

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA SOLAR E GÁS

Arno Krenzinger

Laboratório de Energia Solar - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Rua Sarmento Leite, 425 CEP90050170 Porto Alegre
arno@mecanica.ufrgs.br

Jean Marc Lafay

Laboratório de Energia Solar - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Rua Sarmento Leite, 425 CEP90050170 Porto Alegre

Resumo. *Este trabalho apresenta bases para dimensionar sistemas de aquecimento de água com energia solar usando gás como energia auxiliar em vez de eletricidade. Um sistema montado utilizando estas bases foi analisado através de um equipamento de aquisição de dados computadorizado, o qual também é descrito no trabalho. Os resultados medidos propiciaram algumas análises detalhadas do comportamento térmico do sistema, permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos englobados por aquecedores solares que operam por termossifão. Os resultados globais demonstram que o sistema tem ótimo desempenho e deve ser considerado como séria opção no momento de selecionar o aquecedor de água para uma residência ou para uma instalação industrial.*

Palavras chave: *energia solar, aquecimento solar, aquecimento a gás, aquecimento híbrido*

1. Introdução

Sistemas de aquecimento de água utilizando energia solar tem demonstrado sua eficácia no Brasil e sua importância voltou a ser ressaltada com os problemas da crise de energia elétrica atualmente enfrentada neste país. O uso de coletores solares para aquecer a água enfrenta algumas dificuldades de mercado devido ao custo de implementação. Apesar de que em muitas situações seja fácil demonstrar a viabilidade econômica da instalação ao longo dos anos de uso, há relutância dos usuários em praticar investimentos iniciais muito elevados. Os caminhos alternativos para utilizar energia solar sem gastar demasiado passam por buscar materiais mais baratos para a construção de coletores ou considerar um dimensionamento que resulte em um sistema economicamente mais aceitável.

O primeiro é um caminho perigoso. Coletores mais baratos podem ser utilizados, mas há que tomar cuidado com a durabilidade e a baixa eficiência de conversão térmica. Coletores fabricados com materiais nobres como cobre podem durar cerca de 30 anos com muito pouca manutenção e produzir calor com alta eficiência de conversão. O outro extremo são coletores de plástico sem cobertura, que até podem ter uma utilização para aquecimento de água para fins residenciais mas com utilização restrita a locais com clima ameno e com temperatura ambiente relativamente alta. Krenzinger e Costa (2002) mostram que estes coletores não atendem as situações domésticas em locais com invernos rigorosos.

O caminho de aprimorar métodos de dimensionamento para fazer os sistemas solares de aquecimento de água mais econômicos é utilizado no presente trabalho, com a introdução de uma nova abordagem proporcionada pelo uso do gás (GLP ou GN) em vez da eletricidade como energia auxiliar. Como o custo do gás é significativamente mais baixo que o custo da eletricidade os pontos considerados ótimos no dimensionamento são deslocados e alguns aspectos básicos, que constantemente são assumidos como verdadeiros sem uma análise mais detalhada, devem ser reexaminados.

Além da proposta de uma configuração alternativa para sistemas solares de aquecimento de água, o presente trabalho apresenta um conjunto de observações realizadas durante o uso de um sistema com estas características. Foi montado um sistema de aquisição de dados que monitorou durante um ano uma instalação solar em uma residência em Porto Alegre. Parte dos resultados obtidos são discutidos com intuito de elucidar detalhes de operação no comportamento térmico de tais sistemas.

2. Bases para o dimensionamento

O sistema de aquecimento utilizado poderia ser identificado como um sistema convencional de aquecimento solar com apoio a gás em vez do apoio elétrico, mas não seria uma visão correta. Há uma série de pequenas providências que fazem com que o sistema como um todo seja bastante diferente, conforme se descreve a seguir.

2.1 Dimensão do reservatório.

Em sistemas de aquecimento solar é convencional utilizar um reservatório com um volume de aproximadamente o dobro do volume de água quente a ser consumido em um dia. Nesta hipótese está incluída uma temperatura relativamente alta (em torno de 60 a 70°C). Na proposição aqui apresentada o volume deve ser maior para trabalhar com temperaturas médias mais baixas. Uma análise simples demonstra que reservatórios maiores são energeticamente mais favoráveis que reservatórios menores, levando em conta que a área aumenta com o tamanho do reservatório mas o volume aumenta proporcionalmente mais.

Considere-se um reservatório cilíndrico vertical isolado, com um coeficiente de transferência de calor U independente da superfície analisada (topo, fundo e lateral tem o mesmo coeficiente) e com raio R e altura H . A área é calculada como $A=(2\pi R^2+2\pi RH)$ e, considerando T_q a temperatura da água interna (uniforme) e T_a a temperatura exterior, o fluxo de calor total pelas paredes do reservatório seria $P=UA(T_q-T_a)$. Por outro lado usando a temperatura ambiente como referência, verifica-se que o calor armazenado pode ser expresso como

$$Q_a = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_q - T_a) \quad (1)$$

onde V é o volume ($\pi R^2 H$), ρ é a densidade da água na temperatura T_q , C_p é o calor específico da água na temperatura T_q . Logo, pode-se definir $M = Q_a/P$ como uma figura de mérito diretamente proporcional à qualidade proporcionada pela forma do acumulador. Quanto maior M tanto melhor seria o reservatório.

Fixando a razão de aspecto do reservatório de forma que $H=3R$, pode-se verificar que

$$M = \frac{3\rho C_p R}{4U} \quad (2)$$

que indica a vantagem de reservatórios maiores. Para manter a quantidade de calor e ainda aumentar o volume, a temperatura de acumulação seria mais baixa. Este valor de temperatura entretanto não pode baixar de um valor mínimo (45°C) sob pena de não atender à qualidade da demanda.

2.2 Reservatório em baixa pressão

A opção por utilizar um reservatório sem pressurização permite a utilização de um reservatório de aço inox de parede fina, que custa cerca de 3 vezes menos que os reservatórios de aço inox normalmente utilizados para sistemas solares. A pressurização dos reservatórios de água quente é uma opção muitas vezes escolhida pelos projetistas para garantir a entrega do vazão de água quente requerida pela demanda. Neste caso o reservatório é selado, com exceção das suas conexões, e a reposição de água fria é feita através de outro reservatório que tem seu nível acima do volume do tanque. Na presente proposta o reservatório é montado a partir um tanque para água fria, facilmente adquirido no comércio, fabricado com chapa de inox estruturada. É necessário perfurar o reservatório para dar acesso às conexões do sistema e posteriormente isolá-lo adequadamente.

2.3 Área dos coletores solares

Os métodos de dimensionamento como o F-Chart consagrados através de livros como o de Duffie e Beckman (1991) sugerem sistemas solares que atendam a uma proporção de cerca de 75 litros de volume de reservatório por metro quadrado de coletor solar (entre 50 e 100 litros/m²). Normalmente se busca uma alta Fração Solar anual (razão entre a energia térmica fornecida pela conversão da energia solar e a energia térmica total), porque a energia de apoio tem um alto custo, como a eletricidade. No caso do apoio a gás, no entanto, a situação fica alterada tendo em vista o custo mais abrandado do combustível.

O uso de um sistema solar para aquecimento de água com apoio elétrico que instale poucos coletores pode resultar em uma catástrofe econômica para o usuário e muitas vezes situações como esta é que causam a equivocada fama de que “a energia solar não funciona”. É fácil de entender a revolta de quem, depois de investir um bom dinheiro na compra de um sistema de aquecimento solar, se vê gastando mais energia elétrica do que antes de instalar o sistema. Para que um sistema de aquecimento solar apresente bons resultados deve haver garantia de que a Fração Solar seja realmente alta ao longo do ano. Um dimensionamento é considerado adequado se atende com conversão de energia solar a cerca de 75% da demanda anual. A consequência disto, pelo menos para os locais com grande variação climática ao longo do ano, é que fatalmente haverá desperdício de energia no verão para garantir a redução de consumo de energia de apoio no inverno.

Um sistema com energia de apoio a gás, por outro lado, tendo um custo de manutenção muito menor, permite um dimensionamento que busque não desperdiçar o calor solar gerado antes de atingir uma alta Fração Solar. O resultado é seguramente mais adequado já que há a combinação de um menor investimento inicial (menos coletores) com um aproveitamento mais abrangente dos mesmos (menos ou nenhum desperdício). Um dimensionamento pode ser considerado adequado se atende em média o consumo nos meses de verão, praticamente sem depender da energia de apoio. Evidentemente isto pode significar que o aporte da energia auxiliar no inverno será forte.

3. Descrição do sistema montado

O sistema montado atende às necessidades de uma família na cidade de Porto Alegre com um consumo médio de 750 litros por dia de água aquecida a 38 °C. Neste caso a temperatura de consumo é regulada por misturadores em cada ponto de consumo que agregam água fria até atingir a temperatura desejada, geralmente um pouco abaixo de 40°C (apenas na cozinha o consumo de água quente ocorre esporadicamente a temperatura de 50°C). O consumo de água do reservatório de água quente é em média 350 litros por dia. O reservatório do sistema foi montado com 1000 litros, pela transformação de um reservatório de aço inox da marca SAKURA, com 96 cm de diâmetro e 130 cm de altura. O reservatório foi perfurado para dar acesso às conexões do sistema, entrada e saída para os coletores, entrada e saída para o circuito do aquecedor a gás, entrada e saída para o consumo e perfuração para o termostato. Os furos foram cortados com serra-copo e foram utilizadas flanges de cobre com vedação de silicone. A água fria entra pelo fundo com acesso por um tubo de 42 mm, o circuito dos coletores é de 28 mm de diâmetro e o do aquecedor de passagem a gás é de 15 mm de diâmetro. A saída da água quente para consumo foi instalada a cerca de 1 metro de altura do fundo com diâmetro de 35 mm. Sua posição foi planejada para permitir acumular, acima de seu plano, cerca de 200 litros de água quente, dando assim margem a possível movimentação do nível de água em horas de grande consumo sem permitir entrar ar na tubulação hidráulica. A Fig. 1 apresenta aspectos do procedimento de montagem do reservatório.

Um dos riscos que ocorre em um sistema com reservatório de água fria e reservatório de água quente acoplados por baixo é a possibilidade de haver um consumo maior de água fria e pouco tempo para reposição da água, ocorrendo conseqüentemente um rebaixamento do nível da água fria em relação ao da água quente. Uma válvula de retenção foi usada para garantir a passagem apenas em uma direção.

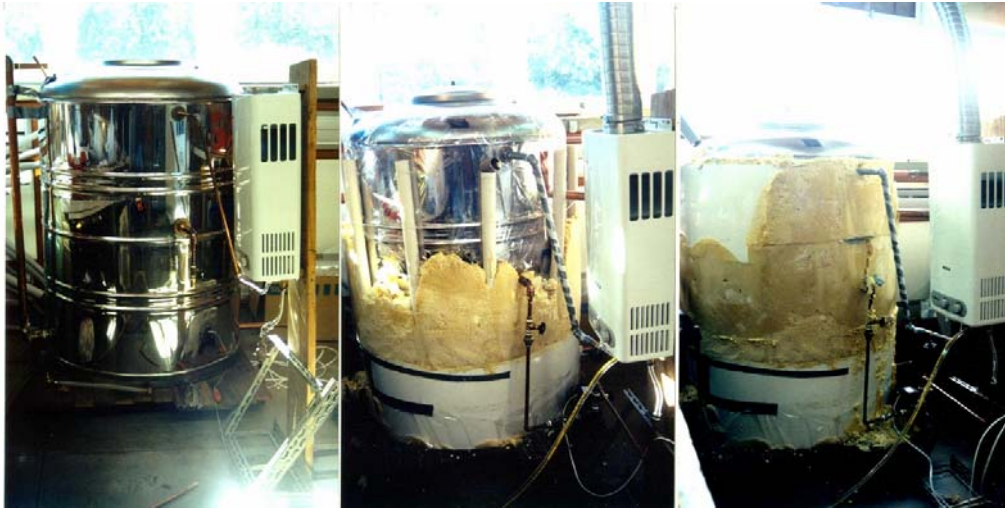


Figura 1 Aspectos da montagem e isolamento do reservatório de água quente, com poliuretano expandido ao redor do próprio tanque e moldado com chapas de PVC.

O reservatório foi instalado na casa, na torre da caixa d'água que aparece ao fundo na Fig. (2a). O sistema utilizado neste trabalho tem apenas 3 coletores solares de 0,9 m² cada um, totalizando 2,7 m² para um consumo de água misturada em torno de 750 litros por dia. É um sistema que normalmente seria classificado como *subdimensionado*, mas que, por outro lado, extrai do sistema solar mais energia que um sistema *convencionalmente dimensionado*. A Fig. (2b) apresenta um desenho esquemático da interligação hidráulica na instalação. A bomba que procede a circulação de água pelo aquecedor de passagem é acionada por um termostato instalado no interior de reservatório térmico, a uma altura equivalente à metade da coluna de água do mesmo. Quando a temperatura neste local é menor que 50°C a bomba é acionada e o aquecedor passa a operar automaticamente. A água a ser aquecida com gás é colhida do fundo do reservatório e devolvida ao tanque na metade.

4. Sistema experimental de monitoramento.

Para acompanhar as medidas foram instalados vários sensores no sistema de aquecimento sendo possível registrar a evolução de importantes grandezas. Para o monitoramento automático foi utilizado um sistema de aquisição de dados econômico, preparado conforme se descreve a seguir.

O sistema de aquisição de dados foi comandado por um computador PC486 atuando em sistema operacional MS-DOS. Um programa em Quick Basic foi elaborado para realizar todas as tarefas necessárias ao monitoramento. O núcleo do sistema de aquisição é um multímetro digital portátil com 4 ½ dígitos que é vendido com opção de comunicação com computadores PC por meio de porta serial. Este multímetro é de baixo custo (US\$140,00) e não tem possibilidade de alternar funções por meio de software, isto é, ele apenas envia os dados medidos em uma escala fixa e

em um único canal para o computador. Para transformar o multímetro em um sistema completo de aquisição de dados foi utilizado um circuito independente como multiplexador para 16 canais. Este circuito eletrônico utiliza informação enviada pelo programa através da porta paralela LPT1 para conectar um determinado relé aos cabos do multímetro. A Figura (3) mostra uma imagem representando o multímetro e o circuito multiplexador.

O software realiza as seguintes operações: (a) envia à porta paralela ordem para ligar o relé do canal número 1 (b) o canal número 1 está conectado na entrada do multímetro (c) executa leitura do valor medido no multímetro, através da porta série COM2 (d) executa operação matemática para transformar informação no valor calibrado da grandeza em questão (e) acumula a informação em memória volátil do computador (f) repete procedimentos de (a) a (e) para canais 2 até 16 e (g) grava em disco rígido a matriz medida (h) publica na tela os valores instantâneos (i) publica na tela um gráfico com os últimos 500 pontos medidos. Cada varredura completa consome 1 minuto.

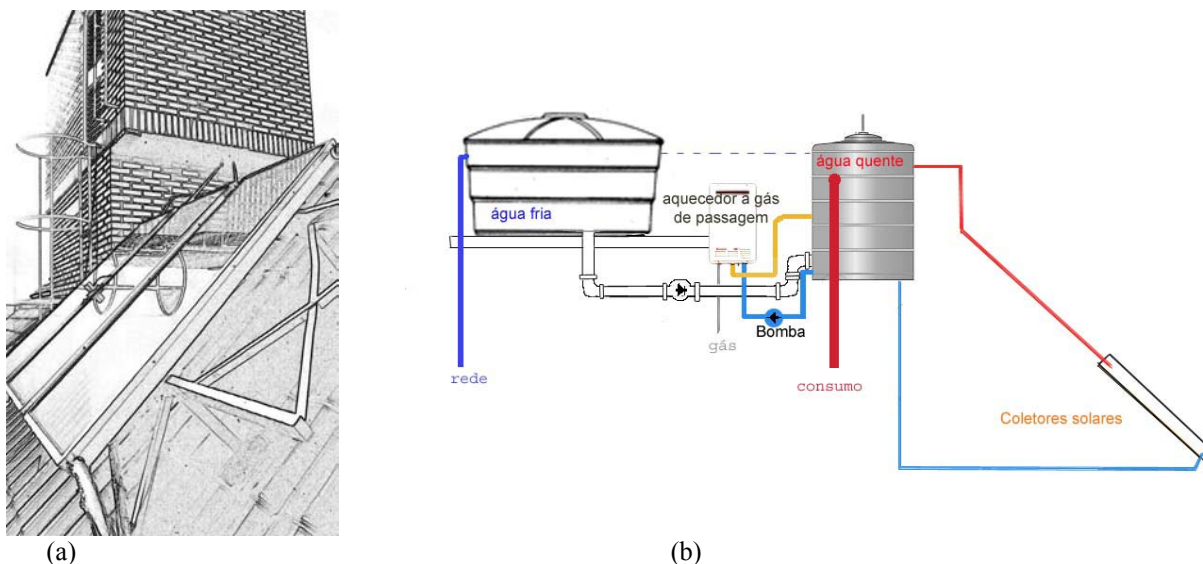


Figura 2 (a) disposição dos coletores solares no telhado e torre da caixa d'água (b) esquema de ligações hidráulicas.

A interface gráfica é útil para detectar possíveis problemas com algum sensor ou algum canal de medição, pois em uma evolução gráfica é fácil perceber uma alteração, enquanto que na observação das tabelas numéricas é quase impossível.

As grandezas registradas são: 7 temperaturas no interior do reservatório em camadas de alturas diferentes, a temperatura ambiente no interior do quarto dos reservatórios, temperatura ambiente externa, medida próxima aos coletores, temperatura da água no reservatório de água fria, temperatura na saída da tubulação que vai para os coletores (chamada temperatura de entrada), temperatura no retorno do circuito dos coletores (chamada temperatura de saída), temperatura da tubulação que vai para o consumo, radiação solar no plano dos coletores, indicador de circuito do gás acionado. As temperaturas foram medidas com uso de circuitos integrados LM35, alimentados por uma fonte de tensão. Estes elementos produzem uma tensão de 0,1 V para cada grau acima de 0°C com uma precisão razoável ($\pm 0,5^\circ\text{C}$). Todos os sensores foram aferidos em conjunto para diminuir os erros causados por eventuais diferenças sistemáticas. Os sensores que foram introduzidos no reservatório foram montados em um tubo de 15 mm em CPVC separados por distâncias conhecidas que aproveitaram esta estrutura para se manter posicionados. O piranômetro

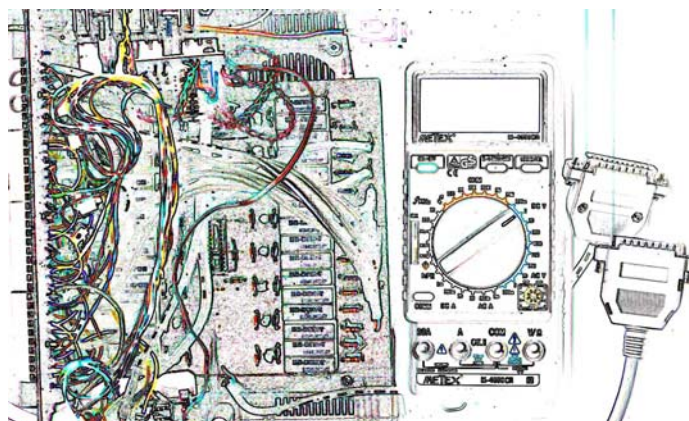


Figura. 3 Circuito multiplexador e multímetro que compõe o sistema de aquisição de dados.

utilizado foi um sensor montado no próprio Laboratório de Energia Solar com uma célula fotovoltaica encapsulada em um tubo com um difusor no topo, conforme descrito por Zanesco (1991) e calibrado por comparação com um piranômetro Epey PSP. As medidas de temperatura nas tubulações foram feitas na superfície, sem perfurações. Como os tubos são de cobre, o sensor foi amarrado diretamente em contato com o tubo e logo a seguir isolado termicamente juntamente com o tubo.

Além das grandezas medidas o software associou a cada varredura informações de hora, da data e da função TIMER que acumula o número de segundos transcorridos desde a mudança do dia.

5. Resultados Medidos

O sistema de aquisição de dados ficou em operação durante vários longos períodos ao longo de mais de um ano. Houve paradas por motivos de manutenção ou problemas com o computador e a intenção desde o início não foi de manter o sistema de aquisição de dados operando sempre ininterruptamente, mas sim de medir seqüências longas de dados que permitissem realizar análises de comportamento como as que se apresentam neste trabalho. As medições permitiram observar algumas características próprias deste tipo de sistemas e outras características mais gerais. O volume de dados registrados supera 100MBytes e permitem exames de diversos aspectos destes sistemas.

A Figura (4) mostra alguns resultados medidos em uma seqüência de 13 dias do mês de janeiro de 2001. Esta seqüência apresenta características interessantes porque neste período o apoio a gás esteve desligado. A residência esteve desocupada por vários dias e as faixas amarela indicam os períodos em que não houve consumo de água quente. O gráfico mostra as temperaturas no reservatório térmico e a radiação solar incidente. As temperaturas indicadas em azul, vermelho e verde correspondem respectivamente às camadas do fundo do tanque, do topo do tanque e a temperatura média da água. Pode-se observar imediatamente que em condições de verão a temperatura média da água se estabiliza perto de 50°C e a temperatura na camada mais alta não chega a 60°C. A limitação ocorre porque os coletores trabalham com temperatura de entrada perto de 45°C (o que limita sua atuação) e a pouca área de coletores na proporção do volume do reservatório. Pode-se dizer que a energia solar convertida em calor equivale às perdas térmicas do reservatório. Olhando por um outro prisma, poderia-se dizer que ao insistir em trabalhar com temperaturas muito altas um certo número de coletores atuará apenas para suprir as perdas térmicas do sistema. Entre a primeira e a segunda faixa amarela ocorre consumo de água quente o que produz uma forte queda da temperatura da água no fundo do tanque, pela introdução da água fria. Nos dias seguintes, com a água no fundo mais fria os coletores trabalham com mais eficiência. A partir do dia 13 o consumo é normal na residência e a temperatura média não é recuperada porque houve menos radiação solar nestes dias. Após o dia 16 o sistema auxiliar a gás foi acionado.

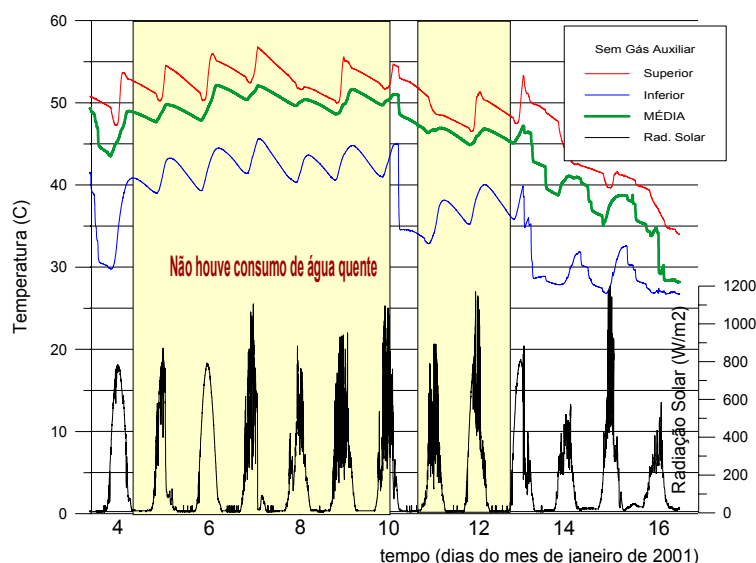


Figura 4 Resultados medidos em seqüência de 13 dias sem acionar o apoio a gás. As faixas amarelas mostram períodos sem consumo

As Figuras (5) e (6) mostram diferentes ampliações da Fig. (4), exibindo alguns dos dados medidos no dia 06 de janeiro de 2001. Neste dia não houve consumo de água quente e a distribuição da radiação solar demonstra que foi um dia praticamente sem nuvens. As 3 linhas finas (azul, verde e vermelha) repetem as temperaturas do gráfico da Fig. (4). A distribuição de temperaturas ao longo da altura do reservatório não é linear e esta é a causa de por que a temperatura média se aproxime mais da temperatura da camada superior.

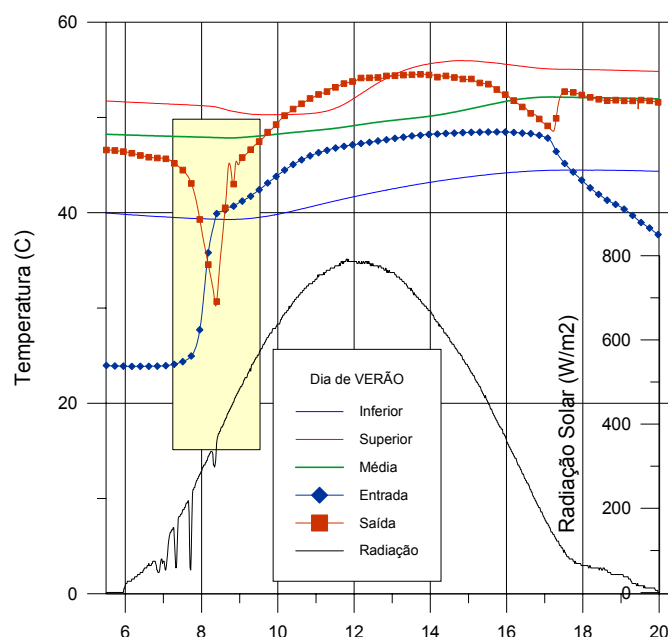


Figura 5 Comportamento térmico dos coletores em um dia de sol

A Figura (5) mostra mais detalhadamente o dia 6 de janeiro, um dia de céu limpo. A linha preta corresponde à intensidade da radiação solar medida no plano dos coletores e é fácil interpretar que além do período entre 7 e 9 horas em que houve alguma interferência de nuvens, durante o resto do dia o sol foi plenamente atuante.

As linhas vermelha e azul com pontos indicam respectivamente as temperaturas de saída e entrada dos coletores solares. É importante compreender que estas temperaturas foram medidas nas proximidades do reservatório e não junto aos coletores. Assim a temperatura chamada “de entrada” é a temperatura do tubo de cobre por onde passa a água que vai para os coletores e a temperatura chamada “de saída” é a temperatura do tubo de cobre por onde a água retorna dos coletores em direção ao reservatório. Em ambas as curvas há pontos de inflexão no início e no final do dia. Estes pontos marcam nitidamente o período de atuação dos coletores solares, pois o início e o final da circulação da água causam mudanças notáveis na temperatura dos tubos de entrada e saída dos coletores solares. Entre estes dois pontos pode-se constatar que sempre há uma diferença de temperatura positiva entre a saída e a entrada dos coletores, variando entre 7°C e 13°C.

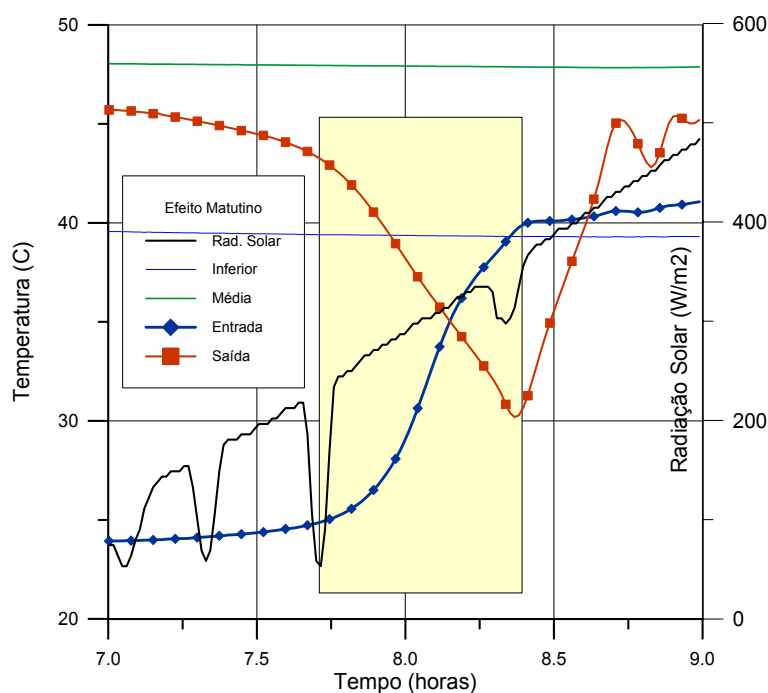


Figura 6 Ampliação de parte da Fig.5 mostrando o início da circulação de água nos coletores solares.

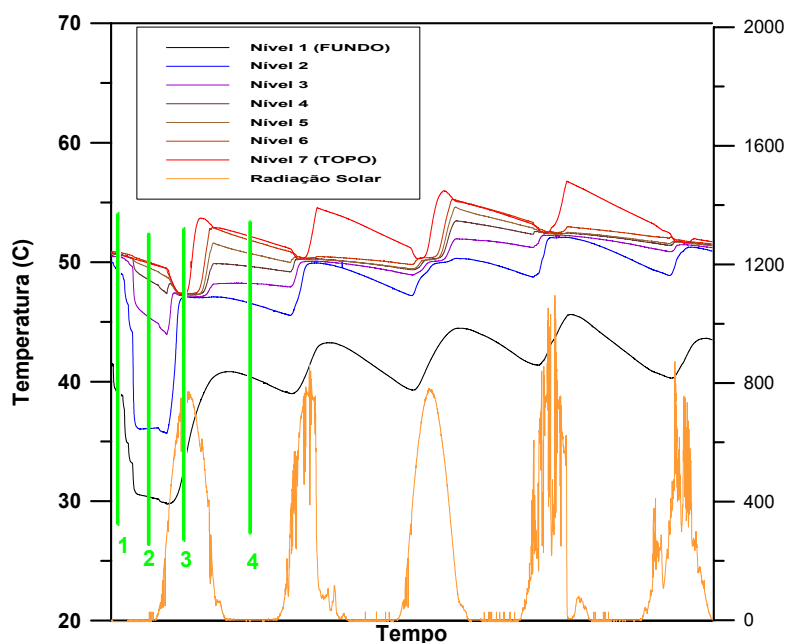


Figura 7. Comportamento das temperaturas em diversas camadas dentro do reservatório em função do tempo.

A região marcada em amarelo na Fig. (5) está ampliada na Fig. (6). Este gráfico corresponde ao início da circulação da água no sistema com mais detalhe, pela manhã. No início do dia, mesmo havendo já radiação solar, mas antes de entrara na região amarela da Fig. (6), a temperatura de saída está de forma estável mais alta que a temperatura de entrada. Na verdade estes valores são apenas a consequência da não circulação da água durante a noite passada: a tubulação ligada ao fundo do tanque esfriou e a tubulação conectada ao topo do reservatório se mantém aquecida por condução no cobre. Na faixa amarela ocorre a inversão deste comportamento porque a circulação de água começa a ocorrer. A tubulação de “entrada” recebe água do reservatório a mais de 40°C. A tubulação de “saída” por sua vez recebe água do coletor solar que, apesar de ainda estar fria (30°C) já está mais aquecida que a tubulação de “entrada” (25°C). A circulação inicial deve ser lenta e não desenvolve um fluxo em todo o volume da tubulação de 28 mm, por isto a mudança de temperatura no tubo é lenta. A partir do final da faixa amarela a temperatura de “entrada” atinge seu

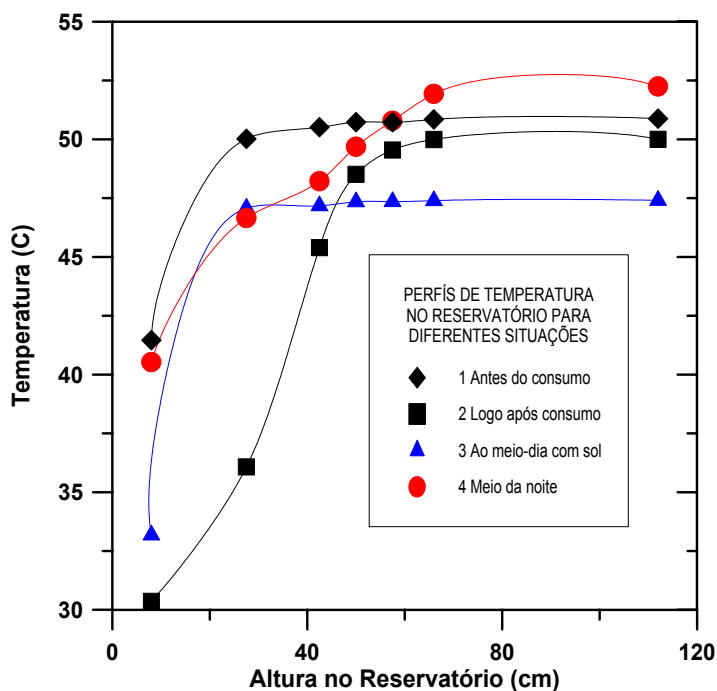


Figura 8. Perfis de temperatura no reservatório para as situações marcadas na Fig. (7).

valor de trabalho e cerca de 15 minutos depois os coletores já substituíram toda a água do sistema solar, passando ao funcionamento pleno.

A Figura (7) ilustra a distribuição de temperaturas no reservatório em diferentes situações nos dias iniciais do mesmo arquivo da Fig. 4. É interessante observar como durante o dia a água se mistura no reservatório, porque os coletores produzem uma circulação de cima para baixo, e durante a noite a estratificação se acentua pela convecção natural produzida pelas perdas, de conformidade com Oliveski et al (2000). As 4 situações marcadas com uma linha vertical verde correspondem respectivamente a (1) momento em que o tanque apresentava estratificação bem definida, antes de iniciar um consumo de água quente; (2) imediatamente após o consumo a água fria reposta no fundo do tanque acentua a estratificação; observe-se que as temperaturas das camadas superiores sentiram muito pouco o efeito do ingresso da água fria no fundo; (3) durante o dia a circulação pelos coletores injeta água morna no topo do reservatório e ocorre uma mistura de todas as camadas superiores; a camada do fundo sente também este aquecimento; (4) no meio da noite a estratificação é restabelecida. A Figura (8) apresenta um gráfico dos perfis de temperatura no interior do tanque para estas mesmas 4 situações.

6. Resultados globais e custos

Além destas peculiaridades apresentadas, as medidas permitem principalmente observar resultados integrados do comportamento do sistema ao longo do tempo, dando a possibilidade de realizar comparações entre diferentes épocas do ano e permitindo deduzir vantagens gerais do sistema quanto à eficiência energética.

A Tabela 1 mostra resultados globais para condições de inverno e verão e a caracterização destas condições. As 6 primeiras linhas correspondem a médias de valores obtidos experimentalmente e as demais linhas apresentam valores estimados ou calculados a partir de dados conhecidos. O consumo de gás foi determinado medindo em um dos canais do sistema de aquisição de dados o tempo em que o motor da bomba foi acionado, tendo sido previamente feita uma medição da taxa de consumo de gás do aquecedor nas condições em que está instalado. Como a temperatura do reservatório de água fria também foi medida, ficou fácil estimar a quantidade de energia necessária para aquecer um volume de água igual ao consumo (750 litros) até a temperatura de 38°C. Este valor foi acrescido aos valores estimados para as perdas térmicas (o coeficiente de perdas do reservatório foi medido previamente e vale $UA=6,9W/^{\circ}C$) no tanque e na tubulação. A energia térmica total é o valor que deve ser considerado como demanda para este ou outro sistema de acumulação similar. A partir deste valor e considerando eficiência de 80% para o aquecedor a gás e um conteúdo energético de 67 MJ/kg de gás foi estimado o consumo de gás para atender às necessidades do sistema se não houvesse coletores solares. Da diferença entre esta estimativa e o consumo de gás efetivo resulta a economia proporcionada pelo sistema solar e a fração solar do aquecimento, ambos valores apresentados também na Tab. (1). Por fim a eficiência solar média foi calculada pela relação entre o calor gerado pelo sistema solar (obtido da estimativa de economia de gás) e a radiação solar média incidente em $2,7 m^2$. Os resultados diferentes de 44% e 66% respectivamente para as condições de verão e inverno são esperados, uma vez que a temperatura da água de entrada dos coletores no inverno esteve mais próxima da temperatura ambiente, utilizando uma faixa da curva de eficiência dos coletores onde a eficiência é mais alta. Esta constatação também é coerente com o que foi afirmado no início deste trabalho sobre trabalhar com uma fração solar mais baixa para tirar maior proveito dos coletores. A consequência, entretanto, é um consumo maior de combustível, pois a demanda no inverno é muito maior que no verão.

Tabela 1. Resultados globais medidos ou calculados para as condições de verão e de inverno.

CONDIÇÃO	VERÃO	INVERNO
Temperatura ambiente média (°C)	24,9	18,4
Temperatura ambiente mínima (°C)	12,3	4,1
Temperatura ambiente máxima (°C)	40,3	33,8
Radiação Solar Média (MJ/m ² .dia)	16,2	14,7
Consumo médio de GLP medido (kg/dia)	0,56	1,04
Temperatura média no reservatório de água fria (°C)	26,5	19,8
Energia consumida na residência (MJ/dia)	41,9	57,1
Perdas térmicas no reservatório (MJ/dia)	15,0	19,2
Perdas térmicas em toda a tubulação da residência (MJ/dia)	13	22
Energia total necessária para atender a demanda (MJ/dia)	69,9	98,3
Consumo de gás estimado para sistema sem energia solar (kg/dia)	1,04	1,47
Economia de gás proporcionado pelos coletores solares (kg/dia)	0,48	0,43
EFICIÊNCIA SOLAR MÉDIA	44	66
FRAÇÃO SOLAR (%)	46	27

Para apresentar uma avaliação de custos sucinta, a Tab. (2) apresenta uma comparação entre dois sistemas de aquecimento de água com energia solar. O sistema indicado como “convencional” apresenta custos de instalação para sistemas solares que normalmente seriam propostos por empresas instaladoras para uma demanda igual à que aqui foi

considerada, com 6 m² de coletores. Por simplicidade foi considerado que a energia solar convertida com o dobro de área seria o dobro daquela antes calculada (na verdade é menor pois o sistema iria trabalhar com temperaturas mais altas). Neste caso se teria uma fração solar de 90% no verão e 58% no inverno. A energia auxiliar deste sistema é eletricidade e o reservatório tem paredes mais espessas, seno por isto mais caro. Nada impediria, no entanto, utilizar o tanque de baixa pressão para o sistema com apoio elétrico.

Tabela 2.Comparação de custos entre dois sistemas de aquecimento

CUSTOS INICIAIS	Solar Convencional	Solar Gás com tanque baixa pressão
Coletores solares	6 m ² a R\$350/m ² = R\$2.100,00	3 m ² a R\$350/m ² = R\$1.050,00
Aquecedor auxiliar	Resistência e termostato R\$150,00	Aquecedor e termostato=R\$450,00
Bomba de circulação para gás	-	R\$ 100,00
Reservatório de aço inox	R\$1.500 em 600 litros	R\$ 800,00 em 1000 litros
Montagem do sistema	R\$400,00	R\$300,00
TOTAL	R\$4.150,00	R\$2.700,00
Energia auxiliar para 20 anos (aos preços de hoje)	R\$14.000,00 (cerca de R\$58 por mês)	R\$ 11.400,00 (cerca de R\$47,00 por mês)
TOTAL GERAL	R\$ 18.150,00	R\$ 14.100,00

Uma análise de custos baseada em resultados obtidos através de simulações utilizando o programa TRNSYS é apresentada na dissertação de mestrado de Lourenço (2001) considerando a mesma instalação analisada neste trabalho. As simulações deixam bem claro que não é conveniente dimensionar sistemas solares onde a energia auxiliar seja a eletricidade com pouca área de coletores, pois ao longo de vários anos o consumo com energia auxiliar vai pesar demasiado. Para sistemas que utilizam gás, no entanto, o ponto economicamente ideal é mais livre, podendo ser arbitrado para áreas menores como sugere o presente trabalho.

7. Conclusões

Foi realizado um estudo experimental de um sistema de aquecimento de água com energia solar que utiliza gás como energia auxiliar. A análise dos dados foi apenas parcial e ainda muita informação poderá resultar da continuidade da análise destes dados. A análise de particularidades do comportamento térmico do sistema em observação permitiu melhor compreender o funcionamento do sistema. Conforme foi visto nos resultados globais a fração solar da energia térmica é menor que 50%, sendo portanto o termo “auxiliar” empregado para o gás apenas pela convenção. Optou-se por um sistema onde a contribuição do gás é muito maior do que seria a contribuição da eletricidade em um sistema com apoio elétrico, porque os preços atuais assim o recomendam. Foi demonstrado, ainda que utilizando uma análise de custos bem grosseira, que este tipo de sistema é interessante do ponto de vista econômico, propiciando menor investimento inicial e menor custo de manutenção.

8. Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio do CNPq que financia as bolsas dos autores.

9. Referências

- Duffie, J.A., Beckman, W.A. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons Inc. New York
- Oliveski, R.C.; Krenzinger, A.; Vielmo, H. A. , 2000. Análise Numérica da Convecção Natural em Reservatórios para Sistemas Solares. In: X Congresso Ibérico de Energia Solar e V Congresso Ibero-Americano de Energia Solar, USP São Paulo em.CDROM.
- Krenzinger A. Costa, E. R. 2002. Limites da Utilização de Coletores Solares Sem Cobertura. A ser apresentado no Congresso MERCOFRIO 2002, Florianópolis.
- Lourenço Júnior, I., 2001. Estudo de um Sistema de Aquecimento de Água Híbrido Gás-Solar. Dissertação de Mestrado PROMEC. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Zanescio, I., 1994. Análise e Construção de Um Piranômetro Fotovoltaico. Dissertação de Mestrado PROMEC Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A SOLAR ENERGY AND GAS WATER HEATING SYSTEM

Arno Krenzinger

Solar Energy Laboratory - PROMEC - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Sarmiento Leite, 425 CEP90050170 Porto Alegre Brazil
arno@mecanica.ufrgs.br

Jean Marc Lafay

Solar Energy Laboratory - PROMEC - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Sarmento Leite, 425 CEP90050170 Porto Alegre Brazil

Abstract. This work presents bases for sizing solar energy water-heating systems using gas as auxiliary energy instead of electricity. A heating system mounted using these bases was analyzed through a computerized data acquisition equipment, which is also described in the work. The measured results propitiated some detailed analyses of the thermal behavior of the system, allowing a better understanding of the phenomena included by solar heaters that operate for thermosiphon. The global results demonstrate that the system has great performance and it should be seriously considered as an option in the moment of selecting the water-heating system for a residence or for an industrial installation.

Keywords: solar energy, solar heating, gas heating , hybrid heating