

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DO CAFÉ

FILGUEIRAS, William Heringer, UNIVALE, e-mail: [williamhf@univale.br](mailto:williamhf@univale.br);

QUEIROZ, Daniel Marçal de, UFV;  
 DIAS, Gutemberg Pereira, UFV;  
 DELLA LUCIA, Ricardo Marius, UFV

**RESUMO:** Com o objetivo de fornecer dados para o desenvolvimento de sistemas de colheita mecânica, determinaram-se as propriedades mecânicas da parte lenhosa (tronco e galhos) do cafeeiro no período do ano correspondente à fase de colheita. Foram determinados o módulo de elasticidade à compressão e à flexão e o módulo de rigidez à torção. Com base nos resultados obtidos nos testes realizados, pôde-se concluir que o módulo de elasticidade à compressão variou, para a faixa de diâmetros entre 10,7 mm e 71,5 mm, de 1,392 GPa a 2,347 GPa, respectivamente. O módulo de elasticidade à flexão variou, para a faixa de diâmetros entre 5,4 mm e 41,7 mm, de 3,562 GPa a 1,795 GPa, respectivamente. O módulo de rigidez à torção variou, para a faixa de diâmetros entre 5,3 mm e 71,50 mm, de 0,504 GPa a 0,249 GPa, respectivamente.

**ABSTRACT:** In order to provide data for the development of mechanical systems of harvesting, the mechanical properties of the coffee plant woody parts (trunk and branches) in a period correspondent to the harvest phase, were initially determined. It was determined the modulus of elasticity to compression and to bending and also the modulus of rigidity to torsion. Based on tests results, it could be concluded that the elasticity modulus to compression varied, for a diameter range of 10.7 to 71.5 mm, from 1.392 to 2.347 GPa, respectively. The elasticity modulus to bending varied to, for a diameter range of 5.4 to 41.7 mm, from 3.562 to 1.795 GPa, respectively. The rigidity modulus to torsion varied, for a diameter range of 5.3 to 71.50 mm, from 0.504 GPa to 0.249 GPa, respectively.

**PALAVRAS-CHAVES:** café - colheita - propriedades mecânicas - madeira

## INTRODUÇÃO

O café é um dos poucos produtos agrícolas cujo preço é baseado em parâmetros qualitativos, variando significativamente o valor com a melhoria de sua qualidade. Devido à perda de qualidade durante os tratamentos culturais, a colheita, o pré-processamento e o beneficiamento, o produto pode sofrer diferentes reduções de preço.

De acordo com DIENER et al. (1969), no projeto dos sistemas de colheita com remoção de massa e com garras vibratórias, os engenheiros necessitam conhecer as propriedades mecânicas e de crescimento das árvores frutíferas. Para MOINI et al. (1981), a madeira, em geral, tem sido tratada como um material anisotrópico, que mostra predominantemente comportamento elástico. Conseqüentemente, muitos esforços têm sido feitos para descrever a madeira como um material linearmente elástico, determinando-se, assim, seu módulo de elasticidade.

Uma investigação sobre as propriedades físicas da madeira das videiras, segundo LOGAVI e STUDER (1981), foi empreendida, como parte de um estudo geral visando a compreensão mais clara da resposta de vibração das videiras durante a colheita mecânica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os cafeeiros usados nos testes foram plantados em março de 1987 e as propriedades foram medidas quando os cafeeiros tinham 10 anos de idade, sendo classificados como Catuaí Vermelho UFV-2237.

Os testes de compressão foram realizados segundo a norma ASTM D143-55 (ASTM, 1994), com a exceção da seção transversal e do comprimento do corpo. Corpos-de-prova retos e recentes foram obtidos dos cafeeiros e submetidos a testes de compressão por uma Máquina Universal de Ensaio "LOS", com capacidade para 400.000 N. O módulo de elasticidade à compressão foi obtido a partir da equação

$$E = \frac{P}{e} = \frac{\frac{A}{\Delta L}}{L}$$

em que E é o módulo de elasticidade à compressão, Pa;  $\sigma$  é a tensão de compressão, Pa;  $\epsilon$  é a deformação linear unitária; P é a força aplicada no corpo-de-prova, N; A é a área média do corpo-de-prova, m<sup>2</sup>;  $\Delta L$  é a variação do comprimento do corpo-de-prova, m; e L<sub>i</sub> é o comprimento inicial do corpo-de-prova, m.

Para os galhos mais finos, com diâmetros próximos de 5 mm, foram realizados ensaios de flexão para a determinação do módulo de elasticidade. A força foi aplicada na metade do corpo-de-prova e variou entre 0,431 N e 2,182 N; o vão utilizado para flexão foi de 118,6 mm. A deflexão causada pela força foi determinada no centro do corpo-de-prova, utilizando-se um relógio comparador marca TESA, com precisão de 0,01 mm.

Testou-se também a flexão de corpos-de-prova com diâmetros de 10 mm, alterando-se apenas a força aplicada na metade do corpo-de-prova, que variou entre 0,237 N e 4,128 N.

A determinação do módulo de elasticidade dos corpos-de-prova com 20 mm de diâmetro teve como vão para flexão a distância de 180,5 mm. A força foi aplicada na metade do corpo-de-prova e variou entre 10,77N e 90,21N.

Os corpos-de-prova de 40 mm foram testados à flexão, utilizando a Máquina Universal de Ensaio LOS, de capacidade de 100.000 N, localizada no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira da Universidade Federal de Viçosa. O vão para flexão usado foi de 0,48 m. As cargas foram aplicadas de 49 N em 49 N, até o valor máximo de 784 N.

O módulo de elasticidade à flexão foi obtido a partir da equação

$$E_f = \frac{F.L^3}{48.y.I} = \frac{S_e.L^3}{48.I}$$

em que  $E_f$  é o módulo de elasticidade à flexão, Pa;  $F$  é a força aplicada no ponto médio, N;  $L$  é o vão entre apoios, m;  $y$  é a deflexão no ponto médio, m;  $I$  é o momento de inércia da seção transversal,  $m^4$ ; e  $S_e$  é a inclinação da reta da força versus deflexão linear, determinada no experimento.

Os módulos de rigidez à torção dos corpos-de-prova com diâmetro de 40 mm a 70 mm foram obtidos utilizando-se um torno mecânico. O torque aplicado foi medido utilizando-se um torquímetro com capacidade de até 28,25 m.N. Os deslocamentos angulares foram medidos utilizando-se um relógio comparador marca TESA, com precisão de 0,01 mm.

Os ensaios de torção para corpos-de-prova com diâmetros de 5, 10 e 20 mm foram conduzidos com o auxílio de uma furadora de coluna.

O módulo de rigidez à torção foi determinado pela equação 3:

$$G = \frac{32.T.L}{\phi.p.d^4} = \frac{32.b_t.L}{p.d^4}$$

em que  $G$  é o módulo de rigidez à torção, Pa;  $L_t$  é o comprimento do eixo sob torção, m;  $T$  é o momento de torção, m.N;  $\phi$  é o ângulo de torção, rad;  $d$  é o diâmetro médio do corpo-de-prova, m; e  $\beta_t$  é a inclinação da reta do torque versus deformação angular que foi determinada pelo experimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados apresentados no Quadro 1, verifica-se que para diâmetros entre 10,7 e 41,3 mm o módulo de elasticidade à compressão aumentou com o aumento do diâmetro do corpo-de-prova. Esse comportamento pode estar associado ao aumento da massa específica com o aumento do diâmetro.

Quadro 1 - Módulos de elasticidade à compressão dos corpos-de-prova em função dos diâmetros de troncos e galhos

Corpos-de-Prova	Diâmetro (mm)	Massa Específica (kg.m <sup>-3</sup> )	Módulo de Elasticidade à Compressão (GPa)	
			Média	Desvio-Padrão
Galho	10,7	1015,6	1,392	0,1791
Tronco	21,5	1035,3	2,172	0,4201
Tronco	41,3	1041,4	2,369	0,2325
Tronco	71,5	1105,6	2,347	0,3248

No Quadro 2 com exceção do corpo-de-prova com diâmetro de 5,4 mm, observa-se que o módulo de elasticidade à flexão aumenta com o aumento do diâmetro, tal como ocorreu para o módulo de elasticidade à compressão.

Os resultados obtidos nos testes de flexão realizados foram menores que os obtidos por YUNG e FRIDLEY (1974). Estes autores obtiveram módulos de rigidez à flexão na faixa de 7,31 a 4,21 GPa para diâmetros de corpo-de-prova na faixa de 75 a 6,4 mm. Uma das possíveis explicações para esse comportamento está na diferença de massa específica dos corpos-de-prova.

No Quadro 3 os resultados obtidos de módulo de rigidez à torção não permitem tirar uma conclusão definida a respeito do efeito do diâmetro do corpo-de-prova no valor do módulo de rigidez à torção, uma vez que os três primeiros resultados (diâmetros dos corpos-de-prova entre 5,3 e 19,9 mm) foram determinados utilizando-se uma furadora de coluna, ao passo que os outros dois testes (diâmetros dos corpos-de-prova de 41,3 e 71,5 mm) foram determinados utilizando-se um torno mecânico.

Quadro 2 - Módulos de elasticidade à flexão dos corpos-de-prova em função dos diâmetros dos troncos e galhos

Corpos-de-Prova	Diâmetro (mm)	Massa Específica (kg.m <sup>-3</sup> )	Módulo de Elasticidade à Flexão (GPa)	
			Média	Desvio-Padrão
Galho	5,4	977,9	3,562	0,647
Galho	10,6	1015,6	1,257	0,311
Tronco	21,2	1035,3	1,373	0,145
Tronco	41,7	1041,4	1,795	0,362

Quadro 3 - Módulos de rigidez à torção dos corpos-de-prova como função dos diâmetros dos galhos

Corpos-de-Prova	Diâmetro (mm)	Massa Específica (kg.m <sup>-3</sup> )	Módulo de Rigidez à Torção (GPa)	
			Média	Desvio-Padrão
Galho	5,3	977,9	0,5041	0,06224
Galho	10,0	1015,6	0,4439	0,05657
Tronco	19,9	1035,3	0,3517	0,05438
Tronco	41,3	1041,4	0,1785	0,02336
Tronco	71,5	1105,6	0,2487	0,01755

## CONCLUSÕES

Visando fornecer dados para o desenvolvimento de sistemas de colheita mecânica, o presente trabalho teve o objetivo de determinar as propriedades mecânicas da madeira do cafeeiro no período de colheita. Com base nos resultados obtidos nos testes realizados, pode-se concluir que:

O módulo de elasticidade à compressão variou, para a faixa de diâmetros entre 10,7 mm e 71,5 mm, de 1,392 GPa a 2,347 GPa, respectivamente.

Para os diâmetros entre 10,7 e 41,3 mm o módulo de elasticidade à compressão aumentou com o aumento do diâmetro do corpo-de-prova.

Os valores de módulos de elasticidade à compressão, em geral, foram superiores aos valores dos módulos de elasticidade à flexão.

O módulo de elasticidade à flexão variou, para a faixa de diâmetros entre 5,4 mm e 41,7 mm, de 3,562 GPa a 1,795 GPa, respectivamente.

O módulo de rigidez à torção variou, para a faixa de diâmetros entre 5,3 mm e 71,5 mm, de 0,504 GPa a 0,249 GPa, respectivamente.

A massa específica dos corpos-de-prova variou, para a faixa de diâmetros entre 5,5 mm e 71,5 mm, de 977,9 kg.m<sup>-3</sup> a 1105,6 kg.m<sup>-3</sup>, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**. v. 04.10 Wood. D-143-55. July, 1994.

- DIENER, R. G., LEVIN, J. H., BRADLEY, W. A. Seasonal changes in creep, relaxation, elasticity and damping of leave apple-tree limbs (Properties affecting mechanical harvesting). **Transactions of the ASAE**, v.12, n.1, p. 137-140, 1969.
- LOGAVI, M., STUDER, H. E. Elastic modulus, damping and specific mass of grapevine wood. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 5, p. 1122-1126, 1981.
- MOINI, S., MILES, J. A., CHEN, P. Physical properties of ponderosa pine tree. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 4, p. 1058-1061, 1981.
- YUNG, C., FRIDLEY, R. B. **Computer analysis of fruit detachment during tree shaking**. St. Joseph: ASAE. 1974 (Paper n. 74-3009).

## **AVISO**

ESTA PUBLICAÇÃO PODE SER ADQUIRIDA NOS  
SEGUINTE ENDEREÇOS:

### **FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES**

Edifício Sede, s/nº. - Campus Universitário da UFV  
Viçosa - MG  
Cep: 36571-000  
Tels: (31) 3891-3204 / 3899-2485  
Fax : (31) 3891-3911

### **EMBRAPA CAFÉ**

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (Final)  
Edifício Sede da Embrapa - sala 321  
Brasília - DF  
Cep: 70770-901  
Tel: (61) 448-4378  
Fax: (61) 448-4425