

CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE BANANA PRÉ-TRATADAS COM ETANOL SOB PRESSÃO ATMOSFÉRICA E DE VÁCUO

Leandro Levate Macedo¹, Cintia da Silva Araújo²,
Geanderson Leonardo de Lima Pereira¹, Sérgio Henriques Saraiva¹

¹Universidade do Espírito Santo / Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Alto Universitário, s/n, Caixa Postal 16, CEP 29500-000, Alegre-ES, Brasil, leandrolevate@hotmail.com, geandersonlima@gmail.com, sergiohsaraiva@gmail.com

²Universidade Federal da Grande Dourados / Faculdade de Engenharia, Rodovia Dourados/Itahum, Km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Caixa Postal: 364, CEP: 79.804-970, Dourados-MS, Brasil, araujo.s.cintia@gmail.com

Resumo

A secagem convectiva é amplamente utilizada na conservação de frutas, mas a longa duração desse processo implica em altos custos e pode causar alterações indesejáveis no produto. Este estudo investigou a influência do pré-tratamento com etanol, com ou sem aplicação de vácuo, na cinética de secagem de bananas. Fatias de 5 mm de espessura foram imersas em imersas em etanol (99,9%). A imersão foi realizada sob pressão de vácuo (800 mbar) por 0, 5 e 10 min, com posterior retomada da pressão atmosférica por 0, 2,5 e 5 min. As amostras foram inseridas em um secador convectivo com circulação forçada de ar a 60 °C e 1,0 m/s, por 5 horas. A massa das amostras foi aferida durante a secagem. A razão de umidade foi calculada e os modelos de Lewis, Henderson e Pabis, e Page foram ajustados aos dados experimentais. A razão de umidade reduziu exponencialmente ao longo das secagens. O modelo de Page apresentou melhor capacidade de representação dos processos. A secagem reduziu significativamente o teor de umidade das bananas. O uso do etanol acelerou a secagem das amostras, exceto aplicando vácuo por 10 min seguido de 5 min a pressão atmosférica.

Palavras-chave: Conservação de alimentos. Secagem de alimentos. Secagem convectiva. Taxa de secagem. Modelo de Page.

Área do Conhecimento: Ciências da saúde / Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Introdução

A banana está entre as frutas mais consumidas no mundo, seja in natura ou processada, como banana chips, ou ainda utilizada como ingrediente na elaboração de diversos produtos alimentícios, como panificados, lácteos e bebidas. A grande utilização da banana deve-se às suas apreciadas características sensoriais, propriedades nutricionais e funcionais, à ampla oferta ao longo de todo o ano e ao baixo custo. No entanto, trata-se de uma fruta altamente perecível, o que causa a perda de uma parcela significativa de toda a produção. Um dos fatores que mais contribuem para a perecibilidade desta fruta é a elevada atividade de água (MARTÍNEZ et al., 2023).

A secagem convectiva é um dos métodos mais tradicionais e mais usados para a conservação de alimentos, entre eles a banana (MARTÍNEZ et al., 2023). Este método consiste em uma operação unitária de transferência de calor e massa, em que ocorre a redução da umidade do alimento, visando a redução da sua atividade de água. Contudo, a secagem convectiva, geralmente, demanda um longo período, o que implica em um gasto energético e de mão-de-obra significativos. Além disso, a longa duração da exposição do alimento às temperaturas elevadas pode causar perdas em parâmetros de qualidade importantes, como alteração de cor, perda de compostos aromáticos e bioativos (MACEDO et al., 2020b; MARTÍNEZ et al., 2023).

A aplicação de pré-tratamentos à secagem tem buscado a otimização do processo, tanto reduzindo a duração quanto aumentando a preservação da qualidade do alimento. O pré-tratamento com etanol pode ser realizado pela imersão da amostra em etanol, com o objetivo de cobrir toda a superfície do material com o solvente. Estudos têm mostrado que esta técnica aumenta a taxa de remoção de água do alimento, devido ao efeito Marangoni, diminuição do calor de vaporização da água e à abertura de canais na estrutura do alimento (SILVEIRA et al., 2024).

O vácuo consiste na redução da pressão a um valor inferior à pressão atmosférica. A aplicação de vácuo causa a expansão do material e a saída de gases oclusos. Com a retomada da pressão atmosférica, o fluido circunvizinho tende a preencher este espaço. Estudos têm mostrado que a combinação de vácuo durante o pré-tratamento tem potencial para acelerar a secagem e melhorar a qualidade do produto seco (SILVA et al., 2024; WANG et al., 2019).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tempo de vácuo e do tempo à pressão atmosférica durante o pré-tratamento com etanol na secagem de fatias de banana.

Metodologia

Pencas de banana da variedade prata foram adquiridas. As bananas foram retiradas das pencas e selecionadas quanto ao grau de maturação, em que as frutas apresentaram cor da casca predominantemente amarela, correspondendo ao nível 6 de uma escala de 1 a 8 (AL-DAIRI et al., 2023). As cascas foram retiradas manualmente e as polpas cortadas em fatias de 5 mm de espessura e 25 mm de diâmetro, com auxílio de um fatiador de alimentos e um molde de aço inox.

O pré-tratamento com etanol foi realizado pela imersão das fatias em álcool de cereais (99,9%), sob pressão de vácuo de 800 mbar, durante 0, 5 e 10 min, seguido da retomada da pressão atmosférica por 0, 2,5 e 5 min, com posterior remoção da amostra do etanol, totalizando 9 tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 – Identificação dos tratamentos quanto ao tempo de imersão no etanol sob vácuo e pressão atmosférica

Tratamentos	Vácuo (min)	Atmosférica (min)	Tratamentos	Vácuo (min)	Atmosférica (min)
1	0	0	6	5	5
2	0	2,5	7	10	0
3	0	5	8	10	2,5
4	5	0	9	10	5
5	5	2,5			

A secagem das amostras foi realizada em um secador de bandejas, com fluxo de ar a 60 °C, a 1,0 m/s. A massa das amostras foi aferida nos tempos 30, 60, 120, 180, 240 e 300 minutos.

O teor de umidade das amostras foi determinado gravimetricamente, a 105 °C, até peso constante (MACEDO et al., 2020b).

A razão de umidade (RU) foi calculada conforme a Equação 1 (MACEDO et al., 2021).

$$RU = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \approx \frac{M_t}{M_o} \quad (1)$$

Em que, RU é a razão de umidade; M_t é a massa no tempo t ; M_e é a massa no equilíbrio; M_o é a massa inicial.

Os modelos de Lewis, Henderson e Pabis, e Page (Equações 2, 3 e 4, respectivamente) foram ajustados aos dados experimentais de razão de umidade.

$$RU = e^{-kt} \quad (2)$$

$$RU = ae^{-kt} \quad (3)$$

$$RU = e^{-kt} \quad (4)$$

Em que, RU é a razão de umidade; t é o tempo (min); a , k e n são os parâmetros dos modelos.

O coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2), e o erro padrão da regressão (SE) foram calculados conforme as Equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \quad (5)$$

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \frac{N-1}{N-p} \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{N-p}\right)} \quad (7)$$

Em que, $RU_{exp,i}$ e $RU_{pred,i}$ são, respectivamente, os valores de razão de umidade experimental e predito para a i^{th} observação; \bar{RU} é o valor médio da razão de umidade experimental; N é o número de observações; p é o número de parâmetros do modelo.

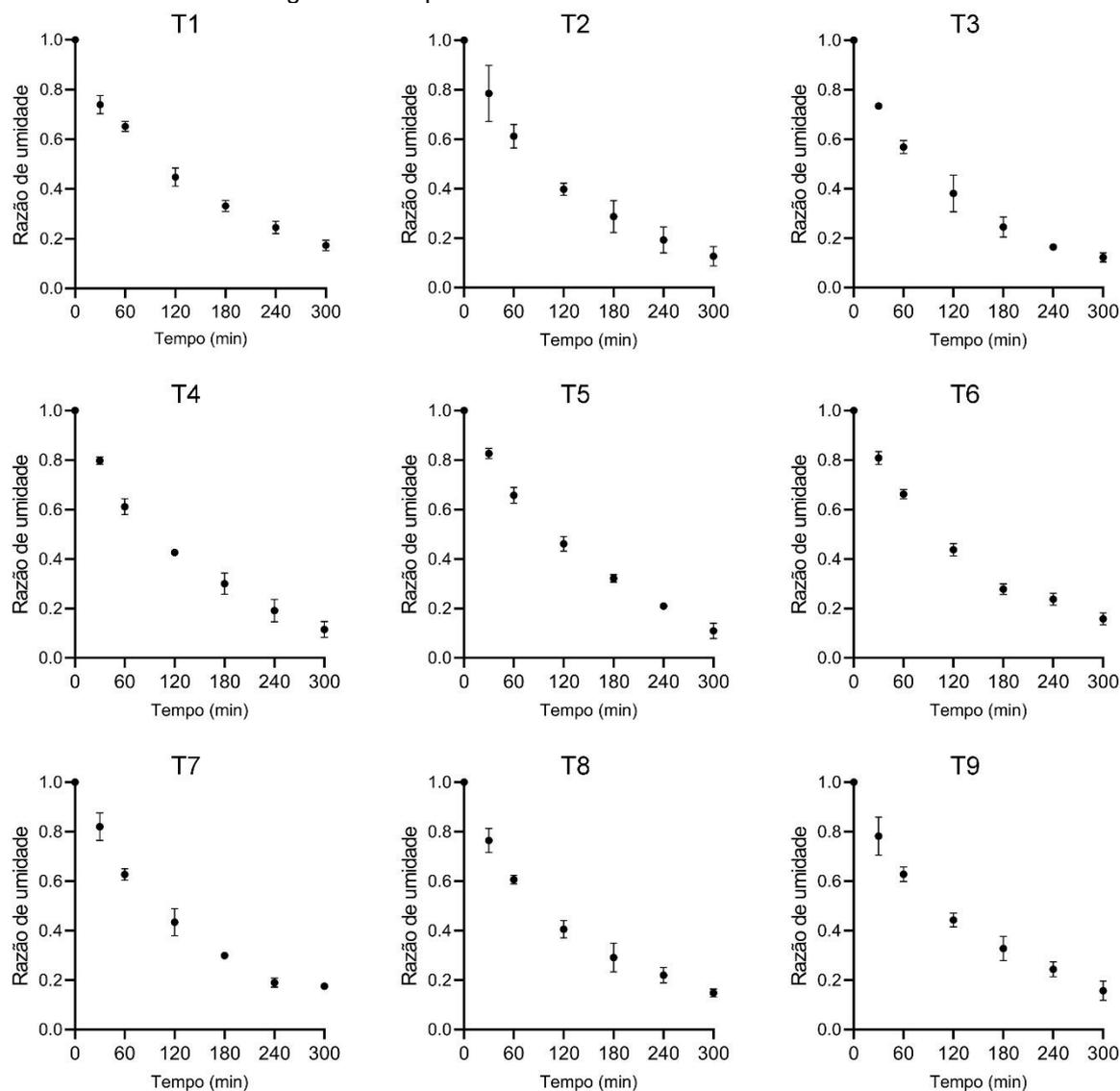
O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3, em 3 repetições.

Os dados de umidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguido de teste Tukey, ambos realizados ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados

Os valores de RU ao longo do tempo são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Dispersão dos dados de razão de umidade.



Fonte: o autor.

Os valores dos parâmetros k , a e n , bem como os valores de R^2 , R^2_{adj} e SE são apresentados na Tabela 2.

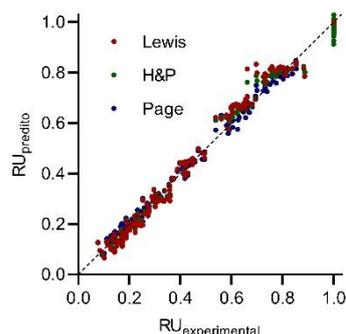
Tabela 2 – Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), erro padrão da regressão (SE) dos modelos de Lewis, Henderson e Pabis (H&P), e Page

Tratamentos	Modelos	k	a ou n	R^2	R^2_{adj}	SE
T1	Lewis	0,006±0,000		0,976±0,021	0,976±0,021	0,043±0,016
	H&P	0,006±0,001	0,951±0,021	0,984±0,012	0,981±0,015	0,039±0,013
	Page	0,018±0,006	0,801±0,071	0,994±0,005	0,993±0,007	0,022±0,010
T2	Lewis	0,007±0,001		0,970±0,038	0,970±0,038	0,044±0,036
	H&P	0,007±0,001	0,980±0,060	0,979±0,024	0,974±0,029	0,042±0,032
	Page	0,017±0,017	0,909±0,217	0,990±0,009	0,988±0,010	0,032±0,023
T3	Lewis	0,008±0,001		0,985±0,008	0,985±0,008	0,039±0,009
	H&P	0,008±0,001	0,965±0,017	0,988±0,005	0,986±0,006	0,037±0,007
	Page	0,018±0,004	0,842±0,058	0,996±0,001	0,995±0,001	0,024±0,002
T4	Lewis	0,007±0,001		0,993±0,004	0,993±0,004	0,027±0,006
	H&P	0,007±0,001	0,985±0,015	0,994±0,003	0,993±0,003	0,028±0,005
	Page	0,010±0,003	0,930±0,074	0,996±0,000	0,995±0,001	0,023±0,002
T5	Lewis	0,007±0,000		0,997±0,003	0,997±0,003	0,018±0,008
	H&P	0,007±0,000	1,001±0,009	0,997±0,003	0,996±0,003	0,019±0,009
	Page	0,006±0,002	1,013±0,041	0,997±0,003	0,997±0,004	0,018±0,010
T6	Lewis	0,007±0,000		0,992±0,006	0,992±0,006	0,027±0,010
	H&P	0,007±0,000	0,989±0,007	0,993±0,006	0,991±0,008	0,028±0,012
	Page	0,009±0,001	0,933±0,024	0,994±0,006	0,993±0,007	0,025±0,013
T7	Lewis	0,007±0,000		0,989±0,003	0,989±0,003	0,034±0,004
	H&P	0,007±0,000	0,989±0,021	0,990±0,002	0,988±0,002	0,035±0,004
	Page	0,011±0,004	0,923±0,073	0,992±0,004	0,991±0,004	0,030±0,008
T8	Lewis	0,007±0,001		0,985±0,004	0,985±0,004	0,039±0,004
	H&P	0,007±0,001	0,965±0,013	0,988±0,001	0,986±0,002	0,037±0,001
	Page	0,017±0,005	0,834±0,050	0,996±0,003	0,995±0,004	0,020±0,008
T9	Lewis	0,007±0,001		0,984±0,009	0,984±0,009	0,037±0,011
	H&P	0,006±0,001	0,966±0,022	0,988±0,005	0,986±0,006	0,036±0,008
	Page	0,015±0,007	0,846±0,066	0,995±0,000	0,994±0,000	0,023±0,001

Fonte: o autor.

Os valores RU estimados pelos modelos de Lewis, Henderson e Pabis, e Page em função da RU experimental são apresentados na Figura 2.

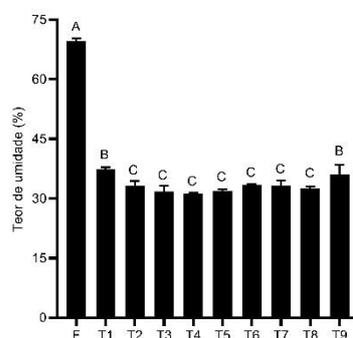
Figura 2 – Dispersão dos valores preditos pelos modelos versus os valores experimentais.



Fonte: o autor.

Os valores dos teores de umidade das bananas frescas e submetidas às secagens são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Teor de umidade da banana fresca (F) e das bananas secas.



Fonte: o autor.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p > 0.05$).

Discussão

Conforme mostrado na Figura 1, a razão de umidade (RU) reduziu ao longo do processo de secagem. Esta redução apresentou um comportamento próximo ao exponencial, conforme é característica de processos de secagem de alimentos. Isso se deve ao maior teor de umidade do material nos primeiros minutos de secagem, ou seja, há uma grande quantidade de água disponível para ser removida e a água tende a sair do alimento a uma taxa constante. Ao longo da secagem, a proporção desta água disponível diminui, diminuindo a taxa de secagem, fazendo com que a RU diminuísse mais lentamente a cada intervalo de tempo.

Os modelos de Lewis, Henderson e Pabis, e Page se ajustaram bem aos dados experimentais, conforme mostrado na Tabela 2, em que os valores de R^2 foram superiores a 0,970. Isso indica uma alta capacidade de representação dos dados pelos modelos estudados (MACEDO et al., 2020b).

A Figura 2 mostra a dispersão dos dados preditos pelos modelos em relação aos dados experimentais. Esta também é uma boa maneira de avaliar o quão próximo um modelo matemático consegue estimar a resposta em relação ao valor experimental. Quanto mais próximo a dispersão dos dados estiver da linha com ângulo de 45° , melhor é o a estimativa do valor pelo modelo. Conforme a Figura 2, os valores preditos pelos modelos apresentaram-se próximos à linha de 45° , indicando bom ajuste do modelo.

A comparação entre os modelos pode ser feita pelo R^2_{adj} e SE, em que o melhor modelo apresenta o maior valor de R^2_{adj} e o menor SE. Desta forma, o modelo de Page foi o melhor para todos os

tratamentos estudados (Tabela 2). A alta capacidade de predição do modelo de Page também foi observado em outros estudos (ARAÚJO et al., 2017; MACEDO et al., 2020a).

A banana fresca apresentou alto teor de umidade (Figura 3), corroborando com a alta perecibilidade da fruta, pois possui uma grande proporção de água disponível para a ocorrência de degradações física, química e microbiológica. Portanto, isso justifica o emprego de técnicas de secagem para a preservação da banana (MARTÍNEZ et al., 2023).

Após a secagem, todos os tratamentos apresentaram teor de umidade significativamente ($p < 0,05$) menor que a banana fresca (Figura 3). Entre as amostras secas (T1 a T9), os tratamentos T2 a T8 apresentaram os menores teores de umidade e estatisticamente iguais entre si, sendo considerados melhores que os tratamentos T1 e T9, visto que, com 300 min de secagem, conseguiram causar uma maior redução do teor de umidade das bananas. Portanto, com exceção do tratamento T9, a aplicação do pré-tratamento reduziu o teor de umidade significativamente, indicando a eficiência da aplicação do álcool. O T9 representa o tratamento de mais longa duração, ou seja, 15 min, sugerindo que o pré-tratamento com etanol por um tempo excessivo pode resultar na redução do efeito.

A aplicação do vácuo causa a remoção de gases oclusos do material. Com a retomada da pressão atmosférica, o fluido circunvizinho passa a ocupar este espaço. No entanto, este fenômeno não causou efeito significativo na redução do teor de umidade das bananas (Figura 3).

Conclusão

Os modelos de Lewis, Henderson e Pabis, e Page se ajustaram bem aos dados experimentais, sendo o último o mais adequado para representação das secagens das fatias de banana.

O pré-tratamento com etanol foi eficiente em aumentar a taxa de secagem. No entanto, o tempo excessivo anulou o efeito do pré-tratamento. A aplicação do vácuo não teve efeito significativo.

Referências

- AL-DAIRI, M. et al. Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 134, n. February, p. 177–191, abr. 2023.
- ARAÚJO, C. DA S. et al. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 17 ago. 2017.
- MACEDO, L. L. et al. Convective drying of *Butia Capitata* pulp: effect of air temperature on kinetic and quality parameters. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. 1–23, 2020a.
- MACEDO, L. L. et al. Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. April, p. 1–10, 28 maio 2020b.
- MACEDO, L. L. et al. Influence of yacon syrup concentration and drying air temperature on properties of osmotically pre-dehydrated dried banana. **Heat and Mass Transfer**, v. 57, n. 3, p. 441–451, 21 mar. 2021.
- MARTÍNEZ, S. et al. Banana Drying: A Review on Methods and Advances. **Food Reviews International**, v. 00, n. 00, p. 1–39, 2023.
- SILVA, E. T. DE V. et al. Improving preservation of bioactive compounds in mangosteen peel flour through pre-treatment with bleaching, ethanol, and vacuum pulse. **Food Bioscience**, v. 61, p. 104521, out. 2024.
- SILVEIRA, P. G. et al. Innovative strategies in yacon drying: Ethanol pretreatment and intermittent microwave drying. **Journal of Food Science**, v. 89, n. 8, p. 4941–4952, 16 ago. 2024.
- WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, n. May, p. 432–440, out. 2019.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) – 704/2022.