

## SECAGEM DE UVA EM LEITO DE ESPUMA: ANÁLISE DE PARÂMETROS CINÉTICOS E MODELAGEM MATEMÁTICA

Lorraini Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Ana Lazara Matos de Oliveira<sup>2</sup>, Claudinéia Aparecida Queli Geraldi<sup>3</sup>, Sumaya Ferreira Guedes<sup>4</sup>, Kethelin Cristine Laurindo Chiossi<sup>5</sup>, Raquel Aparecida Loss<sup>6</sup>

### RESUMO:

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) é uma técnica amplamente utilizada para a obtenção de produtos alimentícios em pó, especialmente quando aplicada a produtos com alto teor de açúcares, como frutas tropicais. Este trabalho teve como objetivo analisar o processo de secagem em camada de espuma da uva BRS Vitória, avaliando a formação da espuma, o comportamento da cinética de secagem e o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais. A espuma foi produzida com formulações contendo Emustab, maltodextrina e agentes auxiliares, sendo caracterizada quanto à estabilidade, uniformidade e viabilidade para secagem. As curvas de secagem apresentaram perfil típico de materiais higroscópicos, com predominância da fase de taxa decrescente, comportamento associado à formação de uma camada superficial viscosa que limita a difusão interna de umidade. Diversos modelos matemáticos foram testados, destacando-se os modelos de Page e Midilli & Kucuk, que mostraram excelente desempenho nas três temperaturas avaliadas, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,997. O modelo de Page apresentou o melhor ajuste nas condições mais elevadas de temperatura, capturando de forma eficiente as mudanças estruturais da matriz durante o processo. Os resultados obtidos demonstram que a formulação selecionada e as condições aplicadas foram adequadas para a produção de pó de uva por *foam-mat drying*, reforçando a eficiência da técnica para a obtenção de produtos estáveis, com baixa higroscopicidade e adequados para armazenamento e futuras aplicações tecnológicas. O estudo contribui para o avanço do processamento de uvas e amplia o conhecimento sobre a aplicação de modelos matemáticos na representação da cinética de secagem em frutas ricas em açúcares.

**Palavras-chave:** Uva Vitória; cinética de secagem; produtos em pó.

## GRAPE DRYING IN A FOAM BED: ANALYSIS OF KINETIC PARAMETERS AND MATHEMATICAL MODELING

### ABSTRACT:

*Foam-mat drying* is a widely used technique for obtaining powdered food products, especially when applied to products with high sugar content, such as tropical fruits. This study aimed to analyze the foam-mat drying process of BRS Vitória grapes, evaluating foam formation, drying kinetics behavior, and the fitting of

<sup>1</sup>Bacharel em Engenharia de Produção Agroindustrial. Campus Universitário Renê Barbours. Barra do Bugres-MT. lorraini.rodrigues@unemat.br, <https://orcid.org/0009-0002-8076-2939>. <sup>2</sup>Doutora em Ciência de Alimentos. Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Universitário Renê Barbours. Barra do Bugres-MT. ana.lazara@unemat.br, <https://orcid.org/0000-0003-3767-3885>. <sup>3</sup>Doutora em Engenharia Química. Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Universitário de Nova Mutum. Nova Mutum-MT. claudineia.geraldi@unemat.br <https://orcid.org/0000-0001-5255-9752>. <sup>4</sup>Doutora em Ciências. Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Universitário de Nova Mutum. Nova Mutum-MT. sumayaguedes@unemat.br, <https://orcid.org/0000-0002-1613-36475>. <sup>5</sup>Doutora em Ecologia e Conservação da Biodiversidade. Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Universitário de Nova Mutum. Nova Mutum-MT. kethelin.oliveira@unemat.br, <https://orcid.org/0000-0002-5235-9504>. <sup>6</sup>Doutora em Engenharia de Alimentos. Universidade do Estado de Mato Grosso, Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Universitário Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra-MT. <https://orcid.org/0000-0002-6022-7552>.

mathematical models to the experimental data. The foam was produced using formulations containing Emustab, maltodextrin, and auxiliary agents, and was characterized in terms of stability, uniformity, and suitability for drying. The drying curves showed a typical profile of hygroscopic materials, with a predominant falling-rate period, a behavior associated with the formation of a viscous surface layer that limits internal moisture diffusion. Several mathematical models were tested, with emphasis on the Page and Midilli & Kucuk models, which showed excellent performance at the three temperatures evaluated, with coefficients of determination ( $R^2$ ) higher than 0.997. The Page model provided the best fit under the highest temperature conditions, efficiently capturing structural changes in the matrix during the process. The results demonstrated that the selected formulation and applied conditions were suitable for producing grape powder by foam-mat drying, reinforcing the efficiency of this technique for obtaining stable products with low hygroscopicity, suitable for storage and future technological applications. This study contributes to advances in grape processing and expands knowledge on the application of mathematical models to represent drying kinetics in fruits rich in sugars.

**Keywords:** Vitória Urape; drying kinetics; powdered products.

## INTRODUÇÃO

A viticultura possui grande relevância no cenário agrícola mundial, com destaque para países como Espanha, França, Itália, China e Turquia. No Brasil, essa atividade também apresenta expressiva importância econômica. Em 2023, a produção de uvas atingiu 1.757.891 toneladas, em uma área colhida de 77.019 hectares, com rendimento médio de 22.824 kg por hectare (IBGE, 2024). Além do abastecimento do mercado interno, o setor também se destaca no comércio exterior: no mesmo ano, as exportações brasileiras de uvas totalizaram 73 mil toneladas e geraram US\$ 1,35 bilhão, o maior valor histórico registrado para o segmento (Secretaria de Comércio e Relações Internacionais, 2024).

Apesar da relevância produtiva, perdas pós-colheita ainda representam um importante problema na cadeia de frutas, especialmente em países em desenvolvimento, onde aproximadamente 30 a 40% da produção pode ser desperdiçada durante as etapas de colheita, processamento e distribuição (Cardoso, 2025). Nesse contexto, a aplicação de técnicas adequadas de conservação torna-se fundamental para reduzir perdas e agregar valor à matéria-prima. Entre essas técnicas, a secagem destaca-se como um método tradicional e eficiente para prolongar a vida útil de alimentos perecíveis, pois reduz a atividade de água e cria condições desfavoráveis ao crescimento de microrganismos (Bhattacharjee et al., 2024).

Entre as tecnologias mais recentes, a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) tem se mostrado uma alternativa promissora para a produção de alimentos em pó, especialmente a partir de frutas, pois consiste na transformação da polpa em uma espuma estável seguida de desidratação, permitindo a obtenção de produtos com boas características sensoriais e nutricionais (Kalambe & Guhe, 2025). Estudos indicam que essa técnica pode melhorar a eficiência da secagem e a qualidade final do produto, entretanto sua aplicação em uvas ainda é pouco explorada.

Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética de secagem da polpa de uva utilizando a técnica de secagem em camada de

espuma, bem como ajustar e identificar o modelo matemático que melhor descreve o comportamento do processo.

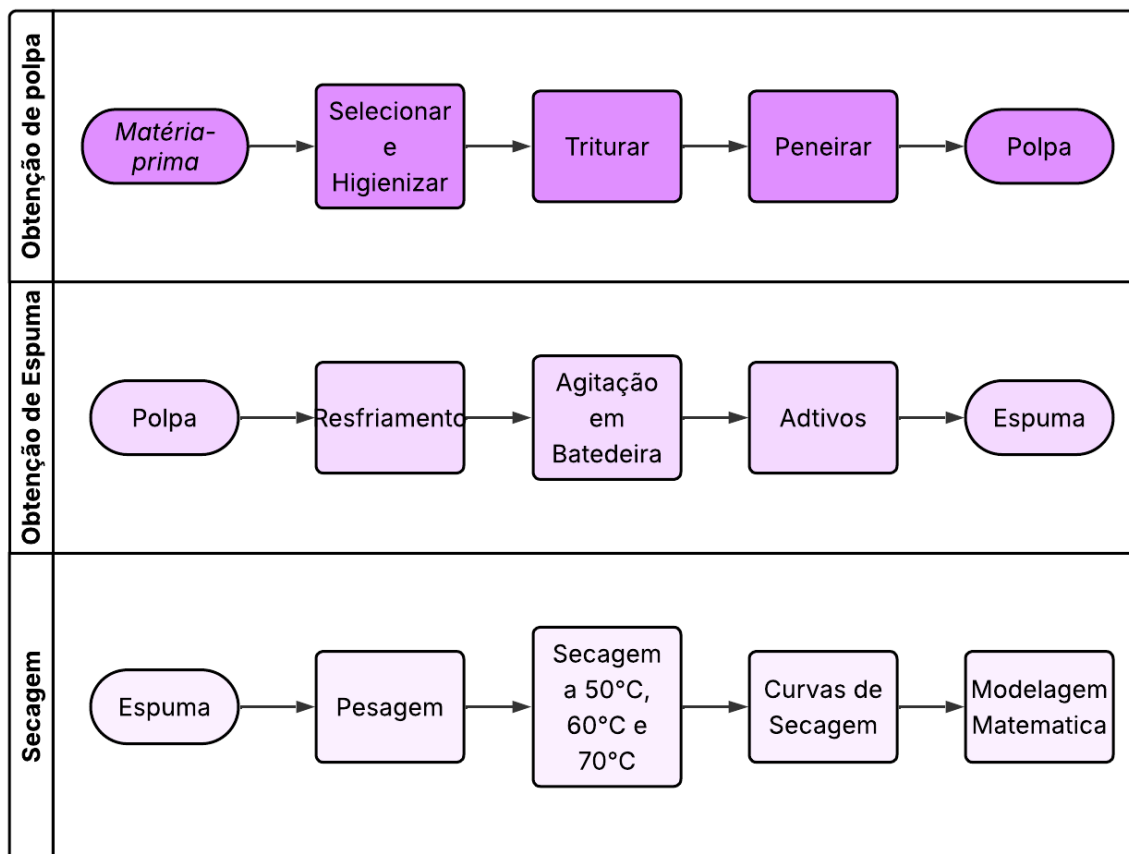
## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa possui caráter experimental aplicado, com abordagem quantitativa. Os experimentos foram conduzidos no primeiro semestre de 2025, nos Laboratórios de Química, Processamento de Alimentos e Matérias-Primas e Processamento de Biodiesel da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Câmpus de Barra do Bugres - MT.

As uvas da cultivar BRS Vitória foram adquiridas no comércio local e selecionadas quanto à integridade física e estágio de maturação. Inicialmente, os frutos foram separados do cacho, higienizados em água corrente e triturados em multiprocessador doméstico por aproximadamente 3 a 5 minutos para obtenção da polpa, que posteriormente foi peneirada para remoção de resíduos sólidos. O fluxograma das etapas empregadas no processamento da uva está apresentado na Figura 1, a qual sintetiza as fases do procedimento experimental adotado neste estudo.

Para a etapa de obtenção da espuma, foi adotado um delineamento experimental exploratório, no qual diferentes formulações foram preparadas a partir da polpa de uva BRS Vitória, com variação dos agentes espumantes, estabilizantes e aditivos auxiliares. As formulações foram identificadas por siglas (F1 a F6) e diferenciadas quanto à composição, à ordem de adição dos ingredientes e à temperatura da polpa no momento do batimento, conforme mostra a Tabela 1. Inicialmente, a polpa foi submetida à preparação prévia conforme a formulação proposta, podendo ser utilizada à temperatura ambiente ou após resfriamento por 5 minutos em congelador doméstico.

Em seguida, os ingredientes foram adicionados conforme a sequência definida para cada ensaio, e a mistura foi processada em batedeira doméstica, em velocidade máxima, por 20 minutos, para formação da espuma.



**Figura 1.** Fluxograma dos processos empregados no processamento da uva

Após essa etapa, as formulações foram avaliadas quanto à estabilidade visual, uniformidade, incorporação de ar e comportamento durante a secagem, sendo selecionada a formulação de melhor

desempenho para os ensaios de cinética de secagem (Vilar et al. 2020; Costa et al., 2021; Morais et al., 2022).

**Tabela 1.** Testes de formulação para a obtenção de espumas.

Formulação	Agente espumante (%)	Agente estabilizante (%)	Aditivos / Observações de preparo	Referência
F1	Albumina 0,5%	Emustab 3,5%	15 Gotas De Ácido Cítrico	Adaptado de Morais et al. (2022)
F2	Albumina 0,5%	Goma Arábica 3,5%	15 Gotas De Ácido Cítrico	Adaptado de Vilar et al. (2020)
F3	Albumina 1%	Maltodextrina 3,5%	15 Gotas De Ácido Cítrico	Adaptado de Oliveira et al. (2024)
F4	Emustab 2% a 10%	—	—	Adaptado de Costa et al. (2021)
F5	Emustab 3,5%	Goma Arábica 3,5%	3 Gotas De Bicarbonato De Sódio	Adaptado de Vilar et al. (2020)
F6	Emustab 3,5%	Maltodextrina 3,5% a 15%	3 Gotas De Bicarbonato De Sódio	Adaptado de Oliveira et al. (2024)

Para a obtenção das curvas de secagem, 5 g de espuma foram distribuídos uniformemente em placas de Petri previamente secas e pesadas, sendo

submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. A variação de massa foi monitorada em intervalos de 15

minutos por meio de balança analítica com precisão de 0,0001 g, até que fosse atingida massa constante. A partir dos dados experimentais, foi calculada a razão de umidade (RX), conforme metodologia descrita por Matos et al. (2022) e apresentado na Equação 1:

$$RX = \frac{(X_o - X_e)}{(X - X_e)}$$

Em que:

RX – Razão de umidade do produto (adimensional);

X – Teor de água do produto em determinado momento (base seca);

X<sub>o</sub> – teor inicial de água do produto (base seca);

X<sub>e</sub> – teor de água em equilíbrio (base seca).

A modelagem matemática da cinética de secagem foi realizada utilizando modelos

semiempíricos amplamente empregados na literatura para descrever processos de desidratação de alimentos, incluindo Henderson e Pabis (1961), Page (1949) e Midilli e Kucuk (2002). O ajuste dos modelos aos dados experimentais foi realizado no software Microsoft Excel (Microsoft Corporation, versão 2019), utilizando a ferramenta *Solver* para minimizar o erro entre os valores observados e preditos. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e do erro médio absoluto, adotando-se o princípio da parcimônia na seleção do modelo que melhor representou o comportamento da cinética de secagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Obtenção da espuma

Diferentes formulações foram avaliadas para a obtenção de espuma estável a partir da polpa de uva BRS Vitória, variando-se os agentes espumantes, estabilizantes e aditivos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados dos testes de formulação para a obtenção de espumas.

Formulação	Resultado / Observação final	Interpretação
F1	A espuma obtida apresentou elevada densidade, resultando, após a secagem, em uma massa compacta e pouco aerada.	Baixa adequação
F2	A espuma formou-se de maneira consistente e densa, porém durante a secagem ocorreu caramelização do material.	Baixa adequação
F3	A formulação produziu uma espuma densa; contudo, após a secagem, observou-se a formação de uma massa compacta e pouco estável.	Baixa adequação
F4	A formulação resultou em boa formação de espuma, porém apresentou caramelização ao final do processo de secagem.	Adequação parcial
F5	A formulação gerou uma espuma satisfatória, porém, durante a secagem, observou-se a formação de uma massa pegajosa e com sinais de caramelização	Adequação parcial
F6	A espuma apresentou boa estabilidade e estrutura, entretanto, após a secagem, os grânulos resultantes mostraram-se separados e sem coesão.	Formulação selecionada

Os resultados indicaram que as formulações contendo apenas albumina apresentaram intensa formação de espuma, porém resultaram em materiais pegajosos e úmidos após a secagem. Formulações com albumina associada a estabilizantes, como goma arábica ou Emustab, produziram espumas mais densas, mas ainda apresentaram limitações durante a secagem, incluindo formação de massas compactas e aparecimento de uma coloração escura devido à

ocorrência da reação de Maillard. O mesmo comportamento foi observado por Utari et al. (2023) na secagem de extrato de pau brasil.

Esse comportamento pode ser explicado pela própria composição da uva, rica em açúcares de baixo peso molecular, que favorecem a formação de materiais pegajosos durante a secagem. Segundo Wang & Hartel (2021), sistemas alimentares ricos em açúcares apresentam maior tendência à adesividade

devido à baixa temperatura de transição vítrea. Além disso, a literatura mostra que o desempenho da secagem em camada de espuma depende fortemente da combinação entre agentes espumantes, estabilizantes e temperatura de secagem, afetando tanto a estabilidade da espuma quanto as propriedades físicas do pó final (Paiva et al., 2023; Utari et al., 2023).

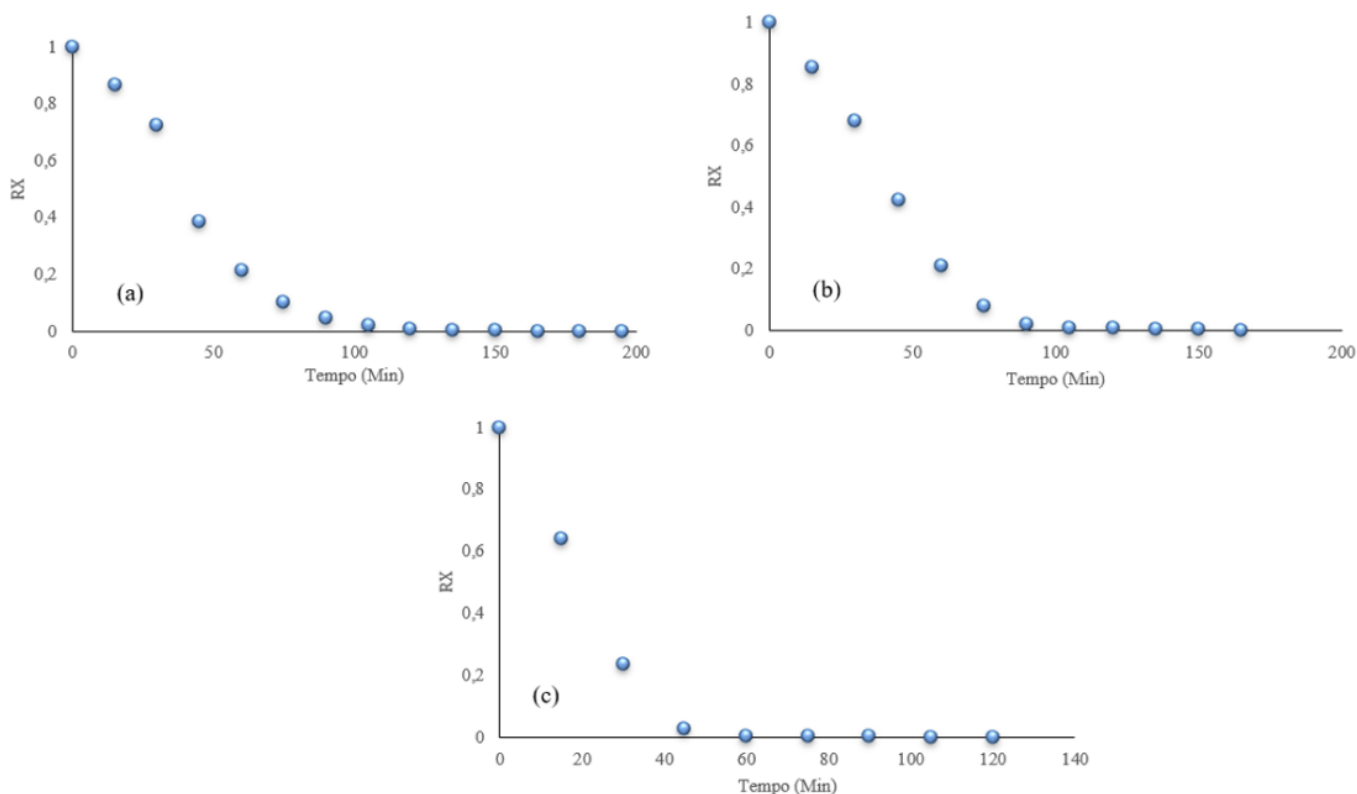
Também se observou que fatores operacionais influenciaram a qualidade da espuma formada. No presente estudo, a ordem de adição dos componentes mostrou-se relevante para a estabilidade estrutural da matriz aerada, enquanto a temperatura da polpa interferiu na incorporação de ar. Esse comportamento é coerente com a literatura, que demonstra que as condições de formulação e batimento, bem como a natureza dos agentes espumantes e estabilizantes, influenciam diretamente a viscosidade do sistema, a estabilidade das bolhas e, conseqüentemente, o desempenho da secagem em camada de espuma (Çalışkan Koç et al., 2022; Paiva et al., 2023). Além disso, a temperatura pode alterar a formação e a estabilização de espumas proteicas, como observado

para sistemas contendo albumina (Delahaije et al., 2019).

Entre as formulações avaliadas, a combinação contendo 15% de maltodextrina e 3,5% de Emustab, associada à adição de solução de bicarbonato de sódio, apresentou o melhor desempenho, resultando em uma espuma homogênea, estável e bem aerada. Após a secagem, essa formulação originou um pó uniforme, com baixa higroscopicidade e boa fluidez, características que podem ser relacionadas ao uso da maltodextrina, já que esse aditivo tende a melhorar a estabilidade física e a reduzir a pegajosidade de pós de frutas (Oberoi & Sogi, 2015).

### Curvas de secagem

A secagem da espuma de uva BRS Vitória foi realizada nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, sendo observada redução do tempo necessário para atingir o equilíbrio de umidade com o aumento da temperatura do ar de secagem (Figura 2). Esse comportamento indica maior eficiência de transferência de calor e massa em temperaturas mais elevadas, resultando em remoção mais rápida da umidade do material.



**Figura 2.** Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de uva nas temperaturas de (a) 50°C, (b) 60°C e (c) 70°C.

As curvas de secagem apresentaram comportamento típico de produtos alimentícios higroscópicos, caracterizado por uma etapa inicial de aquecimento seguida predominantemente pela fase de taxa decrescente, sem a presença de período de taxa constante. De acordo com Fongin et al. (2019), produtos de frutas desidratadas apresentam elevada sensibilidade à umidade devido ao caráter amorfo da matriz e à presença de açúcares de baixo peso molecular. A absorção de água promove alterações reológicas importantes, com aumento da mobilidade molecular e da pegajosidade, podendo favorecer a formação de uma camada superficial viscosa. Esse comportamento tende a elevar a resistência à transferência de umidade e, assim, modificar a cinética do processo de secagem.

A umidade final das amostras variou entre 8% e 12% (base úmida), sendo esse valor dentro do esperado para produtos desidratados. Afrin et al. (2022) observaram uma umidade de 10% de umidade em base úmida, para o bagaço de laranja. Souza et al. (2021) obtiveram umidades variando de 10,92 a 13,20% para polpa de umbu no método de secagem em camada de espuma. Riguetto et al. (2020) também observaram uma variação de umidade (10,34 a 15,37%) para a polpa de jambo vermelho submetida a secagem em camada de espuma. Rocha et al. (2023) obtiveram uma umidade de 10,08% para manga desidratada em camada de espuma. Para a polpa de goiaba submetida à secagem em camada de espuma,

Cabral Filha et al. (2024) observaram teores de umidade variando de 10,68 a 11,83%. Dessa forma, pode-se observar que a umidade da polpa de uva é semelhante a faixa descrita na literatura.

Entretanto, foi observada certa tendência à higroscopicidade, especialmente nas amostras secas a 50°C, que apresentaram maior capacidade de absorção de umidade do ambiente após o término do processo. Esse comportamento é esperado em pós de frutas, uma vez que açúcares de baixo peso molecular e outros constituintes amorfos tendem a reduzir a temperatura de transição vítrea e favorecer a sorção de água do ambiente. Jakubczyk et al. (2010) destacam que pós de frutas têm baixa temperatura de transição vítrea justamente devido à concentração desses açúcares, o que favorece absorção de umidade e instabilidade física.

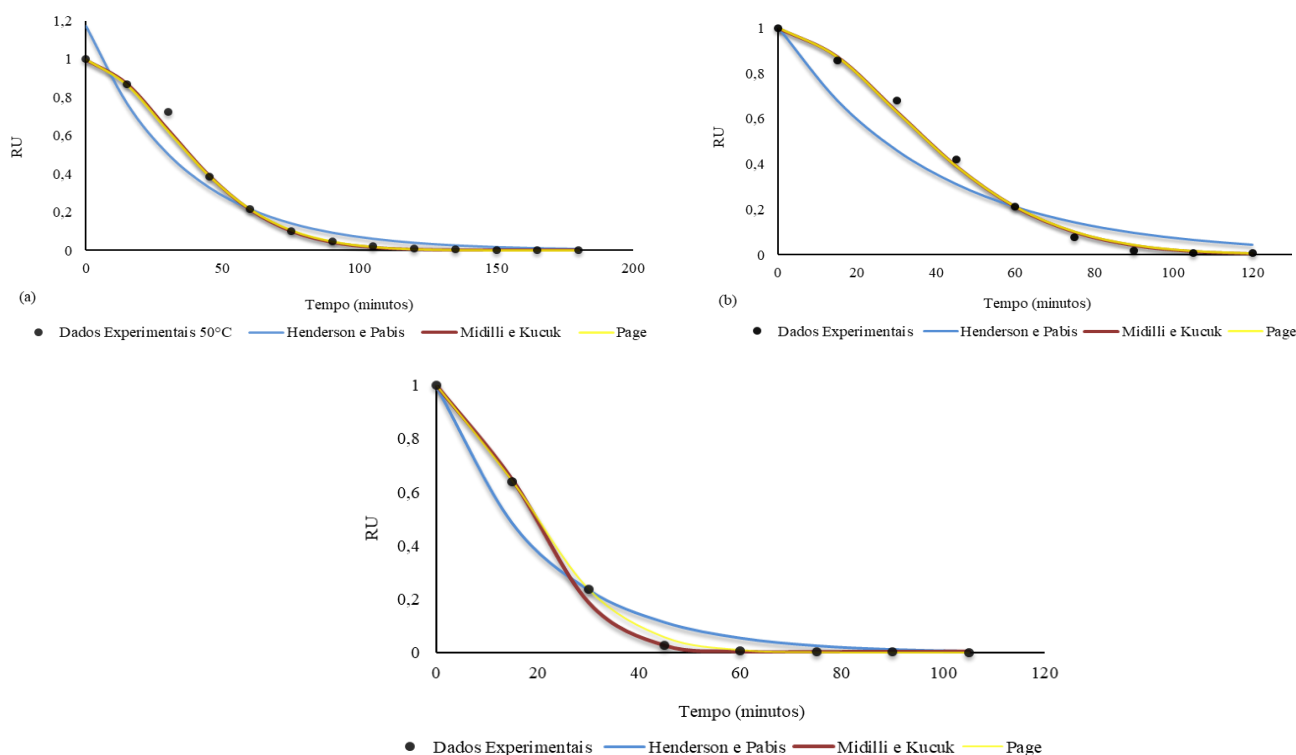
### Modelagem matemática da cinética de secagem

A modelagem matemática foi realizada com o objetivo de descrever a cinética de secagem da espuma de uva nas temperaturas avaliadas e os parâmetros ajustados e os indicadores estatísticos de desempenho são apresentados na Tabela 3.

Os resultados demonstraram que os modelos de Page e de Midilli e Kucuk apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais, com coeficientes de determinação superiores a 0,997 em todas as temperaturas avaliadas.

**Tabela 3.** Dados obtidos após aplicação de modelagem matemática.

Temperatura	Modelo	a	b	k	n	R <sup>2</sup>	Erro médio
50°C	Henderson & Pabis	1,171043	-	0,028259	-	0,9685	0,7532
	Midilli & Kucuk	0,996942	0,000023	0,001122	1,764788	0,9977	0,1209
	Page	-	-	0,001437	1,70357	0,9973	0,1285
60°C	Henderson & Pabis	1,000011	-	0,025891	-	0,9690	0,7454
	Midilli & Kucuk	0,999999	0	0,00113	1,764818	0,9983	0,1483
	Page	-	-	0,001241	1,741962	0,9981	0,1543
70°C	Henderson & Pabis	1,000001	-	0,047987	0	0,9853	0,3318
	Midilli & Kucuk	0,999919	0,000041	0,0023	1,938636	0,9989	0,0605
	Page	-	-	0,004552	1,692526	0,9996	0,0417



**Figura 3.** Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de uva nas temperaturas de (a) 50°C, (b) 60°C e (c) 70°C.

Esses resultados indicam elevada capacidade desses modelos em representar o comportamento da secagem da espuma de uva, especialmente na fase de taxa decrescente. Em contraste, o modelo de Henderson e Pabis apresentou menor capacidade de ajuste, evidenciada pelos menores valores de coeficiente de determinação e maiores erros médios, que podem ser observados na Figura 3.

A análise dos parâmetros também revelou que a constante de secagem aumentou com a elevação da temperatura, indicando aceleração do processo de remoção de água. Os valores do expoente  $n$ , superiores a 1, sugerem predominância de mecanismos difusivos durante a secagem, característica frequentemente observada em matrizes alimentícias com alto teor de açúcares.

Embora o modelo de Midilli e Kucuk tenha apresentado os maiores valores de coeficiente de determinação, o modelo de Page foi considerado mais adequado para descrever o processo, por apresentar estrutura matemática mais simples e desempenho estatístico semelhante. Esse resultado também foi observado por Riguetto et al. (2020) na representação matemática da cinética de secagem da polpa de jambo

vermelho submetida ao método de camada de espuma.

De modo geral, os resultados obtidos indicam que a técnica de secagem em camada de espuma apresenta potencial para a produção de pó de uva com características adequadas de estabilidade e armazenamento. Entretanto, variações na composição da espuma e nas condições de secagem podem influenciar significativamente o comportamento cinético do processo, sugerindo a necessidade de investigações adicionais para otimização das condições operacionais e avaliação de propriedades físicas e nutricionais do produto final.

## CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a técnica de secagem em camada de espuma aplicada à polpa de uva BRS Vitória é eficiente para a produção de um pó homogêneo e estável, desde que sejam utilizadas formulações adequadas de agentes espumantes e estabilizantes. A combinação de Emustab (3,5%) e maltodextrina (15%), associada ao bicarbonato de sódio, apresentou o melhor desempenho, garantindo

maior incorporação de ar, estabilidade da espuma e menor higroscopicidade após a secagem.

As curvas de secagem confirmaram o comportamento típico de frutas ricas em açúcares, com predominância da fase de taxa decrescente e ausência de período de taxa constante. O aumento da temperatura reduziu o tempo de secagem, embora tenha intensificado riscos de caramelização em formulações menos protegidas.

Na modelagem matemática, os modelos de Page e Midilli & Kucuk apresentaram os melhores ajustes, com coeficientes de determinação superiores a 0,997. O modelo de Page destacou-se por sua simplicidade e eficiência, utilizando apenas um parâmetro ajustável, o que facilita sua aplicação em estudos comparativos e simulações do processo. Além disso, mostrou-se especialmente adequado para representar a fase de taxa decrescente, característica marcante em frutas com alto teor de açúcares, como a uva, reforçando sua relevância como ferramenta prática para descrever a cinética de secagem em sistemas alimentícios.

Em síntese, os resultados demonstram que a otimização da formulação e das condições de processo, aliada ao uso de modelos matemáticos robustos como o de Page, é essencial para garantir a qualidade tecnológica e a estabilidade do pó obtido, contribuindo para o avanço da aplicação do método *foam-mat drying* em frutas tropicais.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afrin, S. M.; Acharjee, A. & Sit, N. (2022). Convective drying of orange pomace at different temperatures and characterization of the obtained powders. **Journal of Food Science and Technology** 59: 1040–1052. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05108-2>
- Bhattacharjee, S., Devi, M., & Das, S. K. (2024). A critical review on drying of food materials. **Food and Bioproducts Processing**, 158: 107863. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.107863>
- Cabral Filha, M.C.S.; Canuto, M.F.C.S.; Sousa, J.H.S.; Silva, D.R.S. & Farias, F.P.M. (2024). Secagem em camada de espuma da polpa da goiaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Semiárido De Visu* 12(1): 178-193. Doi: 0.31416/rsdv.v12i1.678.
- Çalışkan Koç, K. G.; Tekgül, Y., Yüksel, A.N.; Khanashyam, A.C.; Kothakota, A. & Pandiselvam, R. (2022). Recent development in foam-mat drying process: Influence of foaming agents and foam properties on powder properties. **Journal of surfactantes and Detergents** 25(5):539–557. <https://doi.org/10.1002/jsde.12608>
- Cardoso, I. (2025). Post-Harvest Losses and Their Management in Horticultural Crops: Strategies for Sustainable Food Security. **International Journal of Agriculture Sustainable Farming** 1(3): 01-05.
- Costa, A.R.; Silva, J.P.; Santos, D.S. & Oliveira, L.F. (2021). Cinética da secagem em camada de espuma da pitaiá-rosa de polpa vermelha. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 12, p. 213–220. 10.6008/CBPC2179-6858.2021.012.002.
- Delahaije, R. J.B.M.; Lech, F.J. & Wierenga, P.A. (2019). Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin-stabilized foams. **Food Hydrocolloids** 91:263-274. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030>
- Fongin, S.; Alvino Granados, A. E.; Harnkarnsujarit, N.; Hagura, Y. & Kawai, K. (2019). Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. **Journal of Food Engineering**, 247: 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>
- Henderson, S.M. & Pabis, S. (1961). Grain drying theory: I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research** 6: 169-174.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). **Produção Agrícola Municipal 2023**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>
- Jakubczyk, E.; Ostrowska-Ligeża, E. & Gondek, E. (2010). Moisture sorption characteristics and glass transition temperature of apple puree powder. **International Journal of Food Science & Technology**, 45(12): 2515–2523. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02425.x>

- Kalambe, S. & Guhe, S. (2025). Foam mat drying of perishable products: a critical review of process parameters, product quality, and sustainable prospects. *Sustainable Food Technology* 4:133–152. 10.1039/d5fb00203f
- Matos, J.D.; Oliveira, P.S.; Carvalho, R.M. & Santos, A.R. (2022). Foam mat drying kinetics of jambolan and acerola mixed pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 7, p. 502-512. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n7p502-512>
- Midilli, A. & Kucuk, H. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, v. 20, n. 7, p. 1503-1513. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00099-7)
- Morais, D.R.; Nascimento, A.P.; Silva, L.M. & Gomes, F.C. (2022). Comportamento das características físicas e físico-químicas da polpa de bacuri submetidas ao processamento para obtenção de espuma e pó. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, e38111831042: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.31042>
- Oberoi, D.P.S. & Sogi, D.S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering** <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.024>
- Paiva, Y.F.; Figueirêdo, R.M.F.; Queiroz, A.J.M.; Amadeu, L.T.S.; Reis, C.G.d.; Santos, F.S.D.; Lima, A.G.B.; Silva, W.P.d.; Gomes, J.P.; Leite, D.D. F. & Lima, T. L. B. Lima (2023). Tropical Red Fruit Blend Foam Mat Drying: Effect of Combination of Additives and Drying Temperatures. **Foods** 12: 2508. <https://doi.org/10.3390/foods12132508>.
- Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum of air-drying shelled corn in thin layer. 1949. Thesis (M.Sc.) – Purdue University, Indiana.
- Rocha, M.V.G.; Oliveira, A.B.S.; PROFIRIO, L.S.; Cruz, A.R.N. & Chagas, S.F. (2023). Avaliação físico-química da polpa de manga (*Tommy atkins*) em pó obtida por meio da secagem em camada de espuma. **Revista Semiárido De Visu** 11(1):1.
- Rigueto, C.V.T.; Nazari, M.T.; Evaristo, L.M.; Rossetto, M.; Dettmer, A.; Geraldi, C.A.Q. & Piccin, J.S. (2020). Influência da temperatura de secagem de jambo vermelho (*Syzygium malaccense*) em camada de espuma. **Research, Society and Development** 9 (3): e40932382. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2382>
- Secretaria de Comércio e Relações Internacionais. (2024). **Balança comercial do agronegócio brasileiro 2023**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>
- Souza, L.M.R.; Canuto, M.F.C.S.; Silva, D.R.S.; Farias, F.P.M. & Santos, F.S. (2021). Secagem da polpa do umbu (*Spondias tuberosa*) em camada de espuma. **Research, Society and Development** 10 (11): e488101119955. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19955>
- Utari, F.D.; Sari, D.A.; Kurniasari, L.; Kumoro, A.C.; Djaeni, M. & Hii, C-L. (2023). The enhancement of sappanwood extract drying with foaming agent under different temperature. **AIMS Agriculture and Food**, 8(1): 214–235. 10.3934/agrfood.2023012
- Vilar, A.M.; Duarte, M.E.M.; Cavalcanti-Mata, M.E.R.M. & Queiroz, A.J.M. (2020). Caracterização físico-química de suco misto em pó obtido pelo método de secagem em camada de espuma. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e416985539. 10.33448/rsd-v9i8.5539
- Wang, R. & Hartel, R. W. (2021). Understanding stickiness in sugar-rich food systems: A review of mechanisms, analyses, and solutions of adhesion. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 20(6): 5901–5937. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12833>