

Avaliação técnica e viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar em um edifício residencial

Jesus Marinaldo de Medeiros^[1], Wesley Macedo Félix^[2], Márcio Gomes da Silva^[3], Marinaldo José de Medeiros^[4], Andrei Hudson Guedes Braga^[5]

[1] jesus_medeiros@yahoo.com.br; [2] wesleymacedo24@gmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB Campus Cabedelo; [3] mgcefet@gmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB Campus João Pessoa; [4] marinaldomedeiros@superig.com.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS Campus Lagarto; [5] andrei_projetos@yahoo.com.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE Campus Ipojuca.

RESUMO

Um sistema de aquecimento solar de água (SAS) é um dispositivo que disponibiliza a energia térmica da radiação solar incidente para o aquecimento de água. O aproveitamento da energia solar em edificações reduz o consumo elétrico. Nesta pesquisa, uma análise técnica e da viabilidade econômica foi realizada em um sistema usando energia solar e gás como fontes energéticas num edifício residencial. O sistema foi estudado operando com 47 coletores solares planos, 2 reservatórios térmicos de 5.000 litros cada, convecção forçada e um sistema auxiliar com 4 aquecedores de passagem a gás. Uma análise técnica durante 12 meses mostrou que o sistema operou com fração solar entre 48-88% e eficiência térmica entre 47-73%. Na análise econômica foram empregados métodos da matemática financeira, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback. Os dados coletados demonstraram que o SAS com apoio a gás mostrou-se viável, pois apresentou VPL positivo, TIR superior à taxa de atratividade e recuperação do investimento (Payback) em menos de 8 anos para vida útil de 20 anos. Também foram monitoradas as temperaturas do SAS, mostrando que a falta de manutenção pode gerar grandes perdas de energia e elevado custo com consumo de gás.

Palavras-chave: Energia solar. Aquecimento de água. Gás. Viabilidade econômica. Edifício residencial.

ABSTRACT

A solar water heating system (SWHS) is a device that makes available the thermal energy of the incident solar radiation for water heating. The use of solar energy in buildings reduces electrical consumption. In this research, a technical and economic feasibility analysis was performed on a system using solar and gas as energy sources in a residential building. The system was studied operating with 47 flat solar collectors, two thermal reservoirs of 5,000 liters under forced convection and an auxiliary system with 4 passage gas heaters. The technical analysis over 12 months showed that the system has operated with solar fraction between 48-88% and thermal efficiency of 47-73%. Concerning the economic analysis, methods of financial mathematics, such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback were applied. The data collected demonstrated that the SWHS with gas support was feasible, it also showed positive NPV, IRR superior in relation to the rate of attractiveness; and investment recovery (Payback) in less than 8 years considering a 20-year lifetime of the system. The temperatures of SWHS were monitored showing that the lack of maintenance can generate high levels of energy loss and cost because of the gas consumption.

Keywords: Solar energy. Water heating. Gas. Economic feasibility. Residential building.

1 Introdução

O aquecimento solar de água representa uma tecnologia ambiental que utiliza uma energia limpa, abundante e permanente, renovável a cada dia, que não polui nem prejudica o ecossistema e que tem grande potencial de geração de emprego e renda.

Uma alternativa para reduzir o consumo energético no setor residencial é a substituição do chuveiro elétrico por sistemas solares térmicos. Pesquisas realizadas em diversos países comprovam a viabilidade técnico-econômica do uso de aquecedores solares de água, comparativamente às opções de aquecimento elétrico e a gás (OLIVEIRA *et al.*, 2008; KALOGIROU, 2009).

Estima-se que o aquecimento de água é responsável por 25% do total de energia elétrica consumida nas residências brasileiras, o que representa um consumo da ordem de 20 bilhões de kWh. Tal demanda de energia elétrica ocorre principalmente no fim da tarde, ocasionando um pico que poderia ser reduzido em grande parte com a exploração da energia solar, que traria ainda vantagens econômicas e ambientais. O chuveiro elétrico é o equipamento mais empregado para o aquecimento de água, apresenta um custo reduzido para instalação (abaixo de US\$15) e pode consumir uma potência de até 6 kWh (PEREIRA *et al.*, 2006).

O Brasil exibe um dos maiores potenciais do mundo de utilização de energia solar, principalmente pelo fato de ser um país de dimensões continentais e situar-se quase que inteiramente numa região tropical, em especial a região Nordeste, onde há presença do sol praticamente o ano inteiro.

O uso de energia solar em edifícios também tem sido estimulado no país pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), realizado pelo Procel em parceria com o Inmetro. Atualmente, a certificação de eficiência energética de edificações é voluntária no país e destinada a edifícios residenciais, comerciais, públicos e de serviços, mas a tendência é que em alguns anos torne-se obrigatória (FOSSATI; LAMBERTS, 2010).

A utilização de sistemas de aquecimento solar não significa necessariamente um bom aproveitamento energético. É preciso que as instalações sejam corretamente dimensionadas, instaladas e mantidas. Caso um destes aspectos não seja devidamente considerado, o desempenho do sistema poderá ser muito inferior ao previsto no projeto.

Uma revisão bibliográfica sobre o sistema de aquecimento solar de água é detalhada a seguir:

Siqueira (2003) desenvolveu um programa de simulação computacional do comportamento térmico de sistemas de aquecimento de água com energia solar. Foram analisados os sistemas solares de aquecimento de água operando por termossifão. Nesse tipo de sistema, o fluido no coletor solar circula por convecção natural devido à diferença de massa específica da água ao longo do circuito. Esse programa permitiu reproduzir com precisão o comportamento térmico dos coletores solares e do reservatório térmico.

Lafay (2005) analisou o comportamento térmico de um sistema de aquecimento de água que combina energia solar e gás como fontes energéticas. A partir de várias análises, classificou o sistema como vantajoso, se aplicados alguns ajustes na utilização do gás, comparado ao sistema que utiliza energia elétrica como fonte auxiliar, apesar do custo inicial de instalação do sistema solar.

Baptista (2006) analisou a viabilidade econômica de substituir os sistemas convencionais de aquecimento de água por sistemas solares em *resorts*, que possuem características peculiares de operação e consumo devido à grande diversidade de serviços oferecidos. Apesar de o sistema ter um custo muito alto, esses *resorts* apresentam um consumo de água quente também muito alto, compensando o custo com os coletores solares e equipamentos. Os lucros realmente apareceriam depois de 20 anos, desconsiderando-se os reajustes nas tarifas de energia elétrica. Esse sistema deverá ser implantado na região Nordeste, que apresenta altos índices de radiação solar ao longo de todo o ano.

Gunerhan e Hepbasli (2007) estudaram um sistema de aquecimento solar de água que possuía coletor solar plano, reservatório térmico e bomba de circulação, com o intuito de investigar o efeito da variação da água na entrada e a eficiência do coletor, e apresentar melhorias na eficiência térmica da instalação.

Savicki (2007) apresentou uma análise numérica tridimensional dos campos de temperatura e velocidade em reservatórios térmicos cilíndricos que atuam por convecção natural. Foram observadas a presença de recirculações na região superior do reservatório e a formação das camadas limites térmica e hidrodinâmica próximo das paredes. A partir de análises realizadas nos reservatórios, chegou-se à conclusão de que a posição do jato de entrada influencia no me-

lhor desempenho da conservação da energia térmica dentro dos reservatórios.

Sales (2008) apresentou uma análise da viabilidade econômica da substituição do chuveiro elétrico por aquecedores solares numa residência unifamiliar no município de Maceió - AL, que se mostrou viável, gerando economia para os três casos estudados (consumidor de baixa, média e alta renda), reduzindo o consumo da energia elétrica, seja no horário de ponta ou fora dele.

Souza (2009) desenvolveu um *software* para projetos otimizados de sistemas de aquecimento de água mediante a utilização de energia solar. Essa ferramenta computacional é destinada a auxiliar as empresas de engenharia em projetos de sistemas de aquecimento solar. O *software* disponibiliza aos projetistas a possibilidade de simular instalações com até quatro coletores em série, buscando um melhor balanço hidráulico e, conseqüentemente, um melhor desempenho da instalação.

Pozzebon (2009) desenvolveu um programa computacional para simulação do sistema de aquecimento solar com termossifão e com convecção forçada, totalizando seis configurações diferentes. Foram realizadas análises energéticas e econômicas para determinar a configuração mais eficiente, de acordo com o perfil de consumo de água aquecida.

Mendonça (2009) fez um estudo a respeito da problemática da utilização dos sistemas de aquecimento solar térmico para aquecimento de água com coletores planos. Apesar do potencial solar do país e do padrão construtivo dos condomínios horizontais fechados da região metropolitana de São Paulo, ainda não há regulamentação do uso do aquecimento solar térmico em alguns de seus municípios. Em pesquisas de campo, foi detectada a baixa utilização dos recursos solares, influenciada pelo fato de os próprios profissionais não possuírem o conhecimento necessário sobre o equipamento, e também pelo fato de os consumidores não terem informações sobre a eficiência do produto.

Andrade (2009) fez um estudo da necessidade da valorização da qualidade e do bom funcionamento dos equipamentos de aquecimento solar, por meio de dados relativos à validação de qualidade das instalações de grande porte em edifícios residenciais na cidade de Belo Horizonte. Através de ensaios laboratoriais e simulações computacionais, foi possível estabelecer uma relação de indicadores de qualidade para sistemas de aquecimento solar de grande porte,

bem como elaborar uma proposta de metodologia para certificação desses sistemas.

Basso *et al.* (2010) construíram um protótipo, com características similares às de um sistema de aquecimento de água utilizado em residências unifamiliares, para funcionar com circulação natural ou termossifão e sistema de aquecimento auxiliar (gás ou eletricidade). O equipamento mostrou-se viável tecnicamente, alcançando a temperatura mínima para banho de 35°C sempre que a radiação solar foi superior a 3.500 W/m², o que aconteceu na maioria dos dias estudados.

Boscoli (2010) investigou os motivos pelos quais os sistemas de aquecimento solar de água não são implantados em larga escala nas habitações brasileiras de interesse social. Existe uma tendência mundial de reduzir a dependência dos recursos energéticos fósseis. No entanto, a influência e o poder econômico dos oligopólios que mantêm os custos do uso final das energias tradicionais demonstram a vulnerabilidade das tecnologias que ainda necessitam alcançar um maior poder de mercado. Chegou-se à conclusão de que as pessoas visam apenas ao benefício imediato, sem pensar nos ganhos futuros – em um banho de oito minutos são gastos três centavos a mais usando a energia elétrica. Além disso, o equipamento de aquecimento solar tem um valor inicial muito elevado, fazendo com que poucas pessoas o utilizem.

Magagnin (2010) analisou a viabilidade econômica de um projeto de aquecimento de água em uma residência unifamiliar. Através de cálculos de tempo de recuperação de capital, determinou-se que o retorno do investimento efetuado na implantação do sistema foi de 6 anos e 11 meses. Ou seja, o sistema é lucrativo para o usuário. Concluiu-se que o aproveitamento da energia solar é viável e pode representar em alguns anos uma economia extremamente significativa, reduzindo o consumo de energia elétrica.

Naspolini, Militão e Ruther (2010) estudaram a possibilidade de viabilizar a água aquecida por energia solar para habitações de baixa renda. Foi desenvolvido um equipamento com um valor comercial mais baixo. Foi analisada uma residência na cidade de Florianópolis - SC, e chegou-se à conclusão de que as pessoas preferem o baixo investimento inicial do chuveiro elétrico e o alto custo das contas de energia, a um gasto inicial relativamente alto com os coletores e à economia posterior.

Coelho (2011) simulou e identificou as variáveis determinantes em um sistema de aquecimento

solar em um prédio residencial. Também estudou a viabilidade da substituição do sistema convencional de aquecimento a gás existente por um sistema de aquecimento solar. Concluiu que a substituição é viável e a melhor configuração é a que atende parcialmente a demanda de água aquecida, pois, com uma fração solar de 100%, estaria superdimensionado nos meses de maior radiação solar.

Naspolini e Ruther (2011) observaram os impactos causados pelos coletores de baixo custo em habitações de baixa renda. Foi analisada uma residência na cidade de Florianópolis - SC, e constatou-se que, mesmo com a implantação de coletores de menor custo, a aceitação ainda é muito baixa em relação ao método convencional de aquecimento de água, que é o chuveiro elétrico.

Michaelides e Eleftheriou (2011) estudaram as características e o desempenho de um sistema de aquecimento solar residencial, com coletores totalizando uma área de 3 m² e um reservatório térmico de 68 litros, por um período de 2 anos, sob condições reais. Verificaram que o sistema não apresentou variação significativa de temperatura e energia coletada no reservatório térmico com a variação de radiação solar incidente nos coletores, variando entre 800 e 1100 W/m². Serviu de importante ferramenta para detectar possíveis falhas do sistema em operação e ajustes para melhorar o desempenho do sistema.

Oliveira (2011) simulou a análise de viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar de água de um hotel fictício na região Nordeste do Brasil, empregando técnicas de dimensionamento de coletores solares e métodos da matemática financeira, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback, resultando num projeto economicamente viável.

Altoé, Filho e Carlo (2012) analisaram, através de programas computacionais, a eficiência energética de um sistema de aquecimento solar de água com apoio elétrico, destinado a atender diferentes demandas de água quente em uma residência unifamiliar, comparativamente ao uso de chuveiro elétrico. A substituição do chuveiro elétrico pelo sistema solar com apoio elétrico provocou uma redução de 70% no consumo de energia elétrica destinada a aquecimento de água doméstica e de 36% no consumo de energia elétrica total da residência.

Santos (2012) elaborou um estudo com análises técnico-econômicas e comparativas das principais soluções solares térmicas para produção de água

quente sanitária em edifícios de habitação multifamiliar. Analisando o sistema de acumulação individual e o de acumulação coletiva, concluiu que o sistema com acumulação coletiva possuía custos anuais menores.

Russi (2012) desenvolveu uma simulação computacional de um sistema que utiliza energia solar para calefação e aquecimento de água integrados. Demonstrou que é possível utilizar sistemas alternativos para condicionar termicamente ambientes e obter água aquecida nas regiões mais frias, como na região Sul do Brasil, visando proporcionar conforto nas edificações sem agredir o meio ambiente e criar edificações mais sustentáveis. Esse equipamento atua com a capacidade de elevação de 7°C.

Ayompe e Duffy (2013) estudaram um sistema de aquecimento solar de água com coletores planos em um clima temperado. A configuração padrão do sistema era composta por coletores planos com circulação forçada e sistema auxiliar. O sistema apresentou a temperatura máxima de 70,4°C na saída do coletor, e de 59,9°C no interior do reservatório. A energia média diária coletada foi de 19,6 MJ/d, e a energia que foi passada para os reservatórios foi de 16,2 MJ/d, ocorrendo a perda de 3,2 MJ/d nos tubos de alimentação.

No presente trabalho, os objetivos foram determinar e avaliar a fração solar, a eficiência térmica e a viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar com sistema auxiliar a gás em um edifício residencial em João Pessoa - PB, durante o ano de 2013.

2 Materiais e métodos

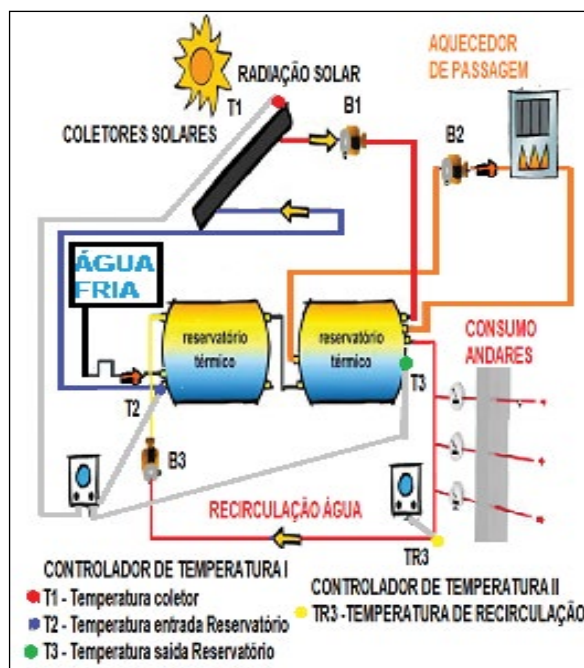
O sistema de aquecimento solar utilizado para análise está localizado em um edifício residencial de 27 andares com 52 apartamentos, sendo 2 por andar, na cidade de João Pessoa - PB, e foi projetado, construído e entregue em funcionamento em dezembro de 2010. No ano de 2011, o SAS passou por diversos ajustes para o seu funcionamento regular e crescente consumo de água quente, até sua ocupação quase total. Os dados utilizados para análise foram coletados de janeiro a dezembro de 2013.

Os equipamentos utilizados no sistema foram: coletores Porto Seguro da TRANSSSEN v2.0, área 1,87 m², espessura 80 mm, tubulação material absorvedor polipropileno com diâmetro entrada/saída de 32 mm; reservatórios térmicos horizontais de 5.000 litros da TRANSSSEN em aço inoxidável, proteção do aço inox em PU elastomérico, isolamento térmico em

poliuretano expandido e revestimento externo em alumínio; aquecedores de água a gás REU-157 BRS GLP da RINNAI, cada equipamento com potência nominal de 25,8 kW; Controladores Diferenciais de Temperatura para Aquecimento com dois estágios de apoio MICROSOL II PLUS da FULL GAUGE CONTROLS; sistema de aquisição de dados com sensores de temperatura e *software* da Full Gauge Controls para gerenciamento do aquecimento solar SITRAD; bombas centrífugas SCHNEIDER com rotor de bronze e selo mecânico viton, hidrômetro tipo volumétrico de pistão rotativo Aquadis ITRÓN e medidor de gás Gallus da ITRÓN.

A Figura 1 apresenta a representação esquemática da instalação, compreendendo a captação da radiação solar incidente nos coletores solares, o armazenamento da energia térmica em dois reservatórios térmicos horizontais em série, a distribuição da água aquecida para consumo, o sistema auxiliar, para complementar o aquecimento solar em períodos de baixa insolação solar ou em instantes de grande consumo, e o sistema de recirculação de água, para garantir um fornecimento de água aquecida confortável em todos os andares. Tal sistema caracteriza-se por uma configuração de sistema direto ativo, pois a circulação de água é realizada através de bombas e a água é aquecida diretamente pelos coletores solares. O controlador diferencial de temperatura I tem como função comandar a bomba B1, permitindo seu acionamento quando a diferença de temperatura registrada entre o sensor 1 (localizado em um dos coletores, próximo à saída do segundo reservatório térmico) e o sensor 2 (localizado na entrada do primeiro reservatório térmico) é superior a 4°C, e o seu desligamento, quando essa diferença é de 2°C. O sensor 3 controla a temperatura na saída do reservatório térmico. Caso a temperatura seja menor que 45°C, o sistema auxiliar (aquecedor de passagem a gás) entrará em funcionamento, com o acionamento da bomba B2 e o seu desligamento apenas quando a temperatura atingir 50°C. O controlador diferencial de temperatura II acionará a bomba de recirculação B3 instalada no subsolo do edifício, quando a temperatura atingir 35°C, e a desligará quando a temperatura atingir 38°C.

Figura 1 – Diagrama esquemático do sistema de aquecimento solar.



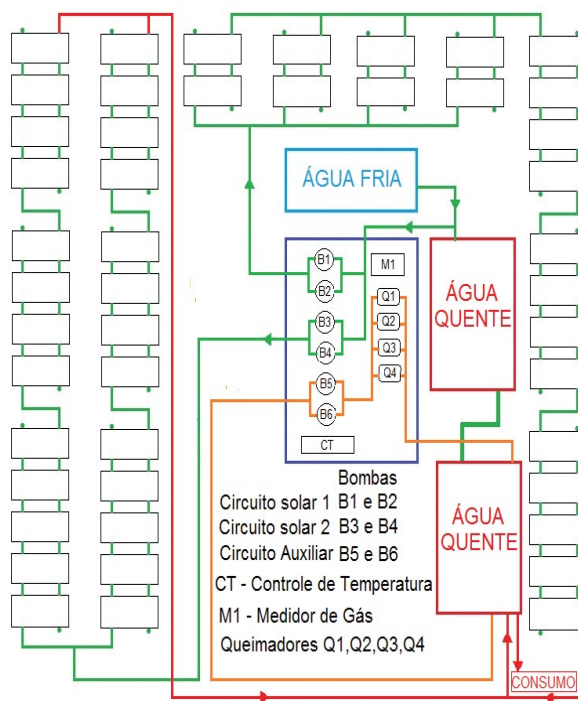
A Figura 2 mostra a disposição dos coletores solares no edifício, com orientação norte, e a inclinação dos coletores, composta pela latitude local (7,1°) mais 10°, usando critério para favorecimento de inverno. Também são mostrados os dois reservatórios térmicos horizontais em série e o local onde estão instalados as bombas de circulação de água nos coletores, as bombas de circulação de água nos aquecedores de passagem a gás, os quatro aquecedores a gás, o controlador diferencial de temperatura e o quadro de comando elétrico dos equipamentos, as tubulações hidráulicas, elétricas e de gás, e acessórios.

A Figura 3 representa a montagem e disposição dos componentes do sistema de aquecimento solar na cobertura do edifício residencial em estudo, detalhando a quantidade de coletores e o arranjo série paralelo (misto) em dois circuitos. O circuito solar 1 apresenta 26 coletores sem sombreamento, enquanto o circuito solar 2 apresenta 21 coletores com sombreamento parcial (8 coletores) em determinados horários e dias do ano. A figura também representa a montagem do sistema auxiliar a gás, que utiliza quatro queimadores e duas bombas, sua interligação ao reservatório térmico 2, o medidor de consumo de gás e o controlador diferencial de temperatura.

Figura 2 – Sistema de aquecimento solar real (coletores, reservatórios, bombas, aquecedores, controlador de temperatura automático).

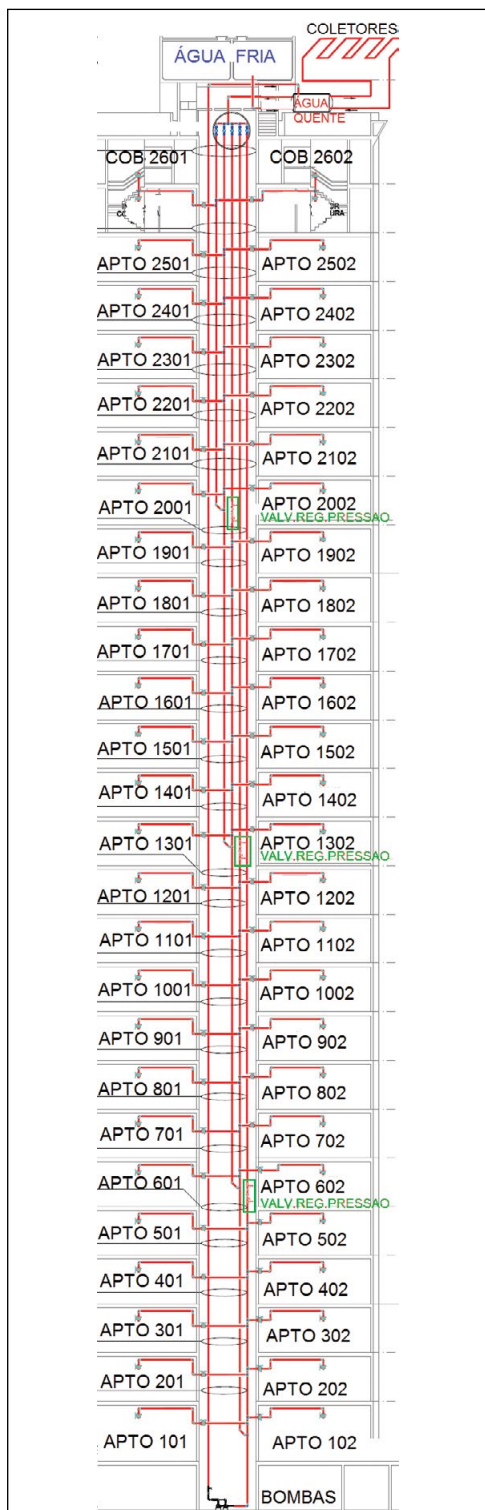


Figura 3 – Arranjo do sistema de aquecimento solar na cobertura do edifício.



Na Figura 4 são mostradas partes do projeto hidráulico do sistema de aquecimento no edifício, detalhando as tubulações e ramificações entre andares, a localização da bomba de recirculação da água quente no subsolo e o retorno até o reservatório térmico. A prumada central alimenta 5 ramais. O 1º ramal alimenta apenas as coberturas, localizadas no 27º e 26º andares; o 2º ramal alimenta os andares de 25º a 20º, sendo interligado pela 1ª válvula redutora de pressão para ligação com o 3º ramal, que alimenta os andares de 19º a 13º. O 3º ramal, por sua vez, é interligado pela 2ª válvula redutora de pressão para ligação com o 4º ramal, que alimenta os andares de 12º a 6º e é interligado pela 3ª válvula redutora de pressão para ligação com o 5º ramal, que alimenta os andares de 5º a 1º até chegar ao subsolo, na entrada da bomba de recirculação.

Figura 4 – Parte do projeto hidráulico do sistema de aquecimento solar do edifício.



3 Resultados e discussão

3.1 Análises técnica e econômica

Na Tabela 1, a segunda e a terceira colunas apresentam, respectivamente, a radiação global incidente em uma superfície horizontal e a radiação global na superfície inclinada, permitindo determinar quanto de energia está chegando aos coletores. As duas colunas seguintes apresentam as temperaturas da água fria e da água quente, na entrada e na saída do reservatório térmico, respectivamente. Para água fria foi considerada a temperatura média mensal da água medida em um coletor, no horário de 6h, no ano de 2013. Já para água quente, foi considerada a temperatura média mensal no reservatório térmico para consumo, a partir de dados disponíveis no sistema de aquisição de dados do controlador diferencial de temperatura instalado via Sitrad (*software* da Full Gauge Controls) para gerenciamento do aquecimento solar do edifício. A medição foi realizada a cada minuto e armazenada. A coluna seguinte apresenta o consumo total de água quente mensal no edifício, registrado pelo somatório das leituras dos hidrômetros individuais por apartamento, sendo colhidas mensalmente. A penúltima coluna representa o consumo diário total estimado a partir da divisão da leitura mensal pelo número de dias do mês. A última coluna representa o volume de gás GLP consumido mensalmente. Pode-se observar a partir dos dados da tabela que a radiação global na superfície inclinada, entre os meses de março e setembro, é maior que na superfície horizontal justamente porque foi adotado o critério de favorecimento de inverno para inclinação dos coletores. Além disso, percebe-se que o consumo diário de água quente variou entre 6.324,87 e 11.262,80 litros no ano de 2013 e que o sistema foi projetado para acumular 10.000 litros por dia, portanto, atenderá em determinados dias com o sistema auxiliar a gás. Observa-se que os meses mais chuvosos e frios de junho, julho, agosto e setembro apresentaram um consumo elevado de água quente e gás. No mês de novembro, foi verificada uma falha no sensor de temperatura de saída do reservatório térmico, provocando aumento do consumo de gás. Foi detectada a queda do sensor, que foi recolocado na posição correta; assim, o sistema de aquecimento voltou à normalidade.

Na Tabela 2, a segunda e a terceira colunas representam a energia térmica solar chegando ao coletor e a energia transferida para a água, respectivamente.

Para tanto, foi considerada a eficiência informada pelo fabricante do coletor e atestada pelo INMETRO (2011) com classificação tipo “A” do PROCEL ($\eta=0,56$). A coluna seguinte apresenta a energia térmica gerada pelos aquecedores de passagem a gás. Tal cálculo foi realizado a partir do poder calorífico inferior do gás (PCI=11.000 Kcal/kg), da massa específica do gás (2,34 kg/m³) e da eficiência térmica do aquecedor a gás ($\eta=0,837$) informada pelo fabricante. A coluna seguinte computa a energia total, que é o somatório da energia solar e da energia do gás. A próxima coluna

computa a demanda de água quente mensal utilizada, a partir do volume mensal consumido e do gradiente entre a temperatura de entrada da água fria e a temperatura de saída de água aquecida. A antepenúltima coluna representa a energia não utilizada. A penúltima coluna representa a fração solar do sistema, que determina a percentagem de contribuição da energia solar sobre a energia total para aquecimento da água. A última coluna representa a eficiência térmica do sistema.

Tabela 1 – Dados fornecidos para análise do sistema de aquecimento solar.

2013	Radiação Global* (kWh/m ² /dia)	Radiação Inclinada* (kWh/m ² /dia)	Temp. água fria (°C)	Temp. água quente (°C)	Consumo água (litros/mês)	Consumo água (litros/dia)	Consumo gás (m ³ /mês)
Jan	5,91	5,37	24	51	197.953	6.385,58	93,23
Fev	5,82	5,5	24,7	52	197.909	7.068,18	42,12
Mar	5,5	5,53	27	52,2	196.071	6.324,87	92,48
Abr	5	5,29	26,5	52,4	218.910	7.297,00	126,77
Mai	4,63	5,16	25,2	50	228.558	7.372,84	167,63
Jun	4,17	4,75	23,5	47,2	234.099	7.803,30	262,37
Jul	4,32	4,87	22,3	46,2	287.148	9.262,84	328,69
Ago	5,05	5,47	23,1	46,2	306.812	9.897,16	259,31
Set	5,64	5,78	24,6	45,2	337.884	11.262,80	202,61
Out	5,75	5,51	26	49,2	245.461	7.918,10	172,15
Nov	6,09	5,47	25	47,1	270.200	9.006,67	254,87
Dez	6,06	5,28	24,3	50	245.305	7.913,06	180,69
Média	5,33	5,33	24,7	49,1	247.192,5	8.126,03	181,91

Fonte: *dados obtidos através do software Radiasol 2.

Tabela 2 – Cálculo da energia no sistema de aquecimento solar.

2013	E. Solar global (kWh/mês)	E. Solar coletor (kWh/mês)	Energia Gás GLP (kWh/mês)	Energia total (kWh/mês)	Demanda (kWh/mês)	Energia não usada (kWh/mês)	Fração Solar (%)	h (%)
Jan	14.631,05	8.193,39	2.335,98	10.529,37	6.205,83	4.323,54	77,81	58,94
Fev	13.535,06	7.579,63	1.055,36	8.635,00	6.273,39	2.361,61	87,78	72,65
Mar	15.066,98	8.437,51	2.317,19	10.754,70	5.737,04	5.017,66	78,45	53,34
Abr	13.948,14	7.810,96	3.176,36	10.987,32	6.583,23	4.404,09	71,09	59,92
Mai	14.058,88	7.872,98	4.200,16	12.073,13	6.581,45	5.491,68	65,21	54,51
Jun	12.524,33	7.013,62	6.573,97	13.587,59	6.442,01	7.145,58	51,62	47,41
Jul	13.268,75	7.430,50	8.235,69	15.666,20	7.968,52	7.697,68	47,43	50,86
Ago	14.903,51	8.345,96	6.497,30	14.843,26	8.229,21	6.614,06	56,23	55,44
Set	15.240,13	8.534,47	5.076,62	13.611,09	8.081,81	5.529,28	62,70	59,38
Out	15.012,49	8.406,99	4.313,41	12.720,40	6.612,17	6.108,23	66,09	51,98
Nov	14.422,75	8.076,74	6.386,05	14.462,79	6.933,48	7.529,31	55,84	47,94
Dez	14.385,84	8.056,07	4.527,39	12.583,46	7.320,04	5.263,42	64,02	58,17
Média	14.249,83	7.979,90	4.557,96	12.537,86	6.914,01	5.623,84	65,36	55,88

Tabela 3 – Cálculo do custo do sistema de aquecimento solar.

2013	Sistema convencional (R\$/mês)	Sist. auxiliar Apoio gás teórico (R\$/mês)	Sist. auxiliar Apoio gás medido (R\$/mês)	Economia solar gás teórico (R\$/mês)	Economia solar gás medido (R\$/mês)
Jan	2.883,60	639,74	741,74	2.243,86	2.141,86
Fev	2.914,99	356,27	335,11	2.558,72	2.579,88
Mar	2.665,77	574,36	735,77	2.091,41	1.930,00
Abr	3.058,96	884,33	1.008,58	2.174,64	2.050,38
Mai	3.058,14	1.063,90	1.333,66	1.994,23	1.724,47
Jun	2.993,35	1.448,25	2.087,42	1.545,10	905,93
Jul	3.702,65	1.946,48	2.615,06	1.756,17	1.087,59
Ago	3.823,78	1.673,77	2.063,07	2.150,01	1.760,71
Set	3.755,29	1.400,64	1.611,97	2.354,66	2.143,33
Out	3.072,41	1.041,84	1.369,63	2.030,58	1.702,79
Nov	3.221,71	1.422,55	2.027,75	1.799,16	1.193,97
Dez	3.401,33	1.223,76	1.437,57	2.177,57	1.963,76
Ano	38.551,99	13.675,88	17.367,31	24.876,10	21.184,68

Observa-se, a partir dos dados da Tabela 2, que a demanda de energia para aquecimento da água em qualquer mês é sempre inferior à energia total para aquecimento, portanto, o sistema funcionará bem se o consumo for uniforme ao longo do dia. No entanto, pelo monitoramento da temperatura no reservatório térmico e funcionamento do sistema auxiliar, verifica-se que há um consumo não uniforme – no caso, maior consumo no horário das 6h às 8h, sem comprometer a análise diária. A fração solar calculada na maioria dos meses foi superior a 65%; apenas nos meses de junho, julho, agosto e novembro foi inferior a 60%, o que evidencia que o sistema está funcionando bem ao longo do ano, com média de 65,36%. No mês de novembro, a fração solar de 55,84% deveu-se a problema exclusivamente no sensor de temperatura do reservatório térmico, com elevado consumo de gás e sem manutenção adequada para restabelecer a normalidade do funcionamento, gerando um custo adicional. A radiação solar incidente nos coletores no mês de novembro foi satisfatória para suprir a demanda sem consumo do gás. Portanto, houve geração de calor nos coletores, mas o problema no sistema de controle elétrico fez acionar a bomba de aquecimento auxiliar para aquecer ainda mais a água. A eficiência térmica média foi de 55,88%, variando bastante ao longo do ano de 2013, obtendo melhores resultados em fevereiro e abril, caracterizando que a relação entre o consumo de água quente e o consumo de gás estava bem ajustada para suprir a demanda

do edifício e que o sistema de controle diferencial de temperatura automático e os equipamentos estavam funcionando perfeitamente. Já em junho, julho e novembro, a eficiência foi baixa, comprovando que foi gerada energia térmica do sistema solar e do auxiliar, mas sem aproveitamento direto para aquecer a água no reservatório térmico, houve grande perda de energia pelo seu não aproveitamento.

Na Tabela 3, a segunda coluna representa o custo associado à energia (demanda) para aquecimento da água consumida mensalmente pelos apartamentos. O sistema convencional não utiliza fonte solar. As duas colunas seguintes representam o custo do apoio a gás teórico e medido – o cálculo para o custo do gás teórico foi realizado a partir da fração solar, enquanto para o gás medido foi realizado por medidor volumétrico da quantidade de gás utilizada mensalmente. Observa-se que o custo real de gás consumido foi maior que o custo teórico, devido às perdas no próprio sistema de aquecimento solar. Finalmente, as duas últimas colunas representam a economia gerada pelo sistema de aquecimento solar com apoio a gás. Observa-se que, no ano, se economiza cerca de 55% em relação a um sistema convencional. Para os cálculos, foram utilizados os valores de R\$ 0,46466 por kWh de energia elétrica e R\$ 3,40 por kg de gás GLP para consumidores residenciais na cidade de João Pessoa, no período dessa análise. Ao longo de um ano é gerada uma economia de R\$ 21.184,68 com a energia solar.

Na Tabela 4 são apresentados os dados financeiros referentes ao sistema de aquecimento solar, mostrando os custos ao longo do projeto solar com vida útil de 20 anos, com uma taxa de juros correspondente a inflação de 5,9% ao ano, que serviu para corrigir a tarifa de energia elétrica aplicada e como taxa de atratividade para o fluxo de caixa de forma geral. Desse modo, foram calculados os custos mensais nos 20 anos, com o auxílio do *software* Microsoft Excel. Para análise, o valor presente líquido (VPL) é realizado com base nos dispêndios e receitas ao longo da vida do projeto, levando-se em consideração uma determinada taxa de juros. A taxa de retorno (TIR) é a taxa de juros com que o investimento foi remunerado ao longo do projeto. O Payback representa o tempo no qual o investimento será recuperado, sem levar em consideração os juros. Para que um projeto seja considerado economicamente viável, é necessário que o VPL seja maior que zero e que a TIR seja superior à taxa mínima de atratividade. Os dados da tabela mostram que o sistema de aquecimento solar com apoio a gás é viável, gerando uma economia durante os vinte anos (VPL) de R\$ 174.175,87, recuperando o investimento realizado (PAYBACK) em 7 anos e 8 meses, e que a taxa interna de retorno (TIR) de 18,93% é bem superior à taxa mínima de atratividade utilizada (5,9%), o que demonstra a grande viabilidade do projeto. O investimento, que compreendeu projeto, equipamentos, instalação, montagem e operação do sistema de aquecimento do edifício residencial, foi em torno de R\$ 100.000,00. Também foi considerada a manutenção do sistema, incluindo um contrato de manutenção preventiva com firma especializada e peças de reposição, totalizando um custo anual de R\$ 10.000,00.

3.2 Análise técnica no mês de novembro de 2013

A partir do monitoramento das temperaturas no sistema de aquecimento solar de água, foi possível mostrar que o aumento de consumo de gás (254,87 m³/mês) foi provocado pela queda do sensor de temperatura da saída do reservatório térmico (parte lateral superior), que fornece água quente para o consumo dos apartamentos. Nesse caso, o sistema de controle automático não funcionou corretamente, pois a temperatura foi medida num outro ponto. No dia 15 ocorreu essa falha, com detecção e reparo apenas no dia 19 e normalização no dia 20, como mostram as Figuras de 5 a 10.

A Figura 5 representa o monitoramento das temperaturas no reservatório térmico através de termopares instalados dentro de um dos coletores (sensor azul), na entrada (sensor vermelho) e na saída (sensor verde) do reservatório térmico e na tubulação de recirculação de água quente da bomba instalada no subsolo do edifício (sensor amarelo). Observa-se que a temperatura no coletor variou ao longo do dia, atingindo a temperatura mínima à noite e a temperatura máxima em torno das 12h, e que a temperatura na entrada do reservatório recebeu a mesma influência do meio exterior. Já o reservatório térmico perdeu calor à noite, diminuindo a temperatura de saída do reservatório, e quando houve consumo de água quente nos apartamentos, ligou o sistema auxiliar a gás e aumentou a temperatura novamente. Após o nascer do sol, a radiação solar também ajudou a aumentar a temperatura do reservatório até as 18h, retornando ao ciclo de resfriamento e perda de calor. Também se observa o ligamento e desligamento da bomba que levou a água aquecida dos coletores para o reservatório térmico, e que foi acionada a bomba no período de tempo indicado em azul, enquanto o sistema auxiliar a gás funcionou no período indicado em verde. Verifica-se que, devido à falha (queda do sensor), a temperatura diminuiu instantaneamente de 48,5°C para menos de 32°C, ligando o sistema a gás e fazendo recircular a água pelos aquecedores de passagem indefinidamente até a manutenção adequada, que restabeleceu a normalidade. A temperatura de recirculação da água (amarelo) funciona ligando a bomba quando a temperatura da água na parte inferior da prumada principal baixa para 35°C, levando água diretamente para dentro do reservatório térmico na parte superior do edifício, percorrendo em torno de 90 metros até onde está o reservatório térmico. Com isso, a parte inferior, através da convecção forçada, aumenta a temperatura no subsolo ao atingir 38°C e a bomba será desligada automaticamente. Essa operação mantém a temperatura na prumada principal mais uniforme. Verificou-se que, com a falha no sensor verde, o reservatório ficou mais aquecido e a temperatura na prumada principal também aumentou.

Tabela 4 – Análise de viabilidade econômica do sistema de aquecimento solar.

Ano	Taxa 5,90% Investimento (R\$/ano)	Receita solar gás medido (R\$/ano)	Despesa Manutenção Sistema	Receita – despesa (R\$/ano)	Caixa (R\$/ano)
1	100.000,00	21.184,68	10.000,00	11.184,68	-88.815,32
2		22.434,58	10.000,00	12.434,58	-76.380,74
3		23.758,22	10.000,00	13.758,22	-62.622,52
4		25.159,95	10.000,00	15.159,95	-47.462,57
5		26.644,39	10.000,00	16.644,39	-30.818,17
6		28.216,41	10.000,00	18.216,41	-12.601,76
7		29.881,18	10.000,00	19.881,18	7.279,41
8		31.644,17	10.000,00	21.644,17	28.923,58
9		33.511,17	10.000,00	23.511,17	52.434,76
10		35.488,33	10.000,00	25.488,33	77.923,09
11		37.582,14	10.000,00	27.582,14	105.505,23
12		39.799,49	10.000,00	29.799,49	135.304,73
13		42.147,66	10.000,00	32.147,66	167.452,39
14		44.634,37	10.000,00	34.634,37	202.086,76
15		47.267,80	10.000,00	37.267,80	239.354,56
16		50.056,60	10.000,00	40.056,60	279.411,16
17		53.009,94	10.000,00	43.009,94	322.421,11
18		56.137,53	10.000,00	46.137,53	368.558,63
19		59.449,64	10.000,00	49.449,64	418.008,28
20		62.957,17	10.000,00	52.957,17	470.965,45
		Valor presente líquido (VPL)		174.175,87	
		Taxa interna de retorno (TIR)		18,93%	
		Tempo que o investimento será recuperado (PAYBACK)		7 anos e 8 meses	

Figura 5 – Monitoramento das temperaturas no sistema de aquecimento solar: 15/11/2013.

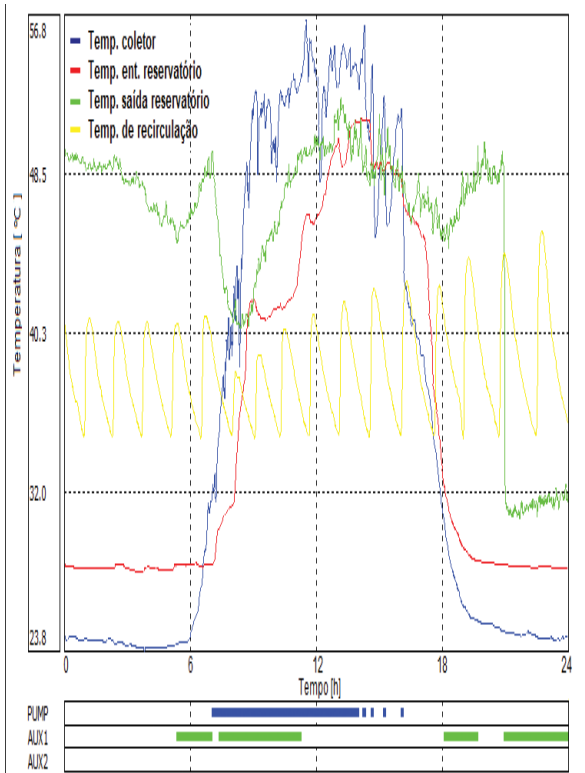
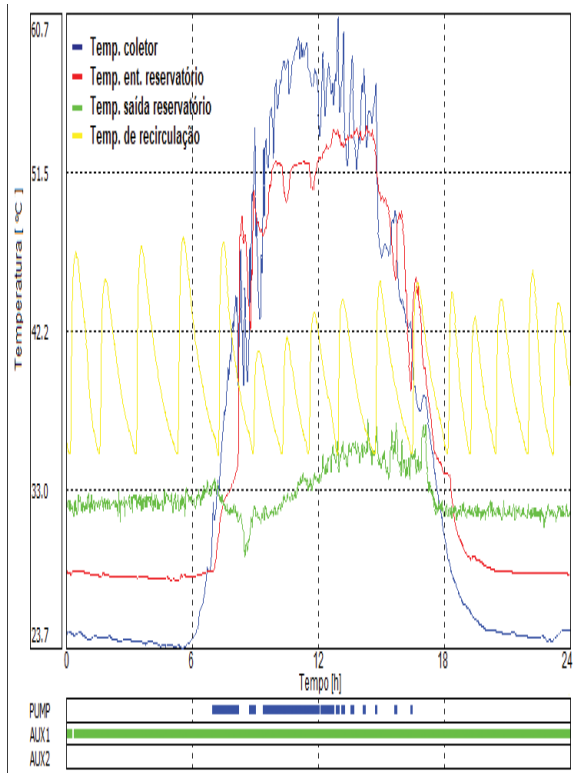


Figura 6 – Monitoramento das temperaturas no sistema de aquecimento solar: 16/11/2013.



Nas Figuras 6, 7 e 8, que correspondem aos dias 16, 17 e 18 de novembro, observa-se comportamento semelhante ao descrito na Figura 5. No entanto, verifica-se que o sistema auxiliar ficou funcionando 24 horas, pois o sensor verde estava com uma falsa leitura e os moradores estavam recebendo água aquecida. Na portaria do edifício, há um monitoramento na tela do computador mostrando os valores instantâneos dos 4 sensores, mas os porteiros foram treinados para acionar a equipe de manutenção apenas em caso de reclamação dos moradores, quando a água não aquece bem. Como isso não aconteceu, o problema só foi percebido no momento da coleta de dados pelo pesquisador, após 4 dias.

Na Figura 9, visualiza-se o momento em que o sensor verde foi recolocado no local correto, tendo sido realizada essa operação às 10h30. Na verdade, o sensor tinha caído com a ação do vento e estava no piso, em contato direto com ar externo, marcando menos de 35°C; quando recolocado, passou instantaneamente para a temperatura na superfície do reservatório, superior a 57,4°C, desligando o sistema auxiliar a gás. Devido à inércia térmica, o sensor ainda alcançou 60°C – um mostrador vermelho indica que o sistema está acima do limite de operação.

Figura 7 – Monitoramento das temperaturas no sistema de aquecimento solar: 17/11/2013.

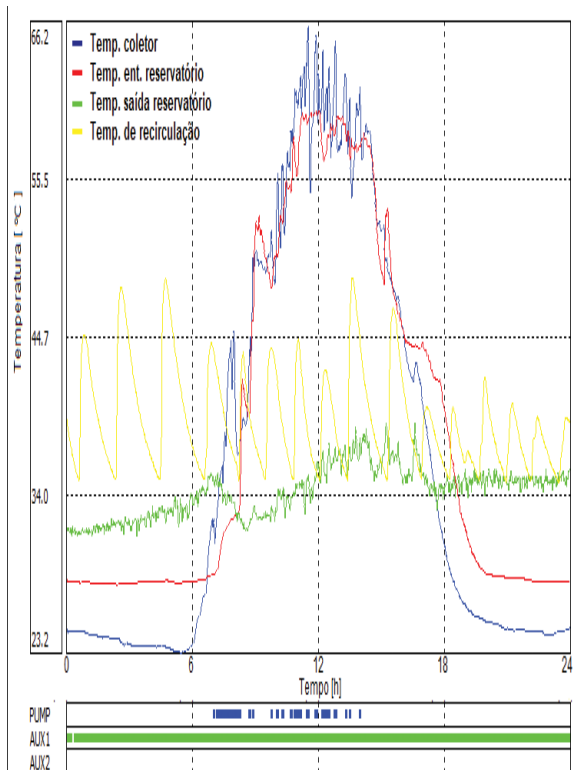


Figura 8 – Monitoramento das temperaturas no sistema de aquecimento solar: 18/11/2013.

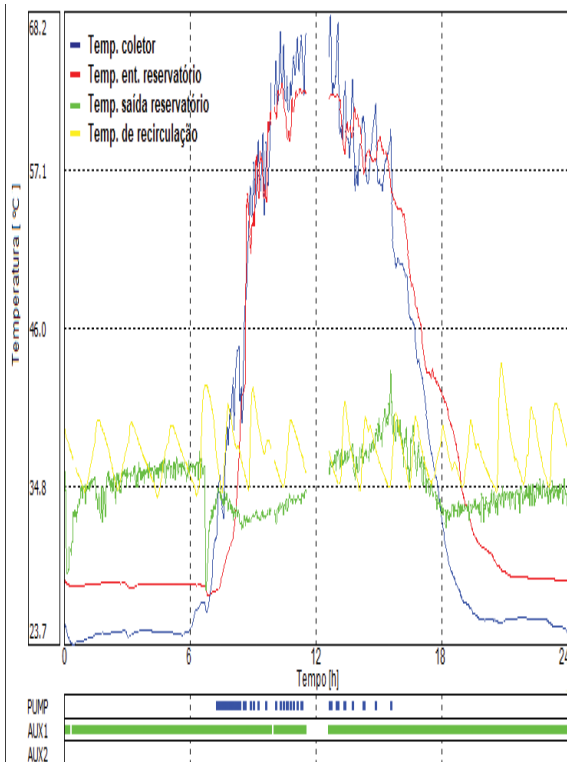
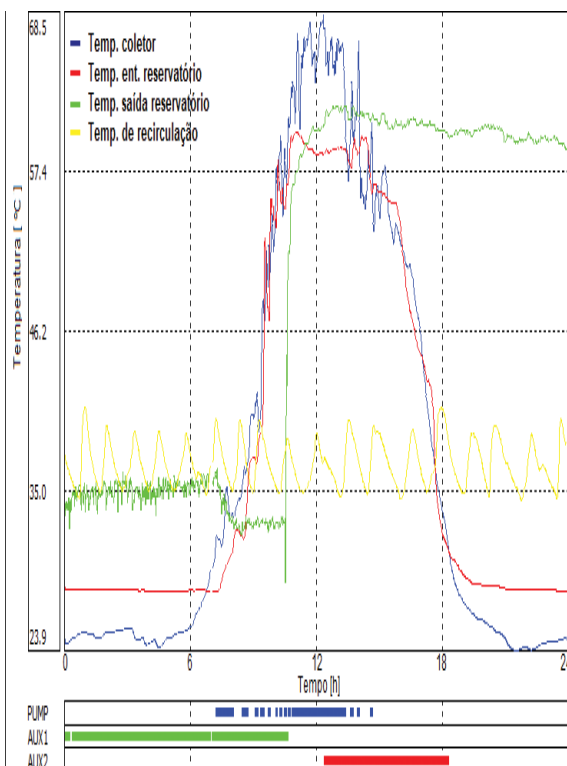
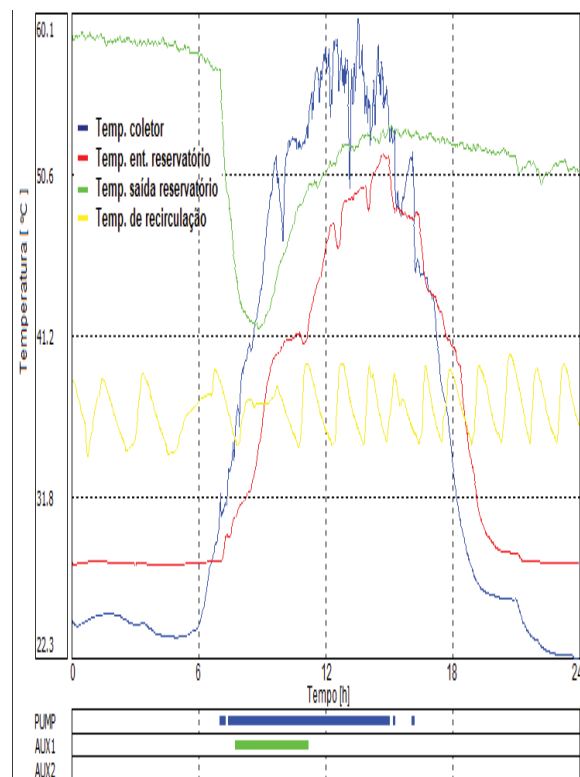


Figura 9 – Monitoramento das temperaturas no sistema de aquecimento solar: 19/11/2013.



Um dia após a intervenção no sensor vermelho, conforme mostra a Figura 10, a temperatura do reservatório ainda continuava alta, mas já tinha baixado do limite de 60°C, até que, no horário de grande utilização – entre 6h e 8h –, a temperatura diminuiu, o sistema a gás foi acionado e a energia solar passou a atuar normalmente, restabelecendo o funcionamento periodicamente intermitente de cada dia, variando de acordo com as variáveis do processo (radiação, água quente, gás) e falhas dos equipamentos, dos controladores ou dos sensores.

Figura 10 – Monitoramento das temperaturas no sistema de aquecimento solar: 20/11/2013.



4 Conclusões

A utilização da energia solar para aquecimento de água em substituição à energia convencional (chuveiros elétricos) mostra-se como uma opção viável economicamente, implicando no aproveitamento da energia solar – que é uma fonte de energia gratuita, abundante e não poluente –, na redução do consumo elétrico, na diminuição da demanda por energia elétrica no horário de ponta, na redução da necessidade de construção de obras de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que causam impactos ambientais, na diversificação da matriz energética

brasileira, na redução da emissão de gases do efeito estufa e outros poluentes e na geração de empregos locais diretos e indiretos, que podem estimular o crescimento dessa tecnologia no Brasil.

O comportamento do sistema de aquecimento solar em um edifício residencial foi investigado, estudado e monitorado, mostrando fração solar e eficiência energética dentro da faixa recomendada para sua utilização e implantação em edifícios residenciais na região Nordeste do Brasil, garantindo água aquecida ao longo de todo o ano.

O sistema de aquecimento solar real estudado mostrou-se como uma opção viável porque apresentou um valor presente líquido (VPL) positivo de R\$ 174.175,87, com taxa interna de retorno (TIR) de 18,9%, superior à taxa de atratividade (5,9%), e Payback de 7 anos e 8 meses – ou seja, o tempo para se ter o retorno sobre o investimento foi inferior à duração do sistema, considerada de 20 anos, usando os dados obtidos em 2013.

O monitoramento das temperaturas do sistema de aquecimento solar e a medição da quantidade de água quente e de gás GLP utilizados permitiram verificar que o sistema de controle automático é ineficiente e precisa ser melhorado para aperfeiçoar a operação com o mínimo de perdas.

A falta de mão de obra treinada e especializada para operação e manutenção dos sistemas de aquecimento solar pode comprometer o uso dessa tecnologia.

De modo geral, o projeto de edificações no Brasil recebe pouca atenção quanto ao uso racional de energia; deveria haver incentivos para implantação de sistemas sustentáveis e legislação adequada para impor limites de consumo.

O sistema de aquecimento solar, em relação ao chuveiro elétrico, tem a vantagem de não ter o risco de choque elétrico durante o banho. Consequentemente, os projetos elétricos dos apartamentos teriam dimensionamentos e custos menores. Além disso, a falta momentânea de fornecimento de energia elétrica pela concessionária local não inviabiliza a utilização da água aquecida armazenada.

Os consumidores precisam tomar conhecimento da tecnologia de aquecimento solar e saber que podem obter grandes benefícios com o uso de equipamentos que promovem a conservação de energia.

REFERÊNCIAS

- ALTOÉ, L.; FILHO, D. O.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 75-87, jul./set. 2012.
- ANDRADE, A. S. **Desenvolvimento de indicadores de qualidade para instalações de aquecimento solar de grande porte e aquecimento distrital**. 2009. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- AYOMPE, L. M.; DUFFY, A. Analysis of thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate. **Applied Thermal Engineering**, v. 58, p. 447-454, 2013.
- BAPTISTA, A. S. C. **Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no Nordeste do Brasil**. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- 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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 14-21, jan./fev. 2010.
- BOSCOLI, M. A. B. **Usuários de habitação de interesse social e adoção de sistema de aquecimento solar de água: estudo de caso em Londrina-PR**. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
- COELHO, D. M. **Identificação de variáveis críticas e simulação do uso de coletores solares em prédios residenciais**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2010.
- GUNERHAN, H.; HEPBASLI, A. Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 509-516, 2007.

KALOGIROU, S. Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters. **Solar Energy**, v. 83, n. 1, p. 39-48, 2009.

LAFAY, J. M. S. **Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás**. 2005. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MAGAGNIN, A. L. **Impactos econômicos do uso de energia solar para aquecimento de água em residências unifamiliares**. 2010. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

MENDONÇA, B. V. **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no segmento residencial de alto padrão, com base em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento**. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MICHAELIDES, I. M.; ELEFThERIOU, P. C. An experimental investigation of the performance boundaries of a solar water heating system. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 35, p. 1002-1009, 2011.

NASPOLINI, H. F.; RUTHER, R. The impacts of solar water heating in low-income households on the distributions utility's active, reactive and apparent power demands. **Solar Energy**, v. 85, p. 2023-2032, 2011.

NASPOLINI, H. F.; MILITÃO, H. S. G.; RUTHER, R. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. **Energy Conversion and Management**, v. 51, p. 2835-2845, 2010.

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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 406-416, 2008.

OLIVEIRA, T. U. M. **Análise da viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar de água para uma empresa do setor hoteleiro**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

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

POZZEBON, F. B. **Aperfeiçoamento de um programa de simulação computacional para análise de sistemas térmicos de aquecimento de água por energia solar**. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RADIASOL2. **Software para geração de dados horários de radiação solar**. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

RUSSI, M. **Projeto e análise de eficiência de um sistema solar misto de aquecimento de água e de condicionamento térmico de edificações**. 2012. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SANTOS, A. D. S. **Avaliação de sistemas solares térmicos de produção de água quente sanitária em edifícios de habitação multifamiliar**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

SALES, I. C. F. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia**. 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SAVICKI, D. L. **Análise numérica tridimensional e investigação experimental do comportamento térmico e hidrodinâmico de reservatórios térmicos cilíndricos**. 2007. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SIQUEIRA, A. M. O. **Desenvolvimento de um programa de simulação computacional de sistema de aquecimento solar para água**. 2003. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SOUZA, A. G. L. **Desenvolvimento de software para projeto de sistemas centralizados de aquecimento solar de água**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.