

**XI-089 - AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA COM RESÍDUOS PÓS-CONSUMO:
PROJETO PILOTO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE****Claudia Ruberg⁽¹⁾**

Arquiteta e Urbanista pela UFPB. Mestre e doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP. Foi professora na UFPB e UNIPE (João Pessoa/PB) e UNIPAMPA (São Gabriel/RS). Atualmente é Professora do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe – Aracaju/SE – Brasil e consultora nas áreas: resíduos sólidos, coleta seletiva, reciclagem, sustentabilidade, incineração.

Josias Alves Santiago Neto

Estudante de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe.

Robson Rabelo de Santana

Estudante de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe.

Marcus Fillipe de Souza Santos

Estudante de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe.

Tomás de Albuquerque Souza Feitosa

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Sergipe. Atualmente atua como Engenheiro Civil na Administração Estadual do Meio Ambiente de Sergipe – ADEMA/SE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Antônio Barbosa de Araújo, 192, Bl. C, apto. 102 – Farolândia – Aracaju – Sergipe – 49031-090 – Brasil. Tel.: (79)8808-4925. e-mail: claudiaruberg@gmail.com.

RESUMO

Diante da sociedade atual, torna-se evidente a necessidade de novas fontes de energia e uma destinação adequada para os resíduos sólidos gerados pelo alto consumo de produtos e bens. A energia solar apresenta-se como uma fonte de energia ecológica e viável e o Brasil é privilegiado neste aspecto devido à sua localização geográfica. Visando diminuir os impactos ambientais e utilizar o potencial da energia solar, Alano (2003) idealizou um aquecedor solar de água de baixo custo, confeccionado com garrafas PET e caixas de leite do tipo Longa Vida, pós-consumo e tubos de PVC. O objetivo deste trabalho constituiu-se em construir um protótipo do aquecedor solar de baixo custo na Universidade Federal de Sergipe (UFS) e avaliar seu desempenho através de medições das temperaturas da água no protótipo, nas caixas d'água utilizadas e no ambiente externo e medições do volume de água que circula no equipamento. Para obter o material pós-consumo foram realizadas duas campanhas de arrecadação dentro e fora da Universidade. Após a construção do protótipo, foram instalados um hidrômetro e seis termômetros em locais estratégicos para obter os dados sobre o desempenho do aquecedor. A instalação do aquecedor foi sobre telhado do Departamento de Engenharia Civil, posicionado de modo receber a melhor incidência solar. Depois de instalado, foram feitas as leituras dos termômetros e do hidrômetro, em intervalos de 15 ou 30 minutos, durante o período de uma semana. Com os dados obtidos, confeccionaram-se gráficos que apresentassem o potencial do aquecedor solar. Dentre os resultados observados até o momento, destaca-se: início do aquecimento da água para consumo por volta das 07:00 horas, horário de pico do aquecimento da água para consumo entre 12:00 e 16:00 horas, perda de temperatura da água quente que sai do coletor por volta de 15:30 horas, temperatura máxima de saída da água do coletor de 49,5°C, temperatura máxima de saída da água para consumo de 43,5°C e pouco aquecimento da água quando o tempo está nublado. Com base nos resultados, conclui-se que o aquecedor mostrou possuir boa eficiência, porque elevou a temperatura da água de modo a permitir que o usuário usufrua de água em níveis agradáveis no chuveiro. Verificou-se, ainda, que, mesmo observando que as temperaturas da água no coletor variam sensivelmente na presença de nuvens e chuva, a temperatura da água para consumo sofre poucas alterações em determinados intervalos de tempo até começar a cair no fim da tarde.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecedor solar, aquecedor de água, energia solar, materiais recicláveis, reutilização de materiais.

INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais, o mundo enfrenta uma grande problemática ligada à obtenção de energia, cuja causa originou-se há décadas, devido à busca pelo desenvolvimento técnico-científico e industrial. A utilização do carvão e, posteriormente, dos derivados do petróleo parecia ser a melhor opção energética para o mundo. Entretanto, os estudiosos perceberam os problemas que estavam se instalando com a utilização descontrolada deste tipo de energia: o primeiro refere-se à escassez da matéria prima que, além de agredir o meio ambiente com a exploração descontrolada, propiciou, no caso do petróleo, muitos conflitos. E o segundo, hoje mais reconhecido que há tempos atrás, os problemas ambientais. Segundo a Universidade do Colorado (*apud* INEE, 2011), em 2005, cerca de 240 milhões de veículos (carros, ônibus e caminhões) de transporte nos Estados Unidos da América (EUA) consumiam cerca de um terço da energia do país e eram responsáveis por cerca de um terço das emissões de carbono na localidade. De acordo com a Universidade do Colorado (*apud* INEE, 2011), quase 90% da energia para o transporte nos EUA ainda tem origem no petróleo (gasolina 62%, diesel 24%).

Com a descoberta da eletricidade surgiu no cenário energético da época uma alternativa à utilização do carvão mineral para diversas aplicações, mas seriam necessário usinas para produzi-la e uma rede de transmissão e distribuição para levá-la à população. Surgem as usinas termoeletricas, hidroelétricas, nucleares e outras mais. Ainda sim, cada uma delas traz algumas desvantagens para o meio ambiente como um todo. As usinas termoeletricas continuam emitindo os gases poluentes devido à queima dos combustíveis fósseis usados para geração de energia elétrica. As usinas hidroelétricas, apesar de utilizar fonte limpa e renovável, demandam uma grande área inundada para acumular água o que, diversas vezes, propiciou muitas perdas de vegetações e ecossistemas nas regiões onde foram instaladas. As usinas nucleares, além de instigarem a mineração em busca de matéria-prima como o urânio e o plutônio, ainda possuem o risco de propagar a radioatividade, extremamente perigosa para o ser humano e para o meio ambiente, como ocorreu em Chernobyl, na Ucrânia e em Fukushima, no Japão.

No Brasil, mesmo com todo o problema que acarretam ao meio ambiente, os atuais meios de produção de energia, em sua maioria hidroelétrica, ainda não são capazes de suprir toda a demanda de energia que o país necessita. Na década de 70, ocorreu uma crise energética que exigiu medidas de estímulo à redução do consumo e taxaço de grandes consumidores e que também acabou culminado nos chamados “apagões” (LAMBERTS *et al.*, 1997). Surge, então, a necessidade de aproveitar outros tipos de energia, as chamadas fontes alternativas de energia, que estão disponíveis e ainda são pouco exploradas como, a energia solar, energia eólica, energia geotérmica e energia das marés.

O Brasil e, em particular, o Nordeste, está localizado numa área geograficamente favorável ao uso da energia solar, seja para a produção de energia elétrica através de placas fotovoltaicas ou para aquecimento de água com o uso de painéis para a captação do calor proveniente do Sol. Atualmente, tem-se percebido a utilização dessa fonte de energia em alguns lugares do Brasil, mas ainda pouco expressiva quando comparado ao grande potencial coletor do país.

Segundo Faria (2006), em 2004 o Brasil apresentou uma área potencial para a coleta de energia solar de 2.200.458 m² que geraria uma potência térmica acumulada de 1.540,32 MW o que resultaria numa capacidade instalada de 0,89 MW / 100 mil habitantes. Esse fato reflete que o Brasil tem condições suficientes para reduzir os impactos ambientais gerados pela atual matriz energética. Dentre os benefícios gerados pela utilização da energia solar, segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (*apud* SOLETROL, 2011), cada metro quadrado de coletor solar representa evitar a utilização de 515 kg de lenha por ano; a queima de 66 litros de óleo diesel por ano; a inundação de aproximadamente 56 m² de terras férteis para a construção de hidroelétricas, entre outros.

Da energia elétrica que é consumida nas residências brasileiras, observa-se que 23% correspondem à utilização do chuveiro elétrico o qual está presente em 70% das habitações (LAMBERTS *et al.*, 1997). Apesar de o Nordeste apresentar temperaturas altas na maior parte do ano, o uso do chuveiro elétrico é elevado (67%) nas residências com consumo médio acima de 300 kWh/mês (FANTINELLI, 2002 *apud* FEITOSA, 2009). A participação dos chuveiros elétricos na demanda de energia em horários compreendidos entre 17 e 21 horas, pode variar em torno de 25% chegando a atingir, em algumas concessionárias brasileiras, valores da ordem de 50% (TOLMASQUIM, 2003).

Outro grande problema da atualidade trata-se do grande volume de resíduos gerados pelo alto consumo de bens materiais. No município de Aracaju, em 2005, se coletava 325 toneladas de resíduos domiciliares por dia (DALTRO FILHO *et al.*, 2005). Considerando que a capital possui cerca de 500 mil habitantes (IBGE, 2007), significa que cada aracajuano gera aproximadamente 0,66 kg/dia de resíduos.

As embalagens do tipo Longa Vida têm, em sua composição, 5% de alumínio, 20% de polietileno e 75% de papel. Devido à dificuldade em separar esses três componentes, o índice de reciclagem desse material é muito baixo no Brasil e, em Aracaju, nem sequer ocorre. Como poucas empresas no país possuem equipamentos para executar esse tipo de separação, a coleta desse material pelos catadores acaba sendo desestimulada e, desse modo, as embalagens, apesar de recicláveis, contribuem para aumentar o montante de resíduos que são dispostos em aterros e lixões e, se não coletados, em terrenos baldios. Entretanto, essa combinação dos três componentes é muito boa para reter o calor proveniente do Sol devido à sua grande resistência às altas temperaturas (FEITOSA, 2009). Assim, as embalagens do tipo Longa Vida poderiam ser utilizadas para formar a superfície absorvedora de um coletor solar.

Para manter retida a radiação emitida pela superfície absorvedora, um coletor solar deve ser envolvido por uma lâmina transparente de vidro ou feito de algum tipo de polímero (FANTINELLI, 2002 *apud* FEITOSA, 2009). Para essa função, podem ser usadas as garrafas PET. Ou seja, ao invés de serem descartados e contribuírem para a poluição de rios, córregos, canais e entupirem os esgotos, o que favorece o aumento na frequência de enchentes (COMLURB, 2010), as garrafas podem ser úteis como o material responsável por garantir o acúmulo de calor na placa coletora.

Objetivando a economia no consumo elétrico, o reaproveitamento de materiais recicláveis, a acessibilidade à água aquecida pelas classes menos favorecidas e observando os efeitos ambientais positivos de se utilizar a energia solar, o presente trabalho apresenta estudos realizados no aquecedor solar de água de baixo custo idealizado por José Alcino Alano cuja confecção é feita principalmente com o uso de garrafas PET e embalagens do tipo Longa Vida, materiais que seriam descartados em aterros ou “lixões”, e tubos de PVC.

AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

O aquecimento solar da água acontece de acordo com o princípio da circulação por termossifão. É o fenômeno natural que ocorre pela diferença de densidades entre mesmos fluidos em diferentes temperaturas: o de maior temperatura, menos denso, tende a ficar acima do que possui a temperatura mais baixa e, portanto, mais denso. Em outras palavras, o funcionamento explica-se através das correntes de convecção naturais dos fluidos, onde à medida que a água se aquece, sobe, sendo substituída por uma água fria.

O aquecedor solar é composto basicamente por um reservatório, que recebe algumas adaptações, e um painel solar montado com garrafas PET, caixas tipo Longa Vida e tubulação em PVC. Trata-se de um modelo simples, mas eficaz.

Todos os materiais recicláveis devem ser previamente lavados e secos. As garrafas devem ser cortadas em sua parte inferior, seguindo um molde, descrito no manual elaborado pelo idealizador (ALANO, 2003). As caixas tipo Longa Vida são planificadas, suas abas são desdobradas e o ar retirado do interior. Para a sua utilização no equipamento, as caixas são cortadas, dobradas em formato de flecha e pintadas com tinta preta fosca.

A tubulação de PVC é montada formando várias colunas paralelas que recebem pintura preta fosca. Cada coluna de PVC é envolta com garrafas PET e embalagens do tipo Longa Vida encaixadas.

O local de instalação do coletor deve receber luz solar direta, e o equipamento estar voltado para o Norte Geográfico e com inclinação igual à da latitude local mais 10° (ALANO, 2003). Em Aracaju/SE o ângulo de inclinação é cerca de 21°. Deve haver também um desnível obrigatório dentro do próprio painel, ou seja, uma pequena diferença de 2 cm a cada metro de comprimento linear entre o início do barramento horizontal (entrada da água fria) e o final deste barramento, para garantir a circulação por termossifão. Também é importante haver um desnível mínimo de 30 cm e máximo de 3 m entre o ponto mais elevado do coletor e o fundo da caixa d'água.

A caixa d'água será única para a água quente e a água fria, portanto recebe várias adaptações para permitir que as águas em temperaturas diferentes fiquem num único recipiente e que o usuário opte por utilizar a água fria ou a água quente, de acordo com sua conveniência e sistema de distribuição de água instalado.

Para levar a água fria da caixa d'água para o coletor solar é utilizado um aparato chamado de pescador de água fria. Ele é composto por um pedaço de tubo conectado a um cotovelo ligado à saída de água fria na parte inferior da caixa d'água apresentando a possibilidade de rotação. Essa funcionalidade é necessária caso seja de interesse girar o pescador para coletar água de diferentes temperaturas, já que, na caixa d'água, há um gradiente de temperatura sendo a parte superior a mais quente e a inferior a mais fria. Desse modo, se o pescador fica posicionado na horizontal capta a água mais fria da caixa d'água para o coletor solar.

De acordo com estudos do idealizador de modelo do aquecedor investigado na presente pesquisa, na cidade de Tubarão/SC, a temperatura máxima da água atingida através do aquecedor durante o verão é de 52°C e no inverno é de 35°C (ALANO, 2003). E o custo para confecção do protótipo, incluindo reservatório para água em bombona, é de aproximadamente 125 reais (UFSC, 2008 apud FEITOSA, 2009).

Devido à diferente latitude de Aracaju, partiu-se do pressuposto que com o equipamento se atingiria temperaturas superiores às encontradas por Alano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre tema, inclusive sobre a montagem e instalação do modelo do aquecedor solar de baixo custo.

Posteriormente, nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2010 fora da Universidade Federal de Sergipe (UFS) foi realizada a primeira campanha de arrecadação dos materiais pós-consumo, necessários à confecção do equipamento. Como não se conseguiu a quantidade suficiente de material, uma segunda campanha de coleta de materiais recicláveis foi feita na UFS entre os meses de Abril e Agosto.

Nos dias 06 e 07 de setembro de 2010 houve a preparação dos materiais para a construção do primeiro módulo do coletor solar. Inicialmente, as garrafas PET, das quais havia dois tipos, foram separadas. Em seguida, foi feito o corte das garrafas selecionadas e dos tubos PVC de acordo com o modelo apresentado por Alano (2003). As embalagens do tipo Longa Vida foram pintadas de preto e dobradas para serem encaixadas no interior das garrafas. Para a base do coletor solar, utilizou-se de pedaços de isopor os quais foram cortados para que o coletor permanecesse inclinado com o ângulo calculado.

A construção do primeiro módulo do coletor solar foi iniciada no dia 11 de Setembro e executada por quatro deles discentes de engenharia civil da UFS, além da professora especialista na área que coordena a pesquisa. A preparação e a instalação do aquecedor no telhado do Departamento de Engenharia Civil da UFS ocorreram entre os dias 20 e 22 de Outubro. Na rede hidráulica do aquecedor se utilizou uma caixa d'água de polietileno com capacidade para 310 L, preenchida com 250 L de água. Esta caixa tem a função de fornecer água ao sistema, além de armazenar a água aquecida. Uma caixa d'água em fibrocimento, já existente no local, com capacidade de 1000 L, mas preenchida com aproximadamente 700 L de água foi utilizada para obtenção de temperatura de referência da água, sem influência do aquecedor solar. Também se fez medição da temperatura ambiente, em local sombreado próximo do aquecedor instalado.

Objetivando conhecer o desempenho térmico, instalaram-se seis termômetros, de acordo com a sequência apresentada na figura 1, nos seguintes locais: entrada de água fria no coletor (1), retorno de água quente após o coletor (2), saída de água quente para o consumo (3), saída de água fria para o consumo (4), caixa d'água auxiliar para referência de água fria (5) e no ambiente externo em região sombreada para determinação da temperatura ambiente (6). Um hidrômetro (7) também foi instalado na tubulação de saída de água para o coletor com a finalidade de medir o volume de água que circulou no sistema de aquecimento.

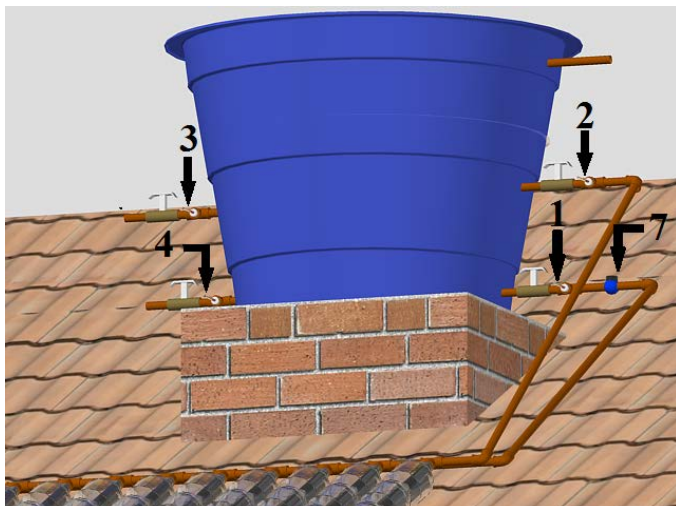


Figura 1: Localização dos termômetros e hidrômetro utilizados nas medições

As medições foram feitas na primavera, entre os dias 08 e 12 de Novembro de 2010, e os dados coletados a cada trinta minutos entre 07 e 17 horas. Porém, entre 11 e 13 horas as medições foram realizadas a cada quinze minutos. Durante as medições, foi registrada a presença ou ausência de nuvens no céu no momento da coleta e qual a porcentagem aparente de raios solares que atingiam o coletor em relação à sua área. Essas observações são importantes para poder comparar a influência que esses fatores causavam nos valores medidos. Na caixa d'água utilizada, com 250 L de água, o pescador de água fria foi posicionado na horizontal, motivo pelo qual considerou-se que a temperatura mínima da caixa d'água (e de consumo) era igual à temperatura da água fria que entrava no aquecedor. De posse dos dados, foi analisado o desempenho do aquecedor em diferentes horários sob a influência do sol, das nuvens e da chuva.

RESULTADOS

N a primeira campanha de arrecadação de materiais recicláveis foram visitadas escolas, restaurantes, creches, bares, entre outros. Entretanto, não se obteve a quantidade necessária de material para a pesquisa. Foram conseguidas 70 garrafas PET e 120 embalagens do tipo Longa Vida, o que representava 58% do total necessário em garrafas e mais de 100% das embalagens Longa Vida. Devido a isso foi feita uma campanha de coleta de materiais recicláveis na Universidade Federal de Sergipe na qual foi obtida uma grande quantidade de materiais, um número acima do necessário, que permanece estocado para projetos futuros. A etapa de coleta de materiais foi a mais demorada, pois, era necessária a total participação de voluntários para trazerem de suas residências os materiais recicláveis, já que há pouca geração de materiais deste tipo no ambiente universitário.

Para construção do protótipo do coletor solar, composto por quatro módulos, foram utilizadas 100 unidades de embalagens Longa Vida e 120 unidades de garrafas PET transparentes. A base do coletor foi feita com três pedaços grandes de isopor cortados o que permitiu dar a inclinação necessária de 21° quando posicionado no telhado. O posicionamento do coletor solar foi feito através de cordas, pois o telhado do DEC não apresentava resistência suficiente para suportar o peso de uma pessoa. A figura 2 a seguir mostra o telhado do Departamento com protótipo do aquecedor instalado, a caixa d'água para água aquecida e a caixa d'água auxiliar.



Figura 2: Protótipo do aquecedor solar instalado na Universidade Federal de Sergipe (coletor solar, caixa d'água em polietileno) e caixa d'água auxiliar de fibrocimento.

Com base nos dados coletados nos cinco dias de medição foram elaborados gráficos para verificação da elevação da temperatura da água através do tempo no coletor solar e na caixa d'água, para comparação entre as temperaturas de entrada no coletor e na caixa d'água, para verificação da vazão da água no coletor através do tempo, entre outros. Além da análise por dia, fez-se a comparação entre dados obtidos nos cinco dias, a exemplo das temperaturas máximas da água atingida pelo coletor.

De modo a embasar as considerações e conclusões da presente pesquisa, a seguir são apresentados alguns desses resultados e suas análises.

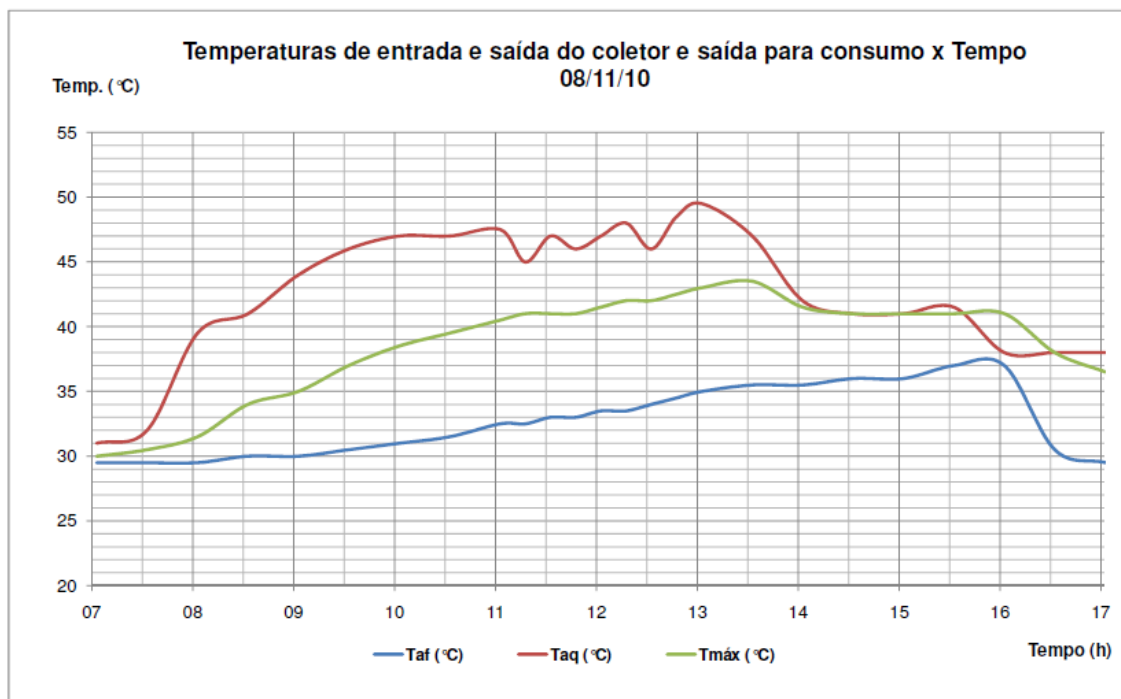


Figura 3: Temperaturas de entrada e saída do coletor e saída para consumo x Tempo em 08/11/10.

O gráfico acima (figura 3) ilustra o comportamento das temperaturas de entrada do coletor solar (Taf), temperatura de saída do coletor solar (Taq) e da temperatura de saída para consumo (Tmáx, máxima temperatura no reservatório do aquecedor). Percebe-se que de uma maneira geral a Taf se eleva quase de modo constante no decorrer do dia (aproximadamente 1°C por hora). Esse aumento é influenciado tanto pela elevação

da temperatura ambiente quanto pela mistura com a água quente que chega do coletor. De modo preliminar, pode-se identificar o potencial deste modelo de aquecedor solar através da comparação entre as curvas da T_{aq} e da T_{af} . Por exemplo, às 10h, a água foi aquecida de 31,0 para 47,0 °C. Nota-se ainda que, a partir de certo momento do dia, a T_{aq} começa a diminuir, seguramente por conta da queda natural da intensidade da radiação solar incidente no coletor. Na caixa d'água, a água quente que retorna do coletor se mistura com a água mais fria existente no reservatório, resultando na curva de temperatura da água quente para consumo ($T_{m\acute{a}x}$). Assim como acontece com a T_{aq} , os valores de $T_{m\acute{a}x}$ decrescem a partir de determinado horário do dia, neste caso em virtude da ausência de isolamento no reservatório e da interrupção da circulação de água no sistema, ou seja, paralisação do aquecimento da água no coletor.

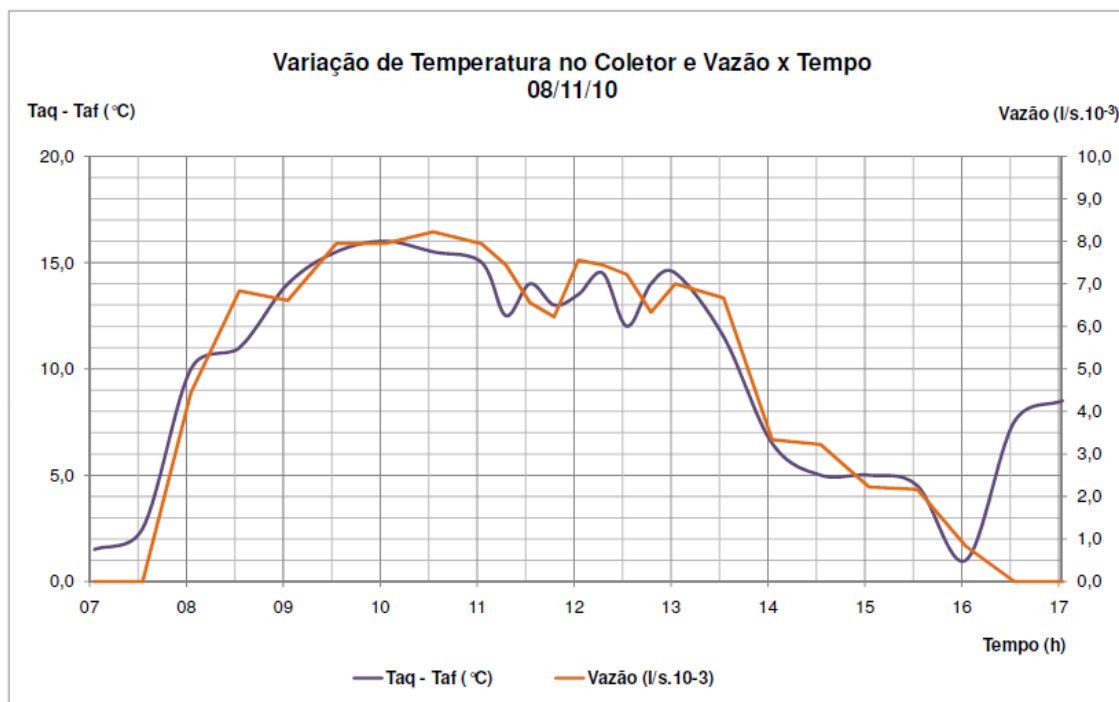


Figura 4: Variação de Temperatura no Coletor e Vazão x Tempo em 08/11/10.

Na figura 4 podem ser visualizadas as curvas de variação entre as temperaturas no coletor ($\Delta T = T_{aq} - T_{af}$) e de vazão ao longo do primeiro dia de medição. Percebe-se que existe uma evidente relação entre as curvas. Pode-se afirmar ainda que há um intervalo de cerca de 15 minutos entre a alteração da primeira variável e a da segunda. De uma maneira geral, quanto maior a variação de temperatura, maior a vazão, e vice-versa. Contudo, entre 16 e 17h, a curva da variação de temperatura apresentou um comportamento diferente, sem a respectiva “resposta” da segunda curva. É provável que tenha acontecido algum erro na anotação dos valores de T_{af} aferidos nesse horário, todavia essa imprecisão ao final do primeiro dia não ocorreu nos demais e não comprometem as demais conclusões obtidas.

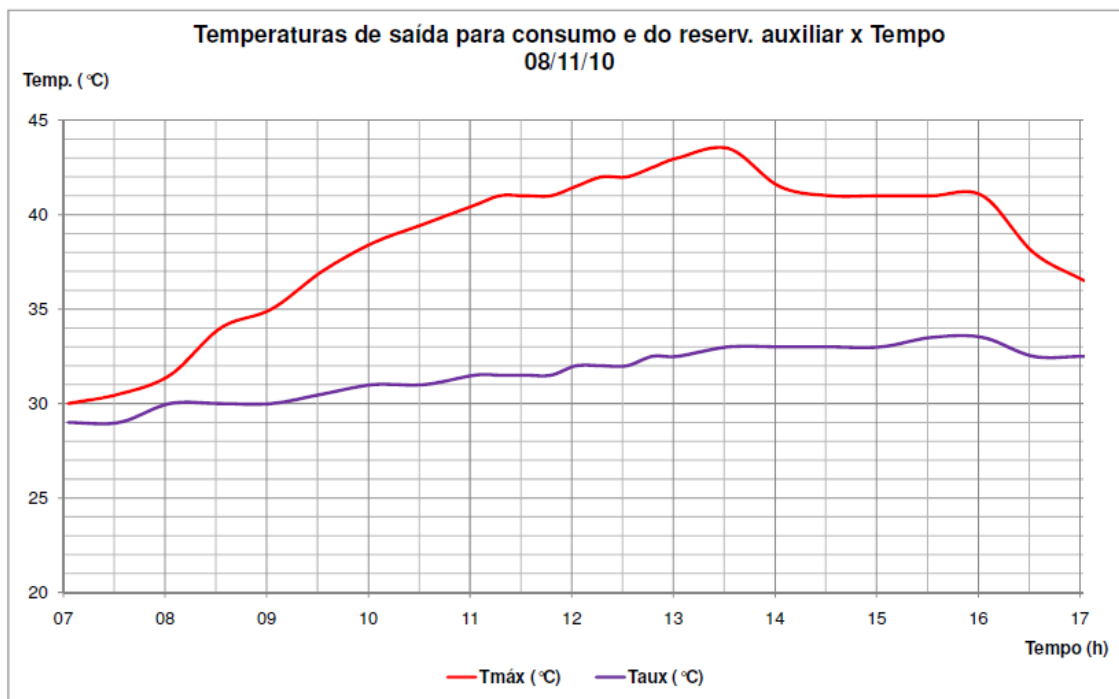


Figura 5: Temperaturas de saída para consumo e do reservatório auxiliar x Tempo em 08/11/10.

Ainda analisando o primeiro dia de medição, no gráfico acima (figura 5) estão representadas as curvas de temperatura de água na saída para consumo e no reservatório auxiliar ao longo do dia. Naturalmente, a temperatura na caixa d'água auxiliar (Taux) se eleva gradativamente por influência da temperatura ambiente e da incidência direta dos raios solares sobre ela (vide figura 2), pouco mais de 4°C em 9 horas. Percebe-se também que a temperatura da água quente no reservatório do aquecedor (Tmáx) aumenta a proporções muito maiores, com pico às 13:30 horas, com mais de 13°C de variação em 6,5 horas. Contudo, a partir de certo momento, a Tmáx começa a cair e tende a se igualar à Taux. Após o pico de temperatura, o ganho de calor, através do sistema de aquecimento, passa a ser menor que as perdas, decorrência da ausência de isolamento térmico na caixa principal.

Apesar de apresentar neste artigo as análises de um único dia, o comportamento do sistema nos demais dias foi semelhante, com algumas variações devido à incidência de chuvas ou presença de nuvens, como será citado a seguir.

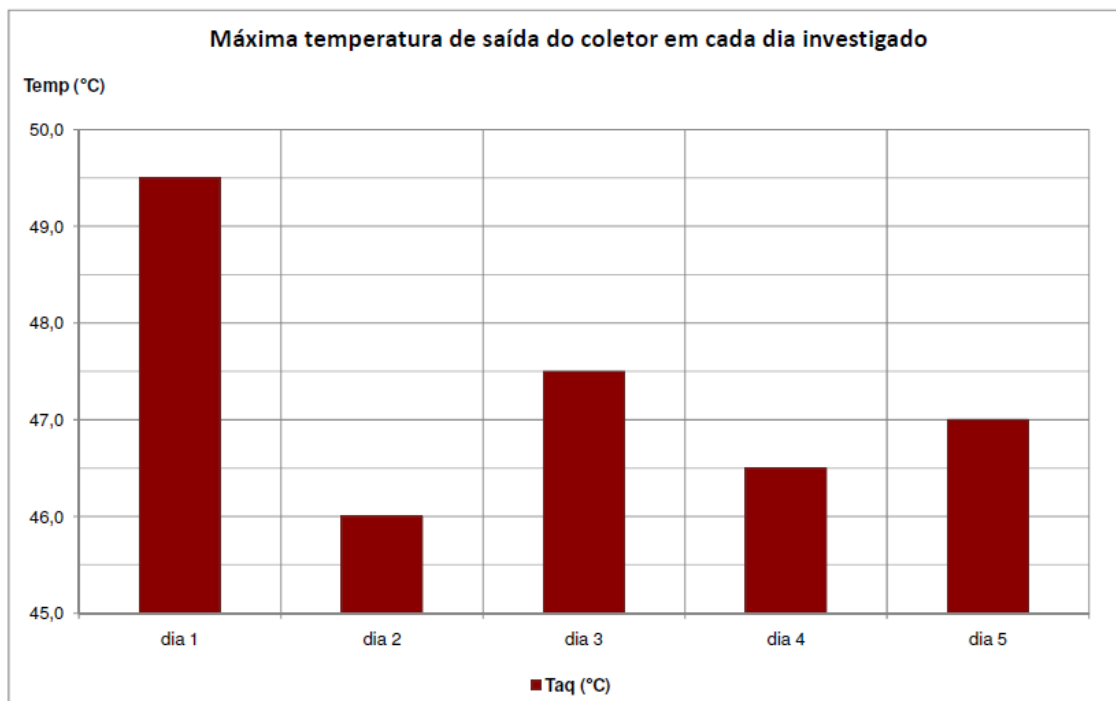


Figura 6: Máxima temperatura de saída do coletor em cada dia investigado.

O gráfico da figura 6 apresenta as maiores temperaturas na saída do coletor solar em cada dia de medição, ou seja, os valores de pico da Taq. A partir da análise do gráfico, é possível concluir que os resultados são reflexo direto do clima observado nos respectivos dias de medição. A maior temperatura alcançada aconteceu no dia mais ensolarado, primeiro dia. O segundo, terceiro e quarto dias foram chuvosos. Entretanto, no terceiro dia apenas choveu no início da manhã, e, portanto, sua temperatura foi a maior dos três dias chuvosos. O céu permaneceu nublado durante todo o quinto dia, inclusive nos horários de maior intensidade luminosa, por isso a temperatura de pico obtida foi menor que no terceiro dia, onde houve chuva.

O levantamento de dados ainda continua em andamento, mas, apesar da pesquisa ainda não estar finalizada, através da análise dos dados pôde-se perceber que:

- existe um efetivo aquecimento da água, após a passagem pelo aquecedor;
- às 08:00 horas da manhã o aquecedor já encontra-se em funcionamento, fornecendo água quente para a caixa, com exceção dos dias em que choveu;
- entre 12:00 e 16:00 horas a temperatura da água quente que sai para o consumo atinge os valores máximos apresentando poucas variações até o momento em que começa a declinar pela diminuição da entrada de água aquecida proveniente do aquecedor e pela ausência de isolamento térmico na caixa d'água;
- existe uma evidente relação entre a diferença de temperatura da água que sai e que entra no coletor (ΔT) com a vazão havendo um intervalo de cerca de 15 minutos entre a alteração da primeira variável e a reação da segunda.
- em vários dias e períodos a temperatura da água para consumo encontrou-se acima dos 39°C - temperatura indicada pela NBR 15.569 (ABNT, 2008) como adequada para o banho;
- em todos os dias investigados a temperatura de retorno da água quente do coletor esteve acima de 45°C;
- a chuva e o céu nublado interfere sensivelmente na temperatura da água que sai do coletor solar para a caixa d'água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A montagem e acompanhamento do aquecedor solar pelos discentes envolvidos tem sido uma grande oportunidade de aprendizado e vivência prática, desde o planejamento do método de coleta e de análise dos dados. Há troca de experiência entre eles, pois há um discente no início do curso, outro no meio e um concluinte, cujo trabalho de conclusão de curso é sobre o equipamento. Percebe-se que através da pesquisa criou-se uma oportunidade de crescimento tanto profissional quanto pessoal dos envolvidos.

Foi possível concluir que o aquecedor apresentou uma boa eficiência, pois, na maior parte do tempo, a temperatura de saída da caixa d'água para consumo atingiu valores da ordem de 39°, tendo como pico de temperatura 43,5°C. Apesar de acima dos níveis de conforto humano, a temperatura elevada, se misturada com água fria chegará aos níveis desejados.

Percebeu-se que a temperatura da água que saía do coletor chegou a atingir 49,5°C. Fato que não deve ocorrer, pois os tubos de PVC não suportam elevadas temperaturas. Conforme a NBR 5648 (ABNT, 1999), que trata de instalações prediais de água fria, "os tubos, as conexões e as juntas devem ser empregados na condução de água sob pressão para temperatura de até 45°C, para uso geral e para o suprimento de água potável". A temperatura elevada atingida demonstra que o aquecedor tem capacidade de aquecer mais água do que o projeto havia proposto, 250 litros. Para as próximas medições, toda a tubulação do aquecedor será substituída e será utilizado um maior volume de água na caixa d'água para que a temperatura limite do aquecedor seja 45°C.

Verificou-se, ainda, que, mesmo observando que as temperaturas no coletor variam sensivelmente com a presença de nuvens e chuvas, a temperatura da água liberada para consumo permanece praticamente inalterada em determinados intervalos de tempo apresentando queda somente no fim da tarde. A caixa d'água foi confeccionada sem isolamento térmico, caso se fizesse o isolamento, o calor adquirido durante o dia seria conservado por muito mais tempo. Com suas devidas alterações propostas, o aquecedor solar de água estará apto para o uso diário.

Projetos como este, de confecção de aquecedor solar de baixo custo, são de extrema importância, pois podem favorecer uma parcela da população que não possui acesso à água aquecida ou comprometem uma parte significativa de seus rendimentos com energia elétrica. Ou seja, os aquecedores solares que utilizam garrafas PET e caixas do tipo Longa Vida podem reduzir o consumo elétrico em residências e minimizar os impactos ambientais associados à geração de energia elétrica, além dos relacionados aos materiais recicláveis reutilizados. Um passo futuro é a disseminação da tecnologia junto à comunidade mais carente do Estado de Sergipe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5648 – Sistemas prediais de água fria – Tubos e conexões de PVC 6,3, PN 750 kPa, com junta soldável – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
2. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.569 – Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
3. ALANO, J. A. Manual sobre a construção e instalação do aquecedor solar com descartáveis. Tubarão/SC, 2003. Disponível em: <<http://josealcinoalano.vilabol.uol.com.br/manual.htm>>. Acesso em: 25/05/2009.
4. COMLURB, Companhia Municipal de Limpeza Urbana. O perigo das garrafas PET. Disponível em: <<http://comlurb.rio.rj.gov.br/arti38.htm>>. Acesso em: 25/01/2010.
5. DALTRO FILHO, J. et. al. Problemática dos resíduos sólidos da construção civil em Aracaju: diagnóstico. Aracaju: EMSURB/SEMA/UFS, 2005. Disponível em: <<http://www.sinduscon-se.com.br>>. Acesso em: 25/05/2009.
6. FARIA, Renato. Lei aquecida. Revista Técnica. São Paulo, Ed. 147, p.40-6, jun. 2009.
7. FEITOSA, T. de A. L. Energia solar no aquecimento de água: equipamento de baixo custo e com uso de materiais recicláveis. São Cristóvão, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso - TCC (Graduação). Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe.
8. LAMBERTS, R., et al. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997.
9. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da população – 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25/05/2009.
10. INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. Engenharia dos veículos elétricos e híbridos. Tradução adaptada de texto da Universidade do Colorado. Rio de Janeiro, 2011.

11. RÍSPOLI, Ítalo A. G. O aquecedor solar brasileiro – teoria e prática em prol de uma transferência de tecnologia sustentável. Campinas, 2008. Tese (doutorado). Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.
12. SOLETROL. Ecologia. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br/ecologia/>>. Acesso em: 25/01/2011.
13. TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Fontes renováveis de energia no Brasil. Rio de Janeiro, 2003.