

## DESCRIÇÃO DA SECAGEM DE FATIAS DE GENGIBRE

VERA SOLANGE DE OLIVEIRA FARIAS<sup>1\*</sup>; ISMAEL ARAÚJO DA SILVA<sup>2</sup>;  
RAQUEL ALVES DE MEDEIROS<sup>3</sup>; THAMIRES MABEL QUEIROZ DE OLIVEIRA<sup>4</sup>; ALUÍZIO FREIRE DA  
SILVA JÚNIOR<sup>5</sup>

- <sup>1</sup>Dr.<sup>a</sup> em Engenharia de Processos, Prof.<sup>a</sup> Associada, CES, UFCG, Cuité-PB, vera.solange6@gmail.com;  
<sup>2</sup>Estudante de graduação de Licenciatura em Matemática, CES, UFCG, Cuité-PB, ismaelaraujo108@gmail.com;  
<sup>3</sup>Mestranda em Ciências Naturais e Biotecnologia, CES, UFCG, Cuité-PB, raquel.medeiros113@gmail.com;  
<sup>4</sup>Mestranda em Ciências Naturais e Biotecnologia, CES, UFCG, Cuité-PB, tham.iresmabel@hotmail.com;  
<sup>5</sup>Dr. em Engenharia de Processos, Prof. Adjunto, CES, UFCG, Cuité-PB, aluiziosfj.ces@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Devido a compostos antioxidantes importantes do gengibre, tais como o 6-gingerol e o 6-Shogaol, diversos estudos têm sido realizados a fim de verificar a influência do processo de secagem sobre os teores desses compostos. O composto 6-Shogaol, por exemplo, é formado apenas ao submeter o gengibre a tratamentos térmicos com temperaturas acima de 80°C. Deste modo, a maioria dos trabalhos encontrados na literatura focam seus estudos no composto 6-gingerol e seus derivados, além de outros indicadores de qualidade do produto seco. No entanto, poucos abordam a descrição do processo de secagem. No presente estudo, foram realizados experimentos de secagem convectiva de fatias de gengibre nas temperaturas de 60 e 85°C. Para descrever as cinéticas de secagem foram testados seis modelos empíricos encontrados na literatura, e a equação de Page foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de secagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cinética de secagem, Equação de Page, Gengibre seco, 6-gingerol.

## DESCRIPTION OF THE DRYING OF GINGER SLICES

**ABSTRACT:** Due to important antioxidant compounds of ginger, such as 6-gingerol and 6-Shogaol, several studies have been carried out in order to verify the influence of the drying process on the contents of these compounds. Compound 6-Shogaol, for example, is formed only by subjecting ginger to heat treatments at temperatures above 80°C. Thus, most works found in the literature focus their studies on 6-gingerol compound and its derivatives, as well as other indicators of dry product quality. However, few report the description of the drying process. In the present study, experiments were performed on convective drying of ginger slices at temperatures of 60 and 85°C. To describe the kinetics of drying, were tested six empirical models found in the literature, and the Page Equation was the best fitted to the experimental data of the drying kinetics.

**KEYWORDS:** Drying kinetics, page equation, dry ginger, 6-gingerol.

## INTRODUÇÃO

O gengibre é um produto muito importante para indústria agrícola. Esta importância é devido às suas propriedades medicinais e ao seu sabor apimentado, sendo encontrado em muitos produtos farmacêuticos e, recentemente, em diversos produtos alimentares. Outra forma que o gengibre pode ser encontrado é seco, e para isto, em muitos lugares do mundo, usa-se a técnica de secagem a sol aberto (Thorat et al., 2012). Nesta técnica a movimentação do ar é feita pela ação do vento e a energia para evaporação de umidade provém do potencial de secagem do ar e da incidência direta da energia solar (Silva, 2008). A desvantagem deste método encontra-se nos efeitos sobre a qualidade do produto. Deste modo, a maioria dos estudos sobre a secagem de gengibre utiliza a secagem em secador (Akpınar & Toraman, 2016; Chapchaimoh et al., 2016; Lv et al., 2016). A secagem é uma das fases mais importante no processamento de diversos produtos agrícolas. Esta técnica é importante tanto para

aumentar o tempo de armazenamento do produto, quanto para agregar valor a este. Isto é devido ao fato de que a água é responsável pelo metabolismo de bactérias e fungos que promovem a decomposição da matéria orgânica. No caso do gengibre, a água presente corresponde a cerca de 82.6 % (b.u.), que é um valor muito alto para um armazenamento seguro (Phoungchandang & Saentaweesuk, 2011). Deste modo, diversos trabalhos tem sido publicados a fim de otimizar o tempo de secagem e estudar os efeitos da temperatura de secagem sobre a qualidade do produto (Phoungchandang & Saentaweesuk, 2011; Parlak et al., 2015).

Um dos indicadores de qualidade importante do gengibre seco é o teor de 6-gingerol e de seus derivados. O 6-gingerol é um composto fenólico importante que possui alta atividade antioxidante (An et al., 2013). Huang et al. (2011) mostraram que a secagem convectiva é benéfica para o aumento do teor de 6-gingerol. Além disso, ainda segundo Huang et al. (2011), o 6-Shogaol (um derivado do 6-gingerol) não está presente no gengibre fresco, mas é formado ao submeter o gengibre a tratamentos térmicos com temperaturas acima de 80°C. Além da propriedade antioxidante do 6-gingerol, Dugasani et al. (2010) concluíram que 6-Shogaol possui propriedades antioxidante importantes, e também propriedades anti-inflamatórias. Portanto, pelo exposto, estudos relacionados a secagem convectiva de gengibre tornam-se importante, não apenas pelos benefícios já apontados da secagem, mas também pela relação do gengibre seco com os compostos 6-gingerol e 6-Shogaol.

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura focam seus estudos no composto 6-gingerol e seus derivados, além de outros indicadores de qualidade do produto seco. No entanto, poucos abordam a descrição do processo de secagem. Deste modo, o presente trabalho tem por objetivo fornecer as cinéticas de secagem de gengibre para as temperaturas de 60 e 85°C.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Dados experimentais da secagem de gengibre*

Os gengibres utilizados nos experimentos de secagem foram adquiridos no mercado local, na cidade de Cuité, estado da Paraíba, com teor de umidade médio de 17,76 (b.s.). O estudo experimental foi conduzido durante o mês de fevereiro de 2018. As secagens foram realizadas numa estufa de circulação e renovação de ar no Laboratório de Bromatologia (LABROM) do Centro de Educação e Saúde da UFCG (campus Cuité).

Antes de iniciar os experimentos de secagem, os gengibres foram lavados em água corrente e então descascados e fatiados manualmente com espessuras que variaram entre 3,84-4,86 mm. Antes de iniciar o processo, os cestos usados na secagem foram pesados, e então nove amostras foram colocadas em cada cesto. Finalmente, os três cestos foram colocados simultaneamente na estufa de circulação e renovação de ar para iniciar o experimento.

Nos intervalos pré-determinados as amostras em triplicata foram retiradas da estufa e pesadas em uma balança analítica. Esse procedimento foi repetido até que a massa de equilíbrio foi alcançada. Finalmente, a temperatura da estufa foi ajustada para 105°C e as amostras foram deixadas nessa mesma estufa por 24 h, a fim de determinar a massa seca. Essa metodologia foi utilizada nos dois processos de secagem (60 e 85°C).

### *Cinética de secagem*

Os dados experimentais obtidos para a cinética de secagem foram usados na forma adimensional, dada pela equação:

$$\bar{X}^*(t) = \frac{\bar{X}(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (1)$$

onde  $X_{eq}$  (b.s.) é o teor de umidade de equilíbrio,  $\bar{X}(t)$  (b.s.) é o teor de umidade médio no tempo  $t$  (s) e  $X_i$  (b.s.) é o teor de umidade inicial.

Entre os modelos usados para a descrição da cinética de secagem, as equações empíricas se destacam entre os mais utilizados. Deste modo, foram testados seis modelos encontrados na literatura a fim de verificar aquele que melhor descreveria as cinéticas de secagem de fatias de gengibre. Os modelos testados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1-Modelos para descrever as cinéticas de secagem.

Modelo	Nome	Expressão	Referência
1	Henderson e Pabis	$X^* = ae^{-bt}$	Diamante et al. (2010)
2	Logaritmica	$X^* = ae^{-bt} + c$	Pirone et al. (2014)
3	Lewis	$X^* = e^{-at}$	Kaleta e Górnicki (2010)
4	Page	$X^* = e^{-at^b}$	Diamante et al. (2010)
5	Silva et alii	$X^* = e^{-at-b\sqrt{t}}$	Silva et al. (2013)
6	Wang e Singh	$X^* = 1 + at + bt^2$	Kaleta e Górnicki (2010)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

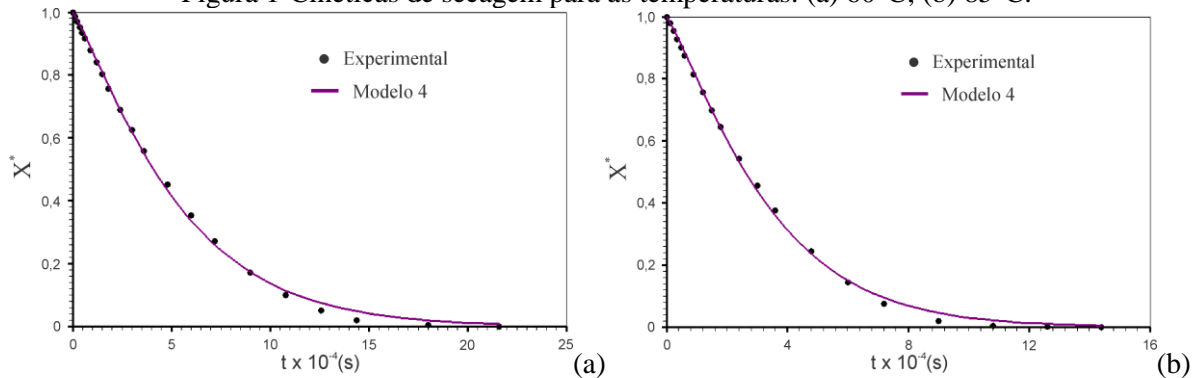
As equações apresentadas na Tabela 1 foram ajustadas através do *software LabFit* (Silva & Silva, 2009), e a seleção do melhor modelo foi feita através dos indicadores estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Os resultados dos ajustes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2-Resultados dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais.

T (°C)	Modelo	a	b	c	$R^2$	$\chi^2$
60	1	1,03	$1,83 \times 10^{-4}$	-	0,996	$1,55 \times 10^{-2}$
	2	1,09	$1,56 \times 10^{-4}$	$-7,63 \times 10^{-2}$	0,998	$5,66 \times 10^{-3}$
	3	$1,75 \times 10^{-4}$	-	-	0,997	$2,09 \times 10^{-2}$
	4	$3,81 \times 10^{-5}$	1,18	-	0,999	$3,43 \times 10^{-3}$
	5	$2,13 \times 10^{-4}$	$-2,45 \times 10^{-3}$	-	0,997	$8,99 \times 10^{-3}$
	6	$-1,27 \times 10^{-4}$	$3,85 \times 10^{-9}$	-	0,996	$1,47 \times 10^{-2}$
85	1	1,04	$2,92 \times 10^{-4}$	-	0,995	$1,61 \times 10^{-2}$
	2	1,09	$2,54 \times 10^{-4}$	$-6,43 \times 10^{-2}$	0,997	$7,20 \times 10^{-3}$
	3	$2,76 \times 10^{-4}$	-	-	0,997	$2,31 \times 10^{-2}$
	4	$5,19 \times 10^{-5}$	1,21	-	0,999	$2,83 \times 10^{-3}$
	5	$3,47 \times 10^{-4}$	$-3,67 \times 10^{-3}$	-	0,997	$8,62 \times 10^{-3}$
	6	$-1,98 \times 10^{-4}$	$9,24 \times 10^{-9}$	-	0,994	$1,83 \times 10^{-2}$

Observando os indicadores estatísticos na Tabela 2, pode-se concluir que o melhor modelo para descrever as cinéticas de secagem nas temperaturas de 60 e 85°C foi o modelo 4, que corresponde a Equação de Page (Diamante et al. (2010)). Deste modo, esse modelo foi usado para descrever a secagem nas temperaturas de 60 e 85°C. Os gráficos de ajustes podem ser observados na Figura 1.

Figura 1-Cinéticas de secagem para as temperaturas: (a) 60°C; (b) 85°C.



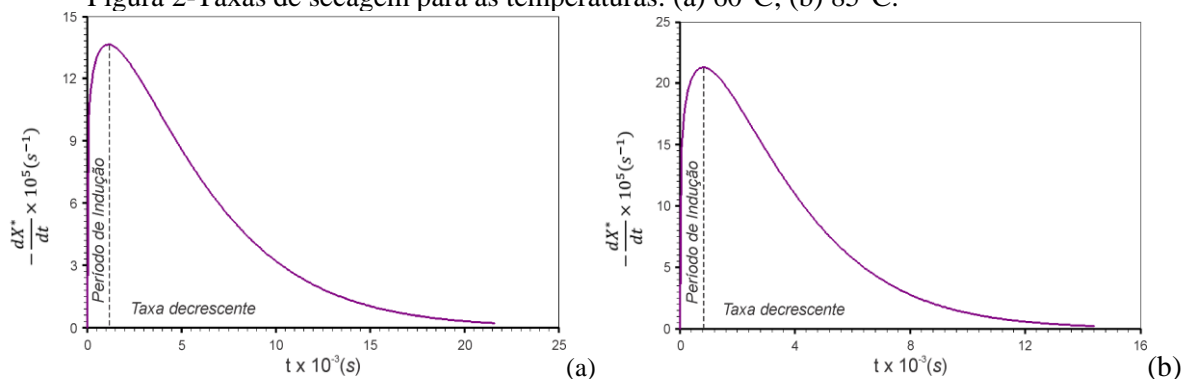
As Figuras 1.a e 1.b confirmam os indicadores estatísticos apresentados na Tabela 1, apresentando bons ajustes do Modelo 4 aos dados experimentais.

A fim de obter a taxa de secagem nas duas temperaturas estudadas, a expressão do modelo 4 foi derivada em função do tempo e a seguinte expressão foi obtida:

$$\frac{dX^*}{dt} = -abt^{b-1}e^{-at^b}, \quad (2)$$

A partir da Eq. (2), foram obtidas as taxas de secagem para as temperaturas de 60 e 85°C. Os gráficos dessas taxas são apresentados na Fig. (2).

Figura 2-Taxas de secagem para as temperaturas: (a) 60°C; (b) 85°C.



Através da Fig. (2) é possível observar que a taxa de secagem apresenta um período inicial crescente, um período de indução. Embora os períodos de indução e de taxa constante sejam conhecidos, a maioria dos trabalhos de secagem encontrados na literatura não analisa tais períodos e consideram o processo totalmente isotérmico. No entanto, a existência desses períodos deve ser primeiramente descartada para então serem usados modelos como os difusivos.

## CONCLUSÃO

Entre os modelos usados para descrever as cinéticas de secagem, o que apresentou os melhores indicadores estatísticos foi o modelo 4 (Modelo de Page). O mesmo modelo foi então utilizado para obter a taxa de secagem.

O estudo da taxa de secagem demonstrou a existência de um período de indução, o que implica que o processo não foi isotérmico em todo o período estudado. Esta observação indica a necessidade de analisar a existência de períodos de indução ou de taxa constante, antes de considerar que todo o processo ocorreu em taxa decrescente.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/UFMG pela concessão de bolsa de iniciação científica ao segundo autor.

## REFERÊNCIAS

- Akpınar, E. K.; Toraman, S. Determination of drying kinetics and convective heat transfer coefficients of ginger slices. *Heat Mass Transfer*. v. 52, p. 2271–2281, 2016.
- An, K.; Ding, S.; Tao, H.; Zhao, D.; Wang, X.; Wang, Z.; Hu, X. Response surface optimisation of osmotic dehydration of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices. *International Journal of Food Science and Technology*. v. 48, p. 28–34, 2013.
- Chapchaimoh, K.; Poomsa-Ad, N.; Wiset, L.; Morris, J. Thermal characteristics of heat pump dryer for ginger drying. *Applied Thermal Engineering*. v. 95, p. 491–498, 2016.
- Diamante, L.M. Ihns, R., Savage, G.P., Vanhanen, L. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 9, p. 1956–1962, 2010.
- Dugasani, S., Pichika, M.R., Nadarajah, V.D. et al. Comparative antioxidant and antiinflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol. *J. Ethnopharmacol*, 127(2): 515–520, 2010.
- Huang, T. C.; Chung, C. C.; Wang, H. Y.; Law, C. L.; Chen, H. H. Formation of 6-Shogaol of Ginger Oil Under Different Drying Conditions. *Drying Technology*. v. 29, p. 1884–1889, 2011.
- Kaletka, A., Górnicki, K. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 5, p. 891–898, 2010.
- Lv, W.; Li, S.; Han, Q.; Zhao, Y.; Wu, H. Study of the Drying Process of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Slices in Microwave Fluidized Bed Dryer. *Drying Technology*. v. 34, p. 1690–1699, 2016.
- Parlak, N. Fluidized bed drying characteristics and modeling of ginger (*zingiber officinale*) slices. *Heat and Mass Transfer*. v. 51, p. 1085–1095, 2015.
- Phoungchandang, S.; Saentaweek, S. Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger. *Food and Bioproducts Processing*. v. 89, p. 429–437, 2011.
- Pirone, B.N.; De Michelis, A.; Salvatori, D. M. Pretreatments effect in drying behaviour and colour of mature and immature ‘Napolitana’ sweet cherries. *Food Bioprocess Technol*, Springer, v. 7, n. 6, p. 1640–1655, 2014.
- Silva, J. S. *Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008.
- Silva, W.P., Silva, C. M. D. P. S., Sousa, J.A.R., Farias, V. S. O. Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 48, n. 2, p. 267–273, 2013.
- Silva, W.P.; Silva, C. M. D. P. S. Lab fit curve fitting software, V.7.2.46, 2009; disponível em : <[www.labfit.net](http://www.labfit.net)>. Acesso em: Abril de 2018.
- Thorat, I. D.; Mohapatra, D.; Sutar, R. F.; Kapdi, S. S.; Jagtap, D. D. Mathematical Modeling and Experimental Study on Thin-Layer Vacuum Drying of Ginger (*Zingiber Officinale* R.) Slices. *Food Bioprocess Technol*. v. 5, p. 1379–1383, 2012.