

# Tecnologias Sustentáveis: Desenvolvimento de um Secador Solar para Secagem de Frutas

## Sustainable Technologies: Development of a Solar Dryer for Fruit Drying

Antonio Gomes NUNES [1](#); Noemia Suely Lacerda PELLEGRINO [2](#)

Recebido: 28/06/2017 • Aprovado: 25/07/2017

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
- [2. Metodologia](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusões](#)

[Referências bibliográficas](#)

#### RESUMO:

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de secagem solar usado para desidratação de frutas. O protótipo projetado e construído trata-se de um secador solar de exposição indireta com câmara de secagem. Os testes experimentais foram realizados na UFCG, em março de 2015, na secagem de banana passa (*Musa spp.*). O foco do trabalho é o desenvolvimento de novas tecnologias apropriadas para uso na agricultura no Nordeste brasileiro, disseminando a cultura das energias renováveis e contribuindo para promoção do desenvolvimento sustentável. As temperaturas do ar de secagem na entrada, na saída e no interior do coletor solar e da câmara de secagem foram medidas por 10 termopares distribuídos de forma a obter uma melhor distribuição desta variável durante o processo de secagem. Os experimentos apresentaram significância estatística e os modelos empíricos utilizados se mostraram confiáveis e representativos, dado os valores elevados dos coeficientes de determinação que se aproximaram de 0,99. São apresentados os resultados obtidos na secagem de banana e também as características construtivas e operacionais do equipamento em desenvolvimento.

#### ABSTRACT:

This paper presents the development of a solar drying system used for dehydrating fruits. The prototype designed and built it is a solar dryer of indirect exposure with drying chamber. The Experimental tests were performed in the UFCG on March of 2015, in the banana dehydration. The focus of work is the development of new technologies appropriate for use in agriculture in the Brazilian Northeast, disseminating the culture of renewable energy and contributing to promoting sustainable development. The drying air temperature at the inlet, at the outlet and inside the solar collector and chamber drying chamber 10 were measured by thermocouples distributed in order to obtain a better distribution of this variable during the drying process. The experiments showed statistical significance, and the used empirical model proved to be reliable and representative because of the high values of the correlation coefficients that approached 0.99. In this work, we also present the constructive and operational characteristics of the equipment under development.

**Keywords** Solar Energy, Solar Dryer, Indirect Drying

# 1. Introdução

Colocar o conhecimento científico a serviço do desenvolvimento da humanidade, respeitando os recursos naturais e privilegiando a eficiência energética é a missão do engenheiro nos tempos modernos. Visando incrementar o desenvolvimento regional no setor da fruticultura, este trabalho contribui para disseminar a utilização de tecnologias sustentáveis nos processos de secagem de alimentos, viabilizando a comercialização de um produto de boa qualidade.

O Brasil tem o desafio de promover a mobilidade social e para tanto precisa incentivar seu desenvolvimento tecnológico. Ambiciona-se que esse crescimento socioeconômico ocorra em sintonia com o mundo globalizado de avançadas tecnologias, porém com ações locais que priorizem a pesquisa e o desenvolvimento de máquinas simples, de fácil construção, manutenção, operação e de baixo custo, que respondam pelas demandas típicas de nosso desenvolvimento (GRILO et al., 2009, FUDHOLI et al., 2010).

Fonte de vitaminas, minerais e fibra, as frutas exercem um papel fundamental na nutrição humana, além de representarem uma importante parcela na economia de um país. No Brasil, a base agrícola da cadeia produtiva de frutas já ultrapassou 2,2 milhões de hectares cultivados sendo responsável pela geração de cerca de cinco milhões de empregos diretos. Com um volume de 43,6 milhões de toneladas produzidas, a fruticultura atinge um valor bruto de R\$ 20 bilhões (IBRAF, 2013).

A banana é uma das frutas mais consumidas do mundo sendo cultivada na maioria dos países tropicais, além de constituir-se em uma importante fonte na alimentação humana, pelo seu elevado valor calórico, energético e, principalmente, pelo conteúdo mineral e vitamínico (JIANG et al., 2010).

Nesse contexto, o estudo visa a construção e testes de um equipamento composto de um coletor solar e uma câmara de secagem. Como inovação foi utilizada uma placa adsorvedora de energia solar no interior do secador, que funciona como capacitor térmico.

Na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) já foram desenvolvidos diversos protótipos de secadores solares de exposição direta, e que são largamente empregados na desidratação de produtos agrícolas na região. Esse tipo de secador apresenta como um dos desafios, o controle das características do ar de secagem. Por isso a necessidade de desenvolvimento de um sistema de secagem solar mais sofisticado, incluindo a secagem indireta do produto, na câmara de secagem, onde o controle sobre a qualidade do ar de secagem é mais eficiente.

O objetivo desse trabalho é apresentar os resultados obtidos na secagem de banana utilizando um secador solar de exposição indireta, projetado e construído especificamente com essa finalidade e avaliar sua viabilidade científica e operacional.

---

## 2. Metodologia

Os testes experimentais foram realizados no Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da Universidade Federal de Campina Grande na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba. O protótipo testado, um secador solar de exposição indireta com câmara de secagem independente, sendo o ar de secagem movimentado através de convecção forçada acionada por um sistema de ventilação acionado por energia solar fotovoltaica. O produto desidratado foi à banana prata (*Musa spp.*) adquirida junto a produtores da região, nas feiras locais. O produto final obtido, a banana-passa, teve seu controle de qualidade e a degustação realizada nos laboratórios da UFCG.

O sistema de secagem mostrado na Figura 1 é composto pelos seguintes componentes: coletor solar, placa adsorvedora de energia solar (uma telha de fibrocimento pintado de preto fosco), câmara de secagem, duas bandejas de secagem onde são posicionadas as bananas, base de

apoio, uma chaminé e 10 termopares (usados para medir a temperatura do ar de secagem, distribuídos da seguinte forma: 6 no coletor solar e 4 na câmara de secagem). A cobertura do coletor solar é de policarbonato transparente com espessura de 4 mm e área de captação de energia solar de 1 m<sup>2</sup> e a caixa de madeira do tipo MDF ultra de 15 mm de espessura. A área de entrada do ar de secagem no coletor solar é de 90.000 mm<sup>2</sup> (com dimensões de 600 mm por 150 mm) e a área de saída do ar de secagem de 20.000 mm<sup>2</sup> (com dimensões de 400 mm por 50 mm) acoplada à câmara de secagem. A placa adsorve a radiação solar que atravessa a cobertura de policarbonato, mantendo a temperatura no interior do secador acima da temperatura ambiente e transferindo, por convecção natural, esse calor ao ar de secagem, que escoo ao longo do seu comprimento.

A banana *in natura* apresenta, em geral, teor de água inicial de aproximadamente 73,7% b.u., favorecendo o crescimento microbiano, o que causa a degradação das suas características organolépticas, levando a perda do valor nutricional e, por conseguinte, perda no valor comercial. A fim de evitar essa degradação, almeja-se que a fruta destinada a um tempo de armazenamento maior esteja com teor de água com valores, em torno de 20 a 25% b.u.

**Figura 1.** Fotos do Sistema de Secagem Solar no *solarium* do LEMT/UFCG, com destaque para placa adsorvedora da radiação solar.



Muitos autores observaram que a equação de Fick apresenta grandes limitações, quer seja pela necessidade de um grande número de termos quer seja por não representar os dados experimentais em trechos das curvas. Dessa forma, para estudar a cinética de secagem e a significância estatística, foram utilizados os modelos de Page e Mata, que segundo os autores, Nunes *et al.*, (2014) proporciona melhor adequação no processo de secagem de frutas em camadas finas. As equações representativas dos modelos de Page e Mata estão apresentadas nas Equações 1 e 2.

$$RU = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \text{Exp}(-kt^n) \quad (1)$$

$$RU = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = a\text{Exp}(-k_1t) + b\text{Exp}(-k_2t) + c\text{Exp}(-k_3t) \quad (2)$$

Onde: RU = razão de umidade, X= teor de água (base seca); Xe = teor de água de equilíbrio

(base seca);  $X_0$  = teor de água inicial (base seca);  $a, b, c, n, k$  = constantes do modelo e  $t$  = tempo (minuto).

Para realizar os experimentos foram utilizadas bananas da variedade prata (*Musa spp.*), que foram cortadas no sentido longitudinal. As bananas eram descascadas, lavadas e tratadas com gotas de limão para deixá-la com uma coloração mais dourada e impedir o seu escurecimento. A Figura 2 mostra algumas bananas, antes e depois do processo de secagem.

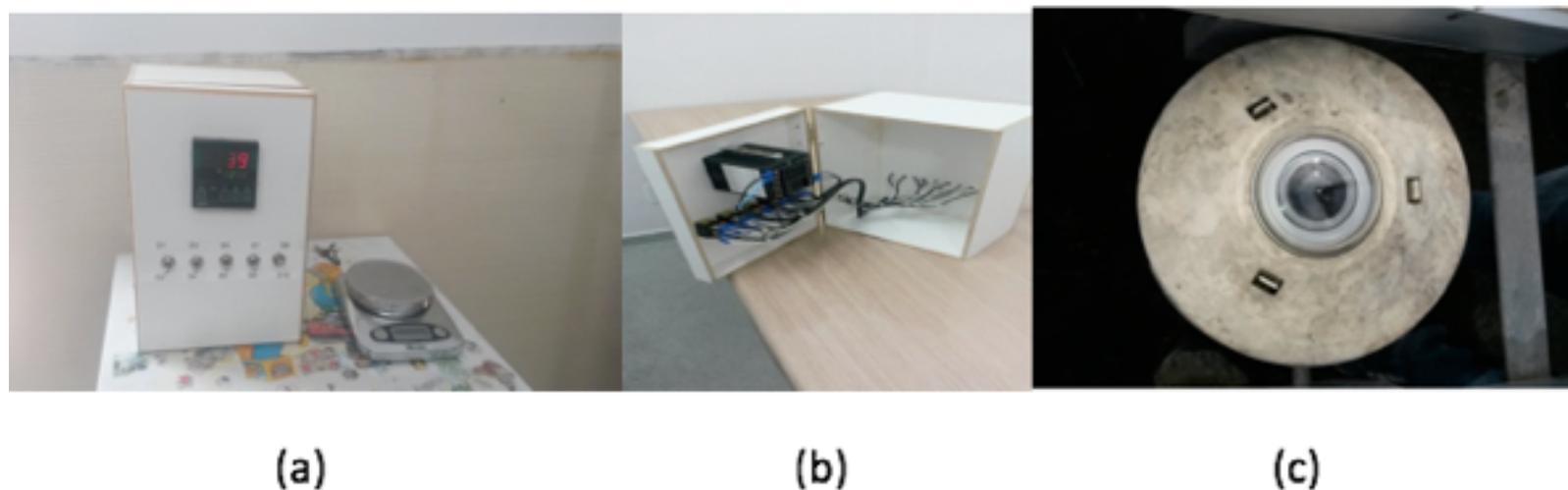
**Figura 2.** Bananas antes e depois do processo de secagem (banana-passa).



Para medições das propriedades do ar de secagem (temperatura, umidade e velocidade) foram utilizados um Termo-Higrômetro (modelo HT-208 da ICEL), e um anemômetro digital portátil (modelo GM 8901). Para medir a variação de massa da banana durante a secagem foi utilizada uma balança de precisão de 5 kg (modelo KC-01 da Western, com precisão de 1 g).

As Figuras 3a e 3b mostram o sistema de aquisição de dados do LEMT, construído pelos autores deste trabalho. Este sistema registra e armazena a temperatura do ar de secagem em diversos pontos do coletor solar e da câmara de secagem. Para medir a irradiação solar, em cada dia dos experimentos, foi utilizado o piranômetro, mostrado na Figura 3c, modelo CM21, fabricado pela Kipp & Zonen, instalado no LEMT da UFCG.

**Figura 3.** Sistema de aquisição de dados e piranômetro.



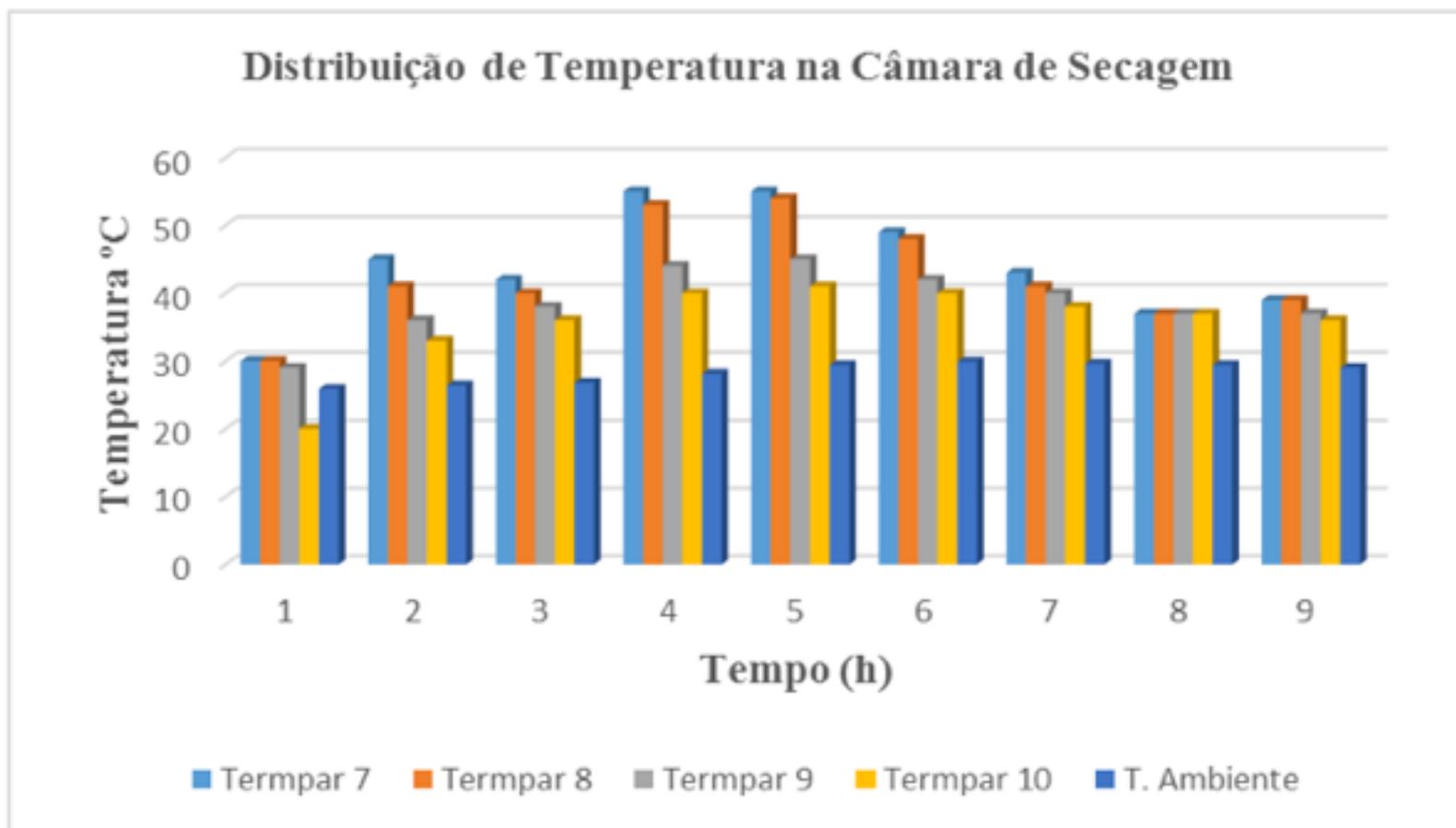
### 3. Resultados

As Figuras 4 e 5 mostram a distribuição de temperatura do ar de secagem no coletor solar e na câmara de secagem e a variação de massa das bananas obtidas durante os experimentos.

O ponto 1 indica a temperatura no ar ambiente externo, o ponto 2 indica a temperatura do ar de secagem na entrada do secador solar, o ponto 3, 4 e 5 indicam a temperatura do ar de secagem no interior do secador solar, o ponto 6 indica a temperatura do ar de secagem a 15 cm da saída do secador solar, o ponto 7 indica a temperatura do ar de secagem na saída do secador solar, o ponto 8 indica a temperatura do ar de secagem na primeira bandeja no interior da câmara de secagem, o ponto 9 indica a temperatura do ar de secagem na segunda bandeja no interior da câmara de secagem e o ponto 10 indica a temperatura do ar de secagem na

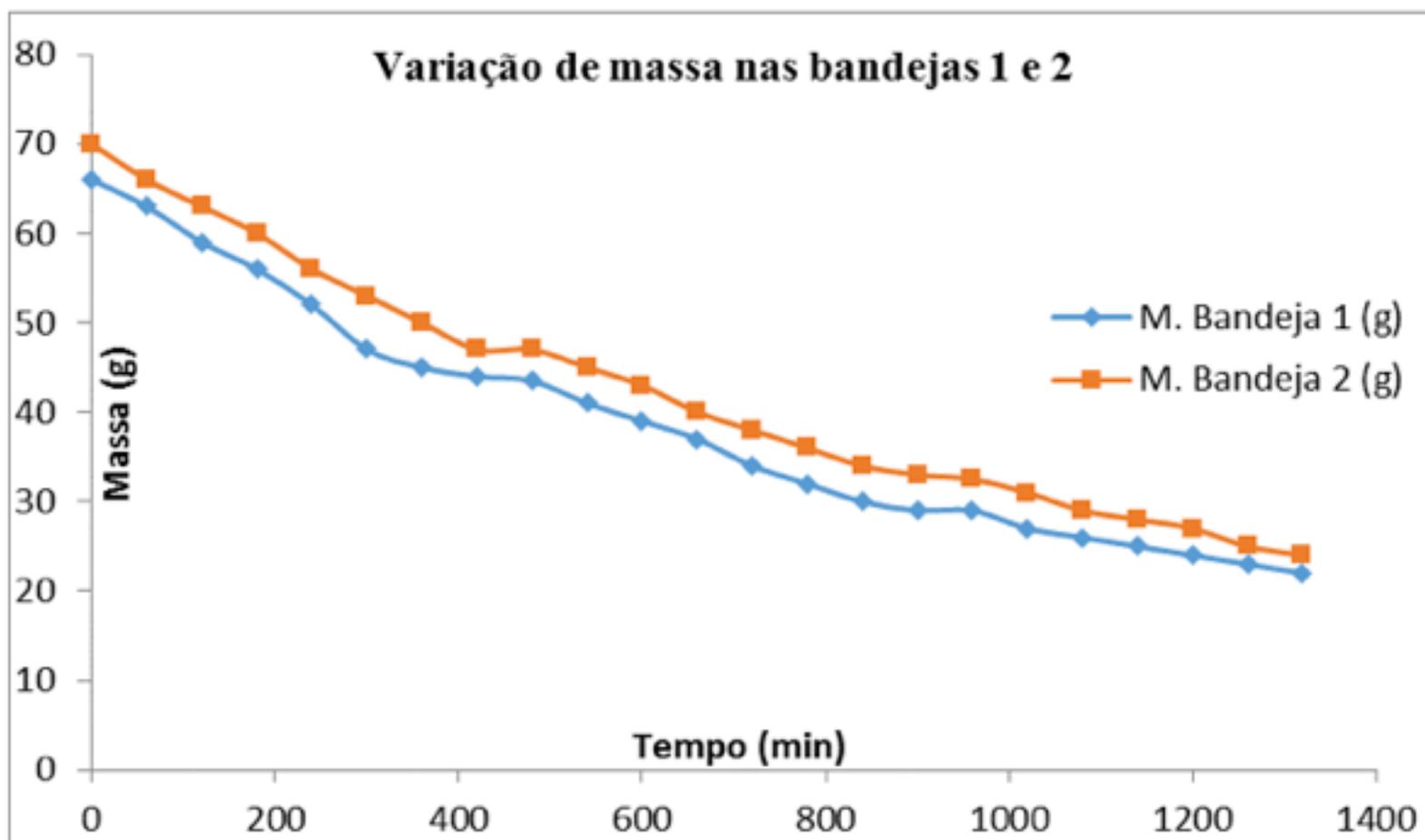
saída da câmara de secagem.

**Figura 4.** Valores obtidos experimentalmente para a distribuição de temperatura no coletor e na câmara de secagem.



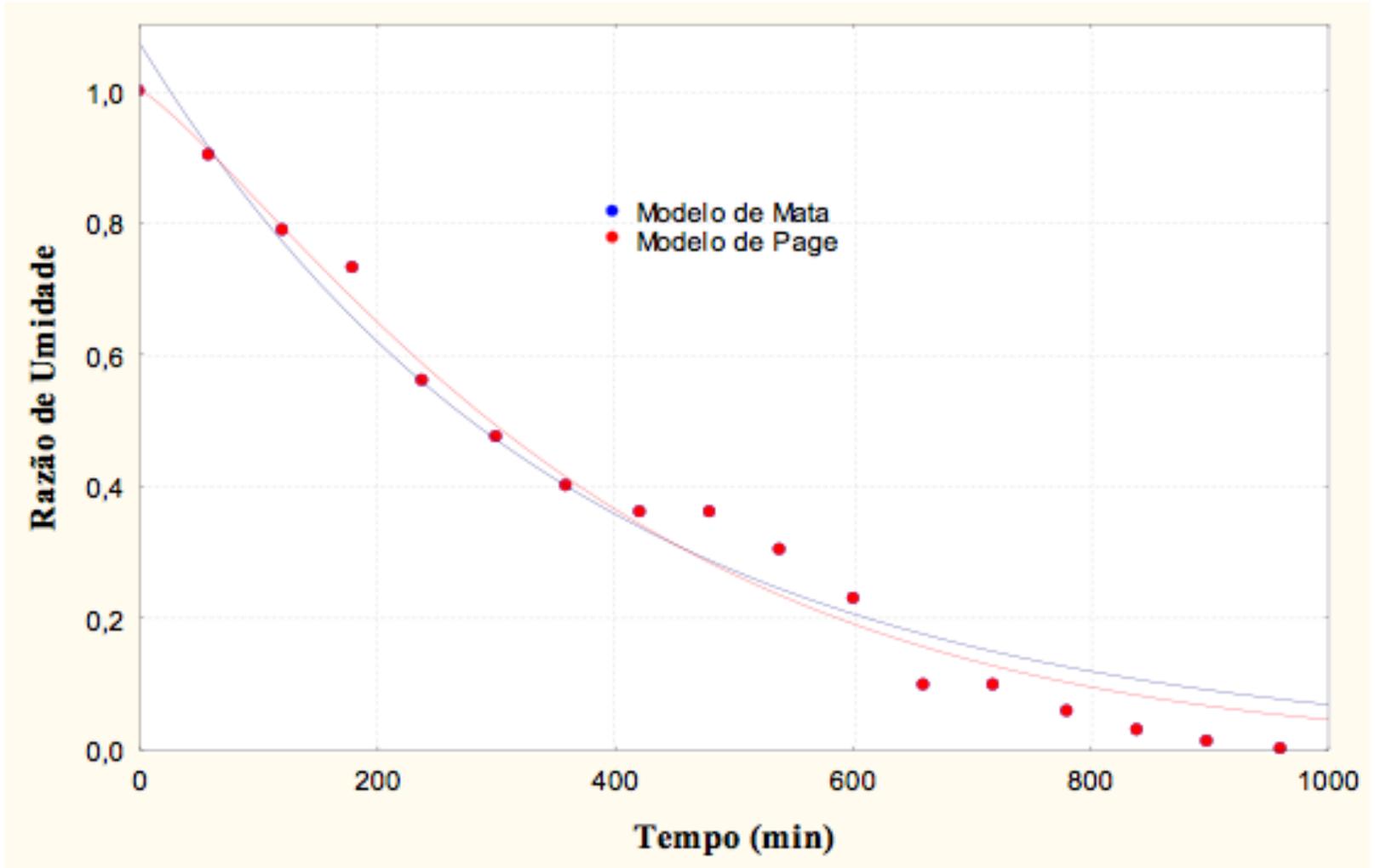
-----

**Figura 5.** Variação de massa das bananas obtidas durante os experimentos nas bandeja 1 e 2.



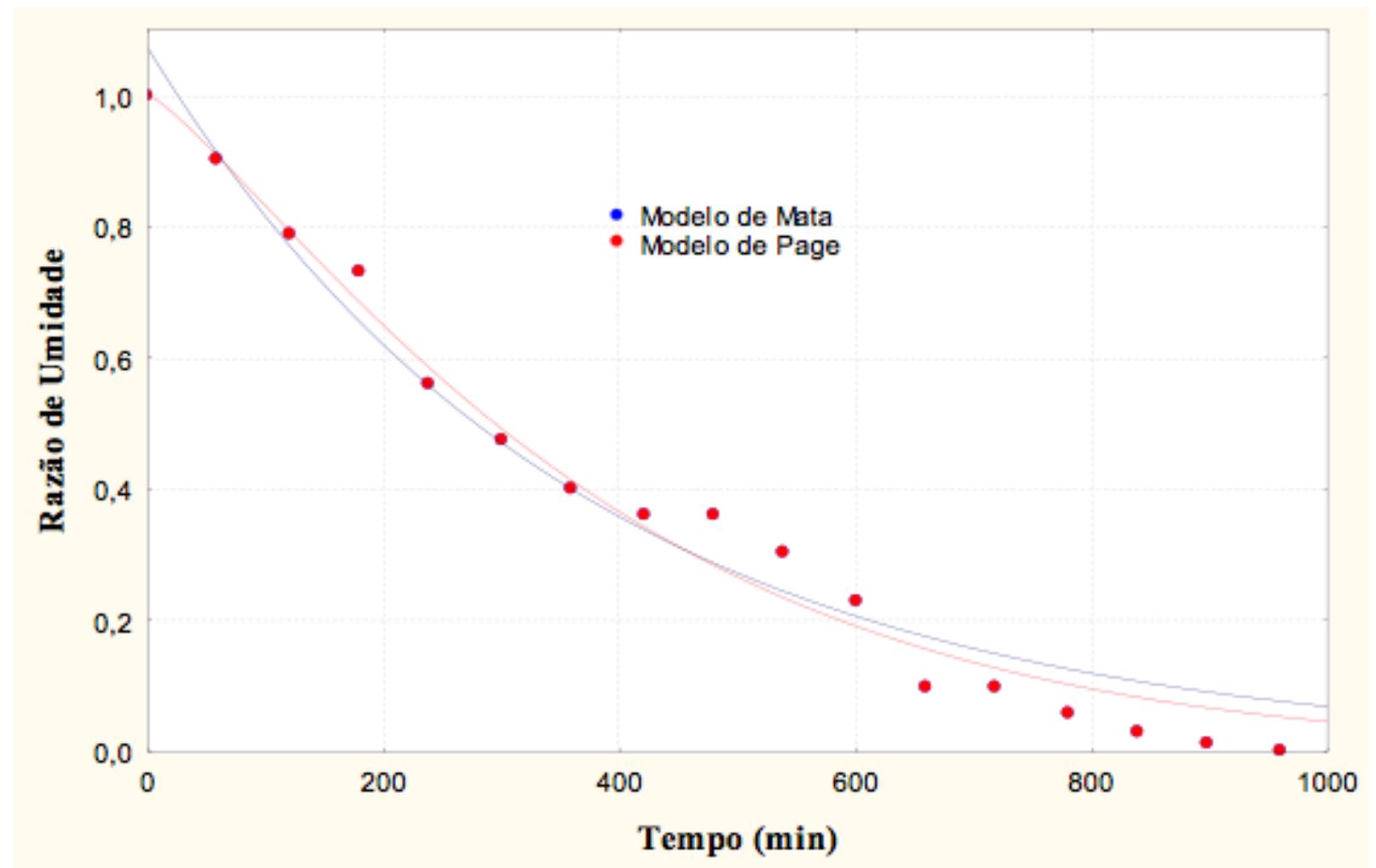
De posse dos resultados obtidos para a perda de massa da banana, e com a caracterização das condições do ar de secagem no secador e na câmara de secagem, foram traçados os gráficos representativos das curvas de secagem ajustadas pelos modelos de Page e Mata através do *software Statistica 7.0 da StatSoft*, como mostram as Figuras 6 e 7.

**Figura 6.** Cinética de secagem ajustada pelos modelos de Page e Mata, primeira bandeja



-----

**Figura 7.** Cinética de secagem ajustada pelos modelos de Page e Mata, segunda bandeja



## 4. Conclusões

Tendo em vista os resultados obtidos, é possível afirmar que o sistema de secagem solar de frutas, desenvolvido na UFCG e testado experimentalmente na secagem de banana prata (*Musa spp.*), mostrou-se compatível com os resultados esperados, produzindo um produto final de elevado padrão de qualidade. O protótipo construído e testado funcionou plenamente garantindo um bom controle nas características do ar de secagem.

Os coeficientes de correlação encontrados nas análises da cinética de secagem são superiores a 98,5%, comprovando que os modelos empíricos utilizados são aceitáveis para prever o tempo necessário para atingir o teor final de água, para a banana, abaixo de 25%, sendo que o modelo de Page apresentou uma melhor significância estatística.

---

## Referências bibliográficas

FUDHOLI, A., SOPIAN, K., RUSLAN, M.H., ALGHOUL, M.A., SULAIMAN, M.Y. Review of solar dryers for agricultural and marine products. Revista Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol 14, ano 2010, página 1-30.

GRILO, M. B., LEITE, A. P. F., ANDRADE, R. R. D., BELO, F. A. B., MEUNIER, F. Experimental thermodynamic cycles and performance analysis of a solar powered adsorptive icemaker in hot humid climate. Revista Renewable Energy. Vol 32, ano 2009, página 697-712.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. Panorama da Cadeia Produtiva das Frutas em 2012 e Projeções para 2013. Brasília.

JIANG, H., ZHANG, M., MJUMDAR, A. S. Microwave Freeze-Drying Characteristics of Banana Crisps. Revista Drying Technology. Vol 28, ano 2010, página 1377-1384.

NUNES, A. G, GOMES, I. A e GRILO, M. B. Estudo para determinação do modelo matemático representativo de experimentos com secagem de banana usando energia solar e gás liquefeito de petróleo. Revista Magistra. Vol 26, ano 2014, página 1749-1753.

- 
1. Centro de Ciências Exatas e Naturais - CCEN. UFERSA. Professor Doutor em Matemática. [nunesag@gmail.com](mailto:nunesag@gmail.com)
  2. Centro de Ciências Exatas e Naturais - CCEN. UFPB. Mestre em Ciências [Biológicas.noemiapellegrino@gmail.com](mailto:Biológicas.noemiapellegrino@gmail.com)
- 

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 53) Año 2017

[Índice]

[No caso de você encontrar quaisquer erros neste site, por favor envie e-mail para [webmaster](mailto:webmaster)]