



**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Engenharia Mecânica**

**Trabalho de Licenciatura**

**TEMA:** Análise e Projeção de um Colector solar de materiais reciclados para aquecimento de água numa vivenda unifamiliar na cidade de Maputo

**Discente:**

Joia, Hermenegildo Acácio Alfai

**Supervisor:**

Eng<sup>o</sup>. Roberto Luciano David

Maputo, Novembro de 2022



**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Engenharia Mecânica**

**Trabalho de Licenciatura**

**TEMA:** Análise e projecção de um Colector solar de materiais reciclados para aquecimento de água numa vivenda unifamiliar na cidade de Maputo

**Discente:**

**Joia,** Hermenegildo Acácio Alfai

**Supervisor:**

Eng<sup>o</sup>. Roberto Luciano David

Maputo, Novembro de 2022

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que o estudante Hermenegildo Acácio Alfai Joia, entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/2022 as 3 cópias do seu trabalho de Licenciatura com referência: \_\_\_\_\_, intitulado: **Análise e projecção de um Colector solar de materiais reciclados para aquecimento de água numa vivenda unifamiliar na cidade de Maputo.**

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022

O chefe de Secretaria

---

**DECLARAÇÃO DE HONRA**

Declaro, sob palavra de honra, que o presente trabalho de licenciatura foi realizado por mim, com base nos recursos que no mesmo se faz referência.

---

(Hermenegildo Acácio Alfai Joia)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha mãe, Amelia João Sande e ao meu tio, Abel Joia, pelo amor inestimável, por sempre acreditarem no meu potencial e por confiarem em mim. Pelo apoio emocional e material, para que eu pudesse concretizar os meus sonhos e objetivos.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela sua eterna misericórdia, compaixão, por me proporcionar o dom da vida e por estar comigo durante toda minha trajetória abençoando e iluminando as minhas escolhas.

A minha abençoada família, em especial a minha mãe, Amelia João Sande, a minha avó, Regina Toalha e ao meu tio, Abel joia pelo seu apoio incondicional para qualquer que seja a minha loucura. E, sobretudo, pelo seu apoio em toda minha trajetória acadêmica para o alcance dos meus objetivos.

A Universidade Eduardo Mondlane (UEM), pelo excelente elenco de professores que contribuíram para a minha formação.

Ao meu supervisor, Eng<sup>o</sup> Roberto Luciano David, por confiar em mim e pelo auxílio e paciência durante a realização deste trabalho.

A todos meus colegas do curso, em particular ao Daniel Senzecua, Hernane Rodrigues, António Marques e Brayton, pela companhia e o encorajamento nos momentos tristes.

Ao meu primo, José sande, pela amizade, irmandade, confiança, companheirismo e encorajamento, para que tudo se tornasse uma realidade. E ao meu Tio Alexandre Joia, por ter me aconselhado a não desistir dos meus sonhos.

A todos que aqui não foram citados, mas que direta ou indiretamente contribuíram na minha formação e na realização deste trabalho.

Estou imensamente agradecido!

## **RESUMO**

No presente trabalho, pretende-se analisar e projectar um Colector solar de materiais reciclados (garrafas PETs), com fim de aquecimento de água para aplicação doméstica.

Primeiramente, far-se-á a identificação de alguns parâmetros que vão auxiliar no estudo do Colector em causa, tais como, temperatura do meio ambiente em diferentes estações do ano, velocidades do vento, humidade relativa do meio em que o Colector solar irá funcionar, e estes dados, serão combinados com outros (ângulo de inclinação do Colector, intensidade da radiação, diâmetro dos tubos do Colector, tipo de material dos tubos condutores da água, sua condutividade térmica, área de incidência do Colector, e outros), e, serão usados no auxílio para a determinação do rendimento do Colector solar em causa, e, finalmente, compara-lo com os demais rendimentos dos Collectores já existentes (Collectores convencionais), averiguando a sua viabilidade técnica e económica para a satisfação das necessidades identificadas.

## **ABSTRACT**

The present assignment, intend to analyze and project a recycled materials Collector (PET's Bottle), that works on the basis of thermal energy for domestic application. Initially, will be done data collection such as, temperature environment in different seasons, wind speeds, relative humidity which will be the environment in which the collector will work. And this datas will be combined with others, such as, collector's inclination angle, radiation intensity, diameter of collector tubes, type of water conducting tubes, there thermal conductivity, and collector area of incidence. However, this data will be used to help determine the performance of the dispositive collector, and therefore, compare this with conventional. Finally, will be conclude its technical and economic feasibility for the identified needs.

## ÍNDICE

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA	i
DECLARAÇÃO DE HONRA	ii
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objectivos	2
Objectivo Gera	2
Objectivos específicos	2
Metodologia	3
CAPÍTULO II - REVISAO BIBLIOGRÁFICA	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Energia solar	4
2.2 Radiação solar na superfície da Terra	6
2.2 Energia solar em Moçambique	7
2.3 Energia térmica	8
2.4 Composição do sistema de aquecimento de água na base da energia térmica	10
	vii
Hermenegildo Acácio Alfai Joia	

---

2.5 Colectores Solares	11
2.5.1 Tipos de Colectores solares	12
2.5.2 Constituição básica de um Colector solar	13
2.5.3 Princípio de funcionamento	14
2.5.4 Colector solar não convencional de garrafas PETs	15
2.5.5 Constituição do Colector Solar de Garrafas PET's	16
2.5.6 Princípio de funcionamento	17
2.5.7 Vantagens e desvantagens do sistema	17
2.6. Os reservatórios	18
2.6.1. Reservatórios térmicos	18
2.6.2. Reservatório de água fria	19
CAPÍTULO III – ANÁLISE ENERGÉTICA, PROJECCÃO E DIMENSIONAMENTO DO COLECTOR SOLAR DE GARRAFAS PETs	20
3. ANÁLISE ENERGÉTICA E PROJECCAO DO COLECTOR SOLAR DE GARRAFAS PE	20
3.1.1. Informações climatológicas da cidade de Maputo	23
3.1.2. Determinação da capacidade do Colector	25
3.1.3. Determinação dos parâmetros térmicos	27
3.1.3.1. Tempo de saída do fluido aquecido no Colector	29
3.1.3.2. Determinação da temperatura de saída da água após ser aquecida e da eficiência térmica do Colector.	32
3.1.4. Armazenamento da água aquecida	44
CAPÍTULO IV – PROJECCAO E DIMENSONAMENTO DO COLECTOR DE GARRAFAS PET'S	46
	viii
Hermenegildo Acácio Alfai Joia	

---

4. PROJECCAO E DIMENSONAMENTO DO COLECTOR DE GARRAFAS PETS	46
4.1 Matéria prima necessário para construção do Colector	46
4.2. Dimensionamento do Colector	46
4.2.1. Descrição sumária da estrutura e constituição do Colector	47
4.2.2. Área do Colector:	47
4.2.3. Volume do Colector	47
4.2.4. Quantificação do material necessário para a construção do Colector	48
4.3. Processos técnicos-projectivos para construir-se o Colector de Garrafas PET's	49
5. Análise da degradação do Colector Solar	64
7. Avaliação económica do sistema Colector de Garrafas PET'S (Colector não convencional)	70
8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	72
8.1. CONCLUSÃO	72
8.2. RECOMENDAÇÕES	73
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	74

### **Índice de Tabelas**

<b>Tabela 1.</b> Quantidade de água que deve ser aquecida em função das actividades desenvolvidas numa casa.....	21
<b>Tabela 2.</b> Temperatura do ambiente e da água no reservatório de água fria em CNTP no inverno. ....	24
<b>Tabela 3.</b> Temperatura do ambiente e da água no reservatório de água fria em CNTP no verão. ....	24
<b>Tabela 4.</b> Absorvidade e Transmissividade de alguns materiais .....	33
<b>Tabela 5.</b> Variação da intensidade mínima da radiação em Maputo. ....	37
<b>Tabela 6.</b> Variação da intensidade máxima da radiação em Maputo.....	38
<b>Tabela 7.</b> Temperatura de saída e eficiência instantânea para radiação mínima em Maputo ....	40
<b>Tabela 8.</b> Temperatura de saída e eficiência instantânea do Colector para radiação máxima em Maputo .....	42
<b>Tabela 9.</b> Tabela orçamental dos equipamentos usados para a construção e implantação do Colector.....	70

### **Índice de Figuras**

<b>Figura 1.</b> Aplicações da energia solar .....	5
<b>Figura 2.</b> Impacto de equipamentos e eletrodomésticos na demanda de energia .....	9
<b>Figura 3.</b> Ilustração de um sistema de aquecimento de água com Colector de placa plana .....	11
<b>Figura 4.</b> Elementos Constituintes de um Colector Plano .....	13
<b>Figura 5.</b> Colector de placa plana convencional .....	13
<b>Figura 6.</b> Princípio de funcionamento de um Colector de placa plana .....	14
<b>Figura 7.</b> Reservatórios térmicos (Boilers).....	19
<b>Figura 8.</b> Dimensões da Garrafa PET de Coca-cola de 2litros .....	25
<b>Figura 9.</b> Velocidade de preenchimento da água no Colector em função do comprimento do Colector.....	31
<b>Figura 10.</b> Potencial fotovoltaico por classe de radiação global em plano horizontal [kWh/m <sup>2</sup> /ano] .....	35

<b>Figura 11.</b> Gráfico da eficiência instantânea do Colector para radiação mínima .....	41
<b>Figura 12.</b> Gráfico da eficiência instantânea do Colector para radiação máxima .....	43
<b>Figura 13.</b> Reservatório de água quente de aço 304 .....	45
<b>Figura 14.</b> Processo de corte das garrafas PET's.....	51
<b>Figura 15.</b> Processo de preparo das embalagens Tetra Paks.....	53
<b>Figura 16.</b> Embalagens tetra paks depois de ter sido cortada e realiza todas dobras necessárias .....	54
<b>Figura 17.</b> Pintura da Embalagem Tetra Paks depois dos corte e dobras .....	55
<b>Figura 18.</b> Corte dos tubos de PVC para construção da grelha colectora.....	56
<b>Figura 19.</b> Pintura dos tubos após o corte na medida desejada.....	57
<b>Figura 20.</b> Pré-montagem do Colector.....	58
<b>Figura 21.</b> Montagem final .....	60
<b>Figura 22.</b> O Colector solar depois da Montagem.....	61
<b>Figura 23.</b> O Colector solar instalado no sistema para aquecimento de água depois da sua construção .....	63
<b>Figura 24.</b> Velocidade de preenchimento da água no Colector em função do comprimento do Colector.....	66
<b>Figura 25.</b> Gráfico da eficiência instantânea do Colector para radiação mínima .....	68

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

K: constante de proporcionalidade positiva

$Q_{abs}$ : Calor absorvido (kJ)

k: condutividade térmica dos materiais (W/m\*K)

$A_c$ : área do Colector (m<sup>2</sup>)

T: temperatura de resfriamento (°C)

I: Intensidade da radiação solar (kW/m<sup>3</sup>/dia)

$C_{p, ar}$ : poder calorífico do ar a pressão constante (W/kg\*K)

D: diâmetro dos tubos (m)

$\rho_{agua}$ : densidade da água (kg/m<sup>3</sup>)

C: comprimento do Colector (m)

L: Largura do Colector (m)

$U_L$ : Coeficiente global de perdas ( $\frac{W}{K*m^2}$ )

$\alpha$ : absorvidade de um material

$\tau$ : transmissividade de um material

$T_a$ : temperatura do meio ambiente (°C)

t: tempo (s)

$T_i$ : temperatura de entrada (°C)

$T_0$ : temperatura de saída (°C)

m: massa de água (kg)

V: volume (m<sup>3</sup>)

$c$ : calor específico da água	(cal/g °C)
$\Delta T$ : diferença de temperatura	(°C)
$Q$ : Caudal	(m <sup>3</sup> /s)
$N$ : número de tubos verticais do Colector	
$F_r$ : factor de remoção de calor	
$\theta$ : ângulo de inclinação do Colector	(°)
$\dot{m}$ : Caudal mássico	(kg/s)
$G_T$ : radiação global	(KWh/m <sup>2</sup> /ano)
$S$ : espaçamento entre os tubos verticais do Colector	(m)
$\delta$ : folga entre as Garrafas PET's de um tubo para outro	(m)
$Q_u$ : taxa de transferência de calor	(J/s)
$Q_{abs}$ : calor absorvido	(J)
$\eta_i$ : eficiência instantânea do Colector	(%)
$\eta_G$ : eficiência do Colector	(%)
CNTP: condições normais de temperatura e pressão	



## **CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO**

### **1.INTRODUÇÃO**

A demanda pelas fontes energéticas que poluem menos é incansável pela humanidade, pois, para além de proporcionar saúde ao meio ambiente, na sua maioria constituem uma forma de energia qualitativa. No mundo, a forma de energia mais usada pela humanidade em diversos setores de atividade é a eletricidade, seja em indústrias para sustentar máquinas, seja em hospitais para sustentar dispositivos médicos, seja em vivendas para iluminação e outras aplicações domésticas, e mais, isto tudo, é devido a eletricidade ser uma forma de energia versátil e altamente qualitativa, mas, todavi, bastante cara. O homem deseja sim pautar por formas de energias limpas, mas, entretanto, menos dispendiosas em termos de custo. Para aplicações mais simples seria conveniente o uso de energia que demandam pouco capital, pois, em quase todas classes sociais teriam acesso as vantagens dessas formas de energia, e isto, garantiria o desenvolvimento das sociedades humanas. O grande impecílio para usufruir das melhores condições de vida, desde os tempos remotos até a actualidade, é o dinheiro. Não basta o Engenheiro projectar algo que melhore vidas humanas, mas também o mesmo é chamado a analisar quantas pessoas terão acesso, e como fazer para que a maior parte das diferentes classes sociais tenham acesso. E responder estas questões é olhar para o custo do projeto, só assim, a sociedade humana estará condenada ao desenvolvimento.

Portanto, o trabalho em causa, consistirá em analisar e projectar um Colector solar na base de materiais reciclados e que funcione através da energia térmica (energia da radiação solar), com fins de aquecimento de água numa vivenda unifamiliar na cidade de Maputo.

Os Colectores solares, já existem, mas, são de alta tecnologia, e por isso, bastante caros para o acesso aos demais. Razão pela qual, pretende-se analisar este dispositivo e construí-lo em materiais acessíveis para popularizar o uso deste dispositivo, e, sobretudo, vai minimizar o gasto de capital em energia eléctrica para disponibilidade de água quente em vivendas. Moçambique é rico em

energia solar, por isso, como Engenheiros, somos chamados a pensar em meios e estratégias, para aproveitar-se no máximo o que se dispõe em abundância ao nosso redor para o nosso bem-estar.

### **1.1 Justificativa**

Em Moçambique, a boa parte da sociedade é pobre, mesmo nestas condições, na sua maioria utilizam a eletricidade, e, sobretudo, nas regiões urbanas para o aquecimento de água para fins de banho no chuveiro e outras necessidades. Contudo, a eletricidade é bastante cara. E uma forma de se abdicar desta forma de energia para certas necessidades, como as mencionadas a cima, é pautar por outras formas de energias menos caras e que poluem menos, mas, que satisfazem as mesmas necessidades. E, uma forma que foi vista para se alcançar essas perspectivas, foi, a do uso da energia térmica através do dispositivo Colector. Portanto, que, soa compatível no nosso país devido a abundância dessa forma de energia em diversos pontos de Moçambique, tais como, a província de Tete, Maputo, Sofala, Inhambane e mais. Por isso, para estimular o aproveitamento dessa fonte energética, os engenheiros são chamados a projetar e construir dispositivos de fácil acesso para os demais, e assim, permitir que se desfrute o tesouro que nos rodeia.

### **1.2 Objectivos**

#### **Objetivo Geral**

- Analisar e projectar um Colector solar de materiais reciclados para aquecimento de água numa vivenda unifamiliar na cidade de Maputo

#### **Objetivos específicos**

- Analisar energeticamente o Colector solar;
- Projectar o Colector solar;
- Analisar a degradação;
- Analisar economicamente o Colector Solar;

### **Metodologia**

- Revisão bibliográfica: Consistiu na obtenção de informações em manuais científicos e técnicos e relatórios com informação sobre Colectores solares.
- Efectuação de cálculos utilizando Excel e máquina calculadora científica
- Apresentação dos resultados em forma de tabelas e gráficos.

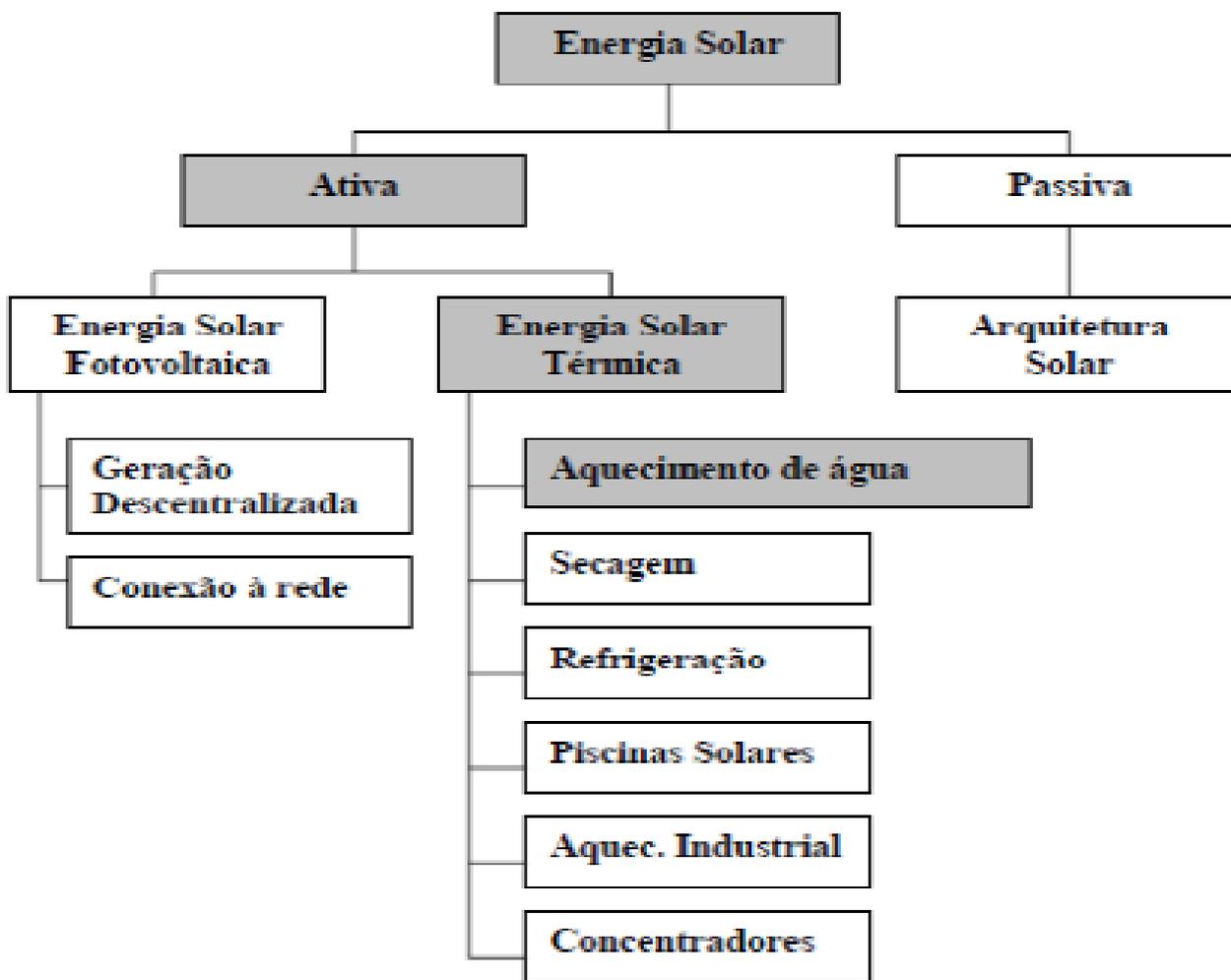
## CAPÍTULO II - REVISAO BIBLIOGRÁFICA

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Energia solar

O Sol é uma estrela formada por vários elementos em estado gasoso (principalmente hidrogênio), com diâmetro de 1,4 milhão de km. Em seu interior existem altas pressões, com temperaturas de vários milhões de graus ocorrendo que espontânea e ininterruptamente, produzem um processo de fusão nuclear, sendo esta a origem da energia solar, que se dissipa com uma potência de 371014TW.

Embora o Sol forneça essa energia por 6.000 milhões de anos, ainda há hidrogênio suficiente em seu núcleo para manter a taxa atual de dissipação de energia por pelo menos mais 8.000 milhões de anos, sem mudanças significativas em sua aparência ou em seu comportamento. pode ser considerada uma fonte inesgotável de energia. Porém, nem toda a energia emitida pelo Sol chega à Terra, pois ela constitui apenas uma insignificante superfície Colectora, localizada a 150 milhões de km de distância. A potência interceptada pela Terra é de 173.000 TW, é uma parte muito pequena a emitida pelo Sol. Ainda assim, esse poder é aproximadamente 10.000 vezes maior do que o fornecido por todas as formas de energia que os seres humanos empregam em um terreno. A constante solar é definida como a quantidade de energia solar recebida por unidade de área e unidade de tempo em uma superfície perpendicular ao Sol, localizada no limite da atmosfera, na distância média anual Terra-Sol. Seu valor é  $1.353 \text{ W / m}^2$  e representa a energia média que atinge a camada mais externa da atmosfera terrestre. A Radiação visível carrega 47% da energia solar, a radiação IR 46%. Enquanto, Radiação UV carrega os 7% restantes. [3]



*Figura 1. Aplicações da energia solar*

Fonte: [8]

## 2.2 Radiação solar na superfície da Terra

Toda a energia expressa pelo constante solar, não atinge a superfície da terra conforme a radiação solar passa pela atmosfera terrestre, ela perde intensidade, enquanto sua distribuição espectral muda. Tudo isso se deve a fenômenos complexos de absorção, reflexão e difusão que ocorrem nas camadas da atmosfera pela ação dos gases que a constituem, o vapor de água, e as partículas em suspensão. Na verdade, o nitrogênio e o oxigênio no ar têm um poder de absorção muito fraco, o ozônio absorve a maior parte da radiação UV e o vapor de água e o dióxido de carbono absorvem uma fração da radiação infravermelha. Além desses fatores, a diminuição da intensidade da radiação depende da espessura da camada de ar, da localização geográfica do local, da época do ano, etc. Isso dá uma ideia da grande complexidade dos elementos que influenciam a intensidade da radiação solar em um determinado local. Tudo isso, significa que a energia que a Terra recebe do Sol, ou radiação global, tem dois componentes bem definidos: a radiação directa, que é aquela que atravessa a atmosfera sem sofrer nenhuma alteração (radiação que pode ser focalizada por uma ótica) e radiação espalhada (também chamada de radiação difusa), devido ao espalhamento por componentes da atmosfera e albedo (fração da radiação solar espalhada pelo solo). A radiação espalhada não pode ser focalizada por nenhum sistema óptico. Com tudo isso, a radiação que atinge o solo é da ordem de  $900 \text{ W / m}^2$ , valor que equivale a cerca de 2.000 vezes o consumo mundial de energia. A distribuição da energia solar que chega à Terra não é uniforme e os fatores dos quais depende são, por um lado, a hora do dia, a latitude do local e a orientação da superfície recetora, e por outro, as condições climatológicas. Os primeiros fatores são perfeitamente calculáveis, mas as condições climáticas são previsíveis apenas em termos estatísticos.

Tudo isso é necessário determinar experimentalmente se a radiação chega a todo momento a um determinado local, o que é realizado por diferentes tipos de instrumentos. Assim, os piranômetros medem a radiação global, os pireliômetros medem a radiação direta e as heliografias medem a duração da insolação (horas reais de sol). [3]

## 2.2 Energia solar em Moçambique

O Sol é a maior fonte de energia para a humanidade. É responsável por outras fontes de energia, desde a dos ventos, das marés, da água corrente, uso directo, à energia das plantas e animais, uso indirecto.

A energia solar que atinge a superfície da Terra tem um valor médio de 1700 kWh/m<sup>2</sup> por ano, correspondente a cerca de 10 mil vezes o consumo mundial de energia. A radiação solar depende das condições climáticas e atmosféricas, responsáveis por atenuá-la, por reflexão, dispersão e absorção dos raios na atmosfera. [9]

São conhecidas basicamente três formas de captação e conversão da energia solar:

- **Química ou foto bioquímica**, onde certos organismos sintetizam carboidratos a partir de água e CO<sub>2</sub>, absorvendo a energia solar e armazenando nas ligações químicas;
- **Elétrica ou fotoelétrica**, ocorre através da emissão de eletrões, da superfície de materiais semicondutores expostos a radiações eletromagnéticas (como a luz) de alta frequência; e
- **Térmica ou termoelétrica**, através da absorção da energia radiante por uma superfície negra. No material absorvente, ocorre a difusão, absorção de fotões, aceleração de eletrões, múltiplas colisões, que transformam a energia radiante em calor.

A eficiência e eficácia dos sistemas solares, associado à redução dos custos da tecnologia, à rapidez de implementação dos projetos e à simplicidade de funcionamento dos sistemas, fazem com que os projetos solares se tornem a melhor opção de produção descentralizada de energia e a eletrificação rural.

A irradiação global em Moçambique varia entre 1.785 e 2.206 kWh/m<sup>2</sup>/ano, o que se traduz num potencial estimado em 23.000 GW. Pela abundância, torna-se o principal recurso renovável e estável em grande parte do País. Estima-se que, a atual capacidade instalada de energia solar no país seja de 2.5 GW, dos quais 599 kW com capacidade de ligação à rede. O mercado de painéis solares é dominado pelo Fundo de Energia e o principal consumidor, a população rural e de baixa

renda, fato que leva a FUNAE a fornecer painéis a baixo custo, desmotivando o envolvimento do setor privado. [9]

Viu-se que, existe uma diversidade de formas de aproveitamento da energia da radiação solar que o sol tem brindado ao homem a cada dia das suas vidas. Portanto, este trabalho, irá inclinar os seus estudos, especificamente, no princípio de aproveitamento térmico da energia da radiação solar que atinge a superfície terrestre, especialmente, na cidade de Maputo.

### **2.3 Energia térmica**

Energia térmica, dá-se o nome a forma de energia que um corpo possui em forma de calor e relacionada a altas temperaturas.

Devido ao crescente aumento na demanda energética mundial, a busca por novas fontes de energia renováveis tem se tornado um dos principais desafios para a sociedade atual.

Moçambique é um país privilegiado em termos de radiação solar, como podemos ver nos prescritos acima, devido a isso, neste trabalho, pretende-se analisar e projectar um Colector solar na cidade de Maputo, numa vivenda unifamiliar, na base de materiais reciclados para aquecimento de água e avaliar a sua viabilidade técnica e econômica. E, todavia, incentivar o uso de Colectores solares, visando reduzir o consumo de energia elétrica e outras fontes de energia não renováveis. O trabalho, propõe avaliar o rendimento do Colector solar, com base na variação de certos parâmetros ambientais e técnicos tais como, temperatura do meio, velocidade do vento, angulo de inclinação do Colector e intensidade da radiação solar.

O crescente aumento na demanda energética mundial é um dos grandes desafios da atualidade. Sabe-se que o uso da energia elétrica para aquecimento de água é um dos maiores responsáveis pelo seu alto consumo no país. Para reduzir esse consumo, uma alternativa viável é popularizar a utilização da energia solar para tal aquecimento.

Em termos de radiação solar, Moçambique é privilegiado. A irradiação solar média anual Moçambicana varia aproximadamente entre 1.785 e 2.206 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Pensando-se na energia solar aplicada ao aquecimento de água, têm-se um grande benefício ao utilizar Colectores solares.

Um destes, está na economia do uso das energias convencionais como a eletricidade, utilizada principalmente em chuveiros elétricos. [3]



*Figura 2. Impacto de equipamentos e eletrodomésticos na demanda de energia*

Fonte:[22]

Na **Figura 2**, é possível observar o impacto dos equipamentos de uma residência no gasto de energia elétrica. É nítido que o chuveiro elétrico é o que mais gasta energia, e esta, representa o gasto de energia elétrica para aquecimento de água. Para tentar diminuir estes gastos, o uso de Colectores solares tem demonstrado ser uma excelente alternativa, já que os investimentos totais necessários, são aparentemente inferiores aos despendidos para o aquecimento elétrico da água.

Os primeiros Colectores solares surgiram na década de 70, porém, somente na década de 90 tiveram um aumento substancial no interesse do uso dessa tecnologia, e com isso, começaram a ter maiores variações de modelo, qualidade, e, assim, maiores aplicações. De acordo com DASOL-ABRAVA (2015), os Colectores são de grande importância tanto para redução do consumo de energia elétrica, quanto para preservação do meio ambiente. Com a instalação do sistema de aquecimento solar, há uma economia de até 50% na conta de energia elétrica, logo, a sua utilização é muito vantajosa. [3]

Tendo em vista uma época onde a sustentabilidade é essencial, e sabendo que o país possui demanda energética solar suficiente, encorajar o uso de Colectores Solar para aquecimento de água é de grande valia, seja para o meio ambiente como para a economia do país, com a redução do uso massivo das formas comuns de energia, as biomassas e a eletricidade.

Em Brasil, existem cidades que já implantaram lei para o uso de Colectores solares. De acordo com a lei paulista nº 14.459, de 3 de julho de 2007, desde julho de 2008 é obrigatória a instalação de Colectores solares em novas edificações da cidade de São Paulo (SP), tais quais: residências com quatro ou mais banheiros, sistemas de aquecimento de piscinas e estabelecimentos que fazem uso intensivo de água quente como hospitais, hotéis, quartéis, entre outros.

#### **2.4 Composição do sistema de aquecimento de água na base da energia térmica**

Neste subcapítulo, ir-se-á perceber, como que um sistema de aquecimento de água que funciona na base da energia solar comporta-se, e, como que ela é constituída. Existem sistemas de aquecimento de água com Colectores solares de configurações diversificadas, mas, para efeito de análise, usar-se-á um sistema com Colectores Solares de placa plana, que será o principal objecto de estudo no presente trabalho.

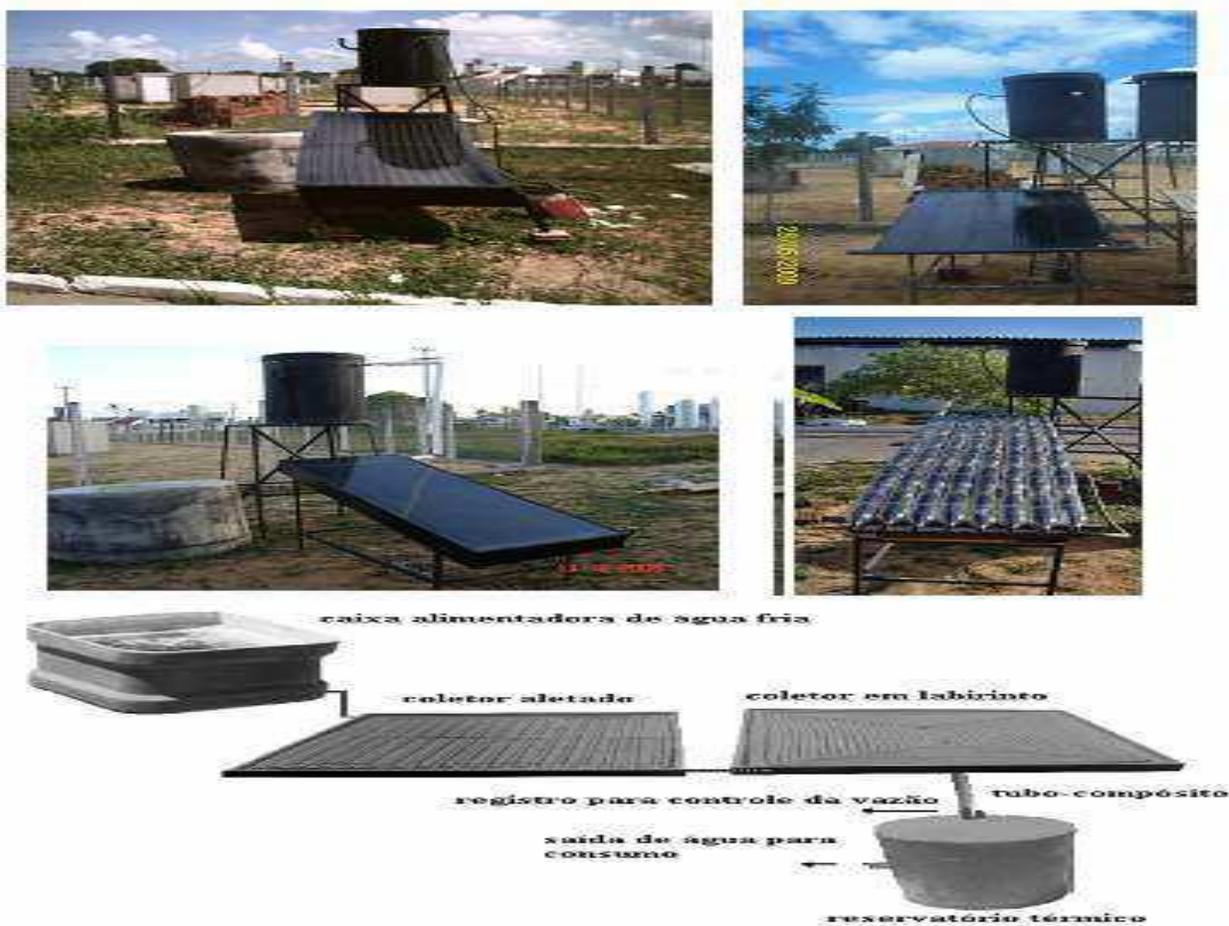
O sistema de aquecimento de água na base da energia solar, é constituído basicamente pelos seguintes subsistemas:

**Subsistema Colector:** projetado para captar a energia solar. É constituído pelo conjunto de Colectores ou painéis Solares.

**Subsistema de armazenamento:** constituído por tanques de dimensões adequadas, tendo por missão, armazenar a água quente que sai dos painéis para posterior utilização.

**Subsistema de distribuição:** destinado ao transporte de água quente do subsistema Colector para o subsistema de armazenamento, e, daqui, aos pontos de consumo. É constituída basicamente por redes de tubos, válvulas, bombas e acessórios, que constituem uma instalação clássica de canalizações.

**Subsistema de medição e controlo:** constituído por um conjunto de elementos que permitem a colocação em serviço dos diferentes circuitos e correspondentes instrumentos de medição. [3]



*Figura 3. Ilustração de um sistema de aquecimento de água com Coletor de placa plana*

Fonte: [6]

## 2.5 Colectores Solares

O Coletor solar é um equipamento que recebe a energia proveniente do Sol, armazena-a e transforma-a em energia térmica, permitindo assim aquecer o fluido que circula no seu interior através de tubos.

Um Colector solar, basicamente, constitui-se de uma cobertura de vidro e de uma superfície enegrecida, que ao absorver radiação solar, se aquece e transmite energia térmica (calor) ao fluido de trabalho. Essa energia recebida pelo fluido é chamada de energia útil. Parte da radiação absorvida, será perdida pelo sistema através de processos de transferência de calor.

### **2.5.1 Tipos de Colectores solares**

#### **Estacionários:**

- Colector de placa plana
- Colector de tubo evacuado
- Colector parabólico
- Colector Composto

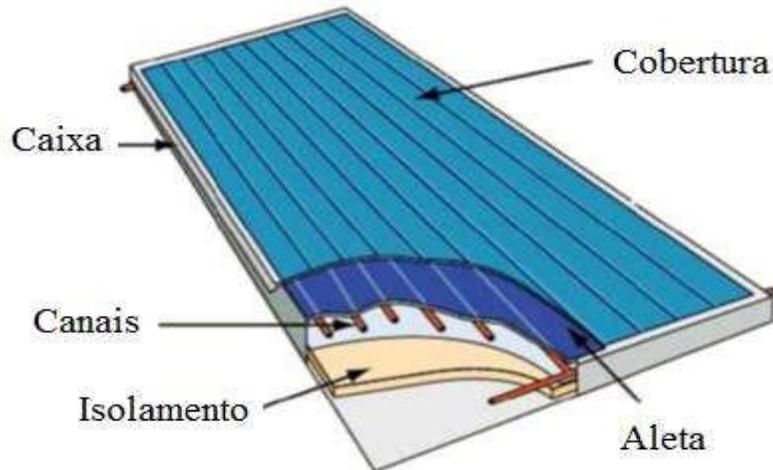
#### **Rastreo em um eixo:**

- Refletor linear Fresnel
- Colector de cavidade parabólico
- Colector de cavidade cilíndrica

#### **Rastreo em dois eixos:**

- Refletor de disco parabólico
- Colector de campo (helióstato)

### 2.5.2 Constituição básica de um Colector solar



*Figura 4. Elementos Constituintes de um Colector Plano*

Fonte: [18]



*Figura 5. Colector de placa plana convencional*

Fonte: [12]

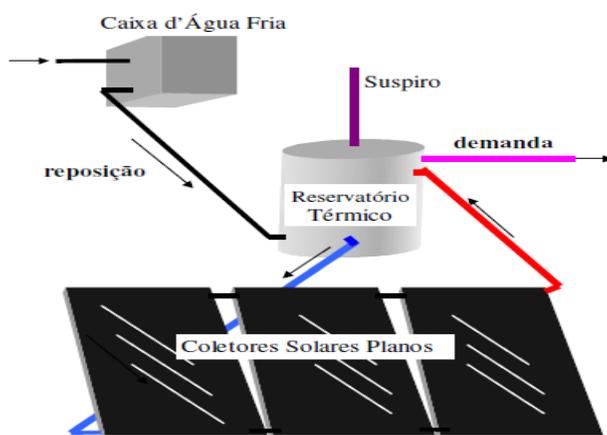
**A placa absorvedora:** é basicamente uma superfície enegrecida que, ao absorver radiação solar, se aquece e transmite calor por condução através da serpentina a um fluido de trabalho (água ou ar) e é feita normalmente de materiais com alta condutividade térmica (geralmente o cobre e o alumínio). Recebe pintura de esmalte preto fosco reativo, pois quando a energia na forma de radiação incide sobre uma superfície fosca preta, uma grande percentagem dessa energia é absorvida, diferente de cores claras que refletem melhor a radiação, e, todavia, absorvem menos energia que as cores escuras.

Quanto à serpentina por onde circula o fluido, geralmente é utilizado o cobre em sua construção, devido à sua alta condutividade térmica e resistência à corrosão.

**A cobertura transparente,** é constituída geralmente por uma placa de vidro sobre a superfície absorvedora, a uma determinada distância, tendo por função reduzir perdas por radiação e convecção para a atmosfera.

**O isolamento de fundo,** é responsável pela redução das perdas térmicas por condução em direção ao fundo do Colector.

### 2.5.3 Princípio de funcionamento



*Figura 6. Princípio de funcionamento de um Colector de placa plana*

Fonte: [15]

O funcionamento de um Colector solar é muito simples. O efeito estufa gerado pela transformação da energia absorvida pela grade absorvedora, é o responsável pelo aquecimento da água. A água fria no fundo do reservatório entra no Colector, aquece-se, diminui sua densidade, e flui em direção a saída do Colector, voltando para o reservatório térmico. Esse processo de circulação natural só é cessado, quando a água do reservatório estiver na mesma temperatura da água no interior do Colector ou quando a radiação solar incidente for insuficiente para promover a gradiente térmico necessário à sua circulação.

A caixa de água fria recebe e armazena a água da concessionária local, e entre outros destinos, envia parte desta água para o reservatório térmico. Do reservatório, a água a ser aquecida é conduzida aos Collectores solares. O ganho de energia pelo fluido, promove o aumento da temperatura e redução da massa específica. Com isso, o fluido mais denso empurra o menos denso pela saída superior dos Collectores, em direção ao topo do reservatório térmico (circulação natural). Este reservatório é responsável pela manutenção do nível de calor na água aquecida, proveniente dos Collectores solares. A saída da água quente do reservatório, pronta para o uso, ocorre pelo topo deste recipiente. O suspiro (ou respiro), situado a partir do topo do reservatório térmico, é responsável pelo controle da pressão no interior do reservatório, evitando deformações.

É qualitativamente diferente dos mecanismos referidos acima (condução e convecção). Contudo, uma vez que todas as superfícies emitem radiação térmica, e esta será, tanto maior, quanto mais elevada for a sua temperatura. Se um corpo emitir mais energia do que aquela que recebe proveniente das superfícies envolventes, a temperatura desse corpo diminuirá.

#### **2.5.4 Colector solar de garrafas PETs**

O Colector solar de garrafas PETs, é um Colector não convencional, e, é, o principal objecto de estudo para o trabalho em causa. O Colector solar de garrafas PETs, é um Colector do tipo placa plana, construído em tubos de PVC e revestido com Garrafas PETs e Tetra Paks (reciclados).

Inicialmente, a ideia surgiu em 2002 em Brasil, mas foi em 2004 que o projeto ganhou reconhecimento nacional, depois que o proprietário do projecto, recebeu o prêmio “Super

ecologia”, concedido pela Revista Superinteressante. Gastando cerca de R\$ 83,00 na época, que corresponde a um custo de aproximadamente 1000 Mzn (Mil meticais) investidos nos dias da actualidade.

O projecto nasceu em Santa Catarina, um dos estados do Brasil, mas o seu sucesso, a praticidade e o cunho sócio ambiental do projeto, fizeram com que outros estados como: Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul apostassem em oficinas para ensinar a construção destes Colectores. [28]

Em Moçambique, não há registro de popularização do uso de Colectores solares no geral, pode-se dizer, constitui ainda um tabu no uso de Colectores solares, talvez porque até então ninguém já propôs os projectos de Colectores solares para a implementação na realidade Moçambicana, por essa razão, há uma necessidade de incentivo para se começar a usar estes dispositivos em Moçambique, começando com os não convencionais, que, são de baixo custo.

### **2.5.5 Constituição do Colector Solar de Garrafas PET's**

O Colector solar não convencional de Garrafas PETs, é similar, ao Colector solar convencional na sua constituição. A diferença está no material usado para a sua construção.

**Tubos condutores da placa absorvedora:** são elementos da placa Colectora, que conduzem água durante o processo de recepção de calor, vindo da radiação solar. Estes tubos, são feitos de PVC. Nos Colectores convencionais, os tubos da placa Colectora, são feitas de Alumínio ou Cobre.

**Alhetas** - são elementos da placa Colectora, que servem para aumentar a área de captação da radiação incidente. Para o projecto do Colector em questão, serão feitos de embalagens Tetra Paks (embalagem de leite Fresco Parmalat ou Ultra Mel). Nos Colectores convencionais, estes elementos, são do mesmo material que dos tubos condutores.

**Cobertura:** é um dos elementos do Colector, que serve para reduzir perdas, e, é usado como tampa do Colector. No projecto em causa, serão usadas garrafas PETs (reciclados de Garrafas plásticas

de frescos) como cobertura para reduzir perdas. Nos Colectores convencionais, para este efeito, utiliza-se o vidro.

### **2.5.6 Princípio de funcionamento**

O Colector solar de Garrafas PETs do projecto em causa, irá funcionar segundo o princípio de termo sifão, ou simplesmente por circulação natural.

O funcionamento do sistema, inicia quando a energia solar irradiante, incide sobre a superfície preta dos Colectores. A energia absorvida, transforma-se em calor, e aquece a água que está no interior dos Colectores. A água aquecida diminui a sua densidade e começa a se movimentar em direção ao Reservatório térmico (Boiler), dando início a um processo natural de circulação da água, chamado de termossifão. Portanto, o Boiler deve estar numa posição mais elevada que os Colectores solares. Esse processo, é contínuo, enquanto houver uma boa irradiação solar ou até quando toda água do circuito atingir a mesma temperatura. [1]

### **2.5.7 Vantagens e desvantagens do sistema**

#### **Vantagens:**

- Redução do consumo considerável da eletricidade e das biomassas;
- Zero emissão de gases nocivos ao meio ambiente;
- Baixo custo dos equipamentos para a sua instalação;
- Construção simples;
- Pode ter uma diversidade de aplicações, desde as domésticas ate as industriais.

#### **Desvantagens:**

- Sua aplicação depende das condições climáticas da região;
- Sua instalação ocupa maior volume;
- Sua eficiência é limitada a configuração do Colector e propriedades dos materiais usados para a sua construção;
- Baixa vida útil relativamente aos convencionais

- O seu desempenho depende das condições ambientais (temperatura, neblinas, ventos e humidade relativa do meio).

## **2.6. Os reservatórios**

### **2.6.1. Reservatórios térmicos**

Os reservatórios térmicos convencionalmente utilizados em sistemas solares de aquecimento, chamados boiler, são geralmente fabricados em aço inoxidável, cobre ou aço carbono, para volumes de até 15 mil litros. Podem ser horizontais ou verticais, sendo constituídas por duas superfícies cilíndricas, uma interna e outra externa, tendo entre as mesmas, um isolamento térmico, geralmente a lã de vidro.

Podem ser de Baixa pressão e alta Pressão. Os de baixa pressão são mais económicos, e são indicados para instalações nos projetos em que a caixa de água fria esteja logo acima do boiler, sendo que, o seu nível de água, deverá estar no máximo com 2m para os modelos em cobre e 5m para os modelos em inox. Os modelos de baixa pressão não podem ser pressurizados ou alimentados com água da rede pública. Os de Alta pressão são recomendados para sistemas pressurizados e instalações onde a caixa de água fria esta muito elevada, no máximo quarenta metros. [6]

**BOILER VERTICAL DE NÍVEL**



Modelo AVN

Os Boilers Vertical de Nível são indicados para instalações em que a caixa de água fria venha a trabalhar ao lado do boiler solar.

Tambor Interno em cobre ou aço inoxidável					Bitolas Hidrául.		
CAPACID.	DIÂM.	ALT.	VOLTS	WATTS	ENTR.	SADA	SOLAR
AVN 200	800	610	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 300	870	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 400	970	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 500	1080	750	220	3000	3/4"	1"	3/4"
AVN 600	1080	910	220	3000	3/4"	1"	3/4"

---

**BOILER HORIZONTAL**



Modelo BH

São fabricados boilers em aço inoxidável, 304, 306, cobre e aço carbono com pintura anticorrosiva em epoxi, a partir de 50 até 15.000 litros.

Medidas em mm										
Litros	100	200	300	400	500	600	700	800	1000	2000
Comprim	1000	1200	1200	1600	1900	2300	2700	3000	3600	3800
Altura	500	500	700	700	700	700	700	700	700	900
Watts	3000w/220volts/monofásico								6000w/220volts	
Bitola Hid	1" Polegada								1.1/2"	

Pressão máxima de trabalho  
Baixa pressão: Cobre (2mca); Inox (5mca)/ Alta pressão: 40mca

**Figura 7. Reservatórios térmicos (Boilers)**

Fonte: [6]

### 2.6.2. Reservatório de água fria

É o elemento do sistema de aquecimento de água que tem a função de receber e armazenar água fria da rede e posterior alimentar o reservatório térmico para que seja aquecida no Colector. Ela situa-se no sistema, numa posição acima do Colector solar, e acima do reservatório térmico, para facilitar o deslocamento da água por gravidade.

Hermenegildo Acácio Alfai Joia

19

## **CAPÍTULO III – ANÁLISE ENERGÉTICA, PROJECCÃO E DIMENSIONAMENTO DO COLECTOR SOLAR DE GARRAFAS PETs**

### **3. ANÁLISE ENERGÉTICA E PROJECCAO DO COLECTOR SOLAR DE GARRAFAS PETs**

Esta secção, irá ocupar-se em avaliar o balanço energético do sistema Colector para o fluido que se pretende aquecer (água), e, de seguida, estabelecer-se à projecção do Colector. O sistema será avaliado energeticamente em duas estações (verão e inverno), pois, são as estações em que o Colector será implantado. Quando se projecta um dispositivo, consideram-se situações severas de funcionamento. É assim feito, para se garantir a segurança do dispositivo durante o seu uso, caso ocorra eventualmente situações imprevistas alarmantes. De seguida, já se terá ideia de como o dispositivo irá se comportar em regimes normais de trabalho. Como todo projecto, este projecto, seguirá esta ordem de ideia, tomando como regime severo de trabalho, o inverno (estação com baixa insolação).

#### **3.1. ANÁLISE ENERGÉTICA DO COLECTOR SOLAR**

O presente projecto de Colector, pretende-se instalar na cidade de Maputo numa vivenda unifamiliar constituído por 3 pessoas. primeiramente, faz-se o levantamento das atividades que carecem de água quente, e posterior, quantificar para cada actividade, a demanda de água necessária em litros, para que se saiba a quantidade que será aquecida por dia para o uso. Ora, veja-se a seguir.

Atividades	Quantidades em litros (l)
Banho	60
Cozinha	50
Outros	60
Total	170

*Tabela 1. Quantidade de água que deve ser aquecida em função das actividades desenvolvidas numa casa*

Normalmente, o aquecimento de água para aplicação doméstica ou industrial é feito pelo uso da energia eléctrica na sua maioria, e esta forma de energia, é cara. Também, são usados Colectores solares de alta Tecnologia, que são igualmente de altos custos. Portanto, pretende-se analisar e projectar este sistema alternativo para proporcionar mesmo fim de aquecimento de água, com objetivo de reduzir custos.

Como pode-se ver na tabela (1), é conhecida a quantidade de água correspondente a 170litros, que deverá ser aquecida até uma certa temperatura, para uso doméstico.

Este processo, depende de vários factores, tais como, disponibilidade de radiação diária, temperatura de degradação do material do Colector, e das características construtivas. Para o material base (PVC), que compõe os condutores de água que será aquecida, a sua temperatura de degradação é igual á 60 °C.

Isto significa que, a projecção do Colector solar em causa, para a quantidade de água que se pretende aquecer, deve permitir que a água aquecida não atinja a temperatura limite da degradação, para garantir que haja o mínimo de viabilidade técnica.

Para à segurança do sistema, e evitar que o sistema comece a fundir, a água só pode ser aquecida até temperaturas ligeiramente abaixo da degradação. Para este projeto, convencionou-se que 55°C seja a temperatura máxima limite admissível que a água deve atingir.

Para se determinar os subseqüentes parâmetros, antes, deve se conhecer a área que vai captar a radiação.

Convenciona-se que, as dimensões de gabarito para o Colector que se pretende projectar sejam:

Comprimento:  $C = 1.8m$ ; Largura:  $L = 1.5m$ ;  $A$  : área do Colector [ $m^2$ ]

Determina-se a área do Colector:

Para Colectores plano, que é o caso do projeto em causa, tem-se:

$$A = C \times l \quad [m^2] \quad (1)$$

$$A = 1.8 \times 1.5 = 2.7m^2$$

Ora, em transferência de calor, um corpo deixado num meio com diferente temperatura que a do seu corpo, o corpo tenderá a trocar calor com o meio até atingir a temperatura de equilíbrio. Isto é, o meio e o corpo chegarão a atingir a mesma temperatura até cessar o processo de troca de calor.

Atendendo e considerando que, a transferência de calor, decorre do corpo mais quente para o corpo frio. [3]

Assumindo essas primícias, pode se considerar que a temperatura da água de alimentação do sistema Colector-Boiler, esteja a temperatura quase do ambiente como rege as leis de equilíbrio térmico de temperatura entre dois corpos ou dum corpo e um meio com diferentes temperaturas.

Quando um corpo de uma massa relativamente menor possui uma temperatura superior que a temperatura ambiente, o corpo cede calor até atingir a temperatura do ambiente, sem influenciar na mudança de temperatura do ambiente.

Para elucidar as afirmações acima, veja-se o seguinte exemplo:

Ex...: Uma garrafa de água de 1 litro à  $100^\circ C$ , introduzido num reservatório de 500 litros à  $20^\circ C$ , o que esta previsto acontecer, é que, a temperatura da água do reservatório, quase não vai alterar devido a insignificante massa de água da garrafa de 1 litro relativamente ao reservatório. O normal,

é a temperatura da água de 1 litro misturado com a do reservatório, ceder calor até atingir a temperatura de equilíbrio do reservatório, isto é, 20°C.

Antes de se extrair alguns dados, importa falar da condição de temperatura da cidade que se pretende instalar o Colector em projeção, a cidade de Maputo.

### **3.1.1. Informações climatológicas da cidade de Maputo**

Em Maputo, a estação com precipitação é bafada e de céu quase sem nuvens. A estação seca é de ventos fortes e sem nuvens. Durante o ano inteiro o clima é morno. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 16°C a 29°C, e raramente é inferior a 14°C ou superior a 33°C.

A estação morna permanece por 3,5 meses, de 13 de dezembro á 31 de março, com temperatura máxima média diária acima de 28°C. O mês mais quente do ano em Maputo é janeiro com a máxima de 39°C e mínima de 24°C, em média.

A estação fresca permanece por 2,5 meses, de 3 de junho á 20 de agosto com temperatura máxima diária em média abaixo de 24°C. O mês mais frio no ano em Maputo é julho, com a máxima de 23°C e mínima de 16°C, em média. [29]

Conforme a informação acima, do clima da cidade de Maputo e da condição de equilíbrio térmico entre um corpo e um meio, assume-se os dado das páginas que seguem. Devido a lenta variação de temperatura da água relativamente ao ambiente, assume-se que a temperatura da água no reservatório de água fria sempre se encontra ligeiramente abaixo ou acima da temperatura ambiente, para este projecto, irá se considerar que a sua temperatura esteja ligeiramente acima, numa diferença de 1 á 3 °C.

$T_{ambiente}$ (°C)	$T_{\acute{a}gua\_fria\_no\_reservat}$ (°C)
16	18
17	19
18	20
19	21
20	22
21	23
22	24
23	25

**Tabela 2.** Temperatura do ambiente e da água no reservatório de água fria em CNTP no inverno.

$T_{ambiente}$ (°C)	$T_{\acute{a}gua\_fria\_no\_reservat}$ (°C)
23	25
24	26
25	27
26	28
27	29
28	30
29	31
30	32

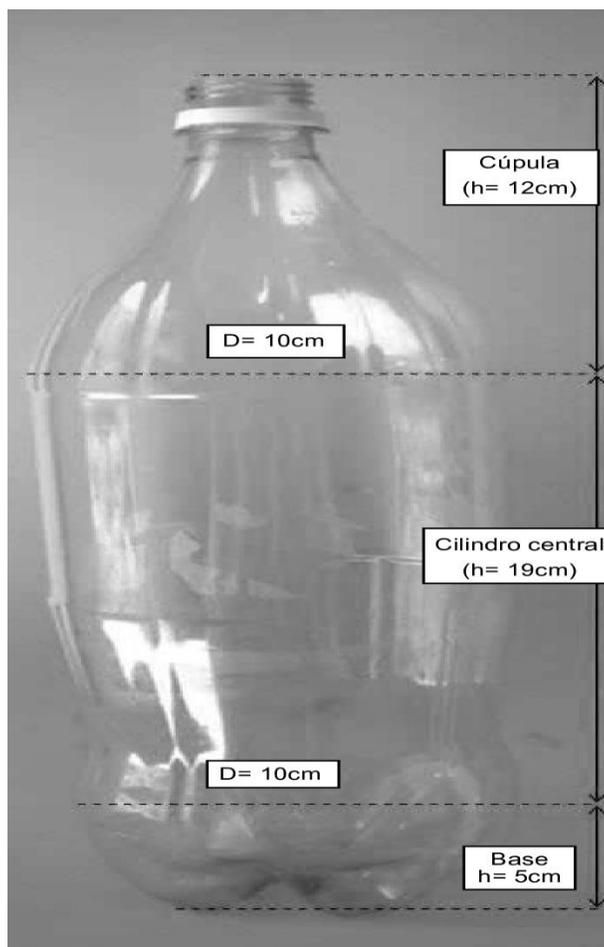
**Tabela 3.** Temperatura do ambiente e da água no reservatório de água fria em CNTP no verão.

Antes da determinação dos parâmetros térmicos do Colector solar em projecção, ou simplesmente da análise energética, importa conhecer a sua capacidade volumétrica. Ora, veja-se a seguir.

### 3.1.2. Determinação da capacidade do Colector

Pretende-se determinar a capacidade volumétrica do Colector em projecção, mas antes, é necessário conhecer alguns aspectos que são de suma importância para a determinação do volume do Colector.

Primeiro, conheça-se as dimensões da garrafa PET (garrafa de coca-cola reciclada de 2 litros) como ilustra na imagem a seguir:



**Figura 8.** Dimensões da Garrafa PET de Coca-cola de 2litros

Fonte: [27]

O diâmetro máximo das garrafas PETs (garrafas de coca-cola de 2 litros) é de  $d = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$ .

O diâmetro dos tubos de PVC que serão usados para construir o Colector em projecção, é de  $D = 32\text{mm} = 3,2\text{cm} = 0,032\text{m}$ .

O Colector terá 2 tubos (base) horizontais de 32mm de diâmetro e 1500mm de comprimento, e 'N' tubos frontais (verticais) de 32mm de diâmetro e 1800mm de comprimento, e que a sua quantidade precisa ser determinada.

$$N = \frac{L_1}{(D+S+\delta)} \quad (2)$$

N: número de tubos verticais; D: diâmetro dos tubos de PVC; S: espaçamento entre os tubos frontais;  $\delta$ : folga entre as Garrafas PETs [m];  $L_1$ : comprimento dos tubos horizontais [m];

Dados:

$$L_1 = 1500\text{mm}; S = 100\text{mm}; \delta = 10\text{mm};$$

$N = \frac{1500}{(32+100+10)} = \frac{1500}{142} = 10,563$ ; conforme os cálculos, o número de tubos frontais do Colector para o comprimento dos tubos horizontais de 1500mm tende para 11 tubos. Então, precisa-se recalcular o comprimento exato dos tubos horizontais para o número de tubos frontais encontrados.

Assume-se que  $L_1 = 1562\text{mm}$  e recalcula-se o número de tubos frontais.

$N = \frac{1562}{(32+100+10)} = \frac{1562}{142} = 11$ , então o comprimento exato dos tubos horizontais é  $L_1=1562\text{mm}$ , e o número de tubos frontais é 11.

Conhecidos esses parâmetros, agora já se pode determinar o volume do Colector.

$$V = n_1 \times V_{1+} + n_2 \times V_2 \quad (3)$$

V: volume do Colector;  $n_1$ : número de tubos horizontais;  $V_1$ : volume dos tubos horizontais;

$n_2$ : número dos tubos verticais;  $V_2$ : volume dos tubos verticais.

$$n_1 = 2; n_2 = 11;$$

$$V_1 = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L_1 = \pi \times \frac{32^2}{4} \times 1562 = 1,256,234.9375mm^3 = 1.26l$$

$$V_2 = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L_2 = \pi \times \frac{32^2}{4} \times 1800 = 1,447,645.8947mm^3 = 1.45l$$

$$V = n_1 \times V_1 + n_2 \times V_2 = 2 \times 1.26 + 11 \times 1.45 = 18.47l$$

A capacidade volumétrica do Colector em projeção, é de:  $V = 18.47l$  (dezoito ponto quarenta e sete litros).

O comprimento dos tubos verticais é maior que os tubos horizontais. Portanto, o comprimento dos tubos verticais, corresponde ao comprimento do Colector, e, o comprimento dos tubos horizontais, corresponde, a largura do Colector, isto, é,  $L_2 = C$  e  $L_1 = L$ .

### 3.1.3. Determinação dos parâmetros térmicos

Neste subcapítulo, pretende-se determinar e analisar a capacidade de absorção de energia térmica do Colector, isto é, estudar o seu desempenho, e, também, averiguar a faixa de temperatura que pode proporcionar, face aos diversos factores ambientais do meio em que se pretende instalar, bem como, os factores técnicos-construtivos.

A avaliação do desempenho do Colector, é realizada através do cálculo da sua eficiência térmica.

Tal parâmetro, é definido como a razão entre a taxa útil de calor recebido pelo fluido de trabalho e a irradiação solar incidente no Colector conforme as fórmulas que seguem. [23]

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c \times I} \quad (4)$$

$\eta_i$ : é o rendimento instantâneo do Colector;  $Q_u$ : é taxa de transferência de calor para o fluido de trabalho (taxa útil de calor);  $A_c$ : é a área do Colector;

$$\eta_G = \frac{Eu_{total}}{E_{incidente}} \leftrightarrow \eta_G = \frac{\sum_i^n Q_{ui}}{A_c \times I} \times 100 [\%] \quad (5)$$

$\eta_G$ : Eficiência geral do Colector;  $E_{u_{total}}$ : Energia útil total do período exposto;

$E_{incidente}$ : Energia incidente no Colector durante o período exposto;

A taxa de transferência de calor para o fluido de trabalho (água), pode ser determinada através de um balanço de energia no fluido de trabalho, conforme ilustra a fórmula a seguir.

$$Q_u = \dot{m} \times c_p \times (T_0 - T_i) \quad (6)$$

$\dot{m}$ : é o caudal mássico dado em  $[kg/s]$ ;  $c_p$ : é o calor específico do fluido de trabalho dado em  $[J/kg^{\circ}C]$ ;

$T_0$ : temperatura de saída do fluido de trabalho no Colector;  $T_i$ : temperatura de entrada do fluido de trabalho no Colector.

A taxa de transferência de calor para o fluido de trabalho ainda pode ser determinada por:

$$Q_u = A_c \times F_r \times [\tau \times \alpha \times I - U_L(T_i - T_a)] \quad (7)$$

$F_r$ : factor de remoção de calor;  $T_a$ : temperatura do ambiente;  $U_L$ : coeficiente global de perdas térmicas;  $I$ : é a intensidade de radiação incidente na placa por unidade de área em  $[KWh/m^2/dia]$ .

$$I = \frac{G_T}{366} \quad (8)$$

$G_T$ : é a irradiação solar global anual.;

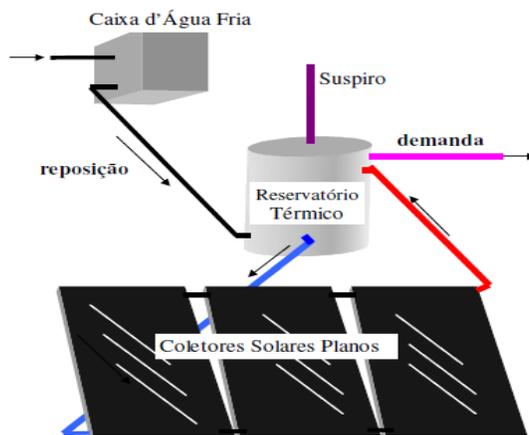
Usando-se da expressão (4) e (6), a eficiência instantânea pode ser determinada por:

$$\eta_i = \frac{\dot{m} \times c_p \times (T_0 - T_i)}{A_c \times I} \times 100 [\%] \quad (9)$$

Antes do balanço energético, precisa-se conhecer o tempo de saída do fluido aquecido no Colector. ora, veja-se as formulações que seguem.

### 3.1.3.1. Tempo de saída do fluido aquecido no Colector

Para se determinar o tempo de saída no Colector do fluido aquecido, aplica-se o princípio de Bernoulli para as tubagens no esquema fluido-dinâmico do Colector. Antes, toma-se em consideração os seguintes aspetos:



[15]

A distância entre o tubo horizontal superior e o termoacumulador, seja de 30cm. [1]

$$d_1 = 30\text{cm} = 0.3\text{m}$$

A inclinação do Colector em relação ao plano horizontal seja de:  $\theta = 35^\circ$  (inclinação obtida segundo a latitude do local que se vai instalar o Colector, adicionando mais  $10^\circ$ ). A latitude da cidade de Maputo é de:  $25^\circ 49' 09''$ . [27]

Agora, aplique-se o princípio de Bernoulli na saída do Reservatório térmico e na entrada do Colector. Designando por (1-2).

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} \quad (10)$$

$Z_1$ : distancia piezométrica [m];  $P_1$ : pressão do fluido no ponto 1 [Pa];  $\rho g$ : peso específico do fluido [ $\frac{Kg}{m^2 s^2}$ ];  $U_1$ : velocidade do fluido no ponto 1 [ $\frac{m}{s}$ ];  $g$ : aceleração de gravidade [ $9.81 \frac{m}{s^2}$ ].

Tomando o tubo horizontal inferior no Colector como referência, e aplicando o Bernoulli, tem-se:

$Z_2 = 0$ ;  $\frac{P_1}{\rho g} = 0$ ;  $U_1 = 0$ ;  $P_1 - P_2 = 0$  (Os condutores de fluido no Colector possuem mesmo diâmetro)

Então, a velocidade do fluido no condutor horizontal inferior (2), na descida para o Colector será:

$$U_2 = \sqrt{2\rho g(L_1 + d_1)\text{Sen}\theta} \quad (11)$$

O caudal no ponto 2 (tubo horizontal inferior do Colector) será:

$$Q_2 = A_2 \times U_2 \quad (12)$$

$A_2$ : área da secção transversal do tubo horizontal do Colector [ $m^2$ ];  $U_2$ : Velocidade do fluido frio no tubo horizontal inferior do Colector [ $m/s$ ];

$d_1$ : distancia entre o eixo de saída do fluido frio no termoacumulador e o eixo do tubo horizontal (1) do Colector.

Aplicando Bernoulli no Colector, na subida do fluido de um dos tubos verticais da extremidade mais baixa para a superior, ter-se-á: Bernoulli (2-3).

$Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{U_3^2}{2g}$  ;  $Z_2 = 0$ ;  $P_2 - P_3 = 0$  (Os condutores de fluido no Colector possuem mesmo diâmetro).

A velocidade do ponto (3), que é a saída de água quente do Colector para o termoacumulador (Boiler) será:

$$U_3 = \sqrt{U_2^2 - 2\rho gL_1\text{Sen}\theta} \quad (13)$$

O seu caudal será:  $Q_3 = A_3 \times U_3$  (14)

Assume-se  $\rho_{\text{agua}} = 1kg/m^3$  a temperatura ambiente, então, tomando a equação (11), ter-se-á:

$$U_2 = \sqrt{2\rho g(L_1 + d_1)\text{Sen}\theta} = \sqrt{2 \times 1 \times 9.81(1.562 + 0.3)\text{Sen}35^\circ} = 4.20m/s$$

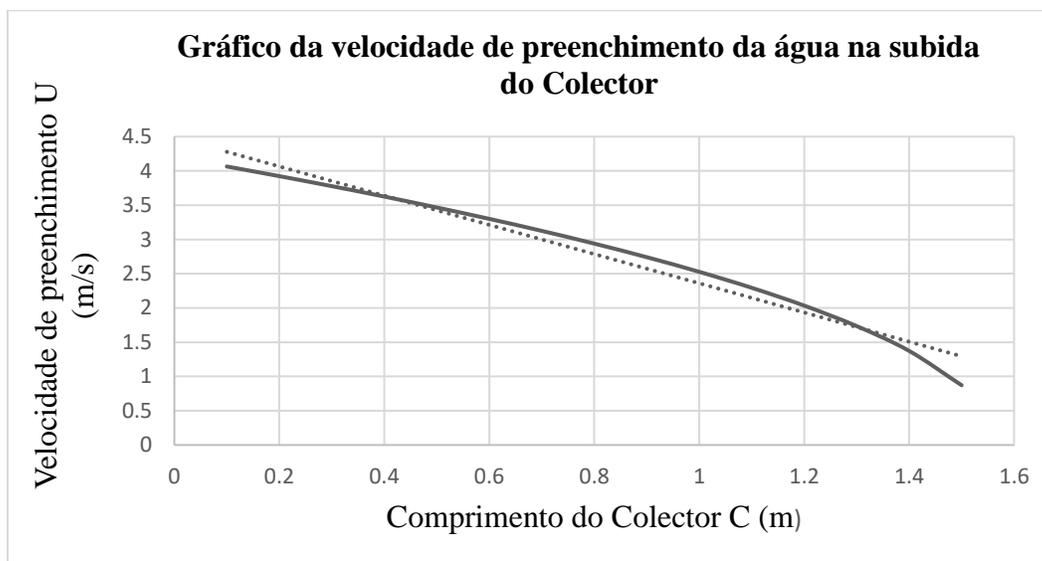
O seu caudal segundo a equação (12) é:

$$Q_2 = A_2 \times U_2 = \pi \times \frac{D^2}{4} \times U_2 = \pi \times \frac{0.032^2}{4} \times 4,20 = 0.00336 \frac{m^3}{s} \quad (\text{caudal de entrada no Colector}).$$

Então, segundo a equação (12), a velocidade no tubo horizontal superior do Colector será:

$$U_3 = \sqrt{U_2^2 - 2\rho g L_1 \text{Sen}\theta} \leftrightarrow U_3 = \sqrt{4.20^2 - 2 \times 1 \times 9.81 \times 1.562 \times \text{Sen}35^\circ}$$

$$U_3 = \sqrt{17.64 - 17.636} = \sqrt{0.004} = 0.063 m/s$$



**Figura 9.** Velocidade de preenchimento da água no Colector em função do comprimento do Colector

O seu caudal será: Equação (13),  $Q_3 = A_3 \times U_3$ .

$$Q_3 = A_3 \times U_3 = \pi \times \frac{0.032^2}{4} \times 0.063 = 0.00005 \frac{m^3}{s} = 0.05 l/s \quad (\text{caudal de evacuação no Colector})$$

O caudal é dado por:  $Q = \frac{V}{t}$  (15)

A capacidade do Colector em projeção é de:  $V = 18.45l$

Então, o tempo de evacuação da água aquecida no Colector será determinada segundo a expressão (15) como ilustra a seguir:

$$: t = \frac{V}{Q} = \frac{18.47l}{0.05l/s} = 370s \approx 6,1min$$

A quantidade de água que se pretende aquecer, segundo os dados da tabela (1), corresponde a 170l, isto significa que, o termoacumulador deve ser no mínimo desta capacidade volumétrica, mas por questões de segurança, deve ser ligeiramente acima desta quantidade que se pretende aquecer. Portanto, o tempo total para que a quantidade de água que se pretende aquecer por dia pelo Colector em projeção seja conhecido, também, pode ser determinada segundo a fórmula (14). Ora, veja-se a seguir.

$$: t = \frac{V}{Q} = \frac{170l}{0.05l/s} = 3400s \approx 57min$$

Já conhecido esses parâmetros que eram de suma importância, agora passa-se para a fase de determinação da temperatura de saída da água após o tempo de exposição no Colector, conhecidos nos cálculos ligeiramente acima, e a eficiência do Colector, como tratará no subcapítulo a seguir.

### **3.1.3.2. Determinação da temperatura de saída da água após ser aquecida e da eficiência térmica do Colector.**

Para este subcapítulo, ter-se-á em foque na temperatura de saída e da eficiência do Colector em projeção, isto, é, determinar a capacidade de absorção do Colector, face a diversos factores, tais como ambientais e técnicos, segundo certos limites prescritos nos capítulos anteriores, e desta forma, fazer a ilação da viabilidade técnica do Colector.

Este estudo, será feito segundo uma periodicidade do dia, precisamente, das 8:00 às 14:00, nas duas estações que a cidade de Maputo apresenta, verão e inverno. Então, veja-se a seguir.

Antes de se abordar os objectivos deste capítulo, importa determinar e registrar alguns parâmetros que vão auxiliar no alcance dos mesmos objetivos.

Material	Absorvidade ( $\alpha$ )	Transmissividade ( $\tau$ )
Alumínio puro	9% a 10%	15%
Cobre polido	35%	40%
Ferro	44%	52%
PVC Pintado a preto	65%	60%
Carbono preto blindado	94%	80%

*Tabela 4. Absorvidade e Transmissividade de alguns materiais*

**Fonte:**[10]

Área do Colector (recalcula-se segundo as dimensões ótimas encontradas):

$$A_c = C \times L \quad (16)$$

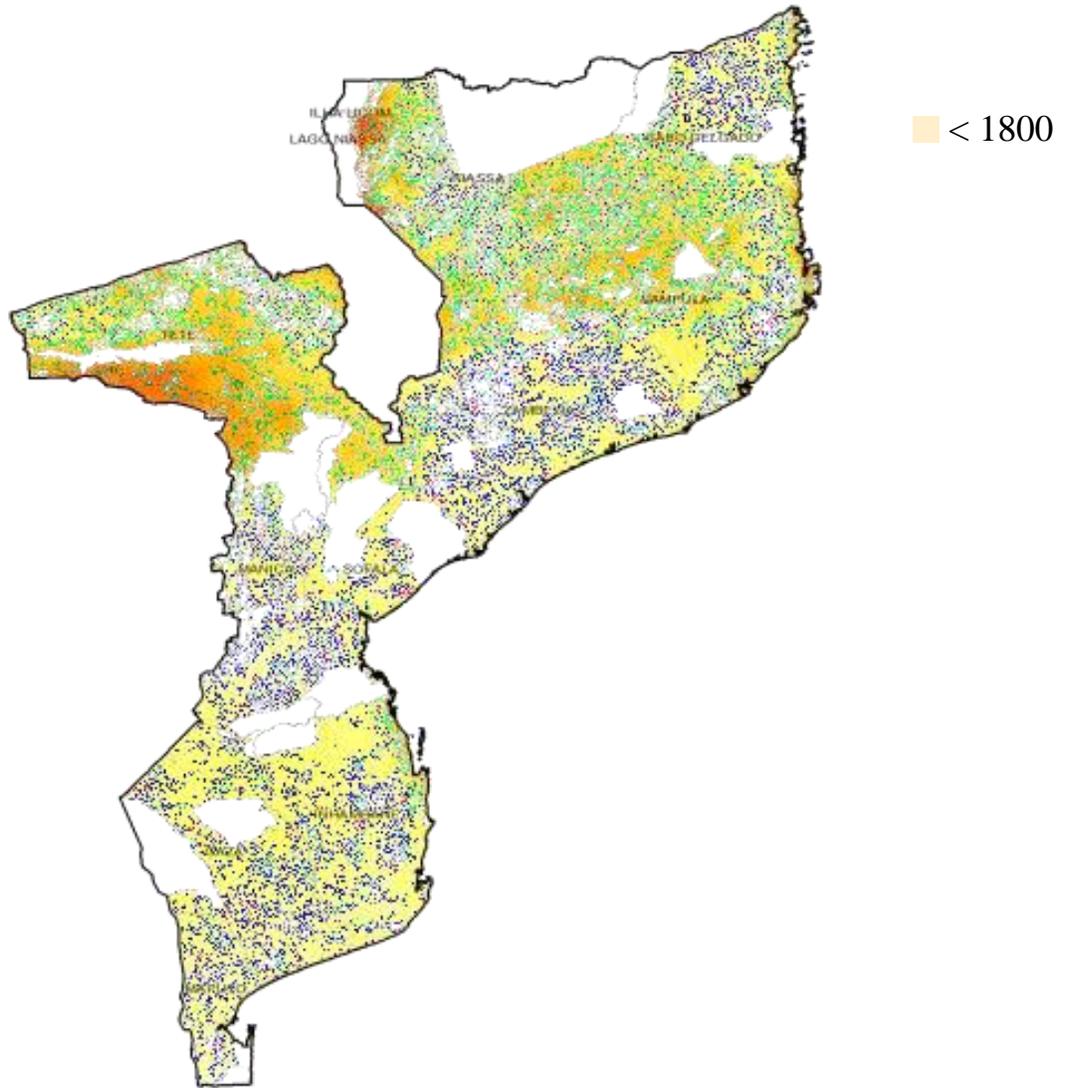
$$C = L_2 ; L = L_1 ; A_c = 1.8 \times 1.562 = 2.8116 \text{ m}^2$$

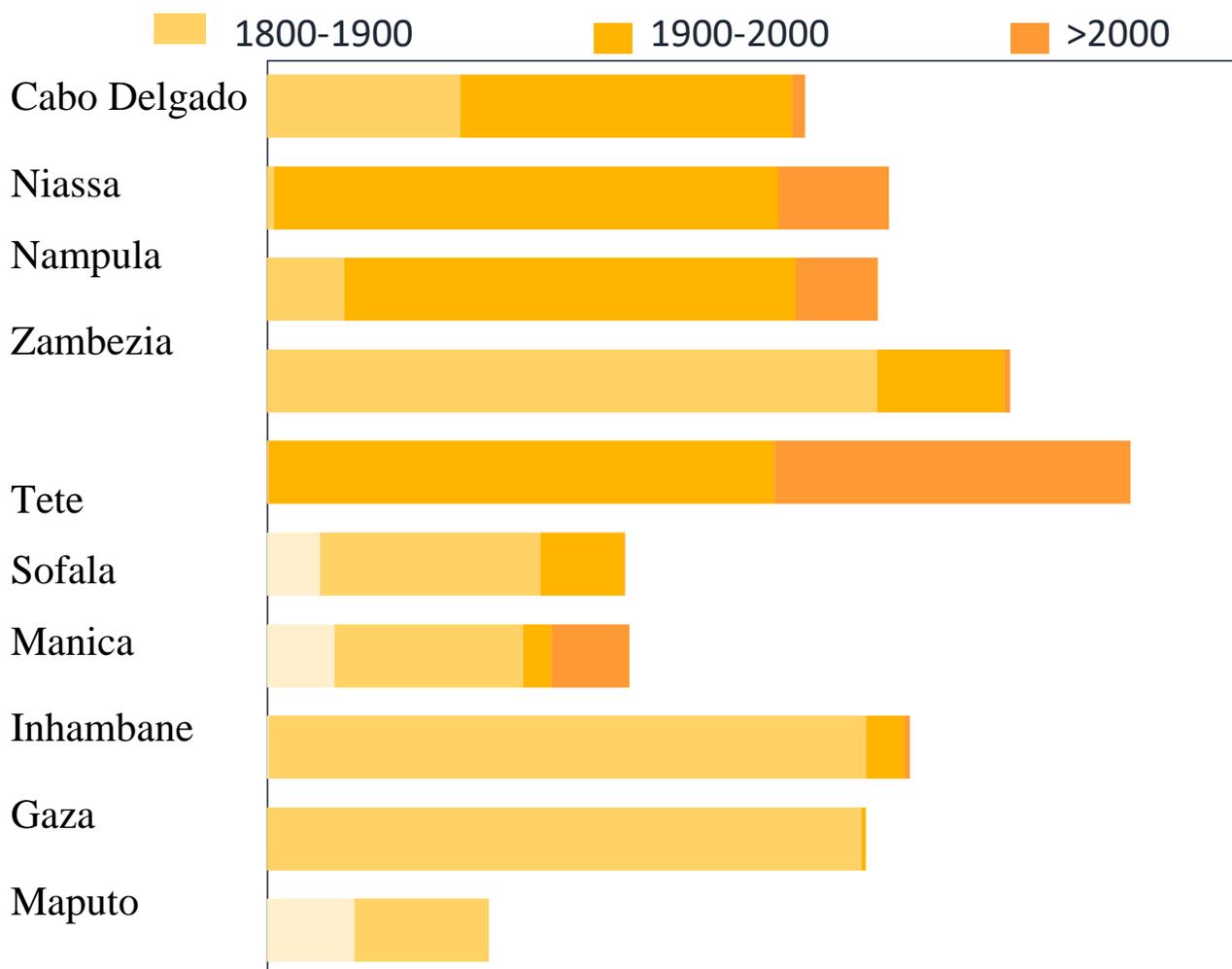
Os parâmetros  $F_r \tau \alpha$  e  $F_r U_L$ , retiram-se das tabelas do IMETRO (Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial), que são valores padronizados para construções de diferentes materiais, no presente caso, construção em PVC. [30]

$$F_r \tau \alpha = 0.589 ; F_r U_L = 2.953 ;$$

Os dados Solari métricos de Moçambique registam-se nas páginas seguintes.

- Foram instalados 16 piranómetros em 12 locais, com medições de 10 em 10 minutos. Existem mais de 85 meses completos de medições;
- Foi calculada a radiação global em plano horizontal que varia entre 1700 e 2200 kWh/m<sup>2</sup>/ano em Moçambique. [2]





**Figura 10.** Potencial fotovoltaico por classe de radiação global em plano horizontal [kWh/m2/ano]

Fonte: [2]

Segundo os dados Solari métricos acima registados, a radiação global de Maputo encontra-se a baixo de 1800 kWh/m2/ano, e o mínimo que foi medido anualmente foi de 1700 [kWh/m2/ano].

Então, para se conhecer a radiação diária basta se dividir a radiação anual com o número de dias que um ano possui, já que se tratam de radiações médias. Aplicando a expressão (8), tem-se a intensidade de radiação.

$$I_1 = \frac{G_T}{366} = \frac{1700KWh/m^2}{366} = 4.648KWh/m^2/dia$$

$$I_2 = \frac{G_T}{366} = \frac{1800KWh/m^2}{366} = 4.918KWh/m^2/dia$$

A radiação solar durante o dia varia, o que se tem acima, correspondem a radiações médias diárias. Portanto, o estudo para os objetivos deste capítulo, será feito num intervalo de tempo de 6 (seis) horas, partindo das 8:00 até as 14:00, conforme foi prescrito nos capítulos anteriores. Durante este intervalo de tempo, a radiação deve corresponder os requisitos reais de comportamento, isto, é, sofrer variação conforme a exposição solar em cada hora, minuto ou segundo do dia, mas, a sua média deve corresponder a média encontrada experimentalmente acima, conforme visto na fonte.

O sol nasce no Leste e se põe no Oeste. No inverno, o sol nasce aproximadamente as 6:00 da manhã e vai ficando cada vez mais visível na medida em que o tempo vai passando e atingindo o seu pico de visibilidade, no período das 14:00 onde o sol é mais forte, isto, é, a sua visibilidade comporta-se como uma função do primeiro grau do tipo  $f(x) = ax + b$ . Mas, os seus raios são mais frouxos. No período de verão, também, tem assumido essa trajetória de visibilidade, começando a nascer mais cedo, aproximadamente as 5:00 da manhã, e atingindo o seu pico nas horas de 12:00 e 13:00, estendendo-se até as 14:00. Os seus raios são bastante fortes. Importa reiterar que tem havido oscilações da sua exposição durante o dia.

Com base nessa descrição, far-se-á uma aproximação da variação da radiação média diária na superfície horizontal, conforme os dados da radiação média diária de Maputo acima registados.

A média aritmética de certos dados, determina-se de seguinte forma:

$$M = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (17)$$

M: é a média aritmética dos dados observados; n: número de dados;  $\sum_i^n X_i$ : somatório dos dados.

Por analogia, pode-se formular a equação da média da radiação diária acima registado.

$$I_{med} = \frac{\sum_i^n I_i}{n} \quad (18)$$

$I_{med}$ : radiação média diária; n: número de horas que a radiação irá variar;  $\sum_i^n I_i$ : soma das diferentes radiações que variam nas horas que se pretendem estudar.

$$\sum_i^n I_i = n \times I_{med} \Leftrightarrow \sum_i^n I_{i_1} = 8 \times 4.64 = 37.12; \sum_i^n I_{i_2} = 8 \times 4.918 = 39.344$$

Agora, segue na tabela, a distribuição da variação da radiação segundo a periodicidade do dia que se pretende estudar, conforme dito nos capítulos anteriores

Tempo (horas)	$I$ (KWh/m <sup>2</sup> /dia)
(8:00 – 8:57)	3.98
(8:57 - 9:54)	4.50
(9:54 –10:01)	4.40
(10:01-10:58)	4.56
(10:01-10:58)	4.74
(10:58-11:55)	4.80
(11:55-12:52)	4.90
(12:52-13:49)	5.24
Soma	37.12

**Tabela 5.** *Variação da intensidade mínima da radiação em Maputo.*

Tempo (horas)	$I (KW/m^2/dia)$
(8:00 – 8:57)	4.200
(8:57 - 9:54)	4.540
(9:54 –10:01)	4.500
(10:01-10:58)	4.790
(10:01-10:58)	5.122
(10:58-11:55)	5.218
(11:55-12:52)	5.446
(12:52-13:49)	5.518
Soma	39.334

**Tabela 6.** *Varição da intensidade máxima da radiação em Maputo*

Com estes dados, agora já se pode determinar o que se procura neste capítulo, respetivamente, temperatura de saída da água e eficiência térmica.

Salienta-se que, os cálculos que serão feitos neste capítulo, são referentes ao regime de termossifão, que será o funcionamento normal do Colector em projeção.

Aplicando a expressão (7), determina-se a taxa de transferência de calor para a água que passa no Colector.

$$Q_u = A_c \times F_r \times [\tau \times \alpha \times I - U_L(T_i - T_a)]$$

$$Q_u = A_c \times [F_r \times \tau \times \alpha \times I - F_r \times U_L(T_i - T_a)] \leftrightarrow Q_{u1} = 2.812 \times [0.589 \times 3.98 - 2.953(18 - 16)] = 0.686KW$$

O calor recebido pela água durante um intervalo de tempo de exposição pode ser determinado por:

$$Q_{abs} = Q_u \times \Delta t \quad (19)$$

$Q_{abs}$  : é o calor absorvido durante o intervalo de tempo de exposição a radiação em [J ou KWh]

$\Delta t$ : é o intervalo de tempo em que o calor é absorvido em [s ou h]

$$Q_{abs1} = 0.686 \times 0.95 = 0.6517 \text{ KWh}$$

O calor absorvido durante um intervalo de tempo também pode se dado por:

$$Q_{abs} = \dot{m} \times c_p \times (T_0 - T_i) \times \Delta t \quad (20)$$

$\dot{m}$ : é o caudal mássico dado em [kg/s]

$$\dot{m} = \rho \times Q \quad (21)$$

$$\dot{m} = 1000 \times 0.05 = 0.05 \text{ kg/s}$$

Aplicando a fórmula (6), determina-se a temperatura de saída da água no Colector:

$$Q_{u1} = \dot{m} \times c_p \times (T_0 - T_i) \leftrightarrow T_{01} = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m} \times c_p} = 18 + \frac{686}{0.05 \times 4816} = 18 + 3.277 \approx 21.28^\circ\text{C}$$

$$Q_{u2} = 2.812 \times [0.589 \times 4.50 - 2.953(21.28 - 19)] = 0.7203 \text{ KW}$$

$$Q_{abs2} = 0.7203 \times 0.95 = 0.6843 \text{ KWh}$$

$$T_{02} = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m} \times c_p} = 21.28 + \frac{0.7203}{0.05 \times 4816} = 21.28 + 3.44 \approx 24.72^\circ\text{C}$$

$$Q_{u3} = 2.812 \times [0.589 \times 4.4 - 2.953(24.72 - 22.5)] = 0.7319 \text{ KW}$$

$$Q_{abs3} = 0.7319 \times 0.95 = 0.693 \text{ KWh}$$

$$T_{03} = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m} \times c_p} = 21.28 + \frac{0.7319}{0.05 \times 4816} = 24.72 + 3.49 \approx 28.21^\circ\text{C}$$

Aplicando a fórmula (9), determina-se a eficiência instantânea:

$$\eta_{i1} = \frac{\dot{m} \times c_p \times (T_0 - T_i)}{A_c \times I} \times 100 = \frac{0.05 \times 4186 \times (21.28 - 18)}{2.812 \times 3.98} \times 100$$

$$\eta_{i1} = 6.13\%$$

$$\eta_{i2} = \frac{\dot{m} \times c_p \times (T_0 - T_i)}{A_c \times I} \times 100 = \frac{0.05 \times 4186 \times 3.44}{2.812 \times 4.50} \times 100$$

$$\eta_{i2} = 5.68\%$$

Depois de se efectuar os cálculos acima vistos, preenche-se a tabela que segue:

Tempo (Hora)	$T_{entrada}$ (°C)	$T_{saida}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$I$ (KW/m <sup>2</sup> /dia)	$Q_u$ [KW]	$Q$ [KWh]	$\eta_{instant}$ [%]
(8:00 – 8:57)	18	21.28	3.28	3.98	0.686	0.6517	6.13
(8:57 - 9:54)	21.33	24.72	3.44	4.50	0.7203	0.6843	5.68
(9:54 –10:01)	24.72	28.21	3.49	4.40	0.7319	0.6953	5.90
(10:01-10:58)	28.21	31.84	3.63	4.56	0.7601	0.7220	5.93
(10:01-10:58)	31.84	35.77	3.93	4.74	0.8225	0.7814	6.17
(10:58-11:55)	35.77	39.75	3.98	4.80	0.83327	0.7916	6.173
(11:55-12:52)	39.75	44.09	4.35	4.90	0.9103	0.8648	6.6
(12:52-13:49)	44.09	48.48	4,39	5.24	0.9200	0.8740	6.24
Média	36.52	34.26	3.81	4.64	0.7980	0.7581	6.10

**Tabela 7.** Temperatura de saída e eficiência instantânea para radiação mínima em Maputo

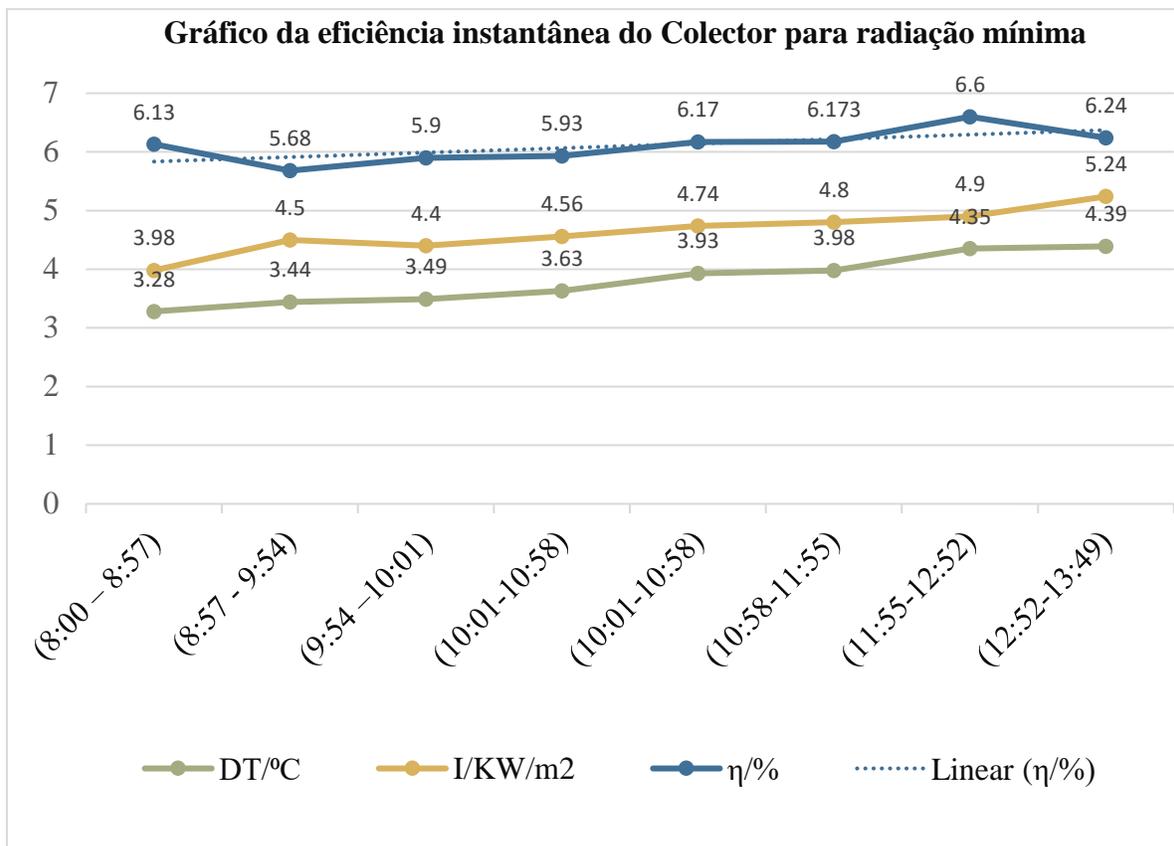


Figura 11. Gráfico da eficiência instantânea do Colector para radiação mínima

Para a determinação da temperatura e eficiência do Colector na radiação máxima disponível, segue-se os mesmos passos que foram aplicados para a radiação mínima.

$$Q_{u1} = A_c \times [F_r \times \tau \times \alpha \times I - F_r \times U_L(T_i - T_a)] \leftrightarrow Q_{u1} = 2.812 \times [0.589 \times 4.2 - 2.953(25 - 23)] = 0.686KW$$

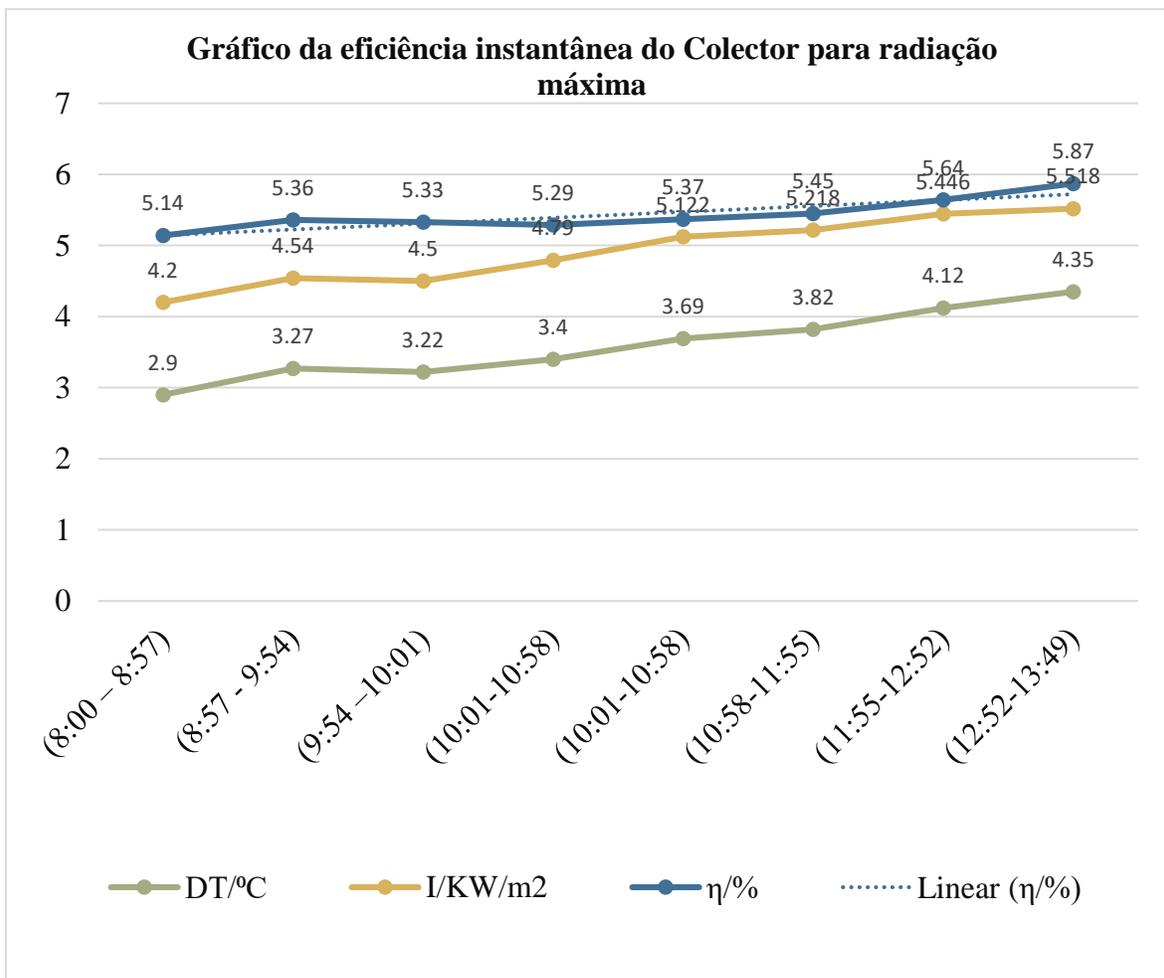
$$Q_{abs1} = 0.60735 \times 0.95 = 0.57698KWh$$

$$T_{01} = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m} \times c_p} = 21.28 + \frac{0.60735}{0.05 \times 4816} = 25 + 2.9 = 27.9^\circ C$$

$$\eta_{i1} = \frac{\dot{m} \times c_p \times (T_0 - T_i)}{A_c \times I} \times 100 = \frac{0.05 \times 4186 \times 2.9}{2.812 \times 4.2} \times 100$$

Tempo (Hora)	$T_{entrada}$ (°C)	$T_{saida}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$I$ (KW/m <sup>2</sup> /dia)	$Q_u$ [KW]	$Q$ [KWh]	$\eta_{instant}$ [%]
(8:00 – 8:57)	25	27.9	2.90	4.200	0.60735	0.57698	5.14
(8:57 - 9:54)	27.9	31.17	3.27	4.540	0.68495	0.65070	5.36
(9:54 –10:01)	31.17	34.39	3.22	4.500	0.67489	0.64114	5.33
(10:01-10:58)	34.39	37.79	3.40	4.790	0.71329	0.60900	5.29
(10:01-10:58)	37.79	41.48	3.69	5.122	0.77328	0.73461	5.37
(10:58-11:55)	41.48	45.30	3.82	5.218	0.79982	0.75982	5.45
(11:55-12:52)	45.30	49.42	4.12	5.446	0.86349	0.82031	5.64
(12:52-13:49)	49.42	53.7	4.35	5.518	0.91143	0.86590	5.87
Média	36.556	40.14	3.596	39.334	0.78459	0.70729	5.43

**Tabela 8.** Temperatura de saída e eficiência instantânea do Colector para radiação máxima em Maputo



**Figura 12.** Gráfico da eficiência instantânea do Colector para radiação máxima

Já conhecidas, as temperaturas de saída e eficiência instantânea do Colector, agora passa-se para a determinação da eficiência térmica global do Colector. Para tal, usar-se-á os dados da radiação mínima segundo a tabela (07), que representam condições precárias ou de severidade da radiação em Maputo. Ora, veja-se a seguir:

Aplicando a expressão (5), ter-se-á:

$$\eta_G = \frac{\sum_i^n Q_{ui}}{A_c \times I} \times 100 = \frac{6.27672}{2.812 \times 4.64} \times 100 = 48\%$$

Com base no cálculo anterior, Verifica-se-se que, a eficiência global, ou simplesmente a eficiência do Colector que foi encontrada, é de 48%.

#### **3.1.4. Armazenamento da água aquecida**

A água depois de aquecida no Colector solar, não será usada diretamente pelas pessoas, ou mesmo, não estará em constante uso, então, para garantirmos que a água aquecida no Colector solar não esfrie, recorreremos ao uso de dispositivos de preservação de temperatura da água, chamados Boiler Solar ou Reservatório de água quente.

Como já foi visto na revisão bibliográfica, o Reservatório de água quente, é uma caixa de água cilíndrica, que contém um tanque interno em aço inox, revestido por um isolante térmico, e que preserva a integridade da água aquecida, em períodos de não uso. Também, possui um sistema de aquecimento auxiliar, que pode ser configurado para aquecer a água em dias com menor incidência de sol (dias nublados ou de chuvas), que pode ser, elétrico ou a gás.

O maior objectivo do presente projecto, é minimizar os altos custos que são despendidos nos sistemas convencionais e outros para fins de aquecimento de água. Sendo assim, procura-se aplicar neste projecto, subsistemas que demandam relativamente pouco capital. Portanto, para o sistema de armazenamento da água aquecida, pretendia-se aplicar um reservatório plástico, visto que é relativamente de baixo custo. Mas, estes reservatórios, são de baixa eficiência, e para aumentar a sua eficiência, tinha de se submeter o reservatório a um processo de isolamento térmico, e isto, demandaria muito dinheiro e gasto de processo para produzir mesmo efeito ou abaixo de um reservatório convencional (Pré-fabricado) com boa eficiência. Também, o reservatório plástico que pretendia se aplicar, teria a inconveniência de indisponibilidade de água quente nos dias nublados ou de chuva.

Então, para o projecto, em estudo, aplicou-se um reservatório pré-fabricado, de aço 304, com eficiência térmica de 80%, revestido com paredes internas de vidro e com resistência elétrica no seu interior para dias de fraca irradiação, de céu nublado ou mesmo de chuva. Veja-se na imagem que segue. [30]



*Figura 13. Reservatório de água quente de aço 304*

Fonte: [23]

## **CAPÍTULO IV – PROJECCAO E DIMENSONAMENTO DO COLECTOR DE GARRAFAS PET'S**

### **4. PROJECCAO E DIMENSONAMENTO DO COLECTOR DE GARRAFAS PETS**

Este capítulo, irá se ocupar em projectar e dimensionar o Colector em causa, segundo a análise energética que foi realizada no capítulo anterior. Primeiramente, far-se-á o levantamento de matéria prima que é necessário para sua construção, de seguida, se vai determinar as suas dimensões e geometria, e por último, se vai estabelecer os procedimentos projectivos para sua construção.

#### **4.1 Matéria prima necessário para construção do Colector**

Para o processo de construção do Colector solar em projecção , usar-se-á os seguintes materiais:

- Tubos (superior e inferior) de PVC, de Ø32mm e 1600mm de comprimento cada;
- Tubos verticais de interligações de PVC, de Ø32mm e 1900mm de comprimento cada;
- Garrafas PET's cristal de 2 litros (transparentes) pós-consumo, de preferência as da marca Coca Cola e Pepsi, devido ao seu formato cônico. Garrafas PET's de outras cores não são recomendadas;
- Embalagens Tetra paks (Embalagens de leite fresco Parmalat ou Ultra Mel) de 1 litro pós-consumo;
- Conexão “T” e Cotovelos de 90° de PVC de Ø32mm;
- Pregos, Tinta de cor preta, e Cola para plásticos rígidos.

#### **4.2. Dimensionamento do Colector**

Neste subcapítulo, como o próprio nome já sugere, dimensionar, que significa atribuir ou determinar dimensões de um certo objecto, ira-se determinar as dimensões do Colector, bem como das partes que o compõe, inclusive, irá se quantificar o material acima registado, para a sua completa construção. Todos os cálculos dimensionais, serão feitos para adequar a capacidade do Colector ao volume de água que se pretende aquecer diariamente conforme a tabela (01).

#### 4.2.1. Descrição sumária da estrutura e constituição do Colector

O Colector em projeção, é uma estrutura de geometria rectangular, composto por dois (2) tubos horizontais, e onze (11) tubos verticais, separados entre si por uma distância  $S$ , adicionado uma folga  $\delta$ . A união entre os tubos verticais e horizontais é feito pelas conexões “T” e Cotovelos de 90°. Cada tubo vertical, encontra-se inserido no seio do conjunto Garrafas PET’s e embalagens Tetra Paks (Embalagens de Leite fresco Parmalat ou Ultra Mel), reciclados, e este conjunto, cobre cada tubo vertical, de uma extremidade á outra, como viremos nas páginas subsequentes.

#### 4.2.2. Área do Colector:

A área do Colector, já foi determinada no capítulo anterior, a fim de, auxiliar na determinação da capacidade volumétrica do mesmo, bem como no auxílio da determinação de parâmetros térmicos, e, esta, corresponde á:

$$A_c = C \times L ; C = L_2 = 1.8m ; L = L_1 = 1.562m$$

$$A_c = 1.8 \times 1.562 = 2.8116 m^2$$

Como já se pode ver acima, o comprimento e a largura do Colector, correspondem respectivamente á,  $C = 1.8m$  ,  $L = 1.562m$ .

- Os dois (2) tubos horizontais do Colector, correspondem a largura do Colector, e os onze (11) tubos verticais (perpendiculares aos tubos horizontais), correspondem ao comprimento do Colector.
- A distância entre os tubos verticais do Colector, também, já foi determinada no capítulo anterior, e esta, corresponde á,  $S = 100mm$  de comprimento. Este comprimento, é adicionado uma folga de  $10mm$ .

#### 4.2.3. Volume do Colector

A capacidade volumétrica do Colector, já foi determinada no capítulo anterior, na análise energética, com objetivo de auxiliar na determinação dos parâmetros térmicos, e esta, corresponde á:  $V = 18.47l$  (dezoito ponto quarenta e sete litros).

#### 4.2.4. Quantificação da matéria prima necessário para a construção do Colector

Tubos horizontais:

- O Colector terá dois (2) tubos horizontais de  $\varnothing 32mm$  e Comprimento de  $1562mm$ ;

**Tubos verticais:**

- O Colector terá Onze (11) tubos verticais (perpendiculares aos tubos horizontais) de  $\varnothing 32mm$  e  $1800mm$  de Comprimento;

**Conexões “T”:**

- O Colector terá vinte e dois (22) Conexões “T” de  $\varnothing 32mm$  (Onze ‘11’ na parte superior e ‘11’ na parte inferior);

**Cotovelos de 90°:**

- O Colector terá quatro (4) Cotovelos de 90° de  $\varnothing 32mm$ ;

**Garrafas PET’s:**

Para se determinar a quantidade das garrafas PET’s necessárias para se construir o Colector, importa conhecer-se alguns parâmetros. Ora, veja-se a seguir.

As garrafas PET’s (Garrafas de Coca-Cola de 2 litros), medem  $\varnothing 100mm$  de diâmetro e  $360mm$  de altura, conforme viu-se nos capítulos anteriores. E, a embalagem Tetra Paks (Embalagem de leite fresco Parmalat um (1) litro), mede  $245mm$  de altura. [27]

As Garrafas PET’s, terão que ser abertas por baixo, partindo da sua base, em  $20mm$  de altura, como mostrar-se-á nas páginas subsequentes. Após ser feito isto, introduz-se nas garrafas PET’s, através da abertura feita, a embalagem Tetra Pak, já preparada, em dimensões e geometria adequada para o melhor ajustamento.

De seguida, por baixo deste conjunto mencionado acima, introduz-se também, através da mesma abertura feita nas Garrafas PET’s, uma outra Garrafa PET, do lado cónico, numa profundidade de  $120mm$ . Portanto, o comprimento total deste conjunto, corresponderá a  $560mm$ .

Esta dimensão, só se vai verificar para o primeiro conjunto, pois, o restante conjunto terá que ser introduzido de forma sequencial, no conjunto anterior, em 120mm de profundidade, seguindo esta sequência para diante, até cobrir todo tubo. E, sobrando assim, 440mm de comprimento da parte útil que vai cobrir cada tubo vertical do Colector.

O comprimento do tubo que se pretende cobrir, corresponde á 1800mm. Subtraindo 560mm deste, remanescem 1240mm, que é o comprimento do tubo, que vai ser coberto pela parte útil do conjunto acima mencionado, que mede 440mm.

A divisão do comprimento remanescente (1240mm) dos tubos verticais do Colector, pelo comprimento útil do conjunto acima mencionado (440mm), multiplicado pelo número de tubos verticais do Colector, e, também, multiplicado por dois (2), e adicionando este produto por dois (2), então, ter-se-á o número de garrafas PET's e igual número de Embalagens Tetra Paks pós consumo necessárias para construir o Colector em projecção. Ora, veja-se.

$$N_1 = 2 \times N \times \frac{L^*_2}{440} + 2 \Leftrightarrow N_1 = 2 \times (N \times \frac{L^*_2}{440} + 1) \quad (22)$$

$N_1$ : Número de Garrafas PET's, e igual número de Embalagens Tetra Paks;  $N$ : Número de tubos verticais;  $L^*_2$ : Comprimento remanescente dos tubos verticais [m].

$$L^*_2 = 1240mm; N = 11 \text{ (Já conhecido)}$$

Aplicando a expressão (23), então tem-se:

$$N_1 = 2 \times \left( N \times \frac{L^*_2}{440} + 1 \right) = 2 \times \left( 11 \times \frac{1240}{440} + 1 \right) = 64$$

- O Colector terá 64 Garrafas PET's e igual número de Embalagens Tetra Paks na sua constituição.

### 4.3. Processos técnicos-projectivos para construir-se o Colector de Garrafas PET's

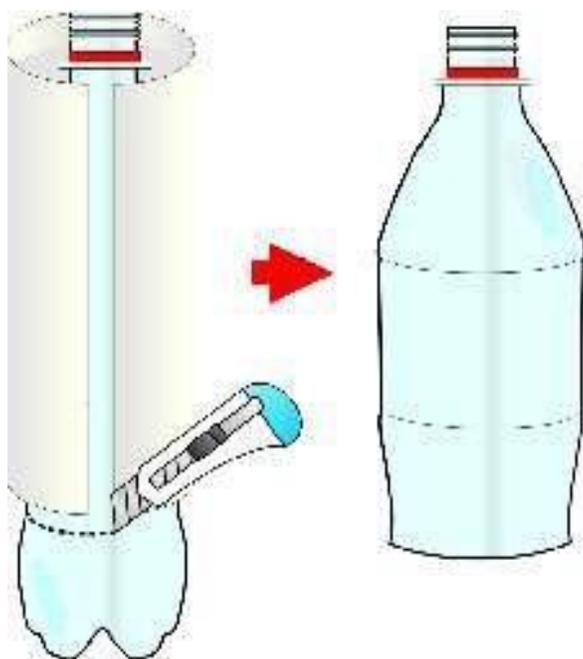
Em qualquer processo fabril, existe um conjunto de procedimentos lógicos a seguir, de modo que a produção de um determinado item seja possível. Por exemplo, se eu pretendo produzir chapas de zinco para cobertura de vivendas, não começaria por pintar a matéria prima para proteger o produto

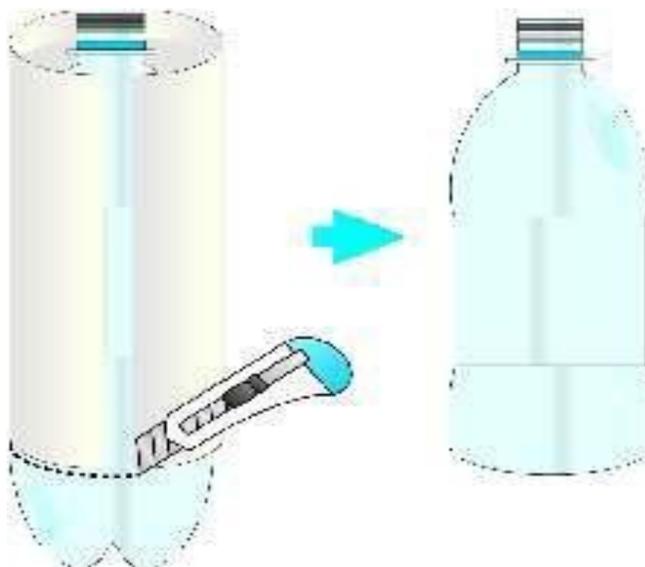
final contra corrosão. Então, significa que existe uma certa sequencia tecnológica de produção para que este produto em específico seja possível produzir-se.

Com o Colector em projecção, não será diferente. Então, a seguir, são apresentados, os procedimentos técnicos-projectivos para se construir o Colector de Garrafas PETs. Conforme o tema apresenta.

### **1ºPasso: Preparação das garrafas PET's**

- Neste estágio, lavar-se-á as Garrafas PET's recicladas na quantidade acima determinada, e de seguida coloca-se a secar.
- Depois de secar, faz-se um corte transversal na garrafa PET, a uma altura de *20mm* partindo da sua base, conforme ilustra nas imagens que seguem.





*Figura 14. Processo de corte das garrafas PET's*

Fonte:[1]

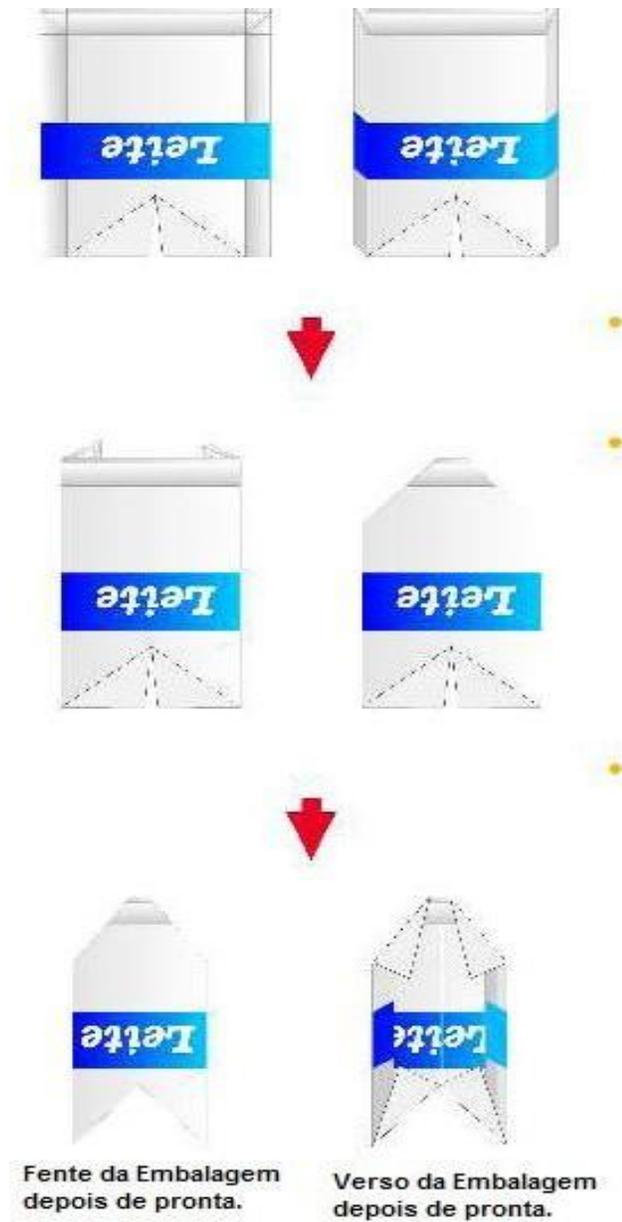
## **2º Passo: Preparação das garrafas Longa vida pós-consumo (Embalagens de leite fresco Parmalat ou Ultra Mel)**

A aplicação das embalagens neste projecto, oferece excelentes resultados, pois, a combinação dos três materiais, evita que se deformem na temperatura a que serão submetidas, dentro das garrafas PET's. [1]

- Abre-se as embalagens na parte de cima, lava-se, e deixa-se escorrendo a água, e, posterior, coloca-se a secar. Caso contrário, terá a formação de microrganismos e forte mau cheiro.
- Descola-se as orelhas laterais em seus quatro cantos, e aperta-se no corpo da embalagem, de modo a retirar o ar contido dentro de seu corpo, deixando-a pronta para os cortes e dobras.
- Abre-se um dos lados das embalagens, e deste lado, faz-se um corte de  $70mm$ , conforme ilustram as imagens que seguem. Depois do corte, será como se a embalagem ganhasse duas pernas. Esse corte, servirá para o encaixe do gargalo da próxima garrafa PET.

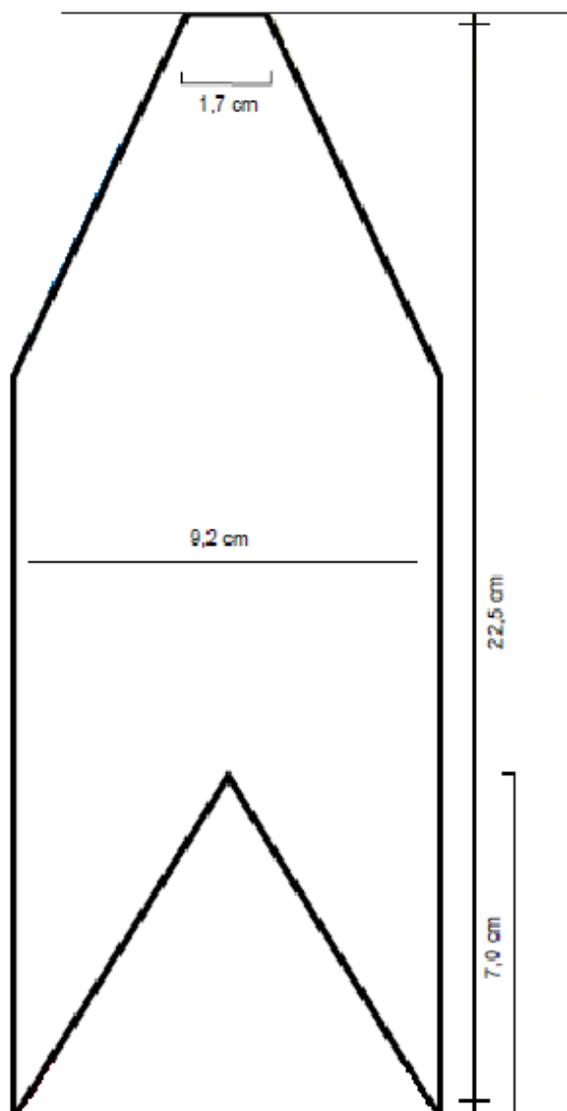
- De seguida, dobra-se e corta-se as embalagens, na geometria que é mostrada nas imagens que seguem. E, o comprimento total do produto da transformação das embalagens Tetra Paks, deve ser  $22,5\text{cm}$  ou simplesmente,  $225\text{mm}$ . Ora, veja-se.





*Figura 15. Processo de preparo das embalagens Tetra Paks*

Fonte: Fonte: [1]



*Figura 16. Embalagens tetra paks depois de ter sido cortada e realizada todas dobras necessárias*

- Depois de todos os cortes e dobras serem feitas na embalagem, como ilustra na figura acima, pinta-se a embalagem, com uma cor preta, como mostram as imagens que seguem. Pinta-se com tinta esmalte sintética, usada para ferro, madeira, entre outros.



*Figura 17. Pintura da Embalagem Tetra Paks depois dos corte e dobras*

Fonte: [7]

### **3º Passo: Preparação dos tubos ou canos de PVC para a construção da grelha de captação do Colector solar**

#### **Tubos verticais:**

- Faz-se o corte com um serrote manual ou de disco, nos tubos de 1900 mm de comprimento, da matéria prima acima registada, num comprimento de 1800mm (comprimento dos tubos verticais), na quantidade de 11 tubos, que serão usadas como tubos verticais.

#### **Tubos horizontais:**

Os tubos horizontais são dois (2), superior e inferior, e, no Colector, serão apresentados em junção de vários pedaços, e, que, a sua quantidade, irá ser determinada a seguir. Portanto, a junção destes,

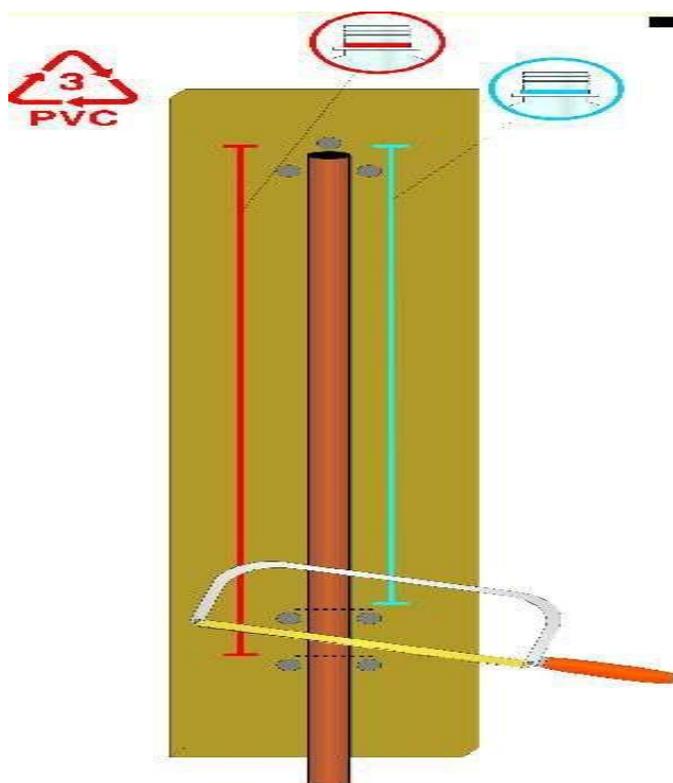
tanto como dos demais tubos do Colector, para construção da grelha Colectora, serão feitos por conexões 'T' e Cotovelo de 90°.

A divisão do comprimento dos tubos horizontais, pelo espaçamento entre os tubos verticais, incluindo a folga, resulta, no número de pedaços de tubos de PVC para compor cada tubo horizontal.

$$L_1 = 1560\text{mm}; S = 1560\text{mm}; \delta = 10\text{mm}; S + \delta = 100 + 10 = 110\text{mm};$$

$$\frac{L_1}{S + \delta} = \frac{1560}{110} = 14.18 \approx 14 \text{ tubos de } 110\text{mm de comprimento.}$$

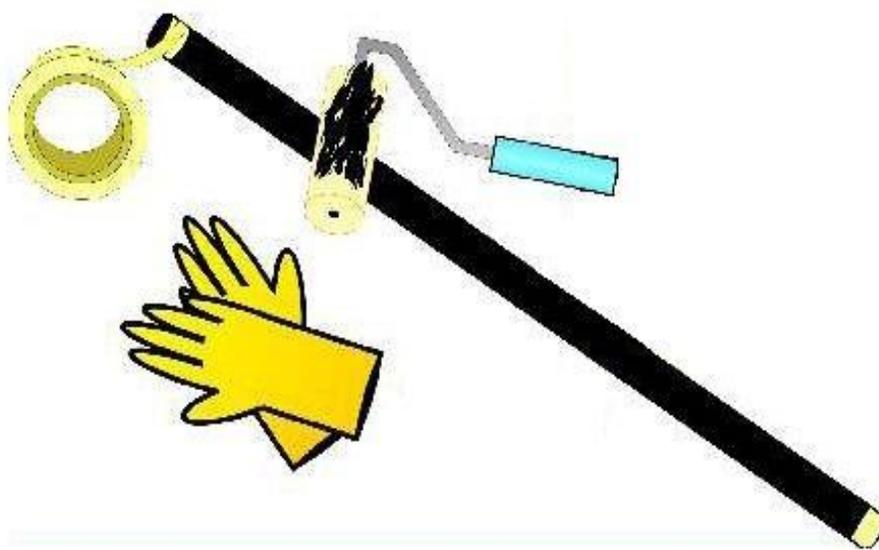
- Faz-se o corte com um serrote manual ou de disco, nos tubos de  $\varnothing 32\text{mm}$  e  $1600\text{ mm}$  de comprimento, na matéria prima acima registada, num comprimento de  $110\text{mm}$ , na quantidade acima determinada.



**Figura 18.** Corte dos tubos de PVC para construção da grelha colectora.

Fonte: [1]

- Depois de cortar-se os tubos, isola-se com uma fita crepe, comum as duas extremidades, onde mais tarde serão encaixadas as conexões “T”.
- Depois do isolamento, procede-se com a pintura dos mesmos, com a tinta que foi usada para se pintar as Embalagens Tetra Paks, assim, como ilustra na figura a seguir.



*Figura 19. Pintura dos tubos após o corte na medida desejada*

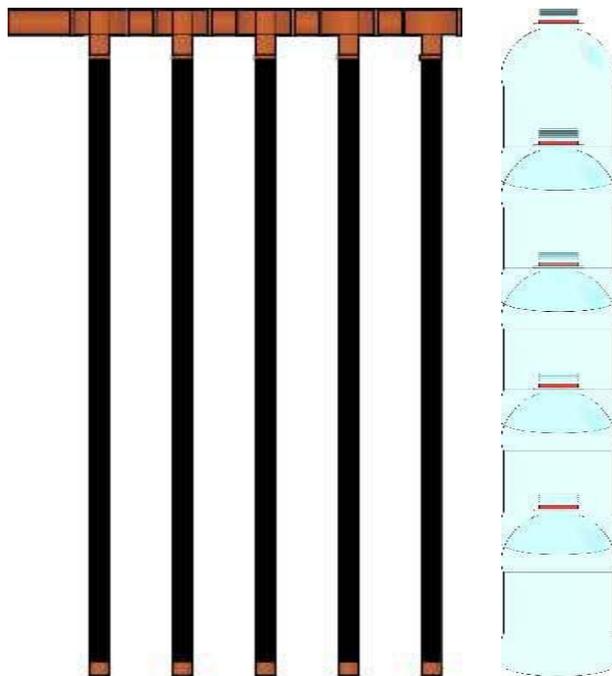
Fonte: [1]

#### **4º Passo: Montagem do Colector solar**

Depois da pintura, passa-se para fase da montagem do Colector. Nesta fase, deve-se observar a ordem na colocação dos componentes, e, portanto, usar-se-á cola para plásticos rígidos acima mencionada na matéria prima. A cola, far-se-á sua aplicação, somente nos tubos e conexões da parte superior do Colector, onde circula a água quente. Na parte inferior, ira-se apenas encaixar com ajuda de um martelo de borracha, o que facilitará a manutenção, se necessário. Para manutenção, simplesmente desencaixa-se a barra (tubo) inferior do Colector. Se fossem coladas, teriam de ser cortadas, com a perda de todas as conexões e tubos de distanciamento.

**Pré-montagem:**

- Nessa etapa, verifica-se, se as garrafas PET's, estão adequadas para o uso na montagem do Colector. Portanto, encaixa-se umas nas outras de Sete (sete) em Sete (7), conforme os cálculos acima feito para cada tubo vertical, simulando a montagem das colunas do Colector, como ilustrará nas imagens que seguem.
- Essa primeira montagem, serve para conseguir-se identificar prolemas, como, mal encaixe, garrafas que estão amassadas, e, portanto, não encaixam direito. Enfim, conseguir-se achar possíveis defeitos que comprometam o funcionamento final do dispositivo. Nesta fase, as garrafas que estiverem com qualquer defeito, são deixadas de lado. Ora, Veja-se a seguir.

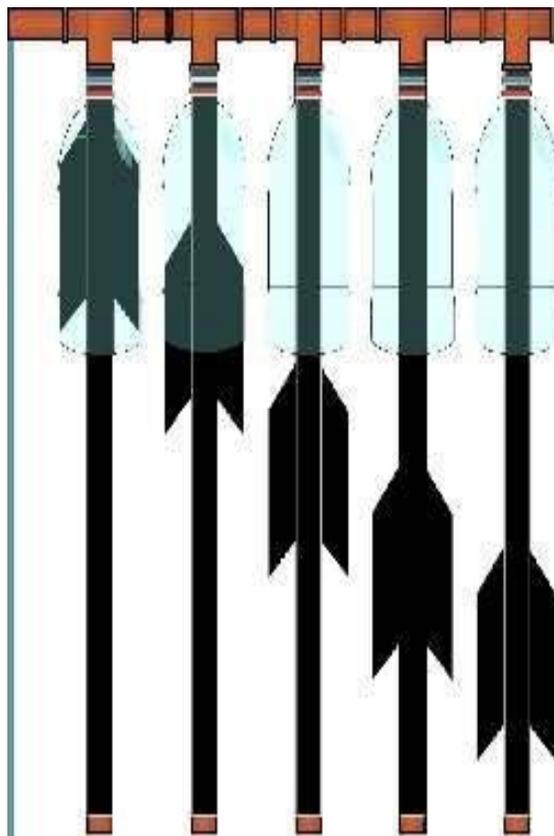


*Figura 20. Pré-montagem do Colector*

Fonte: [1]

**Montagem final:**

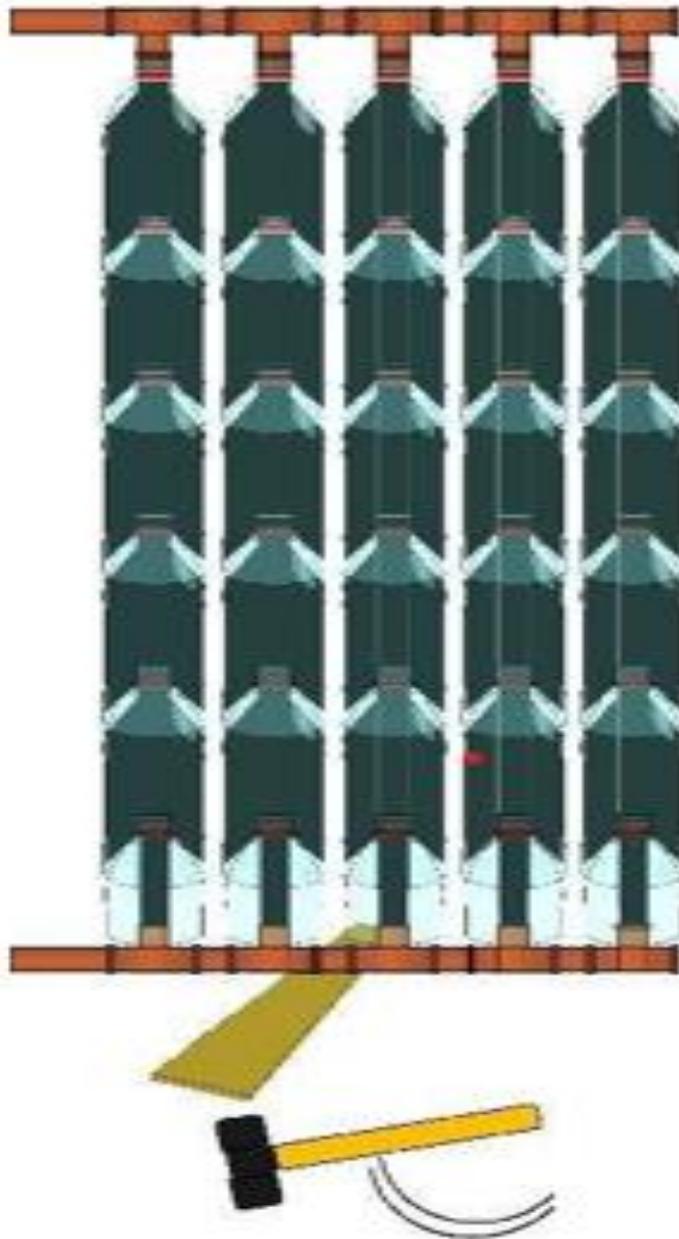
- Nesta etapa, primeiro, monta-se o tubo superior, usando as conexões ‘T’ e tubos de  $\varnothing 32mm$  e  $110mm$  de comprimento, acima preparados, até atingir a largura do Colector ( $1560mm$ ).
- De seguida, introduz-se as Embalagens Tetra Paks pintadas, dentro das Garrafas PET’s, também, já preparadas, conforme acima descrito.
- Com ajuda de um Martelo e cola acima mencionada, encaixa-se os tubos verticais já pintados de  $1800mm$  de comprimento, no barramento superior (tubagem superior), através dos furos das conexões ‘T’.
- Faz-se passar por estes tubos verticais já fixados no barramento Superior, o conjunto Garrafas PET’s e Embalagens Tetra Paks através do furo central longitudinal, e fazendo-se posicionar o lado cónico, no barramento (tubagem) superior. Por baixo do primeiro conjunto Garrafas PET’s e Embalagem Tetra Paks, encaixa-se outro conjunto, até cobrir-se todo comprimento dos tubos verticais
- Procede-se dessa forma, até completar-se o encaixamento dos tubos verticais, e o conjunto Garrafas PET ’s-Embalagens Tetra Paks, em todo comprimento ( $1560mm$ ) do barramento horizontal superior. Ora, veja-se na imagem que segue.



*Figura 21. Montagem final*

Fonte: [1]

- Devidamente montada cada coluna, finaliza-se a construção pela adição da tubagem inferior. Monta-se a tubagem ou barramento inferior, conforme procedeu-se para a montagem do barramento superior, e, encaixa-se nas colunas, com auxílio de um martelo de borracha e de uma pequena ripa para absorver a maior parte do impacto, para não trincar ou quebrar os tubos e conexões na hora do encaixe. Veja-se na imagem que segue.



*Figura 22. O Colector solar depois da Montagem*

Fonte: [1]

#### **4º Passo: Verificação de vazamento de água no Colector Solar constituído**

Depois da montagem do Colector, é possível que ocorra um vazamento de água, e, os pontos mais susceptíveis para este facto, são os pontos de união dos tubos de PVC. Portanto, antes de se instalar o Colector para o funcionamento, deve-se fazer um teste de vazamento, caso exista, para se corrigir esta anomalia. Caso não, este facto, irá comprometer o seu bom funcionamento. Então, para efeitos de verificação de vazamento, segue-se os seguintes procedimentos:

- Fecha-se todas as saídas do Colector, excepto a saída lateral esquerda superior, e, coloca-se o Colector totalmente na vertical.
- Instala-se na saída remanescente, uma mangueira para escoar água, e de seguida, enche-se o Colector na torneira com a ajuda desta mangueira.
- Já totalmente cheio de água, fecha-se a saída remanescente do Colector, e coloca-se encostado sobre uma parede.
- Verifica-se a olho nu, se a uma possível fuga de água contida nela, caso exista, fecha-se os orifícios de fuga com ajuda de uma cola acima registada na matéria prima para construção deste Colector.
- Depois disto, o Colector Solar, já se encontra pronto para o funcionamento.



*Figura 23. O Colector solar instalado no sistema para aquecimento de água depois da sua construção*

Fonte: [10]

Depois da sua construção, o aquecedor solar deve ser posicionado no telhado da residência, ou em uma área que receba o sol diretamente, e sem incidência de sombra de árvores, ou de prédios, casas, etc, para garantir a captação de maior volume da radiação solar.

## **CAPÍTULO V - ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DO COLECTOR SOLAR**

### **5. Análise da degradação do Colector Solar**

Os resultados térmicos obtidos com Colectores que utilizam o plástico como elemento absorvedor de radiação solar, demonstram serem viáveis. Porém, para que este tipo de Colector possa ser competitivo em termos de mercado, é necessário um estudo acerca das degradações relativas ao tempo de vida útil deste referido equipamento. Ora, veja-se.

O Colector Solar, será exposto ao ar livre, em condições atmosféricas. Isto, é para garantir que haja maior exposição a radiação solar. Portanto, neste ambiente, o Colector é sujeito a vários factores que podem comprometer com a sua integridade, tais como, chuvas, humidade, a própria radiação, ventos e outros.

O presente Colector, é projectado em materiais plásticos (tubos PVC e Garrafas PET's de Coca-cola), e, os materiais plásticos, são em geral resistentes a corrosão.

Portanto, os factores que poderiam provocar corrosão no Colector, são, a humidade e as chuvas. E, o factor mais influente que pode afectar a sua integridade, é a própria radiação, provocando possível fusão nos seus componentes.

Então, como visto acima, a maior ameaça de degradação deste dispositivo, é a própria radiação. Os tubos de PVC, começam a apresentar sinais de fusão a 60°, conforme acima visto, e as Garrafas PET's, abaixo desta temperatura, portanto, na história do clima em Moçambique, até os dias da atualidade, nunca foram atingidas estas temperaturas. E se fossem atingidas, a terra não seria um lugar habitável. Isto, significa que, a temperatura ambiente, os tubos de PVC, bem como as Garrafas PET's, se encontram estáveis, sem nenhum risco de fusão. Pois, os mesmos, já foram fabricados para resistirem as máximas temperaturas que o ambiente pode registrar. Entretanto, a exposição diária ao sol do equipamento, pode provocar contração nas Garrafas PET's, e, este facto, não apresenta ameaça no funcionamento normal do Colector.

E outro factor, que pode afectar negativamente no funcionamento do Colector, são as poeiras, que podem obstruir a penetração da radiação, mas, este facto, é de simples resolução.

Uma simples limpeza no dispositivo, ultrapassa-se essa inconveniência. Para efeito, recomenda-se uma limpeza periódica de uma ou duas semanas do equipamento, para garantir que haja sempre uma boa penetração da radiação.

## CAPÍTULO VI - ANÁLISE DE RESULTADOS

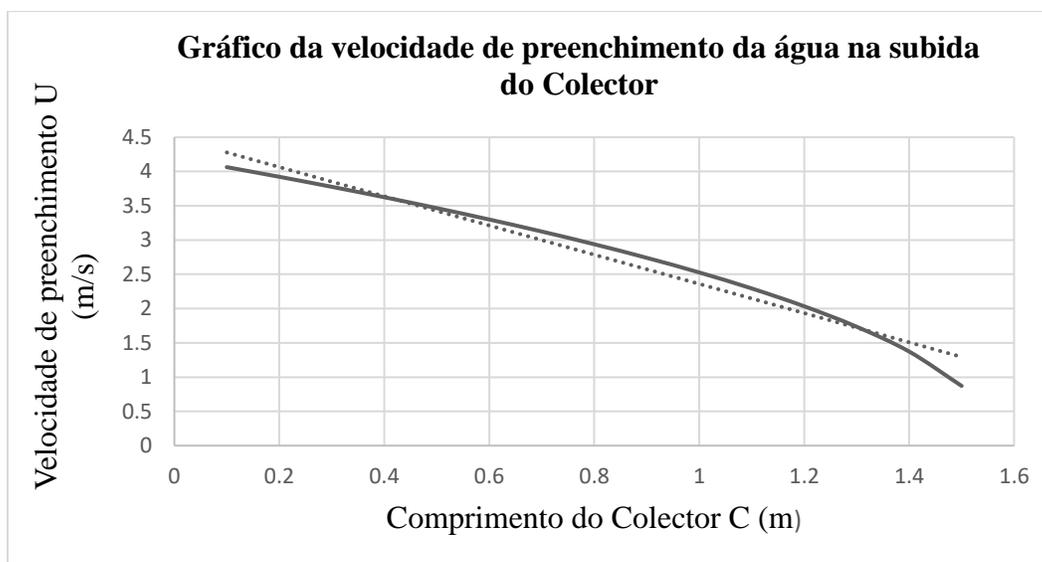
### 6. Análise de resultados

Este capítulo, consistirá na avaliação e análise dos resultados obtidos nos capítulos anteriores.

Primeiro, ir-se-á analisar a velocidade com que o fluido de trabalho preenche o colector, pois, esta, determina o tempo de permanência do fluido no Colector para cada ciclo de aquecimento. Isto, significa que, este parâmetro, é de suma importância, pois, os outros estudos na análise energética do Colector, foram feitos, observando este pormenor.

Em seguida, ir-se-á analisar a eficiência térmica do Colector solar. Pois, esta, representa, o principal parâmetro de funcionamento do sistema. E, mediante a eficiência, averiguar que níveis de temperatura da água aquecida este Colector pode oferecer. E, posterior, comparar o seu desempenho com os colectores convencionais, e assim, concluir a sua viabilidade tecnológica.

#### 6.1. Análise da velocidade de preenchimento da água no Colector solar



*Figura 24. Velocidade de preenchimento da água no Colector em função do comprimento do Colector*

Observando o gráfico da velocidade de preenchimento da água no Colector em função do seu comprimento, na figura 9, acima ilustrada, pode-se notar que, a água chega na entrada do Colector,

a uma velocidade relativamente maior, pois, esta, sai do reservatório térmico, pela ação de gravidade até a entrada do Colector. E, durante o preenchimento do mesmo, que representa subida, a água sofre depreciação de velocidade a cada altura que sobe no Colector. E, isto, ocorre, devido a acção contrária da gravidade ao seu movimento de subida. Este fenómeno, observado no gráfico, ocorre, até que, a água que passa pelo Colector, atinja novamente o reservatório térmico. E, isto, vai se observando de forma cíclica, até que a água no sistema esteja a mesma temperatura. Portanto, a variação da velocidade de subida, determina o tempo de permanência do fluido no Colector, e, isto, significa, energia absorvida pela água durante este período de tempo.

## 6.2. Análise da eficiência térmica do Colector solar e das temperaturas de saída da água

Tempo (Hora)	$T_{entrada}$ (°C)	$T_{saída}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$I$ (KW/m <sup>2</sup> /dia)	$Q_u$ [KW]	$Q$ [KWh]	$\eta_{instant}$ [%]
(8:00 – 8:57)	18	21.28	3.28	3.98	0.686	0.6517	6.13
(8:57 - 9:54)	21.33	24.72	3.44	4.50	0.7203	0.6843	5.68
(9:54 –10:01)	24.72	28.21	3.49	4.40	0.7319	0.6953	5.90
(10:01-10:58)	28.21	31.84	3.63	4.56	0.7601	0.7220	5.93
(10:01-10:58)	31.84	35.77	3.93	4.74	0.8225	0.7814	6.17
(10:58-11:55)	35.77	39.75	3.98	4.80	0.83327	0.7916	6.173
(11:55-12:52)	39.75	44.09	4.35	4.90	0.9103	0.8648	6.6
(12:52-13:49)	44.09	48.48	4,39	5.24	0.9200	0.8740	6.24
Média	36.52	34.26	3.81	4.64	0.7980	0.7581	6.10

**Tabela 9.** Temperatura de saída e eficiência instantânea para radiação mínima em Maputo

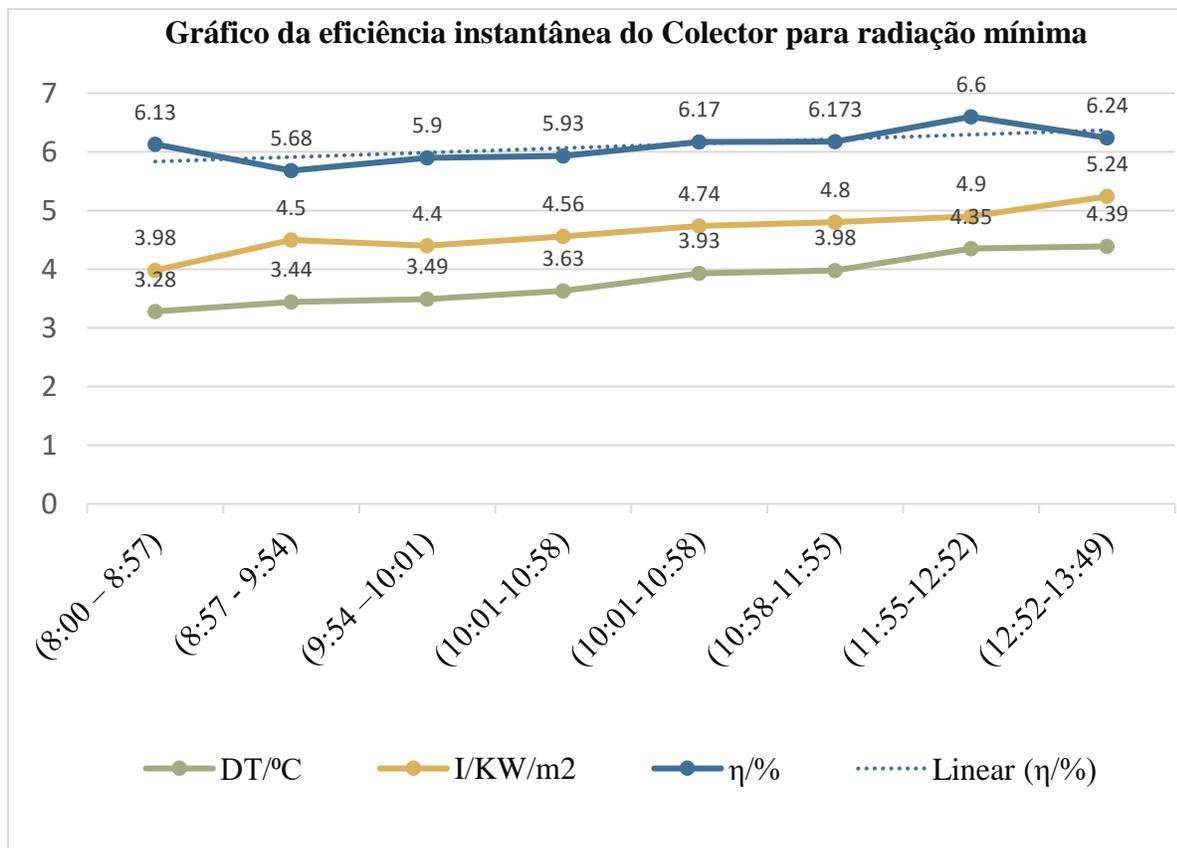


Figura 25. Gráfico da eficiência instantânea do Colector para radiação mínima

$$\eta_G = \frac{\sum_i^n Q_{ui}}{A_c \times I} \times 100 = \frac{6.27672}{2.812 \times 4.64} \times 100 = 48\%$$

Para análise de desempenho do sistema projectado, observa-se os resultados registados na tabela (7) e gráficos (11), respetivamente.

Olhando para o gráfico, no período em estudo, das 8:00 às 14:00, a eficiência instantânea depende de vários factores. Mas, para efeito, esta, foi analisada observando a variação de intensidade de radiação e o gradiente de temperatura entre a saída e entrada da água. A radiação durante o percurso do dia sofre variação, e, a tendência do seu comportamento, é de subir até atingir o pico da

insolação do dia. Por este facto, o seu gráfico, tende a subir, mesmo, diante das variações que se fazem sentir no período em estudo, como mostra o gráfico “I/KW/m<sup>2</sup>”.

Como o regime de funcionamento do Colector é de termo sifão, o gradiente de temperatura na medida que o tempo vai passando, aumenta. Isto, significa que, a água, entra no novo ciclo de aquecimento, com a energia absorvida no ciclo anterior. Razão pela qual, mediante as suas variações, o seu gráfico sempre tende a subir, representando um consumo consecutivo de energia. Como mostra o gráfico “DT/°C”.

Quanto a eficiência instantânea, mostra-se instável para cada variação de radiação e gradiente de temperatura da água, como ilustra o gráfico “η%”. Mas, em alguns pontos, a eficiência instantânea mostra-se relativamente maior para períodos com maior incidência de radiação, levando a percepção de que, são pontos onde o Coletor absorveu maior radiação. A eficiência instantânea, depende de vários factores, que são, temperatura do meio ambiente, temperatura da entrada da água no colector e da intensidade de radiação. Portanto, estes factores não tem um comportamento linear, variam de forma aleatória, conforme mostra o gráfico da figura 11, não podendo assim, prever o seu comportamento. Então, nada se pode dizer quanto a eficiência do Colector, observando a eficiência instantânea do Colector.

Para se ter a eficiência geral do Colector “η<sub>G</sub>”, ou simplesmente eficiência térmica do Colector, somou-se toda energia absorvida pelo Colector durante o período analisado, como mostra a tabela (07), e fez-se a razão desta, pela radiação disponível no mesmo período, e, o resultado foi de 48%, como mostra abaixo da figura (11), neste capítulo.

Então, a eficiência, ou o desempenho do Colector solar de Garrafas PETs, projectado para uma vivenda unifamiliar na cidade de Maputo para aquecer água, numa quantidade, conforme registrado na tabela (01), corresponde à 48%. E, as temperaturas da água que esta forneceu durante as horas de exposição (6H), foram, 48.48°C para radiação mínima (tabela 07), e 53.7 °C para radiação máxima tabela (08).

**CAPÍTULO VII - AVALIAÇÃO ECONÓMICA DO SISTEMA COLECTOR SOLAR DE GARRAFAS PET'S (COLECTOR NÃO CONVENCIONAL)**

**7. Avaliação económica do sistema Colector de Garrafas PET'S (Colector não convencional)**

Todo projeto, antes de ser executado, observa o aspeto de custos, pois, o custo dos projectos, muitas das vezes é o que determina o avanço ou não dos projetos. Portanto, não será diferente no projeto em causa. Neste capítulo, irá avaliar-se economicamente o projecto em análise. Far-se-á o orçamento para a aquisição da matéria prima necessário para a construção do dispositivo Colector de Garrafas PET's, segundo o mercado nacional e internacional, e posterior, comparar com o custo de aquisição dos Colectores convencionais (de alta tecnologia), e, todavia, determinar a sua viabilidade económica. Ora, veja-se a seguir.

Nome do equipamento	Quantidades	Preço por unidade (Mt)	Preço em Lote (Mt)
Tubos PVC	5	350/6metros	1750
Cotovelo 90°	4	250	1000
Tinta Preta	4	350/litros	1400
Conexões T	22	250	5500
Reservatório de água fria	1	5000	5000
Reservatório de água quente	1	6000	6000
Garrafas PETs e Longa vida pós uso	64	(Reciclados)	0
<b>Total</b>	–	–	<b>20650</b>

*Tabela 10. Tabela orçamental dos equipamentos usados para a construção e implantação do Colector solar*

No mercado internacional, para a aquisição de um Colector solar, custa num universo de Mil dólares (\$1000), e o reservatório térmico, cem dólares (\$100), na ordem de seiscenta e sete mil meticais (67000,00 MNZ), para o conjunto Colector- Reservatório. [27]

Portanto, o sistema em causa, para sua construção, demanda abaixo da metade do capital para aquisição dos Colectores convencionais de alta tecnologia e de material altamente qualificado (cobre, alumínio, alguns aços), no entanto, o Colector em causa, para além de possuir uma ótima eficiência para a aplicação específica (numa vivenda), demanda um ótimo capital de investimento, abaixo dos Colectores convencionais, isto, leva a afirmar que, o projeto é viável tecnicamente, tanto quanto economicamente.

## CAPÍTULO VIII - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

#### 8.1. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi feita a análise e projeção de um Colector solar construído na base de materiais reciclados (Garrafas PETs e Embalagens de Leite Parmalat Pós uso), que tem como objetivo, aquecer água numa vivenda unifamiliar na cidade de Maputo. Este dispositivo, foi avaliado em duas estações em que o mesmo irá funcionar, verão e inverno. E, portanto, durante o estudo e análise do mesmo, constataram-se as seguintes conclusões:

- A eficiência térmica do Colector, depende das características técnicas do material de construção (absorvidade e transmissividade) e da precisão de construção, mas não, das condições do meio, tais como, temperatura do meio, velocidade dos ventos, calor específico da água e etc;
- A temperatura da água aquecida, é diretamente proporcional a intensidade da radiação solar, em função da eficiência do Colector solar;
- Um corpo negro é o melhor absorvedor de radiação, portanto, o Colector solar foi construído para que seja semelhante a um corpo negro. Para efeito, recorreu-se a uma pintura do Colector, com uma cor preta, para ter propriedades semelhantes á um corpo negro;
- Com este tipo de Colector, é possível ter-se água quente 24/24h por dia, em condições de temperaturas desejadas. Basta que se associe a um reservatório térmico, com um sistema auxiliar de aquecimento para dias de baixa insolação, chuvas ou neblinas;
- O custo de investimento para este tipo de Colector, é inferior em relação aos Collectores convencionais de alta tecnologia;
- Com este Dispositivo, o capital que era despendido para a compra de energia elétrica que é uma forma cara de energia, com fins de aquecimento de água, será poupado.

- O uso das Garrafas PETs, diminui a troca de calor por convecção do Colector com o ar ambiente;
- A Embalagem de Leite fresco (Parmalat ou Ultra Mel), pintado a cor preto, aumenta o poder de absorção de calor do Colector.
- Este dispositivo, para além de ser económico, é amigo do meio ambiente.

## 8.2. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se:

- A manutenção do sistema, três (3) em três (3) meses, para garantir que partes do sistema estejam em condições, e permitir que o rendimento do dispositivo Colector seja mantido constante (Para não depreciar), pois, elementos como, garrafas PETs, e Embalagens Tetra Peks (Embalagens de leite fresco Parmalat ou Ultra Mel), podem sofrer degradação, devido a longa exposição à radiação, a humidade, ação dos ventos, e outros factores;
- Instalar-se o Colector solar, por cima dos tectos das casas ou numa estrutura de altura considerável para melhor captar a radiação e em sentido de propagação natural dos ventos;
- A escolha de tubos PVC de cor preta, e tintas para pintura do Colector, também de cor preta, para garantir o aumento da capacidade de absorção e retenção do calor da radiação (maior absorvidade e transmissividade da radiação do sistema Colector);
- Na instalação do Colector solar, observar-se a latitude do lugar ou cidade que se vai instalar, para melhor estabelecer-se o ângulo de inclinação.
- A popularização do uso deste dispositivo, na realidade das sociedades Moçambicanas.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ALANO, JOSE ALCINO E FAMILIA - Tubarão – SC. <http://josealcinoalano.vilabol.uoul.com.br/manual.htm>. Aquecedor solar produzido por materiais reciclados, projecto do meio ambiente. Paraná, 2006.
2. ATLAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS DE MOÇAMBIQUE. Junho de 2015.
3. CENGEL, YUNUS. Transferência de calor. 3ª edição.
4. CÓPIA TRADUZIDA DE SOLAR - Resumen.
5. COSTA, R.N.A.; 2007, “Viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água abaixo custo para fins residenciais”, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFRN
6. CREDER, H. *Instalações hidráulicas e sanitárias*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006. 423 p.
7. DALL’ANTONIA JUNIOR, LUIZ CARLOS. Colector solar alternativo de concreto para aquecimento de água em aplicações agrícolas e agroindustriais. Botucatu-São Paulo, 2011. dissertação de mestrado.
8. DE ABREU, RIVALDO FERREIRA. Estudo Térmico de um sistema solar de aquecimento de água residencial para duas configurações de superfície absorvedora. Rio Grande do Norte, 2009. Dissertação de Mestrado.
9. DOS SANTOS, HORTENCIA NORONHA. Colector Solar com Garrafas PETs. Tucuri-Pará, 2011. [WWW.cobenge2011.com.br](http://WWW.cobenge2011.com.br)
10. FERREIRA JUNIOR, MARCELO. Energia solar aplicada em sistemas de refrigeração. Guaratinguetá, 2017. Trabalho de Graduação.
11. FILHO, PEDRO JACOB. Estudo do rendimento térmico de um aquecedor solar parabólico redondo para viabilidade de uso comercial e residencial. Guaratinguetá-São Paulo, 2016. dissertação de mestrado.
12. FORTES, ANTÓNIO GONÇALVES; MUTENDA, FRANCISCO MUBANGO. Energias renováveis em moçambique: disponibilidade, geração, uso e tendências futuras. Moçambique, 2019. Revista Brasileira Multidisciplinar.

<http://revistarebram.com/index.php/revistauniara>

13. GUERRA, M. I. S; VARELLA, F. K. O. M. Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo na cidade de Mossoró (RN).2013.
14. ISMANHOTO, W. A. Análise comparativa da viabilidade econômica da utilização de Colectores solares para aquecimento de água. Dissertação. Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP. Botucatu. 2004.
15. KHALIFA, A-J.N. Thermal performance of locally made flat plate solar collectors used as part of a domestic hot water system. *Energy Conversion & Management*, United Kingdom, v.40, n.17, p.1.825-1.833, 1999.
16. LOURENÇO, PEDRO MIGUEL DA SILVA. Modelação de Colectores Solares Térmicos. Lisboa, 2012. Dissertação de Mestrado.
17. BASSO, LUIZ H; SOUZA, SAMUEL N. M; Et al. análise de um sistema de aquecimento de água para residências rurais, utilizando energia solar
18. MADHLOPA, A.; MGAWI, R.; TAULO, J. Experimental study of temperature stratification in an integrated collector-storage solar water heater with two horizontal tanks. *Solar Energy*, Great Britain, v.80, n.8, p.989-1.002, 2006.
19. MOREIRA, MICHEL FÁBIO DE SOUZA. Analise térmica de um Colector solar composto de cavidades para aquecimento de água. Minas gerais, 2009. Dissertação de mestrado.
20. PRADO, RACINE TADEU ARAÚJO; LAERTE BERNARDES ARRUDA; Et al. Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. Projeto São Paulo. 2007.
21. RUSSI, M. Projeto e análise da eficiência de um sistema solar misto de aquecimento de água e de condicionamento térmico de edificações para Santa Maria – RS. Santa Maria, 2012. Dissertação de mestrado.
22. SILVA, L. A. Colector de polietileno: uma alternativa de aproveitamento de energia solar de baixo custo. 1992. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

23. SOAVE, CLÁUDIO. Simulação e análise de desempenho de Colectores solares poliméricos. São Leopoldo, 2014. dissertação de Mestrado.
24. SOUZA, L.G, Colector solar não convencional, de baixo custo, composto por múltiplos tubos absorvedores de PVC, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém – PA, 2004.
25. TAVARES, STELLA RAMOS; SOUSA, NÁDIA GUIMARÃES. Sistema de aquecimento solar de água: simulação e análise.2019.
26. UNIVERSIDADE DO SOL. Brasil é 6º no Ranking de Colectores Solares. Disponível em:<http://www.universidadedosol.org.br/brasil-e-6-o-no-ranking-de-Colectores-solares>. Acesso em 16 de abril de 2022.
27. [www.google.com](http://www.google.com). Acesso em 24 de Agosto de 2022.
28. [www.Sempresustentavel.com.br](http://www.Sempresustentavel.com.br). Acesso em 05 de junho de 2022.
29. [www.wewtherspark.com](http://www.wewtherspark.com). Acesso em 03 de setembro de 2022.
30. [www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColectoresSolares](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColectoresSolares). Acesso em 10 de outubro de 2022.

**ANEXOS**

**ANEXO A3 - DESENHO DA VISTA GERAL DO COLECTOR SOLAR DE GARRAS PETs**

**ANEXO A2 – DESENHO DA VISTA GERAL DO ESQUEMA BÁSICO DA INSTALAÇÃO  
DE AQUECIMENTO DE ÁGUA COM COLECTOR DE GARRAS PETs**