

MODELOS MATEMÁTICOS DA CINÉTICA DE SECAGEM DE BANANA (*Musa ssp*)

ZANELLI RUSSELEY TENÓRIO COSTA^{1*}; LUÍS PAULO FIRMINO ROMÃO DA SILVA¹;
VANESSA RAMOS ALVES²; HANNDSON ARAUJO SILVA¹; AGDYLANNAH FELIX VIEIRA¹

¹Mestrandos em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, zanelli.tenorio@gmail.com;

²Licencianda em Química, UFRPE, Serra Talhada-PE, vanessaramosalves@gmail.com;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018

21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Este trabalho objetivou o estudo da modelagem matemática na cinética de secagem da banana. A secagem foi realizada em três temperaturas diferentes, 50, 60 e 70°C. Os modelos matemáticos utilizados para o ajuste dos valores experimentais foram os de Henderson e Pabis, Newton, Page e Thompson. Os resultados demonstraram que na medida em que aumentou a temperatura houve uma diminuição no tempo de secagem. O modelo matemático de Page foi o que mais se ajustou aos dados experimentais indicando uma representação satisfatória do processo de secagem, obtendo valores de $R^2 > 0,99$ e Desvio Quadrático Médio próximo a 0,01.

PALAVRAS-CHAVE: Cinética de secagem, modelos matemáticos, banana in natura.

MATHEMATICAL MODELS OF BANANA DRYING KINETICS (*Musa ssp*)

ABSTRACT: This work aimed at the study of the mathematical modeling of banana drying kinetics. Drying was carried out at three different temperatures, 50, 60 and 70°C. The mathematical models used to adjust the experimental values were those of Henderson and Pabis, Newton, Page and Thompson. The results showed that as the temperature increased, there was a decrease in drying time. The mathematical model of Page was the best fit for the experimental data indicating a satisfactory representation of the drying process, obtaining values of $R^2 > 0.99$ and Average Square Deviation near 0,01.

KEYWORDS: Kinetics of drying, mathematical models, banana in natura.

INTRODUÇÃO

A produção de banana ocupa uma das primeiras posições de área cultivada no mundo, sendo a Índia o maior produtor com uma produção de aproximadamente 30,0 milhões de toneladas em 2010. O Brasil é o quinto maior produtor, com 7,0 milhões de toneladas em 2010. Devido os frutos serem produtos de fácil degradação, durante e a colheita é comum originar danos mecânicos que contribuem para a diminuição da vida útil, sendo uma das principais causas de perdas pós-colheita. Assim, faz-se necessário um adequado manuseio para evitar tais danos e também o uso de técnicas de beneficiamento para poder prolongar o período de consumo após a safra (Sarmiento et al, 2015).

A desidratação de alimentos elimina a água por meio da evaporação. A retirada da água permite a preservação do alimento por maior tempo, no caso da banana que é uma fruta bastante perecível após a colheita, esta técnica é uma alternativa para aumentar sua conservação. A banana é uma fruta que possui um alto valor energético, contendo aproximadamente 23 % de carboidratos, 1,1% de proteínas e 0,3% de lipídeos. Também apresenta compostos antioxidantes, como flavonoides, β -caroteno, vitamina C e E (Amorim, 2012).

Considerando-se a importância da produção de banana, devido ao seu elevado consumo, faz-se necessário o estudo dos modelos matemáticos da cinética de secagem para compreender o comportamento durante o processo de secagem, podendo assim contribuir para o desenvolvimento de novos produtos a partir da banana.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Unidade de Processamento de Frutos e Hortaliças (UP-FRUTOS), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus Afogados da Ingazeira* (IFPE-CAFI). As bananas foram adquiridas no comércio da cidade de Afogados da Ingazeira-PE, as mesmas foram selecionadas visualmente quanto ao estágio de maturação ideal para consumo in natura, estágio VI, coloração amarela, (Figura 1A), cortadas em rodelas finas (Figura 1B).

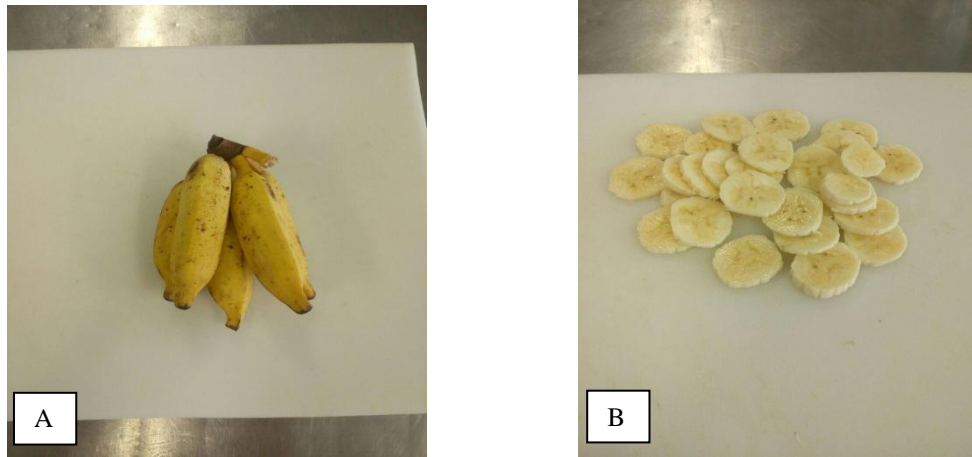


Figura 1 – Banana inteira com casca e em rodelas (Fonte: autores).

A secagem foi realizada com três repetições, utilizando-se estufa com velocidade de ar de 1 m/s, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, onde as amostras foram uniformemente espalhadas em bandejas teladas de aço, formando uma camada dupla de aproximadamente 0,5 cm de espessura.

Para o processo de secagem, foram realizadas pesagens do produto no início e, posteriormente, em intervalos regulares até peso constante da massa. Com os dados experimentais foram calculados os valores da razão de umidade conforme a Equação 1.

O teor de água inicial e final da banana foi determinado conforme Brasil (2008) em estufa a 105 °C. A partir dos dados obtidos durante a secagem foram construídos gráficos de curva de secagem (massa reduzida em função do tempo).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX: razão de água, adimensional; X: teor de água, base seca (%); X_e: teor de água de equilíbrio, base seca (%); X₀: teor de água inicial, base seca (%).

Foram utilizados cinco modelos matemáticos para ajustes dos dados de secagem, que estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para ajustes dos dados de secagem da banana nas temperaturas de 60, 70 e 80°C

Designação do modelo	Equação
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
Newton	$RU = \exp(-k \cdot t)$
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$
Thompson	$RU = \exp\left(\frac{-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}}{2 \cdot b}\right)$

Em que:

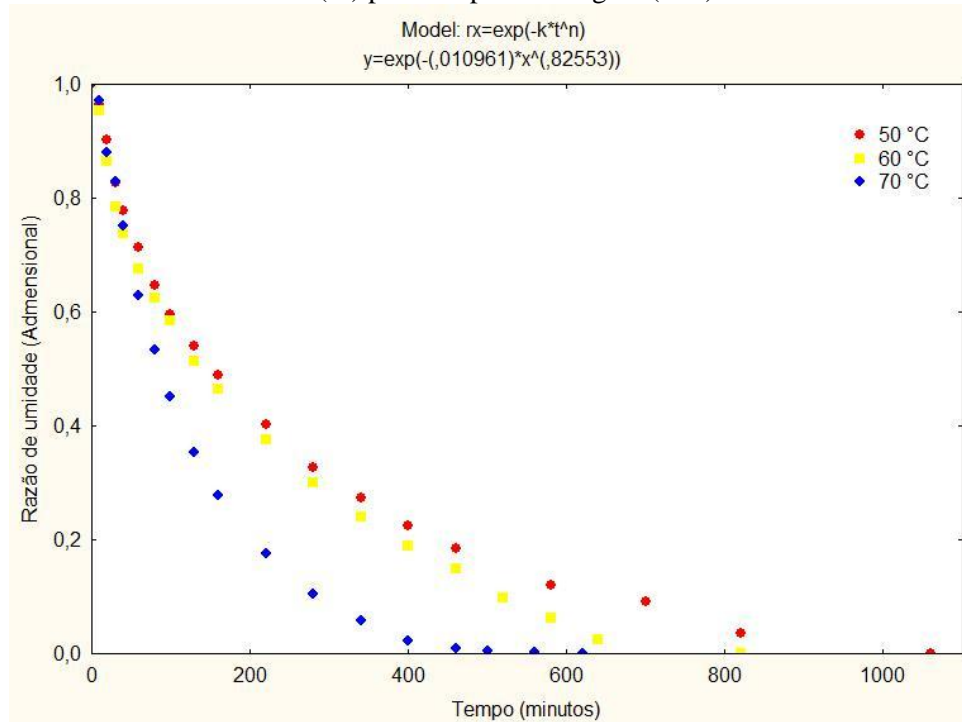
RU: razão de umidade do produto, adimensional; t: tempo de secagem, h; k: coeficiente de secagem; a, b: constantes dos modelos.

Para a aplicação dos modelos matemáticos dos dados experimentais foi utilizado o programa computacional Statistica 7.0 por meio de análises de regressão não linear. O ajuste de cada modelo foi avaliado quanto ao coeficiente de determinação (R^2) e Desvio Quadrado Médio (DQM).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o comportamento da cinética de secagem da banana nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Pode-se observar na Figura 2, que para a maior temperatura (70°C) a razão de umidade atingiu valores menores que 0,2 entre 200 e 300 minutos. Já as temperaturas de 50 e 60°C atingiram essa razão de umidade entre 400 e 500 minutos.

Figura 2. Gráfico da razão de umidade (ru) pelo tempo de secagem (min).



O comportamento percebido na Figura 2 é semelhante ao comportamento observado em outros estudos. Leite et al. (2015) constataram que o aumento da temperatura durante a secagem de fatias de banana provocou um aumento no fornecimento de energia em forma de calor que diminuiu o tempo para o material atingir o equilíbrio dinâmico. Silva et al. (2015) observaram que a temperatura de 78°C reduziu o tempo de secagem de banana prata.

Na Tabela 2 encontram-se os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e o Desvio Quadrado Médio (DQM) calculados para verificação do ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem da banana nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Observou-se que a maioria dos modelos apresentaram coeficientes de determinação (R^2) bem próximos a 99,00, mas nem todos apresentaram DQM igual a 0,01.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste da cinética de secagem da banana, coeficientes de determinação (R^2) e Desvio Quadrático Médio (DQM) para as temperaturas de 50, 60 e 70°C

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros		R^2	DQM
		K	n		
Page	50	0,010961	0,825530	0,99729	0,0151
	60	0,012003	0,830348	0,99360	0,0231
	70	0,004992	1,094940	0,99902	0,0100
	Temperatura (°C)	K		R^2	DQM
Newton	50	0,004313		0,98525	0,0352

	60	0,004883	0,98176	0,0390
	70	0,007824	0,99733	0,0165
	Temperatura (°C)	A	K	R²
Henderson & Pabis	50	0,948852	0,003951	0,99082
	60	0,934954	0,004398	0,99038
	70	1,034521	0,008212	0,99880
	Temperatura (°C)	a	b	R²
Thompson	50	-11,9550	0,262945	0,99593
	60	-13,0686	0,288870	0,98993
	70	-4436,73	5,892363	0,99733

Os modelos matemáticos de Page e o de Henderson e Pabis apresentaram $R^2 > 0,99$ para os três tratamentos térmicos. Considerando os valores do Desvio Quadrático Médio o modelo de Page obteve os menores valores, próximos de 0,01, sendo o modelo que mais se ajustou aos dados experimentais indicando uma representação satisfatória do processo de secagem.

O modelo de Thompson apresentou ajuste satisfatório para as temperaturas de 50 e 70° C, com $R^2 > 0,99$ e DQM próximo de 0,01. Apenas para o tratamento de 60° C que este modelo não foi adequado, apresentando valor inferior a 0,99 para R^2 e DQM maior que 0,02.

O modelo de Henderson e Pabis apresentou valores de DQM um pouco maiores em relação aos demais modelos, sendo superior a 0,02 para as temperaturas de 50 e 60° C. Apesar do modelo de Henderson e Pabis ter apresentado altos valores de R^2 , os valores observados no DQM tornam este modelo não satisfatório para o ajuste dos valores experimentais nas temperaturas de 50 e 60° C.

O modelo de Newton apresentou $R^2 > 0,99$ e DQM próximo a 0,01 apenas para o tratamento de 70° C. Para os tratamentos de 50 e 60° C o modelo de Newton não foi satisfatório, apresentou valores de R^2 inferiores a 0,99 e DQM maiores que 0,03.

A temperatura de 70°C foi a que apresentou os menores valores de Desvio Quadrático Médio em todos os modelos testados, assim como os maiores valores de R^2 ($R^2 > 0,99$).

O parâmetro k em Page aumentou de 50 para 60° C, mas diminuiu na temperatura de 70°C e o parâmetro a aumentou conforme a temperatura. Para os modelos de Newton e Henderson e Pabis o k aumentou conforme o aumento de temperatura. A constante a do modelo de Henderson e Pabis e a constante b do modelo de Thompson aumentaram com o aumento da temperatura.

CONCLUSÃO

O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de Page. Obtendo valores de $R^2 > 0,99$ e Desvio Quadrático Médio próximo a 0,01 para as três temperaturas, 50, 60 e 70° C, sendo este o modelo selecionado para descrever a cinética de secagem da banana.

O aumento da temperatura influenciou diretamente no tempo de secagem da banana. A temperatura de 70°C obteve o menor tempo para que fosse atingido o equilíbrio higroscópico na banana, 500 minutos. Desta forma o aumento da temperatura em processos de secagem pode acelerar a obtenção do material desidratado, reduzindo o tempo de secagem.

REFERÊNCIAS

- Amorim, T. P. Avaliação físico-química de polpa e de casca de banana in natura e desidratada. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Nutrição). Faculdade de Medicina. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.
- Brasil. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 4 ed., v.1, 2008. 1020p.
- Leite, A. L. M. P.; Silva, F. S.; Porto, A. G.; Piasson, D.; Santos, F. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. *Pesq. Agropec. Trop*, v. 45, n.2, p.155-162. 2015.

- Ribeiro, T. D.; Mattos, R. W. P.; Muniz, J. A.; Borges, S. V. Descrição da cinética de secagem de frutos de banana Prata e D'Água por modelos de regressão linear. *Revista da Estatística UFOP*, v.3, p.333-337. 2014.
- Sarmento, J. D. A.; Morais, P. L. G.; Almeida, M. L. B.; Silva, G. G.; Rocha, R. H. C.; Miranda, M. R. A. Qualidade pós-colheita da banana "Prata Catarina" submetidas a diferentes danos mecânicos e armazenamento refrigerado. *Ciência Rural*, v.45, n.11, p.1946-1952. 2015.
- Silva, J. A; Baia, R. T.; Rodrigues, W. L. Cinética e modelagem da secagem de banana prata em soprador de leito fluidizado tipo túnel precedida de desidratação osmótica. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2015. Campinas. Anais... Campinas. 2015.