



2023

## NOVA METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE PEÇAS DE MADEIRA POR MEIO DO INCREMENTO DE MASSA NA TÉCNICA DE VIBRAÇÃO TRANSVERSAL

Glauco do Amaral Alves Pereira <sup>a</sup>; Andrés Batista Cheung <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Aluno de Graduação em Engenharia Civil, [glauco.pereira@ufms.com](mailto:glauco.pereira@ufms.com)

<sup>b</sup>Professor Orientador, [andres.cheung@ufms.br](mailto:andres.cheung@ufms.br)

*Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.*

---

### RESUMO

Trata-se do estudo sobre a potencial utilização do uso de *smartphones*, por meio de uma nova metodologia do ensaio de vibração transversal com incremento de massa, para determinação módulo de elasticidade dinâmico. O objetivo é verificar experimentalmente a correlação entre o módulo de elasticidade longitudinal, determinado por meio do ensaio de flexão estática, em peças de dimensões variadas e o módulo de elasticidade dinâmico, determinado por uma nova metodologia do ensaio de vibração transversal. Para a determinação do módulo de elasticidade pelo método de vibração transversal com incremento de massa, foi utilizada a transformada rápida de Fourier (FFT) que converte o sinal de aceleração obtido no *smartphone* do domínio do tempo para o da frequência. Com as frequências determinadas, calcula-se o módulo de elasticidade longitudinal dinâmico de acordo a nova metodologia em estudo. Como comparação, foram realizados ensaios de flexão estática para validar os resultados. Foi utilizada a análise de variância e esta análise mostrou que não existe diferença estatística significativa entre os módulos obtidos por meio do ensaio de flexão estática e do método de vibração transversal por incremento de massa.

**Palavras-chave:** Incremento de Massa; Módulo de elasticidade; Smartphone; Vibração transversal

---

### ABSTRACT

This is a study on the potential use of smartphones, through a new methodology of transverse vibration testing with an increase in mass, to determine the dynamic modulus of elasticity. The objective is to experimentally verify the correlation between the longitudinal modulus of elasticity, determined through the static bending test, in parts of varying dimensions, and the dynamic modulus of elasticity, determined by a new transverse vibration test methodology. To determine the modulus of elasticity using the transverse vibration method with mass increment, the fast Fourier transform (FFT) was used, which converts the acceleration signal obtained from the smartphone from the time domain to the frequency domain. With the frequencies determined, the dynamic longitudinal elasticity modulus is calculated according to the new methodology under study. As a comparison, static bending tests were carried out to validate the results. Analysis of variance was used and this analysis showed that there is no statistically significant difference between the modules obtained through the static bending test and the transverse vibration method by mass increment.

**Keywords:** Mass Increment; Elasticity modulus; Smartphone; Transverse vibration.

---

# 1. INTRODUÇÃO

O material mais utilizado no Brasil para as construções é o concreto armado, contudo, mediante questões econômicas, sociais e conceitos estruturais novos, nos remetem a necessidade da utilização de outros tipos de elementos estruturais, dentre os quais podemos citar a madeira. Porém, um grande problema em sua utilização está ligado na determinação do seu módulo de elasticidade. Para a determinação do seu módulo de elasticidade, podem ser utilizados ensaios não destrutivos. Na nossa literatura nacional e internacional, podemos citar o ensaio de flexão estática, padronizado pela ASTM D198-84 e NBR 7190-3 (ABNT, 2022). Por intermédio das considerações de Segundinho et al. (2005) em relação ao ensaio de flexão estática, fica nítido a notoriedade do uso de aparatos de grandes dimensões, se as peças estruturais a serem ensaiadas possuem grandes proporções. A determinação do módulo de elasticidade, consiste em ensaios caros, que necessitam de profissionais habilitados para tal prática. Mediante ao que foi citado acima, propõe-se um método simples, prático e de custo reduzido, com a utilização de smartphones, por intermédio da utilização do sensor de aceleração.

A técnica de vibração transversal segundo Carreira et al. (2003) está em destaque quando comparada aos demais ensaios não destrutivos para determinar o módulo de elasticidade, pois os seus resultados são acurados em relação aos demais ensaios.

Deste modo, o objetivo deste trabalho consiste em propor uma nova metodologia mais precisa para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico por meio de incremento de massa no ensaio de vibração transversal.

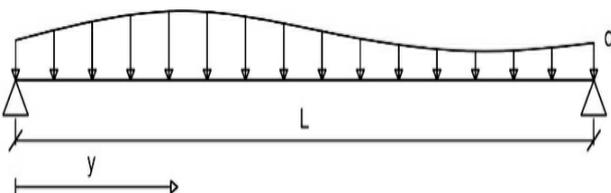
## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Aspectos teóricos sobre Vibração Livre

O comportamento da vibração de uma viga biapoiada, de acordo com Takazono e Cheung (2018) expresso pela equação (1).

$$M \cdot \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) + D \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right) + K \cdot x = 0 \quad (1)$$

Figura 1 – Viga biapoiada carregada. Fonte: Takazono e Cheung, 2017.



Mediante a vibração de uma massa, pode-se obter as três equações:

$$\left(\frac{d^2x}{dy^2}\right) = -\frac{M}{EI} \quad (2)$$

$$\left(\frac{d^2M}{dy^2}\right) = -q \quad (3)$$

$$\left(\frac{d^4x}{dy^4}\right) = -\frac{q}{EI} \quad (4)$$

Por intermédio da inércia, obtém o movimento vibratório a uma frequência circular \$q\$:

$$q = -\frac{\gamma \partial^2 x}{g \partial t^2} \quad (5)$$

Considerando que o movimento vibratório, com uma frequência circular \$\rho\$, temos:

$$x(y, t) = x(y) \cdot \cos(\omega t - \varphi_0) \quad (6)$$

Na qual:

$$\varphi_0 = \text{ângulo de fase}$$

$$\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) = -\omega^2 \cdot x(y) \cdot \cos(\omega t - \varphi_0) = -\omega^2 \cdot x \quad (7)$$

$$q = \frac{\gamma}{g} - (\omega^2 \cdot x) = \frac{\gamma}{g} \omega^2 x \quad (8)$$

Substituindo (8) em (4):

$$\left(\frac{d^4x}{dy^4}\right) = -\frac{\omega^2 \gamma}{EI \cdot g} x \quad (9)$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{\omega^2 \gamma}{EI \cdot g}} \quad (10)$$

$$x(y) = C_1 e^{ky} + C_2 e^{-ky} + C_3 \text{sen}(ky) + C_4 \text{cos}(ky) \quad (11)$$

Temos como condição de contorno:

$$y = 0 \rightarrow x = 0 \quad (12)$$

$$y = l \rightarrow x = 0 \quad (13)$$

$$x = 0 \rightarrow \frac{d^2x}{dy^2} = 0 \quad (14)$$

Utilizando as condições de contorno definidas acima, temos:

$$C_1 = C_2 = C_4 = 0 \quad (15)$$

$$C_3 \neq 0 \quad (16)$$

$$x = C_3 \text{sen}(ky) \quad (17)$$

Logo:

$$k = \frac{\pi n}{L} \quad (18)$$

Sendo:

- \$n = 1\$, equivale ao 1º modo;
- \$n = 2\$, equivale ao 2º modo;
- \$n = 3\$, equivale ao 3º modo.

Igualando (18) com (10):

$$\frac{\pi n}{L} = \sqrt[4]{\frac{\omega^2 \gamma}{EI \cdot g}} \quad (19)$$

Como:

$$W = \gamma L \quad (20)$$

$$f_r = \frac{\omega}{2\pi} \quad (21)$$

$$\omega = f_r \cdot 2\pi \quad (22)$$

Em síntese da (19), temos:

$$f_r = \frac{\pi n^2}{2} \sqrt{\frac{EIg}{WL^3}} \quad (23)$$

Para  $n = 1$ :

$$\left(\frac{\pi n^2}{2}\right)^2 = \left(\frac{\pi 1^2}{2}\right)^2 = 2,46 \quad (24)$$

Em consequência (23), nos gerou:

$$MOE = \frac{f_r^2 \cdot W \cdot L^3}{2,4674 \cdot I \cdot g} \quad (25)$$

Em que:

$f_r$  é a frequência natural fundamental (Hz);  
 $W$  é a massa da viga (kg);  
 $L$  é o vão da peça (m);  
 $I$  é o momento de inércia em relação ao plano de flexão considerado (cm<sup>4</sup>);  
 $g$  é a aceleração da gravidade (9,8m/s<sup>2</sup>).

Para melhorar o ensaio de vibração transversal e diminuir o efeito da densidade variável da peça e o desbitolamento, foi desenvolvida uma nova metodologia. Para esta metodologia foi utilizada o incremento de massa na viga de madeira.

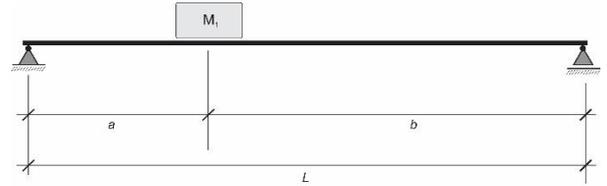
Segundo Pilkey (2004), é possível obter a frequência natural fundamental ( $w_n$ ) a partir de  $w_n = \sqrt{k/m}$ , se a massa ( $m$ ) e a constante de mola ( $k$ ) forem conhecidas. Somado a isso, Pilkey (2004, p. 465) salienta que cabe a massa rígida ser suportada pelos membros elásticos, sendo que a constante da mola obtida pela força aplicada no ponto de fixação da massa.

De acordo com Pilkey (2004) para se encontrar a frequência natural para o movimento de flexão do sistema de uma viga com massa adicional aplicada a uma distância, pode ser obtida por meio da simplificação para um sistema com um grau de liberdade. Dessa forma, o único grau de liberdade é a deflexão da viga na massa pontual. A rigidez elástica é dada por:

$$k = \frac{3EIL}{a^2b^2} \quad (26)$$

A frequência natural, segundo Pilkey (2004), para o movimento de flexão da viga de massa única é

Figura 2 – Viga simplesmente apoiada com massa concentrada.



$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{k}{M_1}} = \frac{1}{ab} \times \sqrt{\frac{3EIL}{M_1}} \quad (27)$$

Após isso, ao adicionar uma massa  $M_2$  no centro da mesma viga, obtém-se uma segunda frequência natural, devida ao novo incremento de massa ( $M_2$ ). Além disso pode ser somada a parcela da massa distribuída da viga. Mediante as frequências circulares  $\omega_1$  e  $\omega_2$ , de forma algébrica, que corresponde a frequência para diferentes massas é possível determinar o módulo de elasticidade dinâmico, conforme as equações:

Para  $a=b$ , tem-se:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{48EI}{L^3(M_1 + 0,5m_b)}} \quad (28)$$

Adotando a diferença entre incrementos de massa, obtém-se:

$$E = \frac{(\omega_1^2 - \omega_2^2)L^3}{\left(\frac{1}{M_1 + 0,5m_b} - \frac{1}{M_2 + 0,5m_b}\right) \times 48I} \quad (29)$$

### 3. MATERIAS E MÉTODOS

#### 3.1 Madeira

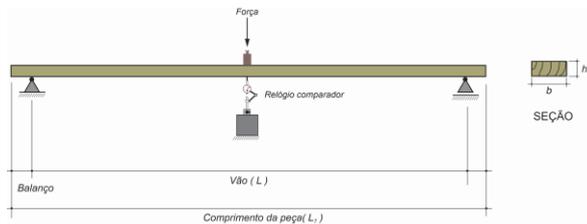
Foram utilizadas 23 vigas de madeira de *Pinus sp*, sendo sujeitas aos ensaios de flexão estática, de acordo da norma ASTM D4761-96 e de vibração transversal, com o auxílio de um smartphone. Para obter as dimensões reais das vigas, utilizou-se um paquímetro e uma trena.

#### 3.2 Teste de Flexão Estática

O ensaio de flexão estática é utilizado para mensurar o módulo de elasticidade de peças estruturais. Na atualidade, essa mensuração é empregada para classificar a madeira, onde este ensaio está envolto da relação entre carga e deflexão de uma viga de madeira. Mediante a realização do ensaio de flexão estática nas vigas de madeira, os resultados foram defrontados com os valores do ensaio de vibração transversal com e sem incremento de massa, a fim de comparar os resultados e verificar encontrados. Os ensaios de flexão estática

(Figura 2) foram realizados na Madeireira Tamandaré, sendo realizados em acordo com a norma ASTM D4761-91. As vigas de madeira foram dispostas sobre dois cavaletes, foi posicionado no centro dentro dos cavaletes, um relógio comparador com resolução de 0,01mm e curso máximo de 30 mm para mensurar o deslocamento de duas cargas de 19,61 N cada, como mostra a figura 3. Mediante o uso da equação 33, foi possível determinar o módulo de elasticidade por intermédio do incremento das cargas.

Figura 3 – Ensaio de flexão estática com um ponto.



$$MOE = \frac{\Delta F \cdot L^3}{48 \cdot \Delta f \cdot I} \quad (33)$$

Em que:

- MOE é o módulo de Elasticidade (MPa);
- $\Delta F$  é o acréscimo de carga (N);
- L é o vão entre os apoios (mm);
- $\Delta f$  é o acréscimo de deslocamento (mm);
- I é o momento de inércia da seção transversal (mm<sup>4</sup>).

### 3.3 Acelerômetro do smartphone

Os Smartphones de acordo com Queiroz et al. (2016), possuem vários sensores, sendo dois indispensáveis, sendo eles o acelerômetro, que vai detectar a variação do movimento ou aceleração nos três componentes dos eixos perpendiculares, X, Y e Z e o giroscópio, como mostra a figura 4, que mede e obtém a orientação do aparelho, sensor este que não utilizaremos em nossa pesquisa. O acelerômetro mensura as forças de aceleração efetuadas em um objeto, a partir da sua movimentação, ou do local no qual o sensor se encontra, que com sua inércia, em relação a um referencial interno, é detectada a perturbação e ela é transformada em um sinal elétrico, que é convertido por intermédio da transformada de Fourier. O acelerômetro mensura a aceleração no intervalo  $\pm 2g$  (g é a aceleração da gravidade), tomando como base um ponto de referência inercial. A precisão do acelerômetro é 0,002g, porém devido a ruídos provenientes de vibrações mecânicas do próprio smartphone, há limitações. O aplicativo utilizado nesta pesquisa foi o myFrequency, versão 2.1, desenvolvido pela APPTodate.

Figura 4 - Eixos das componentes da aceleração de um Smartphone. Fonte: Laboratório Mobilis Computação Móvel

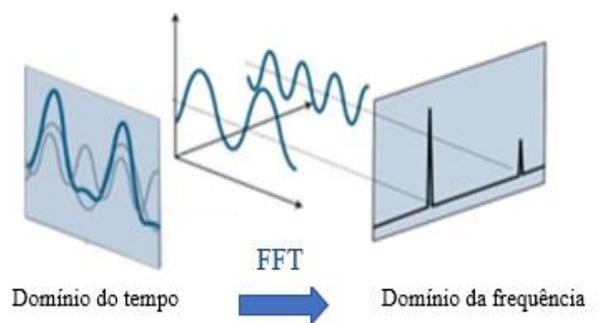


### 3.4 Transformada de Fourier

Há diversos problemas que possuem elevado grau de dificuldade para serem resolvidos diretamente, sendo uma solução mais viável usar a transformada inversa. Um sinal no domínio do tempo é constante em nosso dia a dia, porém, torna mais simples e elucidativo se lidarmos no domínio da frequência, ao qual este domínio é determinado por intermédio da Transformada de Fourier.

Pela Transformada de Fourier foi viável transformar os dados obtidos do sinal no domínio do tempo, para o sinal no domínio da frequência, possibilitando o conhecimento do espectro da frequência do sinal, como mostra a figura 5.

Figura 5 - Aplicação da Transformada de Fourier  
Fonte: Stunning Palace Made Using CG



De acordo Takazono e Cheung (2018) para que a função seja aperiódica, ou seja, não ocorra repetições, considera-se que o tempo vai tender ao infinito, o que possibilita a função ser aperiódica. Existe variadas formas de explicar uma transformada, porém a mais proveitosa está exposta nas equações (35) e (36):

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \quad (35)$$

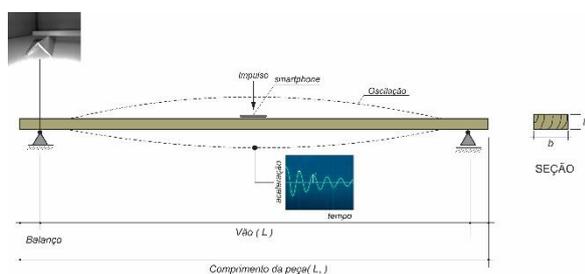
$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \cdot e^{i\omega t} d\omega \quad (36)$$

A transformada de Fourier possibilita a reversão, ou seja, o sinal processado, que possui os dados a respeito da frequência, volta para o sinal bruto, que possui os dados a respeito do tempo.

### 3.5 Classificação mecânica por vibração transversal

Feita a escolha das vigas de madeira, elas foram pesadas, logo em seguida foram anotados as suas espessuras e larguras, que foram medidas na base, no meio e no topo, mediante os três valores encontrados para cada viga, foi feito uma média deles. Posicionando os cavaletes e logo em seguida a viga de madeira sobre os cavaletes, após isso, foi colocado um peso de 2kg e o smartphone no centro do vão, sobre a viga de madeira, mediante a aplicação de uma força manual sobre a viga, foi gerado uma vibração livre e amortecida, Figura 6.

Figura 6 – Ensaio de vibração transversal.



O acelerômetro contido no aplicativo myFrequency foi ligado a uma frequência de 500Hz, com isso, a aceleração de vibração transversal da viga foi aferida pelo myFrequency. Após feita análise dos gráficos contidos no aplicativo e a partir daí, pode-se obter a primeira frequência natural. Feita essa primeira etapa do ensaio, foi realizado todo o processo novamente, porém foi incrementado mais 2kg, totalizando 4kg sobre a viga de madeira. Foi aplicado novamente uma força manual sobre a viga e o aplicativo myFrequency, forneceu a segunda frequência natural. Mediante o conhecimento das frequências, calcula-se o módulo de elasticidade longitudinal dinâmico com o uso da equação (25).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores encontrados nos apontam que as amostras ensaiadas possuem uma certa variação, quando os módulos de elasticidades são comparados, mediante a sua determinação pelas três metodologias usadas. O módulo de elasticidade dinâmico, determinado pelo método da vibração transversal sem incremento de massa é 2,439 % menor quando comparado com o módulo de elasticidade estático, da mesma forma o módulo de elasticidade com incremento de massa é 1,797 % maior em relação ao módulo de elasticidade estático.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos resultados das três metodologias ensaiadas. Fonte: Os Autores

C.P.	MOE Estático (GPa)	MOE Dinâmico sem Incremento de Massa (GPa)	MOE Dinâmico Com Incremento de massa (GPa)
1	18,64	15,86	18,40
2	16,37	16,72	16,47
3	14,94	14,93	14,53
4	13,70	12,76	13,65
5	10,83	11,87	11,83
6	10,63	11,86	10,59
7	9,85	10,18	10,13
8	9,47	8,43	9,74
9	9,86	8,31	9,66
10	5,90	5,20	5,62
11	5,71	4,76	5,57
12	4,88	5,69	5,56
13	5,79	5,06	5,49
14	5,18	5,55	5,48
15	4,34	4,12	5,23
16	4,12	4,06	4,66
17	4,23	4,55	4,65
18	4,54	4,94	4,61
19	4,47	4,36	4,34
20	3,50	3,54	4,27
21	3,61	3,62	4,25
22	4,31	4,25	3,89
23	4,19	4,28	3,62
<b>Média</b>	<b>7,79</b>	<b>7,60</b>	<b>7,93</b>

Após serem realizados as análises dos resultados dos ensaios de flexão estática e de vibração transversal sem e com incremento de massa, podemos compreender a correlação entre eles, mediante a regressão linear simples. Os resultados dos módulos de elasticidade obtidos pelas metodologias escolhidas, foram dispostos em um gráfico, onde os valores do ensaio de flexão estática foram alocados como sendo uma variável independente, eixo das abscissas, eixo (x), e os valores dos ensaios de vibração transversal foram alocados como uma variável dependente, eixo das coordenadas, eixo (y), Figura 7 e 8.

Figura 7 – Diagrama de dispersão e reta de regressão entre MOE Estático e MOE Dinâmico sem Incremento de Massa. Fonte: Os Autores

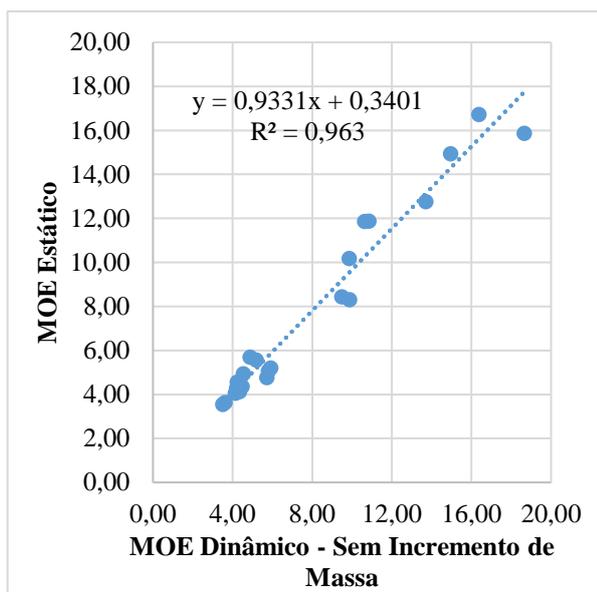
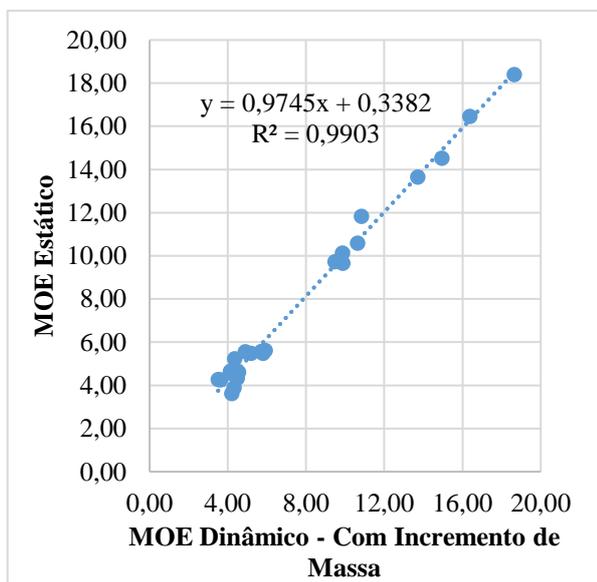
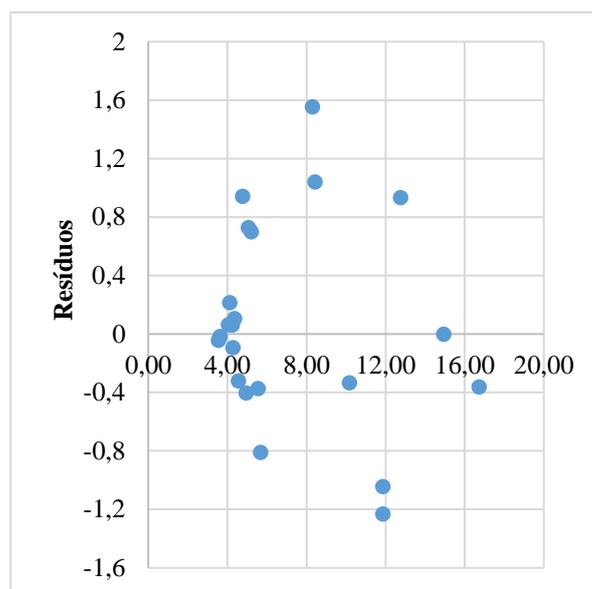


Figura 8 – Diagrama de dispersão e reta de regressão entre MOE Estático e MOE Dinâmico com Incremento de Massa. Fonte: Os Autores



Mediante os dados da Figura 7, percebe-se que existe evidência estatística, a partir o valor de  $R^2$ , que nos permite correlacionar os valores do módulo de elasticidade estático e dinâmico. Portanto, para verificar a igualdade de variância, foi utilizado um gráfico dos resíduos (Figura 9) contra os valores estimados pela reta de regressão, onde pode-se concluir que a variância é constante.

Figura 9 – Resíduos dos modelos de regressão linear. Fonte: Os Autores



A tabela 2 apresenta o quadro de ANOVA utilizado para verificar a qualidade do modelo ajustado.

Tabela 2 – Quadro de ANOVA para os dados do  $MOE_{Estático}$  e do  $MOE_{Sem\ incremento\ de\ massa}$ . Fonte: Os Autores

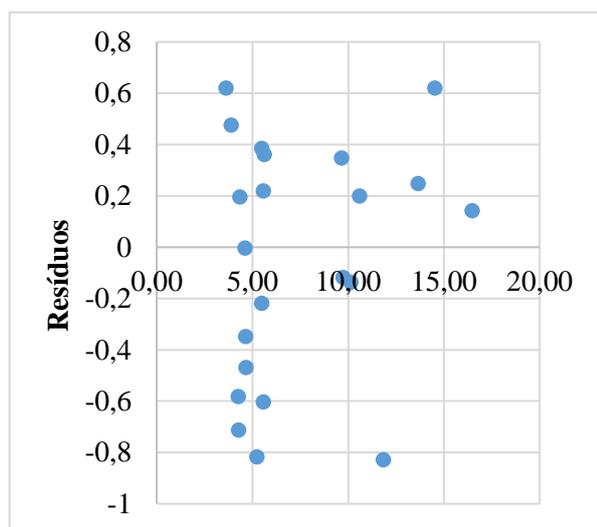
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
<b>Regressão</b>	1	1490,2	1490	3050,5	2,43E-23
<b>Resíduo</b>	21	10,3	0,49		
<b>Total</b>	22	1500,4			

Como  $F_{cal} = 3050,46 > F_{0,05} = 0$  rejeita-se  $H_0$  ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ . De acordo com os dados a um nível de significância de  $\alpha = 0,05$ , pode-se concluir que existe evidência estatística de que a proporção da variância total explicada pela equação de regressão é altamente significativa. Portanto o modelo de regressão linear é dado por  $MOE_{Estático} (GPa) = 0,9331 \times MOE_{Sem\ incremento\ de\ massa} (GPa) + 0,3401$  é adequado para representar a relação entre o  $MOE_{Estático}$  e o  $MOE_{Sem\ incremento\ de\ massa}$  para a espécie e dimensões consideradas.

Portanto, para verificar a igualdade de variância, foi utilizado um gráfico dos resíduos contra os valores estimados pela reta de regressão. A Figura 10 mostra este gráfico, do mesmo pode-se concluir que a variância é constante.

Figura 10 – Resíduos dos modelos de regressão linear.

Fonte: Os Autores



A tabela 3 apresenta o quadro de ANOVA utilizado para verificar a qualidade do modelo ajustado.

Tabela 3 – Quadro de ANOVA para os dados do  $MOE_{Estático}$  e do  $MOE_{Com\ incremento\ de\ massa}$ . Fonte: Os Autores

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
<b>Regressão</b>	1	1495,8	1495	6845,4	7,77E-27
<b>Resíduo</b>	21	4,6	0,22		
<b>Total</b>	22	1500,4			

Como  $F_{cal} = 6845,4 > F_{0,05} = 0$  rejeita-se  $H_0$  ao nível de significância  $\alpha = 0,05$ . De acordo com os dados a um nível de significância de  $\alpha = 0,05$ , pode-se concluir que existe evidência estatística de que a proporção da variância total explicada pela equação de regressão é altamente significativa. Portanto o modelo de regressão linear é dado por  $MOE_{Estático} \text{ (GPa)} = 0,9745 \times MOE_{Com\ incremento\ de\ massa} \text{ (GPa)} + 0,3382$  é adequado para representar a relação entre o  $MOE_{Estático}$  e o  $MOE_{Com\ incremento\ de\ massa}$ , para a espécie e dimensões consideradas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio dos resultados, pode-se concluir que:

- ✓ O ensaio vibração transversal pela nova metodologia de incremento de massa gera resultados semelhantes aos obtidos pelo ensaio de flexão estática, na qual os valores são 1,797 % maiores em média;
- ✓ Comparando os resultados obtidos sem o incremento de massa com a nova técnica, verifica-se um melhor coeficiente de determinação  $R^2 = 0,99$  em relação ao valor de  $R^2 = 0,96$ .

- ✓ A utilização do acelerômetro mostra-se eficaz na obtenção dos módulos de elasticidade nos elementos estruturais.

## 6. AGRADECIMENTOS

A Deus, a meus pais e a minha esposa por estarem sempre ao meu lado.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e principalmente ao curso de Engenharia Civil que me possibilitaram chegar até este momento.

Ao meu caríssimo orientador Prof. Dr. Andrés Batista Cheung, pela paciência, por acreditar e não desistir de mim.

A todos os meus amigos, familiares e colegas, que direta ou indiretamente me ajudaram a conquistar esse sonho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-3**: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASTM **D198-84**. “Standard Methods of Static Test of Timber in Structural Sizes.” American Society of Testing and Materials, 1997.

ASTM **D4761-96**. “Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material.” American Society of Testing and Materials, 1998.

CARREIRA, M.; CHEUNG, A.B.; OLIVEIRA, F. G. R.; DIAS, A. A.; CALIL JR., C.; SALES, A.; STAMATO, G. **Avaliação de técnicas não-destrutivas aplicadas à madeira de pinus sp.** In: III Pan-American Conference Nondestructive Testing - PANNDT, 3., 1994, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro - RJ: ABENDE, 2003.

CHRISTOFORO, A.L.; MOLINA, J.C.; PANZERA, T.H. **MÓDULO DE ELASTICIDADE EM VIGAS DE MADEIRA DE DIMENSÕES ESTRUTURAIS PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS** Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.5, p.981-988, 2013.

Laboratório Mobilis Computação Móvel (2013). **Acelerômetros: Uso Em Celulares E Detecção De Velocidade**. Disponível em: (<http://www.decom.ufop.br/imobilis/acelerometros-uso-em-celulares-e-deteccao-de-velocidade-parte-1/>). Acessado em: (05 de setembro de 2019).

MOCHAN, S.; CONNOLLY, T.; MOORE, J. **Using Acoustic Tools in Forestry and the Wood Supply**

- Chain.** Edinburgh: Forestry Commission, sep. 2009. Technical Note. 6 p. Disponível em: (<https://www.forestryresearch.gov.uk/documents/1445/FCTN018.pdf>). Acessado em: (06 de setembro de 2019).
- QUEIROZ, S. S. F.; LEITE, C. R. M.; RIBEIRO NETO, P. F.; MAGALHÃES, D. A.; SILVA, J. E. G. **SOS Móvel: sistema para auxiliar pessoas na solicitação de socorro.** Revista Brasileira de Computação Aplicada (ISSN 2176-6649), Passo Fundo, v. 8, n. 3, p. 34-50, out. 2016. Disponível em: (<http://seer.upf.br/index.php/rbca/article/view/5920/3953>). Acessado em: (13 de agosto de 2019).
- PILKEY, Walter D. **Fórmulas for stress, strain, and structural matrices.** Volume I, 2 ed, John Wiley and Sons; Inc: New Jersey. 2004, cap. 10.4, 1547 p
- SEGUNDINHO, P. G. DE A.; CARREIRA, M. R.; CALIL NETO, C.; REGAZZI, A. J.; DIAS, A. A.; CALIL JUNIOR, C. **Avaliação do módulo de elasticidade de peças de madeira laminada colada (MLC) obtido por meio do ensaio de vibração transversal.** Evaluation of the modulus of elasticity of glued laminated timber beams obtained by transverse vibration. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 7-14, abr./jun. 2013. Disponível em: (<http://www.scielo.br/pdf/ac/v13n2/a02v13n2.pdf>) Acesso em: (25 de maio de 2019).
- TAKAZONO, J. G; CHEUNG, A. B. **Utilização de Smartphone para a classificação mecânica do Pinus sp pelo método de vibração transversal.** Anais eletrônicos do 16º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira/ 3º Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira Disponível em: (<http://eventos.eesc.usp.br/ebtramem2018>) Acesso em: (25 de março de 2019).
- VIEIRA, L. P.; Aguiar, C. E. **Mecânica com o acelerômetro de smartphones e tablets Física na Escola,** v. 14, n. 1, 2016. Disponível em: (<http://www.sbfisica.org.br/fne/ Vol14/Num1/fne-14-1-a03.pdf>). Acessado em: (09 de agosto de 2019).