

## MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA DA POLPA DE ACEROLA (*Malpighia emarginata*)

LEANDRO FAGUNDES MANÇANO<sup>1</sup>, GABRIEL HENRIQUE HORTA DE  
OLIVEIRA<sup>2</sup>, ELIANE MAURICIO FURTADO MARTINS<sup>3</sup>, FERNANDA MACHADO  
BAPTESTINI<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> de Alimentos, Técnico em Alimentos e Laticínios, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Valença-RJ; Estudante de Pós-Graduação, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Rio Pomba-MG, leandro.mancano@cefet-rj.br.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Prof. Doutor, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu-MG, gabriel.oliveira@ifsudestemg.edu.br.

<sup>3</sup> Economista Doméstica, Prof. Doutora, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Rio Pomba-MG, eliane.martins@ifsudestemg.edu.br.

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Agrícola e Ambiental, Prof. Doutora, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, fernanda.baptestini@ufes.br.

Apresentado no  
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023  
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMO:** A acerola é uma fruta perecível, sendo a desidratação um processo que aumenta a sua vida útil e reduz custos, mas o método leito em espuma tem ganhado evidência. Assim, objetivou-se testar aditivos e ajustar modelos que representem a secagem em leito de espuma de polpa de acerola. Albumina, Emustab e Liga Neutra foram testados na concentração fixa de 4,0% e a espuma mais estável foi selecionada para a cinética de secagem. A espuma foi secada nas temperaturas de 50 a 70°C e os dados obtidos foram analisados por regressão não linear quanto aos modelos matemáticos mais utilizados pela literatura. O melhor modelo foi selecionado com base no R<sup>2</sup>, SE e P. A Albumina e a Liga Neutra não foram eficazes na produção de espuma, enquanto o Emustab foi escolhido por apresentar a espuma mais estável. Foi possível ajustar o modelo Logarítmico adequadamente aos dados experimentais, apresentando a temperatura de 70°C como a mais rápida na perda de umidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** desidratação, cinética, fruta.

### MATHEMATICAL MODELING OF FOAM-MAT DRYING OF ACEROLA PULP (*Malpighia emarginata*)

**ABSTRACT:** Acerola is a perishable fruit and dehydration is a process that increases its shelf life and reduces costs, but the foam-mat method has gained evidence. Thus, the aim was to test additives and adjust models that represent the foam-mat drying of acerola pulp. Albumin, Emustab, and Liga Neutra were tested at a fixed concentration of 4.0%, and the most stable foam was selected for the drying kinetics. The foam was dried at temperatures from 50 to 70°C, and the obtained data were analyzed by non-linear regression regarding the most used mathematical models in the literature. The best model was selected based on R<sup>2</sup>, SE and P. Albumin and Liga Neutra were not effective in foam production, while Emustab was chosen for presenting the most stable foam. It was possible to adjust the Logarithmic model properly to the experimental data, presenting the temperature of 70°C as the fastest in moisture loss.

**KEYWORDS:** dehydration, kinetic, fruit.

**INTRODUÇÃO:** A acerola é uma fruta tropical com alto teor de vitamina C e é muito consumida *in natura* ou na forma de produtos derivados, como a polpa. No entanto, a polpa é um alimento com alto teor de água, o que causa deterioração pós-colheita, reduzindo sua vida útil (SANTOS; LIMA, 2020). A desidratação é uma alternativa para aumentar a vida útil dos produtos, reduzindo custos com transporte e armazenamento. Um método com crescente aplicação é a desidratação em leito de espuma, que reduz o tempo e a temperatura de secagem, diminuindo custos e obtendo um produto poroso e de fácil reidratação (ARAÚJO et al., 2020). Para estudar a secagem de produtos vegetais, diversos modelos matemáticos para descrever a operação são utilizados, bem como diversas frutas são empregadas no método de desidratação em leito de espuma. Entretanto, poucas literaturas exploraram a acerola nessa técnica de desidratação, o que torna o estudo relevante. Com isso, o objetivo do presente estudo foi testar aditivos e ajustar modelos matemáticos que representem o processo de secagem em leito de espuma da polpa de acerola.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi realizado nos Laboratórios de Tecnologia de Produtos Vegetais e Bebidas do CEFET-RJ *Campus* Valença, sendo as frutas recebidas nestes laboratórios didáticos com o objetivo de serem higienizadas e sanitizadas. As frutas foram trituradas com água deionizada (13 partes de polpa para 4 partes de água) e filtradas. As polpas filtradas foram tratadas termicamente e congeladas até o uso. O experimento foi inteiramente casualizado, com três repetições em duplicata e a análise estatística foi realizada no programa STATISTICA 14.0. Foram testados três aditivos formadores de espuma na concentração fixa de 4,0%: Albumina, Emustab e Liga Neutro. As espumas foram elaboradas com a agitação da mistura de polpa (500 g) com cada aditivo a 4,0% (m/m) em batedeira por 15 minutos. A densidade e a estabilidade (coalescência) das espumas foram avaliadas e a espuma produzida com o aditivo que proporcionar maior estabilidade (menores valores de densidade e coalescência) foi selecionada para o estudo da cinética de secagem. Os dados experimentais da densidade e a estabilidade foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey adotando-se um nível de 5% de probabilidade. A espuma foi secada em bandejas circulares de alumínio em temperaturas variando de 50, 55, 60, 65 e 70°C e, posteriormente, após as pesagens atingirem uma massa constante em três pesagens consecutivas, foram calculadas as razões de umidade para cada temperatura. Os dados de razão de umidade obtidos foram analisados por meio de regressão não linear para verificar o ajuste dos modelos de Lewis, Page e Henderson e Pabis, Logarítmico, Midilli modificado, Aproximação da Difusão e Exponencial de Dois Termos aos dados experimentais e os modelos foram comparados com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão da estimativa (SE) e erro médio relativo (P). O melhor modelo foi selecionado com base nesses parâmetros (maior valor de  $R^2$ , menores valores de SE e modelo que proporcionar um resultado de P menor que 10%).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Observou-se que a espuma elaborada com Albumina apresentou a maior densidade e maior volume coalescido em comparação com os demais aditivos ( $p < 0,05$ ), demonstrando que este aditivo não foi eficiente para a elaboração da espuma de polpa de acerola. Enquanto a Liga Neutra apresentou valores de densidade e de volume coalescido intermediários e o Emustab menores valores de densidade e coalescência ( $p < 0,05$ ), conforme apresentado na TABELA 1.

TABELA 1. Propriedades físicas das espumas.

<b>Aditivos</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Coalescência (mL)</b>
<b>Albumina</b>	0,83858 <sup>a</sup>	492,3333 <sup>a</sup>
<b>Liga Neutra</b>	0,55595 <sup>b</sup>	26,5867 <sup>b</sup>
<b>Emustab</b>	0,14367 <sup>c</sup>	0,0000 <sup>c</sup>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, na coluna, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme, Van Arsdel e Copley (1964), uma espuma estável apresenta em torno de 0,1 a 0,6 g/cm<sup>3</sup> de densidade, contribuindo, em conjunto com a estabilidade, para um processo de secagem de forma rápida, uma vez que quanto menor a densidade da espuma mais fácil e rápido é a difusão da água através da espuma durante a desidratação. Embora a Liga Neutra tenha apresentado densidade dentro do intervalo indicado por Van Arsdel e Copley (1964), esta demonstrou um volume coalescido em torno de 26,5867 mL, o que é indesejável. Diante disso, a Albumina e a Liga Neutra foram excluídas do restante do experimento. Já o Emustab, devido aos seus excelentes valores de densidade e coalescência, foi escolhido para a realização da cinética de secagem em leite de espuma. Após a realização da cinética de secagem e modelagem matemática, o modelo que apresentou bons ajustes aos dados experimentais, com valores de R<sup>2</sup> superiores a 0,99, valores de P inferiores a 10% e menores resultados de SE (menor que 0,036) para todas as temperaturas, foi o Logarítmico, sendo este escolhido para representar o comportamento da umidade ao longo do tempo. Conforme TABELA 2, é possível observar que o coeficiente de secagem “k” do modelo Logarítmico aumentou com o acréscimo da temperatura, enquanto a constante “a” e “b” não apresentaram uma tendência em função do aumento da temperatura de secagem. Como “k” representa a constante da taxa de secagem, os valores observados no presente experimento corroboram com o esperado para este parâmetro, uma vez que, ao ser elevada a temperatura, ocorre um acréscimo na velocidade de perda de água do produto para o ambiente.

TABELA 2. Parâmetros ajustados do modelo Logarítmico para as temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70°C.

<b>Modelo</b>	<b>Temp.</b>	<b>Coefficientes</b>				<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P (%)</b>	<b>SE (%b.s.)</b>
		<b>a</b>	<b>n</b>	<b>k (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>b</b>			
Logarítmico	50°C	1,1143	---	0,0021	-0,1883	0,9902	7,8635	0,0360
	55°C	1,1104	---	0,0029	-0,1546	0,9919	9,5636	0,0335
	60°C	1,1280	---	0,0039	-0,1581	0,9903	5,6683	0,0349
	65°C	1,2020	---	0,0043	-0,2325	0,9934	4,4103	0,0294
	70°C	1,1241	---	0,0059	-0,1376	0,9908	4,1328	0,0323

Fonte: elaborado pelos autores.

O tempo de secagem decaiu ao aumentar a temperatura de 50 para 70°C (FIGURA 1), visto que a amostra alcançou a umidade de equilíbrio mais rapidamente na temperatura de 70 °C (300 minutos), enquanto na temperatura de 50 °C este tempo foi maior (840 minutos). Tal comportamento comprova que ao elevar a temperatura de secagem provoca grande influência na taxa de perda umidade do material estudado.

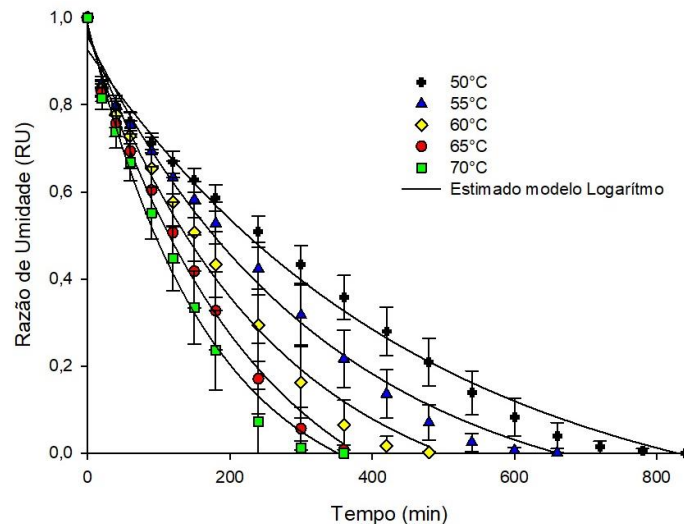


FIGURA 1. Comportamento da umidade (RU) em função do tempo da polpa de acerola em leite de espuma nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70°C.

Além disso, na FIGURA 1, verificou-se uma perda rápida de umidade no início do processo, sendo esta velocidade reduzida à medida que a secagem se aproximava do fim, para todas as temperaturas. Isso ocorre porque há mais água livre no início, enquanto a água está mais ligada aos componentes do alimento no final (KENENI; HVOSLEF-EIDE; MARCHETTI, 2019).

**CONCLUSÕES:** Espumas elaboradas com Albumina e Liga Neutra não são recomendadas para secagem em leite de espuma devido à instabilidade das espumas produzidas, mas a adição do aditivo Emustab permitiu obter uma espuma estável. O modelo Logarítmico foi o único que apresentou melhor ajuste para todas as temperaturas, enquanto os outros modelos obtiveram resultados insatisfatórios. A cinética de secagem da polpa de acerola seguiu um comportamento exponencial quanto à perda de umidade ao longo do tempo, sendo a temperatura de 70 °C a mais rápida.

## REFERÊNCIAS:

ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; PAULA, R. R. de; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Princípios da secagem de alimentos. *In*: ROBERTO, C. D.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CARVALHO, R. V. de. **Tópicos especiais em ciência e tecnologia de alimentos**. Vitória: Edufes, 2020, p.233-251.

KENENI, Y. G.; HVOSLEF-EIDE, A. K.; MARCHETTI, J. M. Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas* l. seeds. **Industrial Crops and Products**, v.132, p.12-20, 2019.

SANTOS, T. da S. R. dos; LIMA, R. A. Cultivo de *Malpighia emarginata* l. no brasil: uma revisão integrativa. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.8, n.4, p.333-338, 2020.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J. **Food dehydration**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1964. v.2, 721p.