

## CINÉTICA DE SECAGEM DE HORTALIÇAS EM ESTUFA DE SECAGEM COM LUZ

B. M. TRAVÁLIA<sup>1</sup>, B. S. DOS SANTOS<sup>1</sup>, L. G. M. RESENDE<sup>1</sup>, A. R. S. TELES<sup>1</sup>, L. C. L. A. SANTANA<sup>1</sup>, J. A. B. DOS SANTOS<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos  
e-mail: joaoantonio@ufs.br

### RESUMO

A tecnologia de secagem é amplamente utilizada, com a finalidade de aumentar a vida útil dos produtos. A secagem das hortaliças é uma alternativa para redução do desperdício. O objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de secagem em uma estufa de secagem com luz de folhas de seis hortaliças: hortelã miúda, coentro, salsa, arruda, tomilho e manjerição. Foram realizadas análises de cor e umidade no tempo inicial da secagem e no tempo final. A secagem foi conduzida em estufa de secagem de lâmpadas a 50°C. Para obtenção da curva de secagem, realizaram-se pesagens em um intervalo de tempo de 10 minutos durante o período da primeira hora e no intervalo de 20 minutos até alcançar umidade final. Foram utilizados os modelos matemáticos de Hederson e Pabis, Modelo de Newton, Modelo de Page, Modelo Logarítmico e Modelo de Wang e Singh. As equações, de Hederson e Pabis; Newton; Page; Logarítmico e Wang e Singh utilizadas para ajustar o comportamento da cinética de secagem das amostras de hortelã miúda, coentro, salsa, arruda, tomilho e manjerição se mostraram eficientes com altos valores de coeficientes de correlação e podem ser utilizadas para descrever o processo de secagem destas hortaliças na condição de secagem utilizada. Nas condições de secagem estudadas, o tomilho apresentou uma melhor resposta no tocante aos parâmetros de cor, visto que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na amostra *in natura* e seca.

### 1 INTRODUÇÃO

Hortaliça é a designação da planta herbácea da qual uma ou mais partes podem ser utilizadas como alimento na sua forma natural (ANVISA, 1978). As hortaliças são alimentos altamente perecíveis e apresentam altos índices de perdas pós-colheita. O mercado de hortaliças vem se estruturando em diversos segmentos, apresentando novas tendências de consumo além das hortaliças *in natura*, como as minimamente processadas, congeladas, conservas, enlatados, desidratadas e liofilizadas (VILELA e HENZ, 2000).

A tecnologia de secagem é amplamente utilizada pelas indústrias, com a finalidade de

aumentar a vida útil dos produtos, permitindo também o transporte e o armazenamento sem a cadeia do frio. A remoção de umidade provoca diminuição da atividade de água do produto, inibe o desenvolvimento de microrganismos e retarda deteriorações de origem físico-química (CANO-CHAUCA et al., 2004).

A secagem de alimentos é um fenômeno complexo, que requer representações para a predição do comportamento e otimização de seus parâmetros. Para auxiliar nesta questão, os modelos matemáticos têm sido empregados para estimar o tempo e representar o processo de secagem (SILVA et al., 2008).

Os métodos teóricos usados para descrever o processo de secagem são baseados em leis físicas que tentam explicar o mecanismo de transferência de água. A principal teoria utilizada para interpretar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas é a teoria da difusão da umidade como líquido ou vapor, representada pela segunda lei de Fick (CRANK, 1975).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de secagem em uma estufa de secagem com luz de folhas de seis hortaliças: hortelã miúda, coentro, salsa, arruda, tomilho e manjerição; utilizando posteriormente ajustes dos dados experimentais em diferentes modelos e selecionados.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção e preparo da amostra

Como matéria-prima utilizou-se seis hortaliças: hortelã miúda, coentro, salsa, arruda, tomilho e manjerição provenientes do Centro de Abastecimento – CEASA, localizado na cidade de Aracaju - SE. As amostras foram imediatamente transportadas para serem processadas.

As hortaliças foram previamente limpas e lavadas em água corrente, para a remoção de sujidades, sendo, posteriormente, separada as folhas, desprezando o caule e a raiz.

### 2.2 Análise de umidade

Amostras foram coletadas no início e no final do processo de secagem e submetidas ao ensaio de umidade em estufa a 105°C até peso constante (IAL, 2004).

### 2.3 Análise de cor

A análise de cor instrumental das amostras de hortaliças, foram avaliadas por meio de leitura direta das folhas com colorímetro da marca Konica Minolta®. As coordenadas retangulares foram registradas conforme a CIE (Comissão Internatinal de Eclairage), onde  $a^*$  varia do verde (-) ao

vermelho (+),  $b^*$  do azul (-) ao amarelo (+) e  $L^*$  do preto (0) ao branco (100). O ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) é o ângulo do círculo, derivado dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , que representa a refletância da cor na superfície do material. E a saturação ou cromaticidade (C) é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo  $L^*$ .

### 2.4 Cinética de secagem

Na secagem das hortaliças utilizou-se uma estufa de secagem acoplada com duas lâmpadas incandescentes para atingir temperatura de 50°C. Para obtenção da curva de secagem, realizaram-se pesagens em um intervalo de tempo de 10 minutos durante o período da primeira hora e no intervalo de 20 minutos até alcançar peso constante.

### 2.5 Modelagem do processo de secagem

Os estudos cinéticos foram realizados para determinação das curvas das isotermas de dessorção das hortaliças, ajustando-se aos dados experimentais de secagem, através das Equações abaixo: 1. Hederson e Pabis (HENDERSON e PABIS, 1961); 2. Modelo de Newton (BRUCE, 1985); 3. Modelo de Page (MENGENS e ERTEKIN, 2006), 4. Modelo Logarítmico (TOGRUL e PEHLIVAN, 2002) e 5. Modelo de Wang e Singh (WANG et al., 2007)

$$RU = \exp(-kt) \quad (1)$$

$$RU = a \cdot \exp(-kt) \quad (2)$$

$$RU = C \cdot \exp(-kt^n) \quad (3)$$

$$RU = C \cdot \exp(-kt) + b \quad (4)$$

$$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2 \quad (5)$$

### 2.6 Análise estatística

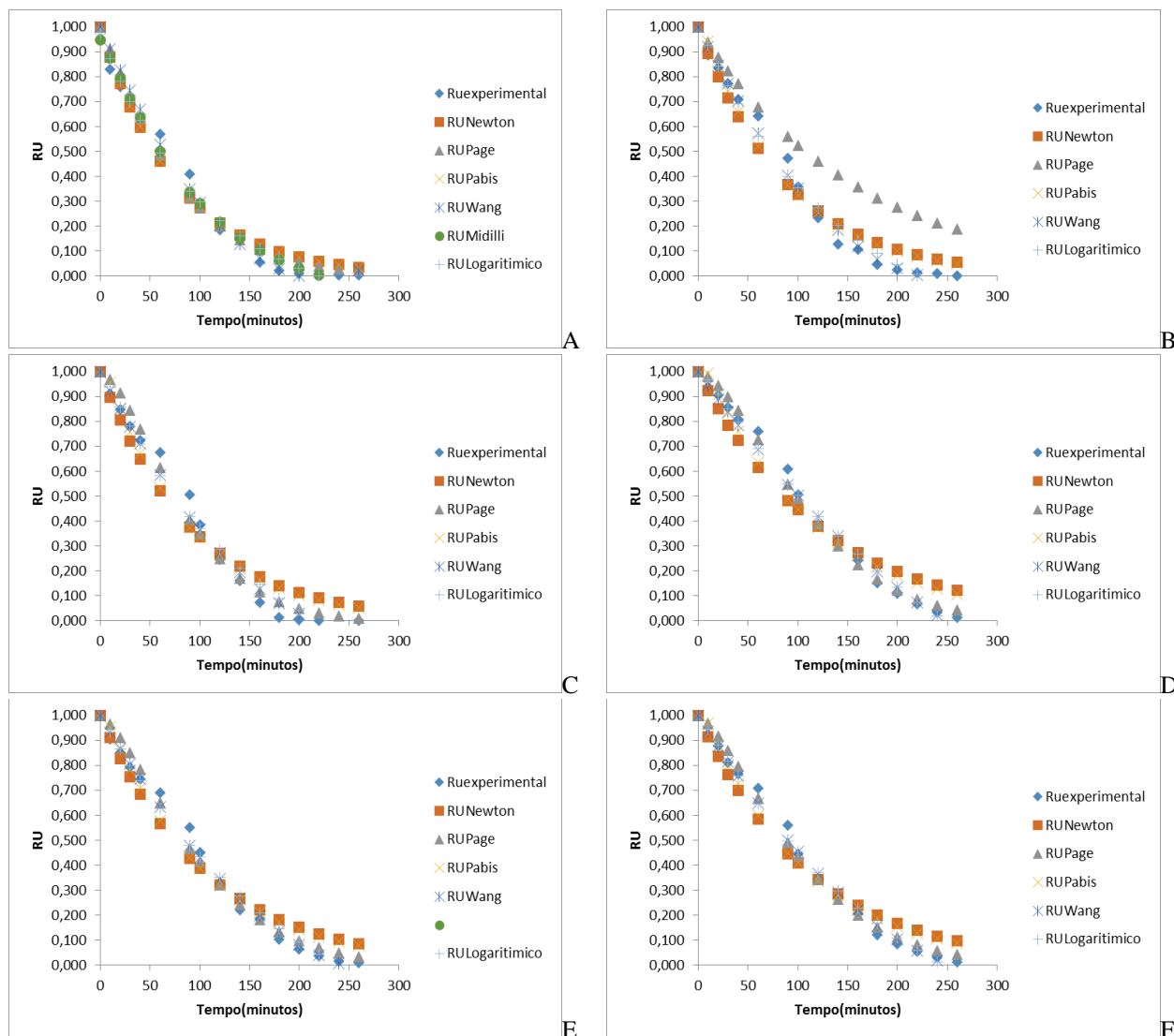
O software Statistica® versão 7.0 para Windows foi utilizado para ajustar as equações dos dados experimentais. O coeficiente de correlação  $R^2$  foi utilizado para descrever o melhor ajuste das equações de cinética de secagem.

O software Assitat versão 7.7 beta, foi utilizado para a realização do teste de Tukey.

As curvas da cinética de secagem das hortaliças estão apresentadas na Figura 1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Figura 1** – Conteúdo de umidade adimensional (base seca) versus tempo ajustado para as Equações de Hederson e Pabis; Newton; Page; Logarítmico e Wang e Singh. (A) hortelã miúda, B) coentro, C) salsa, D) arruda, E) tomilho e F) manjeriçõ).



Fonte: Autores (2015).

Ao analisar a Figura 1, pode-se verificar que na temperatura estudada, a razão de umidade reduziu rapidamente no início e, posteriormente, diminuiu lentamente à medida que se aumentava o tempo de secagem. Esses resultados estão de acordo

com a literatura (KARABULUT et al., 2007; LAHSASNI et al., 2004).

Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros estatísticos utilizados para a comparação entre os cinco modelos de secagem analisados, nas condições de

secagem utilizadas para as ervas e o valor das constantes dos modelos.

Para a temperatura utilizada na secagem verifica-se que todos os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais, apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,97, sendo o modelo de Wang et al., (2007) o que apresentou maior valor de  $R^2$  na temperatura de secagem estudada (50°C) para todas as hortaliças, com

exceção da arruda, onde o modelo que apresentou maior valor de  $R^2$  foi o modelo de Page (MENGES e ERTEKIN, 2006) (Tabela 1). Quanto maior o  $R^2$ , melhor é o procedimento de ajuste (TOGRUL e PEHLIVAN, 2004; MAZUTTI et al., 2010; SANJINEZ-ARGANDOÑA et al., 2011).

**Tabela 1** - Coeficientes de determinação  $R^2$  para modelos analisados.

	Hortelã Miúdo	Coentro	Salsa	Arruda	Tomilho	Manjeriçao
Newton	0,98693	0,98077	0,97276	0,97215	0,97897	0,98048
Page	0,98933	0,99310	0,99102	0,99625	0,99257	0,99546
Logarítmico	0,99284	0,99268	0,98998	0,99529	0,99460	0,99616
Wang e Singh	0,99322	0,99590	0,99339	0,99544	0,99601	0,99718
Herderson e Pabis	0,98695	0,98302	0,97640	0,97828	0,98130	0,98130

Os resultados da influência do método de secagem sobre a cor das folhas das hortaliças estão apresentados na Tabela 2.

Pode-se observar que não houve influência do método de secagem para os parâmetros  $a^*$ ,  $C$ , e  $h^\circ$  nas folhas de coentro, tomilho e salsa. Porém, na arruda, hortelã miúdo e manjeriçao, houve uma redução do valor do parâmetro  $a^*$ , o que indica uma redução da intensidade da coloração verde nas

amostras de hortaliças após a secagem e uma redução também na Cromaticidade ( $C$ ) e na refletância da cor na superfície do material ( $h^\circ$ ).

Apenas o Tomilho e a Salsa não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) no parâmetro  $b^*$ . No que se refere a luminosidade ( $L^*$ ), todas as amostras apresentaram redução com exceção do tomilho.

**Tabela 2** - Valores médios dos parâmetros de cor das ervas *in natura* ( $T_0$ ) e secas ( $T_f$ ).

		Coentro	Tomilho	Salsa	Arruda	Hortelã Miúdo	Manjeriçao
$L^*$	$T_0$	43,86±1,80a	32,16±4,25a	41,82±3,58a	44,56±2,85a	41,20±0,42a	41,23±6,10a
	$T_f$	32,63±2,37b	27,20±0,4a	34,36±2,92b	37,63±1,26b	32,66±2,77b	27,03±1,57b
$b^*$	$T_0$	36,96±1,53a	16,13±2,69a	25,03±3,23a	26,9±2,09a	30,26±2,05a	26,00±3,14a
	$T_f$	24,00±2,70b	12,90±1,32a	23,43±1,11a	22,93±1,15b	16,60±0,7b	16,23±8,35b
$a^*$	$T_0$	-7,26±0,96a	-2,93±2,93a	-7,5±0,2a	-7,93±0,41a	-8,36±4,3a	-7,66±0,58a
	$T_f$	-4,23±2,91a	-2,70±2,7a	-5,6±1,77a	-2,23±0,6b	-0,4±0,0b	-3,00±0,34b
$C$	$T_0$	31,16±9,60a	16,46±3,00a	27,16±3,3a	28,06±2,08a	31,23±2,31a	27,1±3,02a
	$T_f$	24,36±2,81a	13,20±1,25a	23,30±0,1a	23,11±1,13b	16,6±0,7b	12,46±1,53b
$h^\circ$	$T_0$	103,20±1,41a	99,73±5,38a	107,23±1,85a	106,50±0,65a	105,43±3,96a	106,53±1,96a
	$T_f$	99,96±1,72a	78,06±2,71a	102,2±3,15a	95,60±1,44b	90,5±1,56b	76,2±1,18b

Fonte: Autor (2015). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4 CONCLUSÃO

As Equações, de Hederson e Pabis; Newton; Page; Logaritimico e Wang e Singh utilizadas para ajustar o comportamento da cinética de secagem das amostras de hortelã miúda, coentro, salsa, arruda, tomilho e manjerição se mostraram eficientes com altos valores de coeficientes de correlação e podem ser utilizadas para descrever o processo de secagem destas hortaliças na condição de secagem utilizada.

Nas condições de secagem estudadas, o tomilho apresentou uma melhor resposta no tocante aos parâmetros de cor, visto que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na amostra *in natura* e seca.

#### NOMENCLATURA

a = constante de modelo;  
b = constante de modelo;  
C = constante de modelo;  
k = constante de modelo;  
t = tempo (min);  
 $R^2$  = coeficiente de determinação;  
RU = umidade relativa;  
 $T_0$  = tempo inicial;  
 $T_f$  = tempo final;  
 $a^*$  = coordenada de cor, varia do verde (-) ao vermelho (+);  
 $b^*$  = coordenada de cor, varia do azul (-) ao amarelo (+);  
 $L^*$  = coordenada de cor, varia do preto (0) ao branco (100);  
 $h^\circ$  = ângulo de matiz;  
C = cromaticidade.

#### REFERÊNCIAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Comissão Nacional de Normas e

Padrões para Alimentos, Resolução – CNNPA n°. 12 – D.O. de 24/07/1978, 1978.

BRUCE, D. M. Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150 °C. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 32, n. 4, p. 337–347, 1985.

CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; MARQUES, J. A.; SILVA, P. I. Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.22, n.1, p.121-132, 2004.

CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. **Oxford**: Clarendon Press, 1975.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

IAL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 4ed. São Paulo: **IMESP**, 2004. 1004p.

KARABULUT, I.; HAYALOGLU, A. A.; YILDIRIM, H. Thin-layer drying characteristics of kurut, a Turkish dried dairy by-product. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 42, n. 9, p. 1080-1086, 2007.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J. T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 173-179, 2004.

MAZUTTI, M. A.; ZABOT, G.; BONI, G.; SKOVRONSKI, A.; OLIVEIRA, D.; DI LUCCIO, M.; OLIVEIRA, J. V.; RODRIGUES, M. I.; TREICHEL, H.



MAUGERI, F. Mathematical modeling of thin-layer drying of fermented and non-fermented sugarcane bagasse. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, p. 780-786, 2010.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of golden apples. **Journal Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 119-125, 2006.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ, C; L; Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicum esculentum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 308-312, 2011.

SILVA, A.S. ALMEIDA, F.A.C. SILVA, F.L.H. DANTAS, H.J. LIMA, E.E. Desidratação e efeito de pré-tratamentos no extrato seco do pimentão verde. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 27-34, 2008.

TOGRUL, L. T.; PEHLIVAN, D. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 3, p. 209–16, 2002.

VILELA, N. J.; HENZ, G.P. Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.17,p.71-89, jan./abril. 2000.

WANG, Z.; SUN, J.; LIAO, X.; CHEN, F.; ZHAO, G.; WU, J.; HU, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. **Food Research International**, Toronto, v. 40, p. 39-46, 2007.