

Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão

Osvaldo Resende^{1*} e Paulo César Corrêa²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Rondônia, Av. Norte-Sul, 7300, saída para Cacoal, 78987-000, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil. ²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: osvresende@yahoo.com.br

RESUMO: Os objetivos do presente trabalho foram estimar e avaliar as curvas de hidratação do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), ajustar o modelo de Peleg aos valores experimentais e determinar o coeficiente de difusão na hidratação em diversas temperaturas. Foram utilizados grãos de feijão com teor de água inicial de 0,18 (b.s.) submetidos à embebição em água destilada nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C. O coeficiente de difusão foi determinado pela solução analítica da segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica esférica, com e sem a expansão volumétrica dos grãos. Conclui-se que a taxa de absorção de água do feijão aumenta com a elevação da temperatura de embebição, sendo o modelo de Peleg capaz de representar a cinética do fenômeno. A relação entre o coeficiente de difusão e a temperatura pode ser descrita pela expressão de Arrhenius, que apresenta energia de ativação de 6,748 kJ mol⁻¹.

Palavras-chave: difusão líquida, modelos matemáticos, absorção de água.

ABSTRACT. Mathematical model of the edible bean soaking process. The aim of this work was to obtain and evaluate the hydration curves of edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and to adjust Peleg's model to the experimental values, as well as to determine the diffusion coefficients under several soaking temperatures. The edible beans were 0.18 (d.b.) and they were soaked in distilled water under controlled temperatures of 20, 30, 40 e 50°C. The diffusion coefficient was determined by the analytic solution for the second Fick's law, considering the geometric spherical form, with and without the expansion of the grain. It was possible to conclude that the rate of absorption of water of edible bean increases with the elevation of the soaking temperature, and the Peleg's model is capable of representing the kinetics of the phenomenon. The relation between the diffusion coefficient and the temperature may be described by the Arrhenius expression of 6.748 kJ mol⁻¹.

Key words: liquid diffusion, mathematical models, absorption of water.

Introdução

A reidratação de materiais é um processo complexo que tem como objetivo reconstituir as características originais do produto, quando submetido ao contato com uma fase líquida (Bilbao-Sáinz *et al.*, 2005).

Os processos de secagem, seguidos de reidratação, podem induzir a alterações na estrutura e na composição química dos alimentos. Assim, a reidratação pode ser considerada como uma forma de avaliar as injúrias causadas aos alimentos durante as etapas do processamento, principalmente, durante a secagem (Lewicki, 1998).

Durante a embebição, a água é difundida para o interior do produto, promovendo o aumento do seu volume. Esta expansão volumétrica pode ocorrer diferencialmente nas direções radial e axial dos grãos (Bayram *et al.*, 2004b), sendo influenciada,

principalmente, pela temperatura da solução de embebição.

O efeito da temperatura durante a embebição tem sido estudado para diversos produtos agrícolas como o milho (Bhattacharya, 1995; Verma e Prasad, 1999), feijão Kidney (Abu-Ghrrnam e Mckenna, 1997), soja (Pan e Tangratanavalee, 2003; Bayram *et al.*, 2004b), trigo (Bayram *et al.*, 2004a), arroz (Bello *et al.*, 2004), sementes de amaranth (Resio *et al.*, 2003 e 2005).

A absorção de água dos produtos agrícolas, submetidos ao processo de embebição, geralmente, aumenta com a elevação da temperatura e do tempo de embebição (Bhattacharya 1995; Pan e Tangratanavalee, 2003; Resio *et al.*, 2003 e 2005; Bello *et al.*, 2004; Bayram *et al.*, 2004b).

O movimento de água no sólido pode ser explicado por meio de distintos mecanismos. Vários autores têm proposto que o principal mecanismo de

transporte de água é a difusão líquida (Fortes e Okos, 1980; Geankoplis, 1983). A difusão ocorre nos sólidos de estrutura fina e nos capilares ou poros e nos pequenos orifícios cheios de vapor. A teoria de difusão, contudo, não considera o encolhimento, o endurecimento da casca (hard skin) e as isotermas de sorção (Barbosa-Cánovas e Veja-Mercado, 2000).

A modelagem matemática é essencial para prever e simular o comportamento dos materiais submetidos a determinado processo. Na literatura, existem diversos modelos matemáticos que expressam o fenômeno de hidratação de produtos agrícolas. A maioria desses modelos, entretanto, baseia-se nas leis de difusão e envolve numerosas funções e parâmetros que, dificilmente, representam a absorção de água de maneira simples (Abu-Ghannam e Mckenna, 1997). Desta forma, Peleg (1988) propôs um modelo empírico na tentativa de simplificar a descrição da absorção de água em grãos e cereais. Esse modelo tem sido utilizado, satisfatoriamente, por diversos pesquisadores para representação desse fenômeno (Abu-Ghannam e Mckenna, 1997; Turhan *et al.*, 2002; Pan e Tangratanavalee, 2003).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho estimar e avaliar as curvas de hidratação do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), ajustar o modelo de Peleg aos valores experimentais, bem como determinar o coeficiente de difusão e a energia de ativação na embebição do produto em diversas temperaturas.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar), localizado no Campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Para condução do experimento, utilizaram-se sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo vermelho, cultivar vulgarmente denominado de "vermelhinho", cultivados na safra de inverno do ano de 2004 no município de Cajuri, Estado de Minas Gerais. As sementes foram colhidas manualmente com teor de água de aproximadamente 0,25 (b.s.) e secas até o teor de 0,18 (b.s.). O teor de água do produto foi determinado pelo método da estufa, 105 ± 1°C, até massa constante.

O feijão foi submetido à embebição em água destilada nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, em três repetições. Foram utilizados beakers (capacidade de 100 mL) contendo 80 mL de água destilada

juntamente com 20 gramas de produto em cada amostra, perfazendo uma relação em massa de 4/1. Para acompanhamento da absorção de água, as amostras foram pesadas, periodicamente, sendo retiradas dos beakers e colocadas sobre papel de filtro para escoamento da água superficial durante, aproximadamente, dois minutos. A absorção de água pelo feijão prosseguiu até que o produto atingisse seu teor de água de equilíbrio.

Aos dados experimentais da embebição do feijão, foi ajustado o modelo de Peleg, usado na descrição da hidratação de produtos de origem vegetal, de acordo com a seguinte expressão:

$$U_t^* = U_0^* + \frac{t}{C_1 + C_2 \cdot t} \quad (1)$$

em que:

U_t^* : teor de água no tempo t , (decimal b.s.);

U_0^* : teor de água inicial, (decimal b.s.);

t : tempo de embebição, (h);

C_1 : taxa constante de Peleg, (h decimal b.s.⁻¹);

C_2 : capacidade constante de Peleg, (decimal b.s.⁻¹).

Para o ajuste do modelo de Peleg e da variação das constantes em função da temperatura de embebição, foi realizada análise de regressão pelo método Gauss Newton, utilizando-se o programa computacional Statistica 5.0[®]. O grau de ajuste de cada modelo considerou a significância do coeficiente de regressão pelo teste t , adotando o nível de 1% de probabilidade, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), a magnitude do erro médio relativo (P) e do erro padrão da estimativa (SE). O erro médio relativo e o erro padrão da estimativa foram calculados conforme as seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (2)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (3)$$

em que:

Y : valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo;

n : número de observações experimentais;

GLR : graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

O coeficiente de difusão foi determinado por meio de uma solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica esférica,

(Brooker *et al.*, 1992), com aproximação de oito termos, utilizando a expansão volumétrica dos grãos e desprezando-se esse fenômeno, de acordo com a seguinte expressão:

$$RU = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot t}{9} \cdot \left(\frac{3}{r} \right)^2 \right] \quad (4)$$

em que:

- D: coeficiente de difusão de líquido, m² s⁻¹;
- t: tempo de embebição, s;
- r: raio equivalente, m;
- n: número de termos.

O raio equivalente é definido como aquele da esfera com o volume igual ao do grão. Ele é determinado por meio da medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura), como proposto por Moshsein (1986) e representado na Figura 1, em dez grãos ao longo do processo hidratação, com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. O volume de cada grão, considerado um esferóide, foi obtido utilizando-se a seguinte expressão:

$$V_g = \frac{\pi \cdot (a \cdot b \cdot c)}{6} \quad (5)$$

em que:

- V_g : volume do grão, m³;
- a: maior eixo do grão, m;
- b: eixo médio do grão, m;
- c: menor eixo do grão, m.

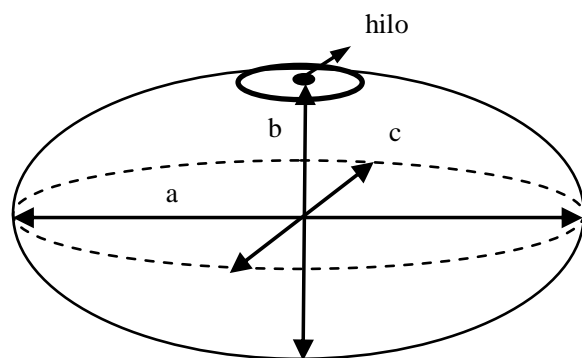


Figura 1. Desenho esquemático do grão de feijão com suas dimensões características.

Para verificar a influência da expansão volumétrica no coeficiente de difusão, o experimento foi analisado segundo o esquema fatorial 4x2 (quatro temperaturas e duas condições

de expansão), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As médias foram comparadas, utilizando-se o teste de Tukey e adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

A influência da temperatura na variação do coeficiente de difusão foi avaliada por meio da representação de Arrhenius, descrita da seguinte forma:

$$D = D_o \cdot \exp \left(\frac{-E_a}{R \cdot T_a} \right) \quad (6)$$

em que:

- D_o: fator pré-exponencial;
- E_a: energia de ativação, kJ mol⁻¹;
- R: constante universal dos gases, 8,314 kJ kmol⁻¹ K⁻¹;
- T_a: temperatura absoluta, K.

Resultados e discussão

Modelagem matemática

Os valores dos coeficientes de determinação, erro médio relativo e erro padrão da estimativa para o modelo de Peleg, ajustado durante a hidratação do feijão, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes de determinação (R²), erros médios relativos (P) e erro padrão da estimativa (SE), para o modelo de Peleg ajustado durante a hidratação do feijão nas diversas condições de temperatura.

| Temperatura (°C) | Coefficientes | R ² (%) | SE (decimal) | P (%) |
|------------------|---------------------------|--------------------|--------------|-------|
| 20 | C ₁ = 0,5304** | 99,97 | 0,0053 | 0,38 |
| | C ₂ = 0,7867** | | | |
| 30 | C ₁ = 0,4121** | 99,85 | 0,0131 | 0,81 |
| | C ₂ = 0,7793** | | | |
| 40 | C ₁ = 0,3349** | 99,83 | 0,0147 | 0,93 |
| | C ₂ = 0,7600** | | | |
| 50 | C ₁ = 0,3722** | 99,90 | 0,0120 | 0,69 |
| | C ₂ = 0,7359** | | | |

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

Verifica-se, na Tabela 1, que para as quatro temperaturas, utilizadas na solução de embebição do feijão, o modelo de Peleg apresentou significância dos seus parâmetros de regressão ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t, elevados valores do coeficiente de determinação (superiores a 99,8%, em escala comparativa de 0 a 100%) e reduzidos valores do erro padrão da estimativa e do erro médio relativo (acentuadamente inferior a 10%), indicando, segundo Mohapatra e Rao (2005), adequação para a descrição do fenômeno.

Na Figura 2, estão apresentados os teores de água experimentais e estimados pelo modelo de Peleg durante a embebição do feijão em diferentes

temperaturas. Verifica-se que a absorção de água aumentou rapidamente na fase inicial de hidratação, devido, principalmente, à capilaridade natural existente nas camadas mais externas dos grãos, próximas ao hilo e ao processo de difusão. A taxa de absorção de água depende da diferença entre o teor de água de saturação e o teor de água em um determinado tempo que é chamada força motriz (Resio *et al.*, 2005). Assim, a hidratação, ao longo do tempo, ocorre com o aumento do teor de água associado à diminuição da força motriz e, conseqüentemente, à redução da taxa de absorção de água.

Observa-se, ainda, na Figura 2, que, com o aumento da temperatura, ocorreu elevação da taxa de absorção de água, intensificando a dinâmica do fenômeno de hidratação do produto. Resultados semelhantes foram observados para a hidratação de milho (Bhattacharya, 1995); sementes de amaranth (Resio *et al.*, 2003 e 2005), arroz (Bello *et al.*, 2004) e soja (Bayram *et al.*, 2004b).

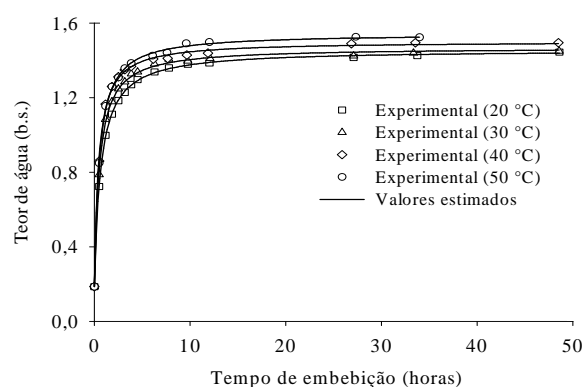


Figura 2. Teores de água experimentais e estimados pelo modelo de Peleg durante a embebição do feijão nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C.

Observa-se, ainda, na Tabela 1, que as constantes do modelo de Peleg variaram em função da temperatura de embebição, podendo ser estimadas, satisfatoriamente, por meio das Equações 7 e 8.

Na Tabela 2 estão apresentadas essas equações com os respectivos coeficientes de determinação, erro médio relativo e erro padrão da estimativa.

Tabela 2. Equações para a representação das constantes do modelo de Peleg em função da temperatura de embebição, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P) e erro padrão da estimativa (SE).

| Equação | R^2 (%) | SE (decimal) | P (%) |
|--|-----------|--------------|-------|
| $C_1 = 1,0336 - 0,0328 \cdot T + 0,0004 \cdot T^2$ | (7) 98,76 | 0,0164 | 1,90 |
| $C_2 = 0,8255 - 0,0017 \cdot T$ | (8) 95,30 | 0,0060 | 0,55 |

em que:

T: temperatura de embebição, °C.

A constante C_2 da equação de Peleg está relacionada com a capacidade máxima de absorção de água. Quanto menor o seu valor, maior será a absorção de água do produto. De acordo com a Equação 8, verifica-se que a constante C_2 variou linearmente em função da temperatura de embebição, concordando com os resultados observados por Turhan *et al.* (2002) e Pan e Tangratanavalee (2003).

Utilizando-se o modelo de Peleg, com as suas constantes descritas em função da temperatura, o teor de água do feijão durante a embebição pôde ser estimado por meio da seguinte expressão:

$$U_t^* = U_0^* + \frac{t}{(1,036 - 0,0328 \cdot T + 0,0004 \cdot T^2) - (0,8255 - 0,0017 \cdot T) \cdot t} \quad (9)$$

A Figura 3 ilustra o gráfico de correspondência entre os valores do teor de água, experimentais e estimados pelo modelo de Peleg, com suas constantes descritas em função da temperatura, durante a embebição do feijão na faixa de temperatura entre 20 e 50°C. Verificam-se, por meio da correspondência entre os valores experimentais e estimados, demonstrada pelas reduzidas magnitudes dos erros padrão da estimativa e erro médio relativo, que o modelo de Peleg, representado em função da temperatura de embebição, descreve adequadamente o fenômeno estudado.

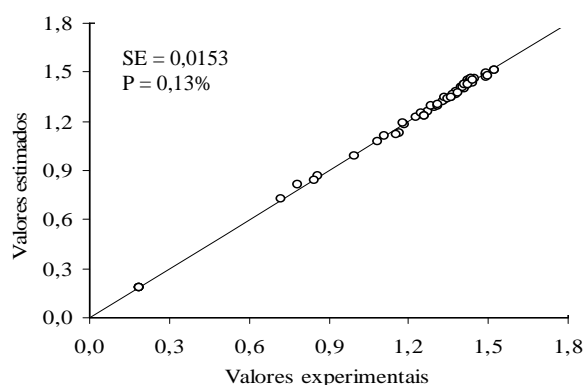


Figura 3. Teores de água experimentais e estimados pelo modelo de Peleg com suas constantes descritas em função da temperatura, durante a embebição do feijão nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C.

Determinação do coeficiente de difusividade e da energia de ativação

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios do coeficiente de difusão do feijão nas diferentes temperaturas de embebição.

Tabela 3. Valores médios dos coeficientes de difusão ($\times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$) durante a embebição do feijão nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, com e sem a expansão volumétrica dos grãos.

| Raio equivalente | Temperatura (°C) | | | |
|------------------|------------------|--------|--------|--------|
| | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Variável | 1,07 a | 1,30 a | 1,58 a | 1,41 a |
| Constante | 0,71 b | 0,83 b | 1,03 b | 0,89 b |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F; CV: 8,83%.

Analisando os resultados, verifica-se que o coeficiente de difusão para o feijão, considerando a expansão volumétrica dos grãos, foi significativamente superior aos valores do coeficiente de difusão calculados utilizando-se o raio equivalente inicial dos grãos e mantendo-o constante, ou seja, desprezando-se o aumento de volume do produto ao longo da embebição. Brooker *et al.* (1992) relatam que a maioria dos modelos empregados para representar a movimentação de água nos produtos agrícolas foi desenvolvida, negligenciando-se a importância da variação volumétrica do produto. Ramos *et al.* (2005) também ressaltam que as modificações volumétricas devem ser incluídas nos modelos para uma completa descrição e análise do fenômeno. Dessa forma, os resultados observados no presente trabalho comprovam a importância e necessidade da introdução desse fenômeno nos modelos que representam a hidratação dos produtos agrícolas.

Considerando a expansão volumétrica dos grãos, os valores do coeficiente de difusão para o feijão foram de $1,07 \times 10^{-9}$; $1,30 \times 10^{-9}$; $1,58 \times 10^{-9}$ e $1,41 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$, durante a embebição nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, respectivamente. Bello *et al.* (2004) observaram valores inferiores do coeficiente de difusão para o arroz polido, $0,2 \times 10^{-9}$ a $0,47 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$, para a faixa de temperatura variando entre 25 e 65°C, possivelmente devido ao maior teor de amido do arroz que resulta em uma ligação química mais forte do produto com a água.

Os valores do coeficiente de difusão foram influenciados sensivelmente pela temperatura. A sua dependência foi descrita pela relação de Arrhenius, como representado na Figura 4.

Observa-se, na Figura 4, que ocorreu sensível mudança na difusividade do feijão na temperatura de 40°C (ponto de fratura), possivelmente, devido a alterações na textura e estrutura do produto que afetaram a taxa de absorção de água. De acordo com Bello *et al.* (2004) essa descontinuidade da representação de Arrhenius, para a difusividade da água, durante a embebição, está relacionada com a gelatinização do amido que é intensificada com a elevação da temperatura.

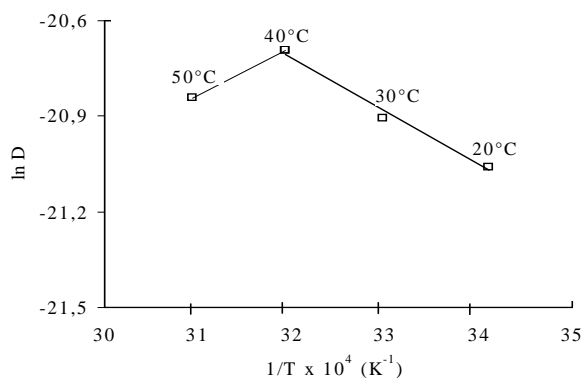


Figura 4. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão (D), calculado considerando a expansão volumétrica dos grãos durante a embebição.

A Equação 10 apresenta os coeficientes da expressão de Arrhenius ajustada para o coeficiente de difusão do feijão.

$$D = 1,272 \cdot 10^{-8} \cdot \exp\left(-\frac{6,748}{R \cdot (T_a)}\right) \quad (10)$$

Nos processos de embebição, quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto. A energia de ativação para a difusão de água do feijão durante a embebição foi de 6,748 kJ mol⁻¹ para a faixa de temperatura entre 20 e 50°C. Resultados superiores foram observados por Resio *et al.* (2005) que obtiveram uma energia de ativação de 31 kJ mol⁻¹ para a difusão de sementes de amaranth submetidas à temperatura de embebição entre 30 e 64°C. Entretanto, valores próximos ao do presente trabalho foram observados por Bhattacharya (1995), que verificou uma energia de ativação de 10,6 e 7,7 kJ mol⁻¹ para o milho *in natura* e tostado, respectivamente, durante a embebição na faixa de temperatura de 30 a 50°C. Engels *et al.* (1986) relatam que a energia de ativação para produtos agrícolas durante a embebição varia entre 22 a 65 kJ mol⁻¹. Ressalta-se, assim, que a energia de ativação para a difusão de água do feijão foi inferior aos valores observados na literatura, indicando que o produto em estudo apresenta uma maior facilidade em absorver água durante a embebição.

Conclusão

- A taxa de absorção de água do feijão aumenta com a elevação da temperatura de hidratação, sendo o modelo de Peleg recomendado para a descrição da cinética do fenômeno;

- O coeficiente de difusão, considerando a expansão volumétrica dos grãos, apresenta valores de $1,07 \times 10^{-9}$; $1,30 \times 10^{-9}$; $1,58 \times 10^{-9}$ e $1,41 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$,

nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, respectivamente;

- A relação entre o coeficiente de difusão e a temperatura pode ser descrita pela expressão de Arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida nos grãos de feijão de 6,748 kJ mol⁻¹.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e a Fapemig pelo apoio financeiro indispensável na execução do presente trabalho.

Referências

- ABU-GHANNAM, N.; MCKENNA, B. The application of Peleg's equation to model water absorption during the soaking of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Eng.*, London, v. 32, n. 4, p. 391-401, 1997.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; VEJA-MERCADO, H. *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza: Ed. Acribia S.A., 2000.
- BAYRAM, M. *et al.* Effect of cooking time and temperature on the dimensions and crease of the wheat kernel during bulgur production. *J. Food Eng.*, London, v. 64, n. 1, p. 43-51, 2004a.
- BAYRAM, M. *et al.* Influence of soaking on the dimensions and colour of soybean for bulgur production. *J. Food Eng.*, London, v. 61, n. 3, p. 331-339, 2004b.
- BELLO, M. *et al.* Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. *Food Sci. Technol.*, Zürich, v. 37, n. 8, p. 811-816, 2004.
- BHATTACHARYA, S. Kinetics of hydration of raw and roasted corn semolina. *J. Food Eng.*, London, v. 25, n. 1, p. 21-30, 1995.
- BILBAO-SÁINZ, C. *et al.* Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. *J. Food Eng.*, London, v. 68, n. 3, p. 369-376, 2005.
- BROOKER, D.B. *et al.* *Drying and storage of grains and oilseeds*. Westport: The AVI Publishing Company, 1992.
- ENGELS, C. *et al.* Modeling water diffusion during long-grain rice soaking. *J. Food Eng.*, London, v. 5, n. 1, p. 55-73, 1986.
- FORTES M.; OKOS, M.R. Drying theories. In: MUJUMDAR, A.S. (Ed.). *Advances in drying*. New York: Hemisphere Publishing, 1980. v. 1.
- GEANKOPLIS, C.J. Drying of process materials. In: *Transport processes and unit operations*. 2. ed. Boston: Allyn and Bacon, 1983.
- LEWICKI, P.P. Some remarks on rehydration of dried foods. *J. Food Eng.*, London, v. 36, n. 1, p. 81-87, 1998.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *J. Food Eng.*, London, v. 66, n. 4, p. 13-18, 2005.
- MOSHENIN, N.N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986.
- PAN, Z.; TANGRATANAVALEE, W. Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions. *Food Sci. Technol.*, Zürich, v. 36, n. 1, p. 143-151, 2003.
- PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *J. Food Eng.*, London, v. 52, p. 1216-1219, 1988.
- RAMOS, I.N. *et al.* Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and micro structural changes. *J. Food Eng.*, London, v. 67, n. 1-2, p. 195-203, 2005.
- RESIO, A.N.C. *et al.* Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking. *J. Food Eng.*, London, v. 60, n. 4, p. 391-396, 2003.
- RESIO, A.N.C. *et al.* Analysis of simultaneous water absorption and water-starch reaction during soaking of amaranth grain. *J. Food Eng.*, London, v. 68, n. 2, p. 265-270, 2005.
- TURHAN, M. *et al.* Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *J. Food Eng.*, London, v. 53, n. 2, p. 153-159, 2002.
- VERMA, R.C.; PRASAD, S. Kinetics of absorption of water by maize grains. *J. Food Eng.*, London, v. 39, n. 4, p. 395-400, 1999.

Received on December 02, 2005.

Accepted on August 01, 2006.