



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

MICHELE LAURENTINO DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA TÉRMICA DE UM COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO
PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA**

CAMPINA GRANDE – PB
2014

MICHELE LAURENTINO DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA TÉRMICA DE UM COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO
PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Sanitária e
Ambiental pela Universidade Estadual da
Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima

**CAMPINA GRANDE – PB
2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

O48e Oliveira, Michele Laurentino de.

Eficiência térmica de um coletor solar de baixo custo para aquecimento de água [manuscrito] / Michele Laurentino de Oliveira. - 2014.

42 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Energia solar. 2. Coletor solar. 3. Sustentabilidade. 4. Eficiência térmica. I. Título.

21. ed. CDD 333.792

MICHELE LAURENTINO DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA TÉRMICA DE UM COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO
PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Sanitária e
Ambiental pela Universidade Estadual da
Paraíba.

Aprovado pela banca examinadora em: 29 de 07 de 2014.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima
Orientador - UEPB



Profa. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima
Examinadora - UEPB



Profa. Dra. Keila Machado de Medeiros
Examinadora - UEPB

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, ao meu pai José Braz, minha mãe Calina e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A Universidade Estadual da Paraíba, pela oportunidade de fazer o curso, ao seu corpo docente, direção e administração.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Obrigada meus irmãos Alexander, John, Anderson e Tadeu e meus sobrinhos Alessandro, Pedro Henrique, Maria Eduarda e Ana Júlia, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Agradeço também aos amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal a Construção de um sistema de aquecimento solar de água alternativo para uso em um protótipo de casa autossustentável. O sistema de aquecimento é composto pelo coletor solar do tipo plano e um reservatório térmico de água, construídos com materiais alternativos. Para o coletor solar, utilizou-se uma estrutura retangular de alumínio de dimensão (69,5 x 148,5) cm, placas (usadas como forro em casas e escritórios) e tubos de Policloreto de Vinila (PVC) e Poliestireno Expandido (EPS), para o reservatório térmico foi usado um tambor com capacidade para 20 litros isolado com EPS. Os experimentos foram realizados nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), em Campina Grande - PB, no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA). O sistema ficou exposto ao sol durante um período de 8 horas por dia. A obtenção dos dados foi feita através de dispositivos eletrônicos chamados de termopares, foram utilizados 5 sensores distribuídos em posições estratégicas para se obter a capacidade de transferência de calor. Os dados foram coletados sempre com o coletor orientado para a região norte, de modo que favorecesse a incidência da radiação solar, a coleta foi realizada nos meses de fevereiro e maio de 2014 durante um período de dez dias, por 8h consecutivas (9h - 17h) com intervalos de 1h. Os resultados mostraram uma eficiência térmica média no coletor solar de aproximadamente 35%, a temperatura máxima alcançada chegou a 74°C, onde para um coletor solar de baixo custo, foi um resultado bastante satisfatório se comparado com um coletor solar convencional. O sistema proposto mostra ser economicamente viável, reduzindo significativamente os gastos com eletricidade, além de ser um sistema simples e de fácil instalação, podendo ser empregado em residências populares, permitindo que os usuários de menor poder aquisitivo, tenha pelo menos o conforto de um banho quente ao chegar do trabalho.

Palavras-chave: Energia Solar. Coletor Solar. Sustentabilidade. Eficiência Térmica.

ABSTRACT

This work had as main objective the construction of a solar heating system alternative water for use in a prototype self-sustaining home. The heating system consists of the solar collector and flat type heat water tank, built with alternative materials. For the solar collector, we used a rectangular aluminum frame size (69.5 x 148.5) cm plates (used as lining in homes and offices) and tubes, polyvinyl chloride (PVC) and Expanded Polystyrene (EPS) for the vacuum was used a drum with 20 liters insulated with EPS. The experiments were conducted on the premises of the State University of Paraíba (UEPB) Science and Technology Center (STC) in Campina Grande - PB, Laboratory Research in Environmental Sciences (LAPECA). The system was exposed to sunlight for a period of 8 hours per day. Data collection was done through electronic devices called thermocouples, 5 sensors distributed in strategic positions to provide the ability to heat transfer were used. Data were always collected with the collector oriented north, so favoring the incidence of solar radiation, the collection was performed between February and May 2014 for a period of ten days, by 8pm consecutive (9h - 17h) at intervals of 1h. The results showed an average thermal efficiency of the solar collector about 35%, the maximum temperature reached 74 ° C, where a solar collector for low cost, it was a very satisfactory result compared with a conventional solar collector. The proposed system shows to be economically viable, significantly reducing electricity costs, in addition to being a simple system, easy to install and can be used in popular residences, allowing users with less purchasing power, has at least the comfort of a bath hot to get home from work.

Keywords: Solar Energy. Solar Collector. Sustainability. Thermal Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Irradiação solar diária média anual.....	17
Figura 2 – Média anual de insolação diária.....	17
Figura 3 – Radiação do município de Campina Grande.....	18
Figura 4 – Ilustração de um sistema de aquecimento de água.....	19
Figura 5 – Coletor de concentração tipo Parabólico.....	21
Figura 6 – Coletor plano solar convencional.....	22
Figura 7 – Esquema de trocas de energia no coletor.....	23
Figura 8 – Representação da orientação e inclinação do coletor solar como condição de instalação.....	24
Figura 9 – Reservatório térmico.....	25
Figura 10 – Reservatório térmico construído com materiais alternativos.....	28
Figura 11 – Sistema de aquecimento solar.....	29
Figura 12 – Comportamento da temperatura em cada ponto de coleta.....	30
Figura 13 – Radiação mensal para a cidade de Campina Grande.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características de diferentes tecnologias de Energia Solar Concentrada	21
Tabela 2 – Temperaturas máximas e mínimas de todos os pontos coletados.....	31
Tabela 3 – Temperaturas máximas, mínimas e médias na entrada e saída do coletor...	32
Tabela 4 – Eficiências diária e média do coletor.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Energia Solar	15
3.2 Aplicações e Potencial da Energia Solar	15
3.3 Radiação Solar.....	16
3.4 Sistema de Aquecimento Solar.....	19
3.4.1 Coletor Solar.....	19
3.4.1.1 Coletores de Concentração	20
3.4.1.2 Coletores Planos	22
3.4.2 Instalação do Coletor Solar Tipo Plano.....	23
3.4.3 Reservatório Térmico	24
3.4.4 Circulação por Termossifão.....	25
3.5 Quantidade de Energia Absorvida.....	26
3.6 Eficiência Térmica.....	26
3.7 Efeito Ambiental	26
4. METODOLOGIA.....	28
5. RESULTADOS.....	30
5.1 Acompanhamento do Aumento da Temperatura da Água no Sistema.....	30
5.2 Determinação da Quantidade de Energia Absorvida.....	31
5.3 Determinação da Eficiência Térmica do Coletor.	32
6. CONCLUSÕES.....	34
ANEXO A - Evolução das temperaturas nos vários pontos do sistema.....	39

1 INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial o aumento do consumo de energia mais que triplicou e recentes estudos apontam uma tendência de crescimento da demanda energética em decorrência da recuperação econômica nos países em desenvolvimento (PEREIRA et al., 2006).

Sabemos que as fontes de energia mais empregadas são os chamados combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural. Essas fontes são chamadas de fontes esgotáveis e seu consumo desenfreado pode acarretar vários problemas ambientais.

A preocupação com a falta de oferta do petróleo, bem como a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na camada atmosférica, une as tecnologias dos países desenvolvidos para solucionar essas problemáticas (GALDINO, 2009).

Outra forma de energia que também é muito utilizada são as energias naturais e renováveis. É pensando nesses problemas que cada vez mais estão sendo realizados estudos sobre energia alternativa.

COSTA e PRATES (2005) afirma que “Energia renovável é uma expressão usada para descrever uma ampla gama de fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica.”

O sol é uma fonte de energia alternativa limpa, disponível em todo o mundo e inesgotável. Com isso cada vez mais se encontram estudos sobre esse tipo de fonte de energia, onde os estudos mostram enormes benefícios em longo prazo.

A energia solar vai aumentar a segurança energética dos países através da dependência de um recurso endógeno, inesgotável e, principalmente, independente de importação, o que aumentará a sustentabilidade, reduzirá a poluição, reduzirá os custos de mitigação das mudanças climáticas e manterá os preços dos combustíveis fósseis mais baixos (International Energy Agency, 2014).

A energia solar pode ser utilizada de duas formas: como produção de calor ou como produção de energia elétrica. A produção de calor é utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes, já a produção de energia elétrica, se dá por efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoeletrico e o fotovoltaico. No Brasil, a energia elétrica é a fonte energética responsável pelo aquecimento da água para o banho em 73,5% dos

domicílios brasileiros, enquanto o gás é responsável pelo aquecimento da água para o banho em 5,9% e a energia solar térmica é utilizada para este fim em 0,4% das residências brasileiras. O chuveiro elétrico está presente em 73,1% dos lares, com percentuais de distribuição de posse bem diferenciados nas diversas regiões do país. O chuveiro elétrico está maciçamente presente nas residências das regiões sul, sudeste e centro-oeste, predominando na região sul, onde aproximadamente 99% dos domicílios o possuem para fins de aquecimento de água para o banho. No setor residencial brasileiro, o consumo de energia elétrica constitui-se basicamente de aquecimento de água, seguido de refrigeração e iluminação e o chuveiro elétrico é responsável em média por 24% do consumo residencial no país (PROCEL/ELETROBRÁS, 2007).

Os benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica e a queda nos custos dos sistemas termossolares verificadas nos últimos anos, tornam a energia solar para o aquecimento de água uma tendência a ser adotada em praticamente todas as camadas sociais (FANTINELLI et al., 2006). Entretanto, os elevados custos iniciais do sistema termossolar para o aquecimento da água continuam sendo um dos maiores obstáculos ao uso generalizado desta tecnologia (GLILLINGHAN, 2009).

É preciso uma intervenção de políticas públicas para que estimulassem a utilização da energia solar, onde aumentaria de forma significativa as instalações térmicas solares. A exemplo de Israel, onde é exigido que cada novo prédio com menos de 27m de altura tenha um sistema solar térmico em seu telhado.

Medidas de incentivo à utilização de sistemas de aproveitamento de energias renováveis têm surgido no país. Nesse aspecto pode ser citada a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 que regulamenta a Lei supracitada (BRASIL, 2001).

Este trabalho tem como objetivo abordar a forma de energia solar como fonte de energia térmica, avaliando um sistema de aquecimento solar de água alternativo para esta finalidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar um sistema de aquecimento solar de água alternativo para uso em um protótipo de uma casa autossustentável.

2.2 Objetivos Específicos

- Construir um sistema de aquecimento solar de água com materiais de baixo custo;
- Observar a capacidade de transferência de calor entre o coletor solar e o reservatório térmico;
- Minimizar o impacto ambiental e também econômico, através de uma energia limpa e inesgotável.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Energia Solar

Segundo SÁLES (2008), a energia solar como o próprio nome já diz, é uma energia que vem do sol, sendo irradiada continuamente por este astro. Para se ter uma ideia, em apenas um segundo, o sol produz mais energia (internamente) que toda energia usada pela humanidade desde o começo dos tempos. Esta energia pode ser aproveitada de diversas maneiras. Além das formas mais simples como secagem de produtos e aquecimento de água (energia térmica solar) pode-se utilizá-la também para produzir eletricidade (eletricidade solar ou energia fotovoltaica).

Conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2010), entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido as características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

3.2 Aplicações e Potencial da Energia Solar

A radiação solar é atualmente utilizada para produzir potência, por meio de duas tecnologias: fotovoltaica e térmica. A tecnologia fotovoltaica tem um grande potencial e sugere ser um dos mais atrativos modos de obtenção de energia no futuro, devido a sua confiabilidade e economia, quando comparado a muitas outras tecnologias energéticas, e pelas alternativas de aplicabilidade, gerando uma gama de produtos para consumo (COSTA, 2007).

É possível apontar várias aplicações da energia solar em nossas necessidades diárias de energia, como por exemplo: refrigeração, iluminação, aquecimento, energia elétrica, transporte e limpeza no ambiente.

A energia fotovoltaica e o aquecimento solar são aplicações mais conhecidas e populares, já a descontaminação e a destilação utilizando como fonte a energia solar, são aplicações menos difundidas.

Segundo MANO et al. (2009), para cada metro quadrado de um coletor é possível economizar 55kg de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) por ano, ou evitar a

inundação de 55m² de área florestal para a geração de energia elétrica, ou ainda eliminar o consumo anual de 215kg de lenha.

Uma parte do milionésimo de energia solar que nosso País recebe durante o ano poderia nos dar 01 suprimento de energia equivalente a: 54% do petróleo nacional, 02 vezes a energia obtida com o carvão mineral e 04 vezes a energia gerada no mesmo período por uma usina hidrelétrica (SOCIEDADE DO SOL, 2014).

3.3 Radiação Solar

A radiação solar é um fenômeno de natureza eletromagnética, propagando-se segundo um movimento ondulatório. A disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano).

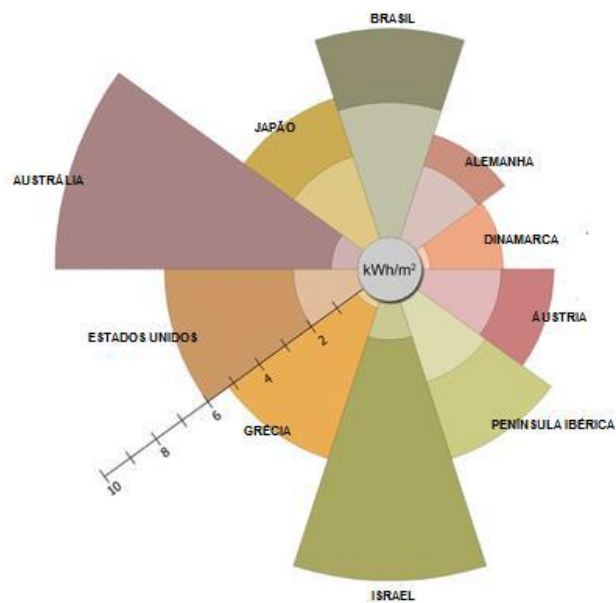
Segundo ANEEL (2010), a maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia.

A radiação solar depende também das condições climáticas e atmosféricas. Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial, segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2000).

A radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico.

O Brasil recebe níveis médios de radiação solar superiores aos observados na maioria dos países europeus e com variabilidade sazonal baixa, devido à grande parte do país estar presente na zona tropical (MARTINS e PEREIRA, 2011). Apesar disso, o número de projetos destinados ao aproveitamento de energia solar no Brasil é insignificante quando comparado com os existentes em alguns países, como Alemanha e Espanha (MARTINS et al., 2007). A Irradiação solar diária média anual recebida no Brasil em comparação com outros países é apresentado na Figura 1.

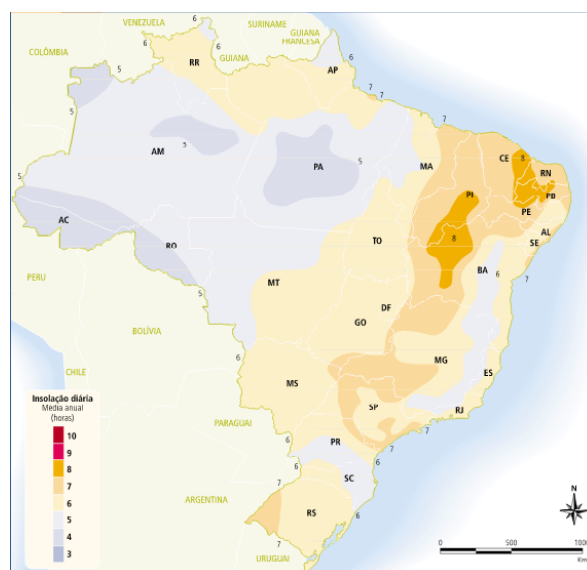
Figura 1: Irradiação solar diária média anual (kWh/m²).



Fonte: Martins e Pereira, 2011.

O mapa da Figura 2 apresenta a média anual de insolação diária, segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

Figura 2: média anual de insolação diária.



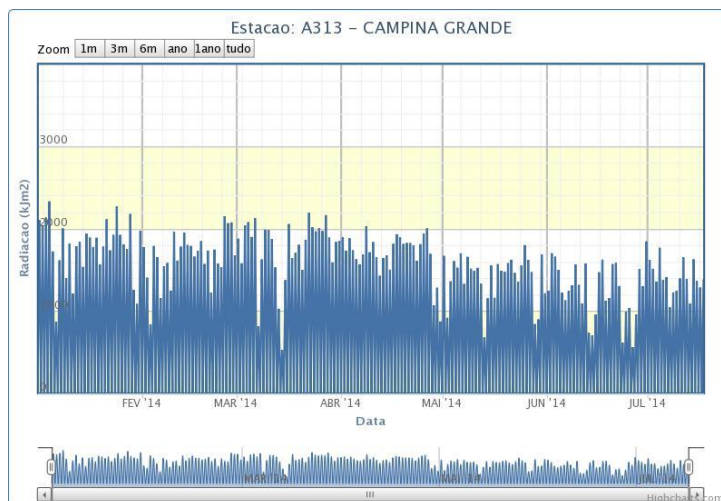
Fonte: CRESESB, 2014.

O Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional. Devido, porém, ao número relativamente reduzido de estações experimentais e às variações climáticas locais e regionais, o Atlas de Irradiação Solar no Brasil faz estimativas da radiação solar a partir de imagens de satélites, como possível observar o estado da Paraíba tem uma média de 7h à 8h diária de insolação.

Apesar de comprovada a abundância de irradiação solar no Brasil em todos os meses do ano e o sistema de aquecimento solar ser considerado uma tecnologia simples e de fácil uso, 73,5% dos domicílios brasileiros utilizam como fonte energia para aquecimento da água a energia elétrica. O gás é responsável pelo aquecimento da água para o banho em 5,9% e a energia solar térmica é utilizada para este fim em apenas 0,4% dos lares brasileiros (PROCEL/ELETROBRÁS, 2007).

A figura 3 a seguir ilustra os dados de Radiação Solar coletados no ano de 2014 pelo Instituto Nacional de Meteorologia.

Figura 3: Radiação do município de Campina Grande



Fonte: INMET, 2014.

Os recursos de irradiação solar no Brasil, um dos maiores do mundo, variam de 1.500 kWh/m²/ano, na Região Sul, a 2.100 kWh/m²/ano, na Região Nordeste (PEREIRA et al., 2006, PEREIRA et al., 2008). Ao observar a figura 3, é possível obter

uma média de 1.500 kJ/m² dos primeiros meses do ano de 2014 do município de Campina Grande.

3.4 Sistema de Aquecimento Solar

O sistema de aquecimento solar é composto por dois elementos básicos: o coletor solar, que aquece a água, e o reservatório térmico (ou "boiler"), que armazena a água aquecida. A água circula entre o reservatório térmico e os coletores solares. Os coletores com superfície enegrecida captam o calor do sol e o transferem para a água que circula no interior dos coletores solares. Aquecida, a água retorna ao reservatório térmico (boiler) e ali fica armazenada até que seja consumida. É preciso também ter uma caixa d'água fria para alimentar o reservatório térmico, podendo ser exclusiva (o que é mais recomendado) ou não.

Figura 4: Ilustração de um sistema de aquecimento de água.



Fonte: Movimento Terras, 2012.

3.4.1 Coletor Solar

No funcionamento do coletor solar, verificam-se os três processos de transferência de energia por diferença de temperatura: **irradiação**, **condução**, e **convecção**. Uma quantidade de energia que incide por irradiação é absorvida pela chapa metálica, que transmite uma parcela dessa energia absorvida para a água, enquanto uma pequena parte dessa energia é refletida para o ar que envolve a chapa. A proporção dessas três parcelas de energia em relação à quantidade total de energia incidente indica

a eficiência do coletor. Quanto maior sua eficiência, maior a quantidade de energia transmitida para a água.

- Irradiação: uma forma de propagação de calor que não necessita de um material para se propagar, onde esse tipo de propagação ocorre através dos raios infravermelhos que são chamadas ondas eletromagnéticas.
- Condução: tipo de propagação de calor que consiste na transferência de energia térmica entre as partículas que compõem o sistema. Esse tipo de transferência ocorre com maior ou menor facilidade dependendo da constituição atômica do material, a qual faz com que ele seja classificado condutor ou isolante de calor.
- Convecção: esse tipo de propagação de calor ocorre nos fluidos em geral em decorrência da diferença de densidade entre as partes que formam o sistema.

A cor preta na placa metálica facilita a absorção da radiação incidente, mas um bom absorvedor é também um bom emissor. Ou seja, se um objeto escuro absorve grande quantidade de energia, ele a emitirá em grande quantidade. É por esse motivo que os radiadores são pintados de preto.

Existem dois tipos fundamentais de coletores solar:

- Coletores de concentração;
- Coletores planos.

3.4.1.1 Coletores de Concentração

Os coletores de concentração são aplicados onde existe a demanda de temperaturas mais elevadas. Segundo KALOGIROU (2009) concentradores solares possuem em geral uma superfície refletora (em alguns modelos são utilizadas lentes) que direcionam a radiação direta a um foco, onde há um receptor pelo qual escoam o fluido absorvedor de calor.

Os coletores solares com concentração podem ser utilizados em diferentes sistemas para geração de energia elétrica. Os principais tipos de sistema encontram-se listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características de diferentes tecnologias de Energia Solar Concentrada - CSP

Tecnologia	Faixa de capacidade indicada (MW)	Taxa de concentração	Eficiência solar-elétrica (%)	Área requerida (m ² /kW)
Parabólico	10-200	70-80	10-15	18
Fresnel	10-200	25-100	9-11	-
Torre	10-150	300-1000	8-10	21
Disco	0,01-0,4	1000-3000	16-18	20

Dados: KALOGIROU, 2009.

Segundo LIMA (2003), o coletor de concentração requer uma montagem sob um mecanismo motorizado de rastreamento do movimento solar, pois a radiação deve incidir no refletor ou na lente com um ângulo correto para ser focalizado sobre o absorvedor. Embora, desta forma, o aproveitamento da radiação pelo coletor aumente, o equipamento de rastreamento é complexo, caro e de difícil manutenção.

Figura 5: Coletor de concentração tipo Parabólico.

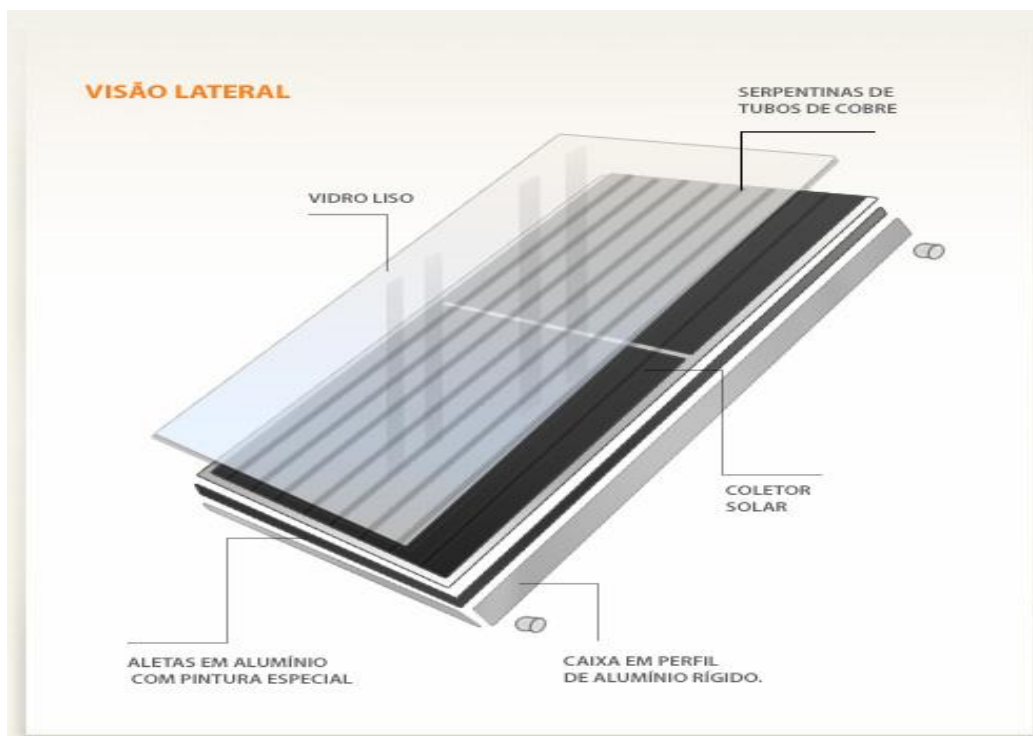


Fonte: Tecno Curioso, 2014.

3.4.1.2 Coletores Planos

O principal componente deste tipo de coletor é a placa de absorção e devido ao seu formato plano, dá o nome a que comumente chamamos este sistema, também conhecido simplesmente por "placa solar".

Figura 6: Coletor plano solar convencional.

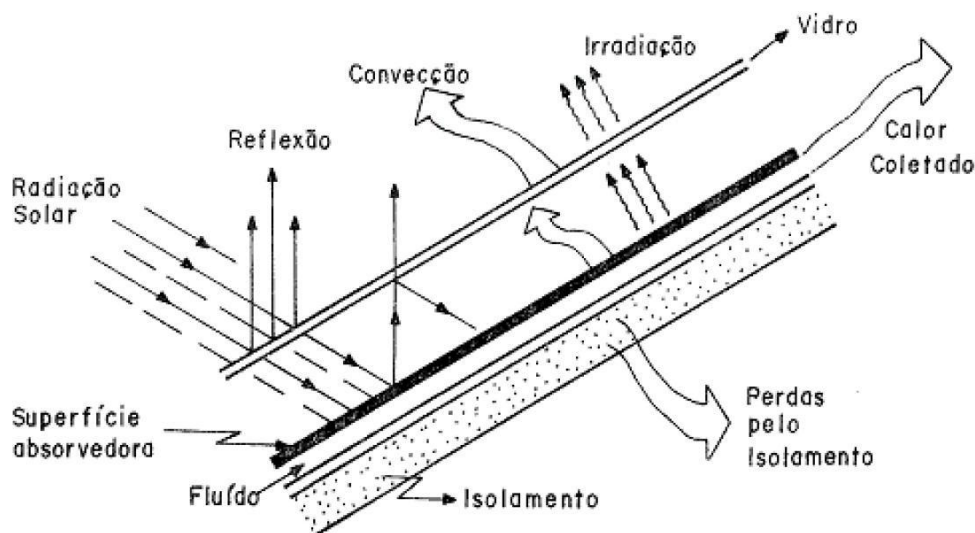


Fonte: Mastersol, 2014.

De acordo com (Borges, 2000 citado por SÁLES, 2008), diz que de forma sumária, a absorção de calor pelas placas planas ocorre da seguinte forma: os raios solares incidem, através da cobertura de vidro. Parte da radiação é refletida por esta cobertura, e parte absorvida, esquentando-a. Mas, a grande parte é refratada e incide sobre a superfície negra, absorvedora. Esta se aquece e parte do calor é conduzida para a malha ou serpentina de tubos onde circula a água, que recebe este calor por convecção. A cobertura de vidro superior diminui as perdas de calor por convecção natural com o ar e é opaca à radiação de raios infravermelhos da superfície absorvedora (efeito estufa). Isto faz com que parte das perdas por radiação desta superfície seja reirradiada de volta para a mesma. Abaixo da superfície negra e dos tubos, existe uma camada de material

isolante térmico. Este conjunto é fechado em uma caixa, que também auxilia no isolamento térmico.

Figura 7: Esquema de trocas de energia no coletor.



Fonte: SALES, 2008.

3.4.2 Instalação do Coletor Solar Tipo Plano

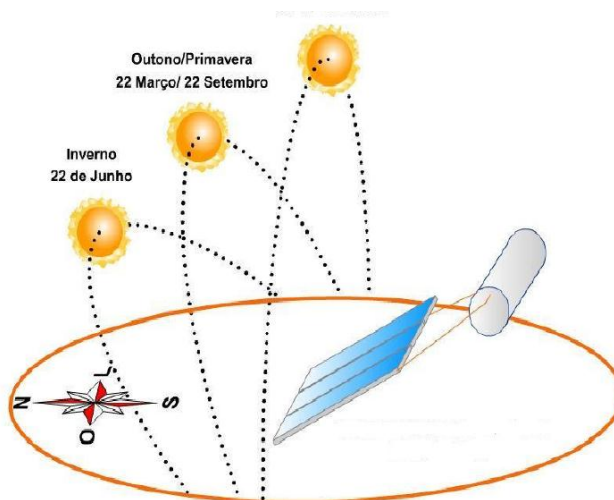
Segundo LIMA (2003), na instalação dos coletores três aspectos devem ser observados para melhorar o aproveitamento da energia disponível:

- Orientação geográfica;
- Ângulo de inclinação com a horizontal;
- Não sombreamento.

Os coletores solares devem ser instalados com sua face voltada para o Norte verdadeiro, que fica aproximadamente 18° à direita do Norte magnético, podendo também aceitar um desvio de 30° para Leste (nascente do sol) ou Oeste (poente do sol). A trajetória do sol é de Leste para Oeste permitindo que o coletor solar orientado para o norte (no hemisfério sul) receba radiação solar o dia todo. A correta posição do coletor solar, escolhendo a inclinação e a orientação geográfica garante uma melhor captação da radiação solar. O coletor deve ser posicionado em relação ao plano horizontal igual à latitude local + 15° . Este ângulo irá garantir um bom rendimento do coletor solar

durante todo o ano. Deve-se ter bastante cuidado com relação aos obstáculos existentes para uns nos outros (SÁLES, 2008).

Figura 8: Representação da orientação e inclinação do coletor solar como condição de instalação.



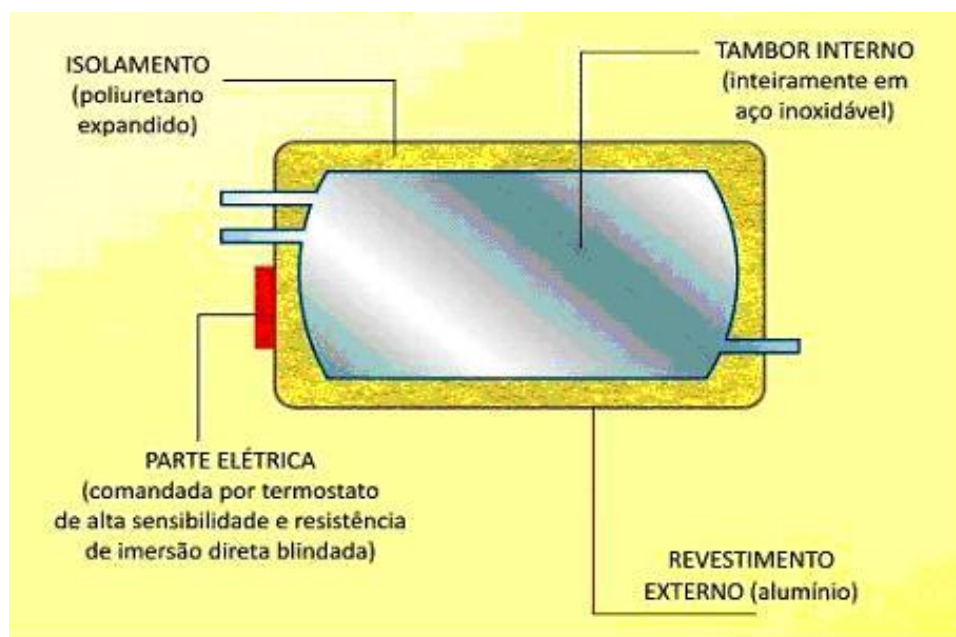
Fonte: SÁLES, 2008.

3.4.3 Reservatório Térmico

O reservatório térmico, ou Boiler, é um recipiente termicamente isolado onde a água aquecida que será consumida posteriormente é armazenada. Este reservatório é mantido sempre cheio, sendo alimentado por uma caixa de água fria.

Independente do tipo de recipiente utilizado, todos devem receber um isolamento térmico externo para minimizar as perdas de calor nas laterais e na tampa superior. Mas conhecemos aplicações sem isolamentos, já que isso depende muito das necessidades térmicas do usuário.

Figura 9: Reservatório térmico.



Fonte: Termoplac, 2014.

3.4.4 Circulação por Termossifão

O sistema em termossifão consiste geralmente num conjunto de coletores ligados a um reservatório bem isolado e posicionado a um nível mais alto do que os coletores. Sem a necessidade de bombas para circular a água, pois a circulação de água faz-se por convecção natural, induzida pela diferença de densidade entre a água quente e fria. A água no coletor fica menos densa ao ser aquecida, deslocando-se para a parte superior do circuito e a água mais fria (mais densa) para a parte mais baixa do circuito. Uma vez no coletor, o ciclo começa de novo e a circulação continua, desde que haja radiação solar. O caudal de circulação aumenta com o aumento da intensidade de radiação solar e a água a utilizar é retirada da parte superior do depósito solar.

Este tipo de sistema pode ser concebido para instalações de grandes dimensões embora seja necessário saber executar bem a ligação entre os painéis. Para localidades com riscos frequentes de congelação deve ser previsto um circuito primário independente.

3.5 Quantidade de Energia Absorvida

De acordo com Costa (2007), o calor útil ganho pelo fluido circulante em uma placa coletora plana pode ser expresso pela seguinte equação 1:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde:

Q - energia total útil transferida para o fluido circulante, em kW .

m - vazão mássica, em kg/s.

C_p - calor específico da água kJ/kg°C.

ΔT - gradiente de temperatura entre a entrada e a saída do fluido, em °C.

3.6 Eficiência Térmica

O procedimento básico para determinar a eficiência térmica instantânea consiste em fazer circular a água no coletor e medir a energia térmica retirada bem como a radiação solar incidente. A quantidade de calor útil retirada é determinada multiplicando a vazão medida pelo calor específico da água e pela diferença de temperatura entre a saída e a entrada do coletor (MOURA, 2011).

Para Costa (2002), ela pode ser definida matematicamente pela equação 2:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} \quad (2)$$

Onde:

η - Eficiência térmica no coletor.

Q_u - Energia total útil transferida para o fluido circulante, em kW.

G_T - Radiação solar incidente no plano do coletor, em W/m².

A_c - Área do coletor, em m².

3.7 Efeito Ambiental

Segundo dados da SOCIEDADE DO SOL (2014), cada KWh que deixa de ser consumido no chuveiro elétrico leva à redução de emissão de aproximadamente 0,6 Kg de gás carbônico, CO₂, nas novas usinas termoeletricas acionadas por gás natural, com a

subsequente redução da velocidade da acumulação deste gás efeito estufa na atmosfera terrestre. Sabendo-se que pelo menos 75% da energia consumida no chuveiro pode ser substituída pela energia proveniente do sol, então (1204 Kwh/família x 75%), ou seja, 903 Kwh deixarão de ser consumidos da rede elétrica por família, por ano. Isto corresponde a uma redução de emissões de CO₂ de (903 Kwh x 0,6 Kg de CO₂), ou seja, 541 kg de CO₂ / ano por família usuária de chuveiro elétrico.

4. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados nas dependências do CCT da UEPB, em Campina Grande - PB, no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Onde o sistema ficou exposto ao sol durante um período de 8h consecutivas.

O sistema de aquecimento é composto pelo coletor solar do tipo plano e um reservatório térmico de água, construídos com materiais alternativos. O coletor solar utilizou-se uma estrutura retangular de alumínio de dimensão (69,5 x 148,5) cm, e placas de PVC (usadas como forro em casas e escritórios) e tubos de PVC. Para o reservatório térmico foi usado um tambor plástico de 20 litros isolado com folhas de poliestireno, como é apresentado na Figura 10.

Figura 10: Reservatório térmico construído com materiais alternativos.



Fonte: Própria, 2014.

O sistema foi operado no modo passivo ou termossifão, onde a circulação da água é feita naturalmente, através do aquecimento do mesmo, fazendo com que sua massa específica diminua e o seu volume aumente, a água quente é menos densa que a água do reservatório, portanto a água fria mais densa empurra a água quente para o reservatório, gerando a circulação.

A obtenção dos dados foi feita através de dispositivos eletrônicos chamados de termopares, foram utilizados 5 sensores distribuídos em posições estratégicas para se

obter a capacidade de transferência de calor. Descritas abaixo e ilustrada na Figura 11 a seguir.

- T_1 : Temperatura de entrada da água fria no coletor;
- T_2 : Temperatura de saída da água aquecida do coletor;
- T_3 : Temperatura no fundo do reservatório;
- T_4 : Temperatura no coletor;
- T_5 : Temperatura ambiente;

Figura 11: Sistema de aquecimento solar.



Fonte: Própria, 2014.

Os dados foram coletados sempre com o coletor orientado para a região norte, de modo que favorecesse a incidência da radiação solar, a coleta foi realizada nos meses de fevereiro e Maio de 2014 por 8h consecutivas (9h - 17h) com intervalos de 1h.

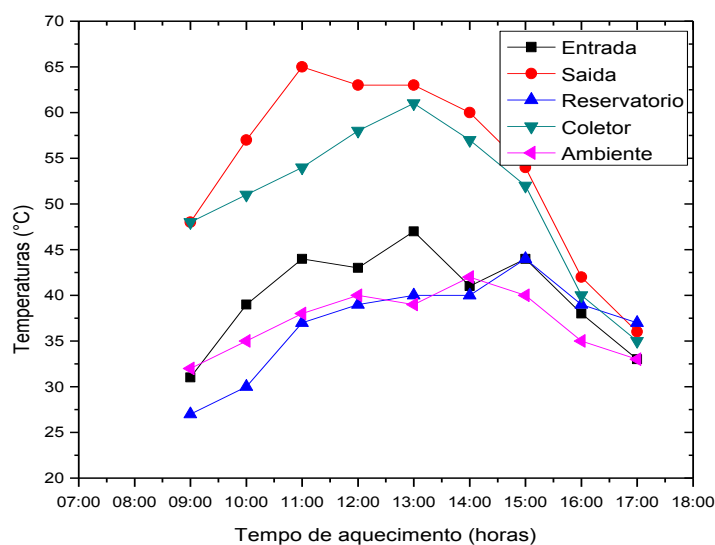
5. RESULTADOS

Inicialmente foram feitos vários testes no sistema, onde foi possível observar se a sua inclinação estava correta, não tinha nenhum vazamento e também não tinha bolhas de ar dentro do sistema, onde isso poderia comprometer a circulação da água. Após todos os testes foi iniciada a coleta dos dados, no total de 10 experimentos.

5.1 Acompanhamento do Aumento da Temperatura da Água no Sistema.

Os experimentos foram realizados nos meses de fevereiro e maio de 2014, totalizando um total de 10 experimentos. A figura 12, representa o comportamento da evolução da temperatura de cada ponto de coleta, onde inserimos o experimento do dia 13/02/2014 e tomamos como exemplo, pois todos os outros experimentos se comportam basicamente da mesma forma.

Figura 12: Comportamento da temperatura em cada ponto de coleta.



Fonte: Própria, 2014.

A partir da figura 12, é possível analisar que entre 12:00 e 13:00 horas é o horário de pico das temperaturas, onde alcança na saída do coletor o valor aproximado de 65°C, isso se dá por que neste horário a radiação solar é mais intensa. De acordo com a norma NBR 7198/82, para aplicações domésticas como banhos e lavagem de

mão, é suficiente prever-se na torneira a água entre 35 e 50 °C. Com isso é necessário a instalação de um misturador, para que proporcione a oferta de água morna.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de temperatura máxima e mínima para cada experimento, a evolução completa das temperaturas de todos os experimentos encontram-se no anexo A.

Tabela 2: Temperaturas (°C) máximas e mínimas de todos os pontos coletados.

Data	Entrada (T ₁)		Saída (T ₂)		Reservatório (T ₃)		Coletor (T ₄)		Ambiente (T ₅)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
13/02	31	47	36	65	27	44	35	61	33	42
14/02	29	39	36	64	28	42	37	65	29	39
17/02	32	38	38	73	27	37	39	70	32	39
18/02	32	43	35	65	33	41	32	62	29	37
19/02	24	39	35	56	29	34	38	54	28	36
20/02	29	45	39	74	28	37	34	54	30	40
12/05	29	39	39	50	29	40	-	-	29	38
19/05	26	39	36	54	27	37	31	40	25	31
20/05	24	40	34	58	24	36	34	58	28	32
21/05	25	38	42	66	25	33	31	52	24	30

Fonte: Própria, 2014.

5.2 Determinação da Quantidade de Energia Absorvida

Com o auxílio da equação 1 e os valores das temperaturas médias na entrada e saída do coletor, foi calculado a quantidade de calor absorvida pelo coletor (Q_u), a

quantidade de calor absorvido pelo coletor é um importante parâmetro utilizado para o correto dimensionamento de um sistema de aquecimento. Este parâmetro foi calculado levando em conta os seguintes valores $\dot{m} = 0,020 \text{ kg/s}$ (SILVA e PANERIRO, 2011) $C_p = 4190 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$

Tabela 3: Temperaturas máximas, mínimas e médias na entrada e saída do coletor.

Data	Temperaturas na entrada do coletor ($^\circ\text{C}$)			Temperaturas na saída do coletor ($^\circ\text{C}$)			ΔT ($^\circ\text{C}$)	Q_u (W)
	Mín.	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Méd.		
13/02	31	47	41	36	65	57	16	1.340,80
14/02	29	39	34	36	64	52	18	1.508,40
17/02	32	38	37	38	73	58	21	1.759,80
18/02	32	43	39	35	65	57	18	1.508,40
19/02	24	39	34	35	56	52	18	1.508,40
20/02	29	45	34	39	74	63	29	2.403,20
12/05	29	39	34	39	50	44	10	838,0
19/05	26	39	34	36	54	48	14	1.173,20
20/05	24	40	35	34	58	57	22	1.843,60
21/05	25	38	34	42	66	52	18	1.508,40

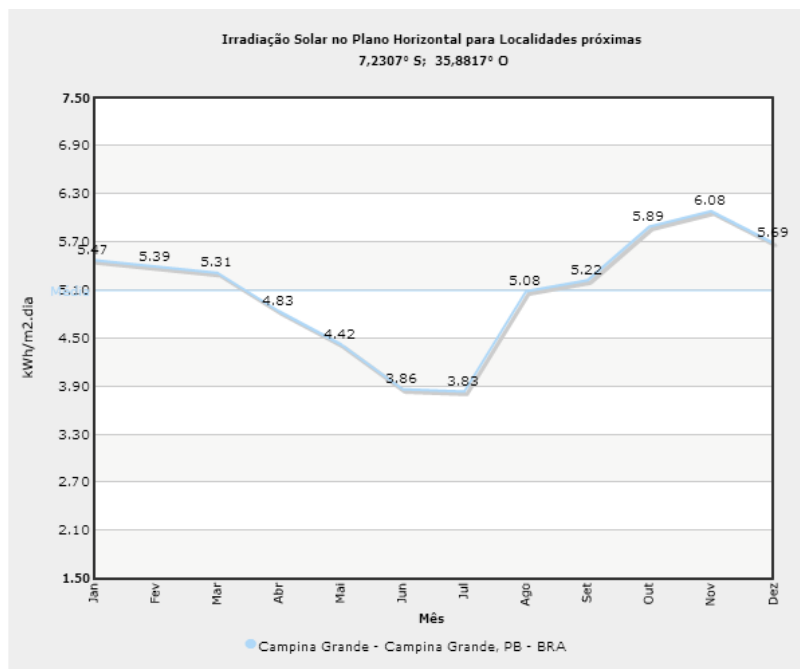
Fonte: Própria, 2014.

5.3 Determinação da Eficiência Térmica do Coletor.

A eficiência térmica (η) do coletor solar de área útil exposta à radiação solar (A_c) é definida como a razão entre o ganho útil de energia durante um período de tempo e a energia solar incidente neste mesmo período (DUFFIE e BECKMAN, 1991), e é calculado pela equação 2, para o cálculo da mesma necessita-se conhecer a radiação solar média (G_T) que incide na área a qual o coletor está localizado. Na impossibilidade

de se medir in loco este valor por falta de equipamento, foi usado os dados fornecidos por SUNDATA (2014) ilustrados na Figura 13 para os meses de fevereiro e maio.

Figura 13: Irradiação mensal para a cidade de Campina Grande.



Fonte: CRESESB, 2014.

Analisando a Figura 13 vamos considerar o valor de 5.390 W/m^2 para o mês de fevereiro e 4.420 W/m^2 para o mês de maio, essa irradiação irá incidir na área do coletor que é de $0,888 \text{ m}^2$. Os resultados das eficiências diárias estão mostrados na Tabela 4, de onde se obtém uma eficiência média para o coletor de $34,61 \%$.

Tabela 4: Eficiências diária e média do coletor.

Data do experimento	Q_u (W)	$A_c \cdot G_T$ (W)	η (%)
13/02	1.340,80	4.786,32	28,0
14/02	1.508,40	4.786,32	31,5
17/02	1.759,80	4.786,32	36,8
18/02	1.508,40	4.786,32	31,5
19/02	1.508,40	4.786,32	31,5
20/02	2.403,20	4.786,32	50,2
12/05	838,00	3.924,96	21,3
19/05	1.173,20	3.924,96	29,9
20/05	1.843,60	3.924,96	47,0
21/05	1.508,40	3.924,96	38,4
Media	1.508,40	4.783,32	34,61

Fonte: Própria, 2014

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados, foi possível obter as seguintes conclusões:

A implementação de sistemas de aquecimento de água por energia térmica solar é economicamente viável, tornando um produto acessível a população menos favorecida.

No experimento que foi monitorado durante 10 dias, a temperatura no interior do reservatório térmico, foi em média de 33°C, demonstrando ser uma temperatura ideal para uso no banho.

Os resultados obtidos mostraram que o sistema proposto é bastante satisfatório, tanto em relação ao custo benefício, quanto em relação ambiental, podendo ser citado os seguintes pontos positivos: preservação ambiental, preservação de energia, possibilidade de geração de empregos, conscientização política, entre outros.

Espera-se que com essas inúmeras vantagens, as futuras construções civis sejam projetadas e executadas, a fim de permitir a utilização do sistema de aquecimento solar pelos usuários.

Aos profissionais da área, cabe sempre buscar incentivos de pesquisas da tecnologia de aquecimento solar, pois ainda há o que melhorar, para desenvolver novos modelos mais eficientes e que auxiliem na conservação de energia.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 1982.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010.

disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)

Acesso em: Março, 2014.

BRASIL. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. **Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências.** Brasília: Diário Oficial da União, 2001b.

BRASIL. Lei nº 10295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.** Brasília: Diário Oficial da União, 2001a.

COSTA, E. R. **Limitações no Uso de Coletores Solares sem Cobertura para Sistemas Domésticos de Aquecimento de Água.** 2002. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia, na área de concentração em energia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS. Porto Alegre, 2002.

COSTA, R. C.; PRATES, C. P. T. **O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético e Barreiras à sua Penetração no Mercado.** 2005.p. 7-8.

COSTA, R. N. A. **Viabilidades Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de Água a Baixo Custo para Fins Residenciais.** 2007. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>

Acesso em: Março, 2014.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar engineering of thermal processes. 2 Ed. New York:John Wiley & Sons, 1991.

ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: Ano base 2005 - Classe residencial. Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

FANTINELLI, J.T., PEREIRA, J.T.V., PEREIRA, E.M.D. As Ações para o Incentivo ao Uso de Sistemas Termossolares na Habitação Brasileira de Interesse Social, Anais do V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE, Brasília, Brasil, pp. 1-13, 2006.

GALDINO, A.E. et al. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. **Revista da DIRENG–Diretoria de Engenharia Aeronáutica**, 2009. Disponível em: http://www.lourivalgomes.com.br/Contexto_Energia_Renovavel.pdf
Acesso em: Março, 2014.

GILLINGHAM, K., 2009. Economic Efficiency of Solar Hot Water Policy in New Zealand, **Energy Policy** 37, pp. 3336-3347.

IEA – International Energy Agency. Disponível em: <http://www.IEA.org>
Acesso em: Janeiro 2014.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>
Acesso em: Março, 2014.

KALOGIROU, S. Thermal Performance, Economic and Environmental Life Cycle Analysis of Thermosiphon Solar Water Heaters. **Solar Energy, Tampa**, v. 83, n. 1, p. 39-48, 2009.

LIMA, J. B. A. **Otimização de Sistema de Aquecimento Solar de Água em Edificações Residenciais Unifamiliares Utilizando o Programa Trnsys**. 142 f.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LÍVIA, L. S.; JÚLIO, C. P. **Monitoramento Físico de um Aquecedor Solar de Baixo Custo**, Anais do XVI Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da PUC - Campinas , 2011.

MANO, E. B.; PACHECO, E. B.; BONELLI, C. M. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. Satellite-derived Solar Resource Maps for Brazil Under SWERA Project. **Solar Energy, Tampa**, v. 81, n. 4, p. 517-528, 2007.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing Information for Solar and Wind Energy Technology Deployment in Brazil. **Energy Policy, Hastings**, v. 39, n. 7, p. 4378-4390, 2011.

MASTERSOL. Disponível em: <http://www.mastersol.com.br>

Acesso: Fevereiro 2014.

MOURA, F. L. **Avaliação de um Coletor Solar de Baixo Custo para Aquecimento de Água para Uso Residencial**. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

MOVIMENTO TERRAS. Disponível em: <http://www.movimentoterras.com.br>

Acesso em: Março 2014.

PENERIRO, J. C.; SILVA, L. L. **Monitoramento Físico de um Aquecedor Solar de Baixo Custo**. Anais do XVI Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da PUC-Campinas, 27 e 28 de setembro de 2011.

PEREIRA, R. C. **Eficiência Térmica de Coletores Solares de Baixo Custo – CSBC**. In: 17º Congresso Brasileiro De Engenharia e Ciência Dos Materiais. Anais... Foz do Iguaçu – PR, 2006.

SÁLES, I. C. F. **Análise da Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedor Solar: Uma Contribuição ao Setor Elétrico na Conservação de Energia**. Dissertação (mestrado) – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SOCIEDADE DO SOL. Disponível em: <http://www.sociedadedosol.org.br>

Acesso em: Fevereiro, 2014.

TECNO CURIOSO. Disponível em: <http://www.tecnocurioso.com.br>

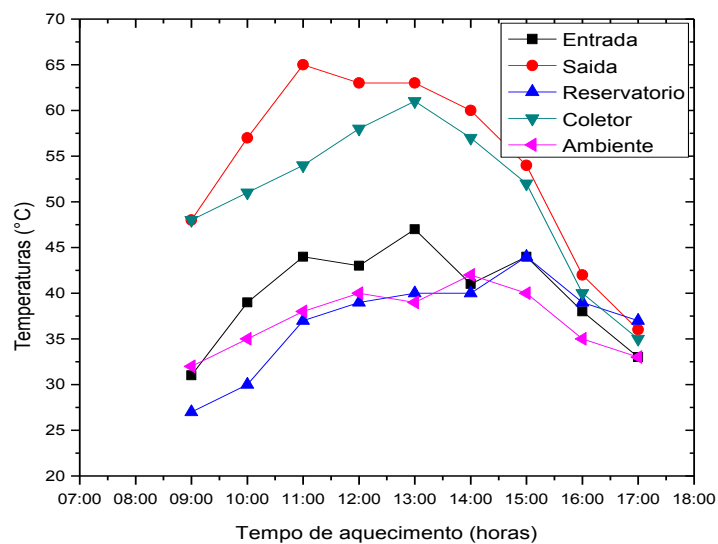
Acesso em: Fevereiro, 2014.

TERMOPLAC. Disponível em: <http://www.termoplac.net>

Acesso em: Fevereiro, 2014.

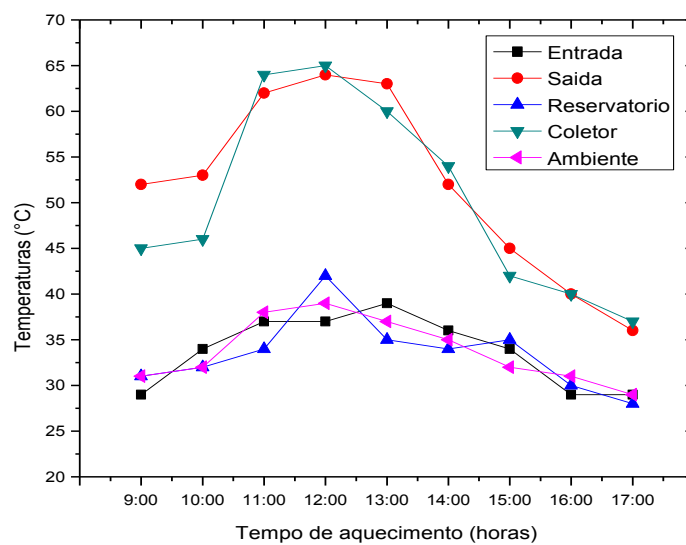
ANEXO A - Evolução das temperaturas nos vários pontos do sistema.

Figura A1 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (13/02/2014)



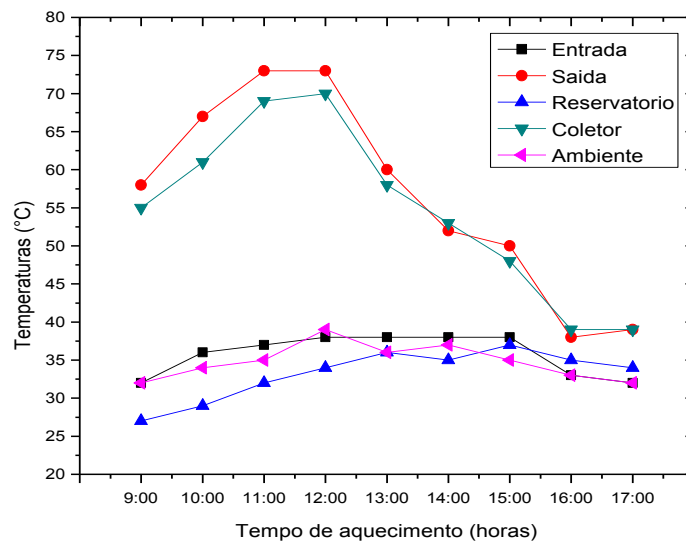
Fonte: Própria, 2014.

Figura A2 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (14/02/2014)



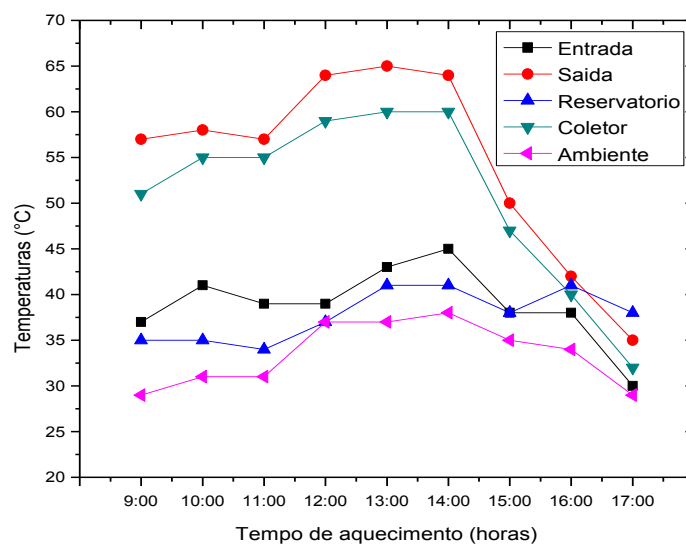
Fonte: Própria, 2014.

Figura A3 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (17/02/2014)



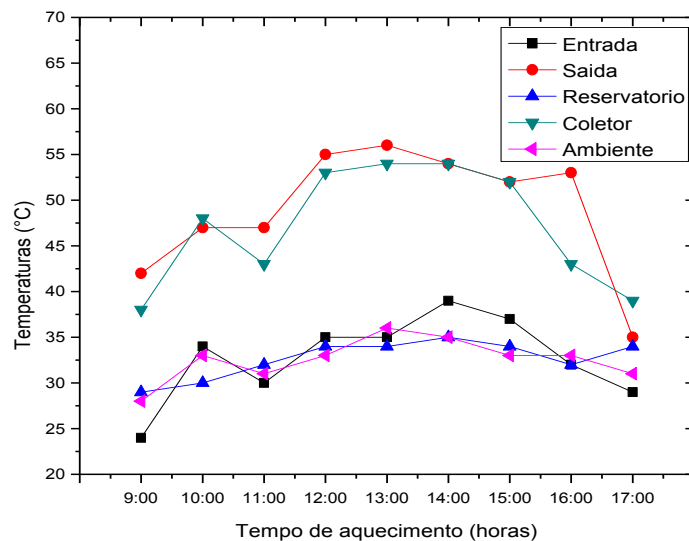
Fonte: Própria, 2014.

Figura A4 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (18/02/2014)



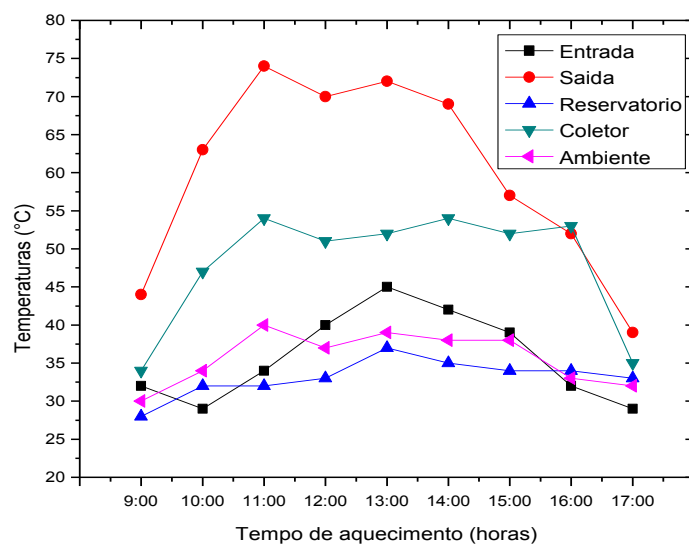
Fonte: Própria, 2014.

Figura A5 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (19/02/2014)



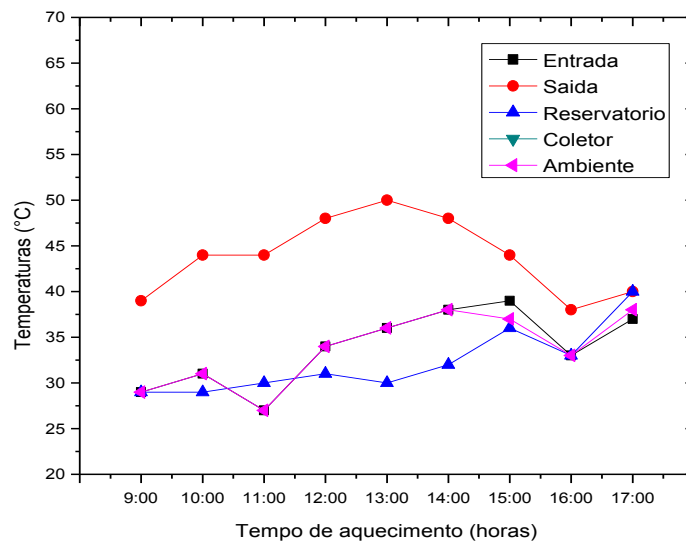
Fonte: Própria, 2014.

Figura A6 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (20/02/2014)



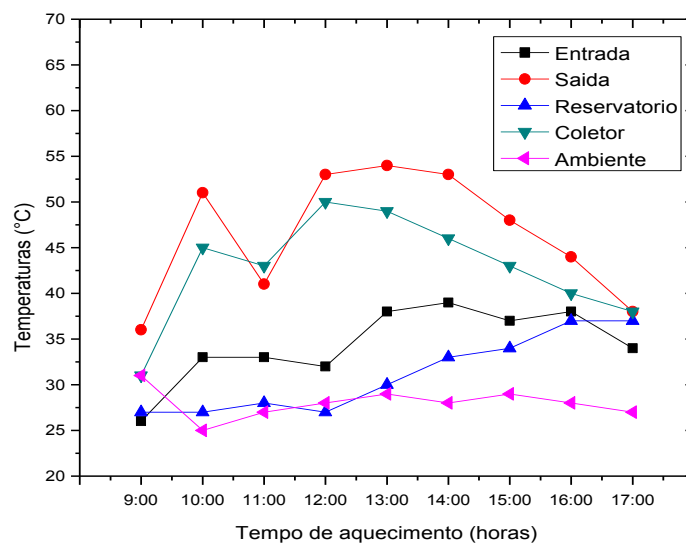
Fonte: Própria, 2014.

Figura A7 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (12/05/2014)



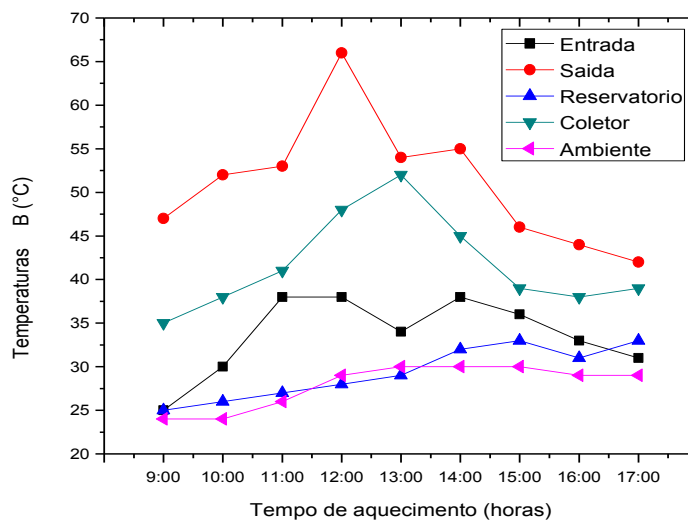
Fonte: Própria, 2014.

Figura A8 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (20/05/2014)



Fonte: Própria, 2014.

Figura A9 – Evolução das temperaturas do experimento 01 (21/05/2014)



Fonte: Própria, 2014.