

# EFEITO DA TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM SOBRE A CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA DOS GRÃOS DE TRIGO

ANDRÉ L. D. GONELI<sup>1</sup>, PAULO C. CORRÊA<sup>2</sup>, OSVALDO RESENDE<sup>3</sup>, ANA P. MARTINAZZO<sup>4</sup>, ACÁCIO F. NETO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, M.S., Doutorando, Dep. de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa -UFV, Viçosa – MG, (0xx31) 38992030, e-mail: andregoneli@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, D.S., Professor Adjunto, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa - MG

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Bolsista Doutorado CAPES, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa - MG

<sup>4</sup> Eng. Agrícola, Bolsista Doutorado CNPq, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa - MG

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Bolsista Doutorado CAPES, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa - MG

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da variação do teor de água e da temperatura do ar de secagem sobre a contração volumétrica unitária do trigo e ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais. Utilizou-se grãos de trigo, com teor de água inicial de 0,32 b.s. A secagem do produto foi realizada para diferentes condições controladas de temperatura (35, 45 e 55 °C) com umidade relativa de  $55 \pm 1\%$ . O tamanho dos grãos foi determinado por meio da variação do volume, sendo este obtido por meio da medição dos três eixos ortogonais dos grãos de trigo. A contração volumétrica unitária dos grãos foi determinada pela relação entre o volume em cada teor de água e o volume inicial. Com base nos resultados encontrados conclui-se a redução do teor de água influencia na contração volumétrica unitária dos grãos de trigo. O modelo linear foi o que melhor representou os dados experimentais de contração volumétrica unitária dos grãos de trigo. Além disso, conclui-se que o aumento da temperatura do ar de secagem promove maior redução do volume inicial dos grãos de trigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trigo, contração volumétrica, modelo matemático.

## DRYING AIR TEMPERATURE EFFECT ON WHEAT GRAIN SHRINKAGE

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the effect of the moisture content variation and the drying air temperature on the wheat grain shrinkage and to adjust different mathematical model to the experimental data. Wheat grains with initial moisture content of 0.32 d.b. were used and the drying process was conducted under controlled environmental conditions of temperature of 35, 45 and 55°C and Relative Humidity of  $55 \pm 1\%$ . The size of the grains were determined by the volume variation where was obtained through the measurement of the three orthogonal axis of the wheat grain. The unitary grain shrinkage was determined by the relationship between its volume for each moisture content and the its initial volume. Based on the obtained results, it can be concluded that the moisture content reduction influences on the wheat grain shrinkage. The linear model represented better the wheat grain shrinkage experimental data. Besides that it can be concluded that the drying air temperature promoted higher shrinkage of the wheat grain.

**KEY-WORDS:** Wheat, shrinkage, mathematical model

**INTRODUÇÃO:** A representação matemática do processo de secagem de diversos produtos agrícolas há algum tempo vem sendo estudada e utilizada na tentativa de predizer os fenômenos que acontecem durante este processo. A maioria dos modelos empregados para representar a secagem dos produtos

agrícolas foi desenvolvida negligenciando-se a contração volumétrica do produto durante o processo de desidratação (Brooker et al., 1992). Estas equações vêm sendo revisadas para incorporar o efeito desse fenômeno para uma melhor simulação do processo e precisão dos resultados (Lang e Sokhansanj, 1993). Mudanças volumétricas dos produtos, devido a sua desidratação, são relatadas como sendo as principais causas das alterações das principais propriedades físicas de produtos agrícolas. Ratti (1994) e Zogzas et al. (1994), observaram que a contração volumétrica de produtos vegetais durante a secagem não é função exclusiva do teor de umidade, mas também, dependente das condições do processo e da geometria do produto. Muitos pesquisadores têm utilizado aproximações e modelos empíricos na tentativa de melhor representar esse complicado fenômeno em produtos de natureza biológica. Considerando o exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes temperaturas de secagem sobre a contração volumétrica dos grãos de trigo durante a secagem, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, em função do teor de água.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** Foram utilizados grãos de trigo, cultivar Aliança, com teor de água inicial de 0,32 b.s. A secagem do produto foi realizada para diferentes condições controladas de temperatura (35, 45, e 55 °C), com umidade relativa de 55 ± 1%. O trigo foi seco até que o produto atingisse seu teor de água de equilíbrio com a condição do ar especificada. Os teores de água do produto foram determinados por gravimetria utilizando-se estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas, em três repetições. As condições ambientais para realização dos testes foram fornecidas por meio de uma unidade condicionadora de atmosfera, de fabricação da empresa Aminco, modelo Aminco-Aire 150/300 CFM. O fluxo de ar foi monitorado com o auxílio de um anemômetro de lâminas rotativas e mantido em torno de 4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de psicrômetro instalado próximo às bandejas, contendo as amostras. A contração volumétrica unitária ( $\psi_g$ ) foi determinada pela relação entre o volume para cada teor de água e o volume inicial. O volume (V) de cada grão foi obtido por meio da medição dos três eixos ortogonais, comprimento (a), largura (b) e espessura (c), como proposto por Mohsenin (1986), em oito grãos ao longo do processo de secagem, com auxílio de um paquímetro digital, de acordo com a seguinte expressão:

$$V = \frac{\pi a b c}{6} \quad (1)$$

Aos dados experimentais de contração volumétrica unitária foram ajustados os modelos matemáticos expressos pelas seguintes expressões:

Referência do modelo	Modelo
Bala e Woods (1984)	$\psi_g = a \cdot \left\{ 1 - \exp \left[ b \cdot (U^* - U_o^*) \right] \right\}$ (2)
Rahman (1995)	$\psi_g = 1 + b \cdot (U^* - U_o^*)$ (3)
Corrêa et al. (2004a)	$\psi_g = 1 / \left[ a + b \cdot \exp(U^*) \right]$ (4)
Linear	$\psi_g = a + b \cdot U^*$ (5)
Exponencial	$\psi_g = a \cdot \exp(b \cdot U^*)$ (6)

em que,

- $\psi_g$  : contração volumétrica unitária, decimal;
- $U^*$  : teor de água do produto, decimal (b.s.);
- $U_o^*$  : teor de água inicial do produto, decimal (b.s.);
- a, b, c : parâmetros que dependem do produto;
- UR : umidade relativa (decimal);
- T : temperatura do ar (°C);

Para o ajuste dos modelos, foi realizada análise de regressão não linear e linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o programa computacional STATISTICA 5.0<sup>®</sup>. O grau de ajuste para cada

condição considerou a significância do coeficiente de regressão pelo teste t, adotando o nível de 1% de probabilidade e as magnitudes do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro médio estimado (SE), calculado conforme a seguinte expressão:

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (7)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (8)$$

em que SE é o erro médio estimado, decimal; P é o erro médio relativo, decimal; Y é o valor observado experimentalmente;  $\hat{Y}$  é o valor calculado pelo modelo; GLR são os graus de liberdade do modelo e n são número de observações experimentais. Os modelos também foram avaliados quanto a verificação do comportamento da distribuição dos resíduos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** No Quadro 1, são apresentados os parâmetros dos modelos ajustados aos valores experimentais de contração volumétrica unitária dos grãos de trigo em função do teor de água, para diferentes temperaturas do ar de secagem

Quadro 1 - Parâmetros dos modelos ajustados aos valores experimentais de contração volumétrica unitária dos grãos de trigo em função do teor de água, para diferentes temperaturas do ar de secagem

T (°C)	Modelo	a*	b*	R <sup>2</sup>	P	SE	Distribuição de Resíduos
35	Bala e Wodds	0,9875	-16,7271	0,8791	1,0956	0,0126	Tendenciosa
	Corrêa	1,7316	-0,5413	0,9278	0,7467	0,0097	Aleatória
	Rahman	-	0,5452	0,9323	0,6476	0,0094	Aleatória
	Linear	0,8130	0,6199	0,9483	0,5991	0,0082	Aleatória
	Exponencial	0,8220	0,6503	0,9434	0,6301	0,0086	Aleatória
45	Bala e Wodds	0,9756	-16,8428	0,8887	1,4046	0,0157	Tendenciosa
	Corrêa	1,8503	-0,6197	0,9679	0,6983	0,0084	Tendenciosa
	Rahman	-	0,6459	0,9825	0,4941	0,0062	Aleatória
	Linear	0,7832	0,6799	0,9855	0,3942	0,0057	Aleatória
	Exponencial	0,7934	0,7279	0,9813	0,5287	0,0064	Aleatória
55	Bala e Wodds	0,9600	-18,9670	0,8624	2,0048	0,0217	Tendenciosa
	Corrêa	1,9933	-0,7200	0,9571	1,0747	0,0121	Aleatória
	Rahman	-	0,7208	0,9791	0,6633	0,0085	Aleatória
	Linear	0,7555	0,7570	0,9816	0,5406	0,0079	Aleatória
	Exponencial	0,7665	0,8253	0,9753	0,7622	0,0092	Aleatória

\* Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

A análise dos dados indica que os modelos de Rahman, linear e exponencial ajustaram-se satisfatoriamente aos dados obtidos de contração volumétrica unitária, apresentando uma tendência menos acentuada de distribuição dos resíduos (distribuição aleatória). Observa-se, ainda, que estes modelos apresentaram coeficientes de determinação acima de 99% e baixos valores de erros médios relativos e estimados. Contudo, para apresentação dos resultados estimados de contração volumétrica unitária, optou-se pelo modelo linear, devido à sua simplicidade. Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Lang e Sokhansanj, (1993), trabalhando com contração volumétrica da massa de grãos de trigo. Na Figura 1, estão apresentados os valores experimentais de contração volumétrica unitária e ajustados pelo modelo linear, em função do teor de água.

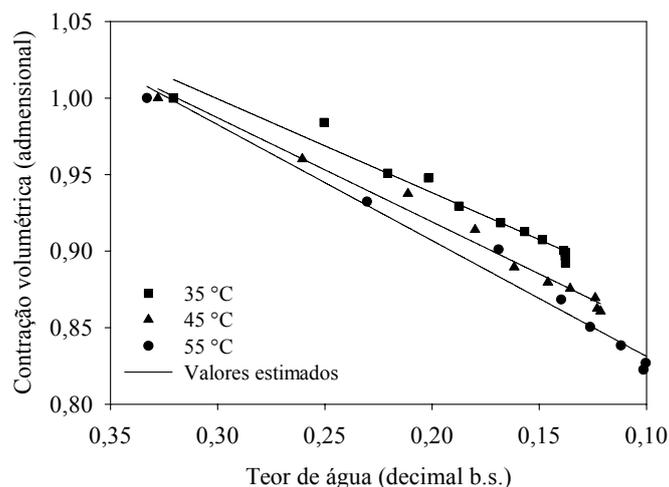


Figura 1 - Valores experimentais de contração volumétrica unitária e ajustados pelo modelo linear, em função do teor de água.

Na Figura 1, pôde-se observar que com a elevação da temperatura, obtiveram-se maiores valores para de contração volumétrica unitária dos grãos de trigo. Considerando um mesmo teor de água final de 0,1364 (decimal b.s.), encontramos uma redução no volume inicial de, aproximadamente, 10, 12 e 14%, respectivamente para as temperaturas de 35, 45 e 55 °C. Isso também pode ser observado no Quadro 1, onde percebe-se aumento do coeficiente angular do modelo linear, proposto para a representação da contração volumétrica, com o incremento de temperatura.

**CONCLUSÃO:** Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a redução do teor de água influencia na contração volumétrica unitária dos grãos de trigo. O modelo linear foi o que melhor representou a contração volumétrica unitária dos grãos de trigo. Além disso, conclui-se que o aumento da temperatura do ar de secagem promove maior redução do volume inicial dos grãos de trigo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BALA, B.K.; WOODS, J.L. Simulation of deep bed malt drying. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.30, n.3, p.235-244, 1984.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI, 1992.
- CORRÊA, P.C.; RIBEIRO, D.M.; RESENDE, O.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; GONELI, A.L.D. Mathematical modelling for representation of coffee berry volumetric shrinkage. In: International Drying Symposium, 14th. **Drying 2004**, 2004a, São Paulo: Brazil, v.A, p.742-747.
- LANG, W.; SOKHANSANJ, S. Bulk volume shrinkage during drying of wheat and canola. **Journal of Food Process Engineering**, Trumbull, v.16, n.4, p.305-314, 1993.
- MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986.
- RAHMAN, S. **Physical properties of foods**. Florida: CRC Press LLC, 1995. 500p.
- RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, London, v.23, n.1, p.91-105, 1994.
- ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; KOURIS, D.M. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. **Drying Technology**, New York, v.12, n.7, p.1653-1666, 1994.