

TESTES EXPERIMENTAIS EM UM SECADOR TERMO SOLAR DE EXPOSIÇÃO INDIRETA USADO PARA PRODUZIR BANANA-PASSA

Ítalo de Andrade Gomes – eng.iagomes@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Antônio Gomes Nunes – nunesag@ufersa.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.

Marcelo Bezerra Grilo – griloufcg@yahoo.com.br

Universidade Federal de Campina Grande, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica.

Resumo. *Este trabalho apresenta os resultados obtidos no processo de secagem de banana usando energia solar, disseminando a cultura das energias renováveis e promovendo o desenvolvimento sustentável. O uso da energia solar é importante, pelas suas características de ser limpa e largamente disponível em todo Brasil, principalmente na Região Nordeste. Desenvolver equipamentos que utilizam energia solar como fonte energética no Nordeste brasileiro contribui para promover seu crescimento socioeconômico, reduzindo, assim, as desigualdades sociais na região. Dentre os diversos tipos de frutas produzidas no Brasil, o presente estudo elegeu a banana, devido sua grande produção nacional, e sua contribuição econômica e nutricional. A banana apresenta grandes perdas por decomposição pós-colheita, visto que ela é extremamente perecível. O estudo visa a transformação da banana in natura em banana-passa que tem alto valor agregado. A secagem solar da banana com a utilização de secadores de radiação indireta mostra-se uma alternativa viável para atender aos pequenos, médios e grandes produtores. Para tanto, foram apresentados os dados experimentos obtidos na secagem de banana, por meio do secador solar desenvolvido na UFCG. Os experimentos apresentaram significância estatística e o modelo empírico utilizado se mostrou confiável e representativo, dado os valores elevados dos coeficientes de determinação que se aproximaram de 0,99. No trabalho também são apresentadas as características construtivas e operacionais do equipamento em desenvolvimento.*

Palavras-chave: Energia Solar, Secador Solar, Banana-passa.

1. INTRODUÇÃO

Colocar o conhecimento científico a serviço do desenvolvimento da humanidade, respeitando os recursos naturais e privilegiando a eficiência energética é o trabalho do engenheiro nos tempos modernos. 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.

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. 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 baixo custo, que respondam pelas demandas típicas de nosso desenvolvimento.

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, aproximadamente, cinco milhões de empregos diretos. Com um volume estimado 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 fonte importante na alimentação humana pelo seu elevado valor calorífico, energético e, principalmente, pelo conteúdo mineral e vitamínico que ela apresenta. 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.

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, sem afetar suas características organolépticas nem sua qualidade nutricional.

Neste contexto, esse trabalho estuda o processo de transformação da banana *in natura* em banana-passa, com perspectiva de lucratividade compatível com o investimento e com um mercado que permite a absorção de um volume muito maior do produto, em relação à oferta atual. A banana-passa apresenta valor agregado maior do que a banana *in natura*, principalmente se o processo de desidratação ocorrer com equipamento de secagem solar.

Apesar destas tecnologias de secagem e de vários tipos de secadores à disposição dos agricultores, a secagem em terreiros ainda é muito utilizada no Brasil, principalmente nas zonas agrícolas onde se concentram as cooperativas e a agricultura familiar (Grilo, 2007). Na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) foram desenvolvidos secadores solares de exposição direta, e que já são largamente empregados na região. Esse tipo de secador não atende ao processo de secagem quando a quantidade e a qualidade do recurso solar são insuficientes para promover a desidratação da banana.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi apresentar os resultados obtidos na secagem de banana através de um secador solar de exposição indireta 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.

2. 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 para produção de banana-passa através da desidratação de banana da cultivar pacovan adquirida com produtores da região nas feiras locais. O equipamento utilizado dispõe de um dispositivo auxiliar de queima de gás liquefeito de petróleo (GLP) para subsidiar o processo em ocasiões onde a energia solar disponível não é suficiente.

O secador (Fig. 1) é composto basicamente pelos seguintes componentes: coletor solar, câmara de secagem e as respectivas bases de apoio. A cobertura do coletor solar é de policarbonato e a caixa de madeira do tipo compensado naval de 10 mm. Apresenta uma área de saída composta por três orifícios de 50 mm de diâmetro cada e área total de 5.890,5 mm². O coletor apresenta 5 orifícios de entrada cada um com 50 mm de diâmetro o que dá uma área total de entrada de 9.817,47 mm².



Figura 1 - Fotos do Secador Solar no solarium do LEMT/UFCG.

A câmara de secagem mede 520 mm x 450 mm na base, altura de 1010 mm na parte de trás e de 630 mm na frente, além de uma chapa metálica de alumínio no fundo que faz o papel de queimador do GLP. No interior da câmara são dispostas três bandejas numeradas de 1 a 3, na ordem da mais baixa a mais alta onde são colocados os materiais a serem desidratados. O sistema de aquecimento auxiliar do ar é composto por um queimador de gás, neste trabalho trata-se de um fogão doméstico de duas bocas e um sistema de ignição por chama piloto, que não foi utilizado nos experimentos aqui relatados para que pudesse ser verificado o equipamento funcionando apenas, com a utilização da energia solar.

A banana apresenta teores de água inicial de, aproximadamente, 70% 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 teores de água reduzido, em torno de 25-30% b.u., para isso, faz-se necessário que esse produto seja submetido a um processo de desidratação.

Nesse processo é necessário fornecer calor ao material úmido (banana *in natura*) para que a água possa ser transportada do interior do sólido até a superfície, permitindo, assim, a evaporação de água da superfície do material ao ambiente, e também deve haver um sorvedor de umidade para remover o vapor de água, formado a partir da superfície do material a ser seco. Este processo de fornecimento de calor da fonte quente para o material úmido será responsável pela evaporação da água do material e em seguida a transferência de massa arrastará o vapor formado.

Para verificação da cinética de secagem, 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 os processos de secagem de frutas, Mauro & Menegalli (1995), Rastogi et al. (1997), Sousa (1999), Araujo (2000) e Kross (2002), têm sugerido a utilização do modelo semi-teórico simplificado do modelo de Fick, o modelo de Page, explicitado na Eq. (1).

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

Onde:

- RU - Razão de Umidade (sem dimensão);
- X (%) - Teor de Umidade no instante de tempo t;
- X_e (%) - Teor de Umidade de Equilíbrio;
- X₀ (%) - Teor de Umidade Inicial;
- t (h) - Tempo de Secagem;
- k e n - Parâmetros de Secagem obtidos pelo ajuste das Curvas de Secagem (sem dimensão).

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, dentre outras) é de extrema importância, de tal modo que, sob determinadas condições operacionais, possamos proporcionar uma secagem uniforme do produto e reduzir o tempo de desidratação do mesmo (Grilo et al., 2007).

Para realizar os experimentos foram utilizadas bananas cortadas longitudinalmente. As bananas eram descascadas, lavadas e tratadas com gotas de limão para deixá-la com uma coloração mais dourada e impedir o seu escurecimento (Fiozeze, 2004). A Fig. 2 mostra algumas bananas cortadas nesta configuração, antes dos experimentos, e a banana-passa obtida após a secagem.



Figura 2 - Bananas cortadas longitudinalmente e banana-passa obtida.

Periodicamente, foram realizadas medições das propriedades do ar de secagem (temperatura, umidade e velocidade) com a utilização de um Termo-Higrômetro (modelo HT-208 da ICEL – Fig. 3a) e de um anemômetro digital portátil (modelo GM 8901 – Fig. 3b), além da verificação da perda de massa através do uso de uma balança de 5 kg (modelo KC – 01 da Western, com precisão de 1 g – Fig. 3c).



Figura 3 - Equipamentos de Medição: a) Termo-Higrômetro; b) Anemômetro; c) Balança.

Ao final de um dia de secagem, as bananas foram colocadas em um saco plástico e lacradas para evitar reidratação, com identificações das respectivas bandejas às quais as mesmas pertenciam, e ao final do segundo dia a banana-passa obtida foi lacrada em sacos apropriadas permitindo posterior degustação.

De posse dos resultados coletados de perda de massa e condições do ar de secagem, foram traçados gráficos de temperatura versus tempo e a curva de secagem ajustada pelo modelo de Page através dos *softwares Excel 2010 da Microsoft e Statistica 7.0 da StatSoft*, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos tiveram início às 10:00 h do dia 23 de fevereiro de 2013, foram interrompidos às 16:00 h do mesmo dia e retomados no dia seguinte com a mesma duração. Ao final do primeiro dia as bananas foram lacradas para reduzir as ações de reidratação. As medições de perda de massa foram realizadas em intervalos de 1(uma) hora e as propriedades do ar de secagem a cada 2(duas) horas, cujos resultados são apresentados, respectivamente, em Tab. 1 e Tab. 2.

Tabela 1 - Variação Mássica da Banana Durante o Processo de Secagem

Dia	Tempo (h)	Bandeja 1 (g)	Bandeja 2 (g)	Bandeja 3 (g)	Total (g)
23/02/2013	10:00	219	251	246	716
	11:00	189	222	216	627
	12:00	172	205	197	574
	13:00	158	190	182	530
	14:00	144	176	168	488
	15:00	140	169	158	467
	16:00	133	161	151	443
24/02/2013	10:00	133	161	151	443
	11:00	121	145	132	398
	12:00	110	136	122	368
	13:00	101	125	112	338
	14:00	98	122	110	330
	15:00	95	119	106	320
	16:00	93	116	104	313

Tabela 2 - Variação das Propriedades do Ar de Secagem Durante o Processo de Secagem

Dia	Tempo (h)	T _{amb} (°C)	T _{in1} (°C)	T _{in2} (°C)	UR _{amb} (%)	UR _{in2} (%)	V _{ar} (m/s)
23/02/2013	10:00	32,0	63,0	37,5	45	43	2,4
	11:00	36,3	72,5	43,4	41	43	2,0
	12:00	37,1	69,8	42,5	39	39	3,1
	13:00	34,8	55,2	41,7	40	40	2,1
	14:00	34,2	52,3	41,1	37	38	2,9
	15:00	31,7	47,1	40,0	38	36	1,8
	16:00	30,0	39,8	37,2	45	45	2,7
24/02/2013	10:00	31,0	69,9	37,2	36	40	2,5
	11:00	33,3	73,2	41,4	36	35	2,3
	12:00	32,9	61,7	42,0	35	35	2,7
	13:00	33,0	60,4	44,1	33	31	3,1
	14:00	36,2	49,9	39,7	37	37	2,6
	15:00	31,1	40,0	36,9	43	42	2,4
	16:00	31,0	41,8	39,8	41	41	2,5

Onde:

- T_{amb} (°C) - Temperatura ambiente;
- T_{in1} (°C) - Temperatura do ar no interior do coletor solar;
- T_{in2} (°C) - Temperatura do ar no interior da câmara de secagem;
- UR_{amb} (%) - Umidade relativa do ar no ambiente;
- UR_{in2} (%) - Umidade relativa do ar no interior da câmara de secagem;
- V_{ar} (m/s) - Velocidade do ar.

Feitas as medições, foram realizados cálculos do teor de água para cada instante e traçada a curva de razão de umidade ajustada ao modelo de Page (Fig. 4) e percebeu-se que o experimento apresentou coeficiente de correlação de $R = 0,9945$, mostrando-se estatisticamente significativo.

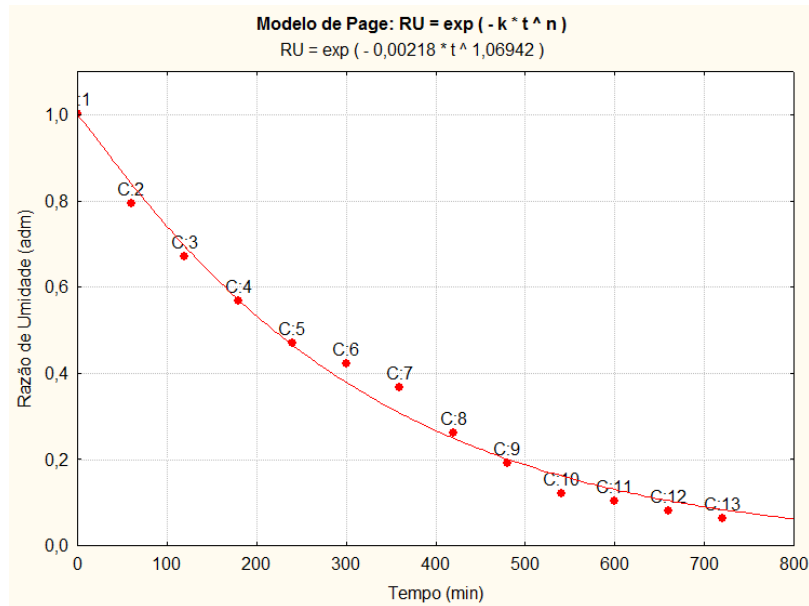


Figura 4 - Cinética de Secagem Ajustada pelo Modelo de Page

Foi observado o aumento da temperatura do ar no interior do secador solar o que ocasiona um aumento da capacidade de secagem do ar, favorecendo a eficiência do processo. Essa constatação é mostrada na Fig. 5, onde se verifica que a utilização do secador solar originou um acréscimo de até 39° em relação à temperatura do ar ambiente.

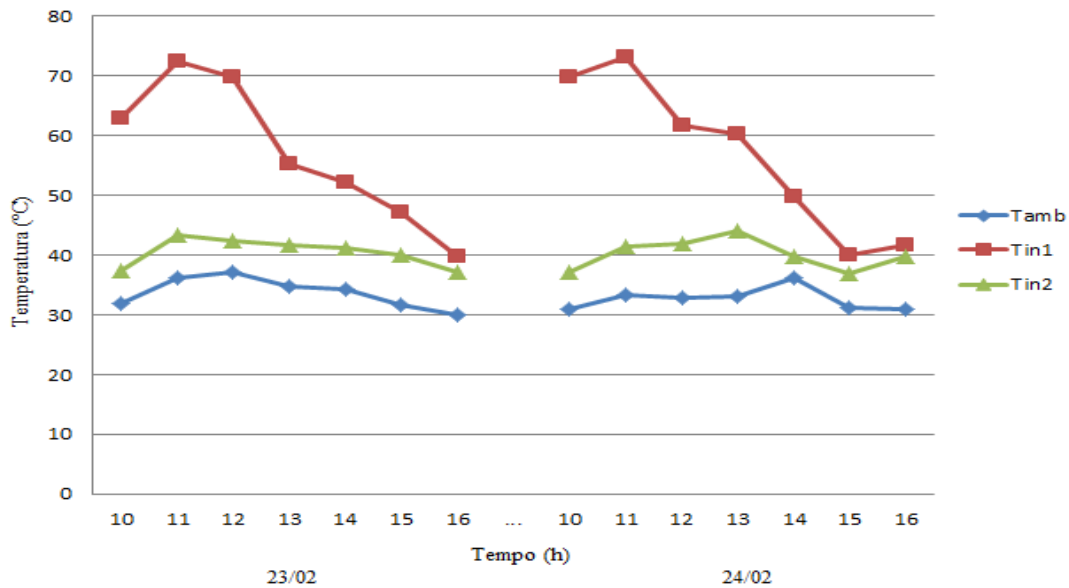


Figura 5 – Variação da Temperatura do Ar durante o Processo de Secagem

4. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que os experimentos têm significância estatística e que o modelo empírico utilizado se mostrou confiável e representativo dado os valores elevados dos coeficientes de determinação que se aproximaram de 0,99. De modo que, o secador solar de exposição indireta desenvolvido na UFCG apresenta boa eficiência no processo de desidratação de banana.

Outras apreciações podem ser feitas a fim de corroborar a análise apresentada, tais como: comparativo com outros tipos de secadores, análise físico-química do produto desidratado, eficiência do equipamento. Concomitantemente, estão sendo desenvolvidas na UFCG novas pesquisas para medir a intensidade de radiação solar e o calor gerado pela

queima do GLP. Também já está em estudo o desenvolvimento de um sistema automatizado de controle das variáveis envolvidas no processo de secagem buscando maximizar a eficiência deste processo.

Ademais, percebeu-se através da observação e degustação da banana-passa produzida sua boa qualidade e aparência, compatível com o resultado obtido 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

- Araujo, E. A. F., 2000. Estudo da cinética de secagem de fatias de banana nanica (*Musa acuminata* var. Cavendish) osmoticamente desidratadas, Dissertação de Mestrado, FEA, UNICAMP, Campinas.
- Fioreze, R., 2004. Princípios de secagem de produtos biológicos. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 229p.
- Grilo, M. B., 2007. Fundamentos da Energia Solar: Conceitos básicos e aplicações. Campina Grande, Editora da UFCG, 61p.
- Grilo, M. B., Leite, A. P. F., Andrade, R. R. D., Belo, F. A., Meunier, F., 2007. Experimental thermodynamic cycles and performance analysis of a solar powered adsorptive icemaker in hot humid climate. *Renewable Energy*, v. 32, p. 697 - 712.
- IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas, 2013. Panorama da Cadeia Produtiva das Frutas em 2012 e Projeções para 2013. Brasília.
- Kross, R.K., 2002. Estudo da secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) com pré-tratamento osmótico: efeito do epicarpo e do encolhimento, Dissertação de Mestrado, DEAg, UFPB, Campina Grande.
- Mauro, M. A., Menegalli, F., 1995. Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of banana (*Musa Cavendish* Lambert). *International Journal of Food Science and Technology*, v.30 p. 199-213.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., 1997 Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration. *Journal of Food Engineering*, v. 31, p. 423-432.
- Sousa, S., 1999. Desenvolvimento experimental de passas de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara), Dissertação de Mestrado, DEAg, UFPB, Campina Grande.

EXPERIMENTAL TESTS ON A DRYER SOLAR TERM OF EXPOSURE INDIRECTLY USED TO PRODUCE DRIED BANANA

Abstract. *This paper presents the results obtained in the process of drying banana using solar energy, in order to spread the culture of renewable energy and to promote sustainable development. The use of solar energy is important because of its characteristics of being clean and widely available throughout Brazil, mainly in the Northeastern part of Brazil. Developing equipments using solar energy as an energy source in the Northeastern region of Brazil contributes to promote socio-economic growth, thereby reducing social inequalities in the region. Among the various types of fruits produced in Brazil, we chose banana because its large domestic production, and its economic and nutrition contribution. Banana has great postharvest losses, since it is extremely perishable. The study aims to change fresh banana in dried banana, which has high added value. The solar drying of banana with the use of indirect radiation dryers turns to be a viable alternative to small, medium and large banana producers. We presented data obtained from experiments on drying banana through the solar dryer developed in UFCG. 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.*

Key words: *Solar energy, Solar dryer, Dried banana.*