

CINÉTICA DE SECAGEM DAS CASCAS DE FRUTOS DE PITAYA (*Hylocereus polyrhizus*) EM ESTUFA COM CIRCULAÇÃO FORÇADA DE AR

GABRIELA DE OLIVEIRA¹; IGOR HENRIQUE DE LIMA COSTA²; ÂNOAR ABBAS EL-AOUAR³; GRACIELE DA SILVA CAMPELO BORGES⁴ ALVARO RENATO GUERRA DIAS⁵.

¹Universidade federal de Pelotas -gaby.ooi565@gmail.com1

²Universidade federal de Pelotas - igorhenr98@gmail.com2

³Universidade federal da Paraíba-aaea@academico.ufpb.br3

⁴Universidade federal de Pelotas-gracieleborges@gmail.com4

⁵Universidade federal de Pelotas- alvaroguerradias@gmail.com5

1. INTRODUÇÃO

A pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) é uma epífita cactácea cultivada em regiões de clima tropical e subtropical, sendo de fácil manejo, mas requerendo ciclos de irrigação regulares e temperatura ambiente variando entre 20 a 30 °C para crescimento e frutificação de porte comercial (SANTOS et al., 2022). O seu fruto é conhecido por suas características exóticas de cor e brácteas que crescem dispersas pela casca, conferindo uma aparência atrativa aos consumidores. O consumo da sua polpa vem crescendo devido as suas características nutricionais, como o alto teor de fibras alimentares e betacianinas, e vem sendo associado a benefícios como atividade antiinflamatória, antimicrobiana, antioxidante e potencial prebiótico (DRANCA, 2018).

Porém, o consumo *in natura* da pitaya é limitado devido a sazonalidade e a sua curta vida pós-colheita e, portanto, vem sendo beneficiada como polpa, geleia, sucos e iogurte (FERREIRA et al., 2023). Entretanto, o beneficiamento da pitaya pode gerar entre 22 a 44% de subprodutos (cascas e brácteas) (CARMEN et al., 2023; FERREIRA et al., 2023).

A literatura reporta estudos com as cascas da pitaya explorando o seu potencial em fibras alimentares, minerais e pectina (DRANCA, 2018). A valorização e uso das cascas da pitaya vão ao encontro da agenda 2030 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, da bioeconomia e a economia circular.

As operações unitárias são amplamente utilizadas na indústria de alimentos, sendo a secagem uma operação com elevado benefício para a conservação e desenvolvimento de produtos. O princípio dessa operação consiste em retirar a água livre do alimento, por meio de transferência de massa com o objetivo de desenvolver produtos, aumentar a segurança dos alimentos e prolongar a *vida útil*. Além disso, a redução de água livre no alimento tem o efeito de inibir o crescimento microbiano, e impedir reações químicas e enzimáticas (KOWALSKI; SZADZIŃSKA; LECHTAŃSKA, 2013).

Os fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem de matérias-primas biológicas podem ser compreendidos pela aplicação de modelos matemáticos semi-teóricos derivados da segunda lei de Fick. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi realizar a cinética de secagem das cascas de frutos de pitaya visando o aproveitamento das cascas e obter um modelo semi-teórico que se ajuste aos dados experimentais.

2. METODOLOGIA

Os frutos (30 Kg) de pitaya (*H. polyrhizus*) foram adquiridos em um pomar na cidade de Arroio Grande-RS, na safra do mês de abril de 2023, em estágio de maturação comercial. Após a colheita, os frutos foram sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm), seguindo com lavagem em água destilada e armazenamento a 16 ± 2 °C e 85 % de UR.

Iniciando a linha de processamento, aproximadamente, 1 kg de frutos foram utilizados para remover as brácteas e, após o despoldamento, a região peduncular e sua extremidade oposta foram removidas, seguindo com o corte em fatias com rendimento de $\approx 37\%$ em relação ao peso total das cascas.

As fatias foram submetidas à medições de espessura na região de maior centro de massa com um paquímetro digital (King Tools, China), obtendo-se uma espessura média de $2,54 \pm 0,34$ mm. Seguindo com a linha de processo, as fatias foram branqueadas com vapor saturado durante 3 min, sendo dispostas em bandejas metálicas e submetidas à cinética de secagem em estufa com circulação forçada de ar (Biopar, S25OAD, Brasil) a 60, 70 e 80 °C. O registro da perda de massa foi realizado em tempos diferentes (15 min na primeira hora, 30 min na segunda hora e seguindo em intervalos de 1 h), em balança semi-analítica (Marte, AD20000, Brasil).

Após a secagem, o produto seco foi submetido à redução de tamanho em moinho analítico (IKA, A11 basic, Alemanha) para a obtenção do pó, sendo armazenado a vácuo em seladora semi-automática (Sulpack, TES 400, Brasil). Posteriormente, a análise de atividade de água (a_w) do pó foi realizada em Lab touch-aw (Novasina, Alemanha) para avaliar a efetividade do processo de secagem.

Os dados experimentais da cinética de secagem foram utilizados para ajuste de regressão do tipo não linear no *software* Excel (versão 2306) através do modelo de dois termos (1). A qualidade de ajuste dos modelos aos dados experimentais foi avaliada através do coeficiente de determinação (R^2) (2) e do desvio quadrático médio (DQM) (3). Além disso, foi calculado o coeficiente de difusividade efetiva (Def) (4) para cada condição de secagem. Para utilização dos modelos matemáticos, assumiu-se uma geometria das amostras de uma placa plana infinita com espessura média de 2,54 mm.

$$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + (b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)) \quad (1)$$

Onde: t é o tempo em min, a, b, k_0 e k_1 são parâmetros de ajuste do modelo

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{est_i} - Y_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{est_i} - Y_{obs})^2 + \sum_{i=1}^n (Y_{est_i} - Y_{obs_i})^2} \quad (2)$$

Onde: Y_{est_i} é a variável estimada; Y_{obs} é o valor médio da variável observada; Y_{obs_i} é a variável observada; n é o número de pontos de dados.

$$DQM = \frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n} \quad (3)$$

Onde: RX_{pred} é a razão do teor de umidade predito pelo modelo; RX_{exp} razão do teor de umidade experimental; n é o número de repetições.

$$Def = \frac{4L^2K}{\pi^2} \quad (4)$$

Onde: L espessura mm e K a constante de secagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cinética de secagem das cascas de frutos de pitaya processadas a 60, 70 e 80 °C necessitaram de um tempo de secagem de 7, 6 e 5 h, respectivamente, para atingir o equilíbrio higroscópico. A efetividade do processo foi confirmada através dos resultados de a_w das amostras secas, que variaram de $0,210 \pm 0,0007$ a $0,243 \pm 0,014$ e pela umidade final de $\approx 4 \pm 0,01\%$. Esses resultados de a_w e umidade dos pós indicam estabilidade e baixa presença de água livre, impossibilitando o crescimento microbiano e reações químicas e bioquímicas em função da reduzida mobilidade molecular (SANTOS, 2021).

O tempo de secagem das amostras foi inversamente proporcional à temperatura, onde a cinética conduzida a 80 °C obteve o menor tempo transcorrido (5 h). Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da taxa de transferência de calor do ar de secagem para o interior do produto, aumentando a taxa de remoção da água (HERMAN et al., 2018).

Os dados obtidos na cinética de secagem (preditos) foram inseridos no modelo matemático de dois termos para avaliar sua capacidade de predição dos dados experimentais. A modelagem evidenciou que esse modelo foi adequado para o conjunto de dados, uma vez que os valores de R^2 foram superiores a 0,98 e do DQM menores que 0,00125 (Figura 1).

O modelo de dois termos possui quatro parâmetros de ajuste, as constantes k_0 , k_1 , a , e b , que evidenciam o comportamento físico do processo de secagem das amostras. Os parâmetros k_0 e k_1 são as constantes de secagem e representam o efeito da temperatura sobre o material. No presente estudo, essas constantes demonstraram um comportamento diretamente proporcional com a temperatura de secagem. Um comportamento semelhante foi evidenciado por Rodrigues (2020) que trabalhou com a cinética de secagem em feijões gordo (*Phaseolus vulgaris*).

As constantes a e b , representam o efeito experimental do tempo de secagem, demonstrando a capacidade do material de resistir à perda de umidade, sendo influenciado pela microestrutura do material (PEREZ et al., 2013). Os valores obtidos para as constantes nas temperaturas de 60 e 70 °C foram próximos, sendo 0,523 e 0,51 para a e b , respectivamente.

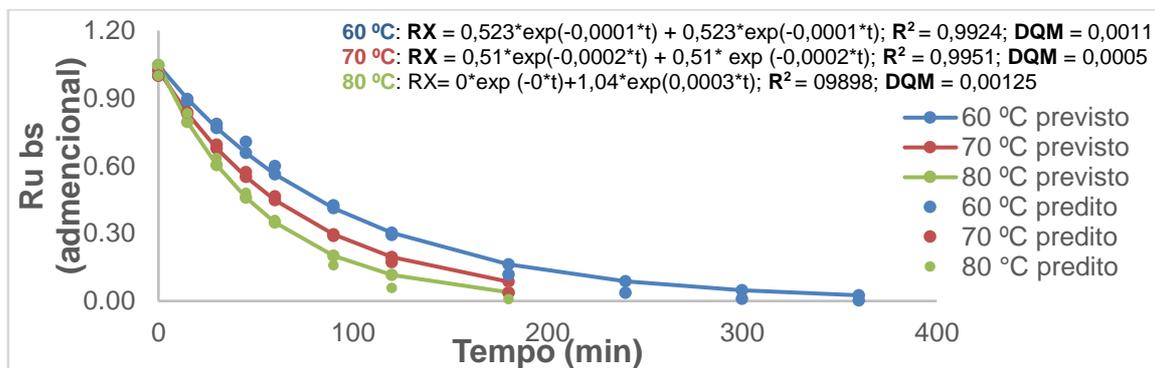


Figura 1 – Cinética de secagem das cascas de frutos de pitaya para os dados experimentais (predito) e modelados (previsto) a 60, 70 e 80 °C.

Durante o processo de secagem o sistema caracterizou-se por uma alta taxa de perda de massa, a qual é justificada pela água livre que é removida nas primeiras horas, ocorrendo baixa interação com a estrutura das cascas e sendo a porção de água mais fácil de ser retirada. A perda de água tornou-se mais lenta com o avanço do tempo de secagem, evidenciado pelo comportamento da curva de secagem (Figura 1). Na primeira fase, ocorreu uma perda linear, na segunda fase foi mais difícil a retirada das moléculas de água e houve uma tendência em formar uma curvatura no gráfico mais paralela ao eixo do tempo. Esse comportamento pode ser atribuído à localização das moléculas de água em regiões intrínsecas do material, entre as macromoléculas constituintes, requerendo maior energia para evaporação da água e tornando o processo mais lento (SANTOS et al, 2019).

Sendo assim, o aumento da difusividade efetiva do sistema pode ser explicado pelo aumento da temperatura, implicando na transferência de massa nesse período. O aumento de temperatura implica na aceleração do processo, auxiliando

na migração da água do interior para a superfície do produto (RAZOLA-DÍAZ *et al.*, 2023), ocorrendo uma diminuição no tempo de secagem.

Para as cascas de frutos de pitaya, os valores de difusividade não tiveram um padrão diretamente proporcional em todas as temperaturas. É possível perceber que à 70 °C a difusividade foi maior ($1,03 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$) comparado à 60 °C ($7,73 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$) e 80 °C ($6,75 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$). Apesar de não apresentarem o crescimento esperado entre os valores de difusividade em relação a temperatura, sugere-se que esse comportamento possa estar relacionado à geometria das cascas, assim como o seu comportamento de perda de água durante o processo. Além disso, o processo de branqueamento pode ter sido desuniforme, influenciando na distribuição de tamanho dos poros no produto.

4. CONCLUSÕES

Diante do exposto, percebe-se que a secagem das cascas de frutos de pitaya foi efetiva e que essa operação unitária pode ser utilizada para o aproveitamento desse subproduto. O ajuste experimental com o modelo semi-empírico dois termos foi satisfatório, sendo possível inferir sobre o comportamento físico da secagem do produto pelas constantes de secagem e difusividade efetiva em cada temperatura estudada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARMEN, F., FRANCES, C., & BARTHE, L. Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added and green extraction technology – A critical review of advancements and processes. **Trends in Food Science and Technology** Vol. 138, pp. 339–354.2023.
- DRANCA, F., & OROIAN, M. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. **Food Research International** Vol. 113, p. 327–350. Elsevier Ltd. 2018.
- DOYMAZ, İ. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Journal Food Engineering**, v. 74, p 370-375, 2006.
- HERMAN, C., e *et al.* Convective drying of fermented Amazonian cocoa beans (Theobroma cacao var. Forasteiro): Experiments and mathematical modeling. **Food and Bioproducts Processing**, vol. 108, p. 81-94. 2018.
- FERREIRA, V. C., e *et al.* An updated review of recent applications and future perspectives on the sustainable valorization of pitaya (Hylocereus spp.) by-products. **Sustainable Chemistry and Pharmacy** Vol. 33. 2023.
- KOWALSKI, S. J.; SZADZIŃSKA, J.; LECHTAŃSKA, J. Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. **Journal Food Engineering**, v. 118, 393-399, 2013.
- PEREZ, L.G.; OLIVEIRA, F.M.N.; ANDRADE, J.S. & MOREIRA FILHO, M. - Cinética de secagem da polpa cupuaçu pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agrônômica**, vol. 44, p. 102-106. 2013.
- RAZOLA-DÍAZ.. Mathematical modelling of drying kinetics of avocado peels and its influence on flavan-3-ols content and antioxidant activity. **LWT**, vol. 176. 2023.
- RODRIGUES, L. M. de S. **Produção e avaliação de farinhas de feijões germinados**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande,140 f, 2020.
- SANTOS *et al.*, **Pitaya: Uma alternativa frutífera**. ProlImprensa, Embrapa, Brasília, DF, 2022.
- SANTOS C, D.,. Drying kinetics and thermodynamic properties of patawa pulp (Oenocarpus bataua Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, vol 22. 2019.