

INFLUÊNCIA DO TEOR DE ÁGUA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS GRÃOS DE TRIGO SUBMETIDOS À COMPRESSÃO

MECHANICAL PROPERTIES OF WHEAT GRAINS UNDER COMPRESSION

Lara Santana FERNANDES¹; Paulo Cesar CORRÊA²; Mayra Darliane Martins Silva DINIZ³; Daniel Mariano LEITE⁴; Davi de Sousa Lima VASCONCELLOS⁵

1. Engenheira de Alimentos, Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil. lara.fernandes@ufv.br; 2. Engenheiro Agrônomo, Professor Associado, UFV, Viçosa, MG, Brasil; 3. Engenheira de Alimentos, Doutorando em Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, Brasil; 4. Doutorando em Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, Brasil; 5. Engenheiro Agrícola e Ambiental, Viçosa, MG, Brasil.

RESUMO: O estudo das características mecânicas dos produtos agrícolas é imprescindível para que os equipamentos possam ser desenvolvidos com vistas a atingir a máxima eficiência sem, contudo, comprometer a qualidade final do produto. Ao sofrer esforços mecânicos que excedem a sua força de resistência, os grãos podem apresentar trincas e quebras, aumentando a sua suscetibilidade a deterioração, durante o armazenamento. Objetivou-se com o presente trabalho verificar a influência do teor de água nos valores da força máxima de compressão para deformações pré-fixadas e determinar o módulo proporcional de deformidade de grãos de trigo submetidos à compressão, à velocidade de $0,0001 \text{ m s}^{-1}$. Foram utilizados grãos de trigo do cultivar “Brilhante”, desenvolvido a partir do BR24, com teores de água variando de 0,14 a 0,26 base seca (b.s.) submetidos a esforços de compressão uniaxial entre duas placas paralelas. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a força de compressão necessária para deformar o trigo diminui com o aumento do teor de água. O módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água e da deformação do produto, obtendo-se valores para a faixa de umidade estudada, entre $8,9 \times 10^7$ a $51,2 \times 10^7$ Pa.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades físicas. Deformidade. Secagem

INTRODUÇÃO

A qualidade do grão de trigo pode ser definida como resultado da interação que a cultura sofre no campo, do efeito das condições do solo, do manejo da cultura, da cultivar, bem como das operações de colheita, armazenamento e moagem (EDWARDS, 2004).

O teor de água dos grãos de trigo define o momento propício para a colheita, a temperatura e o tempo adequados para a secagem e o seu acondicionamento para o armazenamento ou processamento industrial na moagem (POSNER; HIBBS, 1999). A colheita retardada, com permanência do grão na lavoura após a maturação fisiológica, ou a realização de secagem com temperaturas inadequadas em função do teor de umidade contribuem para alterações indesejáveis na qualidade tecnológica do trigo (CARNEIRO et al., 2005).

O conhecimento de todo o processo de produção para a obtenção de grãos com alta qualidade torna-se indispensável, uma vez que rachaduras e quebras ocorrem nos grãos se os esforços, aos quais são submetidos, excedem a força de resistência do material. Dessa forma, algumas características mecânicas têm sido estudadas para predição do comportamento dos grãos, em função

da umidade e temperatura, quando submetidos a diferentes tipos de tensões (LIU et al., 1990).

Durante a colheita, manuseio, transporte e armazenamento, os grãos são submetidos a uma série de pressões estáticas de várias magnitudes e dinâmicas, como impacto de alta velocidade, causando escoriações, esmagamento e trincas, aumentando a sua suscetibilidade a deterioração, durante o armazenamento (BARGALE-PRAVEEN et al., 1995).

A partir da curva de “força-deformação”, obtida a partir do teste de compressão, podem-se obter parâmetros que caracterizam a resposta do material quando submetido a uma carga (RIBEIRO et al., 2007).

Dentre as diversas propriedades mecânicas, o módulo de deformidade permite que se realizem comparações de resistência relativa entre os diversos materiais (RESENDE et al., 2007). Segundo Couto et al. (2002), no estudo do comportamento mecânico de um material o módulo de deformidade é considerado mais significativo que o de elasticidade, visto que, quando um produto é comprimido, a deformação total é que tem aplicação prática.

Dessa forma, objetivou-se através do presente trabalho verificar a influência do teor de água nos valores da força máxima de compressão para deformações fixas e determinar o módulo

proporcional de deformidade de grãos de trigo submetidos à compressão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR) da Universidade Federal de Viçosa, MG. Para condução do experimento utilizaram-se grãos de trigo do cultivar “Brilhante” desenvolvido a partir do BR-24, com teor de água de aproximadamente 0,26 base seca (b.s.).

Este cultivar apresenta características positivas bem semelhantes ao do BR-24, como ampla adaptação, alto potencial produtivo, ciclo precoce, boa resistência a seca e tem como grande vantagem produzir uma farinha de trigo de boa qualidade. As principais características do seu grão são: forma ovalada e coloração vermelha,

comprimento de aproximadamente 62% médio e 38% longo e grãos duros.

Para efetuar a secagem do produto e obter os demais níveis de umidade [0,26; 0,25; 0,20; 0,16 e 0,14 (b.s)] utilizou-se uma estufa com ventilação forçada à temperatura de 45°C. Os teores de água do produto foram determinados pelo método padrão de estufa, 105 ± 1°C, durante 24 horas, em três repetições (BRASIL, 1992).

Para cada teor de água, as amostras foram homogeneizadas e encaminhadas para determinação das propriedades mecânicas.

Os ensaios de compressão nos grãos, testados individualmente, foram realizados em um texturômetro, modelo TA.HD (Stable Micro System) utilizando-se uma célula de carga de 500 N. Os grãos foram submetidos a compressão uniaxial, entre duas placas paralelas, aplicada no eixo médio, a uma taxa de aplicação de força de 0,0001 m s⁻¹ (Figura 1).

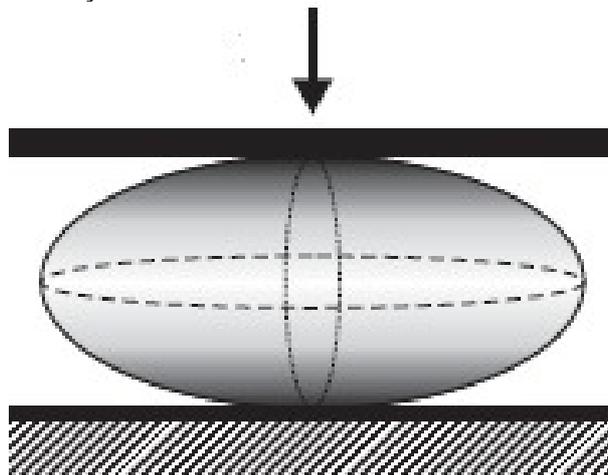


Figura 1. Compressão uniaxial entre duas placas paralelas aplicada no eixo médio do grão.

O ensaio de compressão foi finalizado quando a deformação atingiu 0,0005 m. O módulo proporcional de deformidade do trigo (E_p) foi determinado para as deformações de 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 x 10⁻³ m, adaptadas das deformações utilizadas por Batista et al. (2003), de acordo com a expressão:

$$E_p = \frac{E}{1 - \mu^2} = \frac{0,531F}{D^{3/2}} \left[2 \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (1)$$

em que,

E_p = módulo proporcional de deformidade, Pa

E = módulo de deformidade, Pa

F = força, N

D = deformação total (elástica e plástica) do corpo nos pontos de contato com a placa superior e inferior, m

μ = razão de Poisson

R, r = raios de curvatura no ponto de contato, m

O raio equivalente (R) e o de curvatura (r) dos grãos foram obtidos segundo as equações 2 e 3.

$$R \cong \frac{\sqrt[3]{ab^2}}{2} \quad (2)$$

$$r \cong \frac{b}{2} \quad (3)$$

em que,

a = maior dimensão característica do grão, m; e,

b = menor dimensão característica do grão, m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos raios de curvatura dos grãos de trigo para cada deformação e teor de água, utilizados nos cálculos para determinação do

módulo proporcional de deformidade, estão na Tabela 1, através da qual se verifica que os raios de curvatura oscilaram com o teor de água do produto; entretanto, sem ocorrência de tendência clara em função desta variável.

Encontram-se, na Figura 2, os valores médios da força máxima de compressão em função do teor de água (b.s.) para as diversas deformações.

Tabela 1. Valores médios dos raios de curvatura dos grãos de trigo ($\times 10^{-3}$ m) para cada deformação e teor de água (b.s.)

Teor de água (b.s.)	Deformação							
	0,4		0,6		0,8		1,0	
	r	R	r	R	r	R	r	R
0,26	1,15	9,51	1,48	9,91	1,45	9,04	1,54	10,62
0,25	1,60	11,54	1,50	10,58	1,54	10,08	1,54	10,99
0,20	1,50	10,09	1,51	9,85	1,46	9,62	1,52	10,33
0,16	1,52	10,41	1,45	9,64	1,51	10,40	1,53	10,68
0,14	1,44	9,48	1,48	9,83	1,47	9,75	1,50	10,02

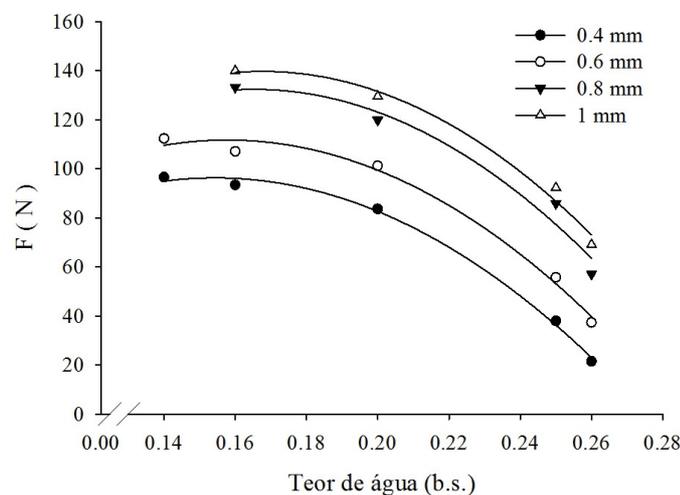


Figura 2. Valores médios da força máxima de compressão (N) em função do teor de água (b.s.) para as deformações de 0,0004; 0,0006; 0,0008 e 0,001 m.

Analisando-se a Figura 2, vê-se que a força de compressão necessária para deformar o trigo diminuiu com o aumento do teor de água. A força média necessária para as diversas deformações em função do teor de água variou entre 139,8 e 21,4N. Ribeiro et al. (2007) trabalhando com soja encontrou valores entre 127,64 e 41,19N. Já Resende et al. (2007) encontrou 253,1 e 10,5N para feijão. Assim, para teores de água mais elevados, o grão oferece pequena resistência à compressão, aumentando proporcionalmente com a redução da umidade. Essa tendência deve-se, provavelmente, à mudança gradual na integridade da matriz celular com a redução do teor de água (GUPTA; DAS, 2000).

Portella (2001) estudou a resistência mecânica de grãos de trigo na colheita mecanizada e mostrou claramente a influência do teor de água nas

perdas de qualidade dos produtos colhidos. O trabalho foi realizado em três condições de umidade, 29%, 16% e 13%, e as perdas pelos danos mecânicos no mecanismo de trilha da colhedora foram de 5,88%, 3,31% e 3,37%, respectivamente. Portanto, o índice de grãos quebrados foi inversamente proporcional ao nível de umidade dos grãos.

A partir dos dados de força de compressão obtiveram-se os módulos proporcionais de deformidade, os quais apresentaram o mesmo comportamento da força de compressão, em função do teor de água.

A equação de regressão ajustada aos valores experimentais do módulo proporcional de deformidade do trigo, em função do teor de água e da deformação, o coeficiente de determinação (R^2) e

erro médio percentual (P) a 5% de probabilidade se encontram abaixo:

$$E_p = 7,45 \cdot 10^8 + 4,31 \cdot 10^9 U - 1,83 \cdot 10^{12} D - 2,31 \cdot 10^{10} U^2 + 3,54 \cdot 10^{14} D^2 + 4,91 \cdot 10^{12} UD$$

$$R^2 = 97,45 \quad P(\%) = 0,778$$

em que,

U = teor de água, em b.s.;

D = deformação, em m.

Pela análise dos resultados, a equação ajustada se mostrou satisfatória, apresentando alto

valor do coeficiente de determinação (R^2) e reduzidas magnitudes do erro médio percentual (P).

Tem-se na Figura 3, a superfície de resposta ajustada de acordo com a equação anterior, para o módulo proporcional de deformidade do trigo, em função do teor de água e da deformação.

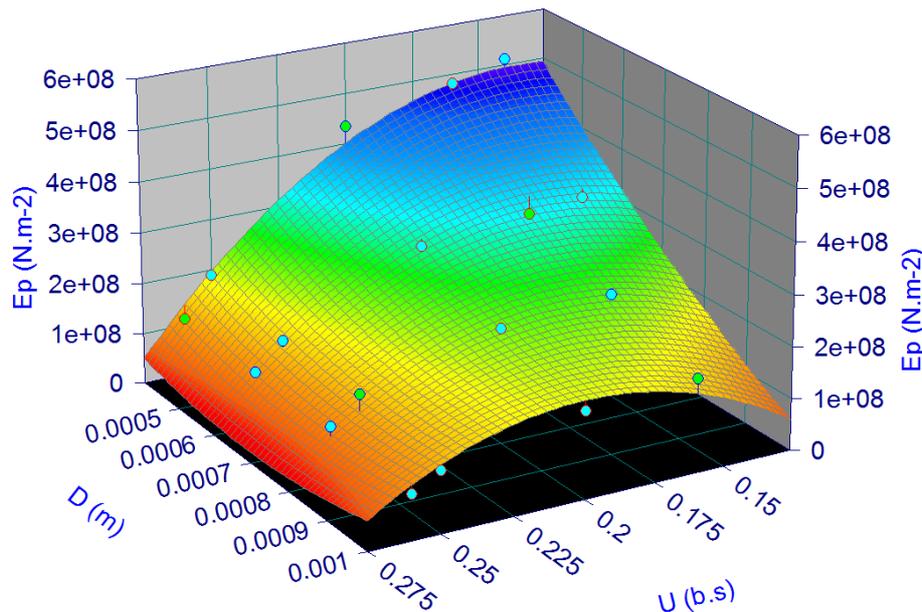


Figura 3. Valores médios do módulo proporcional de deformidade do trigo em função do teor de água (b.s.) e deformações.

O valor elevado do módulo de deformidade significa que uma força maior deve ser aplicada ao produto para, então, se obter determinada deformação (BATISTA et al., 2003).

Observa-se que os valores do módulo proporcional de deformidade aumentam com a redução do teor de água. Para a faixa de umidade estudada os valores do módulo proporcional de deformidade variaram entre $8,9 \times 10^7$ a $51,2 \times 10^7$ Pa. Esses resultados corroboram os observados por Ribeiro et al. (2007) para soja e Resende et al. (2007) para feijão, que obtiveram o módulo proporcional de deformidade de $1,68 \times 10^7$ a $5,42 \times 10^7$ e $2,6 \times 10^7$ a $56,4 \times 10^7$ Pa, respectivamente.

CONCLUSÕES

A força de compressão necessária para deformar o grão de trigo diminui com o aumento do

teor de água, para os diversos níveis de deformações, apresentando valores entre 139,8 e 21,4N.

O módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água e da deformação do produto, obtendo-se valores entre $8,9 \times 10^7$ a $51,2 \times 10^7$ Pa, para a faixa de umidade estudada.

Pelas características do grão e pelos valores obtidos para o módulo de deformidade e força de compressão, pressupõe-se que grãos com menor teor de água poderão ter um bom desempenho, com menor porcentagem de quebra, com relação à colheita mecanizada.

ABSTRACT: The mechanical characteristics study about agricultural products is crucial so the equipment can be developed in order to achieve maximum efficiency without compromising the final quality of the product. When suffering mechanical stresses that exceed their power of resistance, the grain may have cracks and breaks increasing their deterioration susceptibility during the storage. The objective was verify the influence of moisture content in the values of maximum compression force values for pre-fixed deformations and determine the proportional deformity modulus of wheat grain subjected to compression under the speed of 0.0001 m s^{-1} . It was used wheat grains of variety “Brilhante”, developed from BR24, with 0.14 to 0.26 dry basis (decimal b.s.) moisture content and were uniaxially compressed between two parallel plates. It was concluded that the compression force decreased with a moisture content increase. The proportional deformity modulus increases with the reduction of moisture content and with the deformation of the product, presenting values for the studied moisture content, between 8.9×10^7 and $51.2 \times 10^7 \text{ Pa}$.

KEYWORDS: Physical properties. Deformity. Drying

REFERÊNCIAS

- BARGALE-PRAVEEN, C.; IRUDAYARAJ, J.; MARQUIST, B. Studies on rheological behaviour of canola and wheat. **Journal Agricultural of Engineering Research**, Silsoe, v. 61, n. 2, p. 267-274, 1995.
- BATISTA, C. S.; COUTO, S. M.; CECON, P. R.; PEIXOTO, A. B. Efeito da temperatura do ar de secagem, do teor de umidade e do estágio de maturação no módulo de deformidade de frutos de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, v. Especial café, n. 6, p. 42-53, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regra para análise de sementes**. Brasília- DF, 1992. 365 p.
- CARNEIRO, L. M. T. A. et al. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 127-137, 2005.
- COUTO, S. A.; BATISTA, C. S.; PEIXOTO, A. B.; DEVILLA, I. A. Comportamento mecânico de frutos de café: Módulo de deformidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 285-294, 2002.
- EDWARDS, S. G. Influence of agricultural practices on fusarium infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. **Toxicology Letters**, v. 153, n. 1, p. 29-35, 2004.
- GUPTA, R. K.; DAS, S. K. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. **Journal of Food Engineering**, Dublin, v. 46, n. 2, p. 1-8, 2000.
- LIU, M.; HAGHIGHI, K.; STROSHINE, R. L.; TING, E. C. Mechanical properties of soybean cotyledon and failure strength of soybean kernel. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 33, n. 2, p. 559-65, 1990.
- PORTELLA, J. A. Trigo sem perdas. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas-RS, n. 32, 2001.
- POSNER, E. S.; HIBBS, A. N. **Wheat flour milling**. 2. ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1999. 341p.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; NETO FIGUEIREDO, A. Comportamento mecânico dos grãos de feijão submetidos a compressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 11, n. 4, p. 404–409, 2007.
- RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; FURTADO, B. F.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O. Propriedades mecânicas dos grãos de soja em função do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 493-500, 2007.