

## **CÁLCULO FRACIONÁRIO ANÔMALO DA DIFUSÃO DE UMIDADE NA SECAGEM CONVECTIVA DE FATIAS DE BANANAS PRÉ-TRATADAS COM ETANOL E ULTRASSOM**

**SUIAN JOSÉ GRANELLA<sup>1</sup>, TAISE RAQUEL BECHLIN<sup>2</sup>, DIVAIR CHRIST<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, estudante de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE, Cascavel-PR, (45) 3220.3175, suian.granella@unioeste.br.

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, estudante de doutorado, PGEAGRI, CCET, UNIOESTE, Cascavel-PR.

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Professor, PGEAGRI, CCET, UNIOESTE, Cascavel-PR.

Apresentado no  
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021  
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** Novos pré-tratamentos de secagem desempenham um papel essencial na preservação dos alimentos e na redução do consumo energético de secagem. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar o efeito dos pré-tratamentos com etanol (E) e ultrassom (US) na cinética de secagem e difusão de umidade por abordagem de tempo fracionário ou solução anômala, bem como avaliar as características físicas, bioativas e antioxidantes das fatias de banana processadas. Os resultados analíticos mostraram que as fatias de banana pré-tratadas com E+US apresentaram maior preservação de compostos fenólicos e atividade antioxidante, e cor atrativa, comparadas as amostras controle e pré-tratadas somente com etanol. A abordagem da difusividade anômala descreveu bem os dados experimentais e forneceu novas compreensões sobre como considerar a estrutura do material alimentar durante a secagem. A nova abordagem também demonstrou que os pré-tratamentos impulsionaram o processo de secagem convectiva. As descobertas podem auxiliar no processamento em grande escala de subprodutos de banana desidratada de boa qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** cinética de secagem, modelo de Page, compostos bioativos

### **MOISTURE DIFFUSION BY THE ANOMALOUS FRACTIONAL CALCULUS IN CONVECTIVE DRYING OF BANANA SLICES PRETREATED WITH ULTRASOUND AND ETHANOL**

**ABSTRACT:** Novel drying pretreatments play an essential role in preserving the foodstuffs and reducing drying energy consumption. Thus, the purpose of this study was to investigate the effect of drying pretreatments with ethanol (E) and ultrasound (US) on drying kinetics and moisture diffusion by fractional-time approach on the anomalous solution, as well as evaluate the physical, bioactive compounds and antioxidant characteristics of bananas slices. Analytical results showed that banana slices pretreated with E+US had higher preservation of phenolic compounds and antioxidant activity, as well as attractive color. The anomalous diffusivity approach described the experimental data well and provided new insight into considering the structure of food material. The new approach also demonstrated that drying pretreatments boosted convective drying. The findings could provide help in the large-scale processing of good-quality dried banana by-products.

**KEYWORDS:** drying kinetics, Page's model, bioactive compounds

**INTRODUÇÃO:** As bananas são ricas em fibras, antioxidantes e nutrientes essenciais. Elas são consumidas principalmente na forma fresca; no entanto, a produção de 'chips' pode ajudar

a reduzir as perdas pós-colheita devido à sua alta perecibilidade; sendo necessária para isso a secagem. Vários processos estão envolvidos simultaneamente durante a secagem, como alterações termofísicas, químicas e enzimáticas. A magnitude desses processos depende das características higroscópicas e biológicas da matéria-prima. O movimento capilar e a difusão do vapor de água estão diretamente relacionados às condições de secagem, como temperatura e atividade da água. Assim, o processo de secagem pode ser estudado por meio de modelos matemáticos pré-estabelecidos, representados pela cinética de secagem em camada delgada, derivada da segunda lei de Fick e do modelo de Crank. De acordo com Simpson et al. (2015), o modelo de Crank se adapta melhor as condições iniciais e de contorno em diferentes geometrias para difusão Fickeana. Porém, devido às características complexas intrínsecas do material da planta, assim como das bananas, os pressupostos da segunda lei de Fick podem não ser totalmente aplicados (ERBAY E ICIER, 2010). Essas mudanças estruturais também estão presentes na secagem por convecção e podem ser mais ou menos significativas dependendo do pré-tratamento utilizado. Deste modo, os pré-tratamentos com etanol e ultrassom têm se mostrado muito promissor para auxiliar no processo de secagem. Rojas et al. (2020) relataram que cubos de abóbora tratadas com etanol e ultrassom secaram mais rápido do que as amostras de controle, reduzindo o tempo de secagem em 59% e o consumo de energia em 44%. A difusão anômala por tempo fracionário é uma ferramenta inovadora que pode ajudar a descrever a cinética de secagem de alimentos, pois considera as mudanças na retração e porosidade (SIMPSON et al., 2015). Assim, objetivo do estudo foi determinar os mecanismos de difusão na secagem convectiva de fatias de banana pré-tratadas com etanol e ultrassom pela aplicação da abordagem anômala, calcular o consumo energético, e avaliar o teor de polifenóis, atividade antioxidante, e mudança de cor do produto.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Bananas in natura, cv. Nanica, foram adquiridas em um mercado local de Cascavel-PR em março de 2021. O teor de água inicial do produto foi determinado à 103 °C por 72 h, obtendo-se um valor de 75,15% em base úmida (bu). As bananas foram fatiadas a 0,7 cm de espessura e diâmetro médio de 3,54 cm. As fatias de banana foram imersas em solução de ácido ascórbico a 0,5% e solução de ácido cítrico a 1,0% por 15 min para inibir o escurecimento enzimático e, em sequência pré-tratadas e secas conforme descrito na etapa experimental. O pré-tratamento com imersão em etanol (E) a 75% (v/v) foi realizado em tempos de 5 e 10 min, totalizando dois tratamentos. O pré-tratamento com etanol e ultrassom (E+US) foi realizado utilizando um banho ultrassônico (USC 1400, Unique, Indaiatuba, Brasil), com frequência de 40 kHz e potência volumétrica de 45 W L<sup>-1</sup>. O reservatório do banho (2 L) foi preenchido com etanol 75% e o pré-tratamento foi realizado por 5 e 10 min, somando mais dois tratamentos. Após a aplicação dos pré-tratamentos foi realizada a secagem convectiva a 55 °C e velocidade do ar de 0,12 m s<sup>-1</sup> usando um secador convectivo (TE-394, Tecnal, Piracicaba, Brasil). Um total de 4 tratamentos + 1 controle foram obtidos. Todos os tratamentos foram replicados quatro vezes. A perda de massa durante o processo de secagem foi mensurada periodicamente pelo método gravimétrico.

A segunda lei de Fick para a difusão de estado instável pode ser usada para determinar a razão de umidade (RU) para partículas cilíndricas, seguindo os pressupostos da equação de Crank para uma laje infinita, retratada pela Eq. (1). Para períodos de secagem mais longos (RU<0,6), a Eq. (1) pode ser simplificada para apenas o primeiro termo da série, sem afetar a precisão da previsão conforme dada na Eq. (2).

$$RU = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i-1)^2} \exp\left(\frac{-(2i-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

$$RU = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (2)$$

Em que:

$M_t$  – teor de água em determinado tempo,  $\text{kg}_{\text{água}} \text{kg}^{-1}_{\text{massa seca}}$ ;

$M_e$  – teor de água em equilíbrio,  $\text{kg}_{\text{água}} \text{kg}^{-1}_{\text{massa seca}}$ ;

$M_0$  – teor de água inicial das fatias de bananas,  $\text{kg}_{\text{água}} \text{kg}^{-1}_{\text{massa seca}}$ ;

$M_e$  – teor de água das fatias que atingiu o equilíbrio a uma respectiva temperatura para a cinética de secagem convectiva,  $\text{kg}_{\text{água}} \text{kg}^{-1}_{\text{massa seca}}$ ;

$D_{\text{eff}}$  – coeficiente de difusão efetivo,  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ;

$i$  – número de termos da equação;

$L$  – espessura das fatias, m; e

$t$  – tempo de secagem, s.

O modelo de difusão anômala (Eq. 3) usando ordens fracionárias temporárias para materiais biológicos porosos pode representar adequadamente a superdifusão ( $n > 1$ ) ou a difusão lenta ( $n < 1$ ) (Simpson et al., 2015). Este modelo está associado a longos tempos de secagem e também foi usado em estudos anteriores (GALAZ et al., 2017; RAJORIYA et al., 2019; RAMIREZ et al., 2017). Vale ressaltar que quando o modelo anômalo (Eq. 4) admite  $n = 1$ , ele retorna para a Eq. (3) da difusão de umidade da lei de Fick.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{\text{eff}} t^n}{4L^2}\right) \quad (3)$$

Em que:

$n$  - relacionado a difusão de umidade, assume o valor de 1 para a solução de Fick ou diferente de 1 para casos anômalos.

As curvas de secagem foram modeladas pelo modelo de Page, Eq. (4). Em geral, esse modelo tem mostrado ser adequado no ajuste de dados de secagem aplicados a longos períodos de secagem, como na secagem de fatias de banana em secador híbrido (Camelo et al., 2019).

$$RU = k_1 \exp(-k_2 t^n) \quad (4)$$

Em que:

$k_1$  – constante dependente da geometria do material ( $k_1 = 0,81$  para placa plana infinita); e

$k_2$  – constante dependendo de  $D_{\text{eff}}$  e geometria ( $L^2$ ).

As variações nos processos de difusão durante a secagem estão principalmente relacionadas à microestrutura dos alimentos; portanto, apenas um valor de  $n$  deve representar todos os processos, independente da temperatura de secagem (constante  $n$ ), enquanto  $k_2$  deve aumentar com a temperatura. Dessa forma, é possível ajustar os dados de secagem e buscar um valor único de  $n$  e  $k_2$  (SIMPSON et al., 2015). As diferenças entre as previsões do modelo e os valores experimentais foram calculadas utilizando-se a soma residual de quadrados (RSS) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

A estimativa do consumo energético total (CET) foi calculada considerando 50 g de fatias de bananas frescas e representa o consumo durante a pré-tratamento com ultrassom e da secagem conforme demonstrado por ONWUDE et al. (2019) pela seguinte equação:

$$CET = \frac{(W \cdot V \cdot t_p) + (A \cdot v \cdot \rho_a \cdot Cp_a \cdot \Delta T \cdot t_d)}{m_p} \quad (5)$$

Em que:

$A$  – área da secção transversal de secagem,  $\text{m}^2$ ;

$v$  – velocidade do ar de secagem,  $m s^{-1}$ ;  
 $\rho_a$  – densidade do ar ambiente;  
 $C_{p_a}$  – calor específico do ar ambiente à 25 °C,  $J kg^{-1} K^{-1}$ ;  
 $\Delta T$  – diferença entre a temperatura do ar ambiente e temperatura do ar de secagem, K;  
 $t_d$  – tempo de secagem necessária para as amostras atingirem uma umidade de 20% bu,  
 $m_p$  – massa das fatias de banana frescas, kg,  
 $W$  – poder volumétrico do banho ultrassônico, ( $W L^{-1}$ ),  
 $V$  – volume de etanol/água usado no banho, L; e  
 $t_p$  – tempo do pré-tratamento de ultrassom.

A atividade antioxidante (AA) foi avaliada pelos métodos de DPPH e FRAP, os valores foram expressos como  $\mu g$  ácido gálico equivalente (GAE) por g amostra em matéria seca (MS), ( $\mu g$  GAE  $g^{-1}$  MS) e  $\mu mol$  de sulfato ferroso equivalente (Fe(II) SE) por g amostra seca ( $\mu mol$  Fe(II)SE  $g^{-1}$  MS). O reagente Folin-Ciocalteu foi usado para determinar o conteúdo de fenólicos totais (TPC). Os valores de TPC foram expressos em  $\mu g$ GAE  $g^{-1}$  DM. A diferença de cor do produto foi determinada usando um colorímetro digital (Konica Minolta, model CR 410, Osaka, Japão). Os dados analíticos foram submetidos a análise de variância e as diferenças entre as médias dos tratamentos foram avaliadas por teste LSD a 5% de significância.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As curvas de secagem obtidas para cada tratamento e para ambas as soluções estão presentes na Figura 1. A redução do tempo de secagem com pré-tratamento E+US alcançaram uma redução de 31%. A redução no tempo de secagem das fatias de banana pré-tratadas com etanol por 10 min foi de 13,7%, enquanto as submetidas ao E+US alcançaram uma redução de 31%. É bem conhecido o poder do ultrassom em causar cavitação nos tecidos das plantas, além de formar microjatos que ajudam a aumentar a liberação de vapor d'água durante a secagem. Sobre o pré-tratamento do etanol, a fração formada de etanol/água e presente na zona mais superficial das fatias de banana pode influenciar o escoamento desse fluido durante a secagem. O etanol também reduz a viscosidade do líquido, favorecendo a secagem, principalmente nos estágios iniciais do processo.

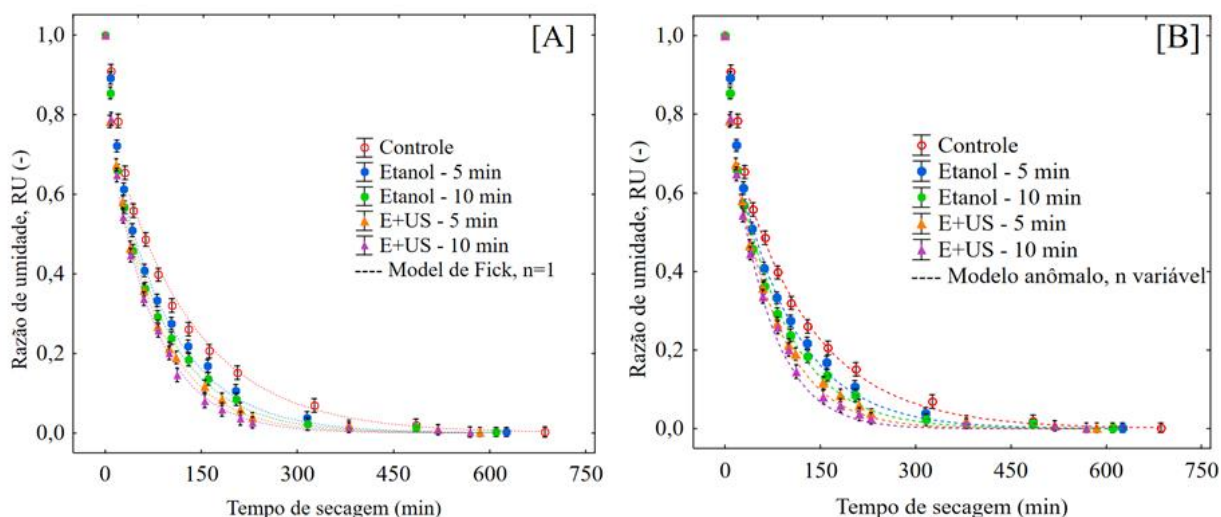


FIGURA 1. Cinética de secagem usando (A) modelo de Fick e (B) modelo anômalo para fatias de bananas pré-tratadas. Os pontos são dados experimentais, as barras verticais são o desvio padrão, e linhas pontilhadas são os dados previstos.

As constantes do modelo,  $k_2$  (constante dependente de  $D_{eff}$  e  $L^2$ ) e  $n$  (relacionadas à difusão anômala), ajustadas aos dois casos, estão representadas na Tabela 1, bem como os parâmetros estatísticos.

TABELA 1. Coeficientes do modelo de Page para ambas as soluções, seus parâmetros estatísticos e coeficiente de difusão efetivo das fatias de banana pré-tratadas e secas.

Tratamentos	Modelo de Fick, $n=1$				Solução anômala, $n$ variável				
	$k_2$ $\times 10^{-4}$	$R^2$	RSS $\times 10^{-2}$	$D_{\text{eff}} \times 10^{-8}$ $(\text{m}^2 \text{s}^{-1})$	$k_2$ $\times 10^{-4}$	$n$	$R^2$	RSS $\times 10^{-2}$	$D_{\text{eff}} \times 10^{-8}$ $(\text{m}^2 \text{s}^{-1})$
Controle	80,05	0,970	5,94	8,13	85,60	0,99	0,980	5,42	8,76
E 5 min	108,18	0,971	5,83	8,66	101,89	1,03	0,980	5,60	9,65
E 10 min	118,17	0,978	6,17	9,29	97,32	1,04	0,984	5,94	10,28
E+US 5 min	130,12	0,983	4,63	9,59	101,65	1,06	0,985	4,57	11,37
E+US 10 min	143,23	0,983	4,46	11,49	101,37	1,11	0,989	4,24	13,81

A primeira solução, da segunda lei de Fick, mostra que  $k_2$  aumentou de  $80,05 \times 10^{-4}$  (amostras controle) para  $143,23 \times 10^{-4}$  (E+US, 10 min). Também houve bons ajustes dos dados experimentais ao modelo, com valores de  $R^2 > 0,97$  e  $\text{RSS} < 6,17 \times 10^{-2}$ . O segundo caso envolve  $n$  variável, que corresponde à solução de tempo fracionário de difusão anômala para longos tempos de secagem (Figura 1B). Essa solução apresentou valores de  $k_2$  entre  $85,60 \times 10^{-4}$  a  $101,89 \times 10^{-4}$  e menores do que no primeiro caso. Em relação ao parâmetro  $n$ , este apresentou comportamento ascendente ao pré-tratamento e tempo de aplicação usado. O menor valor de  $n$  (0,99) foi encontrado para o tratamento controle (sem etanol e ultrassom), enquanto o maior valor de  $n$  (1,11) foi obtido para o pré-tratamento E+US por 10 min. Esses resultados podem caracterizar o tratamento controle como processo Fickiano ( $n=1$ ) e os demais tratamentos como super-difusivo anômalo ( $n>1$ ). As diferenças nos mecanismos de difusão estão principalmente relacionadas à microestrutura dos alimentos (GALAZ et al., 2017). O intervalo do  $D_{\text{eff}}$  Fickiano foi  $8,13 \times 10^{-8}$ – $9,59 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , e o intervalo do  $D_{\text{eff}}$  anômalo foi  $8,76 \times 10^{-8}$ – $11,37 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . O modelo de difusividade anômala por tempo fracionário fornece uma nova visão sobre como levar em consideração a estrutura do material alimentar e a difusão superficial induzida por capilaridade.

Os resultados apresentados até agora mostraram uma redução no tempo de secagem, e que mudanças significativas ocorreram no processo de difusão de umidade. Esses resultados também são interessantes no impacto do consumo total de energia do processo, visto que os processos de secagem por convecção para produtos com alta umidade demandam longos tempos de secagem, como ocorreu com as fatias de banana. A energia total consumida durante o ultrassom e a secagem (até atingir o teor de umidade de 20% bu) foi estimada e está apresentada na Tabela 3 para cada tratamento.

O CTE variou de 2,78 a 3,40 kWh kg<sup>-1</sup>, com maior valor para o tratamento controle e menor valor de consumo para E+US por 10 min. Em relação ao controle, a energia foi reduzida em até  $12,3 \pm 0,5\%$  (E) e  $19,2 \pm 2,5\%$  (E+US) para os pré-tratamentos estudados. Diferentes estudos relatam uma redução no consumo de energia durante a secagem após o pré-tratamento com etanol e ultrassom. De acordo com Rojas et al. (2020), uma redução de 41% no consumo de energia foi alcançada em cubos de abóbora até atingir um teor de umidade de 25% bu. Santos et al. (2021) obtiveram redução de 62% no consumo de energia (até um teor de umidade de 20%, bu) para fatias de cenoura pré-tratadas com etanol e ultrassom por 30 min. Assim, apesar de ser uma abordagem simplificada do consumo de energia, é possível demonstrar que ambos os pré-tratamentos podem ser compensados economicamente durante a secagem. No entanto, reduzir o consumo de energia não implica necessariamente em redução do custo total de produção. Os custos operacionais, de equipamentos, de energia e de produção de matéria-prima dependem do contexto socioeconômico de cada região ao redor do mundo.

O efeito do pré-tratamento e da secagem convectiva sobre a atividade antioxidante (AA) das fatias de banana foi investigado pelos ensaios DPPH e FRAP, e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Atividade antioxidante (IC<sub>50</sub> e FRAP), conteúdo total de fenólicos (CTF) e diferença de cor ( $\Delta E$ ) das fatias de bananas secas sobre diferentes pré-tratamentos de secagem.

Pré-tratamentos	IC <sub>50</sub> ( $\mu\text{gGAE g}^{-1} \text{DM}$ )	FRAP ( $\mu\text{mol Fe(II)SE g}^{-1} \text{DM}$ )	CTF ( $\mu\text{gGAE g}^{-1} \text{DM}$ )	$\Delta E$ (-)
Controle	9,77 $\pm$ 1,06 <sup>a</sup>	286,98 $\pm$ 15,12 <sup>a</sup>	105,00 $\pm$ 8,22 <sup>a</sup>	-
Etanol (E) 5 min	6,05 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>	317,15 $\pm$ 8,22 <sup>b</sup>	131,10 $\pm$ 0,89 <sup>b</sup>	3,91 $\pm$ 1.39 <sup>a</sup>
Etanol (E) 10 min	5,91 $\pm$ 0,73 <sup>b</sup>	311,99 $\pm$ 5,78 <sup>b</sup>	154,61 $\pm$ 12,85 <sup>c</sup>	4,85 $\pm$ 0.51 <sup>b</sup>
E+US 5 min	5,04 $\pm$ 0,25 <sup>c</sup>	365,53 $\pm$ 3,35 <sup>c</sup>	156,11 $\pm$ 4,60 <sup>c</sup>	11,77 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>
E+US 10 min	4,60 $\pm$ 0,51 <sup>c</sup>	388,64 $\pm$ 12,75 <sup>d</sup>	172,59 $\pm$ 7,27 <sup>d</sup>	11,44 $\pm$ 1.02 <sup>c</sup>

Nota: Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entes os tratamentos (p<0,05).

Os valores de IC<sub>50</sub> (DPPH) e valores de FRAP em diferentes amostras de banana tiveram a mesma tendência. Os valores da atividade antioxidante (AA) das amostras controle foram inferiores aos das fatias de banana pré-tratadas com E e E+US. Uma diminuição mais significativa na AA é comumente relatada para produtos secos por convecção em comparação com outros métodos de secagem emergentes, conforme divulgado anteriormente para alho (FENG et al., 2021) usando diferentes métodos de secagem. Isso pode ser atribuído a um menor tempo de secagem e menor degradação térmica dos compostos bioativos. Nesse sentido, os valores do teor de fenólicos totais também diminuíram de forma mais expressiva para as amostras controle, seguidas das tratadas com etanol e, por último, para as tratadas com E+US. Isso significa que o pré-tratamento E+US ajudou a reter os compostos fenólicos e atividade antioxidante presente nas fatias de banana.

Por fim, a diferença de cor mais significativa também foi obtida para as amostras tratadas com E+US (Tabela 2). A causa da preservação da cor em amostras tratadas com etanol e ultrassom se deve à menor degradação dos compostos bioativos, conforme já relatado aqui. Além disso, a cor amarela das fatias serve como um possível indicador para o conteúdo de provitamina A e seu precursor  $\beta$ -caroteno (DHANDAPANI et al., 2017). A cor também pode estar relacionada a uma maior quantidade de flavonoides; um dos responsáveis pelo aroma característico dessa fruta. Em conclusão, considerando a retenção de compostos bioativos com atividade antioxidante em amostras pré-tratadas com etanol e ultrassom, deve haver uma adequada bioacessibilidade e biodisponibilidade para aproveitar todo o potencial dos alimentos naturais.

**CONCLUSÕES:** Os pré-tratamentos de secagem afetaram o processo de secagem e as características físicas, bioativas e antioxidantes das bananas. A solução matemática pelo modelo de tempo fracionário baseado na abordagem de cálculo anômalo pode, em parte, explicar a qualidade do ajuste do modelo de Page, enquanto a difusão anômala relacionou os valores n à microestrutura do alimento (n>1 superdifusão). Assim, os pré-tratamentos (etanol e ultrassom) podem ter impulsionado o processo de secagem convectiva e ter reduzido o consumo de energia. As fatias de banana pré-tratadas com E+US apresentaram qualidade superior em relação a cor e preservação de compostos bioativos. Estudos futuros podem se concentrar em novas técnicas de pré-tratamento e métodos de secagem emergentes e processos não térmicos, incluindo a melhoria da bioeficácia dos nutrientes em alimentos pré-tratados.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Capes pelo aporte financeiro do estudo.

## REFERÊNCIAS:

- DHANDAPANI, R., SINGH, V.P., ARORA, A., BHATTACHARYA, R.C., RAJENDRAN, A. Differential accumulation of  $\beta$ -carotene and tissue specific expression of phytoene synthase (MaPsy) gene in banana (*Musa sp*) cultivars. **J. Food Sci. Technol.** 54, 4416–4426, 2017.
- ERBAY, Z., ICIER, F. A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 50, 441–464, 2010.
- FENG, Y., XU, B., ELGASIM A., YAGOUB, A. Role of drying techniques on physical, rehydration, flavor, bioactive compounds and antioxidant characteristics of garlic. **Food Chem.** 343, 128404, 2021.
- GALAZ, P., VALDENEGRO, M., RAMÍREZ, C., NUÑEZ, S. SIMPSON, R. Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. **J. Food Eng.** 208, 19–27, 2017.
- ONWUDE, D.I., HASHIM, N., ABDAN, K., JANIUS, R. The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato. **J. Food Eng.** 241, 75–87, 2019.
- RAJORIYA, D., SHEWALE, S.R., HEBBAR, H.U. Refractance Window Drying of Apple Slices: Mass Transfer Phenomena and Quality Parameters. **Food Bioprocess Technol.** 12, 1646–1658, 2019.
- RAMÍREZ, C., ASTORGA, V., NUÑEZ, H., JAQUES, A., SIMPSON, R. Anomalous diffusion based on fractional calculus approach applied to drying analysis of apple slices: The effects of relative humidity and temperature. **J. Food Process Eng.** 40, e12549, 2017.
- ROJAS, M.L., SILVEIRA, I., AUGUSTO, P.E.D. Ultrasound and ethanol pretreatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin, **Food Bioprod. Process.** 133, 67-76, 2020.
- SIMPSON, R., RAMÍREZ, C., BIRCHMEIER, V., ALMONACID, A., MORENO, J., NUÑEZ, H., JAQUES, A. Diffusion mechanisms during the osmotic dehydration of Granny Smith apples subjected to a moderate electric field. **J. Food Eng.** 166, 204–211, 2015.