

Estudo teórico experimental de sistemas de aquecimento de água usando coletores solares para uso residencial

Theoretical and experimental study of water heating systems using solar collectors for residential use

DOI:10.34117/bjdv8n3-039

Recebimento dos originais: 24/02/2022

Aceitação para publicação: 05/03/2022

Marinaldo José de Medeiros

Doutorando Engenharia Mecânica

Instituição: UFPB-Instituto Federal da Paraíba

Endereço: Via Expressa Padre Zé, s/n - Cidade Universitária, CEP:58051-970 - João Pessoa/PB – Brasil

E-mail: marinaldo.medeiros@ifpb.edu.br

Olinto Evaristo da Silva Júnior

Mestre Energias Renováveis

Instituição: UFPB- Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Via Expressa Padre Zé, s/n - Cidade Universitária, DEP:58051-970 - João Pessoa/PB – Brasil

E-mail: olintojunior@cear.ufpb.br

Márcio Gomes da Silva

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: IFPB – Instituto Federal da Paraíba

Endereço: Avenida Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, João Pessoa – PB
CEP: 58015-435

E-mail: marcio@ifpb.edu.br

João Alves de Lima

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: UFPB/CEAR -Universidade Federal da Paraíba/ Centro de Energias Alternativas e Renováveis

Endereço: Via Expressa Padre Zé, s/n - Cidade Universitária, CEP: 58051-970 - João Pessoa/PB – Brasil

E-mail: jalima@cear.ufpb.br

Jesus Marlinaldo de Medeiros

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: IFPB – Instituto Federal da Paraíba

Endereço: Rua Santa Rita de Cássia, 1900, Jardim Cambinha, Cabedelo – PB
CEP: 58103-772

E-mail: jesus.medeiros@ifpb.edu.br

Carlos Antonio Cabral dos Santos

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: IFPB – Instituto Federal da Paraíba-

Endereço: Via Expressa Padre Zé, s/n - Cidade Universitária, CEP:58051-970 - João

Pessoa/PB – Brasil

E-mail: carloscabralsantos@yahoo.com.br

RESUMO

O aquecimento solar de água representa uma tecnologia ambiental que utiliza uma energia limpa, abundante, permanente, renovável, e não poluente. Este estudo, testou dois sistemas de aquecimento de água unifamiliares e um sistema híbrido solar/gás multifamiliar. O primeiro sistema utilizou 2 ou 3 coletores solares planos e 1 reservatório térmico de 200 litros, e o segundo sistema utilizou 1 ou 2 coletores solares tubulares evacuados e 1 reservatório térmico de 300 litros. Os resultados mostraram que os coletores evacuados ocupam uma área menor de captação de energia solar com custo superior e devido ajuste na inclinação dos coletores para obter um maior desempenho. No sistema híbrido foi realizada uma análise técnica comparando duas configurações: com recirculação (2012-2013) e sem recirculação (2018-2019). Os resultados mostraram que o desempenho do sistema atual diminuiu, provocando um maior consumo de água quente nos apartamentos com maior consumo de gás, mas com menor custo devido o gás natural ser mais barato que o gás liquefeito do petróleo. Concluiu-se que é muito importante avaliar o desempenho dos sistemas periodicamente, para evitar perdas de energia com consequências econômicas e ambientais. A tecnologia solar é viável desde que seja utilizada com responsabilidade e conhecimento técnico garantindo a sustentabilidade.

Palavras-chave: água quente, coletor solar, gás, edifício residencial.

ABSTRACT

Solar water heating represents an environmental technology that uses clean, abundant, permanent, renewable, and non-polluting energy. This study tested two single-family water heating systems and a multi-family solar/gas hybrid system. The first system used 2 or 3 flat solar collectors and 1 thermal reservoir of 200 liters, and the second system used 1 or 2 evacuated tubular solar collectors and 1 thermal reservoir of 300 liters. The results showed that the evacuated collectors occupy a smaller area for capturing solar energy with a higher cost and due to the adjustment in the collector inclination to obtain a greater performance. In the hybrid system, a technical analysis was performed comparing two configurations: with recirculation (2012-2013) and without recirculation (2018-2019). The results showed that the performance of the current system has decreased, causing a higher consumption of hot water in apartments with higher consumption of gas, but at a lower cost because natural gas is cheaper than liquefied petroleum gas. It was concluded that it is very important to periodically evaluate the performance of systems, to avoid energy losses with economic and environmental consequences. Solar technology is viable if it is used responsibly and with technical knowledge ensuring sustainability.

Keywords: hot water, solar collector, gas, residential building.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia no nosso planeta deve aumentar cerca de 30% até 2040, devido ao crescimento da economia global a uma taxa média de 3,4% ao ano; expansão da população de 7,4 bilhões hoje para mais de 9 bilhões em 2040 e um processo de urbanização que agrega uma cidade equivalente a Xangai para a população urbana mundial a cada quatro anos (DIAS, 2018).

Com recentes desenvolvimentos de novas tecnologias e a tendência do uso de energia sustentável, o desenvolvimento de tecnologias que usam energias renováveis tornou-se, assim, uma prioridade, seja para fins industriais, comerciais e residenciais (BADDOU, 2017).

O aproveitamento da energia solar, sob a forma de energia térmica ou de energia fotovoltaica, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio garantindo a sustentabilidade.

Nessa perspectiva, várias pesquisas em diversos países comprovam a viabilidade técnico-econômica do uso de aquecedores solares de água, comparativamente às opções de aquecimento elétrico e a gás para reduzir o consumo energético no setor residencial.

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 (EPE, 2015). 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.

A utilização da energia solar térmica como fonte principal no aquecimento de água do banho em substituição ao chuveiro elétrico, gera benefícios para os consumidores, as concessionárias de energia elétrica, o governo e o meio ambiente (VASCONCELLOS e LIMBERGER, 2012).

Segundo dados do relatório “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso”, o aquecimento da água para o banho era realizado em 80,9% do total de domicílios brasileiros, através de diferentes processos. Deste total, 73,5% dos sistemas de aquecimento utilizavam energia elétrica, 5,9% utilizavam gás e apenas 0,4% utilizavam aquecimento solar. Os chuveiros elétricos representavam 99,6% do total dos sistemas de aquecimento de água para banho (MME, 2011).

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. Portanto, a utilização de energia solar para aquecimento de água em edifícios deve ser incentivada.

Este estudo tem o propósito de simular e monitorar dois sistemas de aquecimento de água existente no IFPB Campus Cabedelo, adquiridos via edital externo, para uma pesquisa envolvendo a abertura e cocção dos mariscos já concluída. Tais sistemas serão empregados para simular o consumo de água quente para banho de uma residência unifamiliar e fazer uma análise técnica do sistema híbrido solar/gás multifamiliar num edifício via método F-Chart e comparar o desempenho com os dados reais.

A pesquisa foi concebida devido às dificuldades observadas no monitoramento, operação e manutenção do sistema de aquecimento de água por energia solar térmica com sistema auxiliar a gás de um edifício residencial na cidade de João Pessoa. O sistema de aquecimento de água híbrido multifamiliar no edifício em análise sofreu uma modificação de engenharia para solucionar um problema de aumento da pressão nas tubulações de água quente e fria resultando numa configuração sem anel de recirculação de água para manter a prumada principal numa temperatura mínima e uniforme entre andares. Portanto, a análise técnica irá comparar o desempenho dos sistemas anterior (com recirculação) e atual (sem recirculação).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas de aquecimento de água diferem entre si sobre diferentes aspectos. O chuveiro elétrico é o que apresenta o menor custo de implantação, seguido dos aquecedores a gás de passagem, aquecedores elétricos de acumulação, aquecedores a gás de acumulação e, por último, o aquecimento com energia solar. O custo de operação é função do preço do combustível utilizado, da eficiência do sistema de aquecimento e do perfil de consumo. Os sistemas de aquecimento solar diferem dos demais, pois necessita de uma fonte auxiliar de energia para suprir a demanda de água quente em dias de baixa radiação solar.

Sistemas domésticos de aquecimento solar de água têm sido amplamente utilizados em todo o mundo, talvez seja a aplicação mais popular da tecnologia solar (KALOGIROU, 2016).

O uso de sistemas de aquecimento solar de água vem crescendo significativamente. Em nível mundial, a capacidade global instalada de energia solar térmica para aquecimento de água chegou a 325,9 GWth (RENEWABLE ENERGY

POLICY NETWORK, 2014), ou 465,6 milhões de metros quadrados de coletores solares. Os cinco países que assumem o topo em capacidade instalada são China, Estados Unidos, Alemanha, Turquia e, na quinta posição, o Brasil (GIGLIO, 2015).

As habitações unifamiliares financiadas por meio do programa Minha Casa, Minha Vida receberam, obrigatoriamente, um sistema de aquecimento solar com dimensionamento padronizado para todas as regiões do Brasil, em conformidade com as especificações definidas no termo de referência da Caixa Econômica Federal (BRASIL, 2011).

O sistema de aquecimento solar deve apresentar funcionamento em circuito direto, onde a água potável é aquecida diretamente pelo coletor solar (ABNT, 2008). A circulação natural (passiva), chamada de termossifão, deve ser adotada. Ela utiliza unicamente a mudança de densidade do fluido de trabalho para obter a circulação entre o coletor solar e o reservatório térmico (ABNT, 2008). As vantagens da circulação por termossifão é sua não dependência de bombas, além de ser um sistema seguro, e possuir vida útil mais longa do que os sistemas de circulação forçada (KALOGIROU, 2016)

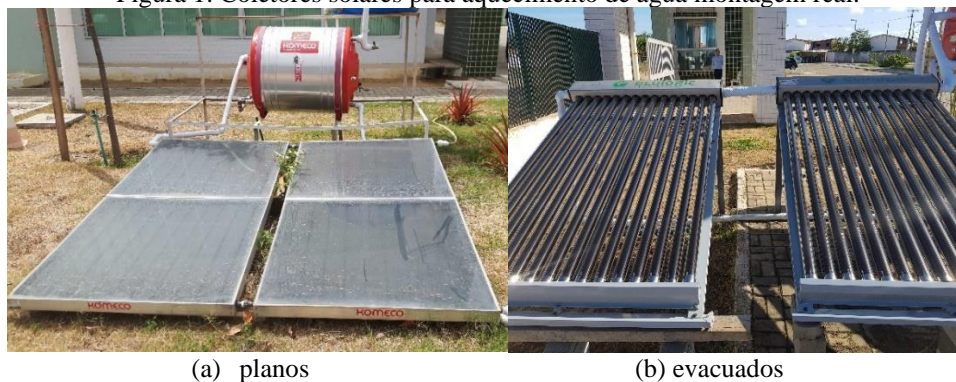
Para o dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água a NBR 15569 (ABNT, 2008) sugere o tempo médio de banho de 10 minutos. Já na pesquisa de posses e hábitos de consumo da Eletrobras (2007) realizada em 2005 a partir de entrevista com 4310 moradores de todo o Brasil obteve-se que 48,3% das pessoas demoram menos de 10 minutos no banho e, 19,9% demoram de 10 a 20 minutos.

Basicamente, são empregados dois tipos de coletores solares para aquecimento de água: os coletores planos e os coletores evacuados (Figura 1).

Os coletores solares planos fechados são utilizados para aquecer a água até uma temperatura de 60°C e proporcionar o condicionamento ambiental a partir da energia solar, com aplicação em residências, edifícios, hotéis, motéis, indústrias e hospitais (BAPTISTA, 2006).

Os aquecedores com coletores de tubos evacuados são ainda pouco difundidos no Brasil, porém são muito usados na China e Europa, por sua maior capacidade de permitir o aquecimento mesmo em dias nublados (radiação difusa) quando comparados com os coletores planos (GOERCK, 2008).

Figura 1. Coletores solares para aquecimento de água montagem real.



(a) planos

(b) evacuados

Zambolin e Del Col (2010) realizou uma análise de desempenho comparativa do desempenho térmico na placa dos coletores solares em Padova, Itália. Eles apresentaram um novo conjunto de dados coletados, tanto para coletores planos em placa e coletores de tubos evacuados testados simultaneamente de estado estacionário e testes eficácia quase-dinâmicos seguindo a norma EN 12975-2, obtendo eficiência no sistema dos coletores planos de 61% e nos coletores de tubos evacuados de 66%.

Ayompe et al. (2011) compararam o desempenho econômico de dois SAS, um com coletores planos e outro com coletores evacuados, que operavam sob as mesmas condições climáticas em Dublin, na Irlanda. Os resultados obtidos mostraram que para um total anual de insolação solar de 1.087 kWh/m², 1.984 kWh e 2.056 kWh de energia térmica foram recolhidos pelos 4 m² (coletor plano) e pelos 3 m² (coletor evacuado). As eficiências médias anuais dos coletores foram de 46,1% e 60,7%, e eficiências dos sistemas foram de 37,9% e 50,3%, respectivamente.

Neves (2012) avaliou a eficiência de um aquecedor solar com coletor evacuado tipo all-glass em Cascavel-Paraná, obtendo-se o valor de 51% nos meses de inverno. Concluiu-se que o chuveiro eletrônico usado de forma isolada consome anualmente cerca de 6,5 vezes mais energia elétrica do que quando usado em conjunto com aquecedor solar (1240,34 kWh e 192,55 kWh, respectivamente). Calculando o payback do investimento na compra de um aquecedor solar de água evacuado, comparado com o chuveiro eletrônico, pouco mais de sete anos.

Medeiros *et al.* (2014) realizaram uma análise técnica e da viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar com recirculação num edifício residencial mostrando que o mesmo operou com fração solar entre 48-88% e eficiência térmica entre 47-73%. Na análise econômica, apresentou Valor Presente Líquido positivo, Taxa Interna de

Retorno Superior à taxa de atratividade e recuperação do investimento (Payback) em menos de oito anos para vida útil de 20 anos, portanto o sistema é viável.

Georgi (2015) avaliou a eficiência energética e a relação custo/benefício de um sistema de aquecimento solar de água – SAS, com 1,00 m² de coletor solar plano – FPC instalado na Casa Inteligente – campus Unioeste, cidade de Cascavel – PR. O sistema foi testado ao longo de um ano e o coletor obteve temperatura máxima registrada de fluido de saída de 69 °C, enquanto a temperatura máxima da água no reservatório de água quente foi de 57 °C. A eficiência média diária do coletor solar foi de 60,6%, enquanto a eficiência média do sistema foi 52,8%.

Ghorab, Entchev e Yang (2017) realizaram uma análise detalhada e uma avaliação do desempenho de um sistema de aquecimento solar doméstico de água quente. Os resultados mostraram que as condições externas (radiação solar e temperatura) têm um efeito significativo sobre a temperatura dentro do reservatório térmico. A contribuição para a carga de aquecimento do sistema é de cerca de 69,4% do gás natural e 30,6% da energia solar.

Silva Junior, Lima e Medeiros (2020) analisaram o desempenho de um sistema de aquecimento híbrido, solar/gás, instalado em um edifício na cidade de João Pessoa/PB via método F-Chart para o dimensionamento resultando numa fração solar anual de 64%, enquanto para dados reais de funcionamento obteve fração solar anual de 82% (2012), 86% (2013), 74% apenas consumo apartamentos (2018) e 53% consumo total sem recirculação (2018).

De Jesus et al. (2021) analisaram por meio de cálculos, as possibilidades técnicas e econômicas para implantação de um sistema de aquecedor solar em um local onde já possui a rede elétrica da concessionária, para comparação da viabilidade do sistema. Os resultados mostraram que o tempo estimado do retorno do investimento seria de aproximadamente 20 meses, 7 dias e 2 horas.

Silva Junior, Lima e Medeiros (2021) recalcularam o desempenho de um sistema de aquecimento híbrido, solar/gás, instalado em um edifício na cidade de João Pessoa/PB via método F-Chart para o dimensionamento e obtiveram a fração solar anual de 53%, enquanto para dados reais de funcionamento obteve fração solar anual de 68% (2012), 71% (2013), 63% apenas consumo apartamento (2019) e 40% consumo total sem recirculação (2019).

3 MÉTODO DA PESQUISA

A metodologia empregada neste projeto foi de uma pesquisa científica teórica prática, onde foram simulados 3 banhos diários em dois sistemas de aquecimento de água unifamiliar com montagem real no IFPB Campus Cabedelo para verificar o desempenho dos tipos coletores utilizados. Em seguida, foram levantados os dados reais um sistema de aquecimento de água híbrido multifamiliar, com a coleta de dados de operação do sistema: consumo de água quente e do consumo de gás do sistema, temperaturas da água na entrada e saída do sistema e no reservatório térmico. O consumo de água quente foi medido por apartamento. Finalizando com a análise dos resultados obtidos do sistema híbrido com configuração anterior com anel de recirculação (2012-2013) usando sistema auxiliar a gás liquefeito de petróleo, conforme detalhamento empregando por Medeiros *et al.* (2014) e comparação com a nova configuração do sistema híbrido sem anel de recirculação (2018-2019) e sistema auxiliar com gás natural.

O primeiro sistema de aquecimento solar unifamiliar montado no IFPB Campus Cabedelo utilizou 2 ou 3 coletores solares planos, 1 reservatório térmico de água quente de 200 litros e 1 reservatório de água fria com 300 litros, conforme mostrado na Figura 2.



FONTE: autoria própria.

O segundo sistema de aquecimento solar unifamiliar montado no IFPB Campus Cabedelo utilizou 1 ou 2 coletores solares tubulares a vácuo, 1 reservatório térmico de água quente de 300 litros e 1 reservatório de água fria com 300 litros, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3- Sistema com 1 ou 2 coletores evacuados



FONTE: autoria própria.

A Figura 4 representa o sistema de aquecimento solar para banho de uso unifamiliar, onde foram realizados ensaios experimentais durante o ano de 2018 para simular as condições reais de funcionamento desta tecnologia.

Figura 4- Sistema com coletores planos ou coletores evacuados



FONTE: autoria própria.

O sistema de aquecimento de água híbrido (Solar/gás) em funcionamento desde dezembro de 2010, está localizado em um edifício residencial na cidade de João Pessoa-PB, com 27 andares e 52 apartamentos, sendo 2 por andar. Estima-se que, cada apartamento seja habitado por 4 pessoas. A edificação está localizada em torno das coordenadas geográficas: Latitude: $\phi = - 7,12^\circ$ ($7,12^\circ$ S); Longitude: $- 34,83^\circ$ ($34,83^\circ$ W). A medida aproximada do ângulo de inclinação dos coletores solares instalados em relação à linha geográfica norte-sul (ângulo azimutal de superfície) é de cerca de $\gamma=15^\circ$.

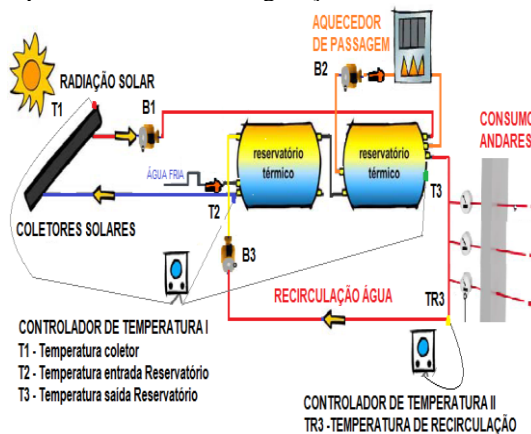
O Sistema de aquecimento solar utilizado foi projetado, construído e entregue em funcionamento em dezembro de 2010. No ano de 2011, o SAS passou por diversos ajustes para o seu funcionamento regular e crescente consumo de água quente até sua ocupação quase total. Os dados coletados e utilizados para análise foram de 2012-2013 (sistema com recirculação) e de 2018-2019 (sistema sem recirculação).

Os equipamentos utilizados no sistema foram: coletores Porto Seguro da TRANSSEN v2.0, área 1,87 m², espessura 80 mm, tubulação material absorvedor polipropileno com diâmetro ent./saída de 32 mm; reservatórios térmicos horizontais de 5000 litros da TRANSSEN 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. O sistema de gerenciamento SITRAD foi desligado em 2014 com a mudança da empresa de manutenção do sistema de aquecimento solar, portanto, os dados de temperatura não são registrados simultaneamente a cada instante de tempo em 2018-2019, como obtidos em 2012-2013. No entanto, os equipamentos de controle de temperatura permanecem atuando conforme programação preestabelecida no protocolo de projeto e operação do sistema.

A Figura 5 apresenta esquematicamente a 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 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 a saída do segundo reservatório térmico, e o sensor 2 localizado na entrada do primeiro reservatório térmico, é superior a 4 °C e o desligamento quando esse diferencial 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 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 desligará quando a temperatura atingir 38°C.

Figura 5. Sistema de aquecimento solar configuração com anel de recirculação (2012-2013).

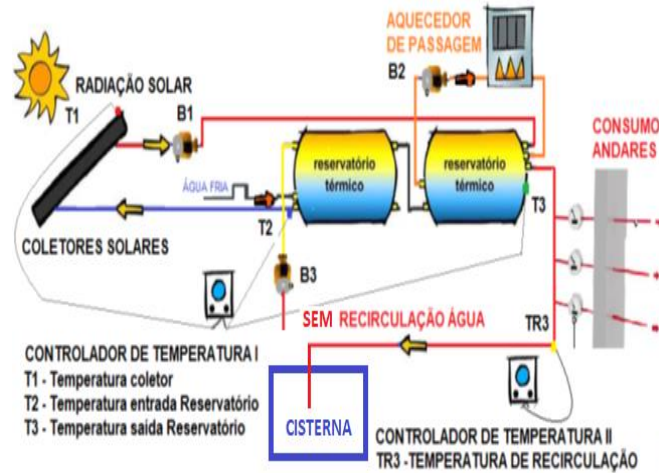


FONTE: autoria própria.

A Figura 6 apresenta a representação da modificação no sistema de aquecimento de água híbrido multifamiliar no edifício em análise no período 2018-2019 para solucionar um problema de aumento da pressão nas tubulações de água quente e fria resultando numa possibilidade de inovação tecnológica. 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 a saída do segundo reservatório térmico, e o sensor 2 localizado na entrada do primeiro reservatório térmico, é superior a 4 °C e o desligamento quando esse diferencial 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 acionamento da bomba B2 e o seu desligamento apenas quando a temperatura atingir 50 °C. O controlador diferencial de temperatura II acionaria a bomba de recirculação B3 instalada no subsolo do edifício, mas foi desligado. Em seu lugar foi instalada uma válvula solenoide que quando atinge a temperatura de 35 °C abre a passagem da água quente na prumada para a cisterna. E quando a temperatura da água sobre a válvula solenoide alcança 38°C, fecha a passagem da água para a cisterna, garantindo que a prumada permaneça sempre numa temperatura quente para banho na entrada de todos os apartamentos. Essa inovação resultou no equilíbrio das pressões da água fria e da água quente, comprovando que o circuito anterior com a bomba de

recirculação estava provocando um efeito indesejado no sistema de fornecimento de água quente e fria do edifício.

Figura 6. Sistema de aquecimento solar configuração sem anel de recirculação (2018-2019).



FONTE: autoria própria.

Nas Figuras (7 -11) pode ser visualizada a disposição dos coletores solares no edifício com orientação norte e inclinação dos coletores composta pela latitude local (7,1°) mais 10° usando critério para favorecimento do inverno. Também são mostrados os dois reservatórios térmicos horizontais em série e o local onde estão instaladas 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 quadro de comando elétrico dos equipamentos, as tubulações hidráulicas, elétricas, de gás e acessórios.

Figura 7. Parte dos coletores instalados na cobertura do edifício.



FONTE: autoria própria.

Figura 8. Reservatórios Térmicos (Boilers) instalados em série na cobertura do edifício.



FONTE: autoria própria.

Figura 9. Aquecedores de passagens a gás instalados em paralelo na cobertura do edifício.



FONTE: autoria própria.

Figura 10. Bombas instaladas na casa de equipamentos na cobertura do edifício.



FONTE: autoria própria.

Figura 11. Controlador de Temperatura e quadro de comando elétrico na cobertura do edifício.

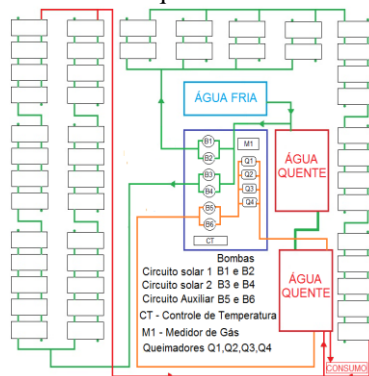


FONTE: autoria própria

A Figura 12 representa a montagem e disposição dos componentes do sistema de aquecimento solar na cobertura do edifício em estudo detalhando a quantidade de

coletores e 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. Também representa a montagem do sistema auxiliar a gás utilizando quatro queimadores e duas bombas, sua interligação ao reservatório térmico 2, o medidor de consumo de gás e o controlador de temperatura.

Figura 12. Arranjo do sistema de aquecimento solar na cobertura do edifício.



FONTE: autoria própria.

4- RESULTADOS DA PESQUISA

O primeiro sistema de aquecimento solar unifamiliar montado no IFPB Campus Cabedelo utilizando 2 coletores solares planos atingiu a temperatura máxima no reservatório térmico de 200 litros em torno de 80°C após um dia ensolarado sem consumo de água quente enquanto que a montagem utilizando 3 coletores planos atingiu a temperatura máxima em torno de 90°C. Em relação a simulação de 3 banhos diários de 15 minutos nos ensaios experimentais foi utilizada a montagem final com 3 coletores planos e resultados foram satisfatórios garantindo o conforto térmico no misturador de água quente e fria.

O segundo sistema de aquecimento solar unifamiliar montado no IFPB Campus Cabedelo utilizando 1 coletor solar evacuado atingiu a temperatura máxima no reservatório térmico de 300 litros em torno de 55°C após um dia ensolarado sem consumo de água quente enquanto que a montagem utilizando 2 coletores planos atingiu a temperatura máxima em torno de 77°C. Em relação a simulação de 2 banhos diários de 15 minutos nos ensaios experimentais foi utilizada a montagem final com 2 coletores evacuados e os resultados foram satisfatórios garantindo o conforto térmico via dosagem do misturador de água quente e fria.

Para melhorar o desempenho dos dois sistemas de aquecimento de água em estudo, foram utilizadas espumas elastoméricas e fitas de pvc para garantir o isolamento térmico das instalações hidráulicas diminuindo as perdas de calor, conforme mostrados na Figura 13.

Figura 13- Isolamento Térmico nos Sistemas de aquecimento de água unifamiliar



FONTE: autoria própria.

A Figura 14 representa a montagem do segundo sistema de aquecimento solar via dois coletores evacuados, em duas variações do ângulo (45° e 20°), alcançando temperaturas em torno de 65°C e 75°C em um dia ensolarado e sem consumo, respectivamente. Portanto, o arranjo e a inclinação dos tubos evacuados interferem no rendimento do equipamento e consequentemente na temperatura de armazenamento da água quente.

Figura 14 – Montagem e ajustes do sistema com 2 coletores evacuados



FONTE: autoria própria.

O dimensionamento teórico do sistema e, em seguida, a avaliação técnica do Sistema de Aquecimento Solar instalado, a partir de medições da demanda de água e de temperatura reais foram realizados. Com isso, identificar-se-á se o projeto original foi bem dimensionado, além de demonstrar o comportamento térmico do sistema instalado em funcionamento, em relação ao projeto teórico (para maiores detalhes, consultar Silva Júnior, 2020).

Teoricamente, a demanda diária de água quente ($V_{H_2O_dia}$) é avaliada levando-se em conta a vazão média de um chuveiro ($Q_{chuveiro}$), seu tempo e frequência de utilização (t_{uso} , f_{uso}) e o número de pessoas, $n_{pessoas}$.

$$V_{H_2O_dia} = Q_{chuveiro} \times t_{uso} \times f_{uso} \times n_{pessoas} \quad , \quad V_{H_2O_mês} = V_{H_2O_dia} \times n_{dias_mês} \quad (1, 2)$$

A NBR 15569 (ABNT, 2008) sugere o tempo médio de banho de 10 min/pessoa. Aqui, adota-se uma vazão média do chuveiro de 3 l/min e 2 banhos/dia/pessoa. Assim, considerando os 52 apartamentos, com 4 pessoas cada, o consumo total diário de água para todo o edifício (208 moradores) será $V_{H_2O_dia} = 3 \times 10 \times 2 \times 208 = 12.480$ l/dia = 12,48 m³/dia.

A Tabela 1 compara as demandas estimadas de água para cada mês com as demandas reais medidas para os anos de 2012, 2013, 2018 e 2019, além do volume redirecionado (medido) para a cisterna dos dois últimos anos. As demandas reais representam médias mensais de medidas diárias tomadas ao longo desses anos.

Tabela 1 Demanda de água teórica e real (dados de consumo de água de 2012, 2013, 2018 e 2019).

Mês	N dias_mês	Teórica ^a [m ³ /mês]	Medida [m ³ /mês]					
			2012	2013	2018 ^b		2019 ^b	
			V_{aptos}	V_{aptos}	V_{aptos}	$V_{cisterna}$	V_{aptos}	$V_{cisterna}$
Jan	31	386,9	228,3	198,0	319,3	100,0	260,9	191,0
Fev	28	349,4	215,3	197,9	295,2	82,0	325,8	245,0
Mar	31	386,9	273,1	196,1	263,0	35,0	190,1	101,0
Abr	30	374,4	223,5	219,7	305,4	118,0	252,8	173,0
Mai	31	386,9	226,7	228,6	382,0	174,0	338,6	224,0
Jun	30	374,4	248,9	234,1	310,4	125,0	288,3	262,0
Jul	31	386,9	305,6	287,2	332,1	222,0	375,9	290,0
Ago	31	386,9	385,6	306,8	411,2	323,0	312,9	324,0
Set	30	374,4	290,7	337,9	329,0	210,0	376,7	284,0
Out	31	386,9	273,9	245,5	257,6	152,0	295,2	340,0
Nov	30	374,4	253,7	270,2	337,9	257,0	231,3	323,0

Dez	31	386,8	186,7	245,3	281,8	229,0	312,8	198,0
$V_{H_2O_}$ média_mês	---	379,6	259,3	247,3	318,7	169,0	296,8	246,0
$V_{H_2O_ano}$ - [m ³ /ano]	---	4.555,2	3.112,0	2.967,2	3.824,9	2.027,0	3561,3	2.955,0

a - Equação (2) b - Sem anel de recirculação.

Chama-se a atenção para a elevada demanda de água (seja pelo elevado consumo pelos apartamentos ou desviado para a cisterna) no mês de agosto de 2018, bem como em alguns meses de 2019. No ano de 2019, há meses em que o volume de água desviado para a cisterna chega a ser maior do que o consumo dos apartamentos. Esse comportamento impactará, certamente, a eficiência do sistema de aquecimento solar, principalmente em um mês característico da estação de frio na região nordeste.

A elevação no consumo de água pelos apartamentos (de 2018 e 2019, em relação aos anos 2012 (23% e 14%) e 2013 (29% e 20%)) é explicada, em parte, pela maior ocupação do edifício, uma vez que nos anos anteriores a 2018 e 2019 nem todos os apartamentos estavam ocupados ou totalmente ocupados.

Como se pode ver, sem considerar o volume de água desviado para a cisterna, as medidas reais de consumo para os anos de 2018 e 2019 são, também, as que mais se aproximam dos cálculos da demanda teórica (baseada em metodologia descrita na norma ABNT NBR 15569). No entanto, o que mais chama a atenção nos anos de 2018 e 2019 é justamente o elevado volume de água desviado para a cisterna (53% e 83% de água a mais, respectivamente), o qual levará, certamente, a um grande consumo de gás e, por consequência, a baixa eficiência do sistema.

Na Tabela 2 é apresentado os dados coletados do consumo mensal de gás total pelos aquecedores de passagem do sistema de aquecimento de água do edifício em estudo, mostrando que no período de inverno ocorreu um maior consumo que no período de verão. Além disso, observa-se um consumo médio maior em 2018 que em 2013, considerando a hipótese de que não houve variação significativa de moradores nesse período de análise, atribui-se esse acréscimo a mudança na configuração do sistema anterior com recirculação para o sistema atual sem recirculação com redução do custo do gás pois atualmente o preço do metro cúbico de gás natural ser a metade do metro cúbico do gás liquefeito do petróleo (G.L.P). Na configuração atual do sistema de aquecimento de água, o volume de água resfriada na prumada principal que é conduzido para cisterna, deve manter uma temperatura ideal mínima, é muito elevada e tem provocado uma

redução na temperatura do reservatório térmico com aumento do consumo de água quente nos apartamentos. Portanto, é preciso otimizar essa configuração, restabelecendo a temperatura mínima em torno de 45^oC no reservatório, o que acarretará possivelmente um consumo maior de gás natural, mas com um consumo menor de água quente nos apartamentos.

Observa-se claramente pelos dados disponíveis em 2013, que o sistema de aquecimento solar em estudo num edifício residencial se bem projetado, instalado e com uma manutenção adequada é possível atender a demanda de água aquecida com satisfação dos moradores, economia de energia e consciência ecológica. Enquanto na nova análise em 2018 com mudança no sistema de aquecimento híbrido sem recirculação de água na prumada de abastecimento dos apartamentos provocou um aumento do consumo da água quente por apartamento. Portanto, faz-se necessário um estudo mais detalhado com cobertura de pelo menos mais 3 anos para verificar se o problema é estrutural ou falhas de otimização e de manutenção do sistema atual.

Tabela 2 – Consumo de gás no sistema de aquecimento híbrido no edifício

Mês	GLP (m ³) - 2013	GN (m ³) - 2018
Jan	93,0	143,0
Fev	42,0	147,0
Mar	92,0	79,0
Abr	127,0	254,0
Mai	168,0	211,0
Jun	262,0	214,0
Jul	329,0	275,0
Ago	259,0	414,0
Set	202,0	271,0
Out	172,0	259,0
Nov	255,0	235,0
Dez	181,0	196,0
Média	182,0	225,0

5 CONCLUSÃO

A energia solar é uma fonte viável para o consumidor, com custo inicial elevado, mas que a médio prazo, o investimento é diluído e passa a economizar energia. Os sistemas de aquecimento de água unifamiliares usando coletores solares planos e evacuados obtiveram um bom desempenho no sentido de ajudar o consumidor a diminuir a sua conta de energia elétrica, e que mesmo com o custo de montagem elevado, o sistema cobre esse valor com a economia que ele é capaz de gerar e com o auxílio dos dados do edifício (multifamiliar) foi possível constatar tais economias.

A utilização da energia solar para aquecimento de água em substituição a energia convencional (chuveiros elétricos) mostra-se como uma opção viável economicamente, implicando na redução do consumo elétrico, diminuição da demanda de energia elétrica no horário de ponta, efeitos favoráveis ao meio ambiente que podem estimular o crescimento desta tecnologia no Brasil.

O comportamento do sistema de aquecimento solar em um edifício residencial foi investigado via dados 2012-2013, estudado e monitorado mostrando funcionamento regular, fração solar adequada possibilitando sua utilização e implantação em edifícios residenciais na região nordeste do Brasil.

O sistema de aquecimento solar real estudado com recirculação mostrou-se como uma opção viável para o desenvolvimento do mercado regional de energia solar. O projeto apresentou uma economia utilizando o sistema solar, considerado os dados obtidos em 2012-2013.

Estendendo a análise ao sistema atual sem a recirculação usando os dados de 2018-2019, verificou-se diminuição da temperatura mantida no reservatório térmico ocasionado maior consumo de água quente nos apartamentos. Portanto, é possível que a retirada da bomba de recirculação na configuração anterior modificou os parâmetros de projeto e possibilitou maiores perdas de energia devido a retirada de grande volume de água ainda aquecida para cisterna na configuração atual. Sendo necessário levantar mais dados coletados por no mínimo 3 anos com um controle rigoroso da operação e manutenção do sistema atual para análise e tomada de decisão a respeito da continuidade dessa configuração atual.

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

A montagem e os testes dos sistemas em estudo, foram concluídas com êxito trazendo para a pesquisa uma visão geral dos sistemas utilizados, dos cálculos necessários para sua viabilidade econômica, da concepção e emprego da tecnologia de aquecimento solar de água residencial.

REFERÊNCIAS

AYOMPE, L.M.; DUFFY, A.; KEEVER, M. MC; CONLON, M.; MCCORMACK, S.J. Comparative field performance study of flplaatte and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate, **Energy** 36 (5) (2011) 3370 e 3378.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15.569: **Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação**. Rio de Janeiro, 2008.

BAPTISTA, A. S. C. **Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006. Dissertação de Mestrado de Ciências em Planejamento Energético, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BADDOU, Yassine. **Solar Thermal Systems for Domestic Water Heating Applications in residential buildings: Efficiency and economic viability analysis of monitored plants**. 2017. Dissertação de mestrado. Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.

BRASIL. Caixa Econômica Federal. Termo de Referência – Sistemas de Aquecimento Solar de Água – Minha Casa, Minha Vida. 2011. Disponível em <http://www.scribd.com/doc/59949591/Termo-deReferencia-CAIXA-MCMV-FINAL>.

DE JESUS, Aurea Messias et al. Dimensionamento e análise de viabilidade do sistema de aquecimento solar de água para chuveiro em uma instituição de caridade na cidade de Ituiutaba-MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 60061-60079, 2021.

RICARDO DIAS (Brasil). Cubi Energia. Conjuntura energética global: Insights em demanda de energia. 2018. Disponível em: <<https://www.cubienergia.com/insights-demandaenergia/>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

ELETROBRAS/PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil - Ano base 2005** - Classe residencial - Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2007.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

GEORGI, A.L.V. **Aquecimento solar de água: desempenho e racionalização de materiais e energia alternativa fundamental para o desenvolvimento sustentável**, 2015. 118 f.: Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE, Curitiba, 2015.

GHORAB, Mohamed; ENTCHEV, Evgueniy; YANG, Libing. Inclusive analysis and performance evaluation of solar domestic hot water system (a case study). **Alexandria Engineering Journal**, v. 56, n. 2, p. 201-212, 2017.

GIGLIO, T.G.F. **Influência do usuário na economia de energia obtida por meio do uso de sistema de aquecimento solar de água em habitações de interesse social.** UFSC. Tese de doutorado. SC. Brasil, 2015

GOERCK, M. **Determinação do potencial energético de um coletor solar foto térmico na região do vale do Taquari – RS Brasil.** Lajeado. Centro Universitário Univates. 2008. 92p. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento), 2008.

HERNANDEZ, P.; KENNY, P. Net Energy Analysis of Solar Water Heating Installations in Operation. **Renewable and Sustainable Energy reviews.** Vol. 16, p. 170-177. 2012.

KALOGIROU, S. **Engenharia de Energia Solar: Processos e Sistemas,** Elsevier, Rio de Janeiro, 864p. 2016.

MEDEIROS, J. M. et al. Avaliação técnica e viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar em um edifício residência. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB,** [S.l.], n. 24, p. 57-71, 2014.

MME. **Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética versão 18-10-11,** Brasília, 2011. 134 p. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>.

NEVES, J.C.M. **Avaliação técnico-econômica de um aquecedor solar de água com coletor de tubos a vácuo na cidade de Cascavel-PR.** 2012. 41 f. Dissertação (Mestrado Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-Paraná, 2012.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK. Renewables 2014: Global Status Report. 2014. Disponível em: www.ren21.net/gsr.

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.

SILVA JUNIOR, O. E. **Análise energética de um sistema híbrido solar/gás para aquecimento de água,** 2020. 120 f.: Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, UFPB/CEAR, João Pessoa, 2020.

SILVA JUNIOR, O. E.; LIMA, J.A.; MEDEIROS, J.M., ENERGY ANALYSIS OF A HYBRID SOLAR/GAS SYSTEM FOR WATER HEATING: A CASE STUDY. In: 26th ABCM International Congress of Mechanical Engineering - COBEM/2021, 2021, Florianópolis. 26th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, 2021. v. 1. p. 1-8.

SILVA JUNIOR, O. E.; LIMA, J. A.; MEDEIROS, J.M., ANÁLISE ENERGÉTICA DE UM SISTEMA HÍBRIDO SOLAR/GÁS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO. In: I CERES 2020 - Congresso Nacional de Energias Renováveis, Exergia e Sustentabilidade, 2020, Natal - RN. I CERES Congresso Nacional de Energias Renováveis, Exergia e Sustentabilidade 2020, 2020. v. 1. p. 22-31.

VASCONCELLOS, L.E.M.; LIMBERGER, M.A.C. (Org.). **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.

ZAMBOLIN E., DEL COL D., Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions, **Solar Energy** 84 (8) (2010) 1382e1396.