

CINÉTICA DE SECAGEM, DIFUSIVIDADE EFETIVA E CARACTERIZAÇÃO DE BETERRABA E CEBOLA ORGÂNICAS

Kinetics, effective diffusivity and characterization of organic bean and onion

Resumo:

O objetivo deste trabalho foi obter a cinética de secagem na temperatura de 70 °C das hortaliças beterraba (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) cultivar Early Wonder Tall Top e cebola amarela (*Allium cepa* L.) cultivar IPA-11 produzidas organicamente, fazer a análise físico-química dos produtos secos e calcular a difusividade efetiva do fluxo de massa. Sabe-se que geralmente as hortaliças são processadas pela indústria para a obtenção de tempero seco, onde normalmente se é empregado o processo da secagem para se obter tal produto, buscando manter suas propriedades e prolongar seu tempo de conserva. Conclui-se que para prever a cinética de secagem da beterraba e cebola na temperatura de 70 °C, o modelo matemático de Page é aceitável. A umidade e atividade de água atingiram bons resultados, ficando a baixo de 10% b.s. e 0,300 respectivamente. A difusividade efetiva mostrou um rápido fluxo de água para a temperatura de 70 °C.

Abstract:

The objective of this work was to obtain the drying kinetics at 70 °C of the beet greenhouse (*Beta vulgaris* L. var. Condition), cultivating Early Wonder Tall Top and yellow onion (*Allium cepa* L.), organically produced IPA-11, Physical-chemical properties of the dried products and to calculate the effective diffusivity of the mass flow. It is known that generally the vegetables are processed by the industry to obtain dry seasoning, where normally the drying process is employed to obtain such product, seeking to maintain its properties and prolong its storage time. It is concluded that to predict the drying kinetics of beet and onion at a temperature of 70 °C, the mathematical model of Page is acceptable. The moisture and water activity achieved good results, being below 10% b.s. And 0.3 respectively. The effective diffusivity showed a rapid flow of water to the temperature of 70 °C.



Renato Costa Silva¹, Emanuel Neto Alves Oliveira², Regilane Marques Feitosa², Lumara Tatiely Santos Amadeu², Karoline Thays Andrade Araújo²

¹Universidade Federal de Campina Grande, ²Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Pau dos Ferros.
E-mail: renatinocosta@gmail.com

Contato principal
Renato Costa Silva¹



Palavras chave: *Secagem, fluxo de massa, armazenamento*

Keywords: *Drying, mass flow, storage*



INTRODUÇÃO

Hortalças são vegetais, com uma larga variedade de espécies, que possuem grande valor nutricional, destacando-se com teores significativos de sais minerais, vitaminas, fibras, carboidratos e proteínas (VIEIRA et al., 2014). A sua produção é geralmente realizada em pequenas propriedades familiares, essas propriedades costumam produzir diferentes espécies de hortalças buscando atender aos consumidores, a preservação dos recursos naturais e a qualidade de vida (ABBO et al., 2014).

A ideia de produção sustentável ganhou força no final dos anos 80 e junto com ela a percepção de que a agricultura familiar é um agente fundamental na difusão desse contexto de práticas produtivas ecologicamente mais equilibradas buscando atender aos consumidores com forte preocupação ambiental (GAVIOLA e COSTA, 2011; PADUA et al., 2013).

Geralmente as hortalças são processadas pela indústria para a obtenção de tempero seco, aplicando-se o processo da secagem para a obtenção do produto. O intuito dessa forma de processamento é manter propriedades nutricionais e sensoriais do alimento, prolongar seu tempo de vida útil, reduzir desperdícios com o aproveitamento e conquistar o consumidor com inovações tecnológicas, garantindo o produto em temperatura ambiente sem custos para seu armazenamento e com as características do produto in natura.

Devido a 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 (MENEGHETTI 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.

O estudo da secagem de hortalças é frequentemente estudado por pesquisadores, onde temos como exemplo a observação da cinética de secagem de hortelã, coentro, salsa, arruda, tomilho e manjeriço na presença de luz (TRAVÁLIA et al., 2015), a projeção de um secador solar com sistema de recuperação de calor que foi utilizado na secagem de cebola (MORTEZAPOUR et al., 2017), o estudo da pectina obtida da beterraba após a mesma ser seca nas temperaturas (40, 50 e 60 °C) (HUANG et al., 2017).

Com base no contexto, esse trabalho teve como objetivo obter a cinética de secagem na temperatura de 70 °C, calcular a difusividade efetiva do fluxo de massa e caracterizar os produtos secos das hortalças beterraba e cebola produzidas organicamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de um produtor local, da cidade de Pau dos Ferros – RN, que comercializam hortalças na feira livre, foram adquiridas as beterrabas (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) cultivar Early Wonder Tall Top e as cebolas amarela (*Allium cepa* L.) cultivar IPA-11, produzidas em sistema orgânico. As hortalças foram levadas para o Laboratório de Processamento de Alimentos, do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Pau dos Ferros- RN. As hortalças foram lavadas, sanitizadas e cortadas transversalmente em fatias de aproximadamente 1 cm e posteriormente foi realizada a secagem em estufa na temperatura de 70 °C, individualmente.

Os dados das cinéticas foram obtidos pesando-se as bandejas com as fatias de cada produto a cada 60 min, até apresentarem peso constante. As amostras, após estabilizarem, foram levadas para estufa a 105 °C para a obtenção da massa seca, assim determinando o teor de umidade. Com os dados das umidades em base seca foram calculados os valores da razão de umidade (Equação 1).

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

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.).

Em seguida foram traçadas as curvas de cinética de secagem e ajustados aos modelos matemáticos:

Tabela 1. Modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem da beterraba Early Wonder Tall e cebola IPA-11.

Modelo matemático	Equação	(n°)
Logarítmico	$Rx = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	2
Newton	$Rx = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	3
Page	$Rx = \exp(-k \cdot t^n)$	4

Em que: a, n, c – 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 (R²) e o desvio quadrático médio (DQM) (Equação 5).

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

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 do material desidratado,

foram: o 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 Equação 6, aos dados experimentais da secagem da beterraba e cebola, 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).

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

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 beterrabas e cebolas na temperatura de 70 °C, espessura de 1 cm, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvio quadrático médio (DQM). Todos os modelos apresentaram valores menores que 10% que é o valor máximo de desvio para um boa predição. Os coeficientes de determinação apresentaram valores maiores que 0,95, constatando-se para o modelo de Page os maiores valores de coeficiente de determinação e menores valores de desvio, tanto para a beterraba Early Wonder Tall como para a cebola IPA-11. Segundo SOZZI e RAMOS (2015), quanto mais próximo de 1 o valor de R^2 mais elucidativo o modelo é, e melhor se ajustará aos dados experimentais.

Tabela 2. Parâmetros, coeficiente de determinação e desvio quadrático médio dos modelos ajustados as curvas de secagem a 70 °C da beterraba Early Wonder Tall e cebola IPA-11.

Modelo	Parâmetros			R^2	DQM (%)	
	a/n	k	C			
Beterraba	Logarítmico	1,1511	0,0031	-0,0328	0,9677	6,38
	Page	0,00037	1,3552	-	0,9808	4,92
	Newton	1,1282	0,0033	-	0,9658	6,57
Cebola	Logarítmico	1,1833	0,0026	-0,0595	0,9642	6,91
	Page	0,00042	1,3033	-	0,9865	4,12
	Newton	1,1192	0,0028	-	0,9730	5,82

É possível observar que a constante de secagem k , presente nos modelos apresentou maiores valores na beterraba, fato que pode ser explicado devido a mesma ter uma densidade maior que a cebola 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 saía do produto de acordo com a diferença da pressão de vapor.

Em relação ao parâmetro C , para o modelo logarítmico, os valores para a beterraba e a cebola apresentaram valores negativos, significa dizer que não tem significado físico.

Na Figura 1 são descritas as curvas das cinéticas de secagem da beterraba Early Wonder Tall (1A) e cebola IPA-11 (1B) na temperatura de 70 °C, onde os pontos representam os dados experimentais e a linha continua os dados preditos pelo modelo matemático de Page. O tempo de secagem da beterraba até alcançar o equilíbrio foi de 1860 min e o da cebola foi de aproximadamente 1320 min.

As análises físico-químicas realizadas na beterraba e na cebola após a secagem na temperatura de 70 °C estão

presentes na Tabela 3. É possível observar que como o esperado, houve uma redução elevada no teor de umidade dos produtos, baixando de 87,5% para 6,01 % na beterraba e redução de 84,5% para 9,19% na cebola. Tontul e Topuz (2017) afirmam que a diminuição da quantidade de água nos produtos agrícola providencia uma maior vida de prateleira e evita a degradação de substâncias benígnas para o consumidor.

Conseqüentemente com a redução da umidade nos produtos obteve-se baixos valores de atividade de água, em torno de 0,28 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. Santos et al. (2012) encontrou valor próximo, cerca de 0,35 ao secar coentro (*Coriandum sativum* L.) a 50 °C.

Os valores encontrados para o pH da beterraba e cebola tiveram uma média de 4,95, valor próximo ao encontrado por MICHEL et al. (2014) ao secar batata yacon em diferentes épocas do ano, onde os valores variaram de 4,53 a 6. O valor da Acidez total titulável (ATT) foi relativamente baixo para os dois produtos. Delmiro (2016) ao secar cenoura nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C

obteve aproximadamente 2,3% de ATT, mostrando o quanto a acidez dessas hortaliças tubérculos é baixa. O estudo da acidez está relacionado 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 e OLIVEIRA, 2011).

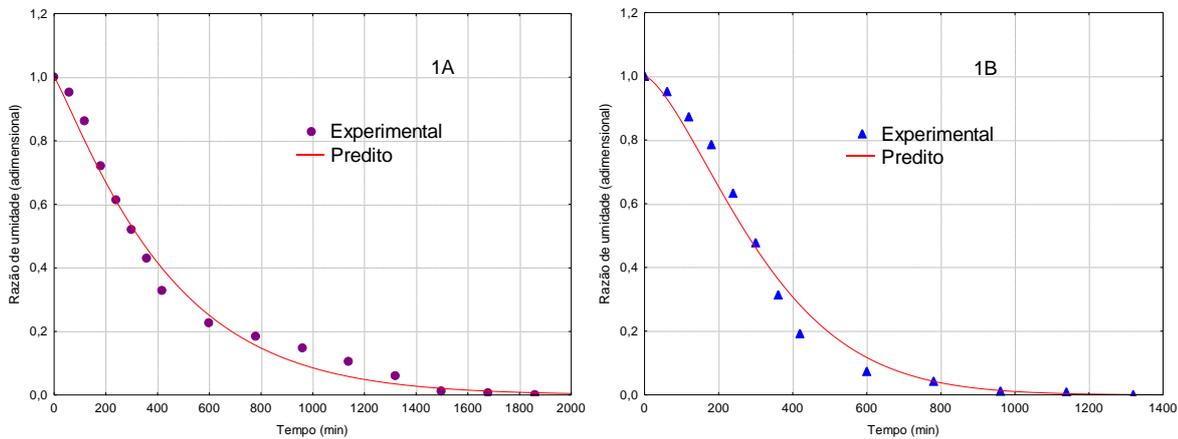


Figura 1. Curvas de cinética de secagem da beterraba Early Wonder Tall (1A) e cebola IPA-11 (1B) na temperatura de 70 °C

Tabela 3. Médias da caracterização físico-química da beterraba Early Wonder Tall e cebola IPA-11 após a secagem a 70 °C.

	Umidade (% b.s.)	pH	Acidez (ATT, %)	Atividade de água (a_w)	Difusividade ef. (m^2/s)
Beterraba	6,01	5,2	1,4	0,280	$5,393 \times 10^{-7}$
Cebola	9,19	4,68	2,52	0,285	$6,560 \times 10^{-7}$

Pode-se observar, ainda na Tabela 2, a difusividade efetiva do fluxo de água ao sair do produto durante a secagem, que foi maior para a cebola, possivelmente as moléculas de água na beterraba 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 beterraba e cebola foram bastante superiores, tendo em vista o valor de $1,359 \times 10^{-10}$ e $5,301 \times 10^{-10}$ encontrados por Limpaiiboon (2011) no processo de secagem de abóbora; e $1,26 \times 10^{-9}$ e $8,80 \times 10^{-9}$ encontrados por Singh e Pandey (2012) na secagem de batata doce. Azoubel e 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.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos no estudo pode-se concluir que para prever a cinética de secagem da beterraba Early Wonder Tall e cebola IPA-11 na temperatura de 70 °C, o modelo de Page é aceitável devido obter bons resultados no coeficiente de determinação e no desvio quadrático médio. A umidade e atividade de água atingiram bons resultados, ficando a baixo de 10% b.s. e 0,3 respectivamente, valores adequados ao armazenamento devido a paralisação do metabolismo microbiano. Os valores pH e acidez mostraram que os produtos não se tornaram ácidos após a secagem. A difusividade efetiva

mostrou um rápido fluxo de água para a temperatura de 70 °C.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ); Ao Laboratório de Processamento de Alimentos do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Unidade Pau dos Ferros- RN pelo apoio e incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBO, S.; VAN-OSS, R. P.; GOPHER, A.; SARANGA, Y.; OFNER, I.; PELEG, Z. Plant domestication versus crop evolution: a conceptual framework for cereals and grain legumes, **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 6, p. 351-360, 2014.

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.

DELMIRO, T. M. Secagem da cenoura (daucus carota l.) pelo método foam-mat, **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)**, 2016, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Dezembro/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. 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.
- LUIKOV, A. V. Analytical heat diffusion theory, New York, **Academic Press**, Book, 1968
- SINGH, N. J.; PANDEY, R. K. Convective air drying characteristics of sweet potato cube (*Ipomoea batatas*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 317-322, 2012.
- LIMPAIBOON, K. Effects of temperature and slice thickness on drying kinetics of pumpkin slices. **Walailak Journal of Science and Technology (WJST)**, v. 8, n. 2, p. 159-166, 2011.
- MARTINAZZO, A. P.; CORREA FILHO, L. C.; TEODORO, C. E. S.; BERBERT, P. A. Drying 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.; POHNDORF, 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.
- MICHEL, P. H.; PARUSSOLO, G.; BUSATTO, R. T.; SCHMITT, J.; SANTOS, L. F.; RIES, E. F.; ROSA, V. P. Produção de farinha de yacon em diferentes épocas do ano, **Blucher Food Science Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 329-330, 2014.
- 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 desorção 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.
- SANTOS, G.; OLIVEIRA, M. C.; MORAES, M. H.; PAGANI, A. A. C. Estudo comparativo do coentro (*coriandrum sativum* L.) seco obtido em diferentes métodos de secagem, **Revista GEINTEC**, v. 2, n. 3, p.236-244, 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.
- 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.
- 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.
- VIEIRA, L.; SILVA, F. B.; LIMA, R. F. F.; LIMA, M. S.; ALVES, A. M.; PEREIRA, V. S. Hortaliças tradicionais: divulgação de alimentos “desconhecidos” pelo Núcleo de Estudo em Agroecologia e Agricultura Familiar do Campus Planaltina – IFB, **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 3, 2014.