



ARTIGO ORIGINAL

Edar Ferrari Filho¹
Luidi Eric Guimarães Antunes¹
Rafael Gomes Dionello^{1*}

¹Universidade Federal do
Rio Grande do Sul – UFRGS,
Av. Bento Gonçalves, 7712,
91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil

Autor Correspondente:
*E-mail: rafdionello@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Avaliação econômica
GLP
Solar
Ar natural

KEYWORDS

Economic evaluation
LPG
Solar drying
Natural air

Custos da secagem estacionária de milho submetido a diferentes fontes de aquecimento do ar

Costs of stationary drying of corn subjected to different sources of air heating

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar o consumo e o custo de combustível e eletricidade na secagem estacionária de grãos de milho submetidos a três fontes de aquecimento. Os grãos foram oriundos de lavoura experimental e secos até umidade de aproximadamente 12%, por meio de secagem com ar natural, com uso de GLP (gás liquefeito de petróleo) e solar. Com GLP, realizaram-se avaliações de consumo e custo horário, unitário e total. Também se realizaram avaliações de consumo total e custo da eletricidade por saco seco, além do custo total de secagem para todos os tratamentos estudados. O custo da secagem por saco (60 kg) com uso de GLP é superior três e dez vezes à secagem com ar natural e solar, respectivamente. O consumo total de eletricidade é maior na secagem com ar natural e a taxa de secagem com uso do GLP é três vezes superior quando comparada à taxa de secagem com ar natural.

ABSTRACT: *The purpose of this study was to evaluate the consumption and cost of fuel and electricity for stationary drying of grains subjected to three heating sources. Grains originated from experimental crops were dried to approximately 12% moisture content with natural air, the use of LPG (liquefied petroleum gas), and solar drying. Assessments of time consumption and costs, unitary and total, were carried out for the LPG drying. Evaluations of electricity total consumption and cost per dry bag were also performed, as well as the total drying cost for all treatments studied. The cost of drying per bag (60 kg) with the use of LPG was three times higher than with natural air and ten times higher than with solar drying. The total electricity consumption was greater with natural air and the drying rate with the use of LPG was three times higher when compared to natural air-drying.*

Recebido: 22/06/2011
Aceito: 20/03/2012

1 Introdução

O Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de milho (*Zea mays* L.), atrás dos Estados Unidos e da China, tendo respondido, na média do período de 1990 a 2000, com cerca de 6% do volume produzido mundialmente (FAO, 2006).

O milho é o cereal mais produzido no País e o segundo grão de maior produção e importância econômica, perdendo somente para a soja (CONAB, 2011).

A cultura do milho é tipicamente desenvolvida em pequenas propriedades, representando 78,5% da produção nacional (OLIVEIRA; MARTINS, 2004). Nessas propriedades, o milho é utilizado na alimentação animal e humana, sendo necessária a preservação de suas qualidades durante o período de armazenagem.

A secagem pode ser considerada como uma das mais importantes e mais frequentes operações unitárias aplicadas em todos os setores de produção de produtos sólidos (VERGARA et al., 1997). Conforme esses autores, a secagem, por meio da retirada de água, tem por objetivos: o controle de microorganismos e de alterações físico-químicas, a redução dos custos relacionados à embalagem e a manipulação, o transporte e o armazenamento da produção, pela redução de seu peso e de seu volume.

Entre as principais vantagens da secagem artificial, pode-se citar a possibilidade de antecipação da colheita, reduzindo as perdas no campo ocasionadas por condições climáticas indesejadas e/ou pelo ataque de roedores, insetos, pássaros e microorganismos (ATHIÉ et al., 1998; PUZZI, 2000; SILVA, 2000; ELIAS, 2007).

Os mesmos autores ainda relatam que ocorre a possibilidade de os produtores obterem maiores preços pelos produtos, principalmente se comercializados na entressafra, no caso de a secagem estar associada ao armazenamento. A secagem permite a formação de estoques reguladores de mercado e permite também a oferta de produtos de alta qualidade: no caso de grãos, pelas características organolépticas e nutricionais; e, no caso de sementes, pela alta percentagem de germinação e vigor.

Uma fonte de aquecimento do ar que pode ser utilizada para a secagem de grãos é o gás liquefeito de petróleo (GLP). Citam-se, como principais vantagens do uso do GLP na secagem de produtos agrícolas: a inexistência da deposição de fumaça e partículas de fuligem sobre os produtos, o que leva a uma contaminação do produto; a simplicidade de operação, e o ajuste fino na vazão de combustível, o que permite melhor controle da temperatura, automação do processo e uma secagem mais homogênea (PORTELLA; EICHELBER, 2001).

A secagem de milho pode ser realizada em diversos tipos de secadores e sistemas de secagem (SILVA, 2000). Quando bem manejados, os secadores que utilizam baixas temperaturas ou ar natural são os que mais contribuem para a manutenção das qualidades originais do produto e os mais adequados para a secagem de sementes, constituindo um método econômico e eficiente. Tais secadores apresentam, ainda, alta aplicabilidade nas fazendas, em razão do menor investimento inicial quando comparados aos sistemas que utilizam altas temperaturas.

Em regiões temperadas, o uso de secagem em baixas temperaturas é recomendado para milho com teor de água

inicial inferior a 18%, uma vez que, para valores superiores a esse, são necessários grandes fluxos de ar, inviabilizando economicamente o sistema. Diversamente, em condições de clima tropical, esse limite pode chegar até a 25% em base úmida (b.u.).

O objetivo deste trabalho foi avaliar consumo e custo de combustível e eletricidade na secagem estacionária de grãos de milho submetidos a diferentes fontes de aquecimento do ar.

2 Material e Métodos

Foram utilizados grãos de milho híbrido AS-32, cultivados na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), município de Eldorado do Sul-RS (30° 05' S 52" e 51° 39' 08" W), na safra agrícola de 2008/2009.

As espigas foram colhidas, com umidade de 16%, sendo determinado estufa a 105 ± 3 °C, conforme Brasil (2009). As espigas foram, então, debulhadas em debulhadora estacionária mecânica de cilindro dentado, sendo os grãos posteriormente limpos em máquina de ar e peneiras planas, para retirada de impurezas, grãos quebrados e outras matérias.

Em seguida, dividiram-se os grãos segundo três tratamentos de secagem:

S_1 - Secagem estacionária, em silo secador de concreto armado, com ar não aquecido, na condição ambiente, a 20 ± 5 °C, com umidade relativa do ar média de 62,7%.

S_2 - Secagem estacionária, em silo secador de concreto armado, com ar aquecido, uso de GLP a 40 ± 5 °C, com umidade relativa do ar média de 77,5%.

S_3 - Secagem em secador solar, com temperatura a 25 ± 5 °C, com umidade relativa do ar média de 57%.

O experimento foi conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado.

A temperatura do ar de secagem foi controlada por sensor localizado na tubulação da saída do ar do ventilador para a câmara de secagem. Os grãos foram secos até teor de água, respectivamente, de 12,05, 11,39 e 10,24% em b.u.; foram utilizados fluxos de ar, respectivamente, de 2,55; 3,09 e 2,36 m³ s⁻¹ t⁻¹ de grãos; foram utilizadas velocidade do ar de secagem, respectivamente, de 38,1; 36,4 e 35,3 m s⁻¹, para os tratamentos S_1 , S_2 , e S_3 . Para cada tratamento, foram realizadas três repetições, tendo sido secos 30 sacos nos tratamentos S_1 e S_3 , e 25 sacos para o S_2 .

Durante as operações de secagem (S_1 a S_3), foi realizado o acompanhamento da umidade com determinador dielétrico (GEOLE), previamente calibrado pelo método da estufa, sendo retiradas amostras em intervalos de tempo, para que a secagem fosse realizada até os grãos atingirem umidade próxima a 12%. Todas as determinações do teor de água foram realizadas conforme Brasil (2009).

A temperatura do ar de secagem foi monitorada com termômetro de mercúrio, com escala de 0,5 °C, sendo o mesmo posicionado na entrada do secador, após o ventilador. A velocidade do ar de secagem foi monitorada utilizando-se anemômetro de pás rotativas.

A temperatura da massa de grãos foi monitorada com termômetro de mercúrio, com escala de 0,5 °C, coletando-se

amostras na parte inferior do secador, colocando-as em copos plásticos e, após 3 min, lidos os resultados.

Foram calculadas as taxas de secagem para as três condições estudadas, dividindo-se a quantidade de água retirada (%) pelo tempo total de secagem.

Na secagem com utilização de GLP (S_2), para a medição do consumo de gás, foi utilizado um medidor de vazão em m^3 , da marca LAO, modelo G1, posicionado antes do queimador, tendo sido coletados dados a cada 1 h, até o final da secagem. O consumo de gás foi medido em m^3 e, para calcular os valores gastos totais, usaram-se as seguintes deduções:

1 m^3 de GLP = 2,5 kg de GLP (SUPERGASBRAS, 2011)

1 kg de GLP = R\$ 2,50 ou US\$ 1,75 (em março de 2011) (SUPERGASBRAS, 2011)

Para os cálculos de consumo de GLP, foram utilizadas as seguintes equações:

Consumo total ($kg\ t^{-1}\ seca$) = obtido dividindo-se o consumo efetivo pelo peso dos grãos após secagem.

Consumo horário ($kg\ h^{-1}$) = obtido mediante a divisão do consumo total efetivo pelo número efetivo de horas de duração da secagem.

Consumo unitário ($kg\ \%^{-1}\ t^{-1}\ seca$) = obtido dividindo-se o consumo total pelo percentual de água retirado e pelo peso final de grãos secos.

Para os cálculos de custos de GLP, foram utilizadas as seguintes equações, considerando-se o preço de R\$ 2,50/kg de GLP ou US\$ 1,75, em março de 2011, (SUPERGASBRAS, 2011):

Custo total (R\$ $t^{-1}\ seca$) = obtido a partir do consumo total de GLP ($kg\ t^{-1}\ seca$).

Custo horário (R\$ h^{-1}) = obtido a partir do consumo horário de GLP ($kg\ h^{-1}$).

Custo unitário (R\$/saco 60 kg) = obtido a partir do consumo total de GLP ($kg\ t^{-1}\ seca$) dividindo-se por unidade de 60 kg.

Para os três tratamentos de secagem, S_1 , S_2 e S_3 , utilizou-se motor elétrico em cada secador, com potência de 2,0, 2,0 e 1,0 cv e consumo horário de 1,56, 1,56 e 0,53 kWh, respectivamente.

Em relação ao consumo e aos custos com eletricidade, para as secagens foram realizados os seguintes cálculos:

Consumo total (kWh) = calculado a partir do consumo de eletricidade horário de cada ventilador, multiplicado pelo tempo total de secagem.

Custo (R\$/saco de 60 kg^{-1}) = obtido a partir do consumo de energia elétrica, considerando-se o preço de R\$ 0,37, em março de 2011.

Para cálculo do custo total de secagem, para as secagens utilizou-se o seguinte cálculo:

Custo total (R\$/saco de 60 kg^{-1}) = obtido pela soma dos custos totais de GLP e eletricidade.

Os dados foram interpretados por meio de análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas aplicando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

3 Resultados e Discussão

A temperatura da massa de grãos nas secagens com ar não aquecido, na condição ambiente (S_1), com ar aquecido e uso de GLP (S_2), e em secador solar (S_3) foi de 25, 29 e 28 °C, respectivamente. O valor médio da temperatura do ar nas secagens S_1 , S_2 e S_3 foi de 27, 32 e 31 °C, na entrada do ar no silo secador, e de 26, 30 e 29 °C na saída do ar do silo secador, respectivamente. Diversos autores observaram a formação de gradientes de temperatura entre as camadas inferiores e superiores (PASIN, 1991; CAVARIANI et al., 1999; PORTELLA; EICHELBERGER, 2001). O tempo nas secagens S_1 , S_2 e S_3 foi de 15; 06 e 13 h, e as taxas de secagem foram 0,26; 0,77 e 0,44 pph^{-1} , respectivamente.

No estudo da secagem de trigo em condições estacionárias, utilizando GLP como combustível, com umidade inicial de 20%, em temperatura do ar de secagem de 40 °C, Portella e Martins (2001) obtiveram taxa de secagem de 0,71 pph^{-1} , valores semelhantes aos encontrados neste trabalho para a secagem com GLP (0,67 pph^{-1}).

O consumo total de eletricidade foi maior na secagem com ar natural, seguido da secagem GLP e da secagem solar (Tabela 1). Esses valores foram consequência do consumo horário de eletricidade de cada motor e do tempo total de cada secagem. Na secagem S_1 (ar natural), utilizou-se um motor elétrico de potência de 2 cv (consumo horário de 1,56 $kWh\ h^{-1}$) e registrou-se o maior tempo de secagem (15 h). Na secagem S_2 (GLP), utilizou-se um motor de mesma potência e consumo horário, mas com um menor tempo de secagem (06 h). Já na secagem S_3 (Solar), foi utilizado um motor de apenas 1 cv de potência (consumo horário de 0,53 $kWh\ h^{-1}$) e tempo total de secagem de 12 h.

O custo de eletricidade por saco foi maior na secagem com ar natural do que na secagem solar, não diferindo da secagem com uso de GLP (Tabela 1). Tal fato ocorre, porque quanto menor a temperatura alcançada pelo ar de secagem, maior será o custo por saco e o consumo total de eletricidade, em razão do maior período de funcionamento do motor elétrico, gerador do ar de secagem.

Tabela 1. Consumo total, custo de energia elétrica, combustível (GLP) e energético total da secagem estacionária de grãos de milho, utilizando como fonte de aquecimento do ar de secagem gás liquefeito de petróleo, sol e ar natural¹

Tratamento	Consumo de Eletricidade (kWh)		Custo (R\$/saco de 60 kg)		
	Total		Eletricidade ²	Combustível ³	Total
Ar natural	23,40A		0,28A	-	0,28B
GLP	9,36B		0,14AB	0,71	0,85A
Solar	6,89C		0,08B	-	0,08B
dms ⁴	2,66		0,17		0,38

¹Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; ²R\$ 0,37/kWh de energia elétrica, março/2011; ³R\$ 2,50/kg de gás, março/2011; ⁴dms – diferença mínima significativa.

Em trabalho com secagem estacionária de grãos de milho em três diferentes níveis de umidade inicial (35, 25 e 18%) e três diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 70 e 100 °C), Portella e Eichelberger (2001) verificaram que quanto menor a temperatura do ar de secagem, maior o tempo total de secagem e, por consequência, maior consumo total de eletricidade e maior custo de secagem.

Os resultados referentes ao consumo de GLP na secagem (S_2) foram os seguintes: consumo total = 4,73 kg t⁻¹ seca; consumo horário = 1,16 kg h⁻¹; consumo unitário = 1,17 kg %⁻¹ t⁻¹ seca. Os resultados referentes aos custos de GLP na secagem S_2 foram: custo total = 11,83 R\$ t⁻¹ seca; custo horário = 2,91 R\$ h⁻¹; custo unitário = 0,71 R\$/saco de 60 kg.

Ao estudarem a secagem estacionária de grãos de milho com uso de GLP, colhidos com umidade de 19,5% e secos até 15,62%, em temperatura do ar de secagem de 40 °C, e avaliando consumo e custo de GLP, Portella e Eichelberger (2002) obtiveram consumo total de 4,28 kg t⁻¹ seca, consumo horário 0,73 kg h⁻¹ e consumo unitário de 0,86 kg %⁻¹ t⁻¹ seca, valores estes inferiores aos obtidos neste trabalho.

No estudo da secagem em grãos de milho com GLP, Ribeiro e Vicari (2005) obtiveram custos de secagem por tonelada de milho de R\$ 10,97 e, por saco, de R\$ 0,67, valores semelhantes aos encontrados neste estudo para a secagem com GLP.

O custo total de secagem foi maior quando da utilização da secagem com uso de GLP (Tabela 1). O preço do GLP torna a secagem de grãos mais cara. Porém, em termos qualitativos, esse tipo de secagem permite um eficiente e preciso controle sobre a estabilidade da temperatura, de forma que o processo é mais homogêneo, sem variações e, conseqüentemente, todos os grãos tenham exatamente o mesmo percentual de umidade em base úmida (PORTELLA; MARTINS, 2000).

Os mesmos autores relatam que apenas o custo do GLP constitui uma barreira à sua utilização frente à lenha e a outros combustíveis para a secagem de grãos.

4 Conclusões

O custo da secagem por saco (60 kg) de grãos de milho é três vezes superior quando se utiliza GLP ao ar natural e dez vezes superior quando se utiliza GLP à secagem solar.

O consumo total de eletricidade é maior na secagem com ar natural e a taxa de secagem com uso do GLP é três vezes maior quando comparada à taxa de secagem com ar natural.

Agradecimentos

À CAPES e à Supergasbras, pelo auxílio que possibilitou a realização deste trabalho.

Referências

ATHIÉ, I.; CASTRO, M. F. P. M.; GOMES, R. A. R.; VALENTINI, S. R. T. *Conservação de Grãos*. Campinas: Fundação Cargill, 1998. p. 15-191

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Regras para análise de sementes*. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CAVARIANI, C.; SILVA, R. S.; MIRANDA, L. C.; NAKAGAWA, J.; BELGIORNO, D. C. Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar. II - Andamento físico. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 21, n. 1, p. 7-17, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. *Indicadores da agropecuária*. Brasília: Conab. Disponível em: <http://www.conab.org.br>. Acesso em: 10 mar. 2011.

ELIAS, M. C. *Pós-Colheita de Arroz: secagem, armazenamento e qualidade*. Pelotas: Editora UFPEL, 2007. 422 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. *Better information sharing could reduce post-harvest food losses*. Rome: FAO, 2006. Disponível em: <www.fao.org/es/>. Acesso em: 24 jul. 2010.

OLIVEIRA, A. U.; MARTINS, J. S. *Agricultura Brasileira: tendências, perspectivas e correlação de forças sociais*. Brasília: Via Campesina, 2004. 82 p.

PASIN, N. H. Secagem estática de sementes de soja. *Informativo Abrates*, v. 2, n. 1, p. 33-39, 1991.

PORTELLA, J. A.; MARTINS, R. R. *Uso de GLP na secagem de milho em secador de leito fixo*. Passo Fundo: Embrapa, 2000. (Circular, n. 7).

PORTELLA, J. A.; MARTINS, R. R. Gás na Secagem de grãos. *Revista Cultivar*, p. 36-37, 2001. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/gc31_secagem.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2010.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. *Secagem de grãos*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194 p.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. *Parâmetros para secagem de trigo em secador estacionário, usando gás liquefeito de petróleo*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 8 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica On-line, n. 10). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci10.htm>. Acesso em: 24 jul. 2010.

PUZZI, D. *Abastecimento e armazenamento de grãos*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666 p.

RIBEIRO, I.; VICARI, C. C. *Análise de viabilidade econômica para secagem de milho com gás liquefeito de petróleo*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, 2005. Disponível em: <http://www.unioeste.br/campi/cascavel/ccsa/IVSeminario/IVSeminario/Artigos/07.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2010.

SILVA, J.S. *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. 502 p.

SUPERGASBRAS. *Características do gás LP*. Disponível em: <www.supergasbras.com.br> Acesso em: 15 mar. 2011.

VERGARA, F.; AMÉZAGA, E.; BÁRCENAS, M. E.; WELTI, J. Analysis of the drying processes of osmotically dehydrated apple using the characteristic curve model. *Drying Technology*, v. 15, n. 3, p. 949-963, 1997. <http://dx.doi.org/10.1080/07373939708917270>