ primeiro e n ésimo 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 = massa específica (kg/m³);

L = comprimento total da viga (m);

f_n = frequência natural (Hz);

t = espessura da viga (m);

C_n = o coeficiente para o modo n , para uma viga uniforme engastada, sendo: $C_1 = 0,55959$; $C_2 = 3,5069$; $C_3 = 9,8194$; $C_4 = 19,242$; $C_5 = 31,809$, e para $n > 3$, $C_n = (\pi/2)(n - 0,5)^2$.

O ensaio bi apoiado é realizado de acordo com a norma americana ASTM E 1876 – Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration, que tem por objetivo determinar as propriedades dinâmicas de materiais à temperatura ambiente por meio de excitações de vibração (ASTM, 2015).

A amostra é a mesma do ensaio engastado, visto que é um ensaio com características não destrutivas, possibilitando uma comparação entre os mesmos. Para obtenção da frequência natural realiza-se o ensaio utilizando-se dois apoios, posicionados a 0,244 L da extremidade, onde L representa o comprimento da amostra. Aplicam-se excitações com o martelo de impacto no centro da amostra. As vibrações são captadas pelo acelerômetro posicionado longe o suficiente do apoio para realizar a leitura.

A partir da análise dos sinais obtidos no ensaio chega-se à frequência natural da amostra com a qual é possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico através da Eq. (4).

$$E_D = 0,9465 \left(\frac{mf_f^2}{b} \right) \left(\frac{L^3}{t^3} \right) T_1 \quad (4)$$

Onde:

m = massa da barra (g);

f_f = frequência natural (Hz);

b = largura da viga (mm);

L = comprimento total da viga (mm);

t = espessura da viga (mm);

T_1 = fator de correção

Para valores de $\frac{L}{t} \geq 20$ o fator de correção T_1 pode ser calculado pela Eq. (5), permitindo-se calcular E_D diretamente.

$$T_1 = \left[1000 + 6,585 \left(\frac{t}{L} \right)^2 \right] \quad (5)$$

O coeficiente de amortecimento para este ensaio é obtido através das Eqs. (1) e (2), adotando-se a mesma metodologia utilizada para o ensaio engastado.

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 através da 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
f1 (Hz)	38,09
Massa (kg)	0,01043
ρ (kg/m ³)	968,97
C1	0,55959
E_D (GPa)	11,63

Fonte: Autores (2020).

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

Os ensaios com a amostra bi apoiada não foram realizados devido à paralização das atividades presenciais na UTFPR em decorrência da pandemia Covid-19.

Espera-se encontrar através dos novos ensaios valores para o amortecimento e módulo de elasticidade dinâmico e compará-los com os resultados do ensaio em balanço, permitindo avaliar a interferência das condições de contorno na obtenção das propriedades dinâmicas do bambu.

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

	Rosa (2005)	Armandei; Darwish e Ghavami (2015)	Presente trabalho
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).

CONCLUSÕES

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 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.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Professora Paôla, pela orientação e dedicação a este trabalho. À Professora Ana Cláudia, por auxiliar-nos e fazer esta pesquisa acontecer. Ao Professor Novak que ajudou com os ensaios e sempre esteve disposto a colaborar conosco. Aos meus colegas de IC, pelo apoio e trabalho realizado.

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.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1876:2015 - Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration.** West Conshohocken, PA, 2015, 16 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.

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.