

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Desidratador de frutas com uso de energia solar direta¹

Pedro Henrique Weirich Neto², Yurik Andrey Lessi Bergamini³, Joelcio Eurich⁴,
Nátalia Maidl de Souza⁴, Carlos Hugo Rocha⁵

¹ Aceito para Publicação no 1º Trimestre de 2016.

² Universidade Estadual de Ponta Grossa- Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, lama1@uepg.br.

³ Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Ponta Grossa, yberga@hotmail.com.

⁴ Doutorando na Universidade Estadual de Ponta Grossa, joe.eurich@gmail.com, natali.maidl@gmail.com.

⁵ Professor Doutor na Universidade Estadual de Ponta Grossa, chrocha@uepg.br.

Resumo

A sustentabilidade das propriedades agrícolas passa pela otimização do processo de produção. Pensando no aproveitamento de frutas desclassificadas para consumo in natura estudou-se desidratador de frutas com uso de energia solar direta, constituído de câmara de desidratação e câmara de captação de energia. Esta é formada por uma chapa de zinco e latas de alumínio deformadas, resultando em uma superfície irregular de grande absorvância. Compõem ainda as câmaras, cobertura de vidro, transparente ao comprimento luz visível e opaca ao infravermelho. Ensaiou-se também a coloração da chapa de zinco (natural e preta) e das latas de alumínio (natural e preta). Como variáveis de resposta, observaram-se a temperatura externa e interna da câmara de desidratação e a variação do conteúdo de água de bananas. Ficou clara a correlação positiva entre a temperatura ambiente e da câmara de desidratação. O tempo de exposição da banana na câmara de desidratação para alcançar a condição de fruta passa variou de 18 a 24 horas.

A combinação chapa preta de zinco e latas de alumínio pretas mostrou-se mais eficiente. O protótipo se mostrou tecnologicamente funcional.

Palavras-chave: energia alternativa, agricultura familiar, fruta passa.

Fruit dehydrator using direct solar energy

Abstract

The sustainability of farms comprises the optimization of the production process. Thinking about the use of declassified fruit for fresh consumption it was studied a fruit dehydrator working with direct solar energy, composed of a dehydration chamber and an energy collection chamber. The energy collection chamber was built with a zinc sheet and deformed aluminum cans, resulting in an irregular surface with high absorptance. Those chambers are composed of glass cover, transparent to visible light wavelength and opaque to infrared. It was also tested the color of zinc sheet (natural and black) and the aluminum cans (natural and black). As response variables there were observed external and internal temperature of the dehydration chamber and variation of water content of bananas. There was a clear positive correlation between environment temperature and temperature in the dehydration chamber. The exposure time of bananas in the dehydration chamber to reach the dried fruit condition ranged from 18 to 24 hours. Association between black sheet of zinc and black aluminum cans was more efficient. The prototype was technologically functional.

Keywords: alternative energy, smallholder farm, dried fruit.

Introdução

O paradigma da sustentabilidade das propriedades agrícolas, na agricultura do novo milênio, passa pela otimização do processo de produção. Problemas como a sazonalidade de colheita, de transporte e consequente armazenamento são comuns. Como exemplo do comentado, o Brasil, terceiro maior produtor e segundo maior consumidor mundial de banana, tem perdas deste produto que chegam a 40% (Lichtemberg & Lichtemberg, 2011). Com vistas a melhorar a renda do produtor rural, além dos produtos convencionais *in natura*, ofertar alimentos orgânicos, minimamente

processados, gelados ou supergelados, liofilizados e desidratados seriam opções interessantes (Vilela&Henz, 2000).

De acordo com Resolução da Diretoria do Colegiado da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) nº 272/2005, produtos de frutas são elaborados da fruta, inteira ou em partes e/ou sementes obtidos por diferentes processos, isolados ou em conjunto, como de secagem, desidratação, laminação, cocção, fermentação, concentração, congelamento e/ou processos tecnológicos considerados seguros (Brasil, 2005). Estes processos devem manter as características sensoriais e nutritivas, assemelhando-se ao produto *in natura* (Caliari et al., 2004).

A desidratação é um dos métodos mais antigos para a conservação de produtos orgânicos (Bezerra, 2001). O processo de desidratação serve como opção para evitar desperdício e variação do sabor natural do fruto (Queiroz, 1994). Na desidratação com exposição solar direta, utilizada por agricultores de base familiar, ocorrem grandes perdas de energia e de produto, principalmente pela falta de controle dos parâmetros de secagem, bem como um produto final com grande quantidade de impurezas. Já no caso da utilização de estufas elétricas, o custo inicial elevado e o custo da energia elétrica podem inviabilizar o processo (Embrapa, 2003).

O emprego da técnica de desidratação é descrito em um número variado de frutas. Lewicki&Jakubczyk (2000) e Lewicki&Lukaszuk (2004) avaliaram os efeitos da temperatura e conteúdo de água e da desidratação osmótica na secagem de frutos de maçã, respectivamente. Guiné (2005) estudou a secagem solar de pêra e El-Beltagy et al. (2007) estudaram a energia solar para desidratação de morango. Lo Scalzo et al. (2001) analisaram o perfil de aromas em frutos de melão desidratados. Dionello et al. (2009) analisaram os efeitos da pré-desidratação sobre a taxa de secagem de abacaxi. Em estudos com banana, Dandamrongraket et al. (2002) avaliaram o efeito de pré-tratamentos para desidratação. Em geral a maioria dos trabalhos disponíveis empregam desidratadores que utilizam grandes potências elétricas, sendo este principal componente de custo.

Mesmo tendo sua matriz energética baseada em energias consideradas renováveis, pelo crescimento da economia do país é evidente a necessidade de incentivo ao uso de energias renováveis complementares à hidráulica. Embora indiretamente a energia solar mova o mundo, o uso de técnicas de transformação e de utilização da energia solar direta é pouco empregada (ANEEL, 2005 e Gnoatto et al., 2008).

Neste sentido, evoluções acerca de coletores para a captação da energia solar direta vêm sendo estudadas. Chiam (1981) relata que as principais variáveis a serem abordadas são área do coletor e a inclinação deste. Quanto à inclinação, estudos apontam de forma genérica que o ideal é posicionar o coletor perpendicularmente à altura solar média do inverno ao meio dia, o que representaria uma inclinação igual à soma da latitude local mais 15° (Barroso-Krause & Medeiros, 2005). Segundo estudos de radiação global em superfícies inclinadas, Souza et al., (2011) indicam a latitude local somados 10°.

Visando aperfeiçoar coletores, Badescu (2006) relata que o isolamento da câmara de captação é importante, bem como a possibilidade de uso de camadas duplas de vidro, embora o autor reconheça que estes componentes representam grande parte do custo. Com relação ao aproveitamento da energia solar disponível, Badescu (2007) aponta valores de 3% como facilmente encontrados, porém relata possibilidade de aproveitamento de 90%. O autor aponta o fluxo de massa entre o coletor e a unidade armazenadora como sendo grande responsável pela qualidade energética. Frente à baixa eficiência de coletores, Ladjevardiet al.(2013) apresentam tecnologias como a utilização de nanoflúidos de grafite como opção técnica para otimização da transferência de calor.

Conforme descrito, testou-se protótipo de desidratador de frutas simples utilizando radiação solar direta objetivando aproveitamento pela agricultura de base familiar.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), localizado na longitude 50° 06' 11" W e latitude 25° 11' 24" S.

A região de Ponta Grossa, conforme classificação climática de Köppen, possui clima Cfb, subtropical, com verões frescos, e sem estação seca definida. A temperatura média anual é de 17 a 18°C, sendo a dos meses mais frios de 13 a 14°C e dos meses mais quentes de 23 a 24 °C, e a umidade relativa do ar média anual entre 70 e 75%(Caviglione et al., 2000).

A radiação solar global diária média para região varia de 12 a 14 MJ m⁻²dia⁻¹ e a média de insolação é de 4 a 5 horas dia⁻¹. Estes valores resultam em radiação solar

média anual típica de 4700 a 4900 W h m⁻²dia⁻¹, caracterizando-se como uma das regiões de menor disponibilidade de radiação solar do Brasil (ANEEL, 2005).

O desidratador sugerido utiliza o princípio de transferência de energia de dessecação por ar quente ou convecção. Este é composto por dois compartimentos, um com a função de captação de radiação solar e outro atuando como câmara de desidratação propriamente dita. Estas eram ligadas por orifícios que permitiam a passagem de ar, nesse caso, o ar externo entrava na câmara de captação e era aquecido. Posteriormente, menos denso, o ar passava da câmara de captação para a câmara de desidratação, localizada na parte superior do desidratador e, após circular por esta, era devolvido ao meio externo.

As duas câmaras referidas foram pintadas de preto na parte interna e branco na parte externa. As mesmas possuíam dimensões de 1,0 m x 1,0 m x 0,3 m com cobertura de vidro de 2 mm de espessura, que funcionava como superfície seletiva a alguns comprimentos de onda. A câmara de absorção de radiação foi idealizada com base em conceitos simples de comportamento de materiais, formatos, cores em relação a diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas (Figura 1).

A câmara de captação possuía isolamento interno de poliestireno de 20 mm, com revestimento de metal, no caso zinco, pintado de preto. Em cima da chapa de zinco foram dispostas latas de alumínio, previamente deformadas (amassadas) e também pintadas de preto. A utilização dos componentes metálicos é devido a sua capacidade de troca de calor, visto que os mesmos aquecem rapidamente pela radiação solar, bem como, perdem calor rapidamente para o ar atmosférico que tem a função de desidratar o material biológico. O material foi pintado de preto visando a maior absorção de ondas, no caso o comprimento denominado visível. As latas de alumínio foram deformadas objetivando maior reflexão interna na câmara de captação, a radiação não absorvida por uma das latas é refletida para outra, aumentando a probabilidade de aproveitamento.

A câmara de desidratação tinha em seu interior quatro bandejas de aço inoxidável, sobrepostas de maneira que a superior não sombreasse a inferior.

Como forma de otimização do protótipo sugerido e tendo as tintas utilizadas com custo elevado, testou-se o referido sem utilização destas. Neste caso, utilizou-se chapa de zinco como suporte, bem como latas de alumínio deformadas, sem a pintura de preto.

Para avaliação do protótipo procedeu-se a desidratação de banana, tendo sido realizadas três repetições. Em todas as repetições do processo, como testemunha, manteve-se uma mesma carga de frutos expostas diretamente ao sol.

As bananas, tipo prata, foram adquiridas em comércio local e submetidas à desidratação cortadas ao meio no sentido longitudinal.

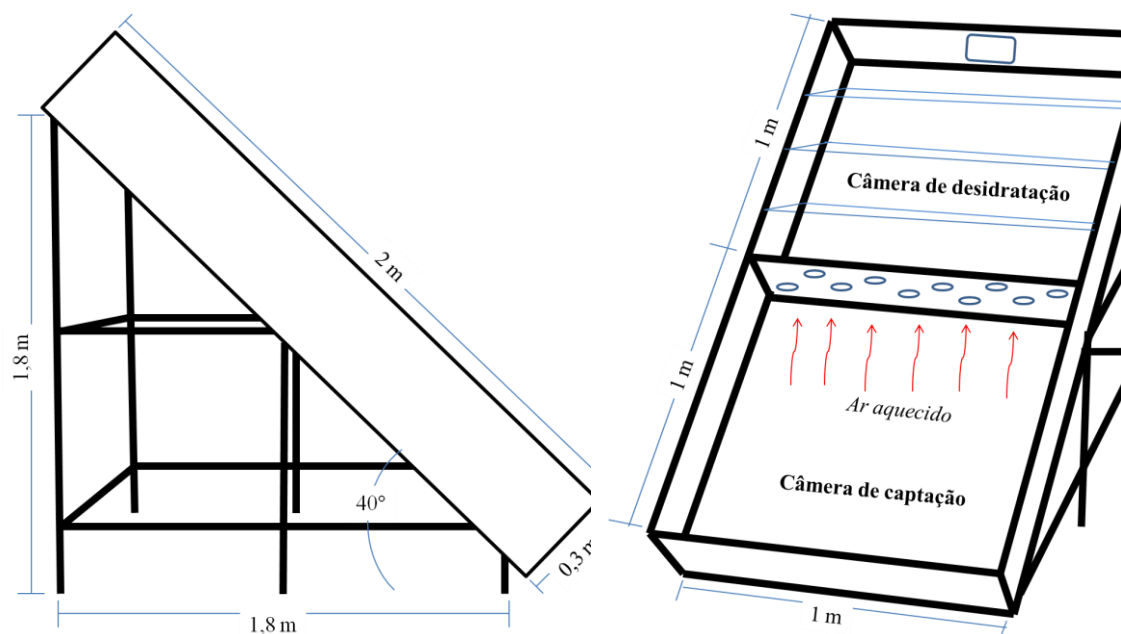


Figura 1. Representação esquemática do desidratador sugerido. Fonte: os autores

Para a curva de desidratação determinou-se o conteúdo de água, base massa, inicial do produto, bem como a cada duas horas de exposição na câmara de desidratação. Para determinação desta variável era retirada uma amostra (banana cortada na longitudinal) de cada uma das bandejas (quatro). Considerou-se completa a curva de desidratação quando o produto alcançava um conteúdo de água em torno de 200 g kg^{-1} . Embrapa (2003) considera como fruta-passa, frutas com conteúdo de água entre 15 e 25 g kg^{-1} , enquanto Kopf (2008), para maçã, considerou conteúdo de água menor que 25 g kg^{-1} .

Determinou-se também a temperatura na sombra, externa ao desidratador, e a temperatura na câmara de desidratação. No segundo caso foram utilizados três termômetros, com escala -10 a 150°C , marca Incoterm. Estes foram dispostos em diferentes locais da câmara de desidratação, sendo os resultados apresentados referentes à média das leituras dos mesmos. Para determinação da curva de secagem, ou

acompanhamento da massa das frutas, foi utilizada balança digital, com capacidade de 2 kg, acurácia de 0,1g, marca Shimadzu.

Quando da utilização de coloração diferenciada para chapa de fundo e latas de alumínio realizou-se estudo comparativo entre as temperaturas alcançadas na câmara de desidratação. Foram realizadas leituras das temperaturas em dois termômetros a cada 15 minutos no período das 9 h às 17 h. Foram realizadas cinco repetições (dias) para cada tratamento, os quais consistiram nas quatro combinações possíveis entre chapa de fundo (preta ou cinza) e latas de alumínio (preta ou natural). Neste segundo experimento a câmara de desidratação permaneceu vazia, sem frutos.

Como variável dependente utilizou-se a média das temperaturas máximas alcançadas e a média das áreas sob a figura geométrica gerada pela união das leituras das temperaturas na câmara de desidratação tendo como eixo x os horários das leituras.

Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra coletânea de dados referentes à desidratação de banana em três períodos, dentro da câmara de desidratação e diretamente exposta a radiação solar. Nestes estudos obtiveram-se como extremos, 24 horas de exposição, chegando a um conteúdo de água de 202 g kg⁻¹, e 18 horas para chegar a 210 g kg⁻¹. Trabalho da Embrapa (2003) descreve como de 24 horas o tempo de desidratação da banana.

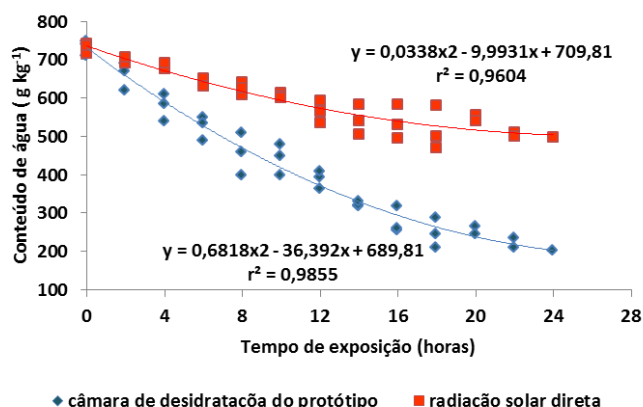


Figura 2. Conteúdo de água na banana em exposição direta e na câmara de desidratação do protótipo com início de exposição de três períodos distintos 10/03, 08/04 e 17/08

Fica evidenciado, pela diferença de inclinação das equações ajustadas para o uso e não uso do desidratador (Figura 2), o desempenho do protótipo. Este é tecnologicamente funcional e passível de utilização por produtores rurais de base

familiar, pois o mesmo pode ter sua base construída com elementos disponíveis na propriedade e complementada com vidro e bandejas facilmente encontrados comercialmente.

A temperatura ambiente, na sombra, e a temperatura na câmara de desidratação de um dia de exposição podem ser visualizadas na Figura 3. São evidentes nos tempos de exposição 14 h e 15 h 30 min., picos de temperaturas baixas na câmara de desidratação devido à nebulosidade instantânea.

Observam-se, neste exemplo em específico, temperaturas acima de 70 °C, as quais podem não ser interessantes para a desidratação de frutas, pois existe a possibilidade de carreamento junto à água evaporada de substâncias responsáveis por propriedades organolépticas da fruta. Kopf (2008) recomenda temperaturas de desidratação em torno de 70 °C, com temperaturas iniciais devendo ser maiores. Neste caso, podem-se prever reguladores de vazão nas aberturas de entrada e saída do ar, as quais poderiam ser acionadas em caso de temperaturas mais altas. Com a diminuição de área haveria maior velocidade de circulação do ar atmosférico, que teria um menor tempo de contato com as latas de alumínio na câmara de captação e conseqüente menor aquecimento.

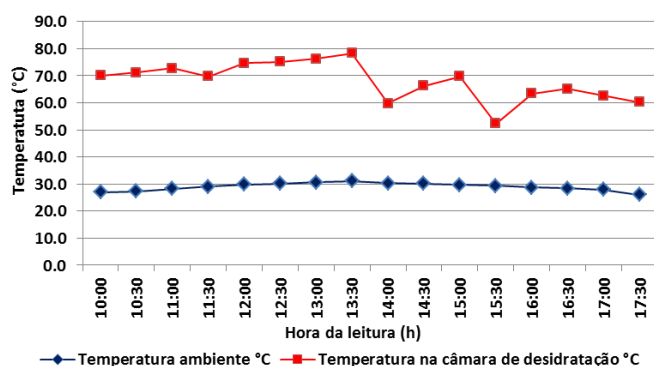


Figura 3. Leituras de temperaturas ambiente, na sombra, e no interior da câmara de desidratação do protótipo (valor médio de três termômetros) em um dos dias analisados

Relação entre a temperatura ambiente e a da câmara de desidratação de todo o experimento com frutas pode ser visualizada na Figura 4. Nesta, mesmo com o baixo valor do coeficiente de determinação, fica nítida tendência de aumento da temperatura na câmara de desidratação com aumento da temperatura externa ao protótipo, evidenciando que as “tecnologias” empregadas podem ser utilizadas para captação de

energia solar direta, aquecendo o ar atmosférico e transmitindo este para a câmara de desidratação.

Os indicadores de qualidade do protótipo se mostram interessantes. No entanto, deve-se concordar com Bezerra (2001) que relata que ao contrário dos equipamentos industriais em geral, os engenhos solares demonstram pequeno efeito escala e o mais indicado seria desenvolver pequenas unidades para execução de pequenas tarefas.

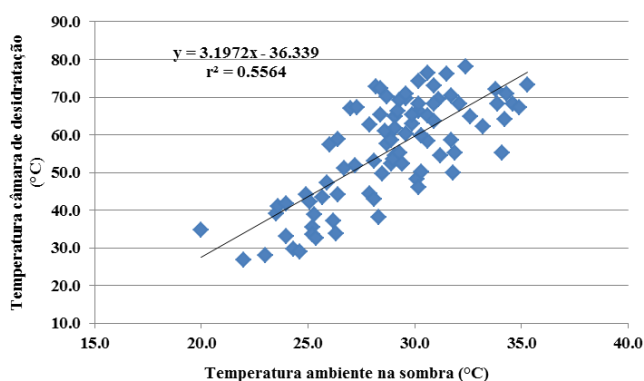


Figura 4. Relação entre valores de leituras de temperatura ambiente e no interior da câmara de desidratação do protótipo com valores de todo o experimento

Sabendo que a coloração é um dos conceitos mais simples quanto ao comportamento dos corpos quanto à radiação solar direta, bem como do custo, dimensionou-se através da variável temperatura a importância desta. A Tabela 1 mostra temperaturas máximas e acumuladas quando do uso da cor preta ou natural nas latas da câmara de captação e na chapa de suporte das mesmas. Fica evidente a importância deste componente na absorção de ondas do espectro visível, mais curtas, responsáveis pelo maior aquecimento dos corpos.

Tabela 1. Temperatura máxima na câmara de desidratação e área sob curva ajustada entre temperatura na câmara de desidratação e temperatura ambiente entre 20 e 35 °C conforme combinações de cor de componentes da câmara de captação de desidratador

	fundo preto lata preta	fundo prata lata preta	fundo preto lata prata	fundo prata lata prata
Temperatura máxima (°C)	88,4	81,6	72,9	70,3
Área sob curva (°C ²)	581	511	404	359

Ainda observando a Tabela 1, fica demonstrada a importância das latas deformadas para captação de radiação. Porém, a variável “cor”, independente de localização, proporcionou as maiores variações de valores nas duas variáveis dependentes sugeridas, temperatura máxima (88,4 – 72,9 °C) (81,6 - 70,3 °C) e área sob curva de temperatura na câmara de desidratação (581 – 404 °C²) (511 – 359 °C²) (Tabela 1).

Várias conclusões indiretas foram observadas durante os experimentos, as quais deverão virar trabalhos futuros. Melhorar mobilidade do desidratador, aperfeiçoar área da câmara de desidratação, melhorar controle de temperatura (por variação das aberturas), estudos relativos a ângulo do desidratador e de incidência de radiação são algumas.

Conclusões

O tempo necessário para desidratação da banana variou de 18 a 24 horas. A temperatura máxima alcançada na câmara de desidratação foi de 78 °C. Neste caso específico, o desenvolvimento de protótipo provido de reguladores de vazão nos orifícios de entrada e saída de ar pode ser indicado, buscando aumentar a velocidade de circulação do ar.

A coloração preta nos componentes da câmara de captação da radiação solar é de fundamental importância.

O desidratador se mostrou tecnologicamente funcional, mesmo em região de baixa disponibilidade de radiação solar.

Referências

- Agência Nacional de Energia Elétrica/ANEEL. **Atlas de energia elétrica no Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL. 243p. 2005.
- Badescu, M. V. Optimum size and structure for solar energy collection systems. **Energy**, v. 31, p.1819–1835, 2006.
- Badescu, M. V. Optimal control of flow in solar collectors for maximum exergy extraction. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 50, p.4311–4322, 2007.
- Barroso-Krause, C.; Medeiros, D.D. C. **Instalação de coletor solar**. Dicas de arquitetura. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFRJ. Disponível em <www.fau.ufrj.br/proarq>. Acesso em: 02 jul. 2013.
- Bezerra, A. M. **Energia Solar**: aquecedores de água. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2001, 129p.

BRASIL. **Resolução RDC nº 272**, de 22 de setembro de 2005. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 set. 2005.

Caliari, M.; Soares Júnior, M. S.; Fernandes, T. N.; Gonçalves, S. Desidratação osmótica de batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 15-20, 2004.

Caviglione, J. H.; Kiihl, L. R. M.; Caramori, P. H. *Cartas climáticas do Paraná* – edição 2000, versão 1.0. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2000. (versão em CD ROM).

Chiam, H. F. Planar concentrators for flat-plate solar collectors. **Solar Energy**, v. 26, p. 503-509, 1981.

Dandamrongrak, R.; Young, G.; Mason, R. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 2, p. 139-146, 2002.

Dionello, R. G.; Berbert, P. A.; Molina, M. A. B.; Pereira, R. C.; Viana, A. P.; Carlesso, V. O. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 232-240, 2009.

El-Beltagy, A.; Gamea, G. R.; Amer Essa, A. H. A. Solar drying characteristics of strawberry. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 456-464, 2007.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA. **Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial**: frutas desidratadas. Brasília: EMBRAPA. Informação Tecnológica, 2003. 115p. (Série Agronegócios).

Gnoatto, E.; Dallacort, R.; Ricieri, R. P.; Silva, S. L.; Ferruzi, Y. Eficiência de um conjunto fotovoltaico em condições reais de trabalho na região de Cascavel. **Acta Scientiarum Technology**, v. 30, n. 2, p. 215-219, 2008.

Guiné, R. P. F. Secagem solar de peras: Evolução da densidade e características de encolhimento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, p. 248-251, 2005.

Ladjevardi, S.M.; Asnaghi, A.; Izadkhast, P.S.; Kashani, A.H. Applicability of graphite nanofluids in direct solar energy absorption. **Solar Energy**, v. 94, p. 327-334, 2013.

Lewicki, P. P.; Lukaszuk, A. Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 45, n. 3, p. 119-126, 2000.

Lewicki, P. P.; Jakubczyk, E. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 3, p. 307-314, 2004.

Lichtemberg, L. A.; Lichtemberg, P. S. F. Avanços na bananicultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 29-36, 2011.

Lo Scalzo, R.; Papadimitriu, C.; Bertolo, G.; Maestrelli, A.; Torreggiani, D. Influence of cultivar and osmotic dehydration time on aroma profiles of muskmelon (*Cucumis melo*, cv. *reticulatus* Naud.) spheres. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 261-264, 2001.

Kopf, C. **Técnicas do processamento de frutas para a agricultura familiar**. Guarapuava: Departamento de Engenharia de Alimentos/Unicentro, 2008. 62p.

Souza, A. P.; Escobedo, J. F.; Dal Pai, A.; Gomes, E. N. Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 277-288, 2011.

Vilela, N. J.; Henz, G. P. Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 17, n. 1, p. 71-89, 2000.