



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1203-1208>

Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola

Fernanda M. Baptestini¹, Paulo C. Corrêa¹, Mateus S. Junqueira²,
Afonso M. Ramos³, Jaime D. B. Vanegas¹ & Cristian F. Costa¹

¹ Departamento de Engenharia Agrícola/Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. E-mail: fbaptestini@yahoo.com.br (Autora correspondente); copace@ufv.br; jdbustosv@gmail.com; cristianfernandescosta@gmail.com

² Departamento de Engenharia de Alimentos/Universidade Federal de São João Del Rei. Sete Lagoas, MG. E-mail: mateusjunq@yahoo.com.br

³ Departamento de Tecnologia de Alimentos/Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. E-mail: amramos@ufv.br

Palavras-chave:

teor de água crítico
tempo crítico
foam-mat drying

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, propor e ajustar modelos matemáticos ao processo de secagem de espuma de graviola em diferentes condições de ar, determinar o coeficiente de difusão efetivo e obter a energia de ativação. Para a formação da espuma foi adicionada, à polpa, albumina, na concentração de 7,43% em massa e submetida à agitação em batedeira doméstica, durante 15 min; em seguida, esta foi espalhada sobre bandejas formando uma camada fina de cerca de 5,0 mm de espessura cujas condições de secagem foram: de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, 5,6 m s⁻¹ e 60%. O modelo para determinar o binômio teor de água crítico e tempo crítico e o de Midili se ajustaram bem aos dados experimentais da secagem de espuma de graviola e se obteve acréscimo no coeficiente de difusão efetiva com a elevação da temperatura de secagem e energia de ativação de 33,10 kJ mol⁻¹.

Key words:

critical moisture content
critical time
foam-mat drying

Mathematical modeling of drying of soursop foam

ABSTRACT

The aim of this paper was to propose and to adjust mathematical models for drying process of soursop foam in different air conditions, to determine the effective diffusion coefficient and to obtain the activation energy. For foaming, albumin was added to the pulp at concentration of 7.43% and stirred in mixer for 15 min. Then, it was spread onto trays forming a thin layer about 5.0 mm thick, and the drying conditions were: 40, 50, 60, 70 and 80 °C, 5.6 m s⁻¹ and 60%. The model for determining the binomial critical water content and critical time, and the Midili model, adjusted well to the experimental data of soursop foam drying. Furthermore, an increase was obtained in the effective diffusion coefficient with increase in drying temperature and activation energy of 33.10 kJ mol⁻¹.



INTRODUÇÃO

A graviola (*Annona muricata* L.) é um fruto pertencente à família das anonáceas originária das terras baixas da América Tropical. No Brasil ela é facilmente encontrada nas regiões norte e nordeste onde existem áreas de plantio e mais se comercializa e se consome esta fruta (CEAGESP, 2012). Seus frutos são utilizados na fabricação de sucos, sorvetes, compotas, geleias e doces.

A secagem em leito de espuma (foam-mat drying) é uma das técnicas empregadas para a obtenção de produtos alimentícios em pó destacando-se por ser um método em que alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, através de vigorosa agitação e incorporação de agentes espumantes para, posteriormente, serem desidratados (Silva et al., 2008).

É muito usada em alimentos sensíveis ao calor, viscosos e com alto índice de açúcar, como os sucos de frutas (Rajkumar et al., 2007) pois requer menores temperaturas de desidratação e menor tempo de secagem em razão da maior área de superfície exposta ao ar e à velocidade de secagem acelerando, assim, o processo de remoção de água. Isto faz com que a secagem de uma camada de espuma seja aproximadamente três vezes mais rápida do que a secagem de uma camada similar de líquido (Fellows, 2006).

O método de desidratação já foi aplicado em: banana (Sankat & Castaigne, 2004; Thuwapanichayanan et al. 2008; 2012), manga (Bastos et al. 2005; Rajkumar et al. 2007), tomate (Kadam & Balasubramanian, 2011), mamão (Kandasamy et al., 2012), microalgas verdes (Prasetyaningrum & Djaeni, 2012) entre outros. Entretanto, poucos estudos se propõem à modelagem e/ou a simulação matemática, que possibilita o dimensionamento, a otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial. Logo, objetivou-se investigar essa lacuna quanto à secagem de graviola em leito de espuma.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados frutos de graviola (*Annona muricata* L.) na qual a polpa foi extraída e acondicionada em garrafas tipo PET higienizadas com água e cloro e armazenada em freezer para posterior utilização.

Para a formação da espuma foi adicionada a polpa albumina na concentração de 7,43% em massa e submetida à agitação em batedeira doméstica por 15 min.

A espuma formada foi espalhada sobre bandejas formando uma camada fina de cerca de 5,0 mm de espessura; em seguida, a espuma foi levada para a secagem em estufa de circulação forçada de ar na qual as temperaturas, a velocidade e a umidade relativa média do ar de entrada foram de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, 5,6 m s⁻¹ e 60%.

Para a determinação do binômio teor de água crítico e tempo crítico utilizou-se a Eq. 1, adaptada de Stupa et al. (2003) e Reis et al. (2013).

$$U_t = [U_0 + (n \times t)] \times (t < t_c) + \{U_c \times \exp[k \times (t - t_c)]\} \times (t \geq t_c) \quad (1)$$

em que:

- U_c - teor de água crítico, kg_a kg_{ms}⁻¹;
- U_t - teor de água no tempo t, kg_a kg_{ms}⁻¹;
- n - taxa de secagem no período constante, min⁻¹;
- U_0 - teor de água inicial, kg_a kg_{ms}⁻¹;
- k - taxa de secagem no período decrescente, min⁻¹; e
- t_c - tempo crítico, min.

A razão de umidade (RU) foi determinada de acordo com a Eq. 2.

$$RU = \frac{U_t - U_e}{U_0 - U_e} \quad (2)$$

em que:

- U_e - teor de água no equilíbrio, kg_a kg_{ms}⁻¹.

Aos dados experimentais da secagem da espuma de graviola foram ajustados modelos matemáticos usados para descrever o fenômeno da secagem (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos matemáticos usados para modelagem da secagem da espuma de graviola

Designação do modelo	Modelo
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$ (3)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-kt)$ (4)
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$ (5)
Page	$RU = a \exp(-kt^n)$ (6)

em que:

- t - tempo de secagem, min;
- k - constante de secagem, min⁻¹; e
- a, b, n - coeficientes dos modelos, adimensionais.

O coeficiente de difusão efetiva foi obtido por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrito pela Eq. 7.

$$RU = \frac{U_t - U_e}{U_0 - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right] \quad (7)$$

em que:

- L - espessura do produto, m;
- D_{ef} - coeficiente de difusão efetiva, m² s⁻¹; e
- n - número de termos da equação.

O número de termos da equação utilizado foi quatro (n = 4) uma vez que, para maiores valores de (n) o coeficiente de difusão efetiva não variou.

Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetiva utilizou-se a relação de Arrhenius, Eq. 8.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT_a}\right) \quad (8)$$

em que:

- D_0 - fator pré-exponencial, $m^2 s^{-1}$;
 E_a - energia de ativação, $kJ mol^{-1}$;
 R - constante universal dos gases, $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$; e
 T_a - temperatura absoluta, K.

O experimento foi montado segundo o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os dados experimentais da secagem da espuma de graviola foram submetidos à análise de regressão não-linear e à seleção do modelo adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas.

Para análise do grau de ajuste de cada modelo foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação, do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE), Eqs. 9 e 10, respectivamente e a distribuição de resíduos (DR).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (10)$$

em que:

- Y_i - valor observado;
 \hat{Y}_i - valor estimado;
 n - número de dados observados; e
 GLR - graus de liberdade do resíduo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentadas as curvas de secagem da espuma de graviola para a faixa de temperatura de 40 a 80 °C. Quando as espumas de graviola foram secadas a 40 °C, o tempo necessário para reduzir o teor de água para cerca de $0,13 kg_a kg_{ms}^{-1}$ foi de 1035 min; já para 80 °C o tempo foi de 225 min, 4,6 vezes menor. À medida que a temperatura aumenta o tempo de secagem diminui e as curvas adquirem uma inclinação maior de vez que há maior quantidade de calor transferido do ar para o material.

Ainda analisando a Figura 1 é possível evidenciar os distintos períodos de secagem: taxa constante e decrescente.

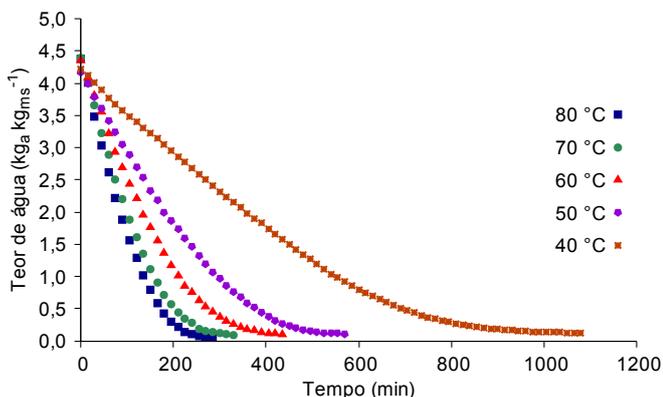


Figura 1. Curvas de secagem de espuma de graviola para a faixa de temperatura de 40 a 80 °C

Segundo Park et al. (2007) no período de taxa constante a água evapora como água livre visto que sua pressão de vapor é constante e igual à pressão de vapor de água pura a temperatura do produto. A temperatura do produto, por sua vez, também é constante e igual à temperatura de bulbo úmido. Segundo Thuwapanichayanan et al. (2008) o transporte da água do interior da espuma ocorre por capilaridade e difusão de vapor; além disto, Brooker et al. (1992) afirmam que neste período a secagem é dependente apenas das condições externas do processo: velocidade, temperatura e umidade relativa do ar.

A remoção de água do interior da espuma de graviola para a superfície exposta não é suficiente para manter a superfície úmida razão por que se inicia o período de taxa de secagem decrescente governado pelo mecanismo de difusão; nele, segundo Brooker et al. (1992) a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa porque a resistência interna ao transporte de umidade se torna maior do que a resistência externa e a temperatura do produto aumenta podendo atingir a temperatura do ar de secagem.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores do erro médio relativo e estimado, coeficientes de determinação e distribuição de resíduos da adequação do modelo adaptado, Eq. 1, para a faixa de temperatura de 40 a 80 °C. Observa-se que o modelo apresentou bom ajuste.

O coeficiente de determinação, apesar de não ser um bom parâmetro para verificar o ajuste de modelos não-lineares, normalmente apresenta maiores valores para os modelos que melhor se ajustam aos dados experimentais. Verifica-se que os coeficientes de determinação se apresentaram superiores a 99%.

O erro médio estimado apresentou valores reduzidos em todas as condições de secagem; assim, o modelo é indicado para representação do fenômeno. Vale salientar que quanto menor for o valor do desvio padrão da estimativa (SE) melhor será a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados observados.

Segundo Samapundo et al. (2007) valores inferiores a 10% de erro médio relativo indicam boa adequabilidade para fins práticos; logo, constata-se que o modelo proposto é apropriado para descrever o fenômeno de secagem de espuma de graviola e ainda determinar o ponto de transição entre o período de secagem constante e decrescente.

Finalmente, a análise de distribuição de resíduos se faz necessária para uma avaliação correta do modelo. Mesmo quando os parâmetros estatísticos apresentam bons resultados o modelo pode ser ineficaz se apresentar distribuição de resíduo tendenciosa, o que não foi observado para o modelo proposto.

Tabela 2. Erro médio relativo e estimado, coeficientes de determinação e distribuição de resíduos da adequação do modelo, Eq. 1, para a faixa de temperatura de 40 a 80 °C

Temperatura (°C)	P	SE	R ²	DR
40	4,348	0,026	0,9992	A
50	4,616	0,040	0,9992	A
60	3,198	0,046	0,9989	A
70	4,945	0,037	0,9994	A
80	7,870	0,053	0,9988	A

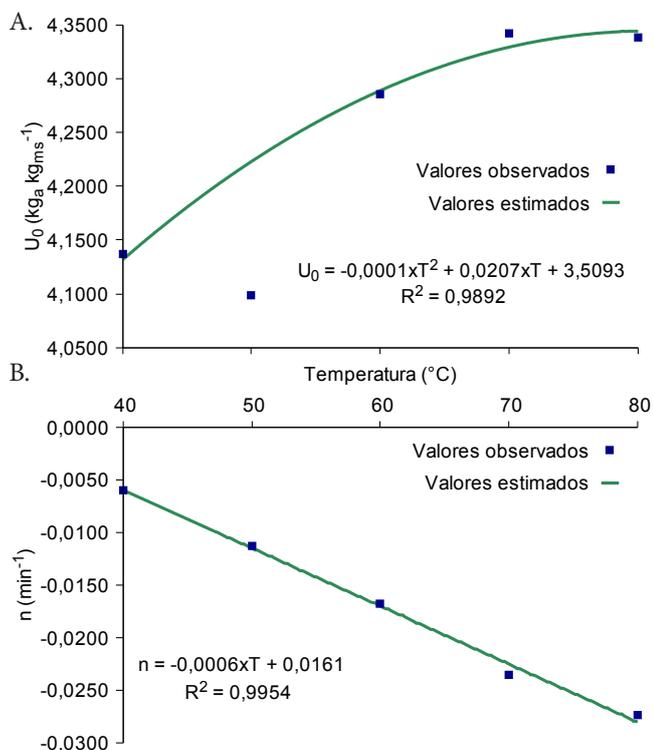
A - Aleatória

Na Figura 2 estão apresentados o efeito da temperatura de secagem sobre os parâmetros U_0 e n , as equações de regressão e os respectivos coeficientes de determinação.

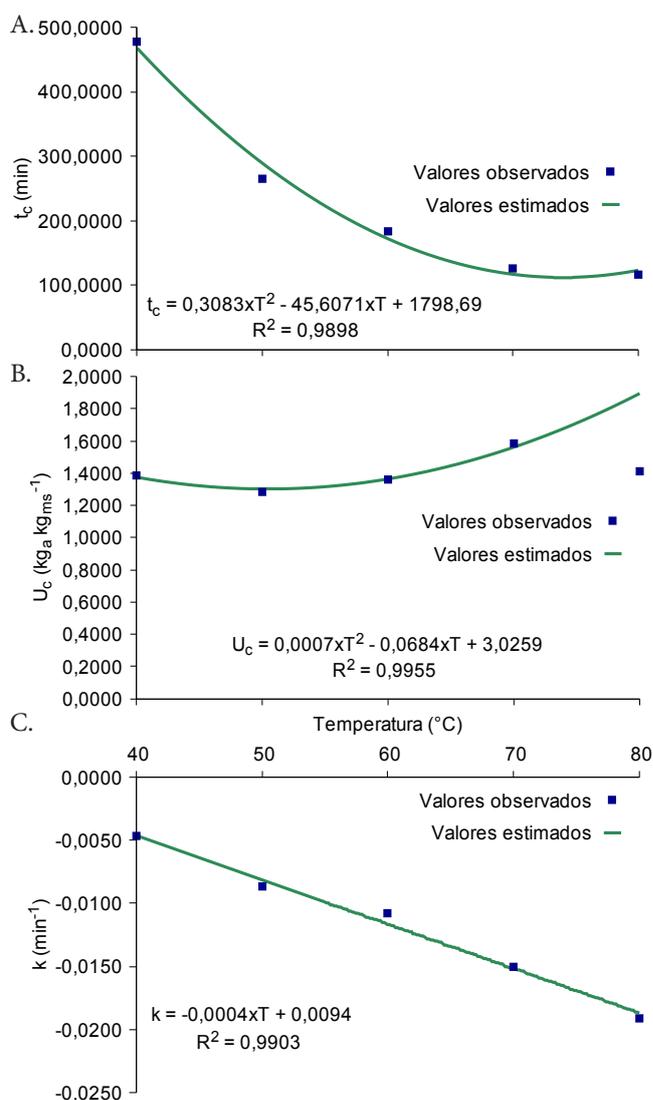
Conforme a Figura 2A, o teor de água inicial aumentou com a elevação da temperatura e apresentou ótimo ajuste, que variou de 4,09 a 4,33 $kg_a kg_{ms}^{-1}$. Valores influenciados apenas pelas características iniciais das amostras, uma vez que a concentração de albumina foi de 7,43% para todas as condições de secagem. O parâmetro n (Figura 2B) representa a taxa de secagem do período constante. É possível inferir que, à medida que se aumenta a temperatura, em módulo, a taxa de secagem também aumenta, com um ajuste linear para o modelo e coeficiente de determinação de 99,54%.

O efeito da temperatura de secagem sobre o tempo crítico pode ser facilmente observado pela Figura 3A. Sempre que a temperatura aumenta o tempo crítico diminui. Este, juntamente com o teor de água crítico, representa o ponto de transição entre os distintos períodos de secagem. Conforme Brooker et al. (1992) este é dependente das condições de secagem e das características do produto, como a forma e a textura.

O efeito da temperatura sobre o teor de água crítico (Figura 3B) foi o mesmo obtido por Reis et al. (2013) e Waje et al. (2004) ou seja, U_c aumentou com o aumento da temperatura de secagem. Em contrapartida, Stupa et al. (2003) obtiveram resultados diferentes. O que leva à conclusão de que muitos estudos devem ser feitos para maior esclarecimento sobre o assunto. Para a temperatura de 80 °C observou-se uma redução no teor de água crítico devido, provavelmente, à falta de estabilidade da espuma durante o aquecimento. Se a espuma não permanece estável ocorre colapso celular comprometendo seriamente a operação de secagem. A confirmação disto pode



*Significativo a 0,01 de probabilidade; **Significativo a 0,05 de probabilidade
 Figura 2. Efeito da temperatura de secagem sobre os parâmetros U_0 (A) e n (B) de equações de regressão e os respectivos coeficientes de determinação



*Significativo a 0,01 de probabilidade; **Significativo a 0,05 de probabilidade
 Figura 3. Efeito da temperatura de secagem sobre os parâmetros t_c (A), U_c (B) e k (C) de equações de regressão e os respectivos coeficientes de determinação

ser pela formação de uma crosta dura sobre as amostras, ou seja, a estrutura porosa esperada não se manteve e, além disto, nessas amostras o pó formado era dificilmente removido das bandejas.

O parâmetro k (Figura 3C) que representa a taxa de secagem no período decrescente, aumentou em módulo com o aumento da temperatura de secagem, de 0,019 para 0,047.

Na Figura 4 estão apresentados os valores experimentais das curvas de razão de umidade da espuma de graviola para a faixa de temperatura de 40 a 80 °C, as quais representam a perda de água em função do tempo para o período de secagem decrescente. À medida que a temperatura aumenta, o tempo de secagem diminui.

Às curvas da Figura 4 foram ajustados diferentes modelos matemáticos relatados na literatura que descrevem o fenômeno; os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Observa-se, pela análise da Tabela 3, que apenas o modelo Midili é apto a descrever o fenômeno de secagem de espuma de graviola, pelas mesmas justificativas da adequabilidade do modelo dado pela Eq. 1.

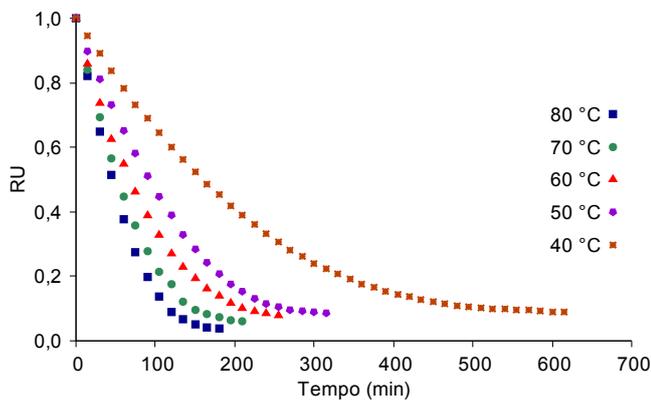


Figura 4. Valores experimentais das curvas de razão de umidade (RU) de espuma de graviola para a faixa de temperatura de 40 a 80 °C

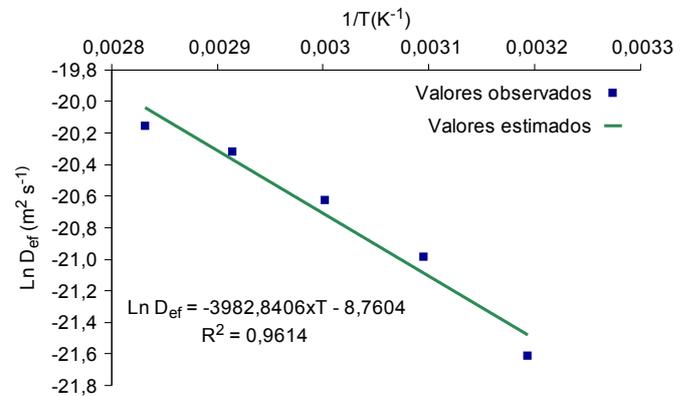
Kadam & Balasubramanian (2011) concluíram, ao estudar a cinética de secagem em leito de espuma de suco de tomate, que o modelo Logarítimo foi melhor para descrever a secagem do produto. Soares (2009) obteve, em seu trabalho de secagem de arará-boi em leito de espuma, melhor ajuste para o modelo Dois Termos.

Verifica-se, pela Tabela 4, que o coeficiente de difusão efetiva aumentou com a elevação da temperatura de secagem e apresentou correlação linear com a mesma; este fato é esperado uma vez que com o incremento da temperatura a viscosidade da água diminui; esta propriedade influi diretamente na resistência do fluido ao escoamento e, portanto, sua diminuição acarreta em maior facilidade de difusão das moléculas de água nos capilares do produto.

A variação do coeficiente de difusão efetiva em função da temperatura de secagem é descrita pela relação de Arrhenius (Figura 5). A energia de ativação foi 33,10 kJ mol⁻¹. Ligeiramente superior aos valores observados por Thuwapanichayanan et al. (2008) de 21,08, 22,90 e 25,19 kJ mol⁻¹ para as densidades de espuma de 0,3, 0,5 e 0,7 g cm⁻³, respectivamente. Nos processos

Tabela 4. Coeficientes de difusão efetiva de secagem de espuma de graviola na faixa de temperatura de 40 a 80 °C, equação de regressão e o respectivo coeficiente de determinação

Temperatura (°C)				
40	50	60	70	80
$4,122 \times 10^{-10}$	$7,732 \times 10^{-10}$	$1,102 \times 10^{-9}$	$1,502 \times 10^{-9}$	$1,766 \times 10^{-9}$
Def = $-1 \times 10^{-9} + 3 \times 10^{-11} \times T$				R ² = 0,9970



*Significativo a 0,01 de probabilidade; **Significativo a 0,05 de probabilidade

Figura 5. Representação de Arrhenius para a espuma de graviola na faixa de temperatura de 40 a 80 °C, equação de regressão e o respectivo coeficiente de determinação de secagem quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto. Em outras palavras, menor será a energia necessária para que, na transformação física ocorra, neste caso, a transformação da água livre líquida em vapor (Corrêa et al., 2010).

CONCLUSÕES

1. Com o aumento da temperatura do ar ocorreu redução no tempo de secagem das espumas de graviola.

Tabela 3. Erro médio relativo (P) e estimado (SE), coeficientes de determinação (R²), distribuição de resíduos (DR) e estimativa dos parâmetros da secagem de espuma de graviola

Modelo	P	SE	R ²	DR	Estimativa dos parâmetros	Modelo	P	SE	R ²	DR	Estimativa dos parâmetros
40 °C											
(3)	6,632	0,012	0,9980	T	a=-0,0589; k=0,0300; b=0,1589	(5)	1,970	0,005	0,9996	A	a=0,9865; k=0,0017; n=1,1843; b=0,00008
(4)	6,862	0,013	0,9974	T	a=1,0252; k=0,0046	(6)	7,217	0,013	0,9976	T	k=0,0033; n=1,0536
50 °C											
(3)	5,666	0,011	0,9986	T	a=-0,3101; k=0,0231; b=0,4265	(5)	7,491	0,020	0,9953	T	a=1,0373; k=0,0084
(4)	7,491	0,020	0,9953	T	a=1,0373; k=0,0084	(6)	3,410	0,009	0,9990	A	a=0,9829; k=0,0026; n=1,2340; b=0,0001
60 °C											
(3)	3,433	0,007	0,9994	A	a=-0,2180; k=0,0453; b=0,3582	(5)	2,188	0,006	0,9996	A	a=0,9941; k=0,0065; n=1,1808; b=0,0001
(4)	3,716	0,008	0,9991	A	a=1,0303; k=0,0144	(6)	3,578	0,007	0,9993	A	k=0,0082; n=1,0362
70 °C											
(3)	6,330	0,009	0,9991	A	a=-0,2180; k=0,0453; b=0,3582	(5)	3,893	0,007	0,9995	A	a=0,9941; k=0,0065; n=1,1808; b=0,0001
(4)	8,102	0,018	0,9967	T	a=1,0303; k=0,0144	(6)	6,888	0,009	0,9990	A	k=0,0082; n=1,1179
80 °C											
(3)	10,654	0,019	0,9968	A	a=1,1281; k=0,0191; b=57,0853	(5)	5,505	0,009	0,9994	A	a=0,9936; k=0,0061; n=1,2400; b=0,00004
(4)	18,111	0,029	0,9925	T	a=1,0435; k=0,0177	(6)	6,902	0,008	0,9993	A	k=0,0069; n=1,2119

A – aleatória; T – tendenciosa

2. O modelo para determinar o binômio teor de água crítico e tempo crítico e o Midili se ajustaram bem aos dados experimentais da secagem de espuma de graviola.

3. Obteve-se acréscimo no coeficiente de difusão efetiva com a elevação da temperatura de secagem e energia de ativação de 33,10 kJ mol⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Bastos, D. da S.; Soares, D. M. B. G.; Araújo, K. G. de L.; Verruma-Bernardi, M. R. Desidratação da polpa de manga “Tommy Atkins” utilizando a técnica de “foam-mat drying” - Avaliações químicas, físico-químicas e sensoriais. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.8, p.283-290, 2005.
- Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W.; Hall, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450p.
- CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Qualidade de vida. <http://www.ceagesp.gov.br>. 13 Jul. 2012.
- Corrêa, P. C.; Oliveira, G. H. H.; Botelho, F. M.; Goneli, A. L. D.; Carvalho, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v.57, p.595-601, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000500005>
- Fellows, P. *Food processing technology: Principles and practice*. 2 ed. New York, USA: CRC Press. 2006. cap.15, p.309-340.
- Kadam, D. M.; Balasubramanian, S. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.35, p.488-495, 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00492.x>
- Kandasamy, P.; Varadharaju, N.; Kalemullah, S.; Moitra, R. Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, v.5, p.374-387, 2012.
- Park, K. J.; Antonio, G. C.; Oliveira, R. A.; Park, K. J. B. *Conceitos de processos e equipamentos de secagem*. Campinas: UNICAMP, 2007. 121p.
- Prasetyaningrum, A.; Djaeni, M. Drying spirulina with foam mat drying at medium temperature. *International Journal of Science and Engineering*, v.3, p.1-3, 2012. <http://dx.doi.org/10.12777/ijse.3.2.1-3>
- Rajkumar, P.; Kailappan, R.; Viswanathan, R.; Raghavan, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *Journal of Food Engineering*, v.79, p.1452-1459, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027>
- Reis, R. C.; Côrrea, P. C.; Devilla, I. A.; Santos, E. S.; Ascheri, D. P. R.; Servulo, A. C. O.; Souza, A. B. M. Drying of yam starch (*Discorea* spp.) and glycerol filmogenic solutions at different temperatures. *Food Science and Technology*, v.50, p.651-656, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.033>
- Samapundo, S.; Devlieghere, F.; De Meulenaer, B.; Atukwase, A.; Lamboni, Y.; Debevere, J. M. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. *Journal of Food Engineering*, v.79, p.168-175, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.040>
- Sankat, C. K.; Castaigne, F. Foaming and drying behavior of ripe bananas. *LWT-Food Science and Technology*, v.37, p.517-525, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00132-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00132-4)
- Silva, A. S.; Gurjão, K. C. de O.; Almeida, F. de A. C.; Bruno, R. L. A.; Pereira, W. E. Desidratação de polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.1899-1905, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000600032>
- Soares, E. C. Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma. Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Dissertação Mestrado 2009. 88p.
- Stupa, M. V.; Platonov, E. K.; Milkhailov, V. T. Mathematical model of drying of granulated anid. *Fibre Chemistry*, v.35, p.233-236, 2003. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026174310080>
- Thuwapanichayanan, R.; Prachayawarakorn, S.; Soponronnarit, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. *Journal of Food Engineering*, v.86, p.573-583, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.008>
- Thuwapanichayanan, R.; Prachayawarakorn, S.; Soponronnarit, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. *LWT-Food Science and Technology*, v.47, p.348-357, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.030>
- Waje, S. S.; Meshram, M. W.; Chaudhary, V.; Pandey, R.; Mahanawar, P. A.; Thorat, B. N. Drying characteristics of hydrophilic polymer gel: Co-polymer of acrylic acid and acrylamide. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.22, p.209-216, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322005000200007>