

Coletor Solar de Polietileno para a Secagem de Grãos em Pequenas Propriedades Rurais

39

Fernando João Bispo Brandão¹, Marco Antônio Martin Biaggioni², William Duarte Bailo², Ricardo Rabelo de Arruda Filho², Lucas Serrou da Costa²

RESUMO

A secagem artificial é considerada a operação de maior gasto energético na etapa de pós-colheita dos grãos e, do ponto de vista financeiro, continua sendo dispendiosa e inviável para os pequenos agricultores. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de secagem com coletor solar de tubo de polietileno em espiral, destinado à secagem de grãos em leito fixo, para as pequenas propriedades rurais. Para o sistema testado, utilizou-se 25 metros de mangueira de polietileno preta de duas polegadas, dobrada em espiral, no interior de uma caixa coletora com cobertura de vidro. O protótipo foi avaliado por meio da secagem de três lotes milho, durante três dias consecutivos, quando se determinou o consumo específico de energia, a perda de carga, o tempo de secagem, além das temperaturas da massa de grãos e do ar de secagem. O tempo médio de secagem nas condições de início de outono em Botucatu-SP, foi de 4,6 horas com um consumo específico de energia de 1.246,6 kJ.kg⁻¹ de água evaporada. Os resultados indicaram também um desempenho satisfatório do coletor em relação às temperaturas atingidas pelo ar de secagem, entretanto, a perda de carga proporcionada pelo sistema deve ser considerada no seu dimensionamento.

Palavras-chave: Energia solar, Secagem de milho, Agricultura familiar.

¹Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Email: tabatazbi@yahoo.com.br

²Professora Doutora da Universidade Federal da Grande Dourados. Email: vschoeninger@ufgd.edu.br

³Graduanda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Grande Dourados. Email: leticiaddos@gmail.com

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética e a preocupação com a poluição ambiental fazem com que sejam importantes as pesquisas que visam à substituição dos combustíveis fósseis. As energias renováveis são consideradas alternativas ao modelo energético tradicional, tanto pela sua disponibilidade garantida no presente e no futuro, como também pelo seu baixo impacto ambiental (Mekhilef et al., 2013).

Apesar de constituir-se numa fonte de energia renovável, a substituição de biomassa, principal combustível empregado nos secadores de grãos, por uma fonte de energia solar, pode proporcionar a redução dos custos de secagem e valorizar a qualidade final do produto que seria estocado, isto com equipamentos seguros para o trabalhador e de fácil acesso aos pequenos produtores.

A energia solar é uma fonte de energia promissora e livremente disponível para solucionar problemas energéticos. O Sol emite uma taxa de radiação de $3,8 \cdot 10^{23}$ kW, dos quais cerca de $1,8 \cdot 10^{14}$ kW são interceptados pela atmosfera terrestre antes de chegar a superfície (Kannan; Vakeesan, 2016). O Brasil está localizado em região de clima tropical e recebe grande irradiação solar em todo o seu território. Dados obtidos em Brasil (2014) revelam que a irradiação solar no país varia de 8 a 22 MJ.m⁻².dia⁻¹; a região sudeste brasileira recebe em média 16 MJ.m⁻².dia⁻¹ de energia a partir do sol.

Um coletor solar basicamente é uma superfície enegrecida que, ao absorver radiação solar, se aquece e transmite energia térmica (calor) ao fluido de trabalho. Essa energia recebida pelo fluido é chamada de energia útil. Parte da radiação absorvida, no entanto, será perdida pelo sistema através de processos de transferência de calor.

Estudos com coletores solares de polietileno começaram no início da década de 90, quando Santos (1991) avaliou um coletor solar plano para aquecimento de água, composto por uma mangueira de polietileno de 40 metros de comprimento em forma de serpentina introduzida no interior da placa plana horizontal de argamassa de 6,0 m². O rendimento médio foi de 20,07%, e a temperatura final teve um acréscimo de 13°C em relação a temperatura de entrada da água. O avanço da tecnologia de coletores solares, para a secagem de alimentos tem sido dado ultimamente pela introdução de circulação forçada e natural dentro dos sistemas de secagem, em alguns casos existe o uso de fontes auxiliares de energia, como elétrica e de combustíveis fósseis, para encontrar características desejáveis durante a secagem. (Ekechukwu; Norton, 1999).

Existem vários tipos de secadores desenvolvidos para secagem de produtos agrícolas. De acordo com Murthy (2009), o design e a forma de aquecimento do ar dependem das características climáticas e tecnologia disponível da região. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de um sistema de secagem com coletor solar de tubo de polietileno em espiral, no interior de uma caixa coletora de madeira

com cobertura de vidro, destinado à secagem de milho em leito fixo, para as pequenas propriedades rurais.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a avaliação do desempenho do secador de grãos utilizando coletor solar de polietileno para aquecimento do ar de secagem foi construído um protótipo composto por um ventilador, coletor solar de polietileno e silo secador. Os ensaios foram conduzidos na Fazenda Experimental Lageado, da FCA/UNESP, na cidade de Botucatu/SP, que apresenta um clima subtropical úmido - mesotermal, com verões quentes e úmidos e invernos secos. A temperatura do ar e os valores de umidade relativa médios variam entre 23,12°C (fevereiro) e 17,10°C (julho) para temperatura do ar e 78,25% (fevereiro) e 63,97% (agosto) para umidade relativa, respectivamente (Dal Pai et al. 2014).

O experimento foi realizado conforme metodologia de Bakker-Arkema et al. (1978), que sugeriram três testes consecutivos para os sistemas de secagem em lote. Os grãos de milho foram colhidos da própria Fazenda com teor de água próximo a 18% b.u. e, então, secos até teor de água próximo a 13% b.u., entre o período de 09:00 h às 14:00 h, aproximadamente.

O coletor solar foi confeccionado em tubo polietileno extrusado, com diâmetro de 2 polegadas e 25 metros de comprimento totalizando 1,17 m² de superfície em espiral. O travamento em espiral do tubo foi realizado por meio de uma estrutura de aço de baixo carbono que possibilitou esse formato ao tubo (Figura 1a). Com o objetivo de diminuir as perdas térmicas para o ambiente externo, a estrutura em espiral foi colocada no interior de uma caixa coletora construída em madeira (compensado de 15 mm), pintada em preto fosco, medindo 1,90 m de largura por 2,20 m de comprimento e altura de 0,20 m. Na parte inferior, foram feitos dois orifícios com 0,06 m de diâmetro para permitir o acoplamento da entrada e saída do tubo junto ao ventilador e silo secador (Figura 1b). A parte superior foi fechada com cobertura de vidro de 3 milímetros.

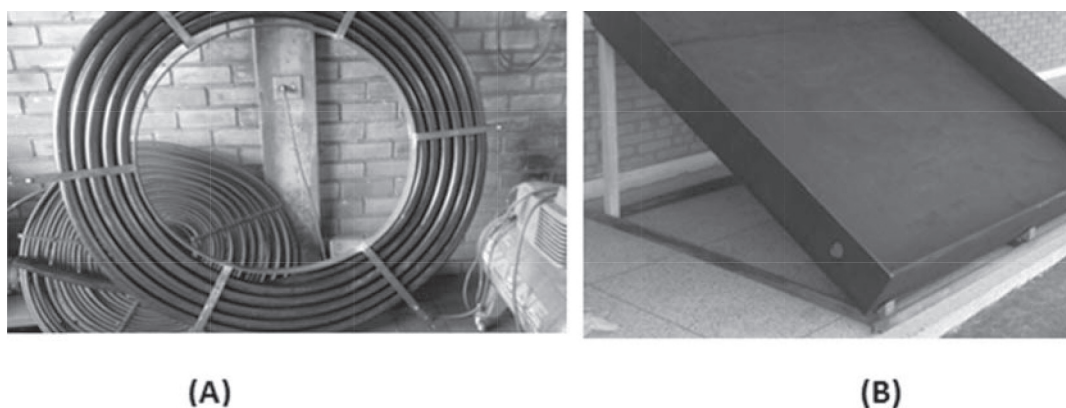


FIGURA 1. Coletor solar de tubo de polietileno em espiral travado em estrutura de aço (A) e caixa coletora armazenadora de energia (B).

A circulação forçada do ar de secagem foi realizada por um ventilador centrífugo com potência de 1/3 cv, localizado antes do coletor solar, e a distribuição do ar para a massa de grãos, na saída do coletor, foi feita por meio de um duto divergente transferindo o ar para o plenum do silo-secador. O sistema de ventilação foi mantido ligado em tempo integral e a vazão média foi de $1,22 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. O silo secador de leito fixo foi construído em chapa galvanizada, medindo 0,50 m de altura por 0,50 m de diâmetro (Figura 2). Durante a secagem, a massa de grãos era revolvida em intervalos de regulares de uma hora.

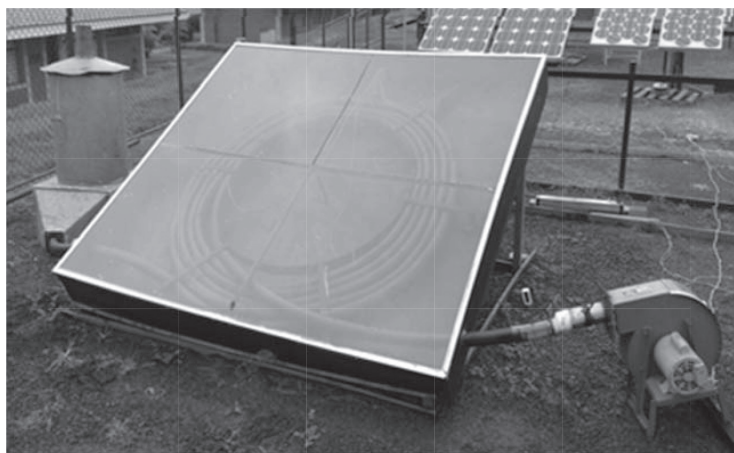


FIGURA 2. Protótipo do sistema de secagem composto por silo-secador (esquerda), coletor solar com cobertura de vidro (centro) e ventilador centrífugo (direita).

Os parâmetros monitorados durante a secagem dos grãos foram: os teores inicial e final de água (%), conforme Brasil 2009; as temperaturas de entrada e saída do coletor solar ($^{\circ}\text{C}$), temperaturas no plenum ($^{\circ}\text{C}$) e na massa de grãos ($^{\circ}\text{C}$), por meio de termopares tipo K acoplados em datalogger Campbell® modelo CR10, armazenando médias instantâneas a cada 5 minutos; Avaliou-se ainda o consumo específico de energia ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ de água evaporada), a duração da secagem (h) e a perda de carga no coletor solar (mm CA), por meio de um manômetro digital de pressão estática. Simultaneamente a essas coletas, foi monitorada a radiação solar global ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) por meio de um piranômetro instalado no mesmo ângulo do coletor solar, em 32° para o norte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em cada teste, foram secos 60 kg de milho com teor de água inicial médio de 17,8% e final de 13,1%, obtendo-se uma quantidade média de água evaporada igual a 3,25 kg. A perda de carga média através da espiral do coletor, medida em cada ensaio, atingiu 40 mmCA.

As temperaturas da massa de grãos e do ar no plenum, na entrada e saída do coletor e a irradiância instantânea durante o dia estão descritos na Figura 3. Verifica-se

que a média da temperatura na saída do coletor foi de 55°C, obtendo-se temperatura máxima de 70°C durante os picos de radiação solar (I) e mínima de 40 °C. A temperatura nos grãos (Tg) manteve-se constante até às 13 horas, devido ao revolvimento da massa que misturava os grãos quentes e secos do fundo do silo com os grãos úmidos e frios da parte superior; a partir das 13 horas, toda a massa encontrava-se com temperatura uniforme, dessa forma, com a contínua entrada de ar de secagem do coletor, houve o aumento na temperatura da massa de grãos que atingiu valor máximo de 49°C, por volta das 15 horas, já com os grãos secos.

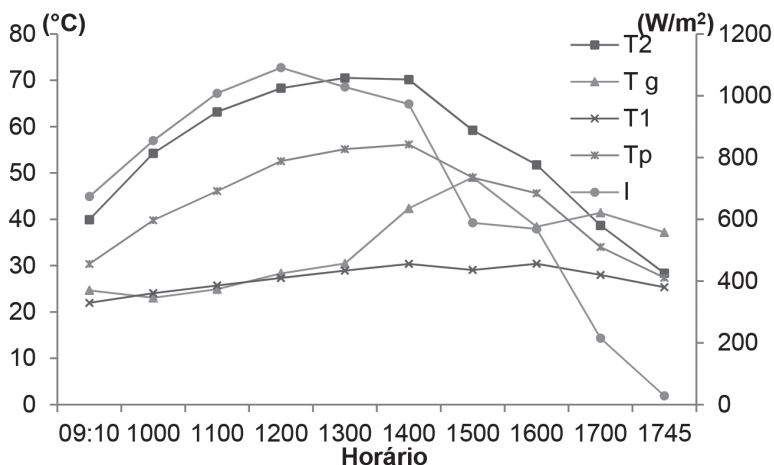


FIGURA 3. Irradiância solar (I); temperatura de entrada no coletor (T1), temperatura de saída no coletor (T2), temperatura do plenum (Tp) e Temperatura da massa de grãos (Tg) ao longo do dia, no coletor solar com configuração com cobertura de vidro.

Durante a secagem, o milho reduziu o teor de água de 18 para 13% em cerca de 4,5 horas, como pode ser visto na Figura 4. As temperaturas atingidas durante a secagem podem ser consideradas satisfatórias e estão próximas às observadas por outros estudos como Nonclercq et al. (2009), ELkhadraoui et al. (2015).

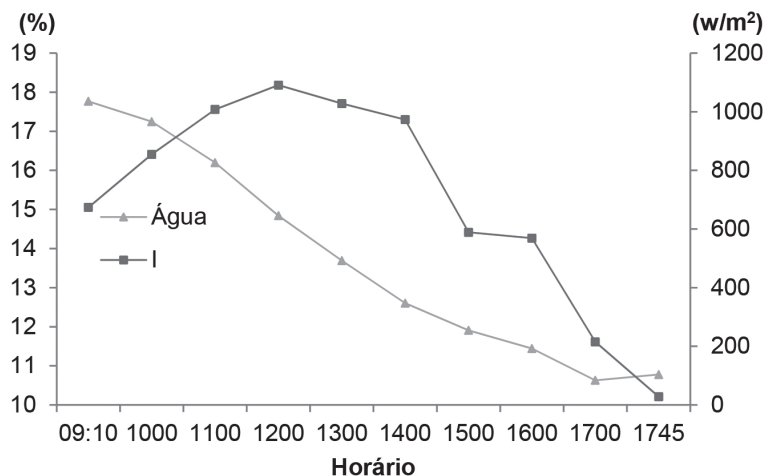


FIGURA 4. Irradiância solar e redução do teor de água dos grãos ao longo do dia, no coletor solar configurado com cobertura de vidro.

Os resultados médios de desempenho obtidos durante os ensaios de secagem são apresentados na Tabela 1. Para o cálculo do consumo específico de energia (CEE), considerou-se somente a energia gasta pelo ventilador uma vez que a energia empregada para o aquecimento do ar de secagem veio integralmente do sol (gratuita). Dessa forma, o baixo CEE determinado, de apenas 1.246,6 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, explica-se pelo reduzido tempo de secagem obtido, gerando um baixo consumo de energia elétrica pelo sistema, ou seja, cerca de 5,2% da energia total investida.

TABELA 1. Parâmetros de desempenho durante a secagem de milho em secador solar com coletor de polietileno.

Parâmetros	Resultados
Tempo de secagem – 17,8 para 13,1% b.u (h)	4,60
Quantidade de água evaporada (kg)	3,25
Energia consumida pelo ventilador (kJ)	4.051,67
Consumo específico de energia (KJ/kg)	1.246,57
Energia Total – Irradiação solar e ventilador (kJ)	69.880,82

Por outro lado, estimando-se o calor latente de vaporização da água no milho em 2500 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, obtém-se um valor teórico de energia necessária para a evaporação de 3,25 kg de água dos grãos igual a 8.125,00 kJ. Considerando-se que durante a secagem foi disponibilizado, em média, 69.880,82 kJ (irradiação solar + ventilador), destaca-se uma eficiência próxima de 12%, o que é normalmente encontrado nos sistemas de secagem de grãos que utilizam aquecimento solar, mas que pode ser melhorada pela redução das perdas térmicas ocorridas por condução, convecção e irradiação do coletor para o ambiente, durante os ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKKER-ARKEMA, F. W. et al. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. St. Joseph: ASAE, 1978. 13p. (Paper 78-3523).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Produção Vegetal Divisão de Sementes e Mudanças. Regras para análise de Sementes. Brasília, 1980. 188p. 1992.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – Energia Solar. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>> Acesso em 23. março.2014.

DAL PAI, A. et al. Estimation of Hourly, Daily and Monthly Mean Diffuse Radiation Based on MEO Shadowing Correction. *Energy Procedia* 57 (2014) 1150 – 1159

EKECHUKWU, O; NORTON, B. Review of solar-energy drying Systems II: an over view solar drying technology. *Energy Convers Manag.*1999; 40: 615–55.

ELKHADRAOUI, A. et al. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. *Renewable Energy* 77 (2015) 1 e 8.

KANNAN, N.; VAKEESA, D.; Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62 (2016) 1092–1105.

MEKHILEF, S; FARAMARZI, S. Z; SAIDUR, R; ZAINAL SALAM. The application of solar technologies for sustainable development of agricultural sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*18 (2013) 583–594.

MURTHY, M.V.R. A review of new technologies, models and experimental investigations of solar driers.*Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 835–844.

NONCLERCQ, A. et al. Construction of a solar drying unit suitable for conservation of food and enhancement of food security in west Africa. *Food Secur* 2009; 1 (2): 197 – 205.

SANTOS, J. G. et al. Avaliação de um coletor solar plano em argamassa de traço simples para aplicações rurais e urbanas periféricas. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 13, 1991, Rio de Janeiro. *Ciência e Sobrevivência: anais...* Rio de Janeiro: SBPC, 1991, p. 95-96.