

## **CINÉTICA DE SECAGEM DE MAÇÃ**

JOANA D'ARC PAZ DE MATOS<sup>1\*</sup>; SEMIRAMES DO NASCIMENTO SILVA<sup>2</sup>;  
LUÍS PAULO FIRMINO ROMÃO DA SILVA<sup>3</sup>; ZANELLI RUSSELEY TENÓRIO COSTA<sup>4</sup>;  
JOSIVANDA PALMEIRA GOMES<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, joanadarcpcma@hotmail.com;

<sup>2</sup>Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, semirames.agroecologia@gmail.com;

<sup>3</sup>Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, luispfrs@hotmail.com;

<sup>4</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, zanelli.tenorio@afogados.ifpe.edu.br;

<sup>5</sup>Dra. Profa. Titular, UFCG, Campina Grande-PB, josivanda@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:** O objetivo deste trabalho foi descrever a cinética de secagem da maçã nas temperaturas de 50 e 60 °C e ajustar a modelos matemáticos. O trabalho foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Afogados da Ingazeira-PE. As maçãs foram adquiridas no comércio local da cidade, selecionadas visualmente quanto ao estágio de maturação e espalhadas em bandejas teladas de aço. A secagem foi realizada em estufa com velocidade de ar constante de 1 m/s, nas temperaturas de 50 e 60 °C. Para o processo de secagem, foram realizadas pesagens em intervalos regulares até peso constante da massa. Observou-se que ambas as temperaturas se comportaram similarmente em relação à perda de água, sendo a maior retirada de água observada nos primeiros 200 minutos do processo. O tempo de secagem teve redução de acordo com o aumento da temperatura, uma vez que, a elevação da temperatura do ar de secagem acarreta maior taxa de remoção de água. Verificou-se que, a exceção do modelo de Midili, a maioria dos modelos apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 98,00 sendo considerado um ajuste satisfatório. Que o modelo de Page, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com coeficiente de determinação superior a 99,73 e DQM inferior a 0,0137 para as temperaturas estudadas.  
**PALAVRAS-CHAVE:** *Malus domestica*, secagem convectiva, modelos matemáticos, coeficiente de variação.

### **APPLE DRYING KINETICS**

**ABSTRACT:** The objective of this work was to describe the drying kinetics of the apple at temperatures of 50 and 60 °C and adjust to mathematical models. The work was carried out at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pernambuco - Campus Afogados da Ingazeira-PE. The apples were purchased in the local commerce of the city, selected visually as to the stage of maturation and scattered in steel mesh trays. The drying was carried out in an oven with constant air velocity of 1 m/s, at temperatures of 50 and 60 °C. For the drying process, weighings were carried out at regular intervals up to constant mass weight. It was observed that both temperatures behaved similarly to water loss, with the highest water withdrawal observed in the first 200 minutes of the process. The drying time had a reduction according to the increase in temperature, since the raising of the drying air temperature leads to a higher rate of water removal. It was verified that, except for the Midili model, most of the models presented determination coefficients ( $R^2$ ) higher than 98.00 and considered a satisfactory adjustment. That the Page model was the best fit to the experimental data, with a determination coefficient higher than 99.73 and DQM lower than 0.0137 for the temperatures studied.

**KEYWORDS:** *Malus domestica*, convective drying, mathematical models, coefficient of variation.

## INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (2015), o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de frutas. O balanço previsto para o ano de 2016 foi de 39,5 milhões de toneladas, sendo a maior parte dessa produção absorvida pelo mercado interno. Frutas como laranja, banana, abacaxi e maçã lideram os índices como os mais produzidos nacionalmente (IBGE, 2017).

A maçã é abundante em água cerca de 85% em massa, durante a maturação gera condições necessárias para que ocorram processos bioquímicos, biofísicos e biológicos inviabilizando o seu consumo (Atungulu et al., 2004). Possui boa textura e acidez, além de ter um alto teor de açúcar e potássio é um alimento plausível de ser desidratado (Danesi, 2007).

Técnicas para a preservação e diminuição de prejuízos causados a produtos in natura são estudadas há anos. O desafio é preservar os alimentos, mantendo valores nutricionais semelhantes aos originais, pois os consumidores estão cada vez mais exigentes. Em níveis industriais, tem-se buscado o desenvolvimento de operações que minimizem os custos e os efeitos adversos do processamento (Leite et al., 2015).

A qualidade dos produtos desidratados é influenciada por variáveis como a temperatura utilizada na secagem, velocidade do ar e os teores de umidade da fruta e do ar que a circunda (Putra & Ajiwiguna, 2017; Saha et al., 2018). Uma forma de prever o nível de umidade do produto durante a secagem é relacioná-lo ao tempo de desidratação, criando as curvas de cinética (Zlatanović et al., 2013). O ajuste dos dados experimentais a modelos matemáticos proporciona melhor controle sobre o processo, além de poder ser utilizado como uma forma de avaliar novas práticas de secagem (Wang et al., 2018). Com base no exposto, teve-se como objetivo descrever a cinética de secagem da maçã nas temperaturas de 50 e 60 °C e ajustar a modelos matemáticos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Unidade de Processamento de Frutos e Hortaliças (UP-FRUTOS), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Afogados da Ingazeira. As maçãs foram adquiridas no comércio da cidade de Afogados da Ingazeira-PE, as mesmas foram selecionadas visualmente quanto ao estágio de maturação ideal para o consumo in natura.

A secagem foi realizada com três repetições, utilizando-se estufa com velocidade de ar de 1 m/s, nas temperaturas de 50 e 60 °C, onde as amostras foram uniformemente espalhadas em bandejas teladas de aço. Para o processo de secagem, foram realizadas pesagens do produto no início e, posteriormente, em intervalos regulares até peso constante da massa. Com os dados experimentais foram calculados os valores da razão de umidade conforme a Equação 1.

O teor de água inicial e final da maçã foi determinado conforme Brasil (2008) em estufa a 105 °C. A partir dos dados obtidos durante a secagem foram construídos gráficos de curva de secagem (massa reduzida em função do tempo).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Em que: RX: razão de água, adimensional; X: teor de água, base seca (%);  $X_e$ : teor de água de equilíbrio, base seca (%);  $X_0$ : teor de água inicial, base seca (%).

Foram utilizados quatro modelos matemáticos para ajustes dos dados de secagem, que estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos utilizados para ajustes dos dados de secagem da maçã nas temperaturas de 50 e 60 °C.

Designação do modelo	Equação	Referência
Page	$RU = \exp(-k.t^n)$	(Page, 1949)
Midilli	$RU = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	(Midilli et al., 2002)
Henderson e Pabis	$RU = a.\exp(-k.t)$	(Henderson & Pabis, 1962)
Newton	$RU = \exp(-k.t)$	(O'Callaghan, 1971)

RU - razão de umidade do produto, adimensional; k - constantes de secagem; a, b, n – constantes dos modelos; t - tempo de secagem (min).

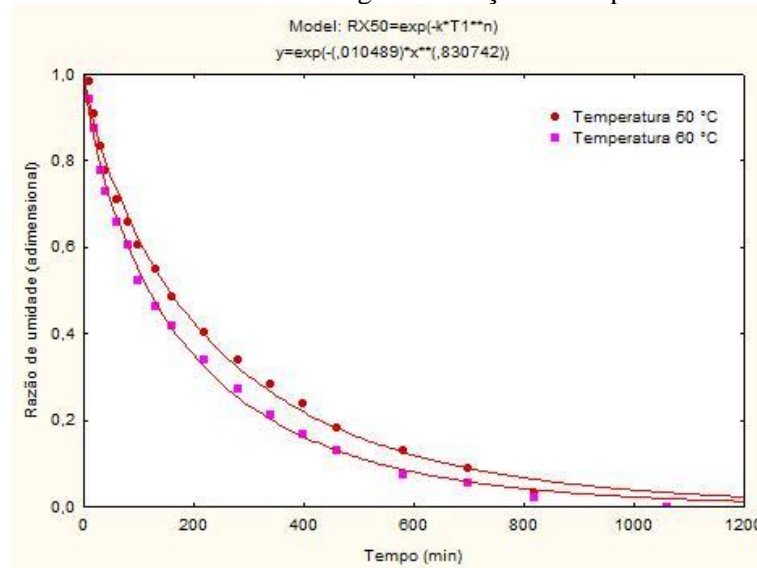
Para a aplicação dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional Statistica 7.0 por meio de análises de regressão não linear. O ajuste de cada modelo foi avaliado quanto ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e Desvio Quadrado Médio (DQM).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão descritos na Figura 1, os dados experimentais da cinética de secagem da maçã nas temperaturas de 50 e 60 °C, expressos através do teor de umidade em função do tempo de secagem (min). Analisando-se as curvas de razão de umidade (RU), percebe-se que o aumento da temperatura favorece o processo de transferência de energia na forma de calor para as amostras, diminuindo, conseqüentemente, o tempo necessário para o sólido atingir o equilíbrio dinâmico.

Observa-se que ambas as temperaturas se comportam similarmente em relação à perda de água. Sendo a maior retirada de água observada nos primeiros 200 minutos do processo. Os tempos médios necessários para completar o processo de secagem foram de 800 minutos, cujos resultados estão semelhantes com os estudos realizados por Sousa et al. (2015).

Figura 1 - Curvas de cinética de secagem de maçã nas temperaturas 50 e 60 °C.



Observou-se a redução do tempo do processo de secagem com o aumento da temperatura, comportamento esperado, uma vez que com a elevação da temperatura do ar de secagem desenvolve maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, acarretando maior taxa de remoção de água, independente do tipo do material utilizado (Sousa et al., 2011). Entretanto, ocorreu uma diminuição no teor de umidade com a elevação da temperatura de secagem, comportamento observado por Melo et al. (2013) na secagem da polpa do fruto de mandacaru e na secagem do grão de algaroba por Silva et al. (2012).

Na Tabela 2 encontram-se os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o Desvio Quadrados Médio (DQM) calculados para verificação do ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem de maçã nas temperaturas de 50 e 60 °C. Constatou-se que, a exceção do modelo de Midili, a maioria dos modelos apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 98,00 sendo considerado um ajuste satisfatório.

Vargas et al. (2016) ao avaliar a cinética de secagem de diferentes frutas em secador convectivo combinado com micro-ondas também obtiveram coeficiente de determinação superior a 0,995 para os modelos matemáticos de Page e Henderson & Pabis.

**Tabela 2** - Parâmetros de ajuste da cinética de secagem de maçã, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e Desvio Quadrado Médio (DQM) referentes aos modelos matemáticos nas temperaturas de 50 e 60 °C.

Modelos	T (°C)	Parâmetros				$R^2$	DQM
		a	k	b	n		
Midili	50	1,30902	-	-0,009	0,966	81,391	0,1104
	60	0,987456	-	-0,009	0,444	75,859	0,1266
Henderson e Pabis	50	0,953543	0,003908	-	-	98,925	0,0293
	60	0,937281	0,004897	-	-	98,851	0,0304
Newton	50	-	0,004232	-	-	98,466	0,0351
	60	-	0,005466	-	-	98,139	0,0387
Page	50	-	0,010489	-	0,830	99,598	0,0156
	60	-	0,015440	-	0,796	99,734	0,0137

Dentre os modelos matemáticos analisados, o modelo de Page, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, por apresentar coeficiente de determinação com valores superiores a 99,73 e valores de DQM inferiores a 0,0137 para as temperaturas estudadas.

## CONCLUSÃO

Os valores obtidos na cinética de secagem de maçã foram plotados em função do tempo e as curvas resultantes ajustadas de acordo com o modelo matemático que se mostrou mais adequados, sendo este o de Page. O DQM mostrou que o experimento obteve resultados válidos, resultando em um produto com baixo índice de água, conforme estimado. A temperatura é o principal fator controlador do processo de secagem, pois quanto maior a temperatura de secagem, mais rápido o produto atinge sua umidade de equilíbrio.

## REFERÊNCIAS

- Atungulu, G.; Nishiyama, Y.; Koide, S., Electrode configuration and polarity effects on physiochemical properties of electric field treated apples post harvest. *Biosys Engineering*, v. 87, n. 3, p. 313-323, 2004.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. 1022 p.
- FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. OCDE/FAO: Perspectivas agrícolas 2015-2024. Fao.org, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>>. Acesso em: 11 de mai. 2018.
- Henderson, S. M.; Pabis, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Research Engineering*, v. 12, p. 732-736, 1962.
- IBGE. PAM 2016: valor da produção agrícola nacional foi 20% maior do que em 2015. IBGE, 2017. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/16814-pam-2016-valor-da-producao-agricola-nacional-foi-20-maior-do-que-em-2015.html>>. Acesso em: 11 de mai. 2018.
- Leite, A. L. M. P.; Silva, F. S.; Porto, A. G.; Piasson, D.; Santos, P. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 2, p. 155-162, 2015.
- Melo, K. S. et al. Secagem em Camada de Espuma da Polpa do Fruto do Mandacaru: Experimentação e Ajustes de Modelos Matemáticos. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.
- Midilli, A.; Kucuk, H.; Yapar, Z. A. New model for single-layer drying. *Drying Technology*, v. 20, p. 1503-1513, 2002.
- O'Callaghan, J. R.; Menzies, D. J.; Bailey, P. H. Digital simulation of agricultural dryer performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 16, n. 3, p. 223-244. 1971
- Page, G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. 1949. Dissertação de Mestrado, Purdue University, West Lafayette, 1949.
- Putra, R. N.; Ajiwiguna, T. A. Influence of air temperature and velocity for drying process. *Procedia Engineering*, v. 170, p. 516-519, 2017.
- Saha, B.; Bucknall, M. P.; Arcot, J.; Driscoll, R. Profile changes in banana flavour volatiles during low temperature drying. *Food Research International*, v. 106, n. 4, p. 992-998, 2018.

- Silva, L. A.; Cavalcanti-Mata, M. E. R. M.; Duarte, M. E. M.; Almeida, R. D.; Cavalcanti, R. F. R. M. Cinética da secagem de grãos de algaroba. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 14, p. 535-542, 2012.
- Sousa, K. A.; Resende, O.; Chaves, T. H.; Costa, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p. 883-892, 2011.
- Sousa, F. C.; Martins, J. J. A.; Rocha, A. P. T.; Gomes, J. P.; Pessoa, T.; Martins, J. N. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. *Revista brasileira de plantas medicinais*, v.17, n.2, 2015.
- Vargas, P. O.; Matias, T. G.; Gonçalves, L. T.; Mussi, L. P.; Prates, L. O.; Ferreira, N. R. Cinética de secagem de diferentes frutas com ar quente combinado com micro-ondas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 21, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2016.
- Wang, J.; Law, Chung-Lim.; Nema, P. K.; Zhao, J-H.; Liu, Z-L.; Gao, Z-J.; Xiao, H-W.. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *Journal of Food Engineering*, v. 224, p. 129-138, 2018.
- Zlatanović, I.; Komatina, M.; Antonijević, D. Low-temperature convective drying of apple cubes. *Applied Thermal Engineering*, v. 53, n. 1, p. 114-123, 2013.