

ESTUDO DA SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA DA POLPA DE MANGA HADEN

STUDY OF DRYING OF MANGA HADEN POWDER FOAM

Leandro F. Maçano¹; Joellington Marinho de Almeida; Roberta Matias Roza de Oliveira; Valter O. de Souto; Thálita Cristyne de O. Alves; Vitor Campos Pereira

¹Instituto Federal Baiano

Contato principal:
Leandro Fagundes Maçano
E-mail:leandromacano@yahoo.com.br



Palavras-chaves: processamento; aditivos; polpa de manga; foam-mat drying

Keywords: processing; additions; mango pulp; foam drying



Resumo:

Manga é apreciada devido suas características sensoriais, podendo consumi-las ao natural ou processada. Assim, seu processamento, como desidratação, é uma boa alternativa para redução de perdas, aumentando a conservação. O trabalho teve como objetivo avaliar a secagem em leito de espuma da polpa da manga utilizando diferentes aditivos, em concentração fixa (3%), para analisar quanto às propriedades físicas. Para determinação da formulação viável, realizou-se DCCR em concentrações 0 a 7,0%, avaliando propriedades físicas e custo, em seguida, considerou-se uma função desejabilidade. O estudo da secagem foi realizado com a formulação viável nas temperaturas 50 a 70 °C e os dados ajustados a modelos matemáticos. Durante estudo, percebeu-se que espuma elaborada com proteína do soro apresentou instabilidade, de modo que não permaneceu nas etapas experimentais seguintes. Verificou-se que a formulação viável foi aquela contendo 4,02% Emustab e 2,02% Albumina e que todos modelos ajustaram-se adequadamente aos dados experimentais, tendo Page maiores R². Um modelo generalizado, que leva em consideração efeitos simultâneos tempo e temperatura, também foi obtido. Assim, obteve-se uma formulação viável quanto custo, estabilidade e densidade da espuma e verificou-se que o aumento da temperatura reduziu tempo de secagem, garantindo produtos com umidades menores na elevação da temperatura.

Abstract:

Mango is appreciated due to its sensory characteristics, being able to consume them to natural or processed. Thus, its processing, such as dehydration, is a good alternative to reduce losses, increasing conservation. The objective of this work was to evaluate the foam bed drying of the mango pulp using different additives, in fixed concentration (3%), to analyze the physical properties. For the determination of the viable formulation, DCCR was performed in concentrations ranging from 0 to 7.0%, evaluating physical properties and cost, and then considered a desirability function. The drying study was performed with the viable formulation at temperatures of 50 to 70 °C and the data adjusted to mathematical models. During the course of the study, it was found that foam made with whey protein showed instability, so that it did not remain in the following experimental stages. It was verified that the viable formulation was that containing 4.02% Emustab and 2.02% Albumin and that all models adjusted themselves adequately to the experimental data, with higher R² Page times. A generalized model, which takes into account simultaneous time and temperature effects, was also obtained. Thus, a viable formulation was achieved with regard to foam cost, stability and density and it was found that increasing the temperature reduced drying time, ensuring products with lower humidities in raising the temperature.

INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma das frutas de maior importância no mercado mundial devido às excelentes características sensoriais e nutricionais, sendo consumida tanto “*in natura*” como na forma de produtos derivados, tais como sucos, néctares, doces em massa, conservas e geleias (DAMIANE et al., 2008). O processamento industrial da manga para a obtenção da polpa é uma boa alternativa para a redução de perdas pós-colheita e melhorar seu aproveitamento. Podendo ser comercializada para outras indústrias e utilizada como matéria-prima na formulação de produtos como iogurtes, bolos, sorvetes e alimentos infantis (BASTOS et al., 2005).

O uso da desidratação para a conservação de polpa de fruta torna-se uma alternativa interessante, pois além de aumentar sua conservação, devido à redução da atividade de água, outros benefícios são alcançados, como redução de custos com transporte e armazenamento (FELLOWS, 2006). O processo de desidratação em leito de espuma (*foam-mat drying*) tem sido muito utilizado para a secagem de alimentos sensíveis ao calor, como sucos e polpas de fruta. Neste método, os alimentos líquidos e semilíquidos são transformados numa espuma estável, por meio da utilização de um agente espumante. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar a secagem em leito de espuma de mangas Haden, avaliando suas propriedades físicas através de modelos matemáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

As mangas da variedade Haden foram obtidas do comércio de Alegre-ES e levadas ao Laboratório de Tecnologia de Produtos Agrícolas (TPA), onde passaram por todo processo de sanitização até serem processadas. A parte carnosa foi triturada em liquidificador na presença de água (13:1), posteriormente filtrado, branqueada a 95 °C/1 min., e congelada.

Agente Espumante

As espumas foram preparadas de acordo com Dantas (2010), sendo testados três aditivos formadores de espumas a uma concentração fixa de 3,0% (m/m): albumina (83% de pureza), Emustab e proteína de soro de leite (92% de pureza). A mistura de polpa de manga e aditivo foram submetidos a agitação constante por 30 min. em batedeira doméstica, avaliando a espuma nos parâmetros de estabilidade e densidade. Para a determinação da formulação mais viável foi realizado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), variando as concentrações em 0,0 e 7,0% (m/m). Além, da análise de desejabilidade proposta por Derringer e Suich (1980), avaliando as propriedades físicas da espuma e do custo de produção. Utilizou-se a equação 1, para a obtenção da desejabilidade individual, levando

em consideração uma função desejabilidade linear ($r_i = 1 \forall i$):

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i > U_i \\ \left(\frac{y_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^n & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ 1 & \hat{y}_i < T_i \end{cases} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que U_i é o máximo tolerável e T_i o valor alvo ou desejado. A partir dos valores das desejabilidades individuais, calculou-se o valor da desejabilidade global, D , pela Equação 2:

$$D = \left(\prod_{i=1}^n d_i\right)^{1/3} \quad (\text{Equação 2})$$

Determinação das propriedades físicas da espuma

As densidades foram determinadas com o auxílio de picnômetros para a mistura de polpa e água (DANTAS, 2010) e provetas para a espuma (SOUZA, 2011), sendo determinadas considerando a massa específica e o volume ocupado na vidraria pelo conteúdo (Equação 3). A estabilidade foi determinada segundo a metodologia modificada de Baptista (2002), com posterior cálculo do volume (Equação 4).

$$\rho = \frac{\text{Massa}_{\text{vidraria+amostra}} - \text{Massa}_{\text{vidraria vazia}}}{\text{Volume ocupado pela amostra}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{Volume coalescido} = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: r é o raio da proveta e L a altura do líquido coalescido.

Os dados referentes às propriedades físicas das espumas, na concentração fixa de 3%, foram coletados com três repetições e submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey em nível de 5% de significância.

Estudo da cinética de secagem da espuma

Em um secador de bandejas com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70°C, a espuma recém-preparada foi espalhada de modo a formar um filme de espessura fina, sendo submetidas a pesagem a cada 20 minutos na primeira hora de secagem, nas duas horas seguintes a cada 30 minutos, e a partir deste ponto, a cada hora, até o final da secagem. O objetivo desse procedimento foi obter dados para posterior cálculo de razão de umidade (RU) utilizando da Equação 5.

$$RU = \frac{x - x_e}{x_0 - x_e} \quad (\text{Equação 5})$$

Calculados os dados de RU, estes foram submetidos à análise de regressão para serem ajustados aos modelos matemáticos de Lewis, Page e Henderson e

Pabis (Equações 6, 7 e 8, respectivamente), conforme descrito por Alexandre et al. (2013).

$$RU = e^{-kt} \quad \text{(Equação 6)}$$

$$RU = e^{-kt^n} \quad \text{(Equação 7)}$$

$$RU = a e^{-kt} \quad \text{(Equação 8)}$$

Determinação da umidade do produto seco

Para a determinação da umidade da polpa de manga em pó, utilizou-se o método por radiação infravermelho descrito por Amoedo e Muradian (2001), composto por uma balança que possui acoplada uma fonte de radiação e 1,5 g da polpa seca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Escolha do agente espumante

Os resultados do teste de Tukey dos três espumantes quanto às propriedades físicas das espumas, bem como a densidade da polpa sem aditivo, estão representados na Tabela 1. Observou-se inicialmente, que a espuma elaborada com proteína do soro de leite (PSL) apresentou a maior densidade (0,469 g/cm³), porém não diferindo estatisticamente daquela elaborada com Emustab, e menor estabilidade que as demais (maior

volume coalescido de 0,52 mL) (p<0,05). Diante disso, a PSL não foi estudada nas etapas seguintes do experimento, pois a espuma desta mostrou-se mais instável, podendo não suportar as condições de secagem.

Tabela 1 - Resultado do teste de tukey para as propriedades físicas das espumas e densidade da polpa sem aditivo.

| Amostras | Densidade (g/cm ³) | Volume coalescido (mL) |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|
| Polpa sem aditivo | 1,0224 | - |
| Polpa - PSL | 0,46913 ^a | 0,5167 ^a |
| Polpa - Emustab | 0,42753 ^{ab} | 0,0933 ^b |
| Polpa - Albumina | 0,41317 ^b | 0,0133 ^b |

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

Visando a determinação da formulação viável, utilizando os aditivos Emustab e Albumina, foi aplicado Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), variando-se as concentrações dos aditivos (0 a 7%, m/m), tendo como variáveis respostas a densidade e o volume coalescido (estabilidade), além de serem calculados os dados dos custos para cada formulação. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Porcentagens de Emustab e Albumina, segundo o planejamento DCCR, e propriedades físicas e custo.

| Ordem | Aditivos | | Respostas | | |
|-------|----------|----------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|
| | Emustab | Albumina | Densidade (g/cm ³) | Estabilidade (mL) | Custo (R\$/g adicionado) |
| 1 | 0.00% | 3.50% | 0.4615 | 0.30 | 0,5026 |
| 2 | 1.02% | 1.02% | 0.3429 | 0.10 | 0,1842 |
| 3 | 1.02% | 6.00% | 0.3190 | 0.60 | 0,8993 |
| 4 | 3.50% | 0.00% | 0.3352 | 0.20 | 0,1295 |
| 5 | 3.50% | 7.00% | 0.2198 | 0.00 | 1,1347 |
| 6 | 6.00% | 1.02% | 0.3627 | 0.10 | 0,3684 |
| 7 | 6.00% | 6.00% | 0.2055 | 0.00 | 1,0836 |
| 8 | 7.00% | 3.50% | 0.2321 | 0.00 | 0,7616 |
| 9 | 3.50% | 3.50% | 0.2566 | 0.00 | 0,6321 |
| 10 | 3.50% | 3.50% | 0.2677 | 0.00 | 0,6321 |
| 11 | 3.50% | 3.50% | 0.3107 | 0.00 | 0,6321 |
| 12 | 3.50% | 3.50% | 0.3087 | 0.00 | 0,6321 |
| 13 | 3.50% | 3.50% | 0.3347 | 0.00 | 0,6321 |

Percebeu-se que somente o primeiro tratamento (0,00% e 3,50% de emustab e albumina, respectivamente) não foi eficiente para reduzir a densidade da espuma de 1,0224 g/mL para valores em torno de 0,2 a 0,4 g/cm³, conforme encontrado por Marques (2009), considerados adequados para uma espuma ser submetida ao processo de secagem. Tal resultado foi também observado por Thuwapanichayanan

et al. (2008), ao avaliar as características e a qualidade da polpa de banana após a secagem em leito de espuma.

Para a determinação da condição mais adequada, objetivou-se maximizar todas as variáveis respostas estudadas (densidade, estabilidade e custo). Como as regiões adequadas para essas três variáveis são distintas, utilizou-se a técnica de otimização simultânea por meio da função desejabilidade (Derringer & Suich, 1980),

transformando, então, cada resposta y_i em uma desejabilidade individual. Para transformar cada resposta, QUOTE y_i , em uma desejabilidade individual, QUOTE d_i , considerou-se valores QUOTE T_i (valor desejado ou alvo) e QUOTE U_i (valor máximo tolerável) apresentados na tabela abaixo, para cada variável resposta:

Tabela 3 - Parâmetros utilizados para o cálculo da função desejabilidade individual para cada variável resposta.

| Variável resposta | T_i | U_i |
|-------------------|-------|-------|
| Densidade | 0,2 | 0,4 |
| Volume coalescido | 0,01 | 0,1 |
| Custo | 0,3 | 0,8 |

Assim, com dados da desejabilidade individual de cada resposta, encontrou-se a função desejabilidade global (Figura 1).

A Figura 1 mostra o gráfico de superfície da função de desejabilidade e as combinações das duas variáveis experimentais (x_1 Emustab e x_2 Albumina) investigadas, sendo observado o máximo encontrado da função desejabilidade global no valor de 0,6797. Logo, o máximo da função desejabilidade correspondeu para x_1 igual a 0,22 e x_2 a -0,58, o que representa uma combinação de 4,05% de Emustab e 2,05% de Albumina.

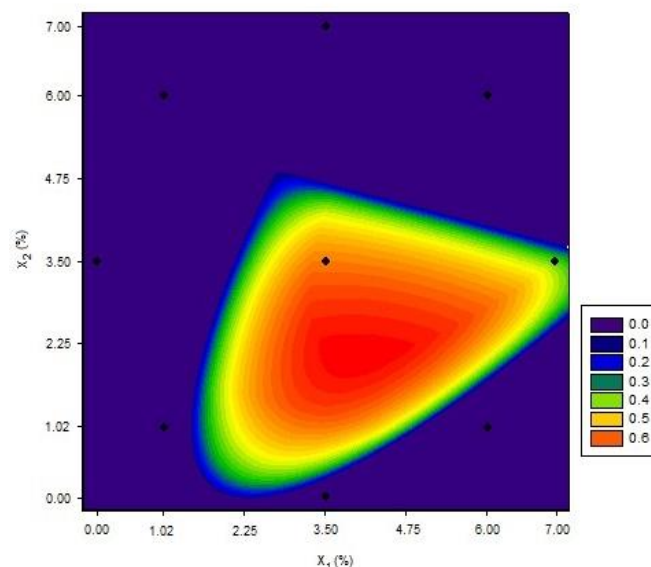


Figura 1 – Desejabilidade global versus variáveis codificadas x_1 (Emustab) e x_2 (Albumina).

Estudo da cinética de secagem da espuma

Encontrada a formulação mais viável (4,05% Emustab e 2,05% Albumina), prosseguiu-se com a secagem nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70°C. Com isso, na Tabela 4 são mostrados os modelos ajustados com os seus respectivos Coeficientes de Determinação ajustados (R^2).

Tabela 4 – Coeficientes ajustados para os modelos de Lewis, Page e Henderson e Pabis e respectivos coeficientes de determinação, para diferentes temperaturas de secagem.

| Modelo | Temperatura | Coeficientes | | | R^2 |
|-------------------|-------------|--------------|--------|--------|-------|
| | | a | k | n | |
| Lewis | 50°C | --- | 0,0041 | --- | 0,984 |
| | 55°C | --- | 0,0051 | --- | 0,980 |
| | 60°C | --- | 0,0057 | --- | 0,974 |
| | 65°C | --- | 0,0075 | --- | 0,977 |
| | 70°C | --- | 0,0087 | --- | 0,978 |
| Page | 50°C | --- | 0,0011 | 1,2253 | 0,994 |
| | 55°C | --- | 0,0009 | 1,8180 | 0,995 |
| | 60°C | --- | 0,0005 | 1,4518 | 0,996 |
| | 65°C | --- | 0,0008 | 1,4600 | 0,998 |
| | 70°C | --- | 0,0010 | 1,4433 | 0,997 |
| Henderson e Pabis | 50°C | 1,0388 | 0,0043 | --- | 0,986 |
| | 55°C | 1,0569 | 0,0054 | --- | 0,983 |
| | 60°C | 1,0761 | 0,0062 | --- | 0,978 |
| | 65°C | 1,0804 | 0,0081 | --- | 0,982 |
| | 70°C | 1,0729 | 0,0094 | --- | 0,982 |

Observou-se que todos os modelos estudados apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, com valores de R^2 superiores a 0,97, sendo que os ajustes mais adequados foram obtidos pelo modelo de Page ($R^2 > 0,994$). Assim, o modelo foi escolhido para a representação gráfica, Figura 2.

A Figura 2 apresenta os dados de razão de umidade em função do tempo de secagem, para as diferentes temperaturas, e o ajuste ao modelo de Page.

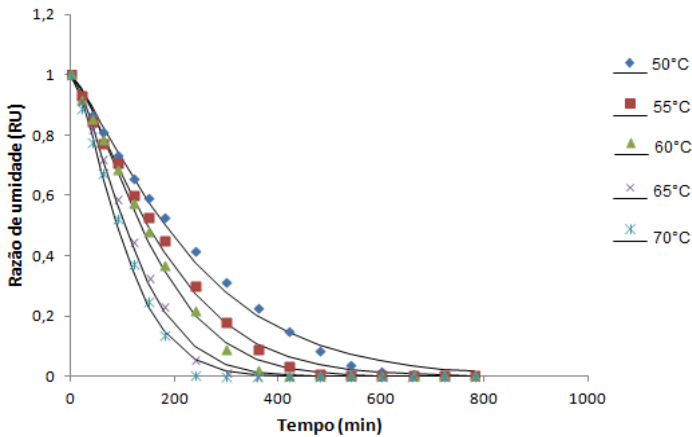


Figura 2 – Curva de secagem referente ao modelo de Page.

Pôde-se perceber que o tempo de secagem foi dependente da temperatura, mostrando um declínio rápido da razão de umidade durante o início da secagem e, posteriormente, reduzindo de forma lenta com o aumento do tempo (Fig. 2). Isso mostra que o aumento da temperatura do ar de 50 para 70°C promoveu uma redução no tempo de secagem, de 720 min para 300 min, demonstrando que houve um aumento na taxa da perda de água. Este comportamento foi semelhante aos obtidos por Marques (2009).

Para a obtenção de um modelo generalizado, que leva em consideração os efeitos do tempo e da temperatura, simultaneamente, optou-se por utilizar o modelo de Lewis. Observou-se que a constante de secagem k , obtida para este modelo, aumentou com a temperatura, o que não ocorreu com o modelo de Page. Este modelo encontra-se apresentado na Equação 9.

$$RU = e^{-(a \cdot T + b)t} \quad (\text{Equação 9})$$

$$RU = e^{-(0,000218T - 0,006879)t}$$

Percebeu-se que o modelo generalizado ajustou-se adequadamente aos dados experimentais, com R^2 igual a 0,978. Ou seja, este modelo explica 97,8% da variação da razão de umidade em função do tempo e da temperatura de secagem. Sendo assim, este modelo pode ser utilizado para estimar a razão de umidade para qualquer tempo e temperatura dentro do intervalo estudado, neste trabalho.

Determinação da umidade do produto seco

Os resultados da umidade do pó da polpa de manga para as diferentes temperaturas estão representados na tabela 5. Verificou-se que o teor de umidade do produto em

pó decresce com o aumento da temperatura. Tal situação também foi observada por Bastos et al. (2005) em seu estudo sobre a desidratação de polpa de manga em leito de espuma.

Tabela 5 - Umidade do pó da espuma da polpa de manga em diferentes temperaturas

| Temperatura (°C) | Umidade (%) |
|------------------|-------------|
| 50 | 8,05 |
| 55 | 7,20 |
| 60 | 6,90 |
| 65 | 6,78 |
| 70 | 6,65 |

Dessa forma, a temperatura influencia diretamente na umidade do produto, visto que o uso de temperaturas mais altas implica em uma maior diferença de temperaturas entre o produto e o ar de secagem, além de reduzir a umidade relativa deste mesmo ar. Isso aumenta a transferência de calor e, consequentemente, uma maior evaporação de água da amostra, proporcionando a obtenção de produtos com umidades mais baixas.

CONCLUSÕES

Em termos de custo, estabilidade e densidade da espuma, obteve-se uma formulação viável caracterizada pela harmonização dos aditivos Emustab e Albumina, que possibilitou na formação de uma espuma estável para todas as temperaturas ao logo do processo de secagem. Assim, a cinética de secagem da polpa de manga mostrou que a temperatura foi a variável de maior influência no processo, devido ao aumento da taxa de perda de água. Além disso, o modelo de Page se demonstrou adequado para representar os dados experimentais do presente estudo e o modelo generalizado, que representa simultaneamente o tempo e a temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P. D.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 6, p. 640-646, 2013.
- AMOEDO, L. H. G.; MURANDIAN, L. B. de A. Comparação de metodologias para a determinação de umidade em geleia real. *Quím. Nova*, v. 25, n. 4, p. 676-679, 2002.
- BAPTISTA, R. F. *Avaliação da qualidade interna de ovos de codorna (Coturnix coturnix japonica) em função da variação de temperatura de armazenamento*. Niterói, 2002, 99p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária). Programa de pós-graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense. 2002.
- BASTOS, D. S.; SOARES, D. M. B. G.; ARAÚJO, K. G. L.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Desidratação da

polpa de manga “Tommy Atkins” utilizando a técnica de foam mat drying: avaliações, químicas, físicas e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 4, p. 283-290, 2005.

DAMIANE, C. et. al. Análise física, sensorial e microbiológica de geléias de manga formuladas com diferentes níveis de cascas em substituição à polpa. **Ciência Rural**, v.38, n.5, p.1418-1423, 2008.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpa de manga pelo método foam-mat**. Natal, 2010, 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2010.

DERRINGER, G., SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214–219, 1980.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 230p.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leite de espuma e avaliação sensorial do produto**. Itapetinga, 2009, 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2009.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)**. Itapetinga, 2011, 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2011.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 86, n. 4, p. 573-583, 2008.