

## **EFEITO DA VELOCIDADE DE COMPRESSÃO E DA PRESENÇA DE PEDÚNCULO NO MÓDULO DE DEFORMIDADE DE FRUTOS DE CAFÉ**

RUFFATO, S.<sup>1</sup>; COUTO, S.M.<sup>2</sup>; DEVILLA, I.A.<sup>3</sup> e PEIXOTO, A.B.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng.<sup>a</sup>-Agrícola, Doutoranda, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, CEP 36571-000 Viçosa-MG; Fone (31) 3899 1924 – Fax (31) 3899 2735, <sruffato@alunos.ufv.br>; <sup>2</sup> Ph.D., Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, <scouto@mail.ufv.br>; <sup>3</sup> Eng.<sup>o</sup>-Agrícola, Doutorando, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, <devilla@alunos.ufv.br>; <sup>4</sup> Estudante de Engenharia de Alimentos, UFV, <abraao@bahia.net>

**RESUMO:** Foram determinados módulos de deformidade de frutos de café em dois diferentes estádios de maturação identificados pela coloração “verde” e “cereja”. Os módulos foram obtidos para o produto comprimido a diferentes velocidades e em função da presença de pedúnculo nos frutos “cereja”. A velocidade de compressão tem influência nos valores dos módulos dos frutos. A variação do valor do módulo do fruto com a velocidade de compressão é diferenciada de acordo com o estágio de maturação do produto. Os intervalos de variação dos módulos dos frutos “cereja” com e sem pedúnculo se sobrepõem.

**Palavras-chave:** café, compressão, deformação.

### **MODULUS OF DEFORMABILITY OF COFFEE FRUITS AS AFFECTED BY COMPRESSION SPEED AND PRESENCE OF PEDUNCLE**

**ABSTRACT:** Modulus of deformability of coffee fruits at two different maturation levels, named by their coloration as “green” and “cherry”, were determined in this work. The modulus were obtained for the product compressed at different compression speeds. In the case of cherry fruits, it was investigated the effect of the presence of peduncle on the modulus values. The compression speed has influence in the values of the fruit modulus. The variation of the value of the fruit modulus with the compression speed is differentiated according to the product maturation level. The presence of the peduncle in the cherry fruits seems not of affect in the values of the deformity modulus.

**Key Words :** coffee, compression, deformation.

### **INTRODUÇÃO**

O conhecimento das propriedades mecânicas básicas é um requerimento para simulações e cálculos para predição do comportamento de um material submetido a diferentes tipos de carregamentos, essenciais ao projeto e dimensionamento de equipamentos. Dentre essas propriedades evidenciam-se os módulos de elasticidade e de deformidade do material. O conhecimento desses módulos permite que sejam feitas comparações de resistências relativas de vários materiais (SEGERLIND, 1984). Muitos pesquisadores têm usado um espécime do produto (forma geométrica padrão) para determinar, por meio de testes de compressão do material entre placas paralelas, o módulo de elasticidade, ou de deformidade, de grãos e outros materiais biológicos (MOHSENIN et al., 1963; FINNEY et al., 1964; DAVIS, 1937; ZOERB e HALL, 1960; SHELEF e MOHSENIN, 1966). Entretanto, a utilização de espécimes do material para determinação do módulo de elasticidade é bastante questionada. A determinação do módulo de elasticidade de materiais intactos que apresentam superfícies convexas (grãos, frutos e vegetais intactos), por meio de testes de compressão uniaxial entre placas paralelas, torna-se mais complexa; o contorno convexo do produto faz com que as áreas de contato, entre o material e as placas, variem de acordo com a deformação do produto. Hertz, em 1896, propôs uma solução para a determinação das tensões durante o contato de dois corpos convexos, elásticos e isotrópicos, pressionados um contra o outro. Esta teoria é amplamente usada nos dias atuais.

Com base no exposto, este trabalho teve por objetivo a determinação do módulo de deformidade de frutos de café. Foram investigadas as variações nos módulos de deformidade do produto provenientes da (a) presença de pedúnculo em frutos “cereja” e (b) velocidade usada na compressão de frutos “cereja” e “verde”.

## MATERIAL E MÉTODOS

Nas determinações do módulo de deformidade, trabalhou-se com frutos de café, variedade Catuaí Vermelho, nos estádios de maturação “cereja” e “verde”. Os frutos de cor “cereja” foram retirados das plantas com e sem o pedúnculo, enquanto com os frutos de cor “verde” não houve essa preocupação. Em cada situação investigada, o fruto do café, considerado um corpo convexo, foi comprimido entre duas placas paralelas e os dados de “força-deformação”, provenientes dos testes de compressão, foram usados, com o método de Hertz, para determinar um módulo de elasticidade aparente (E) por meio da equação (AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK OF STANDARDS, 1994):

$$E = \frac{0,531F(1 - \nu^2)}{D^{3/2}} \left[ \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^{1/3} + \left( \frac{1}{r_2} + \frac{1}{R_2} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (1)$$

em que

F – força (N);

D – deformação elástica do corpo em ambos os pontos de contato (com a placa superior e com a inferior) (m);

$\mu$  – razão de Poisson; e

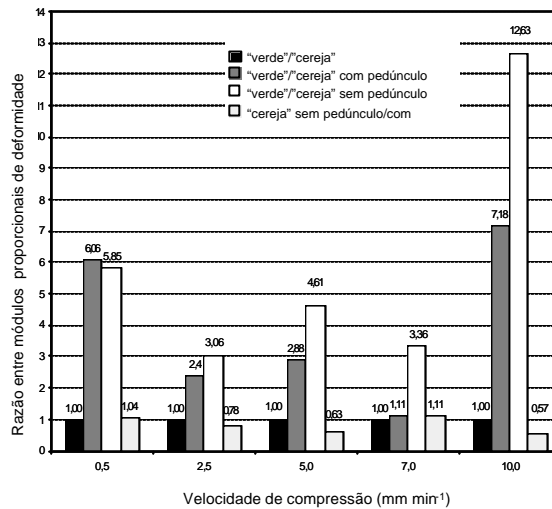
$r_1, R_1, r_2$  e  $R_2$  – raios de curvatura do corpo convexo nos pontos de contato (m).

Na utilização da equação 1 foram feitas as seguintes considerações: (a) existência de planos de simetria nos frutos de café; assim, os raios de curvatura do produto em contato com a placa superior foram assumidos como iguais àqueles do material em contato com a placa inferior ( $R_2 = R_1$  e  $r_2 = r_1$ ); e (b) criação de uma nova variável,  $E' = \frac{E}{(1 - \mu^2)}$ , proporcional ao módulo de deformidade, mencionada no texto como “módulo proporcional de deformidade”; o módulo depende da razão de Poisson, que pode ser considerada constante para cada material, cujo valor é desconhecido para frutos de café. Para obtenção das curvas de compressão do produto (força versus deformação), frutos intactos foram submetidos a testes de compressão uniaxial em uma máquina de ensaios universal (EMIC), utilizando-se uma célula de carga de 100 kgf. Das curvas de compressão foram obtidos os valores das forças necessárias para produzir nos frutos deformações específicas iguais a 1,0; 2,5; 3,5; e 5,0%. Os dados provenientes das curvas de compressão “força-deformação específica” foram transformados em “força-deformação” e foram usados na equação 1 para obtenção de “módulos proporcionais de deformidade”. Os valores dos raios de curvatura ( $r_1$  e  $R_1$ ) do corpo nos pontos de contato foram obtidos por meio de ajustes de circunferências às curvaturas do corpo, segundo os planos coordenados relevantes à posição de compressão. Em todos os testes foram realizados ensaios com 20 frutos. Cada um dos frutos foi comprimido, segundo sua posição mais estável, pelas placas, rígidas e paralelas, da máquina de ensaios. As velocidades de compressão usadas foram de 0,5; 2,5; 5,0; 7,5; e 10 mm min<sup>-1</sup>. Os ensaios foram realizados imediatamente após a colheita e os teores de umidade dos frutos “verde” e “cereja” encontravam-se a  $75,3 \pm 0,1$ ; e  $65,0 \pm 0,2$ % b.u., respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos raios de curvatura,  $r_1$  e  $R_1$ , nos planos coordenados yz e yx, foram, respectivamente, iguais a 8,3 e 6,6 mm para frutos “cereja” e 8,9 e 6,2 mm para o produto “verde”. A Figura 1 mostra, para as diferentes velocidades de compressão, a razão entre os valores do módulo proporcional de deformidade

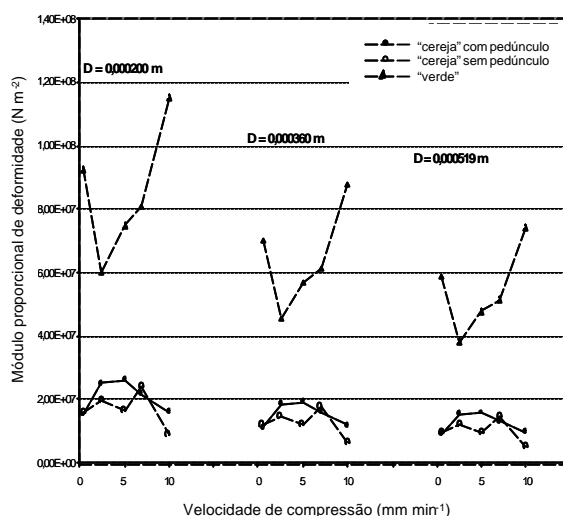
obtido para o produto “verde” e aqueles obtidos para frutos “cereja” com e sem pedúnculo. Nesta figura encontra-se, também, a razão entre os módulos de frutos “cereja” sem pedúnculo e com pedúnculo. Observa-se que, para todas as velocidades de compressão, os valores do módulo do fruto “verde” foram superiores aos dos frutos “cereja”. Já os módulos dos frutos “cereja” sem pedúnculo foram superiores aos dos com pedúnculo apenas para velocidades de compressão de 0,5 e 7,0 mm min<sup>-1</sup>.



**Figura 1** - Razão entre os valores do módulo proporcional de deformidade obtido para o produto “verde” e aqueles obtidos para frutos “cereja”, com e sem pedúnculo, e razão entre os módulos de frutos “cereja” sem pedúnculo e com pedúnculo.

A Figura 2 apresenta o comportamento do módulo de deformidade do produto em função da velocidade de compressão para deformações iguais a 0,000200, 0,000360 e 0,000519 m. As linhas que unem os pontos foram traçadas para facilitar a visualização das tendências. Pode-se observar efeito diferenciado da velocidade de compressão no comportamento dos módulos dos frutos “cereja”, com e sem pedúnculo, e do produto “verde”. Os módulos dos frutos “cereja” com pedúnculo aumentam até que a velocidade de compressão atinja um valor de 5 mm min<sup>-1</sup> e a seguir decrescem. Já os módulos dos frutos “verde” decrescem quando a velocidade de compressão varia de 0,5 a 2,5 mm min<sup>-1</sup> e, a seguir, os módulos aumentam com acréscimos na velocidade. Os módulos de fruto “cereja” sem pedúnculo inicialmente crescem com aumento de velocidade, a seguir, diminuem, tornam a crescer novamente e finalmente decrescem, apresentando o menor valor quando o produto é submetido a uma velocidade de 10 mm min<sup>-1</sup>. Em média, para todas as deformações, o menor módulo,  $(7 \pm 1) \times 10^6$  N m<sup>-2</sup>, ocorreu para fruto “cereja” comprimido sem pedúnculo a uma velocidade de 10 mm min<sup>-1</sup>, e o maior,  $(9 \pm 1) \times 10^7$  N m<sup>-2</sup>, para o “verde”, comprimido na mesma velocidade. Observa-se que, quando se desconsidera o efeito da velocidade de compressão, os valores dos módulos dos frutos “cereja”, com e sem pedúnculo, e “verde”

foram, respectivamente, iguais a  $1,6 \times 10^7$ ,  $1,3 \times 10^7$  e  $6,6 \times 10^7$  N m<sup>-2</sup> e apresentaram coeficientes de variação médios iguais a 15,8; 16,0; e 14,3%. Ao se desconsiderar o efeito da deformação, os coeficientes de variação médios dos módulos variaram de 14,0% (fruto “verde”, 10 mm min<sup>-1</sup>) até 16,5% (“cereja” sem pedúnculo, 10 mm min<sup>-1</sup>), que se encontram na mesma faixa de valores obtida quando se desprezou o efeito da velocidade. Isso é um indicativo de que os valores do módulo foram similarmente afetados pelos diferentes valores de deformação do produto e pela velocidade de compressão.



**Figura 2** - Variação do módulo proporcional de deformidade com a velocidade de compressão do produto.

## CONCLUSÃO

O módulo proporcional de deformidade é dependente do valor da deformação do fruto; quanto maior for a deformação, menor será o valor do módulo. A velocidade de compressão tem influência nos valores dos módulos dos frutos. O comportamento do módulo dos frutos, com a variação da velocidade de compressão, é diferenciado, dependendo do estágio de maturação do produto. Os módulos proporcionais de deformidade de frutos “verde”, independentemente da velocidade de compressão, foram maiores do que aqueles para o produto “cereja”. Os módulos para frutos “cereja” com pedúnculo variaram de  $(1,3 \pm 0,3) \times 10^7$  até  $(2,1 \pm 0,5) \times 10^7$  N m<sup>-2</sup>; os módulos dos “cereja” sem pedúnculo variaram de  $(1,0 \pm 0,3) \times 10^7$  até  $(1,7 \pm 0,6) \times 10^7$  N m<sup>-2</sup>; e os módulos para frutos “verde” variaram de  $(5 \pm 1) \times 10^7$  até  $(8 \pm 2) \times 10^7$  N m<sup>-2</sup>. Não existem razões para considerar os módulos dos frutos “cereja” com e sem pedúnculo diferentes; os intervalos de variação dos módulos se sobrepõem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK OF STANDARDS. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, 1994.
- DAVIS, J.G. The rheology of cheese, butter and other milk products. **Journal of Dairy Research**, v.8, p.245. 1937.
- FINNEY, E.E.; HALL, C.W.; MASE, G.E. Theory of linear viscoelasticity applied to potato. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.9, n.4, p.307-312. 1964.
- HERTZ, H. Miscellaneous Papers. MacMillan and Company, New York. 1896
- MOHSEENIN, N.; COOPER, H.E.; TUKEY, L.D. Engineering approach to evaluation of textural factors in fruits and vegetables. Transactions of the ASAE, v.6, n.2, p.85-88, 92. 1963.
- SEGERLIND, L.G. **Applied finite element analysis**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1984. 427p.
- SHELEF, L. MOHSEENIN, N.N. Moisture relations in germ-endosperm and whole corn kernel. **Cereal Chemistry**, v.43, n.3, p.347-353. 1966.
- ZOERB, G.C.; HALL, C.W. Some mechanical and rheological properties of grains. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.5, n.1, p.83-92. 1960.