

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR CONTROLADO POR INFORMAÇÕES DE PREVISÃO DE TEMPO

Koller Th.*, Passos L., Colle S.****

*Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Munique, Boltzmannstraße
15, D-85748 Garching, Alemanha, thomas.koller22@googlegmail.com

**LEPTEN / LABSOLAR. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal
de Santa Catarina, Trindade, 88040-900, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Telefone:
+55 48 3721-3397, luigi@lepten.ufsc.br

RESUMO

O Brasil é um dos poucos países do mundo em que se utilizam extensivamente os chuveiros elétricos para aquecimento de água para banho. Essa prática, presentemente, obriga o sistema elétrico a reservar cerca de 4 GW de potência para suprir a demanda no horário compreendido entre 18:00 e 21:00 horas. O principal objetivo do presente trabalho é reportar resultados parciais do estudo de um sistema de aquecimento solar de água para uso doméstico, cuja energia auxiliar pode ser controlada através de informações de previsão de tempo de mesoescala, permitindo que toda a demanda de energia dos chuveiros seja suprimida. A análise é baseada apenas na série sintética de dados TMY. Para tanto, propõe-se um sistema de dois reservatórios, um de backup e outro conjugado as placas coletoras.

PAVRAS-CHAVE: Aquecimento solar, Previsão de clima, Chuveiros elétricos.

ABSTRACT

Brazil is one of the few countries in the world that extensively uses electric showerheads to water heating to take a hot shower. This practice currently requires the electrical system to reserve about 4 GW of power to supply the demand in the time span between 6 p.m. and 9 p.m. The main objective of this work is to report partial results of the study of a solar water heating system for domestic use, whose auxiliary heater can be controlled by information from mesoscale weather forecast information, enabling that the entire energy demand of the electric showers during the critical time span is removed. The analysis is based only on the synthetic data series TMY. We propose a system of two reservoirs, one backup and one combined to the collector plates.

KEYWORDS: Solar water heating, Weather forecast, Electric showerheads

INTRODUÇÃO

O propósito do presente trabalho é estudar um sistema de aquecimento solar no qual o consumo de energia auxiliar é controlado por informações de previsão do tempo. Conforme dados fornecidos pelo SIN (Sistema Interligado Nacional), o pico de consumo incidente na curva de demanda elétrica do setor residencial brasileiro ocorre entre 18:00 e 21:00 horas. A Figura 1 mostra a distribuição da demanda energética para um dia típico.

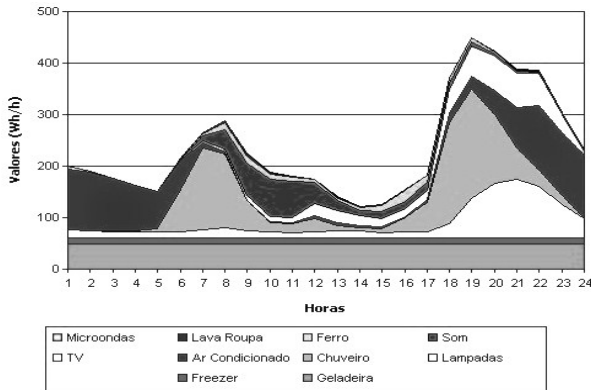


Fig. 1. Distribuição da demanda elétrica residencial para um dia típico (PROCEL, 2008)

Atualmente cerca de 74% da demanda de energia elétrica no Brasil é suprida por usinas hidroelétricas (MME, 2010). Por outro lado, a energia solar vem desempenhando um papel inexpressivo no setor produtivo nacional. Dados da ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento) indicam que em 2008 foram instalados 375 000 sistemas de aquecimento solar de água nas residências, com maior concentração na região sul do Brasil. No entanto, o número de domicílios utilizando chuveiros elétricos para o aquecimento de água para banho ainda é muito superior, atingindo valores da ordem de 30 milhões de residências. Por decorrência, projetos contemplando a instalação de sistemas de aquecimento solares com subsídio do governo federal estão sendo desenvolvidos no sentido de fomentar uma maior disseminação dos sistemas, sobretudo nas residências de famílias de baixo poder aquisitivo. Além disso, anuncia-se no Brasil a adoção de uma política tarifária diferenciada para o setor residencial, onde a tarifa de energia elétrica poderá vir a ser cinco vezes maior durante o horário de pico, em relação a tarifa nominal (ANEEL, 2010). Por outro lado, estudos realizados pelos autores nos permitem concluir que embora a energia solar possa reduzir substancialmente a demanda de energia de pico média anual, a curva de pico decorrente do chuveiro elétrico é virtualmente reproduzida, sempre que períodos climáticos desfavoráveis à energia solar ocorrerem. Por conseguinte, sistemas de aquecimento solar projetados para possibilitar a supressão total do pico associado ao consumo elétrico dos chuveiros devem desempenhar um importante papel no futuro.

A estratégia de controle adotada no presente trabalho permite dispensar as informações de previsão do tempo, em favor da medição da radiação de um dia na cidade onde o sistema é instalado. As incertezas de previsão dos dados gerados são determinadas através do RMSD

(*Root Mean Square Deviation*), considerando uma base diária e horária. O potencial de redução do pico de consumo é também analisado detalhadamente para diferentes perfis de consumo, comparando-se uma sobrecarga do total consumido diariamente com o perfil padrão previamente estabelecido.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

O sistema de aquecimento solar proposto no presente trabalho fundamenta-se nos seguintes objetivos:

- Garantir a supressão total do pico de demanda;
- Garantir a disponibilidade de água quente durante todas as horas do dia;
- Garantir a disponibilidade de água quente durante todos os dias do ano;
- Permitir a redução de custo através da redução de área do coletor e volume do reservatório.

A Fig. 2 ilustra esquematicamente o sistema no ambiente do software TRNSYS.

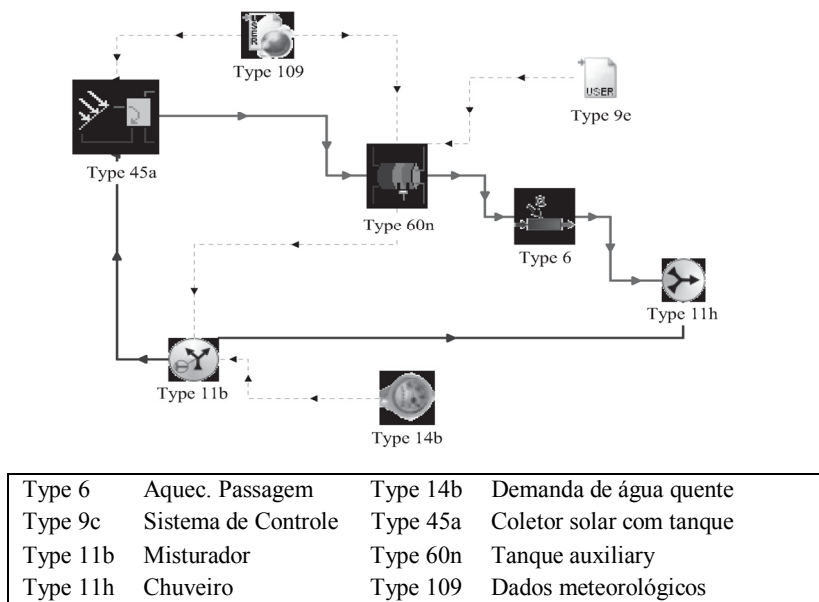


Fig. 2. Representação do sistema de aquecimento solar no TRNSYS

O sistema de aquecimento solar (SAS) opera segundo termosifão. O fluxo de água entre os dois tanques só ocorre no momento em que houver uma demanda de consumo. A água quente oriunda do SAS é misturada com a água fria oriunda da rede de abastecimento, resultando numa temperatura controlada passivamente de 39°, considerada a temperatura desejável para uma ducha. O tanque auxiliar é dotado de uma resistência elétrica em seu interior. O acionamento dessa ocorre somente no horário compreendido entre 4:00 e 6:00

da manhã, durante o qual a tarifa de energia elétrica no mercado regulado é normalmente reduzida. Na circunstância de haver necessidade de uso da energia auxiliar, o tanque é aquecido neste período até atingir uma temperatura pré-estabelecida. Essa temperatura é calculada baseada na radiação solar esperada para o dia. Com isso, espera-se garantir que o tanque auxiliar disponha de energia suficiente para o suprimento de água quente durante o horário de pico, mesmo nos dias em que condições climáticas desfavoráveis vierem a ocorrer. Raramente o sistema não funciona adequadamente e conseqüentemente a energia no tanque não é suficiente para todo o dia. Nestes casos é necessária a utilização de um segundo dispositivo de energia auxiliar, representado no sistema como um aquecedor de passagem. O desempenho térmico anual do sistema é avaliado com base nos dados TMY (*Typical Meteorological Year*) para a cidade de Florianópolis (27,6°S; 46,8°W).

GERAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS

O sistema de controle do aquecimento auxiliar permite determinar a temperatura da água desejada no início da manhã, através de um dado de entrada determinando a radiação solar esperada para o dia. A simulação pode ser realizada utilizando-se dados climáticos de qualquer estação meteorológica ou de um sensor fotovoltaico especialmente projetado para estimar a radiação do dia anterior.

Estudos de previsão da radiação solar estão sendo desenvolvidos no laboratório de energia solar da Universidade Federal de Santa Catarina. A temperatura final do tanque auxiliar pode ser controlada, utilizando-se dados da radiação solar medidos a cada dia, como dado de previsão para o dia seguinte. A validação desse critério foi verificada comparando-se dados da série TMY com dados da mesma série, desta vez deslocada de um dia, para menos. Em seguida o cálculo da temperatura de aquecimento é realizado utilizando a série de dados normais e a simulação é iniciada com os dados modificados. Tal procedimento assemelha-se a um sistema real que utiliza dados de radiação solar de um dia, como previsão para o dia seguinte. As incertezas na previsão são avaliadas com base no RMSD dos dados normais em relação aos dados modificados. Além do RMSD horário, calculou-se também um RMSD diário integrando-se os dados considerados a cada 24 horas. O RMSD para a base horária é de 66,84% enquanto que para base diária é 26,19%. Como se pode constatar, o RMSD diário é significativamente menor do que o horário. Isso se deve ao fato de o cálculo da temperatura de aquecimento depender do total de radiação solar incidente no dia. Por conseguinte, quanto menor for o RMSD diário mais precisa é a estimativa da temperatura calculada correta. Em outras palavras, o RMSD horário é um parâmetro irrelevante.

ALGORITMO PARA REDUÇÃO DO PICO DE CONSUMO

O cálculo da temperatura de aquecimento adequada para o suprimento da demanda é baseado em um algoritmo relativamente simples. Primeiramente, a temperatura mínima admissível no tanque auxiliar é estabelecida para todo o ano. Essa temperatura $T_{\min,ad}$, foi definida igual a 44 °C, de modo a assegurar uma margem de tolerância, ΔT , de 5°C, em relação a temperatura de banho, e com isso reduzir a sensibilidade da temperatura do reservatório em relação a incerteza de previsão dos dados climáticos. Na sequência, a temperatura de aquecimento do dia anterior T_{set}^N (temperatura na qual o sistema de controle desliga o aquecedor auxiliar) deve ser calculada por um processo de simulação iterativo, de modo a satisfazer a temperatura T_{4h} , sendo esta, a temperatura do tanque auxiliar as 4:00

horas da manhã. Considerando-se N o índice de indexação para os dias do ano e i o indicador da iteração, essas temperaturas relacionam-se pela equação que segue:

$$T_{set,t+1}^N = T_{set,t}^N - (T_{set,t}^{N+1} - T_{opt,med}) \quad (1)$$

Os cálculos da temperatura de aquecimento T_{set}^N são efetuados para cada dia utilizando-se os dados TMY normais. A seguir, a simulação é realizada com os dados TMY modificados. A demanda de água quente consumida é um dado de entrada considerado fixo. Tal dado é uma média anual da distribuição horária de consumo de água quente, que foi consolidado através de um estudo experimental de uma população estatisticamente representativa da cidade de Florianópolis-Brasil (SALAZAR, 2004). Nesse estudo, o consumo total diário de água quente considerado é de 150 litros. Caso o usuário não viole esse limite de consumo diário, a redução do pico alcançada é de 99,8%. Isso significa que 99,8% da energia elétrica consumida entre 18:00 e 21:00 é suprida pela energia solar incidente e pela energia elétrica consumida nas primeiras horas da manhã.

RESULTADOS PARA DIFERENTES PERFIS DE CONSUMO

O sistema de aquecimento solar considerado poderia ser otimizado, utilizando-se um perfil de água quente particular distinto daquele aqui utilizado. Todavia, isso seria muito dispendioso, uma vez que o consumo de cada usuário deveria ser monitorado para que um novo perfil fosse estabelecido. Como alternativa, a sensibilidade da fração solar e da redução no pico de demanda em relação aos perfis de consumo é analisada, considerando-se a adição de um excedente no consumo, Δm , sobre o perfil de consumo de cada dia, excedente o qual foi considerado até mesmo igual ao consumo diário. A fração energética x_0 é definida como a razão entre a energia elétrica consumida no horário de pico e a energia elétrica consumida para suprimir a mesma demanda, na ausência de uma fonte de energia solar associada. A fração anual y_0 representa a fração cumulativa dos dias para os quais a fração de demanda de energia elétrica no horário de pico é superior a determinado valor fixo de x_0 . Nesse contexto, a figura 3 apresenta os resultados da presente análise. Por exemplo, para x_0 igual a 0.1 e Δm igual a 100 %, y_0 igual 0.3 significa que 30% dos dias demandam energia elétrica mais que 10% no horário de pico.

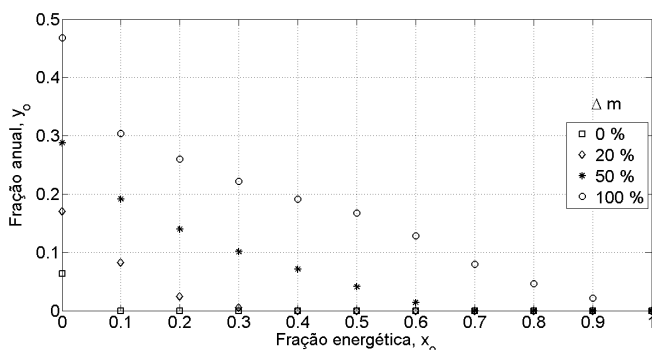


Fig. 3. Dias cumulados do ano que precisam de mais energia elétrica instantânea consumida dividido pelo máximo de energia para diferentes perfis de consumo

A figura 4 ilustra curvas da fração solar anual média, f , e a redução do pico de demanda, P_r , para diferentes excedentes de consumo, Δm . Observa-se que a fração solar é pouco sensível a mudança no perfil de consumo. Por outro lado, a redução no pico de consumo é inversamente proporcional ao aumento do consumo. Mesmo havendo uma queda na redução anual do pico de demanda, o seu valor mínimo não é inferior a 85%, mesmo que o excesso de consumo seja 100%. No pior dos casos, a energia elétrica anual consumida no horário de pico, $E_{inst,peak}$, é igual a 104.3 kWh. Se o usuário consumir a demanda pré-estabelecida por uma agência reguladora, a energia elétrica anual consumida nesse horário de pico é menor do que 1 kWh durante todo o ano.

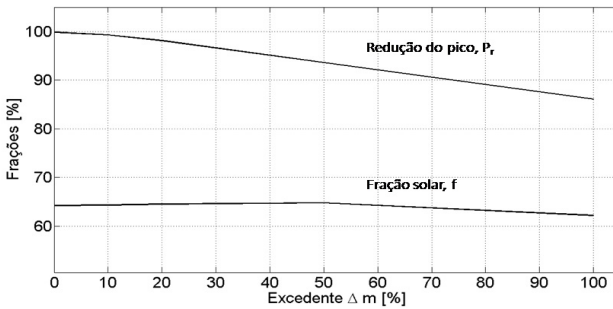


Fig. 4. Média anual da fração solar f e da redução do pico de consumo P_r para diferentes demandas de consumo Δm

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstra que sistemas de aquecimento solar, controlados por um algoritmo de previsão da radiação solar, baseado no total diário medido a cada dia, pode resultar na redução diária da energia elétrica consumida no horário de pico de chuveiros elétricos em até 100%. A presente análise pode ser aplicada para outros sistemas de capacidade maior que aquele aqui analisado. Um sensor de radiação de baixo custo associado a um grupo de residências dotadas do presente sistema, ou um radiômetro de uma estação meteorológica padrão de uma cidade de grande porte, podem fornecer os dados de totais diários necessários para controlar esses sistemas e assegurar a supressão da demanda de energia elétrica de pico dos chuveiros elétricos no Brasil.

REFERÊNCIAS

- MME – Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. Brasília, 2010.
- ABRAVA (2008), O mercado de aquecimento solar e as perspectivas para Brasil.
- PROCEL. *Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso*. Rio de Janeiro: Programa nacional de conservação de energia elétrica, 2008.
- SALAZAR, J. P. *Economia de energia e redução do pico da curva de demanda para consumidores de baixa renda por agregação de energia solar térmica*. Dissertação (mestrado). UFSC, 2004.
- ANEEL. *Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010.