**CINÉTICA DE SECAGEM DA CASCA DO UMBU (*Spondias tuberosa*)**

JOSÉ HUGO SIMPLICIO DE SOUSA1, MORGANA FABÍOLA CUNHA SILVA CANUTO2,

FABIANA PIMENTEL MACÊDO FARIAS3, DÉBORA RAFAELLY SOARES SILVA4,

PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO5

1Graduando em Eng. de Biossistemas, UFCG, Sumé-PB, jose.hugo@estudante.ufcg.edu.br

2 Dra. em Eng. de Processos, Profa. CDSA, UFCG, Sumé-PB, morgana.fabiola@professor.ufcg.edu.br

3Dra. em Eng. de Processos, Profa. CDSA, UFCG, Sumé-PB, fabiana.pimentel@professor.ufcg.edu.br

4Dra. em Eng. de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, deborarafaelly@yahoo.com.br

5Doutorando em Eng. e Gestão de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

8 a 11 de agosto de 2023

**RESUMO**: Objetivou-se neste trabalho estudar o processo de secagem da casca do umbu (*Spondias tuberosa*), mediante a análise das curvas cinéticas de secagem, e através de um planejamento experimental, estudar os efeitos das variáveis de entrada temperatura e tempo de secagem, sobre a variável resposta constante cinética, obtida através dos modelos matemáticos de Page e Lewis. Para realização da cinética de secagem as cascas foram colocadas em bandejas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas. Foi utilizado uma estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 60, 70 e 80°C. O modelo matemático de Lewis apresentou bom ajuste aos dados experimentais. No entanto, observou-se que o modelo de Page apresentou os melhores ajustes à cinética de secagem da casca de umbu (valores superiores de R2 e inferiores de DQM), sendo considerado como o modelo mais eficiente para a descrição do processo de secagem da casca do umbu.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduo agroindustrial, modelagem matemática, armazenamento.

**DRYING KINETICS OF UMBU (*Spondias tuberosa*) SHELL**

**ABSTRACT**: The objective in this work was to study the drying process of umbu (*Spondias tuberosa*) peel, through the analysis of drying kinetic curves, and through an experimental planning, study the effects of the input variables temperature and drying time, on the response variable kinetic constant, obtained through the Page and Lewis mathematical models. To perform the drying kinetics the peels were placed in stainless steel trays and spread evenly. An oven with forced air circulation was used at temperatures of 60, 70 and 80°C. The Lewis mathematical model showed a good fit to the experimental data. However, it was observed that Page's model showed the best fits to the drying kinetics of umbu peel (higher R2 and lower DQM values), being considered as the most efficient model to describe the drying process of umbu peel.

**KEYWORDS:** agroindustrial waste, mathematical modelling, storage.

**INTRODUÇÃO**

A produção de umbu está limitada ao Semiárido brasileiro, que compreende áreas de oito Estados da Região Nordeste do Brasil e do Norte de Minas Gerais. O mercado consumidor do umbu fresco também coincide com sua área de ocorrência geográfica. O alcance a outros mercados é limitado e inclui principalmente, áreas litorâneas do Nordeste brasileiro (Lima & Castricini, 2019). Embora haja aceitação de mercado, o consumo do umbu é restrito a épocas específicas do ano, uma vez que, a safra ocorre apenas entre os meses de dezembro à março (Santos et al., 2016).

A indústria de processamento de frutas está em constante expansão, com aumentos sistemáticos na produção. Porém, o aumento da capacidade produtiva também gera aumento de resíduos sólidos. Estima-se que mais de 1,3 bilhão de toneladas de resíduos sejam gerados anualmente na indústria de frutas. Uma vez que, esses resíduos têm alto teor orgânico, eles podem representar um risco ambiental se não forem descartados de forma adequada (Gupta et al., 2019; Martins et al., 2019). De acordo com Almeida et al. (2020), os subprodutos da indústria de frutas e vegetais são constituídos principalmente por cascas, frações de bagaço e sementes, que podem ser uma boa fonte de compostos bioativos, além de conterem na sua composição carboidratos, fibras alimentares, compostos aromatizantes e fotoquímicos. As cascas de frutos de espécies de *Spondias* possuem grande potencial agroindustrial devido a características peculiares como sabor e aroma. Além dessas características, as cascas são compostas por carboidratos, proteínas e pectinas (Miguel et al., 2008; Sousa et al., 2015).

Em virtude do elevado teor de água das cascas, faz-se necessário a redução desse teor visando minimizar as atividades biológicas e bioquímicas, prolongando desta maneira a vida útil e a estabilidade de possíveis produtos durante a estocagem (Santos et al., 2016). Uma alternativa precursora é a aplicação de técnicas de conservação, como, a secagem, visando sua utilização na elaboração de novos produtos que possam ser introduzidos na alimentação humana (Santos et al., 2020).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar e ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais, verificando quais destes modelos se ajustam de maneira satisfatória ao processo de cinética de secagem da casca do umbu (*Spondias tuberosa*) em estufa de circulação forçada de ar.

**MATERIAL E MÉTODOS**

 As cascas do umbu (*Spondias tuberosa*) foram adquiridas no comércio local do munícipio de Sumé–PB. As amostras foram encaminhadas e os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Fenômenos de Transporte, Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Sumé-PB. Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em uma estufa de circulação forçada de ar para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 60, 70 e 80°C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com Instituto Adolf Luttz (BRASIL, 2008).

 Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1).

$$RX=\frac{Xbs- Xe}{Xbs\left(inicial\right)-Xe}, (Eq.1)$$

Onde: RX = Razão de teor de água (adimensional); Xbs = Teor de água em base seca; Xe = Teor de água de equilíbrio; Xbs(inicial) = Teor de água inicial em base seca.

 Com o cálculo da razão de teor de água da casca do umbu, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos matemáticos de regressão não linear (Tabela 1) de Page e Lewis para ajustar os dados experimentais.

Tabela 1. Modelos matemáticos

|  |  |
| --- | --- |
| **Modelo** | **Equações** |
| Page | RX = exp. (-k.tn) | (Eq.2) |
| Lewis | RX = exp. (-k.t) | (Eq.3) |

Onde: RX – razão de umidade (b.s.); t – tempo; k – constante de secagem; n – coeficiente da equação.

 Os modelos de secagem utilizados foram ajustados aos dados experimentais utilizando-se a análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Origin v. 6.0.

 A técnica de planejamento experimental fatorial (Barros Neto et al., 1996) foi utilizada para avaliar a eficiência do processo de secagem da casca do umbu em estufa de circulação de ar forçada, podendo-se verificar as variáveis que apresentaram efeitos significativos sobre a variável resposta. A matriz de planejamento teve como variáveis de entrada a temperatura e o tempo de secagem, enquanto que a variável de resposta, a constante de secagem (k).

 Os níveis para cada variável estão apresentados na Tabela 2. O planejamento fatorial realizado neste trabalho é do tipo 22 com a realização de mais três experimentos no ponto central, cuja matriz encontra-se descrita na Tabela 3.

Tabela 2. Níveis das variáveis do planejamento fatorial.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Variáveis independentes** | **Nível (-1)** | **Ponto central (0)** | **Nível (+1)** |
| T (°C) | 60 | 70 | 80 |
| t (h) | 6 | 8 | 10 |

Tabela 3. Matriz do planejamento experimental.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ensaios** | **Temperatura (°C)** | **Tempo (h)** |
| 1 | -1 (60) | -1 (6) |
| 2 | +1 (80) | -1 (6) |
| 3 | -1 (60) | +1 (10) |
| 4 | +1 (80) | +1 (10) |
| 5 | 0 (70) | 0 (8) |
| 6 | 0 (70) | 0 (8) |
| 7 | 0 (70) | 0 (8) |

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Figura 1a e 1b, encontram-se representadas as curvas cinéticas da secagem da casca de umbu, referentes aos ensaios realizados, conforme condições descritas na Tabela 3. Nestas são apresentados os ajustes da cinética de secagem da casca do umbu, utilizando os modelos matemáticos de Page e Lewis.

ab

Figura 1. Curvas cinéticas da secagem da casca de umbu utilizando o modelo de Page (a) e Lewis (b).

Conforme a análise das curvas cinéticas verifica-se que a taxa de velocidade de secagem está diretamente relacionada com o aumento da temperatura, visto que, há redução gradativa nos tempos de secagem à medida que a temperatura aumenta. Comportamento semelhante foi relatado por Cabral Filha et al. (2016), ao estudarem cinética de secagem do resíduo da goiaba (*Psidium guajava* L.) em camada fina. As cascas do umbu possuíram tempo necessário para reduzir o teor de água em 330 min e 420 min nas temperaturas de 80 e 60°C, respectivamente, efeito esse também constatado por Silva (2021), ao estudar a secagem da folha da amoreira negra (*Morus nigra* L.) pelo método de camada de espuma (*foam mat drying*) identificaram que, o tempo de secagem está diretamente ligado ao aumento da temperatura do ar de secagem.

As curvas dos ajustes dos modelos matemáticos de Page e Lewis apresentam-se próximas aos dados experimentais, indicando o seu bom ajuste. Porém, o modelo de Page representa de forma eficiente às curvas de secagem em todos os ensaios estudados, podendo ser recomendado para descrever a secagem da casca do umbu.

Na Tabela 4, observa-se os valores do coeficiente de determinação (R2) e desvios médios quadrático (DQM) para cada modelo matemático.

Tabela 4. Parâmetros obtidos para os modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem da casca do umbu, coeficientes de determinação (R2) e desvios quadráticos médios (DQM), nas temperaturas de 60, 70 e 80°C

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Modelo** | **Ensaios** | **Parâmetros** | **R2** | **DQM** |
| **k** | **n** |
| Page | 1 | 0,0024 | 1,2609 | 0,9983 | 0,0166 |
| 2 | 0,0042 | 1,2509 | 0,9993 | 0,0092 |
| 3 | 0,0024 | 1,2438 | 0,9994 | 0,0095 |
| 4 | 0,0043 | 1,2650 | 0,9994 | 0,0087 |
| 5 | 0,0029 | 1,3205 | 0,9991 | 0,0117 |
| 6 | 0,0030 | 1,2767 | 0,9995 | 0,0103 |
| 7 | 0,0027 | 1,2971 | 0,9995 | 0,0098 |
| Lewis | 1 | 0,0083 | - | 0,9838 | 0,0433 |
| 2 | 0,0124 | - | 0,9890 | 0,0325 |
| 3 | 0,0078 | - | 0,9860 | 0,0361 |
| 4 | 0,0134 | - | 0,9886 | 0,0308 |
| 5 | 0,0120 | - | 0,9860 | 0,0410 |
| 6 | 0,0106 | - | 0,9884 | 0,0415 |
| 7 | 0,0103 | - | 0,9870 | 0,0433 |

Onde: k: constante de secagem; “n”: parâmetro do modelo matemático.

O parâmetro “k” (modelos de Page e Lewis), que representa a constante da taxa de secagem aumentou com a elevação da temperatura de secagem. Desempenho similar foi descrito por Alves et al. (2021), ao avaliarem a cinética da secagem da casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora Berg*) na faixa de temperaturas 45, 50 e 55°C, constataram que a constante “k” aumentou com a elevação da temperatura de secagem. Observa-se neste estudo que não há ligação entre a constante “n” e a temperatura do ar de secagem, comportamento observado por Barros et al. (2020), ao estudarem a secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*) em estufa com circulação forçada de ar. Para esse parâmetro, não houve nenhuma tendência observada em seus valores em função do aumento da temperatura, semelhante ao verificado na secagem de amendoim em diferentes temperaturas (Araújo et al., 2017).

Nas condições experimentais deste estudo, entre os modelos apresentados, constata-se que o modelo de Page em geral, proporciona melhores ajustes as curvas experimentais, apresentando valores de R² ≥ 0,9983 e DQM ≤ 0,0166. Resultados semelhantes foram constatados no estudo de Lima et al. (2020), ao realizarem o estudo da cinética de secagem de cascas do maracujá amarelo em estufa de circulação e renovação de ar, identificaram que o melhor ajuste foi proporcionado pelo modelo de Page.

**CONCLUSÃO**

 Mediante os resultados apresentados pôde-se concluir que os modelos matemáticos de Page e Lewis apresentaram bom ajuste aos dados experimentais. No entanto, o modelo de Page representou de forma mais eficiente às curvas de secagem para todos os ensaios estudados, apresentando maiores valores de R2 e menores valores de DQM, dessa forma, o modelo de Page é recomendado para predição da cinética de secagem da casca do umbu.

**REFERÊNCIAS**

Araújo, W.D.; Goneli, A.L.D.; Corrêa, P.C.; Hartmann Filho, C.P.; Martins, E.A.S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. Revista Ciência Agronômica, v.48, n.3, p.448-457, 2017.

Alves, H.G.; Almeida, R.L.J.; Silva, D.S.; Freire, V.A.; Araújo, V.S.; Santiago, Â.M.; Conrado, L.S.; Galdino, P.O.; Almeida, M.M.; Marsiglia, W.I.M.L. Estudo cinético da secagem da casca de jabuticaba (*Myrciaria Cauliflora* Berg) utilizando modelos empíricos e semi-empíricos. Research, Society and Development, v.10, n.5, e58810514972, 2021.

Almeida, R.L.J.; Santos, N.C.; Pereira, T.S.; Barros, E.R.; Cabral, M.B.; Luiz, M.R.; Souza, N.C.; Silva, V.M.A.; Santos, S.B.F.; Amorim, F.V. Análise granulométrica diferencial da casca de jabuticaba (*Mirciaria cauliflora* Berg). Research, Society and Development, v.9, e156911875-13, 2020.

BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4a ed. v.1. São Paulo: 2008. 1020p.

Barros Neto, B.; Scarminio, I.S.; Bruns, R.E. Planejamento e otimização de experimentos. 2 ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1996. 299p.

Barros, S.L.; Câmara, G.B.; Leite, D.D.F.; Santos, N.C.; Santos, F.S.; Soares, T.C.; Lima, A.R.N.; Soares, T.C.; Oliveira, M.N.; Vasconcelos, U.A.A.; Albiquerque, A.P.; Queiroz, A.J. de M. Mathematical modeling of drying kinetics of kino bark (*Cucumis metuliferus*). Research, Society and Development, v.9, n.1, e60911608, 2020.

Cabral Filha, M.C.S.; Araújo, S.C.; Silva, G.M.S.; Canuto, M.F.C.S.; Martins, G.M.V. Cinética de secagem do resíduo da goiaba (*Psidium guajava* L.) em camada fina. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.11, n.4, p.99-104, 2016.

Gupta, N.; Poddar, K.; Sarkar, D.; Kumari, N.; Padhan, B.; Sarkar, A. Fruit waste management by pigment production and utilization of residual as bioadsorbent. Journal of Environmental Management, v.244, p.138-143, 2019.

Lima, M.A.C.; Castricini, A. Qualidade e pós-colheita do umbu. Informe Agropecuário, v.40, n.307, p.80-90, 2019.

Lima, A.R.N.; Santos, E.M.A.; Lucena, M.T.; Silva Junior, A.F.; Oliveira, T.M.Q.; Farias, V.S.O.; Franco, E.C.M.R.; Ataide, J.S.P. Otimização e simulação do processo de secagem de cascas de maracujá através de ferramentas empíricas e analíticas. Brazilian Journal of Development, v.6, n.10, p.74271-74285, 2020.

Martins, Q.S.A.; Barros, H.E.A.; Cunha, S.L.; Gualberto, S.A.; Silva, M.V. Resíduos da indústria processadora de polpas de frutas: capacidade antioxidante e fatores antinutricionais. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v.2, n.2, p.591-608, 2019.

Miguel, A.C.A.; Albertini, S.; Begiato, G.F.; Dias, J.R.P.S.; Spoto, M.H.F. Aproveitamento agroindustrial de resíduos sólidos provenientes do melão minimamente processado. Food Science and Technology, v.28, n.3, p.733-737, 2008.

Santos, D.C.; Leite, D.D.F.; Duarte, D.B.; Martins, J.N.; Figueirêdo, R.M.F. Características de frutas do gênero Spondias. In: Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 10, Campina Grande, 2016. Anais...Campina Grande, 2016.

Santos, N.C.; Leite, D.D.F.; Câmara, G.B.; Barros, S.L.; Santos, F.S.; Soares, T.C.; Lima, A.R.N.; Soares, T.C.; Albuquerque, A.P.; Oliveira, M.N.; Vasconcelos, U.A.A.; Queiroz, A.J.M. Mathematical modeling of drying kinetics of grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.). Research, Society and Development, v.9, n.1, e61911609, 2020.

Sousa, F.C.; Silva, L.M.M.; Lemos, D.M.; Moreira, I.S.; Lins, A.D.F.; Castro, D.S.; Rocha, A.P.T. Secagem de resíduos de *Spondias* sp. em camada fina. Revista Agropecuária Técnica, v.36, n.1, p.197-202, 2015.

Silva, P.B. Secagem da folha da amoreira negra (*Morus nigra* L.) pelo método de camada de espuma (*Foam mat drying*). 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2021.