

## DETERMINAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DO ALHO CHINÊS "*Allium Tuberosum*"

Kátia Soares Moreira<sup>1</sup>, Ednilton Tavares De Andrade<sup>2</sup>, Filipe da Silva de Oliveira<sup>3</sup>, Danilo Barbosa Cardoso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Pós-colheita, UFLA, Engenharia Agrícola, 31 995591096, [katiasoaresmoreira@hotmail.com](mailto:katiasoaresmoreira@hotmail.com); <sup>2</sup> Doutor e Professor em Pós-colheita, UFLA, Engenharia Agrícola, 35 991952070, [ednilton@deg.ufla.br](mailto:ednilton@deg.ufla.br); <sup>3</sup> Mestrando em Pós-colheita, UFLA, Engenharia Agrícola, 35 998941993, [filipeoliveira@id.uff.br](mailto:filipeoliveira@id.uff.br); <sup>4</sup> Doutorando em Pós-colheita, UFLA, Engenharia Agrícola, 35 991485121, [cardosodb@gmail.com](mailto:cardosodb@gmail.com)

Apresentado no  
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** O alho é um alimento utilizado principalmente como tempero em diversos países no mundo. No Brasil há um crescimento na importação do alho chinês (*Allium Tuberosum*) nos últimos anos. Esse produto vem ganhando destaque na economia. Diante desse cenário, faz-se necessário conhecer melhor parâmetros que auxiliem no conhecimento do comportamento higroscópico do produto para sua melhor conservação. Objetiva-se com este trabalho determinar as isotermas de sorção de amostras do alho chinês nas temperaturas de 20°C, 30°C, 55°C e 70°C em diferentes umidades relativas do ar. Utilizou-se diferentes soluções salinas para obtenção de diferentes umidades relativas de equilíbrio. O modelo de Andrade foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais com coeficiente de determinação de 96,3%, e menores erros médios estimado e relativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** alho, higroscopicidade, teor de água

## DETERMINATION OF HYGROSCOPIC BALANCE OF CHINESE GARLIC "*Allium Tuberosum*"

**ABSTRACT:** Garlic is a food mainly used as a seasoning in several countries in the world. Recently, in Brazil there has been an increase in the import of Chinese garlic (*Allium Tuberosum*). This product has been gaining prominence in economics and in inspection. In view of this scenario, it is necessary to know better parameters that help in the knowledge of the hygroscopic behavior of this product for its better conservation. The objective of this work was to determine sorption isotherms of Chinese garlic samples at temperatures of 20°C, 30°C, 55°C and 70°C in different relative humidity. Different salt solutions were used to obtain different equilibrium relative humidities. The Andrade model was the one that best fit the experimental data with determination coefficient of 96,3%, and smaller estimated and relative mean errors.

**KEYWORDS:** garlic, hygroscopicity, water content

## INTRODUÇÃO

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), 2017 descreve que a China é um grande formador de preços no mercado mundial. Este tempero é considerado uma das hortaliças de grande importância econômica no Brasil, os principais cultivadores são os pequenos agricultores (Marouvelli, 2002). Obter a qualidade na conservação do produto pós-colheita é um desafio.

Os vegetais têm a capacidade de trocar água na forma de vapor, com o ambiente os quais estão inseridos. Estas trocas são ganhos e perdas de água, de acordo com as características higroscópicas do produto e do ar (Brooker et al. 1992). As curvas de equilíbrio higroscópico são importantes para definir teor de água, limite de desidratação e as condições de armazenamento (Grenspan, 1977; Hall, 1980; Costa et al., 2013). Conhecer as isotermas de sorção da água é útil para determinar corretamente

a secagem, embalagem, teor de água de armazenamento e a vida de prateleira dos alimentos (Siripatrawan & Jantawat 2006, Catelam et al. 2011, Comunian et al. 2011, Goneli et al., 2014).

Diante da importância do conhecimento da higroscopicidade dos produtos agrícolas, este trabalho possui o objetivo de determinar as isotermas de sorção do alho chinês (*Allium tuberosum*), para quatro diferentes temperaturas, e ainda ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor representa o fenômeno e, assim, utilizá-lo para determinar o calor isotérico de sorção.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no laboratório de pós-colheita de produtos agrícolas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na cidade de Lavras-MG. O experimento começou com a aquisição do *Allium tuberosum*, alho chinês, em um comércio local do município. Foram obtidas embalagens fechadas da hortaliça. Depois de descascar e cortar os bulbos em espessuras de 2 e 3 mm, o alho foi secado em bandejas separadas em média de 30g, com 3 repetições para as temperaturas de 35°C, 45°C, 55°C e 70°C.

Parte das amostras foram pesadas a cada 30 minutos para as primeiras 6 horas e depois a cada 1 hora até estabilizar a secagem para as temperaturas de 70°C e 55°C. Para as temperaturas de 35°C e 45°C as amostras foram pesadas a cada 1 hora para as 6 primeiras horas e depois foi de a cada 2 horas também até a estabilização da secagem. Quando finalizado o processo de secagem, o material foi homogeneizado e aleatoriamente foram retiradas amostras de 1,5g com duas repetições para se obter o teor de água de equilíbrio higroscópico.

As isotermas de sorção do alho foram submetidas as condições de temperaturas de 20°C, 30°C, 55°C e 70°C. Para as temperaturas de 20°C e 30°C as amostras foram colocadas em uma BOD, dentro de caixas plásticas vedadas chamadas de gerbox. Para as temperaturas de 55°C e 70°C as amostras foram colocadas na estufa de secagem e também em caixas plásticas vedadas.

As soluções salinas utilizadas para se estabelecer as atmosferas de diferentes atividade de água foram as soluções de Acetato de Potássio (CH<sub>3</sub>COOK), Brometo de Sódio (NaBr), Cloreto de Lítio (LiCl), Cloreto de Magnésio (MgCl<sub>2</sub>), Cloreto de Potássio (KCl), e Nitrato de Magnésio (Mg(NO<sub>3</sub>)). Seguindo a metodologia adotada por Grenspan (1977) na realização do processo de sorção, as amostras foram pesadas em um intervalo de 24 horas até a obtenção do equilíbrio higroscópico. Os dados experimentais de teor de água foram ajustados utilizando equações matemáticas disponíveis na literatura científica, e mais comumente usadas para a modelagem da higroscopicidade em produtos de origem vegetal. As equações estão descritas na tabela 1.

**Tabela 1.** Modelos matemáticos usados para a representação do equilíbrio higroscópico

Modelo	Equação
Chung Pfost	$U_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(UR)]$ (1)
Copace	$U_e = \exp[ a - (b \cdot T) + (c \cdot UR)]$ (2)
GAB Modificado	$U_e = \frac{ab(c/T)UR}{\{[1 - b UR][1 - b UR + b(c/T)UR]\}}$ (3)
Halsey Modificado	$U_e = [\exp(a - bT) / - \ln(UR)]^{1/c}$ (4)
Henderson	$U_e = [\ln(1 - UR) / (- a \cdot T_{abs})]^{1/b}$ (5)
Henderson Modificado	$U_e = \{ \ln(1 - UR) / [- a \cdot (T + b)] \}^{1/c}$ (6)
Oswin	$U_e = (a - b \cdot T) / [(1 - UR) / UR]^{1/c}$ (7)
Sabbab	$U_e = a (UR^b / T^c)$ (8)
Sigma Copace	$U_e = \exp\{a - (bT) + [c \exp(UR)]\}$ (9)
Andrade	$U_e = \exp((a UR) + (T^b) + (((T - UR) / UR)^b)^c)$ (10)

Onde,  $U_e$ : Teor de água do produto, b.s.; UR: Umidade relativa do ar, decimal; T: Temperatura do ar ambiente, °C;  $T_{abs}$ : Temperatura absoluta do ar ambiente, K; a, b, c: Parâmetros que dependem da natureza do produto.

Para a obtenção do ajuste dos modelos matemáticos foi utilizado o método de regressão não linear de Gauss Newton utilizando o programa Statistica 5.0®. Para a averiguação do ajuste de cada modelo utilizou-se a significância do coeficiente de regressão pelo teste t o valor de 0,01 de significância para Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os erros médios estimados e relativos e o teste Qui-quadrado para os modelos foram calculados utilizando as seguintes formulações:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (21)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (22)$$

$$X^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (23)$$

Onde  $Y$  é definido como valor observado experimentalmente,  $\hat{Y}$  é o valor calculado pelo modelo escolhido,  $n$  é o número de observações experimentais e GLR é o grau de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de parâmetros do modelo).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As combinações entre umidades relativas do ar ambiente, umidades de equilíbrio e temperaturas a partir dos dados experimentais de teor de água de equilíbrio higroscópico do alho chinês (*Allium tuberosum*), estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores médios dos teores de água de equilíbrio (b.s.) para as diferentes combinações de umidade relativa do ar ambiente (%) e temperatura (°C).

AW	Temperatura	Teor de água de equilíbrio média (b.s.)
0,85	20	0,8134
0,54	20	0,5297
0,33	20	0,4291
0,23	20	0,3445
0,84	30	0,5366
0,32	30	0,2694
0,11	55	0,0721
0,81	55	0,3983
0,3	55	0,2203
0,11	70	0,0690
0,79	70	0,3650

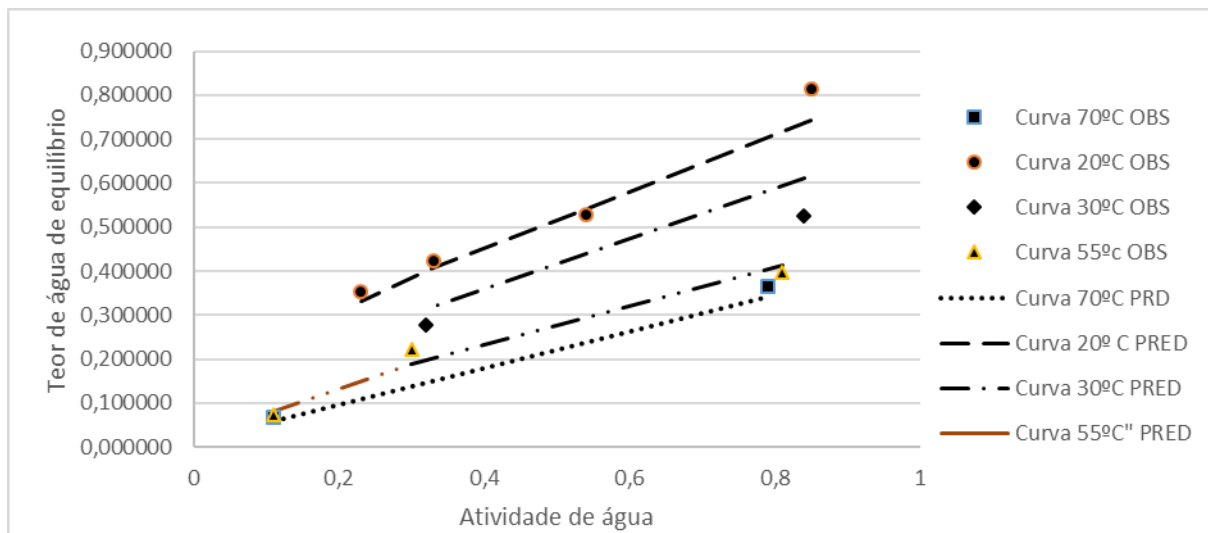
Na Tabela 3, estão apresentados os melhores resultados das estimativas relacionadas às análises dos modelos de equilíbrio higroscópico verificados para o alho chinês.

**Tabela 3.** Parâmetros estimados, coeficientes de determinação, e erros médios relativo e estimado dos dois melhores modelos analisados.

Modelo	A	B	C	R <sup>2</sup> (%)	P	SE (decimal)	χ <sup>2</sup> (decimal)
GAB Modificado	1,3340	0,0322	842,5360	95,97	9,6570	0,3107	0,0965
Andrade	-6,5898	0,4756	-0,1003	96,43	2,9902	0,2964	0,0879

Os demais modelos apresentaram valores insatisfatórios para os parâmetros analisados, não apresentaram ajustes satisfatório com relação aos dados experimentais. Segundo (Teixeira et al., 2012; Mohapatra & Rao, 2005) os valores de R<sup>2</sup> devem estar o mais próximos de 100% para conseguir um ajuste satisfatório do modelo. De acordo com os resultados obtidos na análise de equilíbrio higroscópico para o *Allium Tuberosum*, o modelo de Gabi Modificado apresentou um bom resultado, porém o modelo proposto por Andrade teve o melhor ajuste aos dados.

Para uma melhor verificação do ajuste do modelo ao fenômeno da higroscopicidade, a Figura 1 apresenta os valores experimentais do teor de água de equilíbrio e os valores calculados das isotermas de sorção do modelo que melhor se adequou aos dados experimentais.



**Figura 1.** Valores experimentais, e estimados pelo Modelo Andrade do teor de água de equilíbrio do alho chinês em função da atividade de água ( $a_w$ ) e temperatura.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos experimentos realizados, pode-se concluir que: o modelo de Andrade teve os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE) e teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com a melhor descrição do fenômeno.

O teor de água de equilíbrio do alho chinês varia em função da umidade relativa do ar para uma mesma temperatura, e diminui com o aumento da temperatura aplicada ao produto, para uma mesma umidade relativa do ar, sendo então caracterizado como um produto higroscópico.

No alho chinês, o teor de água de equilíbrio aumenta em função da atividade de água. Na medida que a temperatura aumenta, em uma mesma atividade de água, menor é o teor de equilíbrio.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. T.; FILGUEIRA, V. G.; TEIXEIRA, L. P.; TAVARES, J. H.; BOREM, F.M. Determination of the higroscopc equilibrium and isosteric heat of aji chili pepper. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.21, n.12, p.865-871, 2017.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. Westport: The AVI Publishing Company, 1992.
- CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Isotermas de adsorção e calor isostérico de sorção de polpa de maracujá desidratada por spray dryer e liofilizador com aditivos e leite desnatado. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL de ABASTECIMENTO (CONAB), 2017, acessado em março de 2018 <https://www.conab.gov.br/>
- COMUNIAN, T. A. et al. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate based carrier systems. *International Journal of Food Science and Technology*, Oxford, v. 46, n. 6, p. 1259-1265, 2011.

GONELI, A.L.D.; NASU, A.K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W.D.; SARATH, K.L.L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). Revista brasileira de plantas medicinais, Botucatu, 2014, vol.16, n.2, suppl.1, pp. 434-443.

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.

HALL, C. W. Drying and storage of agricultural crops. Westport: The AVI Publishing Company, 1980

SIRIPATRAWAN, U.; JANTAWAT, P. Determination of moisture sorption isotherms of jasmine rice crackers using BET and GAB models. Food Science and Technology International, Madrid, v. 6, n. 12, p. 459-465, 2006.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; MORETTI, C.L. Desenvolvimento de plantas, produção e qualidade de bulbos de alho sob condições de deficiência de água no solo. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 3, p. 470-473, setembro 2002. Desenvolvimento de plantas, produção e qualidade de bulbos de alho sob condições de deficiência de água no solo Waldir A. Marouelli; Washington L. C. Silva; Celso L. Moretti Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70.359-970 Brasília, DF. E-mail: waldir@cnph.embrapa.br