

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DESSORÇÃO DE FEIJÃO BRANCO (*Phaseolus vulgaris L.*)**CAMPOS Renata Cássia¹, CORRÊA Paulo Cesar², LEITE Rildo Araújo³, ZEYMER Juliana Soares⁴, LISBOA Cristiane Fernandes⁵**

¹ Eng. De Alimentos, Mestranda em engenharia Agrícola DEA-UFV. Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento e Armazenamento (CENTREINAR), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Tel +55 31 99030935 renata.eal@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, DS., Professor adjunto do DEA-UFV

³ Eng. Agrônomo e Agrícola, Pós-doutorando em Engenharia Agrícola DEA-UFV

⁴ Eng. Agrônomo, Mestranda em Engenharia Agrícola DEA-UFV

⁵ Eng. Agrícola – UEG, Doutoranda em Engenharia Agrícola DEA-UFV

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: O processo de dessorção define-se como a capacidade que a maioria dos produtos agrícolas tem de ceder água para o meio ambiente, buscando sempre uma relação de equilíbrio entre ambos. O objetivo deste trabalho foi modelar a dessorção de grãos de feijão branco. Utilizou-se grãos beneficiados, *Phaseolus vulgaris L.*, adquiridos em mercado local. Foram colocadas 5 amostras de 15g no interior de dessecadores, os quais continham soluções saturadas de: cloreto de lítio, acetato de potássio, cloreto de magnésio, carbonato de magnésio e brometo de sódio. Eles foram mantidos em B.O.D's à temperaturas de: 18, 32, 38, 49°C. Foram estabelecidas umidades relativas que variaram de 19% a 78%. Periodicamente as amostras foram pesadas até se obter 3 pesagens consecutivas constantes. As curvas de dessorção de feijão foram modeladas em função da umidade de equilíbrio dos grãos usando modelos matemáticos: Chung-Pfoste, Halsey modificado, Copace, Copace 3, Copace 4, Henderson modificado, Sigma-Copace e Sigma-Copace II. Para o ajuste dos dados ao modelo matemático, foi utilizado Statística, versão 7. Para análise do grau de ajuste do modelo foram considerados magnitude do coeficiente de determinação, erro médio relativo, erro médio estimado e distribuição dos resíduos. O modelo matemático que melhor se ajustou foi Sigma-Copace.

PALAVRAS-CHAVE: *Phaseolus vulgaris L.*, curvas de sorção, propriedades físicas.

MATHEMATICAL MODELING OF DESORPTION FROM FLAGEOLET (*Phaseolus vulgaris L.*)

ABSTRACT: The desorption process is defined as the ability of most agricultural products to give water to the environment, always seeking a balance between the two. The objective of this work was to model the desorption of white bean grains. Grains benefited, *Phaseolus vulgaris L.*, were purchased from the local market. Five 15g samples were placed inside desiccators, which contained saturated solutions of: lithium chloride, potassium acetate, magnesium chloride, magnesium carbonate and sodium bromide. They were kept at B.O.D's at temperatures of: 18, 32, 38, 49°C. Relative humidities were established ranging from 19% to 78%. Periodically the samples were weighed until 3 constant consecutive weighings were obtained. Beans desorption curves were modeled as a function of grain moisture using mathematical models: Chung-Pfoste, Modified Halsey, Copace, Copace 3, Copace 4, Henderson modified, Sigma-Copace and Sigma-Copace II. For the adjustment of the data to the mathematical model, Statistic, version 7 was used. For analysis of the degree of fit of the model, it was considered the magnitude of the coefficient of determination, relative mean

error, estimated mean error and distribution of residues. The mathematical model that best fit was Sigma-Copace.

KEYWORDS: *Phaseolus vulgaris* L, sorption curve, physical properties.

INTRODUÇÃO:

Todos os produtos agrícolas tem a capacidade de ceder ou absorver água do ambiente, tendendo a manter constantemente uma relação de equilíbrio entre seus teor de água e as condições do ar ambiente. O teor de água de equilíbrio é alcançado quando a pressão parcial de vapor de água no produto se iguala à do ar que o envolve (CORRÊA et al, 2005). Essas trocas podem acontecer por meio do ganho ou perda de água, fenômenos conhecidos como adsorção e dessorção (BROOKER et al, 1992).

A isoterma é uma curva que descreve, em um teor de água específico, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura (PARK et al, 2001).

A utilização de equações matemáticas para estimar o teor de água no equilíbrio higroscópico apresenta vantagem de predição de valores de atividade de água do produto em condições ambientais de difícil determinação experimental (RESENDE et al, 2006).

Considerando a importância do conhecimento da higroscopicidade dos produtos agrícolas, o presente trabalho teve como objetivo determinar as isotermas de dessorção para diferentes considerações de temperatura e atividade de água, e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor represente o fenômeno da dessorção do feijão branco.

MATERIAL E MÉTODOS:

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – Minas Gerais (MG).

Utilizou-se grãos beneficiados, *Phaseolus vulgaris* L., adquiridos em mercado local. Foram colocadas 5 amostras de 15g no interior de dessecadores, os quais continham soluções saturadas de: cloreto de lítio, acetato de potássio, cloreto de magnésio, carbonato de magnésio e brometo de sódio. Eles foram mantidos em B.O.D's à temperaturas de: 18, 32, 38, 49°C. Foram estabelecidas umidades relativas que variaram de 19% a 78%. Periodicamente as amostras foram pesadas até se obter 3 pesagens consecutivas constantes.

Aos dados observados do equilíbrio higroscópico obtidos para cada condição de temperatura e umidade relativa, foram ajustados modelos comumente utilizados para a descrição de fenômenos de sorção de produtos agrícolas. Os modelos utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos para a representação das curvas de equilíbrio higroscópico

Descrição do modelo	Modelo	Equação
Copace	$U_e = \exp[(a - bT) + c.UR]$	1
Copace 3	$U_e = \exp(a + b/T + c.UR^3)$	2
Copace 4	$U_e = 1/[a + b.log(UR)]$	3
Sigma-Copace	$U_e = \exp\{a - bT + [c.exp(UR)]\}$	4
Sigma-Copace II	$U_e = 1/(aTb + UR.c)$	5
Henderson-Modificado	$U_e = \{\log(1-UR)/[-a(T + b)]\}^{1/c}$	6
Halsey-Modificado	$U_e = \{\exp(a - bT)/[-\ln(UR)]\}^{1/c}$	7
Chung-Pfoste	$U_e = a - b.ln[(c - t).ln(UR)]$	8

Onde:

Ue: teor de água no equilíbrio, kg_a.kg_{ms}⁻¹;

UR: atividade da água, decimal;

a, b e c: parâmetros de ajuste dos modelos

T: temperatura em °C.

Os dados experimentais do equilíbrio higroscópico do feijão branco foram submetidos à análise de regressão não-linear pelos métodos Gauss-Newton e Simplex & Quase-Newton e à seleção do modelo adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa Statistica 7.0.

Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação (R²), do erro médio relativo (P) (Equação 9) e do erro médio estiado (SE) (Equação 10) e grau de dispersão de resíduos.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (\text{Eq.9})$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (\text{Eq.10})$$

em que:

Y_i = valor observado; \hat{Y}_i = valor estimado; n = número de dados observados; e

GLR = graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Na Tabela 2 estão apresentados as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados de teor de água no equilíbrio higroscópico de feijão branco, nos diferentes níveis, para diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, assim como seus respectivos valores de R², P, SE e tendenciosidade medida pelo grau de dispersão de resíduos.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico de feijão branco, com seus respectivos R², SE, P e tendência dos resíduos.

Modelos	Estimativas dos parâmetros	R ²	SE	P(%)	Tendência
Copace	a = 1,676161 b = 0,006397 c = 2,065345	0,99	1,71	3,93	Não tendencioso
Copace 3	a = 1,925240 b = 4,686874 c = 2,190224	0,98	3,18	7,86	Tendencioso
Copace 4	a = 0,025056 b = -0,083670	0,97	1,91	8,00	Não tendencioso
Sigma-Copace	a = 1,411357 b = 0,008175 c = 0,785310	0,99	1,41	3,18	Não tendencioso
Sigma-Copace II	a = -204,711 b = -2,90369 c = 1,410291	0	40,4	69,2	Tendencioso
Henderson-Modificado	a = 0,000195 b = 14,12140 c = 1,700367	0,99	2,48	6,17	Não tendencioso
Halsey-	a = -120,3256	0,11	28,3	101	Tendencioso

Modificado	b = 15,10064 c = 241,1056				
	a = 46,7414				
Chung-Pfoste	b = 8,262148 c = -54,5466	0,99	2,60	6,77	Tendencioso

Conforme Draper e Smith (1998), a capacidade do modelo para descrever fielmente um processo físico é inversamente proporcional aos valores de SE. Além disso, Ozdemir e Devres (1999) afirmam que os modelos que tem valores de P superiores a 10% e apresentam distribuição tendenciosa dos resíduos não são bons para prever o fenômeno. Os modelos Copace e Copace 4 foram os que apresentaram melhores ajustes, sendo que Copace apresentou maior maior coeficiente de determinação e menores valores de P e SE. Sendo assim, Copace foi o modelo que melhor representou os dados experimentais de arroz arbóreo. Na Figura 1 estão representadas as isotermas de desorção segundo a equação Copace.

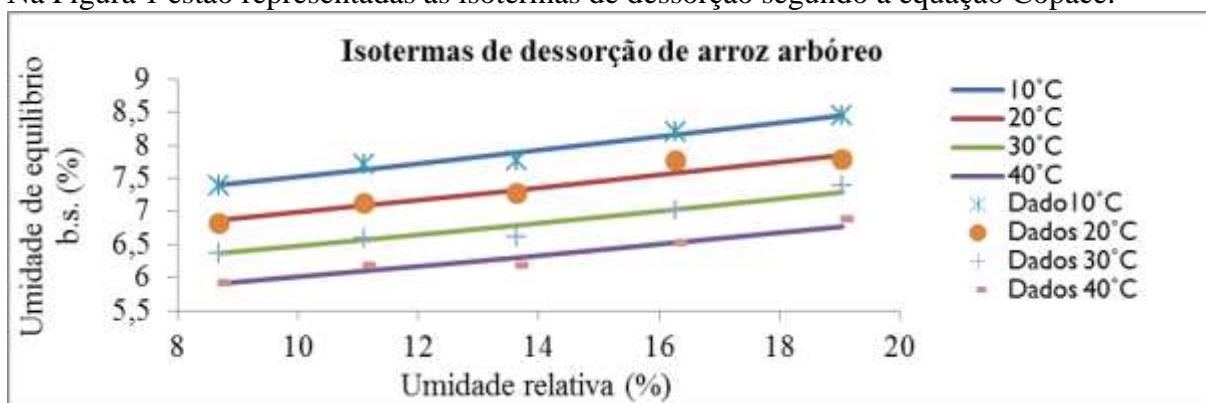


Figura 1. Isotermas de desorção de arroz arbóreo segundo o modelo matemático Copace e dados experimentais

CONCLUSÕES:

Baseando-se em parâmetros estatísticos, o modelo Copace foi o que melhor representou a higroscopicidade para a sorção de arroz arbóreo, quando comparado aos demais modelos testados. O teor de água do arroz arbóreo é diretamente proporcional à umidade relativa do ar ambiente e decresce com o aumento de temperatura para um valor constante de umidade relativa.

REFERÊNCIAS

- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. New York: van Nostrand Reinhold, p. 450, 1992.
- CORREA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete lagoas*, v. 4, n. 1, p. 126-134, 2005.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. Wiley series in probability and mathematical statistics. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- OZDEMIR, M.; DEVRES, Y.O. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, London, v. 42, p. 225-233. 1999.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra barlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.