

## DETERMINAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DOS GRÃOS DE ABÓBORA (*Cucurbita moschata*)

LUCIANA P. TEIXEIRA<sup>1</sup>, EDNILTON T. DE ANDRADE<sup>2</sup>, VITOR G. FIGUEIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Agrícola e Mestre em Engenharia Mecânica, UFF, (21) 982293817, lucianapteixeira@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola e Doutor em Engenharia Agrícola, UFLA, edniltontavares@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola Mestrando em Engenharia de Biosistemas, UFF, (21)982587964, figueiravitor@yahoo.com.br

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** Os grãos de abóbora podem ser utilizados na forma in natura, como suplemento alimentar, ou processado através do aproveitamento do seu óleo. Para garantir a qualidade do produto se faz necessário conhecer a influência das condições do ambiente na estabilidade do mesmo. Portanto, com o intuito de analisar a dinâmica de sorção do grão de abóbora, o presente trabalho teve como objetivo a determinação do seu equilíbrio higroscópico a partir de diferentes condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar assim como avaliar, dentre diversos modelos descritos na literatura, o que melhor representa o comportamento de sorção. Como resultado, foi verificado que o modelo que melhor se ajustou aos dados empíricos do processo de sorção dos grãos de abóbora foi o Modelo de Copace, para os intervalos entre 10,75 e 85,11% de umidade relativa do ar e temperaturas de 20 a 70°C. O modelo apresentou coeficiente de determinação de 98,8%.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Cucurbita moschata*; higroscopicidade, sais higroscópicos.

## DETERMINATION OF THE HYGROSCOPIC EQUILIBRIUM OF THE PUMPKIN GRAINS (*Cucurbita moschata*)

**ABSTRACT:** The pumpkin grains can be used in natura or processed for its oil utilization. To secure the quality of the product is necessary to know the influence of the environmental conditions on stability. Therefore, with the intention of analyze the sorption dynamics of the pumpkin grain, this study aimed to determine the hygroscopic equilibrium from the different conditions of temperature and relative air humidity, and evaluate, among the models described in the literature, that could best to represents the sorption behavior. As a result, the study found that the model that better adjusted to the empirical data from the sorption process of pumpkin grain was the Copace Model for the intervals between 10.75 and 85.11% relative air humidity and temperatures of 20 at 70 °C. The model had a coefficient of determination of 98.8%.

**KEYWORDS:** *Cucurbita moschata*, hygroscopic, hygroscopic salts

## INTRODUÇÃO

De acordo com Sant'Anna et al. (2005), a abóbora (*Cucurbita moschata*) é uma planta rasteira, na qual se consome tanto o fruto como seus grãos (Veronezi & Jorge, 2012). Os grãos de abóbora podem ser utilizados tostados ou na forma de matéria prima para a produção de óleo (Sant'anna, 2005). O óleo do grão da abóbora pode ser utilizado tanto para a alimentação, como pode ser aproveitado para a produção de biocombustíveis. Para qualquer uma dessas aplicações, a manutenção da qualidade dos grãos é essencial para garantir seu máximo aproveitamento. Segundo Bee & Barros (1999), assim que extraídos do fruto, os grãos de abóbora ao serem expostos ao ambiente sofrem alterações no seu teor de água, influenciando nas suas características germinativas e propriedades físicas, tais como a higroscopicidade. Para o caso dos grãos e sementes, as interações com o ambiente, quando sem controle, podem favorecer a aceleração das alterações físicas, químicas e biológicas, principalmente referentes ao ataque de microorganismos, o que deprecia sua qualidade.

Por essa razão, para melhor conhecer o comportamento higroscópico dos grãos de abóbora, o presente trabalho objetivou a análise da sua dinâmica de sorção através da determinação das curvas de sorção e identificação e simulação do modelo matemático presente na literatura que melhor representa o comportamento higroscópico do produto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Universidade Federal Fluminense. Para as análises foram utilizados grãos de abóbora obtidos a partir dos frutos da abóbora adquiridos em mercado local. Inicialmente, os grãos foram, manualmente, separados da polpa e os resíduos oriundos da polpa foram eliminados. Para o estudo, as características higroscópicas do grão de abóbora foram analisadas por meio das curvas de equilíbrio higroscópico para diferentes temperaturas e atividades de água, através das isotermas de sorção.

Para a determinação da higroscopicidade dos grãos de abóbora, as amostras foram colocadas em estruturas herméticas contendo distintas soluções químicas saturadas, que em equilíbrio, condicionavam um ambiente com diferentes umidades relativas (Greenspan, 1977), em função da temperatura imposta. Na Tabela 1 estão dispostas as soluções utilizadas no trabalho, assim como as umidades relativas do ar que cada uma induz em função da temperatura.

TABELA 1 – Umidades relativas do ar (%) em função das soluções saturadas e temperatura.

Solução saturada	Temperaturas			
	20°C	30°C	55°C	70°C
Cloreto de lítio	11,31	11,28	11,03	10,75
Acetato de potássio	23,11	21,61	-	-
Cloreto de magnésio	33,07	32,44	29,93	27,77
Iodeto de sódio	39,65	36,15	27,5	23,57
Nitrato de magnésio	54,38	51,40	-	-
Brometo de sódio	59,14	56,03	50,15	49,70
Cloreto de potássio	85,11	83,62	80,7	79,49

Fonte: Greenspan (1977)

O experimento foi conduzido em dois equipamentos. Para as temperaturas de 55 e 70°C utilizou-se uma estufa com circulação forçada de ar, e para as temperaturas de 20 e 30°C foi utilizada uma BOD. As amostras utilizadas apresentavam teor de água inicial equivalente a 0,096 b.s. A determinação do tempo necessário para que as amostras atingissem o equilíbrio higroscópico foi de 96 horas. Para cada combinação de umidade relativa do ar e temperatura foram realizadas 3 repetições, cada uma contendo amostras com 10 grãos dispostos em sachês de nylon individualizados.

Para a determinação do comportamento dos grãos de abóbora para diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar foi realizada uma simulação matemática a partir de equações que descrevem o fenômeno de higroscopicidade (Pfof et al., 1976; Brooker et al., 1992; Sokhansanj & Yang, 1996; Chen & Jayas, 1998; Corrêa et al., 1998). As equações utilizadas no trabalho estão dispostas na Tabela 2 (Equações 1 a 9).

TABELA 2. Modelos utilizados para a verificação do comportamento da isoterma.

Modelo	Equação	Eq.
Chung Pfof	$U_e = a - b \ln[-(T + c) \ln(a_w)]$	(1)
Copace	$U_e = \exp[a - (bT) + (ca_w)]$	(2)
GAB Modificado	$U_e = \frac{ab(c/T)a_w}{\{[1 - ba_w][1 - ba_w + b(c/T)a_w]\}}$	(3)
Halsey Modificada	$U_e = [\exp(a - bT) / - \ln(a_w)]^{1/c}$	(4)
Henderson	$U_e = [\ln(1 - a_w) / (-aT_{abs})]^{1/c}$	(5)
Henderson Modificada	$U_e = \{\ln(1 - a_w) / [-a(T + b)]\}^{1/c}$	(6)
Oswin	$U_e = (a - bT) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$	(7)
Sabbab	$U_e = a (a_w^b / T^c)$	(8)
Sigma Copace	$U_e = \exp\{a - (bT) + [c \exp(a_w)]\}$	(9)

Em que:  $U_e$  é o teor de água do produto, em b.s.;  $a_w$  é a atividade de água, decimal;  $T$  é a temperatura do ar ambiente, °C;  $T_{abs}$  é temperatura absoluta do ar ambiente, em K;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  são os parâmetros que dependem da natureza do produto.

Como a atividade de água é analisada no momento em que ocorre o equilíbrio higroscópico, para a análise dos dados foi considerada a atividade de água como sendo igual a umidade relativa do ar, em decimal (Sauer,

1995 e Jayas et al., 1995). Para estimar os parâmetros dos modelos matemáticos foi utilizado o programa STATISTICA 5, e a análise de representatividade dos dados aos modelos propostos foram analisados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a porcentagem de erro médio relativo (P), e o erro médio estimado (SE) (Mohapatra e Rao, 2005; Lomauro et al, 1985).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta, para as diferentes combinações de temperatura e umidade relativa do ar, o teor de água médio de equilíbrio higroscópico dos grãos de abóbora.

TABELA 3 - Teor de água de equilíbrio higroscópico médio (b.s.) do grão de abóbora para diferentes temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidades relativas do ar(%).

Umidade Relativa	Temperatura	Teor de água de equilíbrio	Umidade Relativa	Temperatura	Teor de água de equilíbrio
11,31	20	0,0858	11,03	55	0,0727
33,07	20	0,0976	29,93	55	0,0747
54,38	20	0,1234	50,15	55	0,0940
85,11	20	0,1652	80,70	55	0,1290
11,28	30	0,0808	10,75	70	0,0653
21,61	30	0,0825	27,77	70	0,0683
32,44	30	0,0952	49,70	70	0,0888
51,4	30	0,1148	79,49	70	0,1126
83,62	30	0,1488			

Em função do comportamento dos dados experimentais foi realizada uma simulação matemática da higroscopicidade do grão de abóbora. Na Tabela 4, estão apresentados os resultados das estimativas relacionadas às análises dos modelos de equilíbrio higroscópico verificados para os grãos de abóbora.

TABELA Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento. - Parâmetros estimados, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), e erros médios relativo (P) e estimado (SE) para cada modelo analisado.

Modelo	Parâmetros			$R^2$	P (%)	SE (decimal)
	a	b	c			
Chung Pfof	0,8982	0,1552	130,3266	96,78	4,62	0,0015
Copace	-3,3960	0,0048	3,1693	98,83	3,02	0,0088
GAB Modificado	0,0996	0,9117	130,9357	84,55	9,92	0,0318
Halsey Modificado	-8,3762	0,0225	3,8973	98,3	3,24	0,0105
Henderson	0,0139	0,9176	-	91,07	10,58	0,0497
Henderson Modificado	0,0201	177,2481	0,9259	94,88	6,39	0,0183
Oswin	0,1386	-0,0002	1,5287	73,76	12,09	0,0414
Sabbah	1,1102	2,0171	0,1922	89,60	9,07	0,0261
Sigma Copace	-4,5265	0,0049	1,6389	98,77	2,80	0,0090

De acordo com Mohapatra e Rao (2005), os modelos com erro médio relativo (P) superiores a 10% não apresentam um ajuste satisfatório aos dados experimentais, não representando adequadamente o fenômeno analisado. O mesmo é recomendado por Lomauro et al. (1985), que ainda acrescenta que os valores de  $R^2$  devem ser o mais próximo de 100%.

De acordo com as análises estatísticas, expostos na Tabela 4, o Modelo de Copace é o modelo com melhores resultados, apresentando  $R^2$  de 98,8%, e P e SE de, respectivamente, 3,02% e 0,01. Os modelos Chung Pfof, Halsey Modificado, GAB Modificado, Henderson Modificado, Sabbah e Sigma Copace também podem ser utilizados para a representação do fenômeno de higroscopicidade de grãos de abóbora apresentando  $R^2$  superiores a 84,55% e P e SE inferiores, respectivamente, a 9,92 e 0,0318.

A partir desses resultados, a Equação 10 apresenta a equação de Copace representativa do fenômeno de higroscopicidade para os grãos de abóbora com os parâmetros determinados neste estudo.

$$U_e = \exp [-3,40 -(0,005 \times T) + (3,17 \times a_w)] \quad (10)$$

A Figura 2 apresenta os valores experimentais do teor de água de equilíbrio e os valores das isotermas de sorção do modelo que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais. A partir dos resultados obtidos foi possível verificar que o modelo de Copace, para os intervalos entre 10,75 e 85,11% de umidade relativa do ar

e temperaturas de 20 a 70°C, descreve adequadamente o comportamento higroscópico dos grãos de abóbora quando submetidos a diferentes condições ambientais.

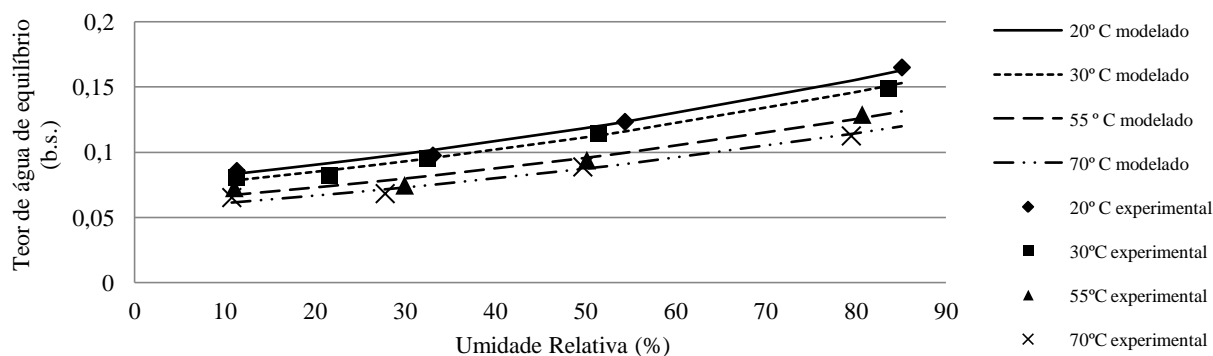


FIGURA 2 - Valores experimentais e estimados pelo Modelo de Henderson Modificado do teor de água de equilíbrio em função da atividade de água ( $a_w$ ) e da temperatura.

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados é possível verificar que o produto apresenta características higroscópicas, tendo sua estabilidade no ambiente influenciada pela variação de temperatura e teor de água. No que envolve a simulação do processo de higroscopicidade no grão de abóbora constatou-se que o modelo de Copace é o que apresenta melhor representatividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEE, R. A.; BARROS, A. C. S. A. Sementes de abóbora armazenadas em condições de vácuo. Revista Brasileira de Sementes, vol. 21, n° 2, p.120-126, 1999.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport : AVI, 450 p. 1992.
- CHEN, C.; JAYAS, D.S. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.41, n.6, p.1755-1760, 1998.
- CORRÊA, P.C.; VITAL, R.B.; MARTINS, J.H. Higroscopicidade e entalpia de vaporização para madeira de Eucalyptus grandis. Revista Árvore, Viçosa, v.22, n.4, p.555-561, 1998.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research of National Bureau of Standards. A. Physics and Chemistry. Vol. 81a, n.1. 1977.
- JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. Stored-Grain Ecosystems. New York: MARCEL DEKKER, INC., 1995, 757p
- LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, Vegetable and meat products. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, Zurich, v.18, n.2, p.111-117, 1985.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. Journal of Food Engineering. p.513-518, 2005.
- PARK, K. J. B; PARK, K. J, CORNEJO, F. E. P; DAL FABRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. Review. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.10, p.83-94, 2008.
- PFOST, H.B.; MAURER, S.G.; CHUNG, D.S. et al. Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains. ASAE, Paper No. 76-3520, St. Joseph, 1976. 11p.
- SANT'ANNA, L. C. Avaliação da composição físico-química da semente de abóbora (*Curcubita pepo*) e do efeito do seu consumo sobre o dano oxidativo hepático de ratos (*Rattus norvegicus*). 2005. 69. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.
- SAUER, D.B. Storage of Cereal Grains and Their Products. Fourth Edition. Ed. American Association of Cereal, Inc. 1992, p. 615. 1995.
- SOKHANSANJ, S.; YANG, W. Revision of the ASAE standard D245.4: moisture relationships of grains. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 39(2): 639-642, 1996.
- VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Aproveitamento de sementes de abóbora (*Cucurbita* sp) como fonte alimentar. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.14, n.1, p.113-124. 2012.