

## CINÉTICAS DE SECAGEM DO ALHO CHINÊS "*Allium Tuberosum*"

Kátia Soares Moreira<sup>1</sup>, Ednilton Tavares de Andrade<sup>2</sup>, Paula de Almeida Rios<sup>3</sup>, Márcia Eduarda Amâncio<sup>4</sup>, João Levi Bastos Fernandes<sup>5</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> Mestranda em Pós-colheita, UFLA, Engenharia Agrícola, 34 992660519, [paulariosagricola@gmail.com](mailto:paulariosagricola@gmail.com); <sup>4</sup> Mestrando em máquinas e mecanização, UFLA, Engenharia Agrícola, 35 997120099, [marciaeduardaam@gmail.com](mailto:marciaeduardaam@gmail.com); <sup>5</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, UFLA, Departamento de Construções, ambiência e tratamento de resíduo, 35 997340325, [joao.fernandes@deg.ufla.br](mailto:joao.fernandes@deg.ufla.br)

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

**RESUMO:** Com o aumento da produção do alho chinês e a exportação do produto para diversos países no mundo se faz necessário conhecer a cinética de secagem desse produto para otimizar e reforçar a viabilidade da aplicação comercial e de armazenamento do mesmo. Objetiva-se com esse trabalho determinar as curvas de secagem do alho (*Allium Tuberosum*) com cortes nas espessuras de 2 e 3 mm para as temperaturas do ar de 35, 45, 55, e 70°C. Os testes de secagem foram realizados com três repetições em um secador com o fluxo de ar de 0,33 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de cinética de secagem disponíveis na literatura. O modelo que melhor representou a cinética de secagem do alho foi o modelo de Page com coeficiente de determinação de 99,8%, e menores erros médio estimado e relativo.

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

## DRIED KINES OF CHINESE GARLIC "*Allium Tuberosum*"

**ABSTRACT:** With the increase of Chinese garlic production and its exportation to several countries in the world, it is necessary to know the drying kinetics of this product to optimize and strengthen its viability of the commercial and storage application. The objective of this work was to determine the drying curves of garlic (*Allium Tuberosum*) cutted in thicknesses of 2 and 3 mm for air temperatures of 35, 45, 55, and 70°C. The drying tests were performed with three replicates in a dryer with air flow of 0.33 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>. The experimental data were adjusted to the drying kinetic models available in the literature. The Page model had the best fit for the observed data, with a coefficient of determination of 99.8%, and small estimated and relative mean errors.

**KEYWORDS:** garlic, drying, moisture content

## INTRODUÇÃO:

O alho é um tempero utilizado no Brasil em diferentes pratos e com formas diversas no preparo. De acordo com a Associação Nacional dos Produtores de Alho (ANAPA), o consumo nacional deste produto é aproximadamente de 30 milhões de caixas, sendo, 16 milhões importadas. Os principais fornecedores de alho para o Brasil no ano de 2017 foram a China, Argentina e a Espanha. Há uma diferença na qualidade do alho roxo (brasileiro) em comparação com o alho castanho ou branco, esse último produzido na China.

O processo de secagem dos produtos agrícolas tem sido a cada dia mais necessário para a sua conservação. Segundo Evangelista (2003), o alho tem sido um dos alimentos que a sociedade vem buscando consumi-lo de forma desidratada e de boa qualidade desta forma a redução do teor de água na hortaliça favorece o transporte e a manipulação do produto, além de prolongar a vida de prateleira. Para estimar o tempo e a geração de secagem em curvas, utiliza-se modelos matemáticos que descrevem a cinética de secagem de produtos agrícola e alimentos (MIDILLI et al., 2002).

Conforme a importância do processo de secagem, este estudo tem por objetivo realizar a caracterização das curvas de secagem do alho, bem como ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais.

## MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi conduzido no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas (LPPA) da Universidade Federal de Lavras, em Lavras (MG). Utilizou-se como matéria-prima alho chinês (*Allium tuberosum*) adquirido no mercado varejista de Lavras.

A princípio foi determinado o teor de água inicial dos bulbos de alho, sendo de 1,86 base seca (b.s.) pelo método estabelecido pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), com temperatura de  $105 \pm 3$  °C, até peso constante, em três repetições.

Os bulbos do alho brasileiro foram descascados e cortados em fatias finas de 2 e 3 mm de espessura. Para a secagem, utilizou-se secador mecânico de camada fixa com convecção forçada, composto por 6 bandejas perfuradas, quadradas, com lados iguais a 0,35 m e profundidade de 0,40 m. As bandejas encontram-se sobre um plenum, que tem por função a uniformização do ar quente de secagem. As temperaturas do ar de secagem foram controladas em 35, 45, 55 e 70 °C. A velocidade do ar de secagem, medida com anemômetro de lâminas rotativas, foi de aproximadamente  $0,33 \text{ m s}^{-1}$ . O experimento foi composto por três replicatas, cada qual com peso de  $\pm 0,03 \text{ kg}$ , secas nas diferentes temperaturas e espessuras de corte. Durante o processo, as amostras foram pesadas inicialmente em intervalos menores, de 10 em 10 minutos e posteriormente em intervalos mais espaçados, até atingirem o equilíbrio higroscópico, momento em que o peso tornou-se constante. As temperaturas dos secadores foram monitoradas com Datalogger, modelo LG820-UM-851, ligado diretamente ao produto, além da temperatura e umidade relativa do ar ambiente também ser controlada.

Para determinação das razões de teores de água do alho durante a secagem, utilizou-se a expressão seguinte:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que: RU: razão de teor de água do produto (adimensional); U: teor de água do produto ( $\text{kg de água} \cdot \text{kg de matéria seca}^{-1}$ );  $U_i$ : teor de água inicial do produto ( $\text{kg de água} \cdot \text{kg de matéria seca}^{-1}$ );  $U_e$ : teor de água de equilíbrio do produto ( $\text{kg de água} \cdot \text{kg de matéria seca}^{-1}$ ).

Nos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais de secagem, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quase-Newton, no programa computacional Statistica 7.0®, os quais foram: Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis modificado, Henderson e Pabis, Midilli, Newton, Page, Thompson, Verma, Wang e Sing, Valcam e Aproximação da difusão (Tabela 1). Para determinar o grau de ajuste em cada temperatura de secagem considerou-se o erro médio relativo adotando o nível de 5% de significância.

Tabela 1. Modelos matemáticos aplicados nas curvas de secagem.

Modelo	Designação do modelo	Equação
Dois termos <sup>1</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(2)
Exponencial de dois termos <sup>2</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(3)
Henderson & Pabis modificado <sup>3</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(4)
Henderson & Pabis <sup>4</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(5)
Midilli <sup>5</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(6)
Newton <sup>6</sup>	$RU = \exp(-k \cdot t)$	(7)
Page <sup>7</sup>	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	(8)
Thompson <sup>8</sup>	$RU = \exp\{-a \cdot (-a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}\} \cdot (2 \cdot b)^{-1}$	(9)
Verma <sup>9</sup>	$RU = -a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k_1 \cdot t)$	(10)
Wang & Sing <sup>10</sup>	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	(11)
Valcam <sup>11</sup>	$RU = a + b \cdot t + c \cdot t^{1,5} + d \cdot t^2$	(12)

<sup>1</sup>(HENDERSON, 1974); <sup>2</sup>(SHARAF-ELDEE; BLAISDELL; HAMDY, 1980); <sup>3</sup>(KARATHANOS, 1999); <sup>4</sup>(HENDERSON; PABIS, 1961); <sup>5</sup>(MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002); <sup>6</sup>(LEWIS, 1921); <sup>7</sup>(PAGE, 1949); <sup>8</sup>(THOMPSON; PEARTT; FOSTER, 1968); <sup>9</sup>(VERMA et al., 1985); <sup>10</sup>(WANG; SING, 1978); <sup>11</sup>(SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013).

em que, RU: Razão de teor de água; T: tempo de secagem (h); K,  $k_0$  e  $k_1$ : constantes de secagem; a, b, c, d, n: coeficientes dos modelos.

Para o cálculo da umidade de equilíbrio ( $U_e$ ), utilizou-se a equação 13, descrito pelo modelo (determinado por ANDRADE).

$$U_e = \exp\left(\left(-3,7576 UR - T^{0,2733} + \left(\frac{T-UR}{UR}\right)^{0,2733}\right)\right)^{-0,2978} \quad (13)$$

em que,  $U_e$ : Teor de água do produto (b.s.); UR: Umidade relativa do ar de secagem (decimal); T: Temperatura do ar de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A análise da cinética de secagem tem a representatividade dos dados experimentais nos modelos, comparou-se os valores estipulados com os dados estimados, verificou-se a porcentagem de erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ), com as equações a seguir (Ryan, 2009).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (15)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR} \quad (16)$$

em que, Y - valor observado experimentalmente;  $Y_0$  - valor calculado pelo modelo; n - número de observações experimentais; GLR - grau de liberdade do modelo

Os autores (Goneli, 2014; Teixeira et al., 2012), descreveram o modelo da capacidade com um determinado processo físico que é inversamente proporcional ao desvio-padrão da estimativa (SE). A magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de cada modelo será o grau de ajuste, a magnitude do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE).

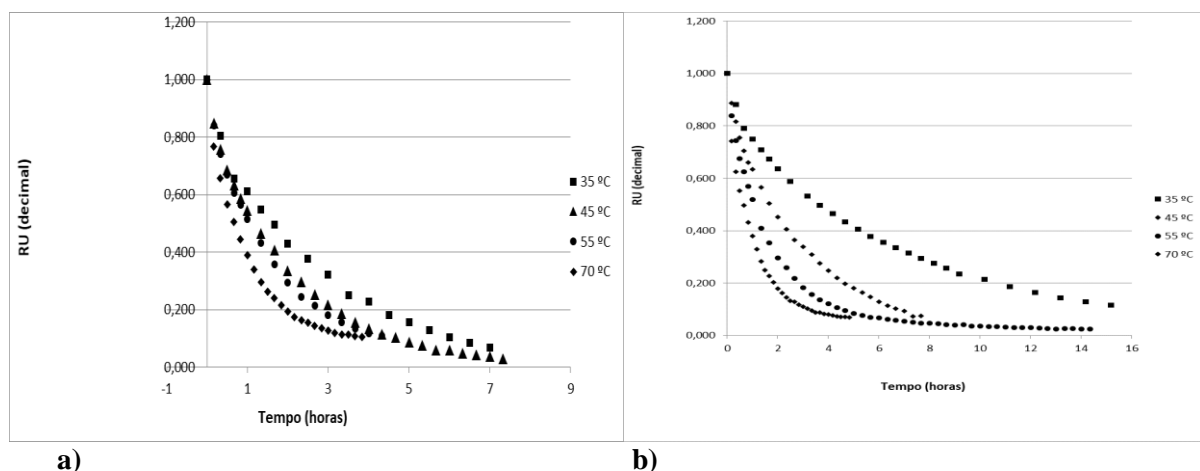
A taxa de redução de água é determinada pela quantidade de água que perde um produto por unidade da matéria seca do produto por unidade de tempo, de acordo com a equação 17 (Corrêa, Machado, & Andrade, 2001).

$$TRA = \frac{Ma_o - Ma_i}{M_s(t_i - t_o)} \quad (17)$$

em que, TRA: taxa de redução de água ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $Ma_o$ : massa de água total anterior (kg);  $Ma_i$ : massa de água total atual (kg);  $M_s$ : matéria seca (kg);  $t_o$ : tempo total de secagem anterior (h);  $t_i$ : tempo total de secagem atual (h).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A temperatura do ar e a espessura do alho afetaram significativamente a cinética de secagem. O tempo em que o produto entrou em equilíbrio foi inversamente proporcional à temperatura e diretamente à espessura, pode ser vista na Figura 1. Silva et al (2009) afirma em seu trabalho que a taxa de secagem está diretamente relacionada a temperatura, sendo que quanto maior esta for, maior a transferência de umidade na amostra.



**Figura 1.** Razão de umidade em função do tempo para diferentes temperaturas do ar de secagem, para o alho brasileiro com espessura de 2mm (a) e 3mm (b).

Foram testados todas os parâmetros de coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erros médio

relativo (P), estimado (SE) e teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ), para cada modelo matemático aplicado correspondente as temperaturas de 35°C, 45°C, 55°C e 70°C das duas espessuras de 2 e 3mm. Na Tabela 01, está apresentado os melhores resultados das estimativas relacionadas às análises dos modelos de cinética de secagem ajustados para o alho chinês.

**Tabela 1.** Parâmetros obtidos dos modelos ajustados aos dados de secagem do alho chinês, nas espessuras de 2 e 3mm, para as diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temp	Espessura	Equação	a	k	B	k0	c	k1	n	d	R <sup>2</sup>	P
35	2mm	MIDILLI	0,9963	0,4817	-0,0090				0,7362		0,9984	5,1579
35	3mm	MIDILLI	0,9880	0,2619	-0,0011				0,7448		0,9995	4,1881
45	2mm	MIDILLI	0,9894	0,6073	-0,0028				0,8078		0,9994	5,4241
45	3mm	MIDILLI	0,9900	0,4483	-0,0028				0,7997		0,9995	6,7750
55	2mm	MIDILLI	0,9965	0,6934	0,0022				0,8096		0,9991	9,4167
55	3mm	MIDILLI	0,9980	0,6881	0,0016				0,8086		0,9990	9,8754
70	2mm	MIDILLI	0,9928	1,0000	0,8069	0,0132					0,9992	1,2762
70	3mm	MIDILLI	0,9893	1,0200	0,0068				0,7723		0,9983	3,1465

Dentre os modelos matemáticos aplicados para os dados experimentais de razão de umidade e tempo, o mais representativo foi o de Midilli, tendo o melhor ajuste nas diferentes temperaturas e espessuras de corte do alho.

A identificação do modelo aplicado mais satisfatório com relação aos valores coletados experimentalmente é feita baseada no coeficiente de determinação e erro médio relativo. De acordo com Teixeira (et al., 2012) ajustes em que R<sup>2</sup> for inferior à 90% e P superior à 10%, não representam de forma ideal os dados, sendo que o primeiro quanto mais próximo de 100% e o segundo de 0%, melhor se adequa ao fenômeno analisado.

## CONCLUSÕES:

O modelo de Midilli foi o que apresentou valores mais satisfatórios para representar a cinética de secagem do alho brasileiro cortado nas espessuras de 2 e 3mm, tendo elevados R<sup>2</sup> e baixos P, SE e  $\chi^2$ , nas temperaturas de 35°C, 45°C, 55°C e 70°C.

## REFERÊNCIAS:

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE ALHO (ANAPA), Acessado em abril de 2018: <http://anapa.com.br/>
- EVANGELISTA, J.; tecnologia de alimentos. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 652 p.
- GONELI, A. L. D.; SARATH, K. L. L.; ARAÚJO, W. D.; GANCEDO, R.; NASU, A. K. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. D.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. *Drying Technology*, v.20, p.1503–1513, 2002.
- TEIXEIRA, L. P., ANDRADE, E. T., & SILVA, P. G. (Agosto de 2012). Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico da polpa e da casca do abacaxi (*Ananas comosus*). *ENGEVISTA*, 14, 172-184.
- SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; FERNANDES, K. S.; FARIAS, P. A. Cinética de secagem emcamada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.11, n.2, p.129-136, 2009.