

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DE UM SECADOR SOLAR MULTIENERGÉTICO USADO PARA SECAGEM DE BANANA

CAIO TÁCITO M. C. B. DE MELO¹, ANTONIO GOMES. NUNES², MARCELO BEZERRA GRILO³

¹Mestrando em Engenharia Mecânica, PPGEM/UFCG, Campina Grande-PB, caiotcastro@gmail.com

²Doutorando em Engenharia de Processos, PRODEP/UFCG, Campina Grande-PB, nunesag@ufersa.edu.br

³Dr. Professor Engenharia Mecânica, UFCG, Campina Grande-PB, griloufkg@yahoo.com.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2016
29 de agosto a 2 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do processo de secagem e o rendimento térmico do secador solar de exposição indireta desenvolvido na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Os processos de desenvolvimento e experimento do equipamento foram realizados no Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da UFCG em Campina Grande. Para levantamento dos dados necessários para os cálculos, foram instalados sensores de temperatura e umidade relativa do ar, do tipo TH-11, interligados a um sistema de aquisição de dados. Os resultados obtidos nos testes experimentais mostraram que o secador solar desenvolvido apresentou rendimento térmico de 27,85% e coeficiente de correlação da curva de cinética de secagem ajustada ao modelo de Page de 99,34%, além de se atingir um produto final de boa qualidade e aparência. A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que o secador solar desenvolvido se apresentou eficiente e confiável comparado com resultados citados na literatura, o que justifica a viabilidade técnica do equipamento.

PALAVRAS-CHAVE: Secador Solar, Banana, Rendimento, Secagem.

EXPERIMENTAL DEVELOPMENT OF A MULTI ENERGETIC SOLAR DRYER USED FOR BANANA DRYING

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the efficiency of the drying process and the thermal efficiency of the solar dryer indirect exposure developed at the Federal University of Campina Grande (UFCG). Development processes and equipment of the experiment were performed at the Laboratory of Experimental Thermal Machines (LEMT) UFCG in Campina Grande. For data required for calculation were installed temperature sensors and relative humidity, the TH-11 type, connected to a data acquisition system. The results obtained in the experimental tests showed that had developed solar dryer thermal efficiency of 27.85% and coefficient of kinetic curve of the correlation drying adjusted Page model of 99.34%, and to achieve a good final product quality and appearance. From the results, we conclude that the solar dryer developed showed to be efficient and reliable compared to results reported in the literature, which explains the technical feasibility of the equipment.

KEYWORDS: Dryer Solar, Banana, Efficiency, Drying.

INTRODUÇÃO

Atualmente, pode-se dizer que o grande desafio da humanidade é aliar inovação tecnológica e sustentabilidade, principalmente em um mundo globalizado e que se encontra em momentos de crise econômica e climática. O mundo contemporâneo, exige um crescimento econômico em consonância com a sustentabilidade, associada a pesquisas e o desenvolvimento de máquinas simples, de fácil construção, manutenção, operação e baixo custo, que respondam pelas demandas típicas do desenvolvimento de cada região.

Geograficamente posicionado numa zona de excepcional disponibilidade de energia solar, essa preocupação é particularmente importante em países como o Brasil que têm o desafio de promover a mobilidade social e para isso precisa incentivar seu desenvolvimento tecnológico.

Assim, na busca de incrementar o desenvolvimento regional no setor da fruticultura, este trabalho contribui para disseminar a utilização de novas tecnologias nos processos de secagem de alimentos que viabilize a comercialização de um produto de boa qualidade, pautado no processamento de baixo custo, aumentando a rentabilidade na cadeia produtiva desses alimentos.

Desta forma, conhecendo as principais atividades desenvolvidas no Nordeste brasileiro, é notório que o setor da fruticultura é de fundamental importância no cenário econômico local. Analisando mais detalhadamente este setor, tem-se conhecimento do alto grau de perecimento das frutas, fator que causa prejuízos econômicos e sociais na região.

As qualidades alimentícias e comerciais da banana são influenciadas pelas condições de amadurecimento e armazenamento. Isso porque a banana é um fruto climatérico que apresenta alta taxa respiratória e alta produção de etileno após a colheita, o que a torna altamente perecível. O processo termodinâmico da secagem permite estabilizar a atividade microbiológica e reduzir as reações químicas e enzimáticas devido à diminuição da concentração da água no produto, permitindo a disponibilidade do fruto durante todo o ano, além de reduzir seu peso e, conseqüentemente, os custos de transporte e de armazenamento.

Consciente deste panorama, neste trabalho buscamos desenvolver um secador de frutas cujo funcionamento está sujeito ao uso da energia solar sob o emprego das formas térmica e fotovoltaica. Para Silva (2013), “a utilização de energias renováveis ganha cada vez mais prestígio no mundo desenvolvido em função do surgimento de políticas de substituição das fontes originárias do petróleo por fontes não convencionais renováveis”.

Dessa forma, um dos objetivos desse trabalho foi apresentar os resultados obtidos na secagem de banana executada no secador solar de exposição indireta desenvolvido neste trabalho, de modo a comprovar a viabilidade técnica da utilização da energia solar nos processos de secagem de frutas e disseminar a cultura do aproveitamento das energias limpas nos equipamentos que favoreçam um desenvolvimento regional verdadeiramente sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes experimentais foram realizados no Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, com a utilização de um secador solar de exposição indireta desenvolvido no próprio laboratório, para produção de banana-passa através da secagem de banana prata (*Musa Spp.*).

O secador mostrado na Figura 1 a seguir, é composto pelos seguintes componentes: coletor solar, câmara de secagem e bandeja de secagem, além de sua base de apoio e do sistema de exaustão.

Figura 1 - Secador solar de exposição indireta desenvolvido.



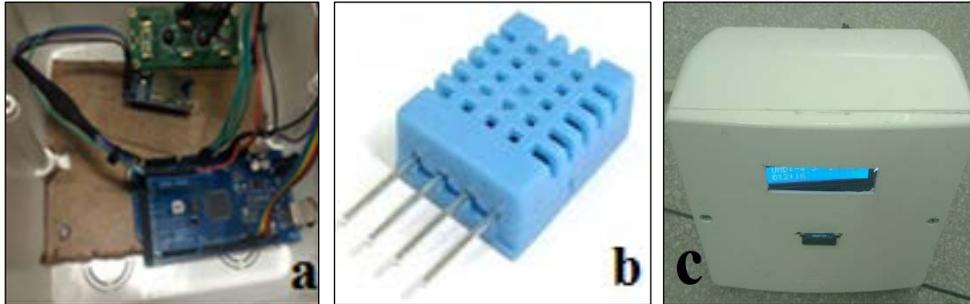
O equipamento mostrado, foi confeccionado em MDF Ultra e possui coletor solar com dimensões de 0,80 m x 1,25 m x 0,20 m, com 0,175 m³ de volume interno e área de incidência de 1,0 m² coberta com policarbonato alveolar. No interior do coletor solar está posicionada uma telha de fibrocimento pintada de preto, com o intuito de funcionar como capacitor térmico, potencializando o acúmulo de energia térmica no coletor solar. A câmara de secagem possui um volume interno de 0,035 m³ resultando em uma relação entre volumes do coletor e da câmara de 5:1. Ou seja, o volume da câmara

de secagem é 5 vezes menor que o volume do coletor solar. Além disso, a câmara de secagem possui uma bandeja onde se deposita o material a ser seco. No topo da câmara de secagem tem instalado um *cooler* alimentado por um painel solar fotovoltaico de 12 V e 6 W com função de propiciar a exaustão do ar de secagem da câmara.

Como o fluido de trabalho utilizado nos processos de secagem solar é o ar aquecido, a avaliação das suas propriedades termodinâmicas (temperatura, umidade relativa, velocidade) é de extrema importância, de tal modo que, sob determinadas condições operacionais, possamos proporcionar uma secagem uniforme do produto e reduzir o tempo do processo (Grilo et al., 2009).

Para tal avaliação, foi utilizado um sistema de aquisição de dados, mostrado na Fig. 2.

Figura 2 - Componentes do sistema de aquisição de dados



Como pode ser observado, o sistema de aquisição de dados é constituído de uma placa de Arduino UNO (Fig. 2a), a qual está conectada a três sensores do tipo TH-11 (Fig. 2b) instalados na entrada do coletor solar, na junção do coletor com a câmara e outro na saída da câmara de secagem. Através destes sensores é possível medir temperatura e umidade relativa instantaneamente e ler esses dados em um *display* de LCD presente ou em um cartão de memória onde grava-se os dados (Fig. 2c).

O experimento foi realizado nos dias 08/06/2016 e 09/06/2016 tendo início às 09:00 h e término às 16:00 h em ambos os dias, totalizando 14 horas de secagem. Para evitar a reidratação das bananas, no período entre um dia e outro de experimento, as bananas foram depositadas em sacos plásticos hermeticamente fechados. No decorrer do experimento foram realizadas as medições da perda de massa das amostras de banana em intervalos de 1 hora, através de uma balança digital com precisão de 0,1 g, e para medir a irradiação solar foi utilizado um piranômetro da estação solarimétrica da UFCG.

Para a realização dos experimentos, as bananas foram cortadas longitudinalmente, além de terem suas extremidades retiradas, ficando com formato de semicilindro. A Fig. 3 mostra algumas bananas cortadas nesta configuração, antes dos experimentos, e a banana-passa obtida após a secagem.

Figura 3 - Bananas utilizadas antes e depois dos experimentos, respectivamente.



A partir dos dados obtidos, estes foram expressos na forma de razão de umidade (RU), Eq. 1:

$$RU = (X - X_e)/(X_0 - X_e) \quad (1)$$

onde: X é o teor de umidade, X_e é o teor de umidade de equilíbrio e X_0 o teor de umidade inicial.

Dessa forma, para estudar a cinética de secagem e a significância estatística, usou-se o modelo de Page (modelo semi teórico simplificado do modelo de Fick), que segundo os autores, Nunes et al.,

(2014) e Souza et al., (2012) proporciona melhor adequação no processo de secagem de frutas em camadas finas. Modelo de Page (Eq. 2).

$$RU = e^{(-k \times t^n)} \quad (2)$$

O modelo matemático de Page foi ajustado à curva experimental de secagem utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0, onde se verificou o coeficiente de determinação (R^2) para verificar a possibilidade de predição do processo.

Para o cálculo do rendimento térmico do equipamento foram utilizadas equações derivadas da primeira Lei da Termodinâmica nos volumes de controle do coletor solar e da câmara de secagem, as quais seguem (Equações 3, 4, 5, 6 e 7):

$$\eta_{coletor} = \frac{\dot{Q}_{real}}{\dot{Q}_{solar}} = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\dot{Q}_{solar}} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{solar} = \int_t^{t+\Delta t} \bar{G} dt \quad (4)$$

$$\eta_{câmara} = \frac{\dot{m}_4 h_4 + E_b}{\dot{m}_3 h_3} \quad (5)$$

$$E_b = h_v \times \dot{m}_{ar b} \quad (6)$$

$$\eta_{total} = \eta_{coletor} \times \eta_{câmara} \quad (7)$$

onde: \dot{m} é a vazão mássica do ar; h_1, h_2, h_3 e h_4 são as entalpias específicas do ar nos pontos; \bar{G} é a irradiação solar média; h_v é a entalpia de vaporização da água; $\dot{m}_{ar b}$ é a água retirada da banana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Feitos os experimentos, as medições comprovaram o aumento significativo da temperatura do ar de secagem no interior do equipamento em relação à temperatura ambiente (Fig. 4), bem como a redução significativa da umidade relativa do ar (Fig. 5), potencializando assim a capacidade de secagem do ar, favorecendo a eficiência do processo.

Figura 4 - Gráfico da variação de temperatura do ar de secagem no interior do secador solar.

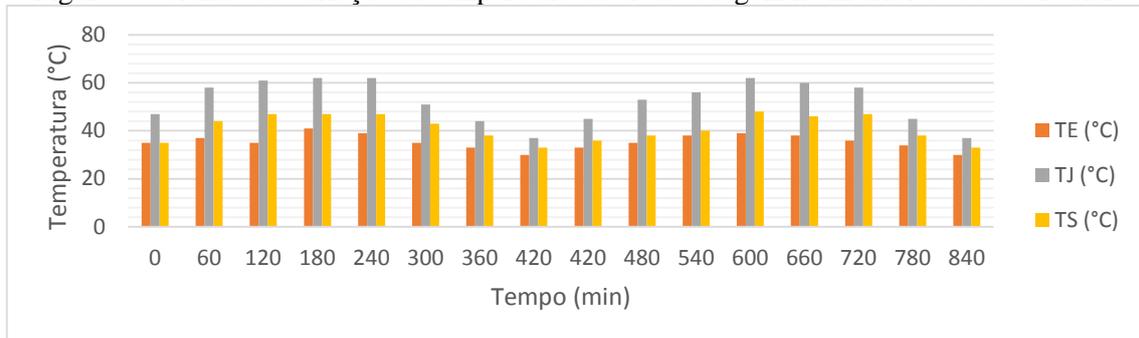
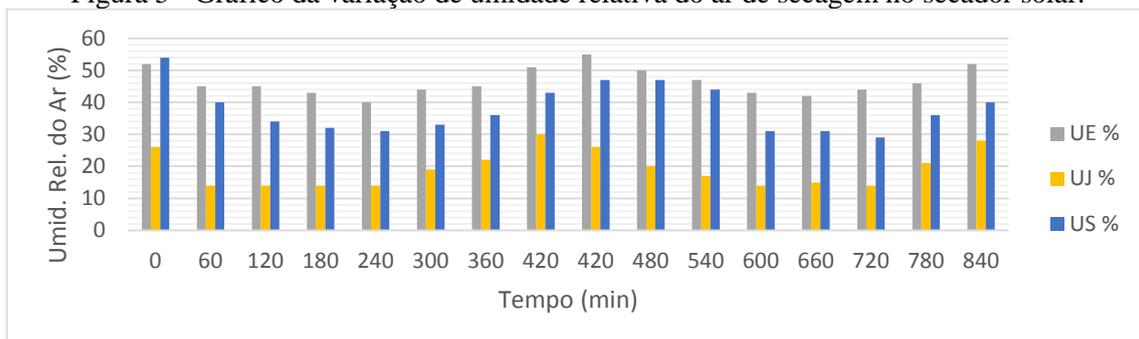
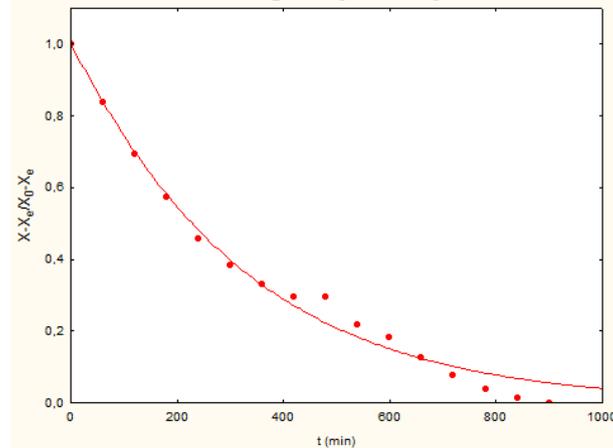


Figura 5 - Gráfico da variação de umidade relativa do ar de secagem no secador solar.



Com os dados de perda de massa, foram realizados cálculos do teor de umidade para cada instante e traçada a curva de razão de umidade ajustada ao modelo de Page (Fig. 6).

Figura 6 - Cinética de secagem ajustada pelo modelo de Page



A partir da curva, percebeu-se que o experimento apresentou coeficiente de correlação de $R^2 = 0,9934$ ou seja, 99,34%, mostrando-se estatisticamente significativo.

Com os dados de temperatura e umidade levantados, pode-se calcular o rendimento térmico do secador solar e de seus subsistemas, obtendo-se os seguintes resultados.

$$\eta_{coletor} = 29,37\%$$

$$\eta_{câmara} = 94,83\%$$

$$\eta_{total} = 27,85\%$$

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os experimentos têm significância estatística e que o modelo empírico de Page utilizado se mostrou confiável e representativo dado os valores elevados dos coeficientes de determinação que chegaram a 99,34%. De modo que, o secador solar de exposição indireta desenvolvido na UFCG apresentou boa eficiência no processo de secagem de banana.

Os rendimentos térmicos encontrados a partir das temperaturas e umidades relativas levantadas pelos sensores, em cada componente, comprovam que a eficiência do secador solar, em torno de 27,85%, está adequada a de outros equipamentos citados na literatura, garantindo assim, a viabilidade técnica de utilização deste sistema desenvolvido.

Ademais, percebeu-se através da observação e degustação da banana-passa produzida sua boa qualidade e aparência, compatível com os resultados obtidos em secadores tradicionais que utilizam energia elétrica.

Finalmente é possível concluir que o uso do secador solar de exposição indireta poderá ser empregado na cadeia produtiva de banana-passa de maneira satisfatória.

REFERÊNCIAS

- 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, p.697 - 712, 2009.
- IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. **Panorama da cadeia produtiva das frutas em 2012 e projeções para 2013**. Brasília, DF, 2013, 127 p.
- Nunes, A. G., Gomes, I. A., Júnior, J. I. S., 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. Ilhéus-BA, v.25, p.1 – 6, 2014.
- Silva, T. S. **Estudo de um secador solar fabricado a partir de sucata de tambor de polietileno**. 2013 39 f. (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.