

CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DA BANANA PRATA E GOIABA SURUBIM ORGÂNICAS

Renato Costa da Silva¹; Joan Carlos Alves Pereira²; Regilane Marques Feitosa³; Bruno Fonseca Feitosa⁴; Emanuel Neto Alves de Oliveira⁵

¹Universidade Federal de Campina Grande - renatinocosta@gmail.com

²Universidade Federal de Campina Grande - joan_carlos21@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Campina Grande - regilanemarques@yahoo.com.br

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - brunofonsecafeitoza@live.com

⁵Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - emanuel.oliveira16@gmail.com

Introdução

O hábito de ingerir regularmente frutas exerce uma função significativa na saúde dos indivíduos, pois são ricas em vitaminas, carboidratos e ainda previnem doenças (SILVA et al., 2016). O conceito de geração sustentável adquiriu força no final dos anos 80 e se associou a ideia de que a agricultura familiar é um dos principais responsáveis na difusão desse contexto de práticas produtivas ecologicamente corretas, buscando atender consumidores com forte preocupação ambiental (GAVIOLA & COSTA, 2011; PADUA et al., 2013).

A curta vida útil das frutas frescas leva a um curto tempo de consumo, o que delimita e compromete sua distribuição internacional, no intuito de prolongar a vida útil das frutas, o processamento deve ser aplicado, e a desidratação é uma das opções mais frequente e antiga na conservação de frutas (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2015)

O fato da água ser o elemento principal que permite o metabolismo biológico dos produtos agrícolas a secagem é o método mais utilizado para promover a qualidade e a estabilidade, pois a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e mudanças químicas que podem ocorrer durante seu armazenamento (MENEGETTI et al., 2012). Para um sinuoso estudo da secagem de determinado produto se é construído a curva da cinética de secagem, que permite observar o quanto de água foi retirado do produto em determinado tempo, e o coeficiente de difusividade efetiva mássica que indica o fluxo da água ao ser retirada.

Com base no contexto, esse trabalho teve como objetivo obter a cinética de secagem na temperatura de 60 °C das frutas banana e goiaba produzidas organicamente, calcular a difusividade efetiva do fluxo de massa e fazer a análise físico-química dos produtos secos.

Metodologia

Os frutos, banana (*Musa sp.*) variedade prata e goiaba (*Psidium guajava* L.) variedade surubim produzidos em sistema orgânico são provenientes de um pequeno produtor local na cidade de Pau dos Ferros – RN. As frutas foram levadas para o Laboratório de Processamento de Alimentos, do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Pau dos Ferros- RN, e foram lavadas, sanitizadas e cortadas transversalmente em fatias de aproximadamente 2 cm. Para a realização da secagem a 60 °C em estufa.

Os dados das cinéticas foram obtidos pesando-se as bandejas com os produtos a cada 60 min, após a estabilização, as amostras foram levadas para estufa a 105 °C para a obtenção da massa seca. Com os dados das umidades em base seca foram calculados os valores da razão de umidade (Eq. 1).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

RX – Razão de umidade do produto (adimensional); X – teor de umidade do produto em determinado tempo (b. s.); X_i – teor de umidade inicial do produto (b. s.); e X_e – teor de umidade equilíbrio do produto (b. s.).

As curvas de cinética de secagem foram traçadas ajustando os dados experimentais aos modelos matemáticos: Aproximação da difusão ($RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$ (eq. 2)); Henderson & Pabis ($RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (eq. 3)); Page ($Rx = \exp(-k \cdot t^n)$ (eq. 4)).

Em que: a, b, n – parâmetros dos modelos, t – tempo, k – constante de secagem.

Para o ajuste dos modelos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional Statistica 7. Os critérios empregados para determinar o modelo que se ajustou melhor aos dados experimentais foram: coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) (Eq. 5).

$$DQM = \sqrt{\frac{(RX_{\text{pred}} - RX_{\text{exp}})^2}{n}} \times 100 \quad (\text{eq. 5})$$

Em que: DQM – desvio quadrático médio; RX_{pred} – razão de umidade predito pelo modelo; RX_{exp} – razão de umidade experimental; n – número de observações.

As análises físico químicas realizadas após a secagem foram: teor de umidade (base seca) e acidez total titulável (ATT) determinados de acordo com as metodologias descritas no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), o pH através do método potenciométrico e a atividade de água determinada por medida direta no higrômetro Aqualab, na temperatura de 25 °C.

A difusividade efetiva foi obtida por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrita pela Eq. 6, aos dados experimentais da secagem da banana e goiaba, considerando-se a forma geométrica dos produtos como aproximação a um cilindro finito, devido ao corte das mesmas, desconsiderando-se a contração volumétrica (Luikov, 1968).

$$M(t) = M_{eq} - (M_{eq} - M_i) \sum_{n=1}^{100} \sum_{m=1}^{40} B_n B_m \exp \left[- \left(\frac{\mu_n^2}{R^2} + \frac{\mu_m^2}{(L/2)^2} \right) Dt \right] \quad (\text{eq. 6})$$

Em que: $M(t)$ - teor de umidade no instante t ; M_{eq} - teor de umidade para $t \rightarrow \infty$; M_i - teor de umidade para $t=0$; R - raio; L - comprimento; D - difusividade; t - tempo; $B_n = 4/\mu_n^2$; $B_m = 2/\mu_m^2$; $J_0(\mu_n) = 0$; $\mu_m = (2m-1)(\pi/2)$.

Resultados e discussão

Na Tabela 1 tem-se os parâmetros dos modelos ajustados às cinéticas de secagem das bananas e goiabas na temperatura de 60 °C, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM). Todos os modelos abrangeram valores inferiores a 10 % que é o máximo de desvio para um boa predição. Os coeficientes de determinação apresentaram valores maiores que 0,98, sendo que o modelo de Henderson & Pabis obteve maiores valores de coeficiente de determinação e menores valores de desvio para a banana prata, já para os valores da goiaba surubim o modelo Aproximação da difusão foi o que se ajustou melhor aos dados. Segundo SOZZI & RAMOS (2015), quanto mais aproximado a 1 o R^2 mais elucidativo o modelo e melhor ele se ajusta à os dados experimentais.

Tabela 1 – Parâmetros, coeficiente de determinação e desvio quadrático médio dos modelos ajustados as curvas de secagem a 60 °C da banana prata e goiaba surubim.

	Modelo	Parâmetros			R^2	DQM (%)
		a/n	k	b		
Banana	Aproximação da difusão	0,5920	0,00398	0,2133	0,9935	2,42
	Henderson & Pabis	0,6044	0,00431	-	0,9941	2,29
	Page	0,7696	0,00832	-	0,9866	3,46
Goiaba	Aproximação da difusão	-0,1055	0,00272	0,0896	0,9931	2,88
	Henderson & Pabis	0,3483	0,00225	-	0,9907	3,35
	Page	1,0774	0,00132	-	0,9910	3,28

Observa-se na Tabela 1 que a constante de secagem k , presente nos modelos, apresentou maiores valores na banana, fato que pode ser explicado devido a mesma ter uma densidade maior que a goiaba fazendo com que o tempo de secagem da mesma seja mais prolongado. Segundo MARTINAZZO et al. (2016) o k informa o quanto intemperes externos interferem na secagem,

tendo como exemplo dos mesmos a umidade e temperatura do ar ambiente, já que a água livre sai do produto de acordo com a diferença da pressão de vapor.

Na Figura 1 são descritas as curvas das cinéticas de secagem da banana prata (1A) e goiaba surubim (1B) na temperatura de 60 °C. Os pontos representam os dados experimentais e a linha continua os dados preditos pelo modelo matemático Henderson & Pabis para a banana e Aproximação da difusão para goiaba. O tempo de secagem da banana até alcançar o equilíbrio foi de 3360 min e o da goiaba foi de aproximadamente 2040 min.

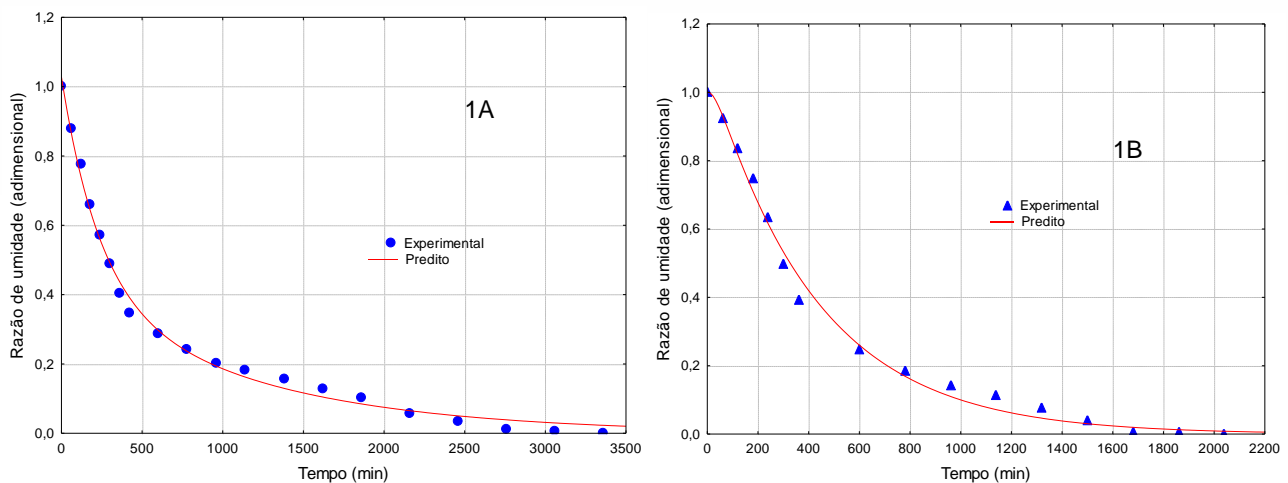


Figura 1 - Curvas de cinética de secagem da banana prata predita pelo modelo de Henderson & Pabis (1A) e goiaba surubim predita pelo modelo de Aproximação da difusão (1B), na temperatura de 60 °C

As análises físico-químicas realizadas na banana e na goiaba após a secagem na temperatura de 60 °C estão presentes na Tabela 2. É possível observar que houve uma redução elevada no teor de umidade dos produtos, baixando de 68% para 6,51 % na banana e redução de 85% para 5,69% na goiaba. Tontul & Topuz (2017) afirmam que a diminuição da quantidade de água nos produtos agrícola providencia uma maior vida de prateleira e evita a degradação do produto e o desenvolvimento de substâncias nocivas para o consumidor.

Tabela 2 - Médias da caracterização físico-química da banana prata e goiaba surubim após a secagem a 60 °C.

	Umidade (% b.s.)	pH	Acidez (ATT %)	Atividade de água	Difusividade ef. (m ² /s)
Banana	6,51	4,80	2,31	0,319	6,48x10 ⁻¹⁰
Goiaba	5,69	4,36	2,88	0,310	7,4x10 ⁻¹⁰

Tem-se que com a redução da umidade nos produtos obteve-se baixos valores de atividade de água, em torno de 0,320 para ambos os produtos. Resultado esses considerado bons, pois segundo Oliveira et al. (2005) a flora microbiana não pode se multiplicar em alimentos que apresentam

atividade de água abaixo de 0,6. Aquino (2013) encontrou valor de atividade de água 0,485, ao secar banana cv. prata na temperatura de 60 °C para a produção de banana-passa.

Os valores encontrados para o pH da banana e goiaba tiveram uma média de 4,6, valor próximo ao encontrado por Maciel (2016) ao secar goiaba na temperatura de aproximadamente 78 °C, relatou o valor foi de $4,84 \pm 0,02$.

O valor da acidez total titulável (ATT) foi relativamente baixo para os dois produtos. Gonçalves et al. (2016) ao secar a polpa da banana verde na temperatura de 65 °C obteve aproximadamente 2,3% de ATT, mostrando o quanto a acidez dessa fruta é baixa. O estudo da acidez esta relacionada com avaliação da característica e conservação em alimentos, já o estudo do pH é relevante na perspectiva microbiológica e química, indicando o grau de deterioração (GOMES & OLIVEIRA, 2011).

Pode-se observar na Tabela 2 a difusividade efetiva que representa o fluxo de água ao sair do produto durante a secagem, foi maior para a goiaba, tendo em vista que as moléculas de água na banana sofrem maior resistência ao sair do corpo devido a maior presença de massa, fazendo que a mesma seja mais ligada as moléculas que constituem a massa seca. Em comparação a difusividade de outros produtos encontrados na literatura, os valores da banana e goiaba foram próximos, tendo em vista o valor de $9,86 \times 10^{-10}$ m²/s encontrados por Leite (2015) no processo de secagem de banana variedade terra; e $1,87 \times 10^{-10}$, $4,57 \times 10^{-10}$ e $8,05 \times 10^{-10}$ m²/s nas temperaturas de 30, 50 e 70 °C respectivamente, encontrados por Rodríguez et al. (2014) na secagem de maçã. Azoubel & Murr (2004), explicam que é difícil realizar a comparação de difusividades na literatura devido as várias maneiras de se calcular a mesma, além da variação da composição e estrutura física dos alimentos.

Conclusões

Os modelos de Henderson & Pabis e Aproximação da difusão se destacaram no ajuste dos dados experimentais da secagem da banana prata e goiaba surubim, respectivamente. A difusividade efetiva mostrou um rápido fluxo de água para a temperatura de 60 °C. A umidade e atividade de água atingiram valores seguros para o armazenamento. Os valores pH e acidez mostraram que os produtos não se tornaram ácidos após a secagem.

Referências

- AQUINO, B. N. Produção de banana-passa obtida por processos combinados de desidratação osmótica e secagem convectiva, 2013, monografia, (Licenciatura em Ciências Agrárias) Universidade Estadual da Paraíba, Catolé do Rocha – PB, 2013.
- AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, v.61, n. 3, p.291-295, 2004.

- CALÍN-SÁNCHEZ, Á.; KHARAGHANI, A.; LECH, K.; FIGIEL, A.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A.; TSOTSAS, E. Drying kinetics and microstructural and sensory properties of black chokeberry (*aroniamelanocarpa*) as affected by drying method, *Food Bioprocess Technol*, v. 8, n. 1, p.63–74, 2015.
- GONÇALVES, J. Q.; SILVA, M. A. P.; PLÁCIDO, G. R.; CALIARI, M.; SILVA, R. M.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G. Secagem da casca e polpa da banana verde (*musa acuminata*): propriedades físicas e funcionais da farinha, *Global Science and Technology*, v.9, n.3, p.62-72, 2016.
- GAVIOLA, F. R.; COSTA, M. B. P. As múltiplas funções da agricultura familiar: um estudo no assentamento Monte Alegre, região de Araraquara (SP). *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 49, n. 2, p. 449-472, 2011.
- GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. Análises físico-químicas de alimentos. Viçosa, MG: Ed.1 UFV, 2011.
- HUANG, X.; LI, D.; WANG, L. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions, *Journal of Food Engineering*, v. 21, p. 1-6, 2017.
- 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.
- LUIKOV, A. V. Analytical heat diffusion theory, New York, Academic Press, **Book**, 1968.
- MACIEL, R. M. G. Obtenção do pó da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma, 2016, Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2016.
- MARTINAZZO, A. P.; CORREA FILHO, L. C.; TEODORO, C. E. S.; BERBERT, P. A. Dryng kinetics and microbiological quality of green onions. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 769-774, 2016.
- MENEGHETTI, V. L.; AOSANI, ELVIO; ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; POHNDORF1, R. S. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 10, p. 1115–1120, 2012.
- MORTEZAPOUR, H.; RASHEDI, S. J.; AKHAVAN, H. R.; MAGHSOUDI, H. Experimental Analysis of a Solar Dryer Equipped with a Novel Heat Recovery System for Onion Drying, *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 19, p. 1-14. 2017.
- OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial da casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.565-569, 2005.
- PADUA, J. B.; SCHLINDWEIN, M. M.; GOMES, E. P. Agricultura familiar e produção orgânica: uma análise comparativa considerando os dados dos censos de 1996 e 2006, *INTERAÇÕES*, v. 14, n. 2, p. 225-235, 2013.
- SILVA, M. G. M.; ALMEIDA, L. F. F.; SILVA, T. M.; NOVAES, T. G.; LONGO, G. Z.; PESSOA, M. C. Fatores ambientais associados ao consumo de frutas e hortaliças em população adulta do município de Viçosa– MG, *Journal of Management and Primary Health Care*, v.7, n. 1, p.20-20, 2016.
- SINGH, N. J.; PANDEY, R. K. Convective air drying characteristics of sweet potato cube (*Ipomoea batatas*). *Food and Bioprocess Processing*, v. 90, n. 2, p. 317- 322, 2012.
- SOZZI, G.; RAMOS, D. S. Avaliação do ágio no preço da energia convencional no mercado brasileiro de contratos de curto prazo: metodologia e aplicação. *Revista Espaço Ciência*, v.22, p.24, 2015.
- RODRÍGUEZ, Ó.; SANTACATALINA, J. V.; SIMAL, S.; GARCIA-PEREZ, J. V.; FEMENIA, A.; ROSSELLÓ, C. Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties, *Journal of Food Engineering*, v.129, n. 3, p. 21-29, 2014.
- TRAVÁLIA, B. M.; SANTOS, B. S.; RESENDE, L. G. M.; TELES, A. R. S.; SANTANA, L. C. L. A.; SANTOS, J. A. B. Cinética de secagem de hortaliças em estufa de secagem com luz, *Anais... XXXVII ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados*, São Paulo – SP, 2015.
- TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science & Technology*, v. 63, p. 91-102, 2017.