

## SECADOR SOLAR USADO NA SECAGEM DE BANANA

**Antonio Gomes Nunes**<sup>1</sup> – nunesag@ufersa.edu.br

**Marcelo Bezerra Grilo**<sup>2</sup> – griloufcg@yahoo.com.br

**Adna Queiroz Sales**<sup>1</sup> – queirozadna@gmail.com

**Brenda Fernandes Ribeiro**<sup>1</sup> – bferrib@gmail.com

**Cayssa Ágatha de Castro Nascimento**<sup>1</sup> – cayssa.castro@gmail.com

**José Eugênio Fernandes Maia**<sup>1</sup> – eugeniofdes@gmail.com

<sup>1</sup>Universidade Federal do Semi-Árido, Centro de Ciências Exatas e Naturais

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, UFCG, Campina Grande

**Resumo.** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de secagem solar usado para secagem de frutas. O protótipo projetado e construído trata-se de um secador solar de exposição indireta com câmara de secagem acoplada. Os testes experimentais foram realizados na UFCG, na secagem de banana prata (*Musa spp.*). O foco do trabalho é o desenvolvimento de novas tecnologias apropriadas para uso na agricultura, 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. Para os testes experimentais realizados, o secador solar mostrou-se confiável, pois, o tempo necessário para a banana atingir os valores de teor de umidade em base úmida em torno de 25%, foi de 840 minutos (14 h), compatível com os tempos relatados na literatura para equipamentos equivalentes. A cinética de secagem foi ajustada pelo modelo matemático empírico de Page e os resultados foram representativos com valores elevados dos coeficientes de determinação que se aproximaram de 0,99. Os investimentos com a manutenção e operação do sistema do secador solar dizem respeito, simplesmente, à degradação natural dos seus componentes. Sua viabilidade econômica foi demonstrada com um tempo de retorno do investimento estimado em até seis meses.

**Palavras-Chave:** Energia solar, Secador Solar, Secagem indireta, Banana passa.

### 1. INTRODUÇÃO

Todos os continentes têm 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 [FUDHOLI et al., 2010 e GRILO et al., 2009].

Por serem 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.

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 calorífico, energético e, principalmente, pelo conteúdo mineral e vitamínico (LIMA et al., 2000).

Nesse contexto, o estudo visa à construção e testes de um equipamento composto de um coletor solar e uma câmara de secagem. Como inovação foi utilizada uma placa absorvedora de energia solar no interior do secador, que funciona como capacitor térmico, além de 10 termopares distribuídos no interior do coletor solar e na câmara de secagem que nos fornece em tempo real as propriedades termodinâmicas do ar de secagem.

O grande desafio do mundo é produzir alimentos para uma população que já ultrapassou 7,3 bilhões de habitantes em 2016 e tem uma perspectiva de alcançar a marca de 8,5 bilhões até 2030. Com as mudanças do clima, muitos problemas na produção mundial de alimentos estão sendo evidenciados. Em muitos casos ocorrem a redução das áreas agricultáveis, a escassez de água para irrigação e, em outros, verifica-se a falta de tecnologias para redução do desperdício na produção de alimentos. Muitos especialistas acreditam que num futuro próximo a oferta de alimentos no mundo crescerá menos que a população.

E a partir dessas perspectivas que a conservação de frutas através da secagem é muito viável, pois umas das principais vantagens obtidas com a secagem principalmente das frutas é a concentração dos nutrientes além de proporcionar condições de armazenamento com sabor inalterado por um período de tempo, podendo chegar a anos (MADAMBA et al., 2007). Isto ocorre devido à minimização da proliferação de micro-organismos causada pela redução da atividade de água do produto (JIANG et al., 2010)

Na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) já foram desenvolvidos diversos protótipos de secadores solares de exposição direta, e que são largamente empregados na secagem 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 prata (*Musa spp.*) utilizando um secador solar de exposição indireta, projetado e construído especificamente com essa finalidade e avaliar sua viabilidade científica e operacional.

### 1.1 Materiais e métodos

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 a ser seco 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 Fig. 1 é composto pelos seguintes componentes: coletor solar, placa absorvedora 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 (Tp1, Tp2, Tp3, Tp4, Tp5, Tp6, Tp7, Tp8, Tp9, Tp10) usados para medir a temperatura do ar de secagem, distribuídos da seguinte forma: 6 (seis) no coletor solar e 4 (quatro) 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 absorve 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 escoar ao longo do seu comprimento.

A banana in natura apresenta, em geral, teor de água inicial de aproximadamente 74% 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- Sistema de secagem solar, capacitor térmico e os 10 termopares posicionados no sistema.

Alguns 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, foi utilizado o modelo empírico matemático de Page que segundo os autores, (NUNES et al., 2014) proporciona melhor adequação no processo de secagem de frutas em camadas finas. A equação representativa do modelo matemático empírico de Page está apresentada na Eq. (1).

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

Onde:  $RU$  = razão de umidade,  $X$  = teor de água (base seca);  $X_e$  = teor de água de equilíbrio (base seca);  $X_0$  = teor de água inicial (base seca);  $n$ ,  $k$  = 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 Fig. 2 mostra algumas bananas, antes e depois do processo de secagem.



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

Para os experimentos a determinação da irradiação solar incidente, e consequentemente da potência solar por unidade de área ( $W/m^2$ ), foram utilizados dados obtidos na estação meteorológica do LEMT/UFCG, modelo HD32MT.1, SN 11031486 e FW 0714141114, mostrado na Fig. 3, instalada no laboratório.



Figura 3- Estação meteorológica modelo HD32MT.1, SN 11031486 e FW 0714141114.

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 com capacidade de até 5 kg (modelo KC-01 da Western, com precisão de 1 g).

Os experimentos foram realizados em dois dias, sendo que durante a noite o produto foi colocado em recipiente hermético devido ao ganho de umidade. O tempo de secagem total foi de 14 horas, 8 horas no primeiro dia e 6 horas no segundo dia.

## 1.2 Resultados e discussões

Nas Fig. 4 e 5 são mostrados os valores de temperatura do ar de secagem obtidos pelos 10 termopares localizados no coletor solar e na câmara de secagem durante o primeiro dia de secagem.

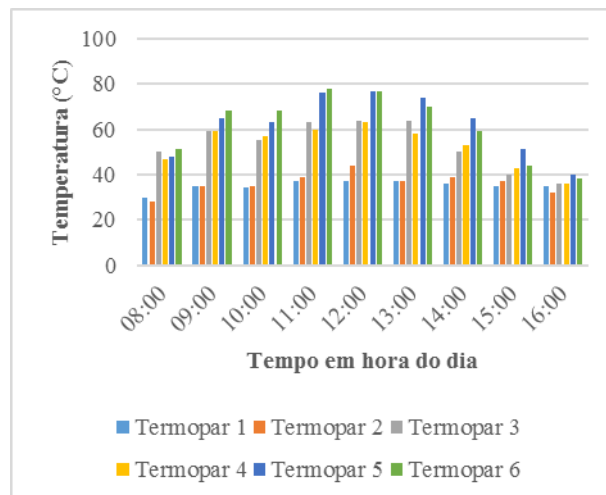


Figura 4- Distribuição de temperatura do ar de secagem no coletor solar.

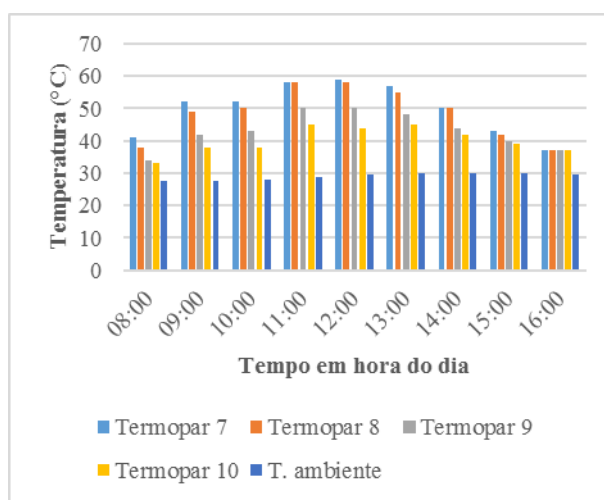


Figura 5- Distribuição de temperatura do ar de secagem na câmara de secagem.

O que se obteve foram temperaturas para o ar de secagem no interior do coletor solar em torno de  $50^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , ou seja, temperaturas entre  $40^{\circ}\text{C}$  e  $60^{\circ}\text{C}$ . E temperaturas para o ar de secagem no interior da câmara de secagem em torno de  $45^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , ou seja, temperaturas entre  $40^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ}\text{C}$ . Nos secadores de frutas atualmente em uso comercial, estas temperaturas normalmente são conseguidas com o uso intensivo de energia elétrica. A economia de energia elétrica resultante do uso da energia solar também será utilizada para demonstrar a viabilidade técnica do equipamento desenvolvido.

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 pelo modelo matemático empírico de Page e através do software Statistica 7.0 da StatSoft, como mostra a Fig. 6.

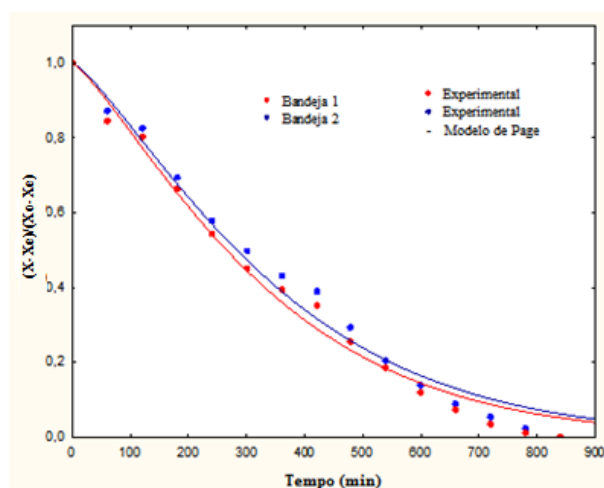


Figura 6- Cinética de secagem ajustado pelo modelo matemático empírico de Page, das bandejas 1 e 2.

## 2. CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados, pode-se concluir que o secador solar de frutas, desenvolvido experimentalmente na UFCG e testado no processo de secagem de banana prata (*Musa spp.*) mostrou-se compatível com os resultados esperados, funcionando plenamente e produzindo como resultado um produto final de qualidade.

Observou-se que os valores obtidos para as temperaturas do ar de secagem no interior do coletor solar e no interior da câmara de secagem entre  $40 - 60^{\circ}\text{C}$  e  $40 - 50^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, foram compatíveis com a variação da intensidade de irradiação solar, com média em torno de  $635 \text{ W/m}^2$ , ou seja, o ar de secagem dentro do coletor solar e da câmara de secagem tem uma relação direta com a intensidade de irradiação solar ao longo do dia.

Para os testes experimentais realizados, o secador solar mostrou-se confiável, pois, o tempo necessário para a banana atingir os valores de teor de umidade em base úmida em torno de 25%, foi de 840 minutos (14 h).

Os resultados mostraram que o modelo matemático empírico de Page foi representativo, dados os valores elevados dos coeficientes de determinação que se aproximaram de 0,99. Com isto, é possível afirmar, com precisão, o tempo necessário para a banana atingir os valores de teor de umidade em base úmida que nesse trabalho situaram-se em torno de 25%, (valor recomendado para comercialização pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, Resolução RDC nº 272) considerando as condições médias de temperatura e umidade relativa do ar de secagem.

Os investimentos com a manutenção e operação do sistema de secagem dizem respeito, simplesmente, à degradação natural dos seus componentes. Tendo sua viabilidade econômica demonstrada com um tempo de retorno do investimento em torno de seis meses de comercialização de frutas secas.

## REFERÊNCIAS

- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M.A., Sulaiman, M. Y., “Review of solar dryers for agricultural and marine products”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.14, n.1, 1 – 30, 2010.
- 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”, *Renewable Energy*, v.32, n.1, 697-712, 2009.
- Lima, A. G. B., Nebra, S. A., Queiroz, M. R., “Aspecto científico e tecnológico da banana”, *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.2, n.1, 87-101, 2000.
- Madamba, P. S., Dricollb, R. H., Bulcle, K. A., “The thin-layer drying characteristics – of garlicks lices”, *Journal of Food Engineering*, v.29, n.1, 75-97, 2007.
- Jiang, H., Zhang, M., Mjumdar, A. S., “Microwave Freeze-drying characteristics of banana crisps”, *Drying Technology*, v.28, n.1, 1377-1384, 2010
- 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”, *Magistra*, v.26, n.1, 1749-1753, 2014.

## SOLAR DRYER USED IN BANANA DRYING

**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, 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 experimental tests were realized by drying silver bananas (*Musa spp.*). For the experimental tests realized, the solar dryer shown itself trustworthy, because the necessary time required for the bananas to reach humidity level in wet basis of about 25% was 840 minutes (14 h), being compatible with the catalogued time in the equivalent equipment literature. The drying kinetics was adjusted by the empirical method of Page and the results were representative with high values of determination coefficients approached 0.99. The investments with the maintenance and operation of the drying system are only related to the natural degradation of its components. Its economic viability was demonstrated in a short term investment return of about six months.*

**Key words:** *Solar Energy, Solar Dryer, Indirect Drying, Dried Banana*