



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**ROMARIO FERNANDES DE SOUSA**

**APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NA REGIÃO DE MACIÇO DE  
BATURITÉ ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE AQUECEDOR SOLAR  
UTILIZANDO MATERIAIS PLÁSTICOS**

**ACARAPE - CE**

**2021**

**ROMARIO FERNANDES DE SOUSA**

**APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NA REGIÃO DE MACIÇO DE  
BATURITÉ ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE AQUECEDOR SOLAR  
UTILIZANDO MATERIAIS PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energias da UNILAB como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador (a): Carlos Alberto Cáceres Coaquira.

**ACARAPE – CE**

**2021**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Sousa, Romario Fernandes de.

S696a

Aproveitamento da energia solar na região de maciço de Baturité através da construção de aquecedor solar utilizando materiais plásticos / Romario Fernandes de Sousa. - Redenção, 2021.  
36f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Cáceres Coaquira.

1. Aquecedores solares de água. 2. Energia solar. 3. Resíduos sólidos - Plásticos. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.471

---

**ROMARIO FERNANDES DE SOUSA**

**APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NA REGIÃO DE MACIÇO DE  
BATURITÉ ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE AQUECEDOR SOLAR  
UTILIZANDO MATERIAIS PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energias da UNILAB como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em: 19 / 08 / 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



Carlos Alberto Cáceres

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Cáceres Coaquira

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Rejane Félix Pereira

---

Prof. Dra. Rejane Félix Pereira

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Sílvia Helena Dantas de Lima

---

Prof. Dra. Sílvia Helena Dantas de Lima

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Para minha avó (in memoriam),  
mãezinha, Francisca Ribeiro de  
Carvalho. Aos meus pais, Francisca e  
Paulo.

*“Sábio é aquele que conhece os limites da própria ignorância.”*

Sócrates

## AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus por me dar a oportunidade de cursar e terminar minha tão sonhada graduação em Engenharia. Sou grato a minha guerreira e querida mãe, Francisca Ribeiro Fernandes, meu grande e sábio pai, Paulo Roberto de Souza (veião) e minha querida avó e eterna mãezinha (in memoriam), Antônia André de Carvalho, que sempre me ensinaram o caminho certo a seguir e deram os ensinamentos necessários para a vida. Agradeço aos meus tios que sempre incentivaram e acreditaram. Agradeço ainda ao meu primo, padrinho e amigo, Moésio, que, pela sua ajuda e insistência, foi um dos responsáveis por tudo isso.

Agradeço a todo o corpo docente do curso de Engenharia de Energias da UNILAB, em especial ao meu orientador, professor Carlos Cáceres, não somente pela grande ajuda na orientação deste trabalho, mas também pela sua dedicação em sala de aula e nos projetos que tivemos a oportunidade de trabalhar.

Agradeço a oportunidade de ter conhecido pessoas fantásticas neste período de graduação, amigos que levarei para a vida toda. Davi, um grande amigo com quem sempre pude contar. Carlos e Léo, os caras que me deram a oportunidade de conhecer a rocinha Cearense. Grande Aluísio, que é uma pessoa de grande valor e um amigo. Wellington, pessoa que me ajuda desde o primeiro dia de aula até os dias de hoje, Julião e Lamba, igualmente prestativos e amigos. Agradeço também o meu presidente Erick (ENGINE), pessoa com quem aprendi muito. Agradeço ainda ao Energia do Samba, pela oportunidade de fazer parte deste grupo excepcional. Agradeço a todas as pessoas que tive a oportunidade de dividir república neste período de graduação, principalmente aos meus queridos amigos Natanael e Layane. Agradeço ainda as outras tantas pessoas que tive o prazer de conhecer, todas colaboraram e me ajudaram de forma direta ou indireta.

## RESUMO

Atualmente, existe uma preocupação mundial com a preservação do meio ambiente e o uso de fontes de energia ambientalmente corretas. Nesse sentido, é importante o desenvolvimento de novas tecnologias simples e de baixo custo para o uso de energias renováveis e, principalmente, que permitam o acesso e a disseminação para a população economicamente desfavorecida. O maciço do Baturité, no Ceará, apresenta alta incidência de radiação solar, o que favorece em grande parte o uso dessa energia renovável. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi construir um aquecedor solar de água (ASA) alternativo, reaproveitando materiais plásticos descartados e disseminando essa metodologia de construção de baixo custo em escolas da região do maciço de Baturité. O aquecedor alternativo (ASA) construído atingiu temperaturas de aquecimento de água de até 40°C, consideradas ideais para um banho confortável e também abaixo da temperatura de degradação térmica dos tubos de PVC utilizados no coletor solar. A pesquisa realizada durante as divulgações mostrou que 80% dos participantes têm interesse em construir seus próprios aquecedores solares, na ideia de reaproveitar materiais descartados e energia solar.

**Palavras-chave:** Aquecedor solar, Energia Solar, Matérias plásticas.

## **ABSTRACT**

Nowadays, there is worldwide concern about the conservation of the environment and the use of environmentally friendly energy sources. In this sense, it is important to develop new simple and inexpensive technologies to use renewable energies, and mainly to allow access and dissemination to the economically disadvantaged population. The Baturité massif in Ceará has a high incidence of solar radiation, which largely favors the use of this renewable energy. In this sense, the objective of this work was to build an alternative solar water heater (SWH), reusing discarded plastic materials and disseminating this low cost construction methodology in schools in the Baturité massif region. The alternative heater (SWH) built reached water heating temperatures up to 40°C, considered ideal for comfortable bath and also below the temperature of the thermal degradation of the PVC tubes used in the solar collector. The research carried out during the disclosures showed that 80% of the participants are interested in building their own solar heaters, in the idea of reusing discarded materials and solar energy.

**Key words:** Solar Heaters, Solar Energy, plastic materials.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Índice de cobertura da coleta de RSU.....	17
<b>Figura 2</b> - Aquecedor solar construído com materiais recicláveis. ....	19
<b>Figura 3</b> - Posição geográfica da UNILAB e carta solar.....	21
<b>Figura 4</b> - Atlas da radiação solar no estado do Ceará.. ....	22
<b>Figura 5</b> - Radiação solar normal no município de Redenção-CE.....	23
<b>Figura 6</b> - Esquema do funcionamento termossifão de um aquecedor solar de água.....	24
<b>Figura 7</b> - Aquecedor solar de água desenvolvido com garrafas PET, embalagens longa vida, tubulações de PVC e tanque de armazenamento. ....	25
<b>Figura 8</b> - Processo de construção do coletor solar, montagem e junção com o tanque de armazenamento. ....	26
<b>Figura 9</b> - Variação da temperatura da água durante o funcionamento do aquecedor solar. ..	28
<b>Figura 10</b> - Calor acumulativo (vermelho) e variação do calor (azul) em função do tempo de funcionamento. ....	29
<b>Figura 11</b> - Variação do calor absorvido em função horário e posição de Sol em termos de ângulo de elevação e azimute (primeiro dia).....	30
<b>Figura 12</b> - Variação do calor absorvido em função horário e posição de Sol em termos de ângulo de elevação e azimute (segundo dia). ....	30
<b>Figura 13</b> - Divulgação do projeto na escola Danísio Dalton Correa- Barreira/CE e na escola Escola Joaquim Simão de Oliveira- Serra Guassi Redenção-CE.....	31

## LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	Graus celsius
$\text{kg}$	Quilograma
$\text{W}$	Watt
$\text{m}^2$	Metro quadrado
$\pi$	Pi
$\text{m}$	Metro
$\text{J}$	Joule
$\text{CO}_2$	Dióxido de carbono
$\text{kWh}$	Quilowatt hora
$\text{MJ}$	Megajoule
$^{\circ}$	Grau
$Q$	Calor
$M$	Volume de água
$C_p$	Calor específico da água
$\Delta T$	Variação de temperatura
$\text{cal}$	Caloria
$T_f$	Temperatura final
$T_i$	Temperatura inicial
$S$	Área do coletor
$I$	Radiação média diária
$Q_u$	Calor acumulado
$\Delta Q_u$	Variação do calor acumulado

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGRAS

ASA	Aquecedor Solar de Água
PVC	Policloreto de Vinila
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OIE	Oferta Interna de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
RSU	Resíduo Sólido Urbano
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
SEMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Ceará
PRGIRS	Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PET	Poli Tereftalato de Etila
Hrs	Horas

## SÚMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	14
1.1.2	Objetivos Específicos .....	14
<b>1.2</b>	<b>Estrutura Do Trabalho</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Energia Solar</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Resíduos Sólidos</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Aquecedor Solar De Água</b> .....	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Radiação Solar na Cidade de Redenção-Ce</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Sistema Termossifão</b> .....	<b>23</b>
<b>3.3</b>	<b>Dimensionamento do Aquecedor Solar de Água</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b>Construção do Aquecedor Solar</b> .....	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Funcionamento e Variação da Temperatura e Calor</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Divulgação do Funcionamento do Aquecedor Solar</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No decorrer das décadas o avanço tecnológico viabilizou inúmeras melhorias na qualidade de vida da população, possibilitando que tarefas antes realizadas por dezenas de pessoas pudessem ser feitas por apenas uma, desta forma, barateando e tornado, tanto os bens de consumo quanto os alimentos, mais acessíveis. Entretanto, esse desenvolvimento teve, e tem, como um de seus pilares o alto consumo de energia, sendo ela proveniente, principalmente, de fontes não renováveis. A dependência das fontes de energia não renováveis, em especial do petróleo, tem sido nas últimas décadas um fator preocupante para os governos, tendo em vista que seu uso tem acarretado problemas nas esferas ambiental e político-econômica. Neste contexto, os países têm mudado a forma de ver a geração de energia, buscando não apenas o ganho econômico, mas também o ambiental e a sustentabilidade.

O Brasil se destaca em relação aos demais países no quesito geração de energia limpa. Em 2019 a participação de renováveis na matriz elétrica brasileira era de 83%, enquanto que nos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) a participação era de apenas 27%, sendo que em 2020 o Brasil atingiu 84,8%. Já em relação a Oferta Interna de Energia (OIE), em 2014 a participação das energias renováveis era de 39,4%, saltando para 48,4% em 2020.

Fontes renováveis como a energia solar, eólica e hidrelétrica, são as melhores opções de fontes de energia abundantes e ambientalmente amigáveis. Dentro destas, pode-se destacar a energia solar como a mais atraente, isso por conta da sua fonte geradora ser abundante e de fácil acesso quando comparado com as demais. O uso da energia solar para geração de energia elétrica em 2020 aumentou 61,5% em relação a 2019, fazendo com que ele representasse 1,7% da matriz elétrica brasileira em 2020, contra 1% em 2019 (EPE, 2021). Atualmente existem inúmeras pesquisas e empresas dedicadas ao aproveitamento e desenvolvimento de sistemas movidos à energia solar (WANG; XU; GE, 2016).

Em países industrializados, o consumo de energia em sistemas de aquecimento e refrigeração pode chegar a 30% do consumo total de energia. Na China, por exemplo, nos edifícios, o consumo de energia para aquecimento, refrigeração, água quente e iluminação, é superior a 10% da energia total utilizada (WANG; XU; GE, 2016). Nesse sentido, há uma necessidade no mundo para o desenvolvimento de sistemas ecológicos de aquecimento e/ou refrigeração.

Além da preocupação com as fontes não renováveis, outro ponto que ganha destaque neste sentido, é a geração de resíduos sólidos. Estimativas indicam uma geração de

resíduos no mundo a uma faixa de 0,11 a 4,54 *kg per capita* por dia, sendo esses valores, geralmente, correlacionados com os níveis de renda e as taxas de urbanização. A composição global de resíduos diz que 44% corresponde a alimentos e resíduos verdes e 38% correspondem à soma de materiais recicláveis, como plásticos (12%), papel e papelão (17%), metal (4%) e vidro (5%) (KAZA et al., 2018).

O destino do resíduo gerado pela população é de muita preocupação devido a escalada na produção e o descarte incorreto, podendo gerar consequências irreversíveis para o meio ambiente. Na procura por soluções para ajudar a amenizar esses problemas, pode-se destacar duas soluções viáveis, como a reciclagem e reutilização. Nesse sentido, projetos que envolvam reciclagem, reutilização e geração de energia, são extremamente importantes na sociedade atual, visando mitigar os impactos adversos provocados ao meio ambiente.

A região do maciço de Baturité tem uma elevada incidência de radiação solar, o que favorece o uso dessa fonte de energia renovável, com isso, faz-se necessário a divulgação de tecnologias de baixo custo para a população desta região. Nesse sentido, o presente trabalho se insere com o intuito de construir um aquecedor solar de água (ASA) alternativo, reutilizando materiais plásticos descartados e realizar a divulgação desta tecnologia para a população local a fim de incentivar o seu uso e a conscientização das pessoas no tocante a reutilização de materiais e aproveitamento da energia solar.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Despertar nas pessoas a consciência de reciclagem e utilização de energia limpa através do uso do aquecedor solar alternativo.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Construir um protótipo de aquecedor solar com materiais reutilizáveis;
- Realização de testes com o protótipo para validação;
- Realizar palestras sobre o aproveitamento da energia solar, reutilização de materiais descartáveis e sustentabilidade ambiental.

## **1.2 Estrutura Do Trabalho**

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. No capítulo 1 o tema é contextualizado, apresentando uma breve introdução e justificativa do projeto, além disso, são descritos os objetivos gerais e específicos.

No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico a respeito dos principais pontos abordados no trabalho, como a energia solar, resíduos sólidos e aquecedor solar.

O capítulo 3 mostra a metodologia do trabalho, detalhando a respeito da radiação solar no local, o princípio de funcionamento do sistema, dimensionamento e a construção do protótipo.

No capítulo 4 são mostrados e discutidos os resultados. São mostrados os valores obtidos nos testes com o aquecedor solar, as palestras realizadas e discutido o questionário aplicado.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Energia Solar

A densidade média da energia da radiação solar que chega à atmosfera terrestre é de  $1.366 \text{ W/m}^2$ , conhecida comumente como constante solar. Grande parte desta radiação não atinge o solo terrestre, aproximadamente 30% da radiação é refletida ao espaço e 20% é absorvida pelas nuvens e moléculas no ar, desta forma, fazendo com que 50% chegue a superfície,  $683 \text{ W/m}^2$  (CHEN, 2011). A partir das equações (1) e (2) utilizadas por Chen (2011), é possível determinar a radiação média e a energia anual que incidem sobre a Terra. Para isso, tem-se que o raio da Terra é de aproximadamente de  $2/\pi \times 10^7 \text{ m}$ , e com isso pode-se estimar a área total da Terra e assim calcular o total de radiação que chega à superfície. Além disso, para o cálculo da energia, sabe-se que um dia tem 86.400 segundos e um ano 365,2422 dias.

$$\text{Radiação}_{\text{média}} = 683 \times 4 \pi \times 10^{14} \cong 8,67 \times 10^{16} \text{ W} \quad (1)$$

$$\text{Energia}_{\text{anual}} = 8,67 \times 10^{16} \times 86400 \times 3652422 \cong 2,73 \times 10^{24} \text{ J} \quad (2)$$

Logo, a radiação média é de  $8,67 \times 10^{16} \text{ W}$  e a energia total anual é  $2,73 \times 10^{24} \text{ J}$ . Para se prever a quantidade a quantidade de energia solar incidente, pode-se fazer uma comparação com o consumo global anual de energia. Nos anos de 2005 a 2010, o consumo médio anual de energia em todo o mundo foi de cerca de  $500 \text{ EJ}$ , ou seja, aproximadamente 0,01% da energia solar anual que chega à Terra pode satisfazer a necessidade mundial. Além disso, as projeções indicam que em 2025 o consumo será de  $654 \text{ EJ}$  e  $702 \text{ EJ}$  em 2030 (CHEN, 2011).

O suprimento de combustíveis fósseis ficará cada vez mais escasso e caro, junto com uma crescente preocupação ambiental, espera-se uma dependência crescente da conservação de energia e desenvolvimento de tecnologias para o uso de fontes alternativas e, nesse sentido, a fonte mais óbvia é a solar (ARSHAD, 2017).

O sistema de geração de energia solar está crescendo rapidamente em todo o mundo, e para manter esse crescimento são altamente necessárias novas melhorias na utilização dos materiais, projetos alternativos e consistência das tecnologias de produção (ARSHAD, 2017).

A energia solar térmica é a fonte mais comumente disponível e pode ser amplamente utilizada para cozinhar, aquecer água e secar frutas a um custo zero pelo consumo de energia. Além dos benefícios econômicos, pode-se contribuir com a conservação do meio

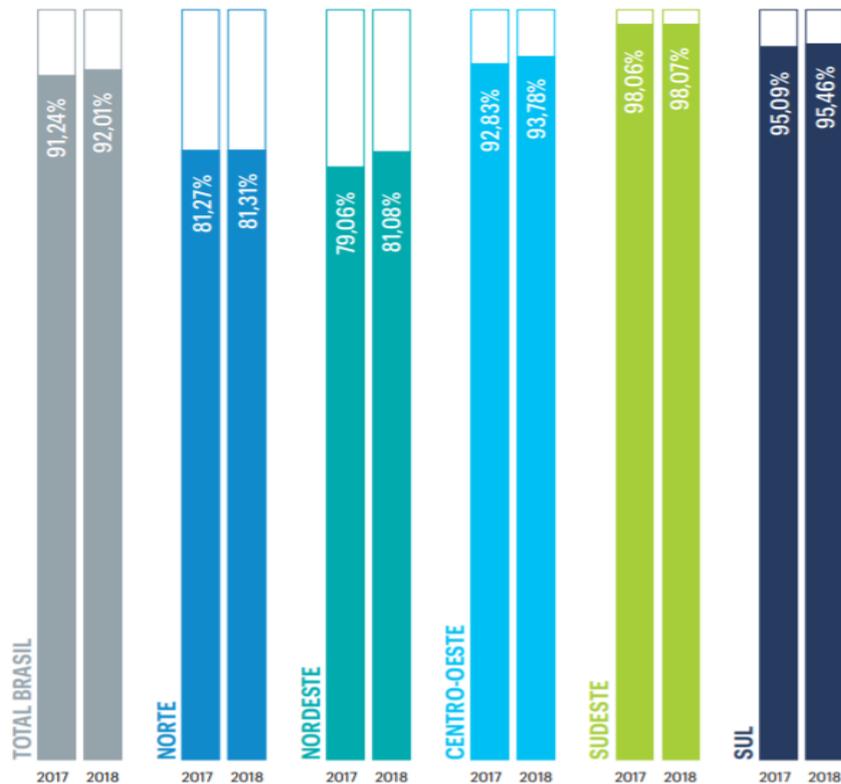
ambiente, já que um sistema solar de aquecimento de água de 100 litros por dia, instalado em uma casa, pode evitar a emissões de cerca de 1.237,00 kg de CO<sub>2</sub> em um ano (ARSHAD, 2017).

## 2.2 Resíduos Sólidos

O processo de urbanização e desenvolvimento industrial são os principais causadores do aumento da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU), principalmente nos grandes centros econômicos do país (GOUVEIA, 2012). No Brasil cada pessoa gera em média 380 kg/ano de RSU, ou seja, um pouco mais de 1kg de resíduos por dia (ABRELPE, 2019).

Em 2018 o Brasil gerou 79 milhões de toneladas de RSU, um aumento de aproximadamente 1% em relação ao ano anterior. Desse total, 92% (72,7 milhões) foram coletados, enquanto que 6,3 milhões de toneladas não foram recolhidos nos locais de geração, sendo o Nordeste é a região com menor índice de cobertura de coleta RSU. Como mostrado na Figura 1, de 2017 para 2018, o nordeste teve o maior crescimento na coleta, um aumento de 79,06% para 81,08%, entretanto, ainda se mantendo na última colocação em relação às demais regiões do país (ABRELPE, 2019).

**Figura 1** - Índice de cobertura da coleta de RSU.



Fonte: (ABRELPE, 2019).

No estado do Ceará foi criada a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), através da lei nº 16.032/2016. Alicerçado nas leis, a secretaria municipal de meio ambiente do Ceará (SEMA) desenvolveu na região do maciço de Baturité, o Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PRGIRS). Este plano tem como alguns dos principais objetivos a implantação da coleta seletiva em todos os municípios, eliminação dos lixões, recuperação das áreas degradadas e projetos de educação ambiental. Além de detalhar os mecanismos para concretização desses objetivos, o plano regional traz ainda dados da situação dos RSU nessa região (SEMA, 2018).

Em 2018 estima-se que o total de resíduos gerados na região do maciço tenha sido de 196,80 toneladas por dia, sendo que 26,19% deste total (51,54 toneladas) são resíduos recicláveis, como por exemplo: papel/papelão (5,05%), plástico filme (13,53%), plástico rígido (0,85%), dentre outros.

Em 2018 o município de Redenção-CE gerou cerca de 24,02 toneladas de resíduos por dia, além disso, a projeção feita pela SEMA mostra que até 2037 haverá um aumento de 20% na geração diária de resíduos em Redenção-CE, o que resulta em 28,36 toneladas por dia (SEMA, 2018). Os dados atuais e as projeções futuras evidenciam que, além das medidas que estão sendo tomadas, há necessidade de mais iniciativas voltadas para a educação ambiental e diminuição do descarte inadequado de resíduos sólidos no meio ambiente.

### **2.3 Aquecedor Solar De Água**

O sistema de aquecimento solar de água é uma tecnologia eficaz para converter energia solar em energia térmica, onde detém eficiência de aproximadamente 70%, enquanto que os sistemas de conversão em energia elétrica só conseguem eficiências de até 17% (JAISANKAR et al., 2011).

O sistema de aquecimento solar de água compreende várias inovações e tecnologias maduras de energia renovável, que são aceitas há muitos anos e amplamente utilizadas na maioria dos países do mundo (HOSSAIN et al., 2011).

O aquecedor solar de água mais comum e comercialmente disponível é do tipo termossifão, que basicamente utiliza um coletor de placa plana, um tanque de armazenamento e tubos de conexão (JAMAR et al., 2016). O coletor de placa plana é o componente central no que se refere à eficiência de qualquer sistema de aquecimento solar de água, por conta disso,

vários estudos foram realizados na melhoria do desempenho desse equipamento (JAISANKAR et al., 2011).

De forma geral, as características que mais influenciam no rendimento do sistema de termossifão são a placa absorvente, revestimentos seletivos, isolamento térmico e ângulo de inclinação do coletor (JAISANKAR et al., 2011). Deste modo, vários estudos foram realizados de modo a melhorar a eficiência térmica do sistema, por exemplo, uso de duas lâminas de vidro no coletor solar (NIRMALA, 2020), superfícies corrugadas no coletor (YASSEN; MOKHLIF; ELEIWI, 2019), uso de materiais nanocompósitos nas placas (MANDAL et al., 2020), sistema a vácuo (AL-JOBOORY, 2019; SOULIOTIS et al., 2017), dentre outros.

A utilização para higiene pessoal e lavagem de utensílios são as finalidades mais comuns para os aquecedores solares de água, tanto em aplicações residenciais, quanto comerciais (hotéis, restaurantes, clubes e hospitais).

No Brasil os primeiros aquecedores eram feitos com placas metálicas que absorviam a radiação solar, entretanto, apresentavam um alto custo devido aos materiais utilizados, como por exemplo, alumínio e cobre. Isso levou ao desenvolvimento de vários projetos alternativos para o aquecimento de água, dentre eles, está o projeto desenvolvido por Alano (2008), que é o aquecedor solar construído com materiais recicláveis, como mostrado na Figura 2.



Fonte: Alano (2008).

O aquecedor solar desenvolvido por Alano (2008) reutiliza materiais descartáveis, como garrafas PET e embalagens cartonadas longa vida, na intenção de economizar energia elétrica, substituindo o chuveiro elétrico, e reutilizar matérias que seriam descartados. A ideia desse projeto é excelente, tendo em vista que gera benefícios diretos ao meio ambiente e despertar nas pessoas a consciência de que todas essas embalagens descartadas podem ser reutilizadas e transformadas em algo útil. O princípio de funcionamento do aquecedor solar reciclável é dado também pelo sistema termossifão.

### 3 METODOLOGIA

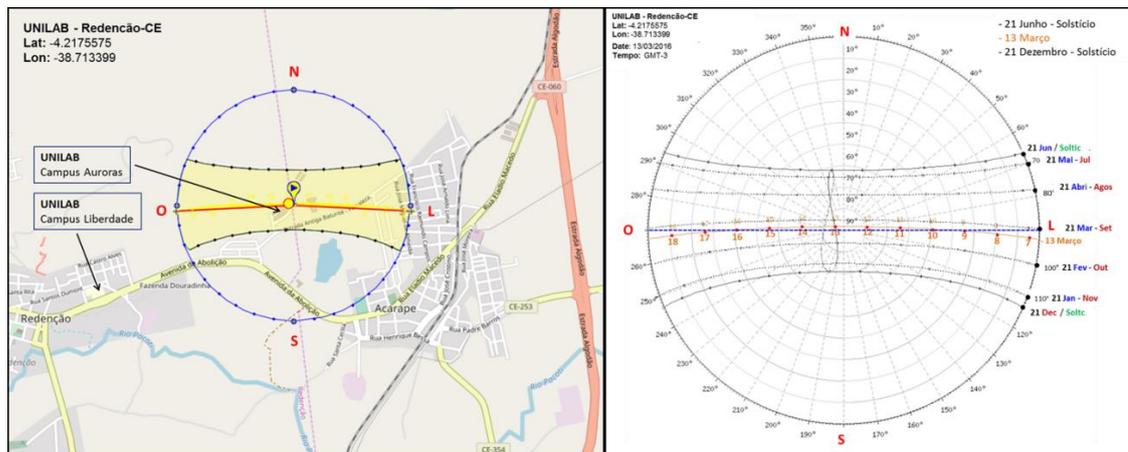
#### 3.1 Radiação Solar na Cidade de Redenção-Ce

A Figura 3 mostra a localização do campus das Auroras da UNILAB (Universidade Da Integração Internacional Da Lusofonia Afro-Brasileira) no município de Redenção-CE, que se encontra a uma altitude de  $88m$  acima do nível do mar e coordenadas geográficas de latitude de  $-4.22637$  e longitude de  $-38.7314$ .

Com auxílio do site SunEarthTools (2016), que disponibiliza uma ferramenta para visualização da carta solar de qualquer lugar do globo, foi possível mostrar a trajetória do Sol ao longo do ano em termo de ângulo de elevação e azimute específicos do Sol para as diferentes estações do ano desta região.

Nesta região o Sol fica do lado norte desde o equinócio de outono, em 21 de março, sendo no solstício de inverno (21 de junho) o dia mais afastado na direção norte, isso, até retornar novamente no equinócio de primavera em 21 de setembro. O sol muda de posição para o lado sul a partir do equinócio de primavera até chegar ao dia mais afastado na direção sul, que é no solstício de verão (21 de dezembro) e retornando novamente ao equinócio de outono, onde o ciclo se repete novamente ao longo dos anos. Este conhecimento é importante para saber o posicionamento adequando dos equipamentos de energia solar e, desta forma, poder obter melhor rendimento.

**Figura 3** - Posição geográfica da UNILAB e carta solar.

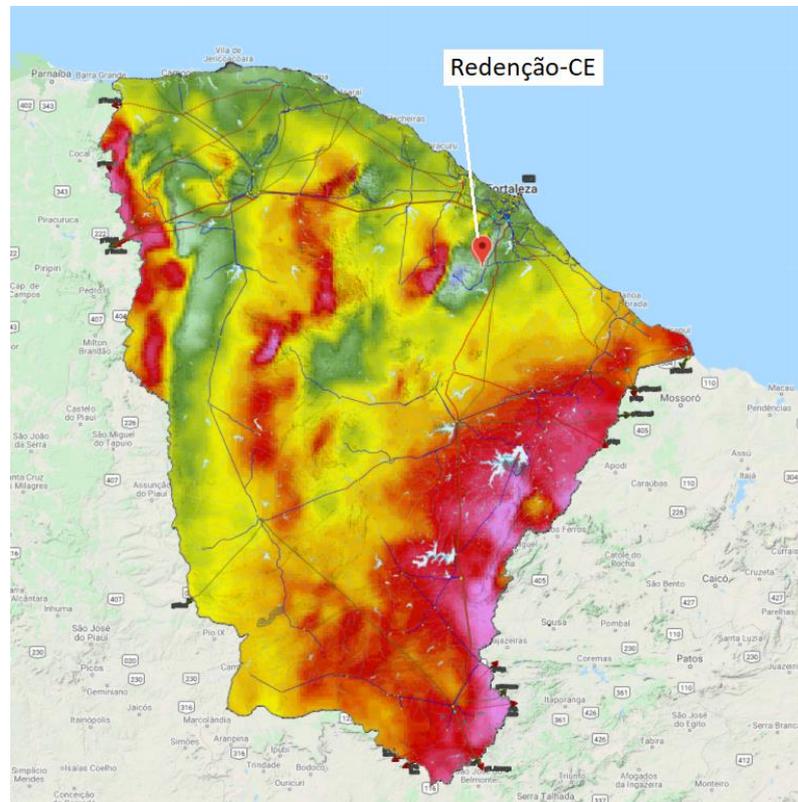


Fonte: adaptado de SUNEARTHTOOLS (2016).

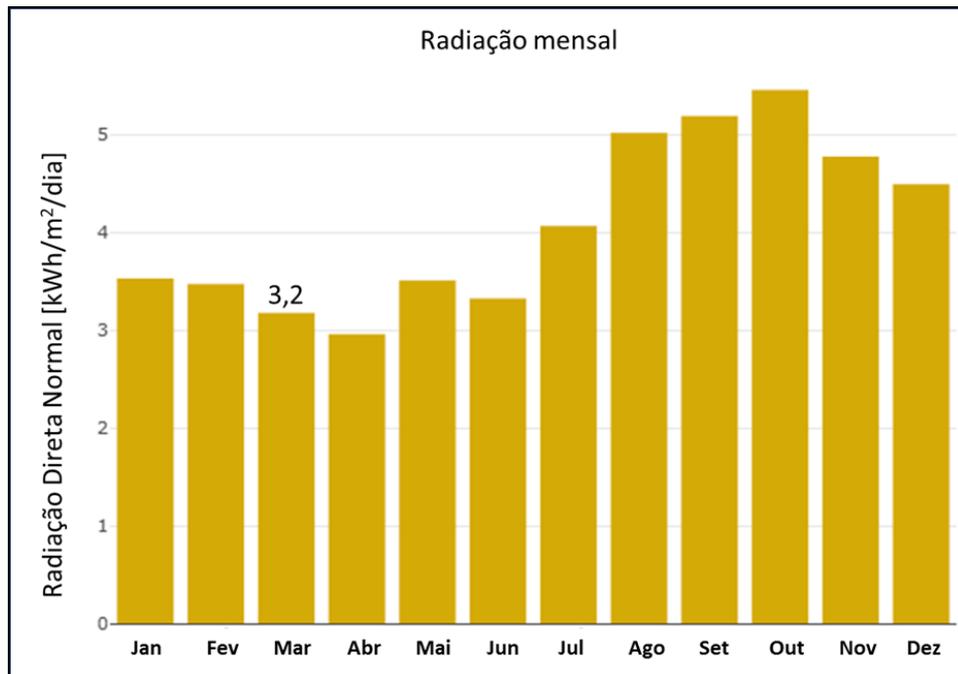
Com ajuda do Atlas Eólico e Solar disponibilizado por Associados Camargo Schubert Engenheiros (2019), é possível obter informações da radiação solar no estado (Figura 4). Analisando especificamente o município de Redenção, pode-se verificar que as radiações anuais são: global horizontal igual a  $5,0 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ , radiação normal direta igual  $4,1 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  e radiação difusa horizontal igual a  $1,8 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ . A temperatura média diurna anual é de  $27,7^\circ\text{C}$  e densidade de ar de  $1,15 \text{ kg/m}^3$ . Neste trabalho foram realizados os experimentos no mês de março e, segundo os dados obtidos pelo atlas solar, a radiação média nesse mês é de  $3,2 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  (Figura 5).

De forma geral o nordeste brasileiro tem grande incidência de radiação solar, a média anual da radiação solar global diária é de  $20 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$ . Este valor pode ser comparado com regiões extremamente secas, como por exemplo, Dongola - Sudão, que tem um valor de  $23,8 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  (COUTO; OLIVEIRA; BRAGA, 2016). Esta comparação permite analisar o potencial de energia solar que os municípios da região do maciço de Baturité têm, e a grande importância sobre projetos de divulgação de tecnologias simples e baratas para uso domiciliar da população desta região.

**Figura 4** - Atlas da radiação solar no estado do Ceará..



Fonte: Adaptado de Associados Camargo Schubert Engenheiros (2019).

**Figura 5** - Radiação solar normal no município de Redenção-CE

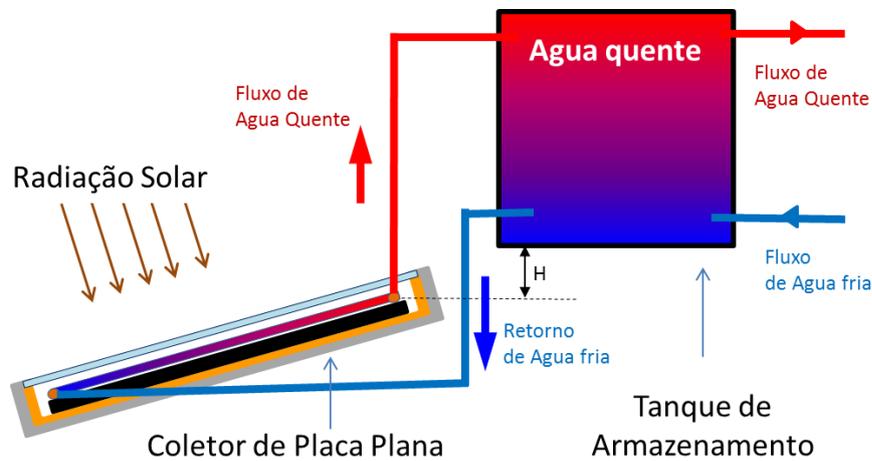
Fonte: Adaptado de Associados Camargo Schubert Engenheiros (2019).

### 3.2 Sistema Termossifão

No aquecedor solar, a convecção natural permitirá transportar água quente do coletor para o tanque de armazenamento. Esse sistema de funcionamento ganha o nome de termossifão, ele irá funcionar quando o calor no coletor for aumentado pela energia solar, fazendo com que água se expanda (água quente) e se torne menos densa que a do reservatório (água fria), desta forma, essa diferença de densidade faz com que a água aquecida suba através dos canos superiores do coletor até o topo do tanque de armazenamento (JAMAR et al., 2016).

A Figura 6 mostra um esquema do funcionamento do termossifão de um aquecedor solar de água. A inclinação do coletor solar depende das coordenadas geográficas de onde está situado. Sabendo que o município de Redenção tem uma latitude de aproximadamente  $4^\circ$ , e que segundo as recomendações dadas na Alano (2008), deve-se aumentar em  $10^\circ$ , logo, a inclinação recomendada para essa região seria de  $14^\circ$ . Além disso, o posicionamento do coletor deve ser voltado para o norte, a fim de potencializar a absorção da radiação. O tanque de armazenamento deve ser posicionado com uma diferença de alturas (H) de, no mínimo, 30cm em relação à parte superior do coletor solar. O tanque tem uma entrada de água fria na parte inferior, sendo ela proveniente da rede alimentação da casa, e uma saída na parte superior que fornece água quente à casa.

**Figura 6** - Esquema do funcionamento termossifão de um aquecedor solar de água.



Fonte: Próprio autor.

### 3.3 Dimensionamento do Aquecedor Solar de Água

Para o dimensionamento foi utilizado às equações (3) e (5) propostas por Bertoleti e Souza (2008). De início foi definido a capacidade do reservatório, onde foi determinado o valor de 20 litros, isso para facilitar o transporte do protótipo, tendo em vista sua utilização em palestras na região.

$$Q = M \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

Onde:

$Q$ : calor necessário para aquecer a água.

$M$ : volume de água a ser aquecida (20 litros = 20 kg)

$c_p$ : calor específico da água (1 cal/g °C)

$T_f$ : Temperatura final estimada (50°C)

$T_i$ : Temperatura inicial estimada (26°C)

$\Delta T$ : variação de temperatura ( $T_f - T_i$ )

$$Q = M \cdot c_p \cdot \Delta T \rightarrow Q = 20kg \cdot 1 \frac{cal}{g \cdot ^\circ C} \cdot (50^\circ C - 26^\circ C) \rightarrow Q = 480kcal \quad (4)$$

Tendo calculado a quantidade de calor necessária para aquecer o volume de água, pode-se calcular a área do coletor:

$$S = 2 \cdot \frac{Q}{I} \quad (5)$$

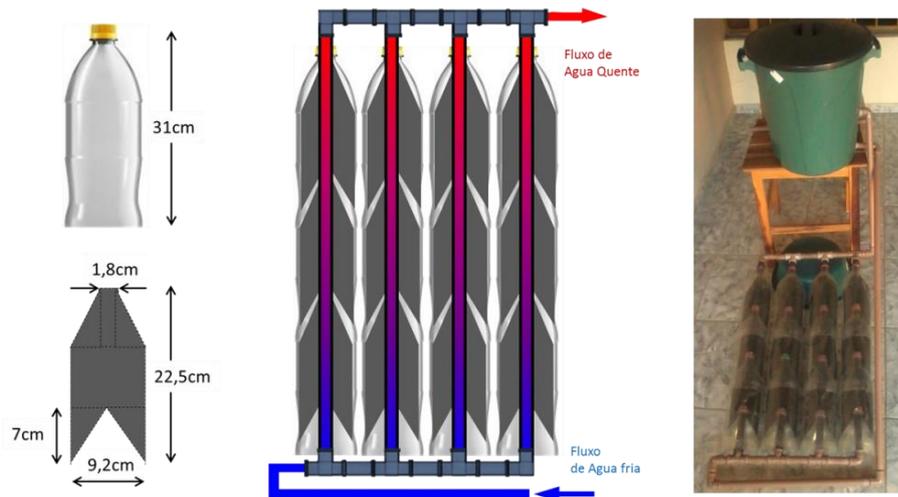
$I$  = radiação média diária ( $5 \text{ kWh} / \text{m}^2 = 4300,00 \text{ kcal} / \text{m}^2$ )

$S$  = área do coletor ( $\text{m}^2$ )

$$S = 2 \cdot \frac{Q}{I} \rightarrow S = 2 \cdot \frac{480 \text{ kcal}}{4300 \text{ kcal}} \rightarrow S = 0,22 \text{ m}^2 \quad (6)$$

Com o valor de área obtido na equação (6), foi possível estipular a quantidade de garrafas PET's e caixas de leite. Sabendo que uma garrafa tem aproximadamente  $0,2\text{m}$  de comprimento e diâmetro entorno de  $0,1\text{m}$ , foi utilizado o seguinte arranjo no coletor: 4 colunas, totalizando  $0,4\text{m}$  de largura, e cada coluna com 3 garrafas, resultando em  $0,6\text{m}$  de altura. Desta forma, a área total é  $0,24\text{m}^2$ , valor muito próximo do obtido na equação (6). Com isso, foi possível a construção do protótipo mostrado na Figura 7.

**Figura 7** - Aquecedor solar de água desenvolvido com garrafas PET, embalagens longa vida, tubulações de PVC e tanque de armazenamento.



Fonte: Próprio autor.

A construção do protótipo de aquecedor seguiu a metodologia proposta por Alano (2008), que utilizou materiais plásticos descartáveis como garrafas PET e embalagens

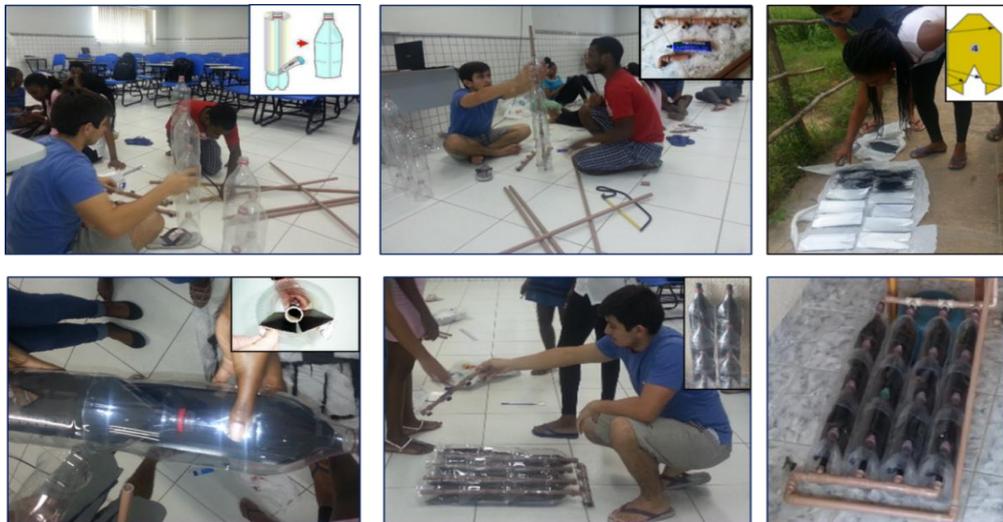
cartonadas longa vida. foi necessário tubos de PVC de meia polegada, e para as conexões foram utilizados cotovelos e junções tipo T, também de meia polegada. O coletor é construído com doze garrafas PET de 2 litros, seis embalagens cartonadas longa vida, 10 metro de tubo de PVC de meia polegada, 12 cotovelos e 10 junções tipo T. As garrafas PET e embalagens cartonadas utilizadas na construção do aquecedor, foram coletadas nas residências da comunidade local. Já outros matérias, como: canos PVC, junções e colas de vedação, foram comprados.

### 3.4 Construção do Aquecedor Solar

Para o processo de construção do aquecedor solar, foi realizado limpeza e corte das garrafas de 2 litros, de modo que elas possam se encaixar. Já as embalagens longa vida, além de limpeza e corte dimensionado, foram pintadas com tinta do tipo preto fosco, a fim de potencializar a absorção de calor. Os tubos de PVC também foram pintados.

A montagem do coletor foi iniciada colocando as embalagens longa vida dentro das garrafas PET e acoplando-as para formar colunas utilizando os tubos de PVC. Depois, as colunas são acopladas com junções como cotovelos e conexões tipo T, em seguida, feita a fixação com cola. Após finalizar a construção do coletor solar, foi acoplado ao tanque de armazenamento por meio de conexões e tubos de PVC. Ao realizar o dimensionamento da tubulação de conexão do coletor solar ao tanque de armazenamento, deve-se respeitar a diferença de altura mínima entre eles, o tanque deve ser posicionado, no mínimo, 30 cm acima do coletor solar, e assim poder garantir o sistema de funcionamento de termossifão.

**Figura 8** - Processo de construção do coletor solar, montagem e junção com o tanque de armazenamento.



Fonte: Próprio autor.

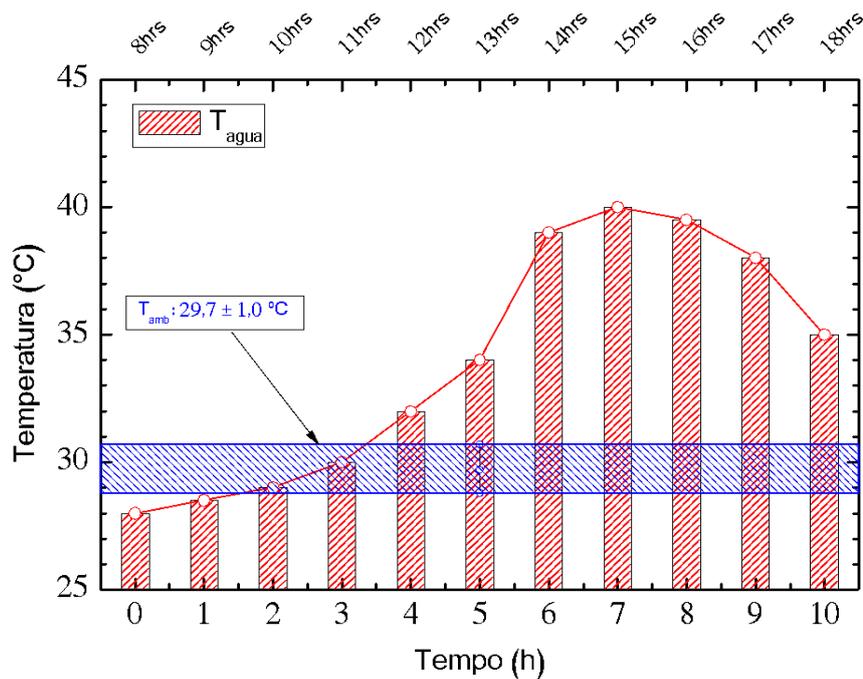
Na Figura 8 é mostrado o passo a passo da construção do aquecedor através de uma oficina realizada com os alunos do curso de Engenharia de Energias da UNILAB. Cabe ressaltar que esta experiência foi muito importante e enriquecedora entre os alunos participantes, mostrando de forma prática a construção de um aquecedor para uso da energia solar. Desta forma, contribuindo para divulgação desta tecnologia entre os alunos provenientes da região do maciço de Baturité e também para outros países através da participação dos alunos da UNILAB de diversas nacionalidades provenientes dos países lusófonos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Funcionamento e Variação da Temperatura e Calor

Foi realizada um experimento no dia 13 de março de 2016. Durante o funcionamento do aquecedor solar a temperatura da água do reservatório foi medida a cada hora. Na Figura 9 pode ser observado que nas três primeiras horas do período da manhã (8-11hrs) a temperatura da água não conseguiu superar a temperatura média ambiente ( $29,7^{\circ}\text{C}$ ). Após as 11hrs da manhã a temperatura da água começou aumentar de forma mais significativa, alcançando uma temperatura de aproximadamente  $40^{\circ}\text{C}$ , isso depois de seis horas de funcionamento, ou seja, por volta das 14hrs.

**Figura 9** - Variação da temperatura da água durante o funcionamento do aquecedor solar.

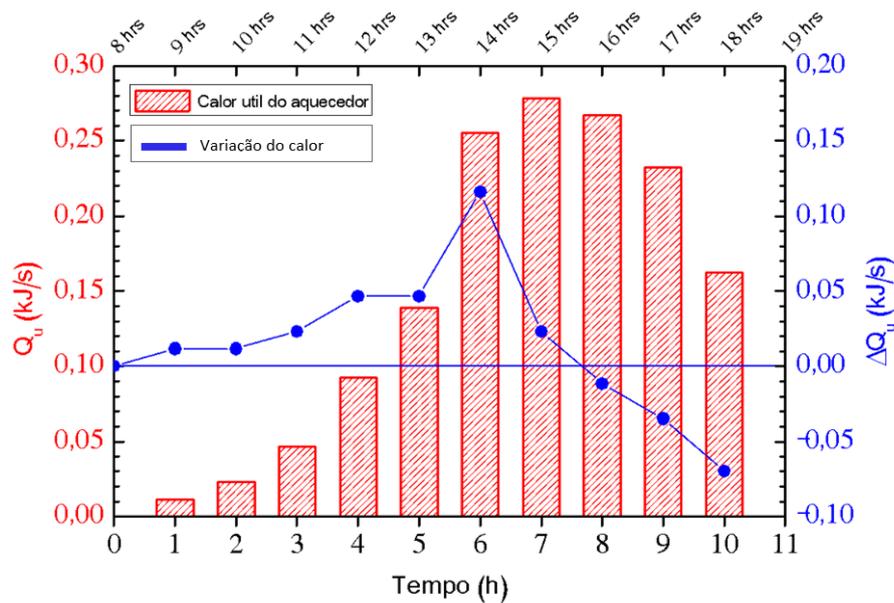


Fonte: Próprio autor.

Utilizando a equação da calorimetria (1), onde  $Q$  é a quantidade de calor,  $M$  o volume de água,  $C_p$  o calor específico da água e  $\Delta T$  a variação de temperatura, foram realizados cálculos para o calor ganho pela água com relação ao início do experimento (8hrs) e o calor acumulativo ( $Qu$ ). A cada hora observou-se um aumento no ganho de calor até alcançar um valor máximo cumulativo depois de sete horas de funcionamento (~15hrs), onde após esse horário há um decréscimo do calor cumulativo ganho pela água.

Outra forma de poder analisar o calor absorvido pela água, é através das mudanças do calor a cada hora ( $\Delta Q_u$ ), onde foi possível notar que existe absorção de calor até as 14hrs. Em seguida, a partir de umas 15hrs, iniciou-se uma perda do calor para o ambiente, o que justifica os valores negativos, e os quais foram interpretados como diminuição da temperatura da água do reservatório.

**Figura 10** - Calor acumulativo (vermelho) e variação do calor (azul) em função do tempo de funcionamento.



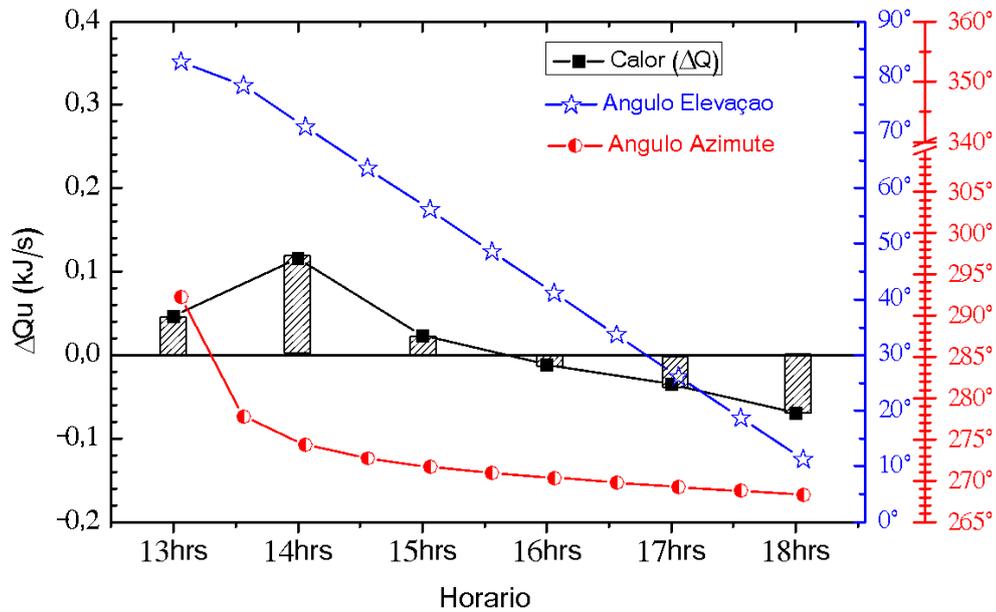
Fonte: Próprio autor.

As Figuras 11 e 12 mostram uma comparação dos resultados da variação do calor absorvido em dois dias no período da tarde. O primeiro dia esteve parcialmente nublado (Figura 11), e no outro foi um dia ensolarado (Figura 12). As datas correspondem ao dia 13 e 19 de março, respectivamente. Os gráficos permitem realizar uma análise comparativa, em que, pode-se notar que no dia ensolarado houve uma maior e mais rápida absorção de calor pela água. Além disso, com apenas 30 minutos (13:30 - 14:00hrs) de exposição, houve um ganho de  $0,38\text{kJ/s}$ , que, se comparado com o dia parcialmente nublado, representa um valor de quase três vezes.

A posição de Sol em termos de ângulo de elevação e azimute para estas datas em específico foram obtidas através da ferramenta disponível no site SunEarthTools (SUNEARTHTOOLS, 2016). Pode-se ver que as 14hrs o Sol ainda estava em torno de  $80^\circ$  de elevação e um azimute de  $350^\circ$  (ou direção próxima no sentido Norte), ou seja, o coletor solar recebe ainda bastante radiação. A perda de calor observada após 16hrs também se deve a posição do sol ser menos favorável para aquecimento do coletor solar. Em relação ao ângulo de

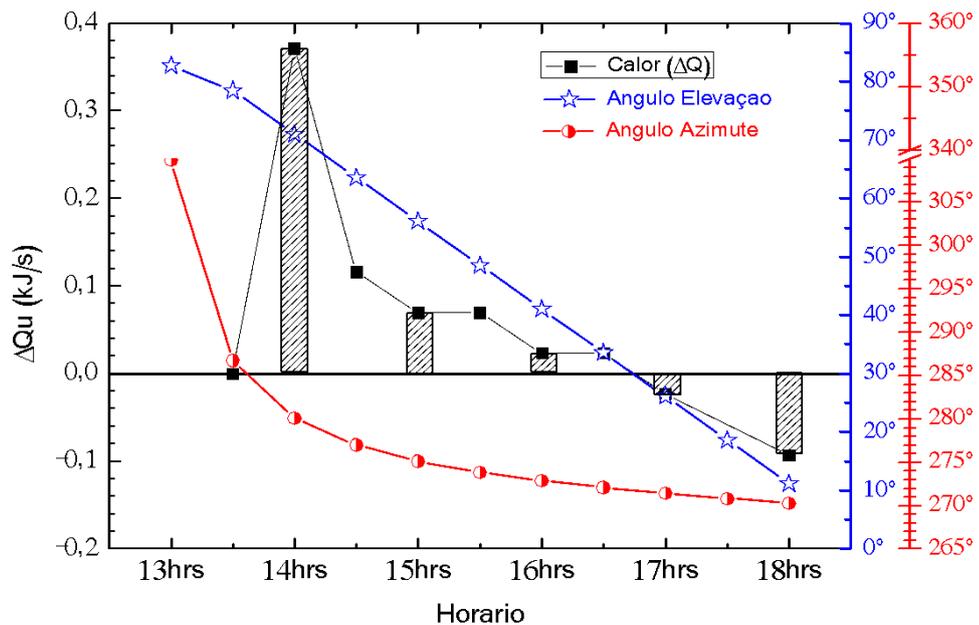
elevação, o mesmo ficou próximo de  $40^\circ$ , já o azimute ficou em torno de  $270^\circ$  (ou sentido oeste), fato relacionado à própria região em termo de coordenadas geográficas.

**Figura 11** - Variação do calor absorvido em função horário e posição de Sol em termos de ângulo de elevação e azimute (primeiro dia).



Fonte: Próprio autor.

**Figura 12** - Variação do calor absorvido em função horário e posição de Sol em termos de ângulo de elevação e azimute (segundo dia).



Fonte: Próprio autor.

## 4.2 Divulgação do Funcionamento do Aquecedor Solar

A Figura 13 mostra duas fotos representativas das várias palestras que foram realizadas nas escolas e associações de moradores dos municípios próximos a UNILAB. Nas palestras foram mostrados a construção e funcionamento do aquecedor solar, e importância das energias renováveis e da reutilização de materiais plásticos para a conservação do meio ambiente. A fim de auxiliar na montagem dos aquecedores, foram distribuídos durante as palestras manuais contendo o passo a passo da construção, lista de materiais e modo de instalação, para um aquecedor de 100 litros de água.

Durante a realização das palestras foram levantadas algumas informações dos participantes através de um questionário, onde cerca de 70 pessoas responderam. Dentre as questões realizadas, pode-se destacar que 80% dos participantes mostraram interesse por ter água quente em casa através do uso de aquecedor solar. Apenas 1% não queria ter água quente e 19% não soube responder. Com relação ao aquecedor solar alternativo e a preocupação com o meio ambiente, 80% se mostraram favorável a reutilizar plásticos pós-consumo para aquecer água e economizar energia, os demais optaram pela utilização de chuveiro elétrico ou não souberam responder.

O resultado do questionário mostrou claramente a importância de realizar projetos de divulgação de tecnologias simples e baratas, e dessa forma, contribuir para um pensamento de conservação do meio ambiente e aproveitamento das energias renováveis.

**Figura 13** - Divulgação do projeto na escola Danísio Dalton Correa- Barreira/CE e na escola Escola Joaquim Simão de Oliveira- Serra Guassi Redenção-CE.



Fonte: Próprio autor.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O aquecedor solar de água construído com materiais plásticos descartados, alcançou temperaturas de aquecimento da água de até 40°C, sendo esse um valor considerado como ideal para o banho e inferior à temperatura da degradação térmica das tubulações de PVC.

Embora o aquecedor solar de água alternativo não seja uma nova tecnologia no país, para a região em que o estudo foi aplicado, 80% dos participantes durante as divulgações do projeto mostraram interesse na construção de seus próprios aquecedores solares. O desenvolvimento e divulgação do aquecedor solar contribuiu não somente para reutilização de matérias ou economia de energia, mas também para fomentar o pensamento crítico da população local a respeito dos RSU.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. p. 68, 2019. Disponível em: <[https://www.migalhas.com.br/arquivos/2020/1/492DD855EA0272\\_PanoramaAbrelpe\\_-2018\\_2019.pdf](https://www.migalhas.com.br/arquivos/2020/1/492DD855EA0272_PanoramaAbrelpe_-2018_2019.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2021.
- ALANO, Jose Alcino. **Aquecedor solar produzido com matérias recicláveis**. 2008. Disponível em: <[http://www.planetareciclavel.com.br/desperdicio\\_zero/Kit\\_res\\_17\\_solar.pdf](http://www.planetareciclavel.com.br/desperdicio_zero/Kit_res_17_solar.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2021.
- AL-JOBOORY, Hassan Naji Salman. **Comparative experimental investigation of two evacuated tube solar water heaters of different configurations for domestic application of Baghdad- Iraq**. Energy and Buildings, vol. 203, 2019. disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109437>>. Acesso em: 25 julho. 2021.
- ARSHAD, M. **Clean and sustainable energy technologies**. In: RASUL, Mohammad G.; AZAD, Abul Klam; SHRAMA, Subhash C. (eds.). Clean Energy for Sustainable Development: Comparisons and Contrasts of New Approaches. [S. l.]: Elsevier, 2017. p. 73–89. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805423-9.00003-X>>. Acesso em: 31 jul. 2021.
- ASSOCIADOS CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS, et al. **Atlas Eólico e Solar: Ceará**. Curitiba: Camargo Schubert; Fortaleza: ADECE, FIEC, SEBRAE, 2019. 188 p. disponível em: <<http://atlas.adece.ce.gov.br/>>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- BERTOLETI, Pedro Henrique Fonseca; SOUZA, Teófilo Miguel de. **DIMENSIONAMENTO DE UM AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA FEITO COM GARRAFAS PET**. (2008). Disponível em: <<https://docplayer.com.br/3665781-Dimensionamento-de-um-aquecedor-solar-de-agua-feito-com-garrafas-pet.html>>. Acesso em: 04 ago. 2021.
- CHEN, C. Julian. **Physics of Solar Energy**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/9781118172841>>. Acesso em: 31 jul. 2021.
- COUTO, H J B; OLIVEIRA, R.A.E.; BRAGA, P F A. **Previsão De Radiação Solar Incidente No Estado Do Ceará**. Brasil. Holos, vol. 7, p. 218, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.15628/holos.2016.2706>>. Acesso em: 31 jul. 2021.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020**. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- GOUVEIA, Nelson. **Resíduos sólidos urbanos: Impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Ciencia e Saude Coletiva, vol. 17, no. 6, p. 1503–1510, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- HOSSAIN, M S; SAIDUR, R; FAYAZ, H; RAHIM, N A; ISLAM, M R; AHAMED, J U; RAHMAN, M M. **Review on solar water heater collector and thermal energy**

**performance of circulating pipe.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, no. 8, p. 3801–3812, 2011. DOI 10.1016/j.rser.2011.06.008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.06.008>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

JAISANKAR, S; ANANTH, J; THULASI, S; JAYASUTHAKAR, S T; SHEEBA, K N. **A comprehensive review on solar water heaters.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, no. 6, p. 3045–3050, 2011. DOI 10.1016/j.rser.2011.03.009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.009>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

JAMAR, A; MAJID, Z A A; AZMI, W H; NORHAFANA, M; RAZAK, A . **A review of water heating system for solar energy applications.** Vol. 76, p. 178–187, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

KAZA, Silpa; YAO, Lisa; BHADA-TATA, Perinaz; VAN WOERDEN, Frank. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.** [S. l.]: The World Bank, 2018. DOI 10.1596/978-1-4648-1329-0. Disponível em: <<http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/978-1-4648-1329-0>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

MANDAL, Swaroop Kumar; KUMAR, Samarjeet; SINGH, Purushottam Kumar; MISHRA, Santosh Kumar; SINGH, D. K. **Performance investigation of nanocomposite based solar water heater.** Energy, vol. 198, p. 117295, 2020. DOI 10.1016/j.energy.2020.117295. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117295>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

NIRMALA, P.N. **Comparative studies on efficiency of single and double glassed solar water heater.** Materials Today: Proceedings, no. xxxx, p. 3–7, 2020. DOI 10.1016/j.matpr.2020.02.204. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.204>>. Acesso em: 06 ago. 2021.

SEMA, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Região Maciço de Baturité.** 2018. Disponível em: <[https://www.rendacao.ce.gov.br/arquivos/350/PROJETO\\_001\\_2019\\_0000001.pdf](https://www.rendacao.ce.gov.br/arquivos/350/PROJETO_001_2019_0000001.pdf)>. Acesso em: 28 jul. 2021.

SOULIOTIS, Manolis; PAPAETHIMIOU, Spiros; CAOURIS, Yiannis G.; ZACHAROPOULOS, Aggelos; QUINLAN, Patrick; SMYTH, Mervyn. **Integrated collector storage solar water heater under partial vacuum.** Energy, vol. 139, p. 991–1002, 2017. DOI 10.1016/j.energy.2017.08.074. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.074>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

SUNEARTHTOOLS. **Cálculo da posição do sol no céu para cada local sobre a terra a qualquer hora do dia. 2016.** Disponível em: <[https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=pt](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt)>. Acesso em: 31 jul. 2021.

WANG, R Z; XU, Z Y; GE, T S. **Introduction to solar heating and cooling systems.** In: WANG, R.Z.; GE, T.S. (eds.). Advances in Solar Heating and Cooling. 1st ed. [S. l.]: Elsevier, 2016. vol. 5, p. 3–12.

YASSEN, Tadahmun A.; MOKHLIF, Nassir D.; ELEIWI, Muhammad Asmail. **Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for**

**domestic use.** Renewable Energy, vol. 138, p. 852–860, 2019. DOI 10.1016/j.renene.2019.01.114. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.114>>. Acesso em: 27 jul. 2021.