



## Área: Engenharia de Alimentos

# CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE ACEROLA IN NATURA

**Bruna Elisangela Pessini Ostwald<sup>a</sup>, Ananza Di Renzo<sup>b\*</sup>, Ingridy Alessandretti<sup>a</sup>, Gabriel Damini<sup>a</sup>, Raquel Aparecida Loss<sup>b</sup>, Claudineia Aparecida Queli Geraldi<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Universidade de Passo Fundo (UPF), Departamento de Engenharia Química, Passo Fundo, RS

<sup>b</sup> Universidade de Mato-Grosso (UNEMAT), Departamento de Engenharia de Alimentos, Barra do Bugres, MT

\*E-mail: nanza.direnzo@gmail.com

**RESUMO** – A acerola é uma fruta de alto valor de vitamina C, superando inclusive a laranja. Contudo, sua extração gera um alto valor de formação de resíduo. Devido a isso, busca-se um método de extração que não produza tanto perda e que os valores nutricionais desejados, como a vitamina C, sejam preservados. Na secagem em camada de espuma de acerola, verificou-se que o tempo foi dependente da temperatura de secagem, com cinéticas de 240, 220 e 100 min respectivamente para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Com relação à modelagem matemática, os modelos de Page e o de Midilli e Kucuk se ajustaram melhor aos dados experimentais de secagem nas três temperaturas estudadas, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) iguais a 0,99 e menores erros relativos. Nas análises físico-químicas, a acerola *in natura* demonstrou elevação dos teores de acidez e cinzas após a secagem em camada de espuma. Além disso, a temperatura de 50°C mostrou-se mais eficaz na retenção de vitamina C, preservando seu valor nutricional de interesse.

**Palavras-chave:** Acerola, secagem, camada de espuma.

## 1 INTRODUÇÃO

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), também conhecida como “cereja das Antilhas” é uma fruta originária da América Central. Possui elevado teor de vitamina C, variando em até 5000 mg / 100 g de polpa superando até mesmo a laranja, goiaba e outras frutas com alto teor desta vitamina (EMBRAPA, 2020). Além do alto teor de ácido ascórbico, possui compostos fenólicos, carotenoides e flavonoides, os quais são altamente usados por indústrias de cosméticos e farmacêuticas (SILVA et al., 2019). Contudo, sua extração usual gera cerca de 40% de formação de resíduo e os frutos perdem valor nutricional, de ácido ascórbico por exemplo, conforme a maturação, o que além de levar ao desperdício de alimento, também diminui a quantidade da produção e obtenção dos produtos de valor agregado (REZENDE et al., 2018).

Nesse contexto, a secagem consiste na retardação das reações enzimática e microbiana reduzindo o teor de água. A qualidade do produto obtido depende do processo utilizado, em que temperaturas baixas requerem longos períodos e temperaturas altas podem comprometer a qualidade, sendo um problema durante o processamento industrial (LLAVATA et al., 2019). Dentre as técnicas de secagem, a camada de espuma caracteriza-se pela formação de uma espuma com adição de emulsificantes em líquidos ou semilíquidos, os quais após a secagem originam um produto em pó. Além de ser mais simples e rápida, pode ser realizada em temperaturas mais baixas que a convencional, preservando melhor o sabor e o valor nutricional do fruto (FREITAS, 2016).

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da temperatura durante a secagem em camada de espuma nas características físico-químicas da polpa de acerola, bem como a cinética e modelagem matemática do processo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada como matéria-prima o fruto de acerola, proveniente do mercado local de Barra do Bugres-MT. As amostras foram preparadas e analisadas no LMPPB (Laboratório de Matérias-Primas para produção de biodiesel) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Barra do Bugres-MT.

### 2.1 Preparo da polpa e obtenção da espuma

O fruto foi selecionado de acordo com o estágio de maturação, sendo este higienizado em água corrente, despulpado manualmente, e posteriormente armazenado sob congelamento a temperatura de -18°C em freezer comercial até as próximas etapas de processamento para desenvolvimento das análises. Posteriormente, foi triturado e homogeneizado em liquidificador comercial. Para a elaboração da espuma foram testadas as concentrações de 4,0, 4,5 e 5% (m/m) de emulsificante, com auxílio de uma batedeira comercial, por 8 minutos em velocidade máxima. A



concentração de 4,5% de emulsificante foi selecionada, por apresentar melhor estabilidade. A espuma formada foi distribuída em placas de petri e levadas para uma estufa de circulação de ar para secagem em temperatura controlada.

## 2.2 Secagem e obtenção do pó

Amostras de 10g de espuma foram cuidadosamente espalhadas em placas de Petri e levadas em estufa de circulação forçada de ar (CienLab, CE-480) à temperatura de 50, 60 e 70°C. As espumas das polpas secas foram retiradas das placas de Petri com auxílio de uma espátula, foram acondicionadas e identificadas quanto ao tipo de material, data e condições experimentais.

## 2.3 Estudo da cinética de secagem

As curvas de secagem foram estabelecidas para as amostras submetidas às condições descritas, mediante acompanhamento da perda de umidade registrada através da variação da massa das amostras em intervalos de tempo de 15 minutos. As perdas de massa durante a secagem foram obtidas com o auxílio de uma balança semi-analítica com precisão de 0,0001 g. Os ensaios foram prolongados até que atingissem condições de equilíbrio (massa constante). A razão de umidade (RU) foi determinada conforme a Equação 1.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (\text{Equação 1})$$

U= teor de água do produto, decimal b.s;  $U_i$ = teor de água inicial do produto, decimal b.s;  $U_e$ = teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

## 2.4 Modelagem matemática

Para avaliar o comportamento da perda de umidade ao longo do tempo foram utilizados modelos semi-empíricos. Considerando a umidade de equilíbrio como a umidade atingida quando a taxa de secagem se anula, foram calculadas as razões de umidade (RU). Logo, utilizou-se o programa Excel para a realização dos cálculos e modelagem. Para representar a cinética de secagem do caroço de abacate, foram utilizados os modelos matemáticos de Henderson e Pabis (1961), Midilli e Kucuk (2002) e Page (1949), conforme apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Modelos matemáticos utilizados para descrever a cinética de secagem

Designação do modelo	Modelo	Equação
Modelo de Henderson e Pabis	$X_{ad} = a \exp(-kt)$	(2)
Modelo de Midilli e Kucuk	$X_{ad} = a \exp(-kt^n)bt$	(3)
Modelo de Page	$X_{ad} = \exp(-kt^n)$	(4)

$X_{ad}$  = teor de umidade (adimensional); t = tempo de secagem (min); k = coeficiente de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ); a, b, n = constante do modelo (adimensional).

## 2.5 Análises físico-químicas

As polpas secas de acerola foram submetidas às análises de: pH (método 014/IV), teor de umidade por gravimetria (método 014/IV), teor de vitamina C (método 364/IV), teor de cinzas (método 364/IV) e teor de acidez (método 310/IV), conforme o manual do Instituto Adolf Lutz (2008). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

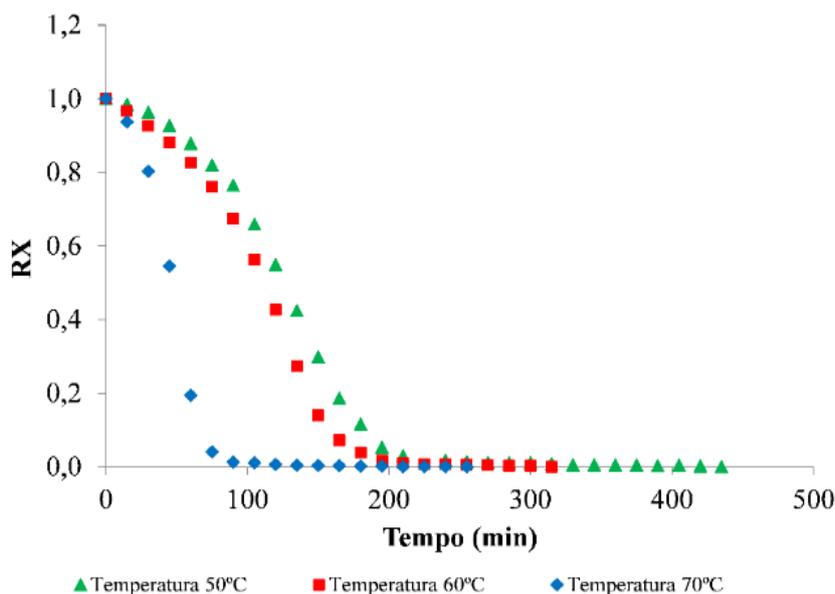
# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Cinética de secagem

Para obter a cinética de secagem de acerola, a fruta foi submetida à secagem em circulação de ar forçado nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. As cinéticas obtidas são apresentadas na Figura 1.



**Figura 1:** Curvas de secagem da polpa de acerola em camada de espuma, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



Na cinética de secagem da polpa de acerola, conforme a Figura 1 verificou-se que nas temperaturas de 50°C e 60°C, o perfil cinético foi semelhante aos tempos de equilíbrio foram em torno de 240 e 220 min respectivamente. Além disso, observa-se para a temperatura de 70°C, o tempo de equilíbrio em torno de 100 min.

### 3.2 Modelagem matemática

De acordo com os valores obtidos nas curvas de secagem, foram propostos modelos matemáticos referentes as temperaturas analisadas. Na Tabela 2 verifica-se os dados dos ajustes dos parâmetros dos modelos de Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk e Page, para a polpa da fruta acerola, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

**Tabela 2:** Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem da polpa de acerola.

Modelo	Parâmetros	Temperaturas		
		50°C	60°C	70°C
<b>Henderson e Pabis</b>	a	1,342476	1,311532	1,076783
	k (min <sup>-1</sup> )	0,011074	0,011613	0,028540
	R <sup>2</sup>	0,940334	0,942119	0,948926
	Erro	2,75017	2,371778	1,182497
<b>Midilli e Kucuk</b>	a	0,989818	0,974150	0,997823
	b	0,000010	0,000037	0,000000
	k (min <sup>-1</sup> )	0,000001	0,000001	0,000009
	n	2,956750	2,855550	2,946340
	R <sup>2</sup>	0,992034	0,998099	0,999153
<b>Page</b>	Erro	0,956698	0,403404	0,131587
	k (min <sup>-1</sup> )	0,000001	0,000001	0,000063
	n	2,742260	2,789342	2,478193
	R <sup>2</sup>	0,999058	0,998212	0,997690
	Erro	0,402768	0,418884	0,212589

Pela Tabela 2, pode se observar que os modelos de Midilli e Kucuk e Page ajustaram-se bem aos dados experimentais da cinética de secagem da polpa de acerola, por apresentarem correlações acima de 0,99, e menores erros.

O mesmo efeito foi observado em Leal et al. (2016) com secagem de abacaxi, acerola e carambola através da secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, onde observaram que os modelos de Midilli e Kucuk e Page apresentaram um bom ajuste para todas as condições estudadas, com coeficientes de determinação acima de 0,98.



### 3.3 Análises físico-químicas da polpa seca

A Tabela 3 apresenta os resultados da caracterização físico-química da polpa de acerola *in natura* e secas nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

**Tabela 3:** Caracterização físico-química das polpas em análise *in natura*.

Análises	Polpa <i>in natura</i>	50°C	60°C	70°C
Umidade (%)	92,369±0,131	18,691±0,317	16,777±0,312	12,063±0,1726
Acidez Total Titulável (%)	2,393±0,07	11,392±0,508	9,618±0,207	16,867±0,1939
Cinzas (%)	0,406±0,002	3,345±0,011	3,598±0,018	3,634±0,0836
pH	3,36±0,008	3,40±0,012	3,64±0,014	3,39±0,0094
Vitamina C (mg)	178,889±3,24	399,207±4,415	221,178±2,71	153,614±6,747

De acordo com a Tabela 3, pode-se observar que a umidade foi dependente da temperatura de secagem, com umidades finais de 18,691; 16,777 e 12,063% para as amostras secas a 50, 60 e 70°C, respectivamente. Ainda, o aumento da temperatura favoreceu uma elevação na acidez total, fato associado a diminuição da parte aquosa da fruta, concentrando assim, os ácidos presentes na mesma. O pH manteve-se praticamente constante, e como já esperado, as cinzas aumentaram em comparação a fruta *in natura*, devido principalmente a adição do agente emulsificante (RIGUETO et al., 2018).

Na análise de vitamina C, verificou-se um significativo aumento no teor do ácido comparando a fruta *in natura* e a polpa seca a 50°C (178,889 e 399,207 mg, respectivamente). Porém, a elevação da temperatura a partir de 60 °C causou menor retenção do ácido ascórbico, uma vez que este pode sofrer oxidação devido à elevação a partir de determinadas faixas de temperatura. Comportamento similar foi relatado por Riguetto et al. (2018), que avaliaram a influência da temperatura na secagem da uvaia, constatando que para maior retenção de vitamina C a temperatura mais adequada para secagem em camada de espuma foi a 50°C.

## 4 CONCLUSÃO

Na secagem em camada de espuma de acerola, verificou-se que o tempo foi dependente da temperatura de secagem, com cinéticas de 240, 220 e 100 min respectivamente para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Com relação à modelagem matemática, os modelos de Page e o de Midilli e Kucuk se ajustaram melhor aos dados experimentais de secagem nas três temperaturas estudadas, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) iguais a 0,99 e menores erros relativos. Nas análises físico-químicas, a acerola *in natura* demonstrou elevação dos teores de acidez e cinzas após a secagem em camada de espuma. Além disso, a temperatura de 50°C mostrou-se mais eficaz na retenção de vitamina C, preservando seu valor nutricional de interesse.

## 5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo apoio financeiro e concessão das bolsas de pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/acerola>>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- FREITAS, R. C. P. Caracterização do processo de secagem em leito de espuma para obtenção de pó de manga Ubá. 2016. 88 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- LEAL, A. K. Cinética de secagem das polpas de abacaxi, acerola e carambola através do método de camada de espuma. Dissertação de Graduação. Universidade do Estado de Mato Grosso. 2015
- LEAL, A. K., GERALDI, C. A. Q., KLASSEN, K. Influência da temperatura de secagem através do método de camada de espuma, na concentração de ácido ascórbicos, nas polpas dos frutos de abacaxi, acerola e carambola. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza/Ceará – 2016.
- LLAVATA, B., GARCÍA-PÉREZ, J. V., SIMAL, S., CÁRCEL, J. A. Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. Pre-proof. 2019.



- REZENDE, Y. R. R. S., NOGUEIRA, J. P., NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chemistry*, v. 254, p. 281-291, 2018.
- RIGUETO, C. V. T., EVARISTO, L. M., GERALDI, C. A. Q., COVRE, L. Influência da temperatura de secagem de uvaia (*Eugenia pyriformis*) em camada de espuma. *Engevista*, v. 20, n. 4, p. 537-547, 2018.
- SILVA, P. B., DUARTE, C. R., BARROZO, M. A. S. A novel system for drying of agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) waste for use as bioactive compound source. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 52, p. 350-357, 2019.