

JANAÍNA DOMINGUES GONÇALVES

ANÁLISE DOS PARÂMETROS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DO
AQUECEDOR SOLAR A VÁCUO, VISANDO ECONOMIA DE ENERGIA

Trabalho de Graduação
apresentado ao Conselho de Curso de
Graduação em Engenharia Elétrica da
Faculdade de Engenharia do Campus
de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof.Dr. Teófilo Miguel de Souza

Guaratinguetá
2014

Gonçalves, Janaína Domingues
G635a Análise dos parâmetros técnicos e econômicos do aquecedor solar a vácuo, visando economia de energia / Janaína Domingues Gonçalves – Guaratinguetá : [s.n], 2014.
42 f : il.

Bibliografia: f. 41-42

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.
Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

1. Aquecedores solares de água 2. Energia – Fontes alternativas
3. Energia solar I. Título

CDU 697.329

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DO AQUECEDOR
SOLAR VISANDO ECONOMIA DE ENERGIA**

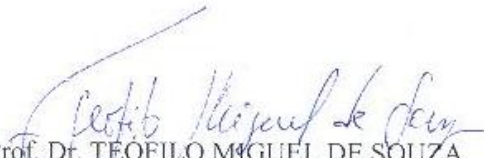
JANAÍNA DOMINGUES GONÇALVES

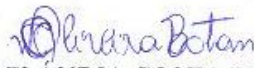
**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"**


**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Prof. Dr. Leonardo Mesquita
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador/UNESP-FEG


MARIA CLÁUDIA COSTA DE OLIVEIRA BOTAN
Ma. em Meio Ambiente e Recursos Hídricos/UNIFEI


THAIS SANTOS CASTRO
Ma. em Engenharia Mecânica/UNESP

2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado muita vontade e força para superar obstáculos, além de foco para realizar os meus sonhos.

Agradeço aos meus pais, Joubert e Laura, e a minha irmã Jéssica, que sempre me apoiaram em minhas escolhas e me incentivaram a nunca desistir.

A toda minha família, pela confiança que depositaram em mim, o que também me ajudou a seguir sempre em frente.

Ao Prof. Eduardo Benedito dos Santos, da Praça do Gás, Guaratinguetá, por ter cedido gentilmente o aquecedor solar com tubos a vácuo, para que se realizassem os experimentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, que abriu as portas do Centro de Energias Renováveis e me deu a oportunidade de fazer esse trabalho, estando sempre disponível para me auxiliar, solucionar minhas dúvidas e me mostrar um novo caminho pelo qual poderia resolver algum problema.

E ao meu namorado, por estar junto de mim na maior parte dessa trajetória, sempre me ajudando a estudar e me apoiando em momentos difíceis.

“A inteligência é inata, mas a sabedoria se aprende.”

Provérbio Chinês

GONÇALVES, J. D. **Obtenção dos parâmetros técnicos e econômicos do aquecedor solar a vácuo, visando economia de energia.** 2014. Trabalho de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

RESUMO

Neste trabalho desenvolveu-se o estudo de um aquecedor solar a vácuo. Para tal, realizaram-se medidas de vazão, temperatura da água e ambiente, umidade relativa do ar, densidade de potência solar e velocidade do vento. Primeiramente fez-se uma breve explicação da situação mundial em relação ao uso cada vez mais acelerado de fontes não renováveis de energia, o que pode acarretar em um esgotamento destas para gerações futuras. A partir disso, propõe-se uma análise desse aquecedor solar com tubos a vácuo durante a estação de inverno na região sudeste do Brasil, em diferentes condições ambientais. Com as condições definidas tornou-se possível apresentar, através da parte experimental, dos cálculos e dos resultados gráficos, que a tecnologia e a atuação desse aparelho são viáveis, técnica e economicamente, de acordo com seu período de vida útil. Verificou-se ainda que a produção média mensal em uma situação de insolação máxima foi de 193,33kWh, e na insolação mínima foi de 57,76kWh. O que revela que este instrumento deve começar a ser examinado mais atentamente por todos, como uma forma de redução do uso da eletricidade, que irá proteger o meio ambiente sem reduzir o conforto das pessoas.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecedor Solar. Energia Renovável. Sol. Meio Ambiente.

GONÇALVES, J. D. **Obtaining technical and economic parameters of solar heater, aiming energy saving.** 2014. Graduation work (Graduation in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

ABSTRACT

This work is about a development of a vacuum solar water heater. To accomplish this, some measurements were made, such as flow, water temperature and room temperature, relative humidity, solar power density and wind speed. It first presents a brief explanation about the global situation in relation to the accelerated use of exhaustible energy sources which can result in a breakdown of these for future generations. From this, is proposed to analyze this solar water heater with vacuum tubes during the winter season in Brazil southeastern region, under different environmental conditions. From such ideas became possible to prove through the experimental part, calculations and graphical results that technology and the performance of this device are technical and economically viable, according to the life cycle of this. It was also found that the average monthly production in a maximum heat stroke situation was 193,33kWh and minimum isolation was 57,76kWh. This reveals that this instrument should start to be examined more closely by all, as a way to reduce the use of electricity, which will protect the environment without reducing the comfort of people.

KEYWORDS: Solar heater. Renewable Energy. Sun. Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Atlas Solarimétrico do Brasil	13
Figura 2 – Termômetro MT-521.	16
Figura 3 – Termopares Tipo K.	17
Figura 4 – Termo-higrômetro MT-230A.....	17
Figura 5 - Medidor de densidade de potência solar MES-100	18
Figura 6 - Anemômetro AD-250.....	19
Figura 7 - Sistema de aquecimento solar de água com tubos a vácuo.	19
Figura 8 - Aquecedor Solar compacto com caixa reguladora.	21
Figura 9 - Tubo de vidro do aquecedor solar.	22
Figura 10 - Gráfico de temperatura x tempo (seção 3.1.1).....	27
Figura 11 - Gráfico de incidência de radiação solar x tempo (seção 3.1.1)	27
Figura 12 - Gráfico de temperatura x tempo, período matutino - até às 12h10min (seção 3.1.2).	29
Figura 13 - Gráfico de temperatura x tempo, período da tarde - a partir das 15h30min (seção 3.1.2)	29
Figura 14 - Gráfico de temperatura x tempo (seção 3.2.1).....	31
Figura 15 – Gráfico de temperatura x tempo (seção 3.2.2).....	32
Figura 16 - Gráfico de incidência de radiação solar x tempo (seção 3.3.1)	34
Figura 17 - Gráfico de temperatura x tempo (seção 3.3.1).....	35
Figura 18 - Gráfico de incidência de radiação solar x tempo (seção 3.3.2)	37
Figura 19 - Gráfico de temperatura x tempo (seção 3.3.2).....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados gerais obtidos no dia 10/06/2014	26
Tabela 2 – Dados gerais obtidos no dia 07/08/2014 (seção 3.1.2)	28
Tabela 3 – Dados gerais obtidos no dia 26/06/2014.....	30
Tabela 4 – Dados gerais obtidos no dia 07/08/2014 (seção 3.2.2)	32
Tabela 5 – Dados gerais obtidos no dia 04/06/2014.....	33
Tabela 6 – Dados de velocidade do vento obtidos no dia 04/06/2014	34
Tabela 7 – Dados gerais obtidos no dia 17/09/2014.....	35
Tabela 8 – Dados de velocidade do vento obtidos no dia 17/09/2014	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	12
1.2 MOTIVAÇÃO.....	12
1.3 IMPORTÂNCIA	14
1.4 OBJETIVOS.....	14
1.5 ETAPAS	14
2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	16
2.1 INSTRUMENTAÇÃO	16
2.1.1 Termômetro MT-521	16
2.1.2 Termo-higrômetro MT-230A	17
2.1.3 Medidor de densidade de potência solar MES-100	18
2.1.4 Anemômetro digital portátil AD-250	18
2.2 O AQUECEDOR.....	19
2.3 OS EXPERIMENTOS.....	21
2.3.1 Primeiro teste – Avaliação do incremento da temperatura	21
2.3.2 Segundo teste – Temperatura da água do reservatório térmico diminuindo até tornar-se próxima da temperatura ambiente	22
2.3.3 Terceiro teste – Exibição dos dados obtidos ao longo do período de estudo	22
2.4 CONSIDERAÇÕES E ILUSTRAÇÕES DOS CÁLCULOS	22
2.4.1 Área do tubo que efetivamente recebe radiação solar	22
2.4.2 Previsão do valor economizado com a utilização do aquecedor	23
3 RESULTADOS	26
3.1 PRIMEIRO TESTE	26
3.1.1 Período nublado com garoa	26
3.1.2 Período com poucas nuvens e sem Sol	28
3.2 SEGUNDO TESTE	30

3.2.1 Período ensolarado com poucas nuvens	30
3.2.2 Período com muitas nuvens	31
3.3 TERCEIRO TESTE	33
3.3.1 Período de Sol, com posterior garoa à tarde	33
3.3.2 Período ensolarado	35
3.4 CÁLCULO DA ÁREA TOTAL DO TUBO QUE RECEBE A INCIDÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR	38
3.5 PREVISÃO DO VALOR ECONOMIZADO UTILIZANDO O AQUECEDOR	38
3.5.1 Período com menor média de temperatura ambiente	38
3.5.2 Período com maior média de temperatura ambiente	39
3.5.3 Previsão do aquecedor solar substituindo o chuveiro elétrico	40
4 CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este trabalho tem como finalidade estudar o aquecedor solar a vácuo da empresa Solar Evolution, instalado no Centro de Energias Renováveis no campus da UNESP de Guaratinguetá.

Na realização do estudo foi utilizada uma instrumentação adequada para se obter os parâmetros necessários de vazão, temperatura ambiente e da água, velocidade do vento, umidade relativa do ar e incidência solar. Com as medidas obtidas, tornou-se possível verificar a eficiência em diferentes situações.

Após essa etapa inicial, analisaram-se os resultados, os quais serviram para realizar uma comparação de tal equipamento com um chuveiro elétrico, visando uma economia de energia elétrica.

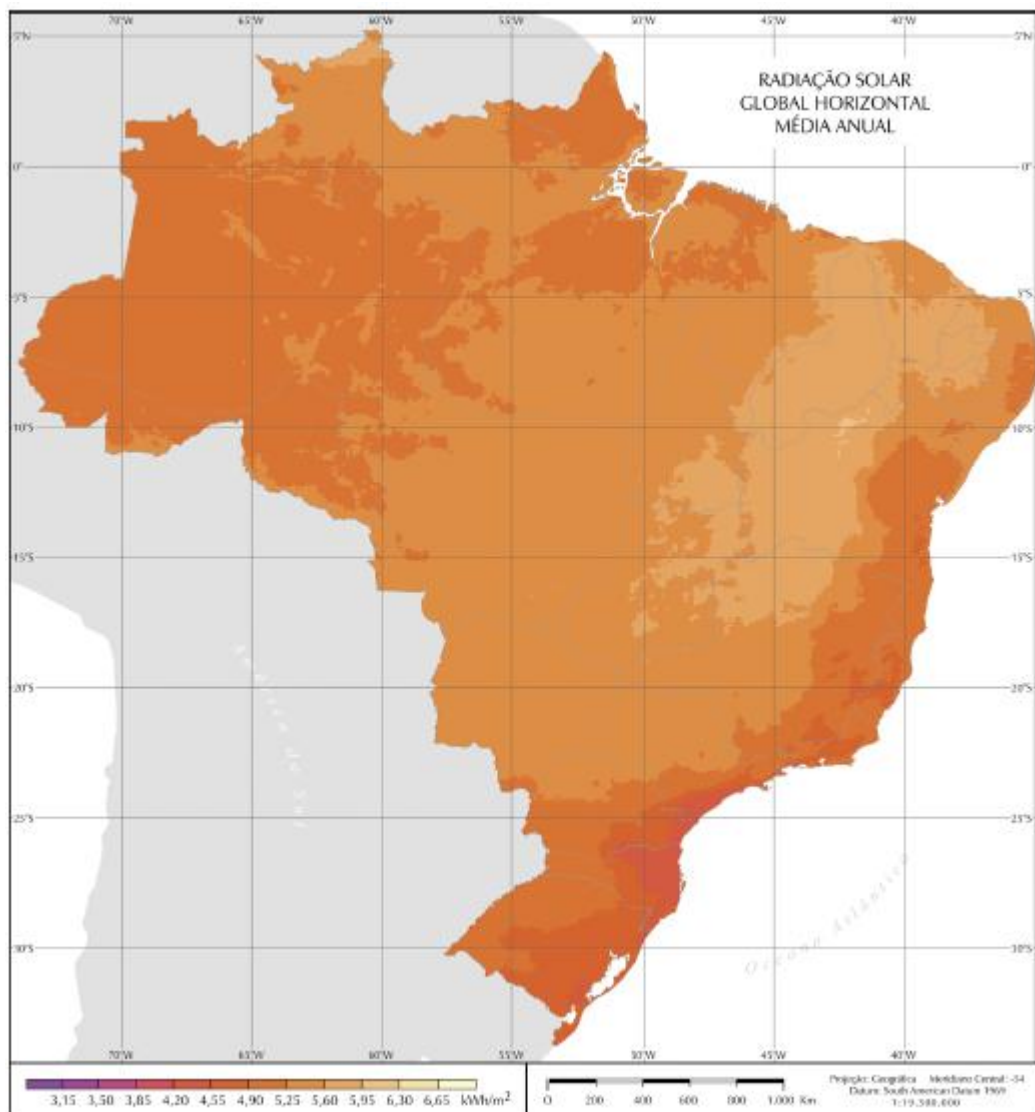
1.2 MOTIVAÇÃO

Um dos assuntos que se tornou evidente nas primeiras décadas do século XXI foi a criação de novos métodos de conservação do meio ambiente. Isso se deve ao fato do agravamento do aquecimento global, que pode ser percebido nas mudanças climáticas que vem acontecendo em todo planeta Terra, com diferentes níveis de intensidade.

A fim de minimizar a emissão de gases poluentes, e tentando garantir recursos energéticos para gerações futuras sem reduzir o nível de qualidade, empresas vêm investindo capital em pesquisas relacionadas às fontes de energia renováveis, como o Sol, por exemplo.

Os aquecedores solares a vácuo são apresentados como uma das soluções, pois fazem uso da média/alta quantidade de radiação solar que incide sobre o Brasil, como ilustra a Figura 1. Esse equipamento é responsável por absorver o calor obtido ao longo de um período e transferi-lo para a água. Ele recebe este nome porque o isolamento que evita a perda de calor da água é o vácuo.

Figura 1 – Atlas Solarimétrico do Brasil



Fonte: (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006).

Tal aparelho tem facilidade de instalação (é viável em lugares de difícil acesso, pois não demanda complexidade), tem alta durabilidade e baixa necessidade de manutenção. Além da garantia de fornecimento de calor mesmo quando há menor incidência solar, como é o caso do período de inverno.

Percebeu-se também que o equipamento não possui o selo PROCEL, o qual sinaliza os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Além de estimular a comercialização destes e contribuir para um desenvolvimento tecnológico e redução de impactos ambientais (INMETRO). A motivação é mostrar que o instrumento pode entrar nessa categoria e receber tal selo.

1.3 IMPORTÂNCIA

“Na média nacional, o setor residencial é responsável por 24% do total de energia elétrica consumida no país. Neste setor, o gasto de energia elétrica com o aquecimento de água corresponde a 26% do total” (PEREIRA, ET al. 2005).

Uma alternativa ambientalmente sustentável é realizar a substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares, os quais atingem temperaturas até três vezes maiores que os sistemas convencionais. A intenção é aumentar o uso desse equipamento no mercado nacional, sem reduzir a qualidade de vida das pessoas.

A captura da radiação solar não envolve emissão ou geração de matéria poluente ou de gases do efeito estufa. A fonte de energia solar é vasta e essencialmente infinita (CEMIG,1987). Além de gratuita e viável em praticamente todos os países de clima tropical, como é o caso do Brasil. E, no caso do país, o preço que se paga para obter energia elétrica, ainda é alto. Por isso percebe-se uma grande oportunidade de expansão nessa forma renovável de obter energia.

1.4 OBJETIVO

O propósito do trabalho é analisar o desenvolvimento do aquecedor solar a vácuo da Solar Evolution e simular uma substituição a equipamentos residenciais.

Com os resultados das medições de vazão, temperatura, velocidade do vento, umidade e densidade de potência solar, realizadas em diferentes situações, haverá a possibilidade de analisá-lo e, a partir desses dados, relacionar o equipamento em estudo com os térmicos utilizados atualmente, como o chuveiro elétrico.

1.5 ETAPAS

O trabalho foi dividido em cinco partes e tem o intuito de proporcionar um melhor entendimento sobre o assunto em questão.

O primeiro capítulo, a introdução, apresenta o tema escolhido. Este traz o motivo pelo qual se escolheu o aquecedor solar com tubos a vácuo, mostrando algumas preocupações atuais, sugestões de melhoria e também os objetivos que se pretende atingir.

O segundo capítulo é voltado para a parte experimental. Apresentou-se o equipamento estudado, a aparelhagem utilizada e os procedimentos no período de estudo. E, a partir dos

dados, tem-se o intuito de se analisar como tal se desenvolve nas diferentes situações criadas e impostas a ele.

No terceiro capítulo são mostrados os resultados, ilustrados em forma de gráficos e tabelas, os quais didaticamente facilitam no entendimento das posteriores argumentações realizadas. Neste, também se apresentam valores relevantes calculados e uma simulação do valor de energia economizado com a utilização do equipamento.

Na quarta parte apresenta-se a conclusão, sintetizando as principais ideias, desde a análise inicial até o alcance dos objetivos.

A quinta parte é referente à finalização do trabalho, com a apresentação de toda a bibliografia utilizada.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesse estudo utilizou-se um conjunto de instrumentos de medidas adequados para realizar as diferentes medições necessárias. Tais equipamentos, e suas respectivas especificações, são apresentados nos itens seguintes.

2.1 INSTRUMENTAÇÃO

2.1.1 Termômetro MT 521

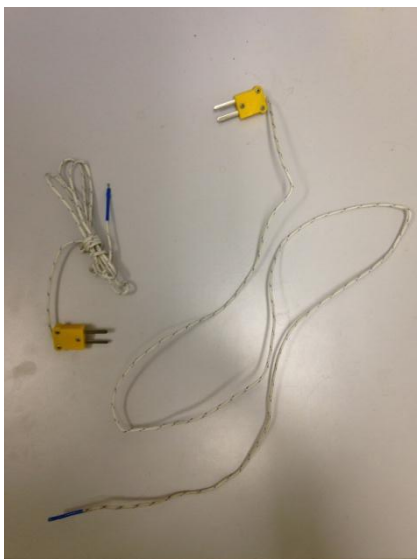
O termômetro MT 521, ilustrado pela Figura 2, foi utilizado para medir a temperatura. É digital, portátil, possui dois canais, LCD de quatro dígitos, precisão de medida $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e congelamento de leitura. Realiza medidas de temperatura na faixa de -200°C a 1370°C . Para obter a medida, conecta-se ao termômetro o termopar tipo K, apresentado na Figura 3.

Figura 2 – Termômetro MT-521



Fonte: Autor

Figura 3- Termopares tipo K

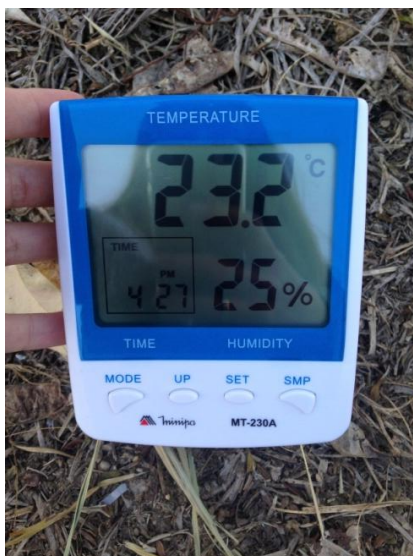


Fonte: Autor

2.1.2 Termo-higrômetro MT-230A

O termo-higrômetro MT-230A, mostrado na Figura 4, tem como função monitorar a umidade relativa do ambiente. Possui um sensor interno, com leitura de temperatura. A temperatura de operação é de 0°C a 50°C.

Figura 4 – Termo-higrômetro, da marca Minipa, MT-230A



Fonte: Autor

2.1.3 Medidor de densidade de potência solar MES-100

O medidor de densidade de potência solar MES-100, ilustrado pela Figura 5, indica o nível de radiação do Sol em determinado lugar do campo de trabalho. Pode ser chamado também de medidor de energia solar. A medição é feita de maneira automática, possui display de cristal líquido (LCD) de quatro dígitos, escala máxima de $2.000\text{W}/\text{m}^2$, precisão de $\pm 10\text{W}/\text{m}^2$ e temperatura de operação de 0°C a 50°C .

Figura 5- Medidor de densidade de potência solar MES-100



Fonte: Autor

2.1.4 Anemômetro digital portátil AD-250

O anemômetro digital portátil AD-250, ilustrado na Figura 6, registra a velocidade do vento. Ele tem display de cristal líquido (LCD) com três dígitos, precisão de $\pm 3\%$, sensor (ventoinha) incorporado ao aparelho e temperatura de operação de 0°C a 50°C .

Figura 6 - Anemômetro AD-250



Fonte: Autor

2.2 O AQUECEDOR

O equipamento estudado, e sobre o qual foram impostas algumas condições, é o aquecedor a vácuo da Solar Evolution, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Sistema de aquecimento solar de água com tubos a vácuo



Fonte: Autor

“O sistema consiste basicamente de um arranjo de coletores solares planos conectados em paralelo, um reservatório térmico cilíndrico, tubulações hidráulicas de conexão entre os coletores e o tanque” (SIQUEIRA,1998). No equipamento estudado há ainda um tanque auxiliar, ou caixa reguladora de água fria.

Os coletores, com 1800mm são formados por dois tubos de vidro concêntricos, com uma camada de vácuo entre eles. “O vácuo funciona como um potente isolante térmico. Assim enquanto a água é aquecida no interior do tubo, a perda de calor para o meio externo é quase nula” (ECO AQUECEDORES, 2014).

O tubo externo tem 58mm de diâmetro e é transparente, o que permite passar a irradiação solar. O mais interno recebe uma pintura especial na cor azul escuro, para absorver mais rapidamente a irradiação e transformá-la em calor, o qual será mantido pelo vácuo existente entre as camadas. A absorção de energia desses coletores pode ter eficiência maior que 93%.

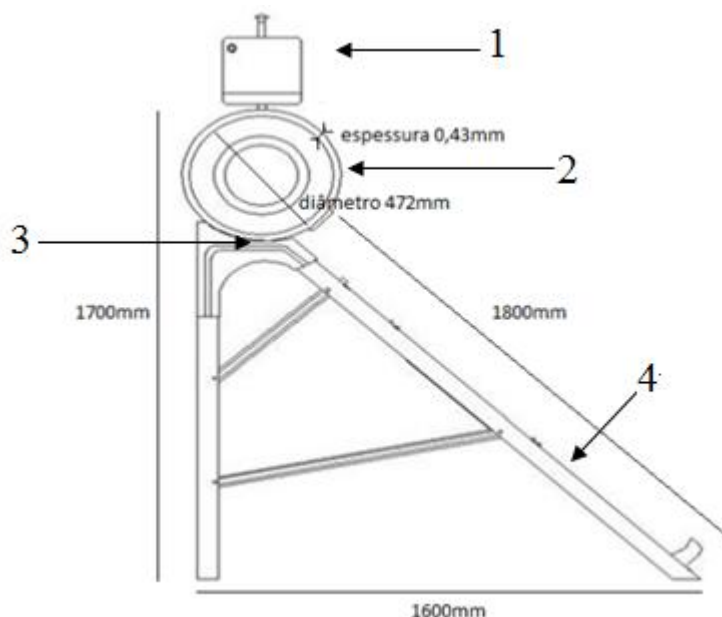
O reservatório térmico cilíndrico tem capacidade de 100L, é de aço galvanizado pintado na cor branca, com diâmetro de 472mm e espessura de 0,43mm.

A caixa reguladora é opcional, com capacidade para 20L.

A estrutura do equipamento é formada por ligas de alumínio e o posicionamento destas é muito importante, visto que determina o melhor desempenho do equipamento anual. Existe um ângulo α de inclinação sobre a horizontal a um nível vertical, que é obtido pela latitude do local mais 10° (AVILÉS, 2011) direcionado para o Norte. Com declinação magnética de 20° , a direita do norte magnético.

A Figura 8 ilustra a vista lateral do equipamento, com as medidas citadas acima.

Figura 8 – Aquecedor solar compacto com caixa reguladora



Fonte: (www.solarevolution.com.br, visitado em 12/10/2014, com adaptações do autor).

1. Caixa reguladora e entrada de água fria.
2. Reservatório térmico de água quente.
3. Saída de água quente, para consumo.
4. Tubos concêntricos isolados a vácuo.

2.3 OS EXPERIMENTOS

Como citado anteriormente, no item 1.5, o aparelho foi exposto a diferentes condições climáticas. Foram realizados testes para avaliar como a temperatura da água varia e, com os dados, tornou-se possível fazer uma substituição do chuveiro elétrico e compará-los sobre o ponto de vista de obtenção da energia e também financeiro.

2.3.1 Primeiro teste – Avaliação do incremento da temperatura

Para avaliar o incremento da temperatura, fechou-se a torneira que permite o fluxo da água fria até o *boiler*. Depois, abriu-se a torneira do *boiler* para eliminar toda a água armazenada. Com o *boiler* vazio, a torneira de fornecimento de água foi reaberta e a de saída, fechada. Periodicamente realizaram-se medições da temperatura da água.

2.3.2 Segundo teste – Temperatura da água do reservatório térmico diminuindo até torna-se próxima da temperatura ambiente

Para este experimento, tanto a torneira de fornecimento de água fria, quanto a do *boiler*, foram mantidas abertas. A temperatura da água no *boiler* diminuiria e o intuito era analisar quanto tempo esta demoraria a ter sua temperatura próxima a do ambiente. A partir desse ponto também se avaliou quantos banhos seria possível tomar com a água armazenada, supondo cada banho com dez minutos de duração.

2.3.3 Terceiro teste – Exibição dos dados obtidos ao longo do período de estudo

O estudo foi realizado ao longo de três meses, no período de inverno do Brasil - de junho a setembro - do ano de 2014.

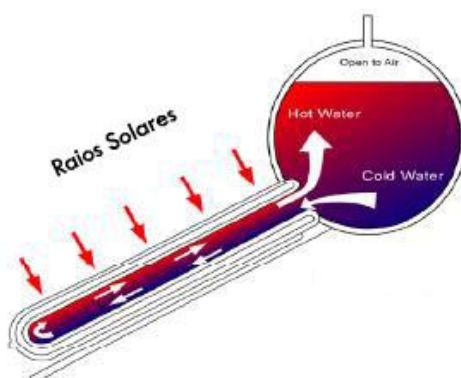
Neste teste serão mostradas tabelas com novas informações, as quais poderão auxiliar no entendimento da relação existente entre os valores obtidos experimentalmente e o desempenho do equipamento no período.

2.4 CONSIDERAÇÕES E ILUSTRAÇÕES DOS CÁLCULOS

2.4.1 Área do tubo que recebe radiação solar

A Figura 9 ilustra a parte do tubo que tem efetivamente a incidência da radiação solar, mostrando que só a metade de qualquer um dos tubos recebe essa radiação.

Figura 9 – tubo de vidro do aquecedor solar



A área, de um tubo, que efetivamente recebe a incidência da radiação solar é dada pela equação (1).

$$A_1 = \pi.r.l \quad (1)$$

Onde:

A_1 = área de um tubo que receberá a radiação [mm^2];

r = raio do tubo [mm];

l = comprimento do tubo [mm].

Com o valor de A_1 , é possível calcular a área total do equipamento que recebe radiação solar. O equipamento é composto por dez tubos, portanto deve-se realizar o cálculo dado pela equação (2).

$$A_{\text{total}} = 10.A_1 \quad (2)$$

Onde:

A_{total} = área do equipamento que recebe radiação solar [mm^2].

2.4.2 Previsão do valor economizado com a utilização do aquecedor

Para que se faça uma eficiente substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar a vácuo, é preciso realizar algumas análises e considerações.

A quantidade de calor Q tem como efeito alterar a temperatura de um corpo, que no caso desse projeto, é a água. Para tal cálculo utiliza-se a equação (3).

$$Q = m.c.\Delta t \quad (3)$$

Onde:

Q = quantidade de calor [kcal];

m = massa de água [1L = 1kg];

c = calor específico da substância que constitui o corpo [kcal/kg°C];

$\Delta t = (t_{\text{água}} - t_{\text{ambiente}}) = \text{variação da temperatura } [^{\circ}\text{C}]$.

O valor de Q tem que ser representado pela unidade de medida Joule (J). Para tal, utiliza-se a transformação abaixo.

$$1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ}$$

Com isso, a potência média gerada por um período de 5 horas será calculada pela equação (4).

$$P = \frac{Q}{5 \times 3600} \quad (4)$$

Onde:

P = potência [kW].

Com o valor de potência média e, através do tempo h de exposição diária, determina-se o valor em kWh por dia, como ilustra a equação (5).

$$E = P.h \quad (5)$$

Onde:

E = energia gerada [kWh];

h = período de análise [horas].

Para descobrir a quantidade de watts consumida no mês, basta multiplicar o valor de E pelos dias de um mês (30 dias), como mostra a equação (6).

$$E_m = E. 30 \quad (6)$$

Onde:

E_m = Quantidade de energia gasta em um mês [kWh].

E, por fim, para calcular o valor cobrado pela energia gasta durante tal período, utiliza-se a equação (7).

$$R = E_m \cdot \text{valor} \quad (7)$$

Onde:

R = preço total, em reais, cobrado pela energia utilizada;

valor = preço, em reais, cobrado pelo kWh.

3 RESULTADOS

De acordo com as explicações da realização dos experimentos apresentados no capítulo 2, e dos cálculos expostos, serão ilustrados dois dias típicos de estudo em cada sessão, com as respectivas medidas obtidas.

3.1 PRIMEIRO TESTE

3.1.1 Período nublado com garoa

Experimento realizado em um período com densidade de potência solar média de $(206,8 \pm 10,0) \text{ W/m}^2$ e umidade relativa do ar em torno de 76%.

No primeiro dia, às 08h30min, foram realizadas medições com a água que já estava armazenada. Os valores obtidos foram: $(72,0 \pm 1,0)^\circ\text{C}$ para a temperatura da água e $(20,5 \pm 1,0)^\circ\text{C}$ para a temperatura ambiente.

A partir desse momento esvaziou-se o *boiler*. Posteriormente, este foi preenchido com água fria, e o início se deu às 9h30min.

Com o *boiler* cheio de água fria, verificou-se, de trinta em trinta minutos, o incremento de temperatura. A Tabela 1 apresenta os resultados desse experimento. A Figura 10 ilustra a relação entre as temperaturas da água e do ambiente e a Figura 11 torna clara a variação da incidência solar no equipamento. Ambos os gráficos foram construídos em relação ao tempo de análise, em horas.

Tabela 1: Dados gerais obtidos no dia 10/06/2014

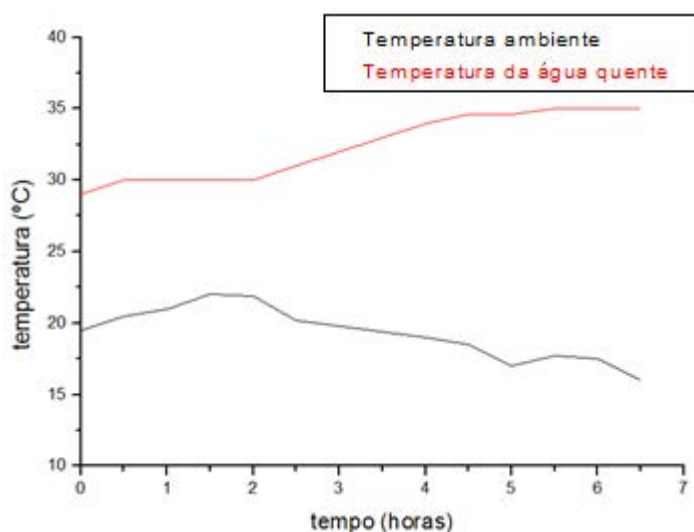
Horário	Temp. Ambiente ($^\circ\text{C}$)	Temp. da água ($^\circ\text{C}$)	Densidade de potência solar (W/m^2)
9h30min	19,5	29	38
10h00min	20,5	30	225,5
10h30min	21	30	476,1
11h00min	22	30	121,4
11h30min	21,9	30	254
12h00min	20,2	31	186,2
13h30min	19	34	121,2
14h00min	18,5	34,6	242,1
14h30min	17	34,6	240,4
15h00min	17,7	35	235

Tabela 1: Dados gerais obtidos no dia 10/06/2014

15h30min	17,5	35	185,9
16h00min	16	35	156

Para a temperatura ambiente, a média encontrada foi $(19,2 \pm 1,0)^\circ\text{C}$. Em relação à temperatura da água aquecida, tem-se uma média de $(32,3 \pm 1,0)^\circ\text{C}$, suficiente para uso.

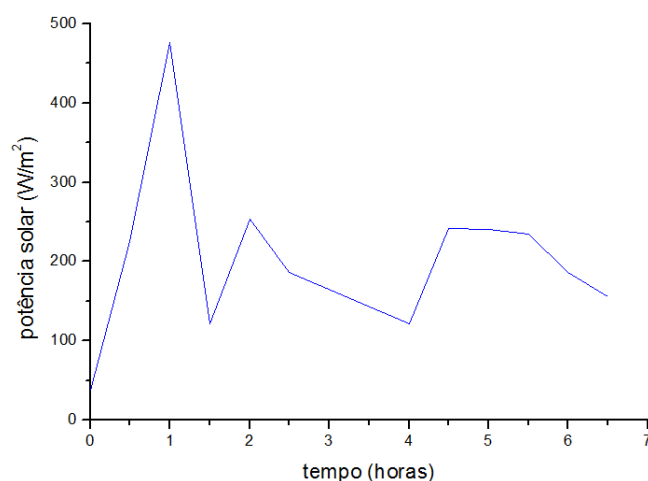
Figura 10 – Gráfico de temperatura x tempo



Fonte: Autor

Após uma análise da Figura 10, percebe-se que a temperatura ambiente tem uma variação ao longo do dia de aproximadamente 6°C . E que, mesmo a temperatura ambiente não tendo superado os 22°C , a temperatura da água no reservatório atingiu 35°C .

Figura 11: Gráfico de incidência de radiação solar x tempo



Fonte: Autor

No período analisado iniciou-se uma leve garoa às 11h30min (referente às 2 horas no gráfico) que se prolongou até às 13h30min, o que tem relação direta com a diminuição da incidência de radiação solar no equipamento no intervalo. Poucos instantes após as 13h30min a chuva cessou.

Porém, a partir das 15h00min (referente às 5,5 horas), a chuva voltou com maior intensidade, o que pode ser novamente percebido no gráfico, com uma nova redução no valor da incidência de radiação solar.

3.1.2 Período com poucas nuvens e pouco Sol

No segundo dia, o Sol apareceu em poucos instantes e a densidade de potência solar média foi de $(457,0 \pm 10,0) \text{W/m}^2$. Nesse dia o higrômetro marcou 23% de umidade.

Repetiu-se o teste anterior no dia 07/08/2014, dessa vez os dados foram recolhidos a cada vinte minutos. Iniciou-se a coleta de dados às 10h30min, ponto 0 do gráfico.

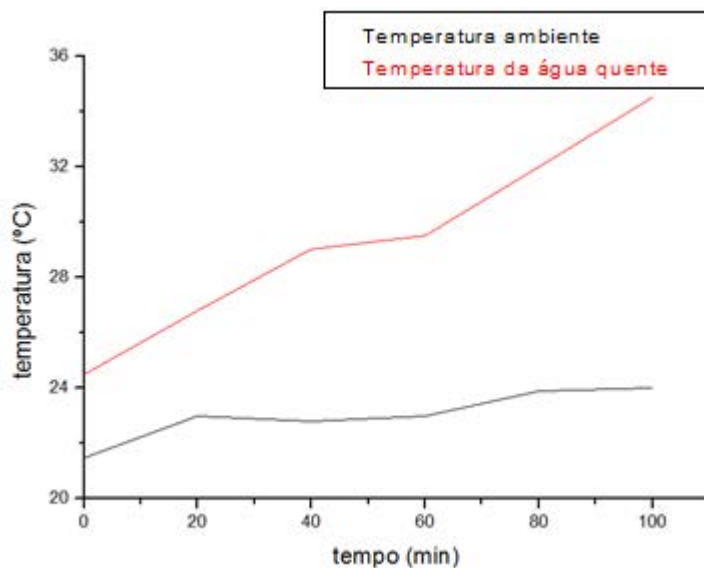
Os valores estão apresentados na Tabela 2, a qual é base de construção dos gráficos ilustrados pelas Figuras 12 e Figura 13. Ambos foram elaborados em relação ao período de análise, em minutos.

Tabela 2: Dados gerais obtidos no dia 07/08/2014

Horário	Temp. Ambiente (°C)	Temp. da água (°C)	Densidade de potência solar (W/m ²)
10h30min	21,5	24,5	402
10h50min	23	26,8	419,5
11h10min	22,8	29	336,7
11h30min	23	29,5	953,3
11h50min	23,9	32	842,1
12h10min	24	34,5	840,6
15h30min	24,6	44,5	300,2
15h50min	26	45,6	249,5
16h10min	25	47	135,6
16h30min	26	48	90,4

Para a temperatura ambiente, a média encontrada foi $(24,0 \pm 1,0)^\circ\text{C}$. Em relação à temperatura da água, tem-se uma média de $(33,7 \pm 1,0)^\circ\text{C}$.

Figura 12: Gráfico de temperatura x tempo, período matutino - até às 12h10min.

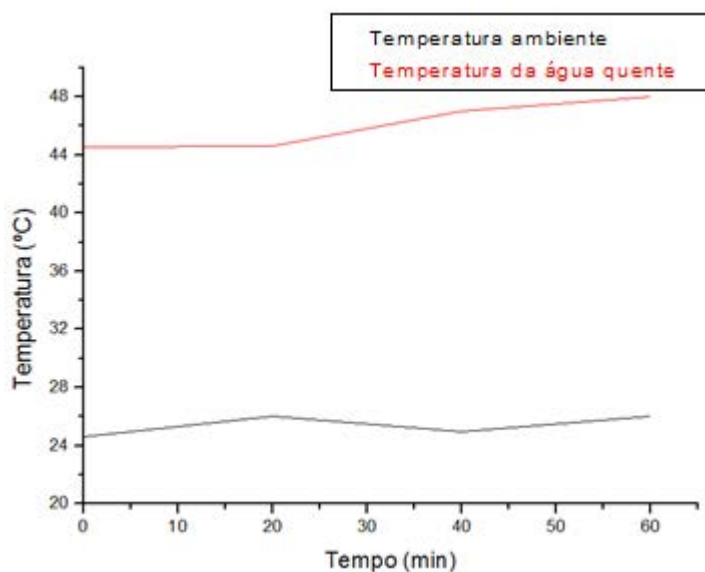


Fonte: Autor

Através da Figura 12 percebe-se que a temperatura ambiente tem um crescimento considerável até os vinte minutos iniciais e, após esse período ela fica praticamente estável, voltando a crescer na faixa dos sessenta minutos.

Considerando a temperatura da água, esta tem um ligeiro aumento até os primeiros quarenta minutos. Após este período, permanece praticamente estável, e volta a ter um novo aumento gradativo a partir dos sessenta minutos.

Figura 13: Gráfico de temperatura x tempo, período da tarde - a partir das 15h30min.



Fonte: Autor

Na Figura 13 verifica-se que, mesmo havendo um moderado crescimento na temperatura ambiente nos vinte minutos iniciais do período da tarde, a temperatura da água se manteve praticamente estável. Após esse tempo inicial, a temperatura da água teve um razoável incremento, mesmo com o decréscimo na temperatura ambiente.

Nos dois dias de análise percebe-se uma efetiva atuação do processo de aquecimento aplicado ao equipamento estudado, pois a temperatura da água do *boiler* tem acréscimo em relação ao tempo de exposição ao Sol.

3.2 SEGUNDO TESTE

O objetivo dessa etapa foi estimar o tempo para que a temperatura da água quente, ao ser retirada do *boiler*, tenha valor próximo da temperatura ambiente.

3.2.1 Período ensolarado com poucas nuvens

O Sol incidiu durante todo esse período de estudo, e o valor da densidade de potência solar foi $(517,8 \pm 10,0) \text{W/m}^2$, valor superior aos obtidos nas avaliações realizadas anteriormente. A umidade estava em torno de 59%.

No dia 26/06/2014 foi realizada a primeira avaliação em relação ao decréscimo da temperatura da água presente no *boiler*.

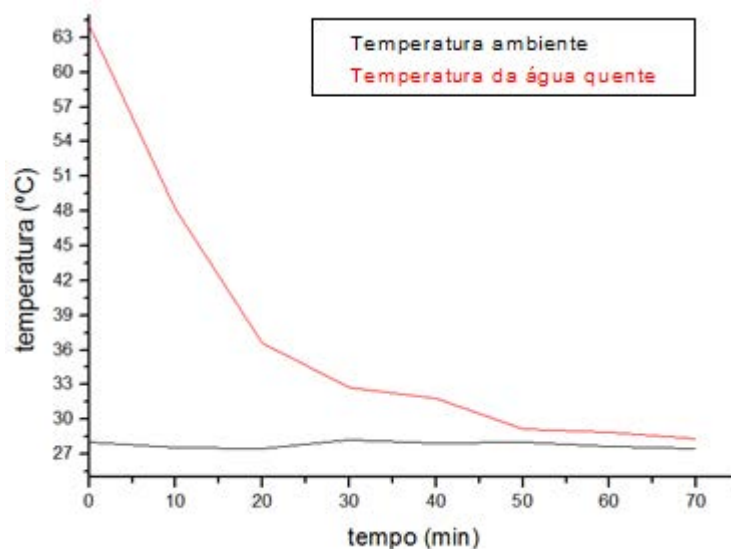
Realizaram-se medidas a cada dez minutos. Os valores medidos estão apresentados na Tabela 3 e representados na forma gráfica pela Figura 14.

Tabela 3: Dados gerais obtidos no dia 26/06/2014

Horário	Temp. Ambiente (°C)	Temp. da água (°C)	Densidade de potência solar (W/m ²)
14h00min	28	64	630,2
14h10min	27,6	48,2	657,1
14h20min	27,5	36,6	666,5
14h30min	28,2	32,8	540,3
14h40min	27,9	31,8	534,2
14h50min	28	29,2	457,1
15h00min	27,7	28,9	406,7
15h10min	27,5	28,3	250,6

Para a temperatura ambiente, a média encontrada foi de $(27,8 \pm 1,0)^\circ\text{C}$. Em relação à temperatura da água quente, tem-se uma média de $(37,5 \pm 1,0)^\circ\text{C}$, a qual pode ser considerada elevada, visto que o objetivo foi uma diminuição desta temperatura.

Figura 14: Gráfico de temperatura x tempo



Fonte: Autor

Através da Figura 14, compreende-se a forma como varia a temperatura da água nesse teste. Nos primeiros dez minutos há uma diminuição acentuada desta, isto devido à eliminação da água quente e inserção da água fria no *boiler*. A partir dos cinquenta minutos, o decréscimo se torna mais lento e, nos setenta minutos há uma aproximação dos valores da temperatura ambiente e de água quente.

3.2.2 Período com muitas nuvens

Neste dia, o Sol apareceu em poucos instantes e a densidade de potência solar média foi de $(367,5 \pm 10,0) \text{W/m}^2$. A umidade ficou em torno de 28%.

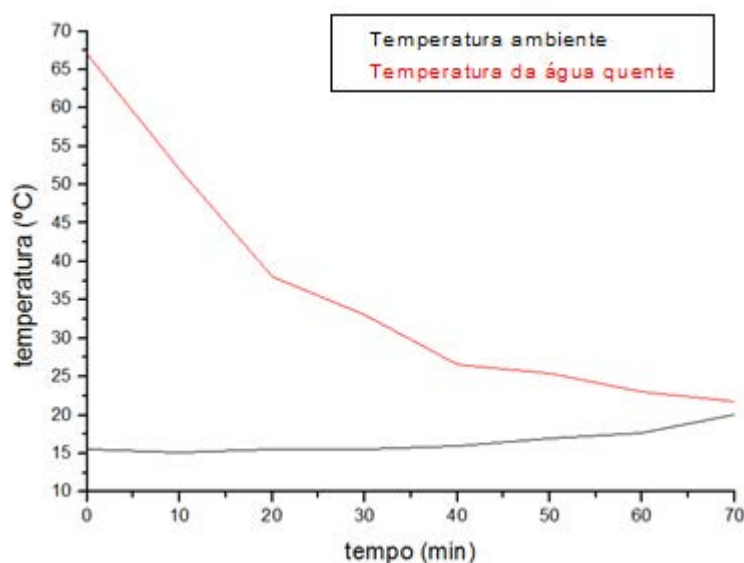
Os dados foram novamente coletados a cada dez minutos. A Tabela 4 apresenta os valores obtidos e a Figura 15 ilustra, de forma gráfica, as temperaturas da água quente e ambiente.

Tabela 4: Dados gerais obtidos no dia 07/08/2014

Horário	Temp. Ambiente (°C)	Temperatura da água (°C)	Densidade de potência solar (W/m ²)
09h00min	15,5	67	300,5
09h10min	15,1	52	297,6
09h20min	15,6	38	339
09h30min	15,6	33	346,9
09h40min	16	26,6	348,1
09h50min	17	25,5	356
10h00min	17,7	23	451,2
10h10min	20,8	21,8	501,1

Para a temperatura ambiente, a média encontrada foi $(16,7 \pm 1,0)^\circ\text{C}$. Em relação à temperatura da água quente, tem-se uma média de $(35,8 \pm 1,0)^\circ\text{C}$, valor considerado elevado, visto que o objetivo do estudo foi reduzir essa temperatura.

Figura 15: Gráfico de temperatura x tempo



Fonte: Autor

Avaliando a Figura 15, nota-se um grande decréscimo na temperatura da água até os quarenta minutos de estudo. A partir desse instante, o decréscimo ainda acontece, porém de forma mais suave. Enquanto isso, a temperatura ambiente tem uma leve elevação. Aos setenta minutos as duas temperaturas atingem valores próximos, com aproximadamente 1°C de diferença entre elas.

Em ambos os dias referentes a esta análise, o tempo de espera para que as temperaturas da água quente e ambiente ficassem próximas, foi de aproximadamente 1h10min, tempo relativamente grande, considerando dez minutos o tempo de um banho.

3.3 TERCEIRO TESTE

Nessa etapa apresentam-se tabelas mais completas do estudo. A primeira seção do tópico é relativa ao dia inicial da avaliação do equipamento, e a segunda seção faz referência a um dos últimos dias.

3.3.1 Período de Sol, com posterior garoa à tarde

Esse foi o primeiro dia da pesquisa e, para que fossem praticáveis posteriores análise e pesquisa, começou-se a coletar e medir os valores fornecidos pelo aparelho a cada trinta minutos.

O Sol esteve presente no início do período, e o valor da radiação de potência solar média foi de $(865,6 \pm 10,0) \text{W/m}^2$. Com umidade média de 59%.

Apresentam-se os dados nas Tabelas 5 e Tabela 6, os quais estão plotadas nos gráficos das Figuras 16 e Figura 17.

Tabela 5: Dados gerais obtidos no dia 04/06/2014

Horário	Temp. Ambiente (°C)	Temp. da água (°C)	Densidade de potência solar (W/m ²)
10h00min	21	58	998,8
10h30min	21,3	61	979,8
11h00min	21,8	63,4	980
11h30min	21	64,4	982
12h00min	20,7	66,7	985,2
13h30min	24,2	74,2	920,3
14h00min	24	75,6	907,2
14h30min	25	77	815,3
15h00min	25,1	78,3	221,7

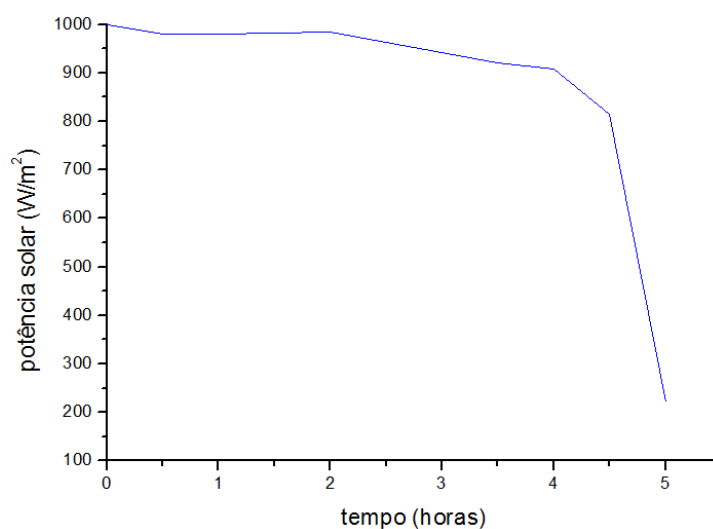
Para a temperatura ambiente, a média encontrada foi $(22,7 \pm 1,0)^\circ\text{C}$. Já em relação à temperatura da água quente, a média foi de $(68,8 \pm 1,0)^\circ\text{C}$.

Tabela 6: Dados de velocidade do vento obtidos no dia 04/06/2014

Horário	Vel. do vento N/S (m/s)	Vel. do vento L/O (m/s)
10h00min	1	0,8
10h30min	1,3	1,1
11h00min	0,5	1,6
11h30min	0,9	1,1
12h00min	1	0,7
13h30min	0,5	0,1
14h00min	0,6	0
14h30min	0,9	0,2
15h00min	1	1

A velocidade do vento, nas direções apresentadas na Tabela 6, não influencia nas medições de temperatura realizadas no equipamento, pois seus valores são baixos e assim não atuam num processo de resfriamento. Mostrando que, neste caso, o que realmente importa é a incidência de radiação solar sobre o equipamento, como visto nos tópicos.

Figura 16: Gráfico de incidência de radiação solar x tempo

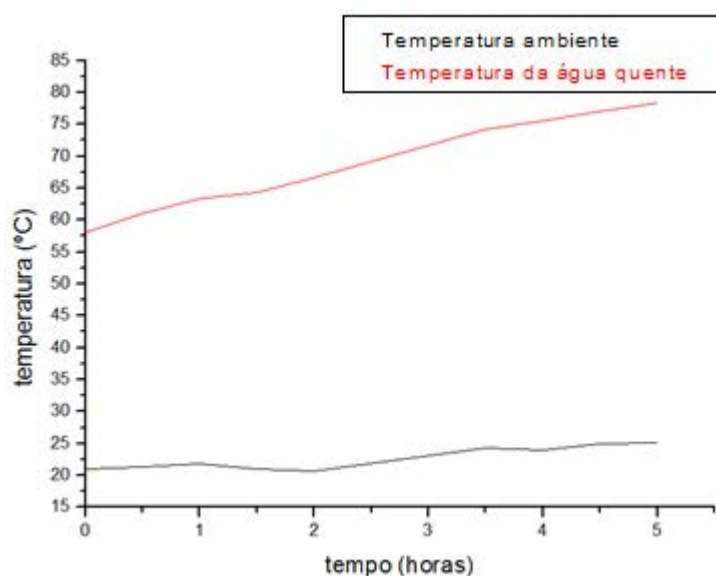


Fonte: Autor

Até a segunda hora de estudo, o valor da incidência de radiação solar no equipamento não apresentou grandes alterações. A partir deste momento a incidência solar sofreu um leve decréscimo, até a quarta hora. O tempo começou a ficar nublado e com uma leve garoa.

Como consequência desse fato, apresentou-se uma queda brusca da incidência de radiação solar.

Figura 17: Gráfico de temperatura x tempo



Fonte: Autor

Analisando a Figura 17 vê-se que a temperatura da água esteve em constante elevação. Entre 11h30min (1,5 horas do gráfico) e 13h30min (3,5 horas do gráfico) afirma-se que o crescimento é mais acelerado, isso por conta da reta ter uma maior inclinação.

Porém, o mesmo não acontece com a temperatura ambiente. Às 11h30min atinge quase o mínimo captado no período. A partir das 12h00min, até às 13h30min, há uma elevação desta, porém não tão rápida quanto em relação à temperatura da água aquecida ou em processo de aquecimento.

3.3.2 Período ensolarado

Nesse período, não houve nuvens durante todo o dia, e a densidade de potência solar média foi de $(720,7 \pm 10,0) \text{ W/m}^2$. A umidade ficou em torno de 32%.

Este foi um dos últimos dias de medição realizada no aquecedor em estudo. Os valores coletados estão expostos na Tabela 7 e Tabela 8. E os dados estão apresentados, na forma gráfica, pelas Figuras 18 e Figura 19.

Tabela 7: Dados gerais obtidos no dia 17/09/2014

Horário	Temp. Ambiente (°C)	Temp. da água (°C)	Densidade de potência solar (W/m ²)
10h00min	24	75	830,3
10h30min	25,1	77,1	834,2

Tabela 7: Dados gerais obtidos no dia 17/09/2014

11h00min	25,8	79	864
11h30min	26,7	80,3	835,9
12h00min	28	82	913,9
13h30min	30,1	87,6	760
14h00min	29,8	87,8	614,8
14h30min	28,7	88,3	530
15h00min	28	89	303,5

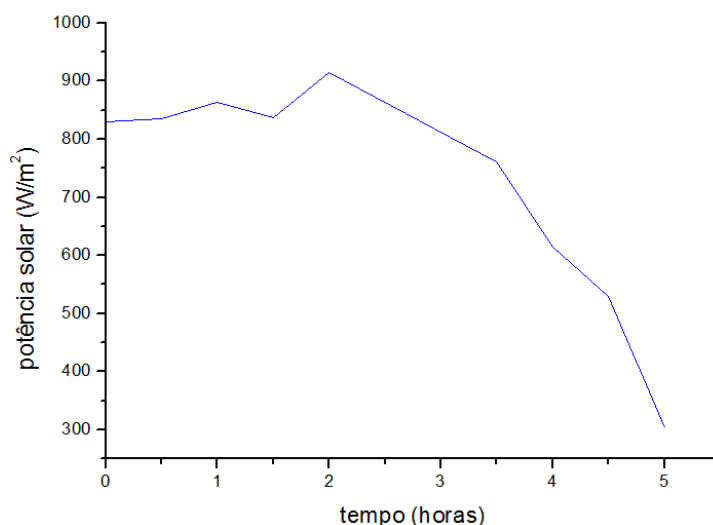
Para a temperatura ambiente, a média encontrada foi $(27,4 \pm 1,0)^\circ\text{C}$. Em relação à temperatura da água quente, tem-se uma média de $(82,9 \pm 1,0)^\circ\text{C}$, a maior atingida ao longo do estudo.

Tabela 8: Dados de velocidade do vento obtidos no dia 17/09/2014

Horário	Vel. do vento N/S (m/s)	Vel. do vento L/O (m/s)
10h00min	0,1	1
10h30min	0,8	0,6
11h00min	0,8	0,2
11h30min	0,1	0,1
12h00min	0,1	0
13h30min	0,3	0
14h00min	0,8	0,9
14h30min	0,1	1,1
15h00min	1	1,2

A velocidade do vento, nas direções apresentadas na Tabela 8, é ainda menor que a apresentada na Tabela 6. E, como mencionado anteriormente, não influencia no desempenho do aquecedor em estudo.

Figura 18: Gráfico de incidência de radiação solar x tempo

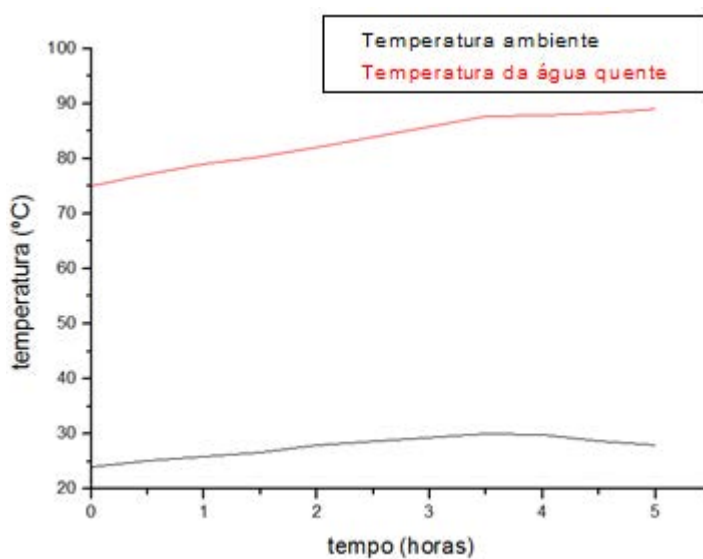


Fonte: Autor

A Figura 18 mostra que o valor da incidência de radiação solar no equipamento não teve grandes alterações após 1h30min de análise. A partir de tal momento esta passou por uma elevação, até a segunda hora. Porém, posteriormente, só houve decréscimo. Isso se explica pelo fato do Sol ter desaparecido aos poucos, até o fim do período de estudo.

Examinando a Figura 19 vê-se novamente o contínuo crescimento da temperatura da água do início ao fim.

Figura 19: Gráfico de temperatura x tempo



Fonte: Autor

O valor da temperatura ambiente foi aumentando até 3,5 horas de análise. Porém, a partir desse determinado momento, o valor reduziu até o fim do período de estudo.

Ambos os testes da terceira parte comprovam que a velocidade do vento, por ter um valor pequeno, não tem influência direta na eficiência. O que exerce efeito realmente sobre ele é a radiação de incidência solar que existe sobre o equipamento em determinados períodos.

3.4 CÁLCULO DA ÁREA TOTAL DO TUBO QUE RECEBE A INCIDÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR

Inicialmente calculou-se a área que recebe radiação em apenas um dos tubos. Os valores são:

$$r = 29\text{mm};$$

$$l = 1800\text{mm}.$$

Com os dados e a equação (1) apresentados, calcula-se A_1 :

$$A_1 = 163,99 \times 10^3 \text{mm}^2 \text{ ou } 0,1639\text{m}^2.$$

E, pela equação (2), torna-se possível encontrar a área total do equipamento que recebe a incidência solar:

$$A_{\text{total}} = 1,639\text{m}^2$$

3.5 PREVISÃO DO VALOR ECONOMIZADO COM A UTILIZAÇÃO DO AQUECEDOR

Sabe-se que, para qualquer situação, a vazão do equipamento será de 5L/min.

3.5.1 Período com menor diferença de temperatura

Escolheu-se tal período do estudo, pois este apresentou a condição menos favorável para o funcionamento do aquecedor solar.

Segue alguns valores importantes para realização de posteriores cálculos. Os valores de t_{ambiente} e $t_{\text{água}}$ estão relacionados às médias de todas as aferições do período.

$$m = 100\text{kg}$$

$$c_{\text{água}} = 1\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ambiente}} = 19,2^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{água}} = 32,3^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 13,1^{\circ}\text{C}$$

Através dos valores citados e da equação (3), calcula-se Q:

$$Q = 1310\text{kcal ou } 5475,8\text{kJ}$$

Com a utilização da equação (4), descobre-se a potência média gerada:

$$P = 0,30\text{kW}$$

Com o valor de potência encontrado em uma hora, fica possível obter o valor em kWh. Foi considerado 5 horas no período de análise. Através da equação (5), temos que:

$$E = 1,50\text{kWh}$$

Utiliza-se a equação (6) para encontrar o valor mensal E_m :

$$E_m = 45\text{kWh}$$

E, por fim, encontra-se o valor que seria cobrado caso essa energia fosse fornecido pela companhia de fornecimento, que no caso de São Paulo é a ELETROPAULO, no qual o valor do kWh é R\$0,28117 (ANEEL,2014), sem impostos.

$$R = 12,65 \text{ reais.}$$

3.5.2 Período com maior diferença de temperatura

Esta foi a condição mais favorável para a atuação do equipamento, dentro do período de estudo.

Apresentam-se alguns valores importantes para realização de posteriores cálculos. Os valores de t_{ambiente} e $t_{\text{água}}$ estão relacionados às médias de todas as aferições do período.

$$m = 100\text{kg}$$

$$c_{\text{água}} = 1\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{ambiente}} = 27,4^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{água}} = 82,9^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 55,5^{\circ}\text{C}$$

Através dos valores citados e da equação (3), calcula-se Q:

$$Q = 5550\text{kcal ou } 23199\text{kJ}$$

Com a utilização da equação (4), encontra-se a potência média gerada:

$$P = 1,29\text{kW}$$

Com o valor de potência encontrado em uma hora, fica possível obter o valor em kWh em relação ao período do dia de exposição do aquecedor ao Sol, 5 horas. Através da equação (5), temos que:

$$E = 6,44\text{kWh}$$

Utiliza-se a equação (6) para encontrar o valor mensal E_m :

$$E_m = 193,33\text{kWh}$$

E, por fim, caso essa energia fosse fornecido pela distribuidora de energia elétrica, ELETROPAULO, sendo o valor do kWh de R\$0,28117 (ANEEL,2014), desconsiderando os impostos, a economia gerada seria de R\$ 54,36. Assim, para cada 1000 situações dessa, tem-se uma economia de R\$ 54360,00/mês.

3.5.3 Previsão do aquecedor solar substituindo o chuveiro elétrico

Para tal análise, supõe-se que o aquecedor será utilizado apenas para aquecer a água utilizada para tomar banho.

Segue alguns valores importantes para realização de posteriores cálculos:

$$m = 100\text{kg}$$

$$c_{\text{água}} = 1\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ambiente}} = 19^\circ\text{C}$$

A medida de $t_{\text{água}}$ foi:

$$t_{\text{água}} = 35^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 16^\circ\text{C}$$

Através dos valores citados e da equação (3), calcula-se Q:

$$Q = 1600\text{kcal ou } 6688\text{kJ}$$

Com a utilização da equação (4), encontra-se a potência média gerada:

$$P = 0,37\text{kW}$$

Com o valor de potência encontrado em uma hora, fica possível obter o valor em kWh. Considera-se o período de análise de 1 hora (residência com quatro pessoas e cada uma leva 15 minutos tomando banho). Através da equação (5), temos que:

$$E = 0,37\text{kWh}$$

Utiliza-se a equação (6) para encontrar o valor mensal E_m :

$$E_m = 11,15\text{kWh}$$

Por meio das situações apresentadas e dos cálculos de cada uma, observa-se que durante o mês, mesmo na pior situação, o aquecedor fornece energia mais que suficiente para o banho. Esta, porém, não será descartada, podendo ser usada no preparo de alimentos, lavagem de louça e roupa, entre outras utilidades.

4 CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Desde o início deste trabalho existe um empenho em mostrar que uma das maiores preocupações mundiais, tanto no âmbito empresarial como no residencial, vem sendo a busca por uma fonte inesgotável, que preserve o meio ambiente e que possa contribuir de maneira tão eficiente quanto as já conhecidas e utilizadas.

Com o aquecedor solar a vácuo e os equipamentos de medição necessários disponíveis, tornou-se possível realizar uma análise mais detalhada de seu funcionamento em diversas situações.

Depois de estabelecidos os testes, os cálculos comprovam que haverá uma economia efetiva na conta de energia elétrica residencial com a instalação do aquecedor. A qual poderá ser possível também na área industrial.

Contudo, o custo inicial de instalação do equipamento não é o melhor economicamente, mas esta é uma forma de investimento de longo prazo e bom custo benefício, visto que a durabilidade é elevada, com aproximadamente vinte e cinco anos. Além de que o potencial de energia solar do país é elevado, sendo eficiente até no período de inverno.

O investimento inicial, já considerando o valor da mão de obra, é de R\$2.050,00 (dezembro/2014). Estima-se que, na melhor situação, o retorno viria em pouco mais de três anos, isso por que o gasto com energia elétrica na residência será reduzido cada vez mais.

Para trabalhos futuros sugere-se fazer uma análise de desempenho do equipamento em outras estações do ano e também realizar cálculos de rendimento energético em diferentes situações. Além disso, há a possibilidade de analisar a aplicabilidade do equipamento no ramo industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/493.htm>> Acesso em: 28 dez 2014.

AVILÉS, S. M. A; SOUZA, T. M. **Sistemas Renovables con Energía Solar**. Guaratinguetá: Páginas e Letras, 2011.

CEMIG. **Seminário sobre Aquecimento Solar como Alternativas de Conservação de Energia**. Belo Horizonte, agosto, 1987.

ECO AQUECEDORES. Disponível em <<http://www.ecoaquecedores.com.br/tubos-coletores-a-vacu>> Acesso em: 16 dez. 2014.

INMETRO. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeSelo.asp>> Acesso em: 28 dez 2014.

PEREIRA, E. B et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. São José dos Campos: INPE, 2006. 60 f.

PEREIRA, E. M. D et al. **Aquecedores Solares para Projetos Sociais no Brasil**. Minas Gerais, março, 2005.

SILVA, D. M. **Eficiência de Aquecedores Solares Confeccionados com Garrafa PET de Diversas Cores**. 2008. 40 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

SIQUEIRA, A. M. de O.; KRENZINGER, A. **Cálculo de Eficiência Diária em Média Mensal de um Sistema de Aquecimento Solar Operando em Regime de Termossifão**. UFRGS, outubro, 1998.

SOLAR EVOLUTION. Disponível em: <<http://www.solarevolution.com.br/index.php>>. Acesso em: 2 set. 2014.

WGSOL. Disponível em: <<http://www.wgsol.com.br/aquecedores-a-vacuo>>. Acesso em: 23 set. 2014.