

Comparação do consumo de energia em sistemas de aquecimento de água (solar e elétrico)

Magno Luiz Vidotto¹, Carlos Eduardo Camargo Nogueira¹, Maurício Medeiros¹, Gilson Debastiani¹, Samuel Nelson Melegari de Souza¹, Jair Antonio Cruz Siqueira¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGEA – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura – Nível Mestrado, Cascavel /PR.

magnovidotto@outlook.com, carlos.nogueira@unioeste.br, mau.medeiros@yahoo.com.br, gilson@fag.edu.br, samuel.souza@unioeste.br, jair.siqueira@unioeste.br

Resumo: A energia solar tem o potencial de satisfazer grande parte da demanda para aquecimento de água. Entretanto, em dias frios ou de pouca insolação, se faz necessário complementar o aquecimento da água com o uso de um sistema auxiliar, o que requer energia elétrica. Com o objetivo de quantificar o consumo de energia elétrica de um sistema de aquecimento solar de água por circulação natural, foram analisados dois cenários de uso. No primeiro cenário, o sistema de aquecimento auxiliar do aquecedor solar foi continuamente acionado para manter a temperatura da água adequada ao consumo; no segundo cenário, foi considerada a utilização de uma ducha eletrônica automática para complementação do aquecimento. Os dados de consumo de energia elétrica e temperatura da água foram coletados durante 12 semanas. Constatou-se que a utilização do sistema de aquecimento solar de água em conjunto com a ducha eletrônica (SAS+DEA) apresentou menor consumo de energia quando comparado à ducha eletrônica automática (DEA) funcionando isoladamente, ou ao sistema de aquecimento solar funcionando com a resistência auxiliar (SAA). A redução no consumo de energia elétrica foi da ordem de 76,8%, comparando o SAS+DEA com o DEA, e de 77,7%, comparando o SAS+DEA com o SAA.

Palavras-chave: Energia solar, aquecimento complementar, ducha eletrônica automática.

Comparison of energy consumption in water heating systems (solar and electric)

Abstract: The solar energy has the potential to satisfy most of the demand for heating water. However, in cold days or in days with reduced sunlight, it's necessary to supplement the water heating using an auxiliary system, which requires electrical energy. With the objective of quantify the power consumption of a solar water heating system by natural circulation, two usage scenarios were analyzed. In the first scenario, the auxiliary heating system of the solar heater was operating continuously for keeping the water temperature appropriate for consumption; in the second scenario, it was considered the use of an automatic electronic shower for complementation of heating. The electricity consumption and water temperature data were collected during 12 weeks. It was found that the use of solar water heating together with the electronic shower (SAS+DEA) presented lower power consumption when compared with an automatic electronic shower (DEA) working alone, or with a solar heating system using an auxiliary resistance (SAA). The reduction in electricity consumption was approximately 76.8%, comparing SAS+DEA with the DEA, and 77.7%, comparing the SAS+DEA with the SAA.

Keywords: Solar energy, additional heating, automatic electronic shower.

Introdução

A energia é essencial para o desenvolvimento social e crescimento econômico de qualquer nação. A qualidade de vida está diretamente relacionada com o consumo per capita de energia, que tem aumentado de forma constante nas últimas décadas nos países em desenvolvimento como consequência da melhoria das condições sociais, da introdução das novas tecnologias e do crescimento das atividades agrícolas e industriais (Martins et al., 2008).

Por sua vez, o aumento da demanda energética aliado a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente estão impulsionando a pesquisa e o desenvolvimento de fontes de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental (Pereira et al., 2006; Vichi e Mansor, 2009). Dentre essas fontes, a energia solar destaca-se por ser uma fonte de energia renovável, limpa, gratuita e inesgotável na escala humana e, através de processos térmicos e fotovoltaicos, tem o potencial de satisfazer grande parte da demanda por eletricidade e aquecimento de água (Teixeira et al., 2011).

Segundo Oliveira et al. (2008), o setor residencial brasileiro responde por 24% do consumo total de energia elétrica no país e, dentro desse setor, 26% do consumo é atribuído ao aquecimento de água por chuveiros elétricos, parcela inferior apenas à da refrigeração. De acordo com Napolini et al. (2008), a agregação da energia solar térmica à edificação residencial poderia diminuir a conta de energia do consumidor e ao mesmo tempo reduzir o pico de demanda energética tornando essa energia disponível para usos mais adequados e rentáveis.

Atualmente, o sistema de aquecimento solar de água mais indicado para uso residencial é o de circulação natural ou termossifão. Nesse sistema, a circulação de água ocorre devido à diferença de densidade entre a água fria e a água quente. Suas vantagens são a de não originar poluição (a menos da poluição indireta na fabricação dos coletores e reservatórios), ser econômico e exigir manutenção mínima, que está restrita a limpeza das placas coletoras (Basso et al., 2010).

Entretanto, se faz necessário, em algumas ocasiões, complementar a temperatura da água do sistema de aquecimento solar para garantir um uso confortável. Para isso, é utilizado um sistema de aquecimento auxiliar que pode ser elétrico ou a gás. Nesses casos é importante observar que o consumo de energia complementar acarreta em gastos extras ao sistema.

Tendo em vista o exposto, o presente estudo teve por objetivo quantificar o consumo de energia elétrica de um sistema de aquecimento solar de água por circulação natural considerando dois cenários. No primeiro cenário, o sistema auxiliar do aquecedor solar foi continuamente acionado para manter a temperatura da água adequada ao uso; no segundo cenário, considerou-se a utilização de uma ducha eletrônica automática para complementação do aquecimento apenas nos horários de consumo (quando necessário).

Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, campus de Cascavel, com localização geográfica definida pelas coordenadas 24°59' Latitude Sul, 53°23' Longitude Oeste e altitude de aproximadamente 750 metros acima do nível do mar. O sistema de aquecimento solar foi instalado próximo aos módulos experimentais do CASA (Centro de Análise de Sistemas Alternativos de Energia). Para o estudo foi utilizado um reservatório térmico de 200 litros e 3 coletores de 1,05 m² cada (Figura 1); o sistema possui uma resistência elétrica de 2000W como fonte auxiliar de energia e funciona por termossifão. O conjunto foi instalado em um suporte metálico fixado no solo, com orientação para o Norte verdadeiro. Os coletores foram inclinados em relação à horizontal, a um ângulo de 35° (aproximadamente latitude local, mais acréscimo de 10°).



Figura 1. Sistema de aquecimento solar de água instalado.

Equipamentos utilizados para a coleta dos dados

Para monitoramento e armazenamento dos dados de consumo de energia elétrica do sistema de aquecimento auxiliar foi utilizado o datalogger CR1000 da marca Campbell Scientific. Para coleta dos dados de temperatura da água foram instalados 4 sensores do tipo PT100. Um sensor foi instalado na tubulação de entrada de água fria, outro na tubulação de saída de água quente do boiler, e os demais na tubulação de entrada e na tubulação de saída do coletor solar. Para monitoramento e armazenamento dos dados de temperatura foi utilizado o Fieldlogger da marca Novus.

Coleta dos dados

A coleta dos dados teve início em 11/07/2011 e término em 03/10/2011 (período de inverno e início da primavera). Os dados de temperatura foram lidos a cada 5 segundos e suas médias armazenadas a cada 5 minutos. Para as análises efetuadas foram computados apenas os valores médios da temperatura da água quente e da água fria nos momentos de consumo.

Cenários analisados

O consumo de energia elétrica do sistema de aquecimento solar (SAS) foi quantificado em dois cenários. No primeiro cenário, utilizou-se a resistência elétrica de 2000W do aquecedor solar como sistema de aquecimento auxiliar (SAA). Esse sistema era acionado por um termostato quando a temperatura da água no reservatório térmico era inferior a 40°C. No segundo cenário, foi simulado o consumo de energia elétrica utilizando uma ducha eletrônica automática (DEA) para complementação do aquecimento. A DEA possibilita programar a temperatura do banho de grau em grau (até 50°C) e liga automaticamente quando o aquecedor solar não é capaz de aquecer a água na temperatura desejada. A simulação foi realizada utilizando os dados de temperatura da água aquecida nos horários de consumo.

O consumo de energia elétrica dos dois cenários foi comparado ao consumo utilizando apenas a ducha eletrônica automática. Foram considerados 4 banhos de 50 litros com duração de 10 minutos cada, concentrados no final da tarde (entre as 18 e 19 horas). Os cenários foram intercalados semanalmente, ao longo do período de realização do experimento, totalizando 6 semanas para cada cenário.

O cálculo da energia necessária para elevar a temperatura da água até 40°C e simular o consumo de energia elétrica foi realizado mediante o emprego da Equação 1 (Duffie e Beckman, 2006).

$$Q = m_s \left(\frac{c_p}{3,6} \right) (T_f - T_i) \quad (1)$$

Onde:

Q é a energia elétrica por unidade de tempo (Wh);

m_s é a massa de água do reservatório térmico (kg);

c_p é o calor específico da água ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

T_f é a temperatura da água no final do período ($^\circ\text{C}$);

T_i é a temperatura da água no início do período ($^\circ\text{C}$).

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta as médias horárias das temperaturas da água aquecida nos momentos de consumo para o 1º cenário de utilização. A Tabela 2 apresenta as médias horárias das temperaturas da água aquecida nos momentos de consumo para o 2º cenário de utilização.

Tabela 1. Médias horárias das temperaturas de água aquecida nos momentos de banho (1º cenário)

Semana	Dias da semana							Exigências de consumo
	1	2	3	4	5	6	7	
	Temperaturas ($^\circ\text{C}$)							
1 ^a	48,80	62,40	59,97	51,36	47,04	53,75	53,79	Atendeu
4 ^a	46,58	40,77	54,91	50,61	51,35	60,62	52,01	Atendeu
5 ^a	65,21	60,96	58,23	61,07	65,59	57,89	57,33	Atendeu
7 ^a	49,74	55,21	48,15	62,06	53,18	61,76	42,92	Atendeu
9 ^a	44,00	51,78	47,71	48,07	65,82	64,61	63,78	Atendeu
12 ^a	69,35	67,27	65,08	60,05	45,38	62,53	66,89	Atendeu

Tabela 2. Médias horárias das temperaturas de água aquecida nos momentos de consumo (2º cenário)

Semana	Dias da semana							Exigências de consumo
	1	2	3	4	5	6	7	
	Temperaturas (°C)							
2ª	30,21	45,55	28,10	30,07	53,02	50,80	49,65	Não atendeu
3ª	49,73	49,35	53,57	34,61	23,51	21,90	20,53	Não atendeu
6ª	55,77	29,91	22,19	22,61	30,69	16,56	15,33	Não atendeu
8ª	36,58	52,00	55,49	55,87	54,47	54,15	37,99	Não atendeu
10ª	49,74	55,21	48,15	62,06	53,18	61,76	52,62	Atendeu
11ª	37,71	57,30	63,63	45,35	56,86	54,71	62,74	Não atendeu

Observa-se, nas Tabelas 1 e 2, da segunda a oitava coluna, os dias das semanas e as respectivas temperaturas médias da água quente nos horários de consumo (18 às 19 horas). A nona coluna retrata o atendimento às exigências de consumo, ou seja, se todas as temperaturas nos horários de consumo estavam acima de 40°C. Verifica-se, na Tabela 1, que a temperatura mínima da água foi sempre superior ao mínimo estabelecido. Na Tabela 2, nota-se que as exigências de água quente foram completamente atendidas apenas na 10ª semana.

A Tabela 3 apresenta para o 1º cenário, o consumo de energia elétrica do sistema de aquecimento auxiliar controlado pelo termostato (SAA). Apresenta também, na última coluna, uma simulação da energia elétrica consumida por uma ducha eletrônica automática (DEA) para as mesmas necessidades de aquecimento de água, caso não houvesse o sistema de aquecimento solar.

Tabela 3. Consumo de energia elétrica no 1º cenário

Sem.	Início - Término	Energia elétrica SAA (kWh)	Energia elétrica DEA (kWh)
1ª	11-07 a 18-07	20,23	30,87
4ª	01-08 a 08-08	68,17	41,07
5ª	08-08 a 15-08	21,14	27,91
7ª	22-08 a 29-08	46,91	30,51
9ª	05-09 a 12-09	43,07	32,41
12ª	26-09 a 03-10	10,62	23,50
Total		210,14	186,27

A Tabela 4 apresenta para o 2º cenário uma simulação do consumo de energia elétrica a partir da associação do sistema solar com a ducha eletrônica automática (SAS + DEA), considerando que, neste cenário, o SAS não foi suficiente, em alguns dias, para elevar

a temperatura da água para o valor mínimo desejado (40°C). Assim nesses dias, houve a necessidade de complementar a energia fornecida à água com a utilização da DEA. De modo semelhante à tabela anterior, a última coluna desta tabela apresenta uma simulação da energia elétrica consumida por uma ducha eletrônica automática (DEA) para as mesmas necessidades de aquecimento de água, caso não houvesse o sistema de aquecimento solar.

Tabela 4. Consumo de energia elétrica no 2º cenário

Sem.	Início - Término	Energia elétrica SAS + DEA (kWh)	Energia elétrica DEA (kWh)
1 ^a	11-07 a 18-07	7,34	35,52
4 ^a	01-08 a 08-08	13,81	34,51
5 ^a	08-08 a 15-08	23,85	41,07
7 ^a	22-08 a 29-08	1,26	31,43
9 ^a	05-09 a 12-09	0,00	30,04
12 ^a	26-09 a 03-10	0,53	29,43
Total		46,79	202,00

Verifica-se que o SAA no 1º cenário consumiu, para a utilização de água quente apresentada neste trabalho, um total de 210,14 kWh ao longo do período de realização do experimento, valor este maior que o consumido pela DEA (186,27 kWh), e muito maior (4,5 vezes) que o consumido pelo sistema SAS+DEA, no 2º cenário (46,79 kWh). Para as mesmas condições de utilização de água quente, o consumo de energia elétrica do SAS+DEA foi cerca de 4 vezes menor que a utilização da DEA isoladamente.

Verifica-se, portanto, que o sistema de aquecimento mais viável, em termos de consumo energético, é o sistema de aquecimento solar (sem a utilização da resistência auxiliar) associado à ducha eletrônica automática.

É importante salientar que o modo de operação da maioria dos sistemas de aquecimento solar de água disponíveis no mercado brasileiro se encaixa no 1º cenário de utilização. Nesse caso, o custo da energia elétrica para manter a temperatura da água adequada ao consumo pode ser comparável ao custo de utilização de um chuveiro elétrico, principalmente no período de inverno. Estudos como o de Napolini et al. (2008), mostram que a associação de aquecedores solares de pequeno porte com uma ducha eletrônica para complementação do aquecimento pode ser vantajosa, uma vez que os resultados alcançados indicam uma redução de 37% com gastos de energia elétrica e 49% de redução na demanda de ponta durante o ano.

Conclusões

Tendo em vista os resultados obtidos nesse estudo, pode-se concluir que o sistema de aquecimento solar de água em conjunto com a ducha eletrônica (SAS+DEA) apresenta menor consumo de energia quando comparado à ducha eletrônica automática (DEA) funcionando isoladamente, ou ao sistema de aquecimento solar funcionando com a resistência auxiliar (SAA).

A redução no consumo de energia elétrica foi da ordem de 76,8%, comparando o SAS+DEA com o DEA, e de 77,7%, comparando o SAS+DEA com o SAA.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura (PPGEA), UNIOESTE, Cascavel (PR), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela assistência durante o desenvolvimento deste estudo.

Referências

BASSO, L.H.; SOUZA, S.N.M.; SIQUEIRA, J.A.C.; NOGUEIRA, C.E.C.; SANTOS, R.F. Análise de um sistema de aquecimento de água para residências rurais, utilizando energia solar. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.14-21, fev. 2010.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Solar engineering of themal processes**. 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2006. 908p.

MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B.; SILVA, S.A.B.; ABREU, S.L.; COLLE, S. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment. **Energy Policy**, v.36, n.8, p.2853-2864, 2008.

NASPOLINI, H.F.; MILITAO, H.; CORDINI, J.; RÜTHER, R. Avaliação do potencial da agregação da energia solar térmica para fins de aquecimento de água para o banho humano em núcleos habitacionais de baixa renda. In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar & III Conferencia Latino-americana da International Solar Energy Society, 2008, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: ABENS, v.1. p.1-12, 2008. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, L.F.C.; FERREIRA, R.C.; ALMEIDA, R.A.; LOBATO, E.J.V.; MEDEIROS, A.M.M. Potencial de redução do consumo de energia elétrica pela utilização de aquecedores solares no Estado de Goiás. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.406-416, set. 2008.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006, 60p.

TEIXEIRA, A.A.; CARVALHO, M.C.; LEITE, L.H.M. Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial. **E-xacta**, Belo Horizonte, v.4, n.3, p.117-136, 2011.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quím. Nova**, São Paulo, v.32, n.3, p.757-767, 2009

Recebido para publicação em: 15/09/2013

Aceito para publicação em: 16/12/2013