

**Estudo teórico e experimental da secagem de banana inteira em estufa**  
**Theoretical and experimental study of the drying of whole banana in oven**  
**Estudio teórico y experimental del secado de plátano entero en horno**

Recebido: 11/11/2020 | Revisado: 18/11/2020 | Aceito: 21/11/2020 | Publicado: 26/11/2020

**Raimundo Pereira de Farias**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0651-8006>

Universidade Estadual da Paraíba, Brasil

E-mail: [rp.eng.tec@gmail.com](mailto:rp.eng.tec@gmail.com)

**Wilton Pereira Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-6023>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [wiltonps@uol.com.br](mailto:wiltonps@uol.com.br)

**Hortência Luma Fernandes Magalhães**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7849-2792>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [hortencia.luma@gmail.com](mailto:hortencia.luma@gmail.com)

**Wanderson Magno Paiva Barbosa de Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4067-2691>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [wan\\_magno@hotmail.com](mailto:wan_magno@hotmail.com)

**Ricardo Soares Gomez**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4387-4600>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [ricardosoaresgomez@gmail.com](mailto:ricardosoaresgomez@gmail.com)

**Elisiane Santana de Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3004-8841>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [limaelisianelima@hotmail.com](mailto:limaelisianelima@hotmail.com)

**Stephane Katherine Barbosa Moura da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7187-419X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [katherine.b.moura@gmail.com](mailto:katherine.b.moura@gmail.com)

**Antonio Gilson Barbosa de Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1691-1872>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [antonio.gilson@ufcg.edu.br](mailto:antonio.gilson@ufcg.edu.br)

## **Resumo**

Bananas frescas são frutas com elevado teor de umidade após a colheita, e são submetidas ao processo de secagem para minimizar desperdício e a deterioração, e aumentar a vida de prateleira. Este trabalho apresenta um estudo de secagem de banana em estufa. As bananas inteiras foram descascadas manualmente e secas nas temperaturas de 50 e 60°C. Modelos concentrados de transferência de calor e massa e variações do volume da banana foram propostos e ajustados aos dados experimentais apresentando uma boa concordância. Os resultados revelaram que a temperatura do ar de secagem e a relação área/volume afetam significativamente a secagem, aquecimento e encolhimento da banana.

**Palavras-chave:** Calor; Massa; Experimental; Modelos concentrados.

## **Abstract**

Fresh bananas are fruits with high moisture content after harvest, and are subjected to the drying process to minimize waste and deterioration, and increase shelf life. This work presents a study of drying bananas in an oven. The whole bananas were manually peeled and dried at temperatures of 50 and 60°C. Lumped models of heat and mass transfer and volume variations of the banana were proposed and fitted to experimental data showing good agreement. The results revealed that the drying-air temperature and the area / volume ratio significantly affect the drying, heating and shrinkage of the banana.

**Keywords:** Heat; Mass; Experimental; Lumped models.

## **Resumen**

Los plátanos frescos son frutas con un alto contenido de humedad después de la cosecha y se someten al proceso de secado para minimizar el desperdicio y el deterioro, y para aumentar la vida útil. Este trabajo presenta un estudio sobre el secado de bananos en un horno. Los plátanos enteros se pelaron y secaron manualmente a temperaturas de 50 y 60°C. Se propusieron modelos concentrados de transferencia de calor y masa y variaciones en el volumen del banano y se ajustaron a los datos experimentales que muestran una buena concordancia. Los resultados revelaron que la temperatura del aire de secado y la relación

área / volumen afectan significativamente el secado, calentamiento y encogimiento del banano.

**Palabras clave:** Calor; Masa; Experimental; Modelos concentrados.

## 1. Introdução

A banana é considerada mundialmente um importante alimento, em função dos benefícios que ela pode oferecer. Esta fruta é rica em vitaminas e em minerais, principalmente o potássio. Destaca-se, dentre as frutas tropicais, como a mais consumida no mundo, e isso se dá pela sua versatilidade em modo de consumo (processada, frita, cozida e, principalmente, in natura) como também pelo seu valor nutritivo.

A banana apresenta outras características, além das citadas anteriormente, que motivam o consumo, como a qualidade, o sabor, o aroma agradável e as condições higiênicas que facilitam seu consumo in natura.

Sob o ponto de vista da saúde humana, a banana é uma fruta de elevado valor nutricional. É boa fonte de energia, possuindo alto teor de carboidrato-amido e açúcares. Contêm ainda teores consideráveis de vitamina A, B<sub>1</sub> (tiamina), B<sub>2</sub> (riboflavina), C e de sais minerais, como: potássio, fósforo, cálcio, sódio e magnésio, além de outros em menor quantidade (Lima et al., 2014; Kumar et al., 2019; Yang et al., 2020).

A inclusão da banana na dieta habitual dos adultos e idosos está sendo recomendada por médicos e nutricionistas. Uma banana média, de 115 g, fornece um terço do potássio diário recomendado para as necessidades de uma pessoa. Cada banana contém cerca de 100 calorias, sendo, por isso, um dos alimentos favoritos dos atletas, que a consideram um anabolizante natural.

A ingestão de banana na dieta habitual reduz o risco de derrame e doenças relacionadas à pressão sanguínea, sua ausência pode provocar insônia, fraqueza e irritabilidade, regula o nível de glicose no sangue, o que também repercute no estado de ânimo das pessoas, não produz colesterol nem causa obesidade, reduz o risco de ataques cardíacos e contribui para reforçar a massa muscular e a energia (Kumar et al., 2019; Yang et al., 2020).

Sob o ponto de vista tecnológico e comercial, devido à grande variedade de vitaminas e nutrientes, o aproveitamento para consumo in natura e industrial tem sido elevado. O processamento de bananas para obtenção de produtos elaborados tem sido direcionado para farinha de banana verde, farinha ou pó de banana verde e madura, cremes, flocos, passas,

purês, néctares, geleias, bananadas, balas, vinagres, vinhos, bananas-passa, licores, sucos, bolos, tortas e banana ao rum. Da planta e dos restos dos cachos obtêm-se ainda fibra para fabricação de sacos para cereais, palmito em salmoura, torta da casca de banana, torta de engajo e torta de “coração”. Os restos da banana e dos cachos também têm sido usados na alimentação animal (Tanada, 1996).

As frutas e vegetais, incluindo a banana, caracterizam-se pelo seu alto teor inicial de umidade, sendo considerados produtos altamente perecíveis, com perdas bastante consideráveis, variando de 25 a 50%. Portanto, o processo de secagem implica em considerável redução de custo na manipulação do produto, além de proporcionar efetivo prolongamento na sua vida útil. A remoção de umidade provoca a diminuição da atividade de água do produto, inibindo o desenvolvimento de microrganismos e retardando a deterioração de origem físico-química.

A industrialização é, sem dúvida, uma excelente alternativa para o aproveitamento integral da banana. Dentre os processos de aproveitamento industrial da banana, existe a produção de banana-passa. Esse processo requer baixo custo de investimento inicial e perspectiva de lucratividade, compatíveis com o investimento. O mercado interno está em expansão e o mercado externo continua praticamente inexplorado pelo Brasil.

A banana-passa é obtida mediante a secagem natural ou artificial da fruta madura, sendo geralmente utilizadas para sua produção as banana-nanica e a banana nanicão. A banana-passa caracterizando-se por seu elevado teor de açúcares e com umidade entre 20 e 25% da umidade inicial da fruta.

A secagem de fruta ainda é considerada uma operação complexa e pouco compreendida, principalmente, no que se refere à seleção e controle das condições do processo para a manutenção da qualidade final do produto. A exigência dos consumidores tem aumentado e produtos que preservam ao máximo as suas características originais ganham a preferência do consumidor. Em nível industrial, isto significa o desenvolvimento de operações que minimizem os efeitos adversos do processo de secagem.

Devido a sua importância, diversos trabalhos teóricos e experimentais relacionados a secagem de banana tem sido reportados na literatura (Farias et al., 2020; Souza et al., 2019; Lima et al., 2014; Jiang et al., 2010; Silva, 2010; Mariani et al., 2008; Fernandes e Rodrigues, 2007; Karim & Hawlader, 2005; Talla et al., 2004; Lima et al., 2002; Queiroz, 1994).

Diante do exposto, em complemento as pesquisas reportadas na literatura, este trabalho tem como objetivo estudar teórica e experimentalmente a secagem de bananas inteiras em estufa com circulação forçada de ar.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Experimental**

#### **2.1.1 Material e equipamentos**

A matéria-prima investigada neste trabalho é a banana prata oriunda do mercado da cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil. Para a determinação dos parâmetros de secagem os seguintes equipamentos foram utilizados:

- a) Paquímetro digital da marca Messen com precisão de 0,01 mm;
- b) Balança digital KC-01 com divisão de 1 grama;
- c) Termômetro de infravermelho com escala de -50 à 1000°C TI 890;
- d) Termohigrômetro de fabricação da ICEL, mod. HT 208;
- f) Estufa com circulação mecânica de fabricação da FANEM mod. 320E com controlador digital de temperatura;
- g) Anemômetro de palhetas com leitura digital modelo AMI 300, Instrutemp com precisão de leitura de  $\pm 2\%$ .

#### **2.1.2 Procedimentos experimentais**

No início, as bananas foram selecionadas com relação ao tamanho, a qualidade e grau de amadurecimento (casca amarela com pinta preta em quantidade mínima) e descascadas manualmente. Em seguida foram medidas as dimensões, a massa, a temperatura da superfície de cada amostra, como também a temperatura e umidade relativa do ar ambiente.

Após os procedimentos iniciais, as amostras foram levadas ao interior da estufa onde foram secadas em temperaturas controladas (50 e 60°C). Em intervalos pré-definidos (de 5 em 5, de 10 em 10, de 30 em 30 e de 60 em 60 minutos), as amostras foram retiradas da estufa, com a finalidade de serem feitas as medições da temperatura, massa e dimensões das mesmas. Quando as massas das amostras atingiram o nível de umidade próximo da umidade de equilíbrio, encerraram-se as medições e em seguida, mantiveram-se as amostras no interior da estufa nas mesmas condições de secagem por um período de 24 horas para obtenção da massa de equilíbrio. Na sequência, mudou-se a temperatura no interior da estufa para 70°C e mantiveram-se as amostras no interior da mesma por mais um período de 24 horas para a obtenção da massa do produto seco.

As amostras foram dispostas no interior da estufa da seguinte forma: uma amostra piloto colocada em uma pequena tela de arame fino e 6 amostras em uma tela grande de arame fino com lugares identificados para cada amostra. No final de cada período de secagem (5, 10, 30 e 60 minutos) foram feitas as medições de massa, temperatura e dimensões só na amostra piloto e no final de cada etapa de secagem foram feitas as medições da temperatura, massa e dimensões em todas as amostras (terminando a secagem mínima, após 24 horas e após 48 horas, fotografias das amostras foram feitas em tempos de processo prefixados).

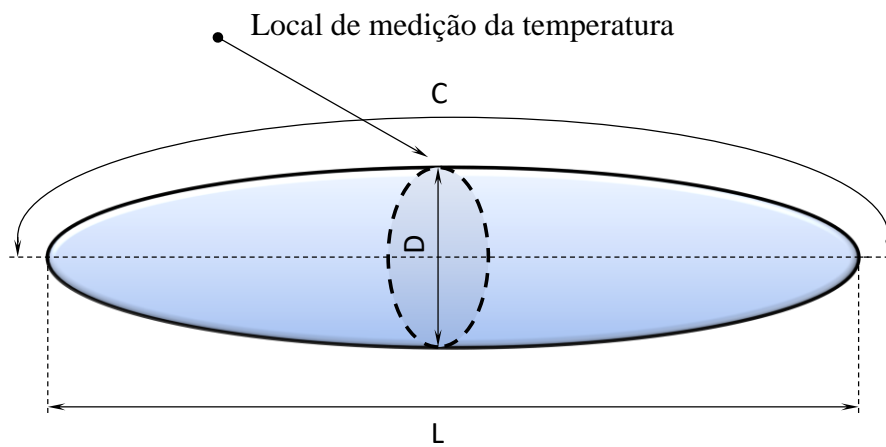
A Figura 1 ilustra a banana inteira utilizada nos experimentos. A Figura 2 ilustra esquematicamente as amostras utilizadas, bem como as posições onde foram obtidas as medidas do comprimento (C), da largura (L), diâmetro (D), e da temperatura na superfície da banana.

**Figura 1.** Amostra de banana inteira utilizada nos experimentos.



Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 2.** Modelo das amostras de banana mostrando o comprimento (C), a largura/altura (L), diâmetro (D) e local da medição da temperatura da banana.



Fonte: Dados da pesquisa.

## 2.2 Teórica

### 2.2.1 Parâmetros auxiliares e dados de secagem

Após a secagem de todas as amostras, a partir das dimensões e massa das bananas, foram feitos alguns cálculos auxiliares para determinação de novos parâmetros de processo, os quais serão descritos a seguir.

#### a) Massa de água

O cálculo da quantidade de água em cada banana ( $m_a$ ), em cada tempo de medição, foi feito com base no valor da massa da banana ( $m$ ) e na massa da banana seca ( $m_s$ ), da seguinte forma:

$$m_a = m_o - m_s \quad (1)$$

#### b) Teor de umidade em base úmida

O cálculo do teor de umidade de cada amostra ( $M$ ), em cada tempo de medição, foi feito com base no valor da massa de água da banana ( $m_a$ ) e na massa da banana úmida ( $m=m_a+m_s$ ), da seguinte forma:

$$M = m_a / (m_a + m_s) \quad (2)$$

c) Teor de umidade em base seca

O cálculo do teor de umidade de cada amostra ( $M$ ), em cada tempo de medição, foi feito com base no valor da massa de água da banana ( $m_a$ ) e na massa da banana seca ( $m_s$ ), da seguinte forma:

$$M = m_a / m_s \quad (3)$$

d) Teor de umidade adimensional

O cálculo do teor de umidade adimensional de cada amostra ( $M^*$ ), em cada tempo de medição, foi feito com base no valor do teor de umidade ( $M$ ), do teor de umidade inicial ( $M_o$ ) e do teor de umidade de equilíbrio ( $M_e$ ) em base seca, da seguinte forma:

$$\bar{M}^* = \overline{(M - M_o) / (M_o - M_e)} \quad (4)$$

e) Temperatura adimensional

O cálculo da temperatura adimensional de cada amostra ( $\theta^*$ ), em cada tempo de medição, foi feito com base na temperatura da superfície da banana ( $\theta$ ), da temperatura inicial ( $\theta_o$ ) e da temperatura de equilíbrio ( $\theta_e$ ), da seguinte forma:

$$\theta^* = (\theta - \theta_e) / (\theta_o - \theta_e) \quad (5)$$

f) Volume e área superficial da banana

Os cálculos do volume ( $V$ ) e da área superficial da banana ( $S$ ) (considerada com um esferóide prolato em cada tempo de medição) foram feitos com base no valor das suas dimensões, largura ( $L$ ) e diâmetro ( $D$ ) usando as seguintes equações:



$$V = \frac{4}{3} \pi \left( \frac{L}{2} \right)_t \left( \frac{D}{2} \right)_t^2 \quad (6)$$

$$S = \frac{1}{2} \pi (D)_t (L)_t \left\{ \frac{(D)_t}{(L)_t} + \frac{\arcsen \left[ \sqrt{1 - \left( \frac{(D)_t}{(L)_t} \right)^2} \right]}{\sqrt{1 - \left( \frac{(D)_t}{(L)_t} \right)^2}} \right\} \quad (7)$$

Na Tabela 1 estão listados os dados da banana e do ar de secagem para cada experimento.

**Tabela 1.** Parâmetros experimentais do ar e da banana inteira para cada teste de secagem realizado.

Ar			Banana inteira								t (min)
T (°C)	UR (%)	v (m/s)	C (mm)	L (mm)	D (mm)	M <sub>o</sub> (d.b.)	M <sub>f</sub> (b.s.)	M <sub>e</sub> (b.s.)	θ <sub>o</sub> (°C)	θ <sub>f</sub> (°C)	
50	17,32	0,05	110	97,6	26,72	2,3669	0,1713	0,0672	27,2	49,2	1770
60	10,15	0,06	136	122,39	31,42	2,3752	0,1615	0,0452	27,3	59,2	1475

Fonte: Dados da pesquisa.

## 2.3 Modelos empíricos de secagem

### 2.3.1 Perda de umidade da banana

Para descrever a perda de umidade da banana ao longo do processo, propõe-se um ajuste dos dados experimentais do teor de umidade a uma equação exponencial com 3 termos e 6 parâmetros, como segue:

$$\bar{M}^* = A_1 \exp(-k_1 t) + A_2 \exp(-k_2 t) + A_3 \exp(-k_3 t) \quad (8)$$

onde A e K são parâmetros a serem definidos e t é dado em minutos. A estimação não-linear dos parâmetros da Equação 8 foi realizada utilizando o Software Statistica<sup>®</sup> e o método numérico de Hooke-Jeeves, para todos os testes, com critério de convergência de 0,0001. A

escolha da forma desta equação foi baseada nos trabalhos de Lima (1999) onde verificaram que equações exponenciais com maior número de termos se ajustam muito bem aos dados experimentais.

### 2.3.2 Aquecimento da banana

Para prever a temperatura da banana durante o processo de secagem, propõe-se uma equação parabólica a quatro parâmetros, para a temperatura na superfície da banana em função do tempo de secagem, como segue:

$$\theta^* = B_1 + B_2 \log_{10}(t^{k_4} + B_3) \quad (9)$$

onde  $t$  é dado em minutos. Para os testes usou-se o método de estimação de Hooke-Jeeves, para todos os testes, com critério de convergência de 0,0001. A opção de modificar a equação proposta por Azzouz et al. (1996) e Pérez (1998), se deu em decorrência do melhor ajuste da Equação 9 aos dados experimentais, em comparação ao obtido com a equação proposta pelos autores referenciados, particularmente, para os tempos iniciais e finais de secagem.

### 2.3.3 Variação volumétrica da banana

Baseando-se nos trabalhos de Keey (1992), Queiroz (1994) e Lima (1999), propôs-se a seguinte equação para a determinação do volume da banana em qualquer instante de processo:

$$\frac{V}{V_o} = 1 - k_s(\bar{M}_o - \bar{M}) \quad (10)$$

Para a regressão não-linear usou-se o método de estimação de Hooke-Jeeves, para todos os testes, com critério de convergência de 0,0001.

## 3. Resultados e Discussão

Modelos matemáticos são usados para descrever as características cinéticas do processo de secagem, visando melhorar, projetar e controlar os sistemas de secagem. Nesta pesquisa,

modelos baseados na análise concentrada foram usadas para prever a perda de água das bananas. A Tabela 2 reporta os parâmetros da Equação (8) obtidos após ajuste com os dados experimentais, para cada condição de secagem.

**Tabela 2.** Parâmetros da Equação (8) obtidos após ajuste aos dados experimentais do teor de umidade da banana inteira.

T (°C)	Parâmetros						R	Função de perda (obs-pred) <sup>2</sup>
	A <sub>1</sub>	k <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	k <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	k <sub>3</sub>		
50	0,112857	0,009172	0,148892	0,000889	0,740397	0,001742	0,99988	0,001277152
60	0,339489	0,001136	0,340698	0,004919	0,340448	0,004770	0,99899	0,010271035

Fonte: Dados da pesquisa.

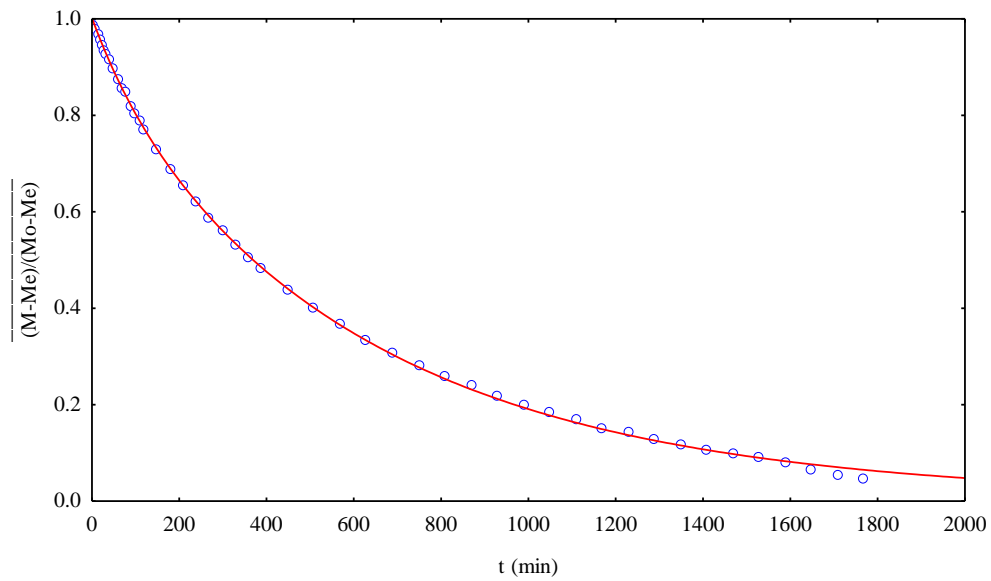
As Figuras 3 e 4 ilustram as curvas de ajuste do teor de umidade versus tempo de secagem. É evidenciada nas tabelas e nos gráficos apresentados, uma excelente concordância entre os valores preditos e experimentais, caracterizados por coeficientes de correlação próximos de 1,0.

Pode-se observar nos gráficos, que o nível de temperatura exerce grande influência na secagem do produto. A secagem com temperatura constante a 60°C leva o produto a perder umidade bem mais rápido que a 50°C, tendendo a atingir um teor de umidade de equilíbrio em um tempo bem menor. Observe que, devido aos resultados do teor de umidade estar plotado na forma adimensional, estes são independentes do teor de umidade inicial e de equilíbrio da banana em cada condição experimental.

A Tabela 3 reporta os parâmetros da Equação (9) obtidos após ajuste com os dados experimentais, para cada condição de secagem. As Figuras 5 e 6 ilustram as curvas de ajuste da temperatura na superfície da banana versus tempo de secagem. É evidenciada, nas tabelas e nos gráficos apresentados, uma boa concordância entre os valores preditos e experimentais, caracterizados por coeficientes de correlação maiores que 0,92.

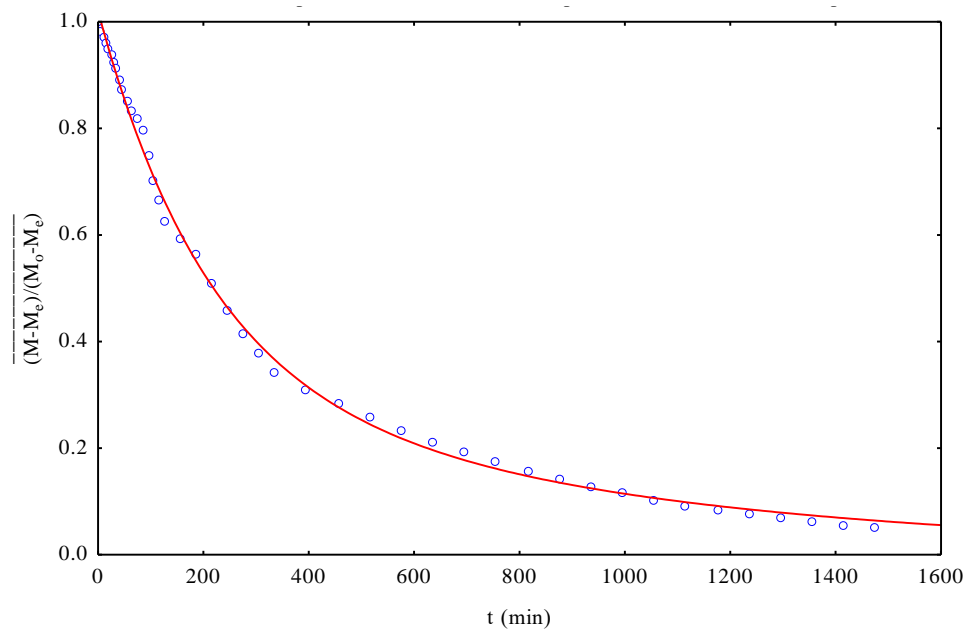
Verifica-se que num primeiro estágio de secagem, as taxas de variação de temperatura são mais pronunciadas nas primeiras horas de secagem, em comparação com as taxas de variação do teor de umidade. Posteriormente, num segundo estágio, aproximadamente após 5 h de secagem, ocorre a inversão de tendências, passando a serem mais elevadas às taxas de variação do teor de umidade. Por fim, num terceiro e último estágio, ambas as taxas são pequenas, diminuindo à medida que o ponto de equilíbrio se aproxima.

**Figura 3.** Teores de umidade médios experimental (  $\circ$  ) e predito ( — ) da banana inteira para o experimento realizado na temperatura de 50°C.



Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 4.** Teores de umidade médios experimental (  $\circ$  ) e predito ( — ) da banana inteira para o experimento realizado na temperatura de 60°C.



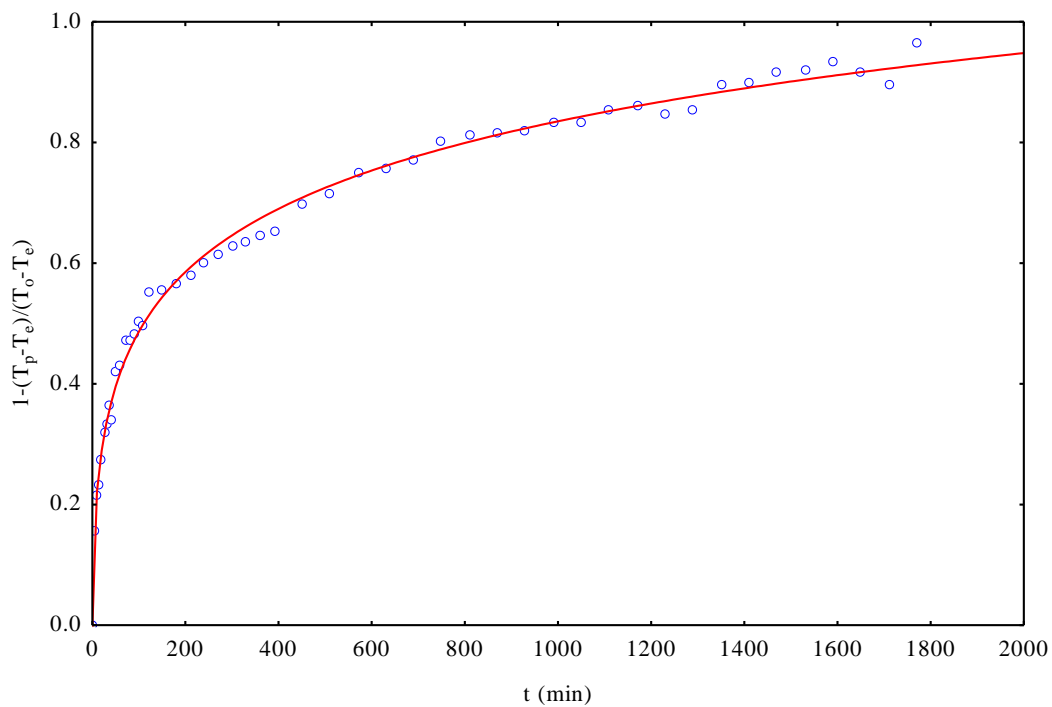
Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 3.** Parâmetros da Equação (9) obtidos após ajuste aos dados experimentais da temperatura superficial da banana inteira.

T (°C)	Parâmetros				R	Função de perda (obs-pred) <sup>2</sup>
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>		
50	-0,377379	0,705872	3,384060	0,562854	0,99726	0,015139498
60	0,217534	0,231436	0,112654	0,979766	0,97340	0,084209603

Fonte: Dados da pesquisa.

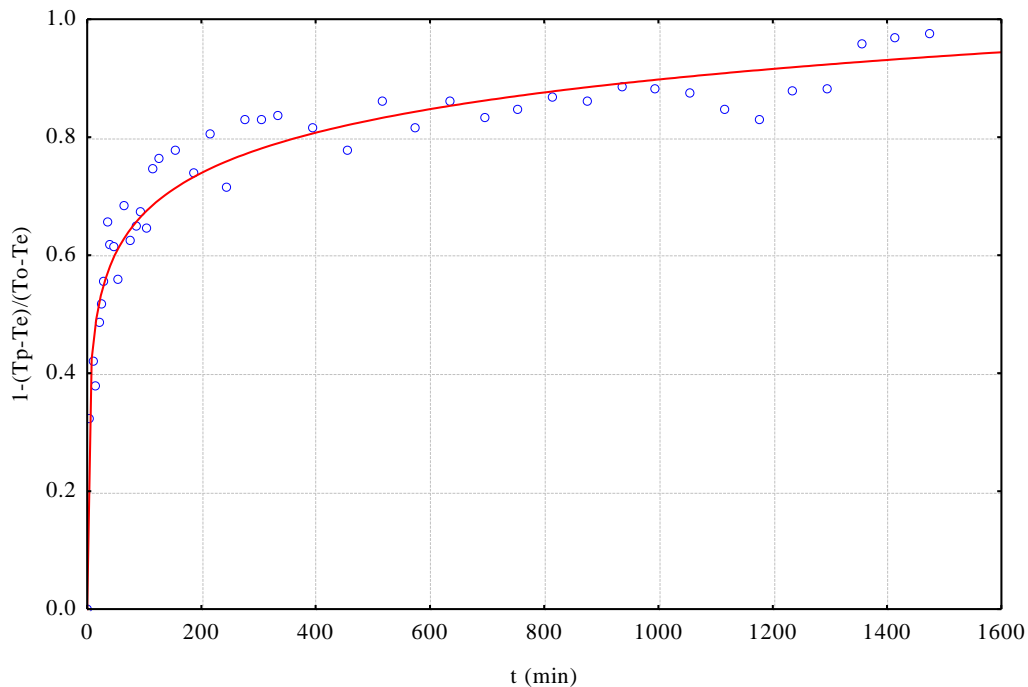
**Figura 5.** Temperatura na superfície da banana inteira, experimental ( ooo ) e predita ( — ), para o experimento realizado na temperatura de 50°C.



Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando conjuntamente as Figuras 3 a 6 pode-se afirmar que a secagem da banana ocorre a uma taxa decrescente, em concordância com resultados da literatura (Karim & Hawlader, 2005; Lima et al., 2014). Durante todo o período de taxa constante de secagem, a temperatura do produto permanece constante, principalmente nos períodos iniciais de secagem, onde a perda de água é mais acentuada. Isto não foi verificado nos experimentos realizados nesta pesquisa.

**Figura 6.** Temperatura na superfície da banana inteira, experimental ( ooo ) e predito ( — ), para o experimento realizado na temperatura de 60°C.



Fonte: Dados da pesquisa.

As Figuras 7 e 8 ilustram as curvas de ajuste da variação volumétrica da banana versus teor de umidade em base seca. A Tabela 4 apresenta os parâmetros da equação (10) onde se verifica que um bom ajuste foi obtido, caracterizado por coeficientes de correlação próximos de 1,0.

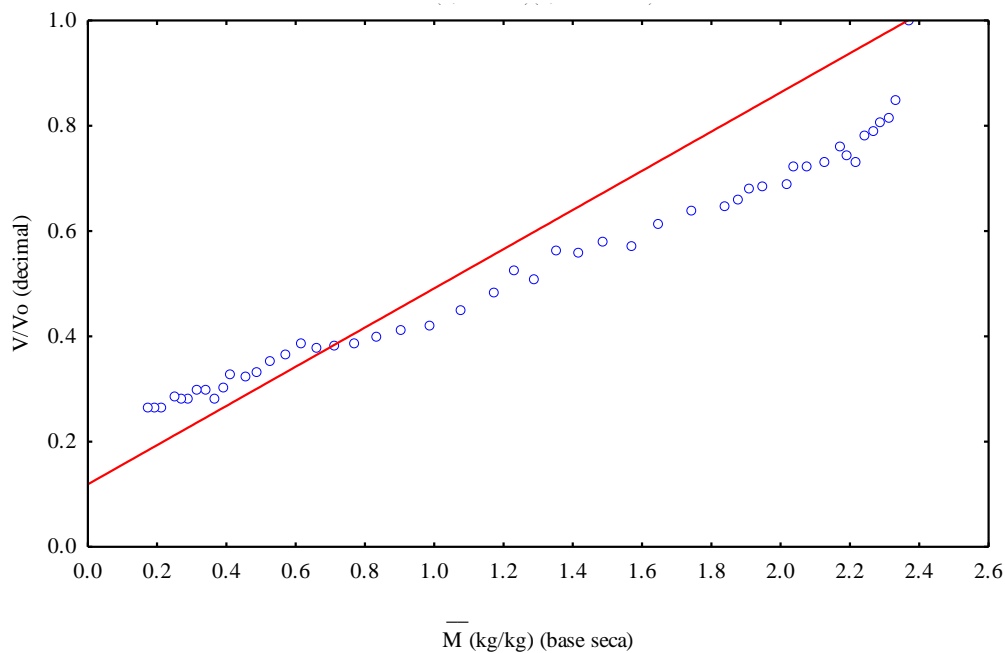
Nota-se, que para todas as temperaturas de secagem, no início do processo há uma grande remoção de umidade. Assim, as dimensões da fruta mudam desde uma velocidade de encolhimento alta até tender a zero. Porém, comparando os gráficos, observa-se que, para a temperatura de secagem de 50°C, a variação do volume da banana ocorre de forma mais uniforme, devido ao fato da retirada de água ser mais lenta, promovendo a secagem e aquecimento mais demorado. Já para temperaturas elevadas como, por exemplo, 60°C, logo no início do processo há uma grande perda de água da banana, causando assim, redução brusca no seu volume. Observa-se ainda uma tendência linear do volume com o teor de umidade, indicando que a redução de volume da banana se iguala a quantidade de água removida.

**Tabela 4.** Parâmetros da Equação (10) obtidos após ajuste aos dados experimentais da temperatura superficial da banana inteira.

T (°C)	Parâmetro	R	Função de perda (obs-pred) <sup>2</sup>
	k <sub>5</sub>		
50	0,372281	0,83065	0,597055415
60	0,327661	0,94535	0,208851842

Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 7.** Volume adimensional da banana inteira, experimental (ooo) e predito (—), para o experimento realizado na temperatura de 50°C.



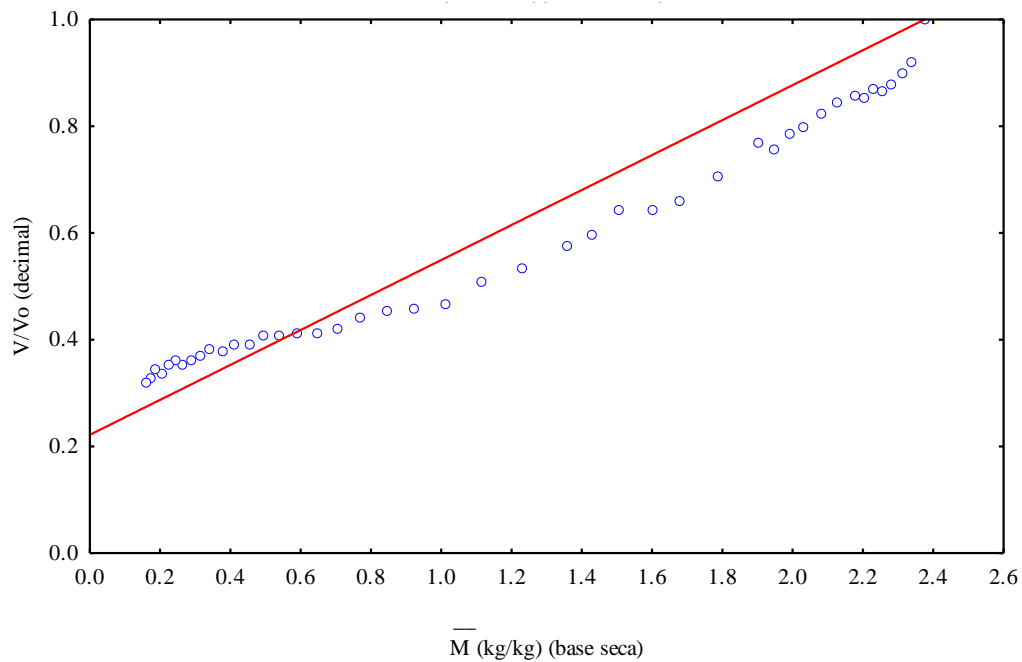
Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores das condições iniciais e finais da área superficial, volume e comprimento da banana, são apresentados na Tabela 5, para cada teste experimental. A Tabela 6 apresenta as relações dimensionais de comprimento, área superficial e volume, para cada teste de secagem, bem como o tempo total de cada experimento.

Pela análise da Tabela 6 pode ser visto que a razão entre os diâmetros final e inicial foi menor que a relação de comprimento da banana. Isto implica dizer que a umidade naquela direção difunde mais rapidamente que na outra devido ao efeito geométrico. Assim, é de se

esperar que o coeficiente de difusão na direção radial decresce mais que na direção axial. Isto caracteriza um encolhimento não homogêneo.

**Figura 8.** Volume adimensional da banana inteira, experimental (ooo) e predito (—), para o experimento realizado na temperatura de 60°C.



Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 5.** Dados dimensionais da banana inteira no início e final da secagem.

T (°C)	Início				Final			
	D (mm)	L (mm)	V (mm <sup>3</sup> )	S (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	V (mm <sup>3</sup> )	S (mm <sup>2</sup> )
50	26,72	97,60	36485,55	6630,63	15,26	79,40	9681,17	3037,12
60	31,42	122,39	63263,99	9745,45	18,86	109,13	20324,78	5144,56

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 6.** Dados de encolhimento relativo durante a secagem de banana inteira.

T (°C)	t (min)	$D_f/D_o$	$L_f/L_o$	$S_f/S_o$	$V_f/V_o$	$M_o$ (b.u.)	$S_o/V_o$
50	1770	0,5711	0,8135	0,4580	0,2634	0,7030	0,1817
60	1475	0,6002	0,8916	0,5279	0,3213	0,7039	0,1540

Fonte: Dados da pesquisa.



De acordo com Ramos et al. (2003), a perda de água e voláteis, que ocorre durante a secagem, resulta em maior variação estrutural nos materiais que levam as características sensoriais e de textura diferentes do produto fresco. O endurecimento da superfície da banana foi visualmente verificado durante e após os experimentos.

Tendo em vista a importância do tema, para o mundo, os autores sugerem que novas pesquisas de secagem de banana sejam realizadas em outras condições experimentais do ar (secagem convectiva) em fornos tipo túnel, fornos de micro-ondas, desidratação osmótica, e híbrida (combinação entre estas técnicas), com vistas a ampliar os conhecimentos sobre este processo e seus efeitos na qualidade e custo final da banana-passa.

#### **4. Considerações Finais**

Em função do trabalho realizado nesta pesquisa, pode-se concluir que a secagem de banana ocorre em um período de taxa decrescente, independente da temperatura do ar de secagem e para umidade relativa do ar de secagem menor que 100%. Observou-se que a temperatura do ar de secagem tem forte efeito na cinética de secagem, quanto maior a temperatura mais rápida ocorre à secagem. Além disso, verificou-se que quanto maior a relação área/volume, mais rápido ocorre à secagem, fixado as demais condições experimentais para umidade relativa do ar de secagem menor que 100%. Constatou-se também, que o encolhimento volumétrico da banana apresenta uma tendência de decréscimo linear com a perda de água do produto, e os modelos empíricos de secagem, aquecimento e variações dimensionais da banana propostos, adequaram-se muito bem aos dados experimentais, em todas as condições experimentais.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq, a CAPES e a FINEP pelo apoio financeiro, e aos pesquisadores citados no texto que, com suas pesquisas ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

- Azzouz, S., Guizani, A., Belguith, A. (1996). *Experimental analysis of heat and mass transfer during grape air drying*. In: International drying Symposium (IDS'96), Krakow. Proceedings, B, 881-887. Recuperado de <https://wp.wpi.edu/ids2021/>
- Farias, R. P., Gomez, R. S., Silva, W. P., Silva, L. P. L., Oliveira Neto, G. L., Santos, I. B., Carmo, J. E. F., Nascimento, J. J. S., Lima, A. G. B. (2020) Heat and Mass Transfer, and Volume Variations in Banana Slices during Convective Hot Air Drying: An Experimental Analysis. *Agriculture*, 10 (10), 1-14. doi:10.3390/pr8030307
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S. (2007) Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*. 82, 261-267. 10.1016/J.JFOODENG.2007.02.032
- Jiang, H., Zhang, M., Mjumdar, Arun. S. (2010). Microwave Freeze-Drying Characteristics of Banana Crisps. *Drying Technology*, 28, 1377-1384. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482702>
- Karim, A. M. D., Hawlader, M. N. A. (2005). Drying characteristics of banana: Theoretical modeling and experimental validation. *Journal of Food Engineering*, 70, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.010>
- Keey, R. B. (1992). *Drying of loose and particulate materials*. New York: Hemisphere Publishing Corporation.
- Kumar, P. S., Nambi, E., Shiva, K. N., Vaganan, M. M., Ravi, I., Jeyabaskaran, K. J., Uma, S. (2019) Thin layer drying kinetics of Banana var. Monthan (ABB): Influence of convective drying on nutritional quality, microstructure, thermal properties, color, and sensory characteristics. *J. Food Process Eng*, 42(4), 1-12. doi 10.1111/jfpe.13020.
- Lima, A. G. B. (1999). *Fenômeno de difusão em sólidos esféricos prolatos. Estudo de caso: secagem de bananas*. Tese de Doutorado, UNICAMP, São Paulo. Recuperado de <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/265133>

Lima, A. G. B., Nebra, S. A., Queiroz, M. R. (2002). Simultaneous moisture transport and shrinkage during drying of solids with ellipsoidal configuration. *Chemical Engineering Journal*, 86(1-2), 85-93. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(01\)00276-5](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(01)00276-5)

Lima, A. G. B., Farias, R. P., Silva, W. P., Farias Neto, S. R., Farias, F. P. M., Lima, W. M. P. B. (2014) *Convective Drying of Food: Foundation, Modeling and Applications In: Advanced Structured Materials*. Heidelberg (Germany): Springer International Publishing, 48, 95-115.

Mariani, V. C., Lima, A. G. B., Coelho, L. S. (2008). Apparent thermal diffusivity estimation of the banana during drying using inverse method. *Journal of Food Engineering*. 85, 569-579. 10.1016/j.jfoodeng.2007.08.018

Pérez, V. H. (1998). *Estudo do comportamento da temperatura da banana durante o processo de secagem*. Tese de doutorado, Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Recuperado de [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP\\_P\\_d20565711fd542618b8c6d3d289fae13](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_P_d20565711fd542618b8c6d3d289fae13)

Queiroz, M. R. (1994). *Estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas*. Tese de Doutorado. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Recuperado de [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP\\_44f171312a23024873e0b8efd82c52e4](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_44f171312a23024873e0b8efd82c52e4)

Ramos, I. N., Brandão, T. R. S., Silva, C. L. M. (2003). Structural changes during air drying of fruits and vegetables. *Food Science and Technology International*, 9(3), 201-206. 10.1177/1082013030335522

Silva, C. M. D. P. S. (2010). *Difusão de massa em corpos cilíndricos: modelagem, soluções analíticas e numéricas e aplicação na secagem de bananas*. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brasil.

Souza, L. F., Andrade, E. T., Rios, P. A. (2019) Determination of volumetric contraction and drying kinetics of the dried banana. *Theoretical and Applied Engineering*, 3 (1), 20-30. Doi: 10.31422/taae.v2i4.10

Talla, A., Puiggasli, J. R., Jomaa, W., Jannot, Y. (2004). Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: application to banana. *Journal of Food Engineering*, 64, 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.017>

Tanada. P. S. (1996). *Obtenção de extrato de (Musa Cavendishi) isenta de polifenol oxidase por ultra-infiltração e concentrado por osmose inversa*. Dissertação de Mestrado. Campinas. Universidade Estadual de Campinas. Recuperado de <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/254572>

Yang, H., Sombatngamwilai, T., Yu, W-Y., Kuo, M-I. (2020) Drying applications during value-added sustainable processing for selected mass-produced food coproducts. *Processes*, 8(307), 1-15. doi:10.3390/pr8030307

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Raimundo Pereira de Farias – 40%

Wilton Pereira Silva – 20%

Hortência Luma Fernandes Magalhães – 5%

Wanderson Magno Paiva Barbosa de Lima – 5%

Ricardo Soares Gomez – 5%

Elisiane Santana de Lima – 5%

Stephane Katherine Barbosa Moura da Silva – 5%

Antonio Gilson Barbosa de Lima – 15%