

**UNESP**

**Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá**

**LAÉRCIO SANTOS GUIMARÃES**

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE UM AQUECEDOR  
SOLAR DE ÁGUA DE GARRAFAS PET PARA AQUECER O AR DE UMA CABINE DE  
PINTURA E UMA ESTUFA DE SECAGEM**

**Guaratinguetá**

**2011**

LAÉRCIO SANTOS GUIMARÃES

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE UM  
AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE GARRAFAS PET PARA AQUECER  
UMA CABINE DE PINTURA E UMA ESTUFA DE SECAGEM

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

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

Guaratinguetá  
2011

G963a Guimarães, Laércio Santos  
Avaliação da viabilidade econômica do uso de um aquecedor solar de água de garrafas pet para aquecer o ar de uma cabine de pintura e uma estufa de secagem / Laércio Santos Guimarães – Guaratinguetá : [s.n], 2011.  
37 f : il.  
Bibliografia: f. 37

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.  
Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

1. Aquecedores solares de água 2. Energia – conservação I. Título

CDU 697.329

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE UM  
AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA DE GARRAFAS PET PARA AQUECER O  
AR DE UMA CABINE DE PINTURA E UMA ESTUFA DE SECAGEM**

**LAÉRCIO SANTOS GUIMARÃES**

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

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. RENATA L. C. P. CHAGAS  
UNESP-FEG

Março de 2011

---

*À minha família, que sempre me incentivou e nunca mediu esforços para me apoiar em todos os momentos.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, *Mara Lúcia e Laércio*, que sempre me incentivaram e apoiaram, a *Deus* por sempre ter me dado apoio e força, ao meu orientador, *Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho*, pela orientação durante a realização deste trabalho, aos meus amigos, desde os mais antigos como os mais recentes, aos irmãos da República APAE com quem tive o prazer de compartilhar anos incríveis da minha vida e me ensinaram o valor da amizade, companheirismo e que valores materiais não são essenciais para se levar uma vida com alegria, a todos os *professores* que durante esses anos de graduação contribuíram para minha formação acadêmica e aos meus *amigos de turma*, por todos os momentos que passamos juntos.

“According to the pain is the gain”

Rabbi Ben Hei

**GUIMARÃES, L. S. Avaliação da viabilidade econômica do uso de um aquecedor solar de água de garrafas PET para aquecer o ar de uma cabine de pintura e uma estufa de secagem.** 2011. 37 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **RESUMO**

Atualmente, a maior parte da oferta de energia do mundo é proveniente de fontes fósseis e nucleares. Porém, a necessidade atual da sociedade pela preservação do meio ambiente e uso inteligente dos recursos naturais, tem favorecido a busca por fontes alternativas de energia e melhoria da eficiência energética. Diante desse novo panorama, empresas já começam a se mobilizar no sentido de adaptar suas instalações às fontes renováveis de energia. A energia solar, com seu imenso potencial ainda não muito explorado, pode ser de grande utilidade para as empresas que desejam bater suas metas de sustentabilidade. Em vista desses fatos, o objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica de se introduzir um aquecedor solar de água que emprega a garrafa PET incolor como um de seus componentes, numa planta industrial. A água quente gerada irá aquecer o ar de uma cabine de pintura e uma estufa de secagem, reduzindo o consumo de energia elétrica, já que as mesmas são aquecidas através de resistências elétricas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Viabilidade Econômica. Aquecedor Solar. Eficiência Energética. *Payback*.



**GUIMARÃES, L. S. Evaluation of economic viability of using a solar water heater of PET bottles to warm the air of a paint booth and warm house.** 2011. 37 f. Graduation Work (Graduation in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

### **ABSTRACT**

Nowadays, the biggest part of the world's energy supply comes from fossil fuels and nuclear. However, the current need of the society for the preservation of the environment and wise use of natural resources, has favored the search for alternative energy sources and improvement of energy efficiency. In this new scenario, companies are beginning to mobilize in order to adapt its facilities to renewable energy. Solar, with its immense potential, not really exploited yet, can be very useful for companies that want to beat their sustainability goals. Given these facts, the aim is to evaluate the economic viability of introducing a solar water heater which uses a colorless PET bottle as one of its components in a plant. The hot water generated will heat the air of a paint booth and a warm house, reducing energy consumption, since they are heated by electric heaters

**KEYWORDS:** Economic Viability. Solar Heater. Energy Efficiency. Payback.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento de um concentrador solar. ....	14
Figura 2 – Concentrador solar tipo cilindro parabólico. ....	15
Figura 3 – Concentrador solar tipo redondo parabólico.....	16
Figura 4 – Concentrador de lentes Fresnel. ....	17
Figura 5 – Concentrador dielétrico totalmente reflexivo .....	18
Figura 6 – Aquecedor solar industrial. ....	19
Figura 7 – Esquema de uma instalação de aquecimento solar de água residencial. ....	20
Figura 8 – Sistema solar-térmico de alta temperatura. ....	21
Figura 9 – Aquecedor solar de baixo custo. ....	22
Figura 10 – Aquecedor solar móvel .....	23
Figura 11 – Coletor solar de garrafa PET do Centro de Energias Renováveis. ....	24
Figura 12 – Desenho esquemático do coletor solar.....	26
Figura 13 – Configuração atual da instalação da indústria. ....	27
Figura 14 – Configuração da instalação com aquecedor solar.....	27
Figura 15 – Volume de controle no trocador de calor.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento de custos do projeto.....	33
Tabela 2 – Dados para cálculo do <i>payback</i> .....	33

## LISTA DE SÍMBOLOS

°	grau
%	porcentagem
”	polegada
m	metro
s	segundo
W	watt
°C	graus celsius
±	mais ou menos
≤	menor igual
≥	maior igual
KWh	quilowatthora
min	minuto
l	litro
kcal	10 <sup>3</sup> calorias
kg	quilograma
J	joule
KVA	quilovoltampere
HP	horse power
cv	cavalo vapor
rpm	rotações por minuto
mmca	milímetro de coluna de água
FS	fator de serviço
Hz	hertz
V	volt

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	12
<b>2.1 A Energia solar .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Concentradores Solares .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Refletores.....	15
2.2.2 Refratores .....	16
2.2.3 Híbridos .....	17
<b>2.3 Sistema Solar Térmico .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Sistemas de baixa temperatura .....	19
2.3.2 Sistemas de alta temperatura .....	20
<b>2.4 Aquecedor solar com materiais reutilizados .....</b>	<b>22</b>
3 EXPERIMENTO .....	25
<b>3.1 O aquecedor solar .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Características de aplicação do estudo .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Cálculos do número de coletores solares .....</b>	<b>29</b>
4 RESULTADOS .....	34
5 CONCLUSÕES .....	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37

# 1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que todas as empresas operam visando rentabilidade econômica. Porém, nos últimos anos tem-se observado um crescimento da consciência da sociedade no que tange ao respeito e responsabilidade ambiental e a eficiência energética.

O temor pela escassez de recursos naturais juntamente com a previsão de que num futuro bem próximo, só poderão atuar no mercado empresas que respeitam e tomam iniciativas visando à redução dos danos ao meio ambiente, tem feito com que as empresas comecem a traçar metas de sustentabilidade, incorporando novas tecnologias e mudando paradigmas ultrapassados.

Como opção para as empresas que desejam se adaptar a esse novo cenário, existem diversas alternativas, como troca de equipamentos antigos por tecnologias mais eficientes, campanhas de conscientização sobre uso e economia de energia, inserção de fontes renováveis de energia em suas instalações, etc.

Com foco nesse novo cenário o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica de se introduzir um aquecedor solar de água que emprega garrafas PET e outros materiais de fácil acesso, utilizados geralmente em instalações hidráulicas prediais, como tubos e conexões de PVC, numa planta industrial, aquecendo o ar de uma cabine de pintura e uma estufa de secagem.

No capítulo 2 desse trabalho será feita uma breve explanação teórica, na qual serão abordados conceitos importantes relacionados com o assunto, como a energia solar, concentradores, tipos de aquecedores solares com materiais reutilizados já existentes e àqueles que também empregam a garrafa PET em sua construção.

No capítulo 3 são apresentadas características das instalações da indústria e um detalhamento dos componentes de um aquecedor solar com garrafas PET.

Com base nesse aquecedor solar, no capítulo 4, serão expostos os cálculos, que compreendem o número de painéis solares, levantamento de materiais, custo do projeto e o cálculo do retorno financeiro do investimento realizado, o *payback*.

No capítulo 5, serão apresentados os resultados do trabalho, onde será discutida a viabilidade ou não do projeto.

No capítulo 6 é apresentada a bibliografia utilizada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentados conceitos que ajudarão na compreensão das etapas e dos resultados do projeto.

### 2.1 A Energia solar

A energia solar, ou seja, a luz radiante e o calor do sol têm sido utilizados desde os tempos antigos pela civilização com tecnologias bastante variadas (PHILIBERT; CÉDRIC, 2008). Com a crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, aumentou-se a busca por fontes de energias renováveis. A energia solar, por ser teoricamente inesgotável e não poluir o ar atmosférico, tem sido o foco de diversos projetos.

Alguns países do globo como Estados Unidos da América, Alemanha, Índia e Israel começaram o desenvolvimento de sistemas de aproveitamento da energia solar há muitos anos atrás. Em Israel, por exemplo, cerca de 70 por cento das residências possuem sistemas de aquecimento solar (BUZZO, 2011).

No Brasil, embora a geração de energia solar ainda seja pequena, estima-se que a produção gere anualmente cerca de 20 milhões de megawatts-hora de eletricidade, o suficiente para abastecer 15 mil residências de dois cômodos. Ainda é pouco, visto que o nosso país é um dos mais ricos no mundo em incidência de raios solares. Alguns municípios do Nordeste, como Petrolina (PE), Floriano (PI) e Bom Jesus da Lapa (BA), por exemplo, recebem intensidade de luz solar comparável à registrada em Dongola, no Sudão, o ponto do planeta onde o Sol incide com maior potência (RODRIGUES, 2002).

É comprovado experimentalmente que a maior incidência de raios solares durante o ano se dá numa inclinação em relação à horizontal, cujo ângulo é resultante da soma entre a latitude do local mais cinco ou dez graus e o coletor deve ser posicionado para direção Norte, quando o mesmo for montado no hemisfério Sul (CREDER, 1991). Deve-se lembrar que o norte magnético se difere da orientação do norte geográfico e que esta diferença é chamada de declinação magnética, por isso é necessário conhecer a declinação magnética da Terra do local onde o equipamento será instalado, para posicioná-lo corretamente.

## 2.2 Concentradores solares

Na prática, segundo WIEDER (1982), mesmo nas condições ideais de operação, os coletores solares planos não conseguem fornecer água acima de 150°C, e em condições adversas, como no inverno, a temperatura não passa dos 100°C.

Quanto menor a área de transferência de calor com meio externo maior a temperatura da água obtida, porém, quanto menor os coletores solares, menor a área de incidência de radiação solar. Portanto, se a energia solar puder ser concentrada e direcionada para uma pequena área, uma temperatura mais elevada poderá ser obtida.

Os concentradores solares são equipamentos que focalizam a energia solar num ponto ou área específica, fazendo com que o coletor trabalhe em condição otimizada de eficiência térmica. O esquema de funcionamento de um concentrador solar é mostrado na figura 1.

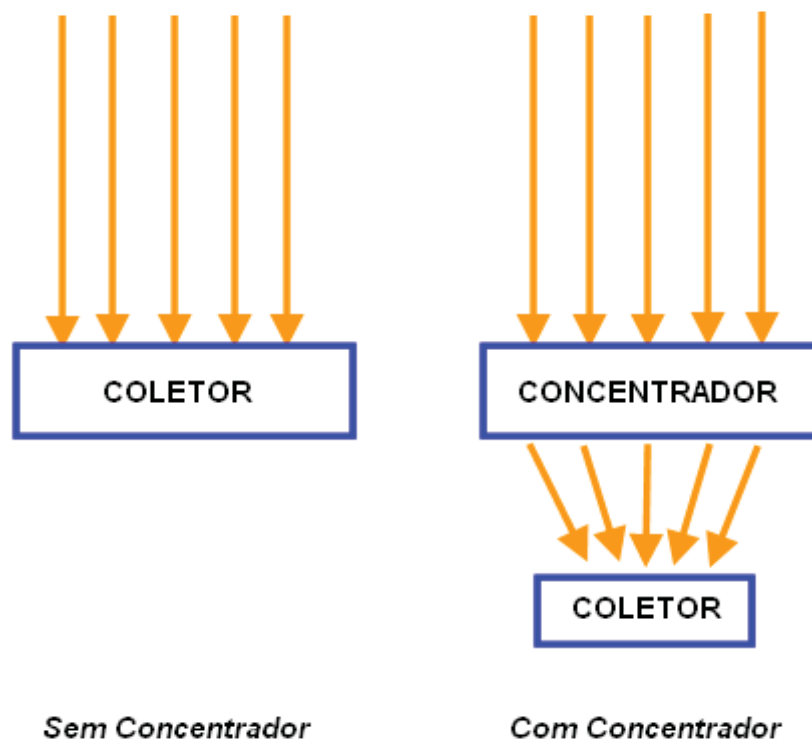


Figura 1 – Funcionamento de um concentrador solar

Esse tipo de equipamento tem sido utilizado desde os tempos antigos. Em 1973 um cientista grego, Dr. Loannis Sakkas, propôs um experimento para comprovar uma famosa estória sobre Arquimedes. Segundo relatos antigos, Arquimedes utilizou várias lentes, focalizando a luz solar nas embarcações romanas na intenção de fazê-las recuar ou ter suas embarcações em chamas. O experimento contou com 60 homens, cada um segurando um



espelho côncavo, e direcionavam a luz solar numa embarcação a 60m de distância. Alguns minutos depois o barco estava em chamas comprovando a possibilidade do feito (AFRICA, 1975).

Hoje em dia a tecnologia dos concentradores solares está focalizada no uso de espelhos e lentes em processos de aquecimento industrial, ar-condicionados e sistemas de termoeletricidade, o qual abordaremos no tópico seguinte.

Segundo SALA (2000), podemos caracterizar os concentradores pelo seu princípio óptico em Refletores, Refratores e Híbridos.

### 2.2.1 Refletores

Neste tipo de concentrador, constituído de materiais refletores como espelhos e chapas polidas, os raios de sol são refletidos para um ponto desejado.

Um exemplo de concentrador refletor é o tipo calha parabólica. Esse concentrador, mostrado da figura 2, tem a vantagem de facilitar a montagem de tubulação de fluído a ser aquecido, porém, um bom sistema de direcionamento do equipamento em relação aos raios solares é necessário.



Figura 2 –Concentrador solar tipo cilindro parabólico (<http://anometsolar.com>)

Um outro exemplo de concentrador refletor é o tipo disco parabólico, como mostrado na figura 3.

O uso desse concentrador se torna vantajoso quando se deseja converter a energia solar diretamente em energia elétrica. As células fotovoltaicas ainda são equipamentos caros, por esse motivo, com o uso de um concentrador tipo disco parabólico, podemos reduzir a quantidade desses equipamentos.



Figura 3 –Concentrador solar tipo redondo parabólico (<http://www.srpnet.com>)

### 2.2.2 Refratores

Nesses concentradores, os raios de sol são refratados para o coletor, através de uma lente.

O concentrador de lente Fresnel é o mais conhecido desse tipo e é utilizado não somente na geração de energia, mas também em estufas de plantas.

As lentes Fresnel se assemelham às lentes convergentes comuns em sua função, já que ambas focalizam os raios de sol em um local específico, porém, o que as torna diferente é sua construção.

Geralmente, elas são compostas de uma face plana, que fica exposta aos raios solares, e uma face composta por milhares de faces inclinadas como mostra a figura 4 (W.B. STINE, 2011).

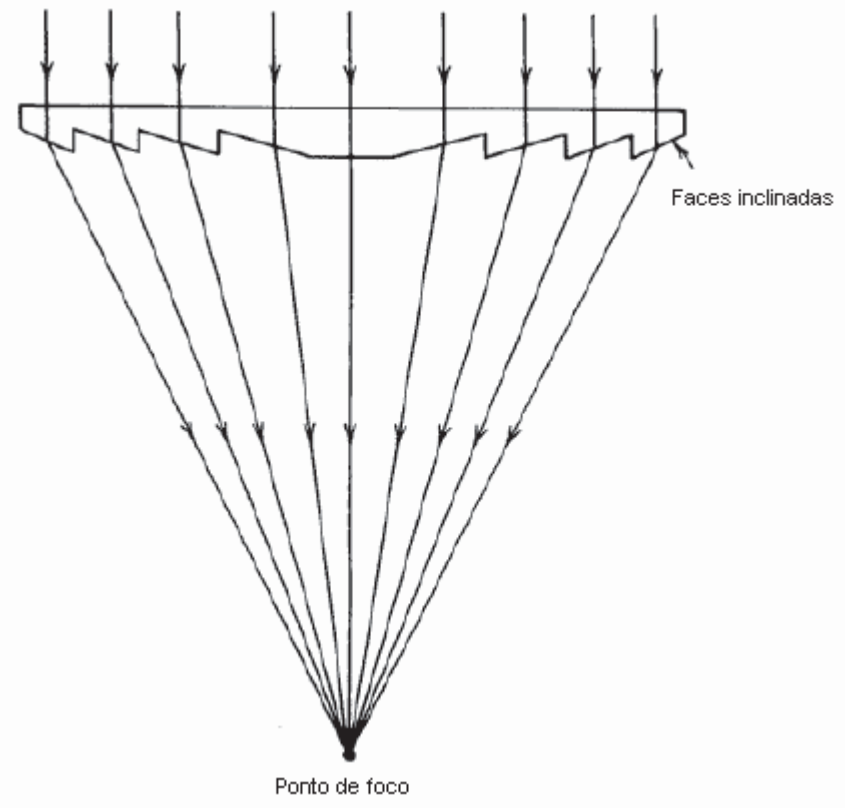


Figura 4 –Concentrador de lentes Fresnel (W.B. STINE, 2011).

A vantagem dessa lente está na economia de material em relação a uma lente comum e na possibilidade de ter os raios solares focalizados num ponto ou numa linha, dependendo da sua construção, porém, possui a desvantagem de ser muito difícil de ser manufaturado. Uma boa lente pode agrupar até 100 faces por milímetro quadrado (SALA, 2000).

### 2.2.3 Híbridos

Em um concentrador híbrido os raios solares podem ser refratados e refletidos antes de atingir o coletor ou a célula fotovoltaica.

Um tipo de concentrador híbrido é o Concentrador Dielétrico Totalmente Reflexivo (CDTR) cujo primeiro conceito foi apresentado por NING em 1987. Essa classe de concentrador tem a capacidade de atingir concentrações próximas dos limites máximos teóricos.

Um CDTR é composto de três partes, uma superfície curva frontal, um perfil lateral internamente reflexivo e uma abertura de saída, como mostrado na figura 5.

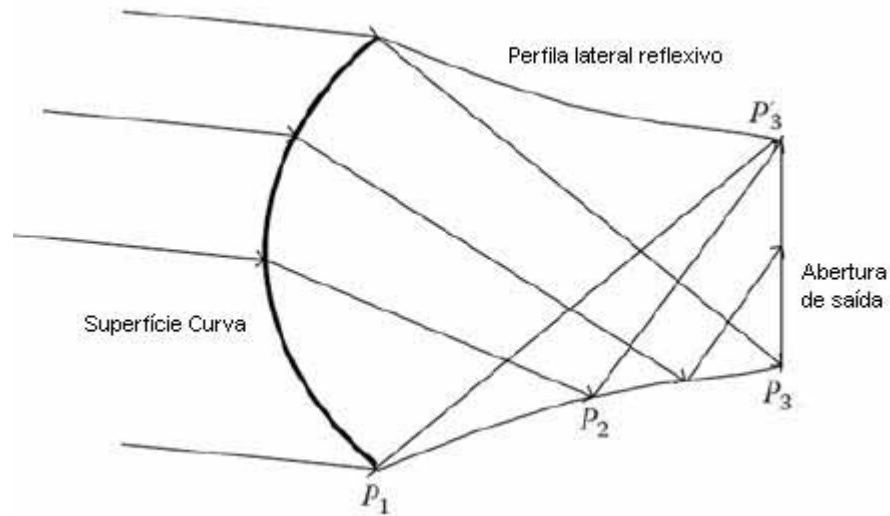


Figura 5 – Concentrador dielétrico totalmente reflexivo (NING, 1987).

Quando os raios solares incidem sobre superfície curva, são refratados e direcionados para os perfis laterais onde são totalmente refletidos laterais até a abertura de saída.

A vantagem desse concentrador a grande concentração devido a sua geometria, porém, estudos mostram que ele não pode transferir eficientemente toda a energia que coleta (PISZCZOR, 2000).

Com o uso de concentradores a temperatura alcançada no aquecimento de um fluido pode ser muito superior, porém, o foco das pesquisas ao redor do mundo está no uso desses equipamentos para reduzir o número de células fotovoltaicas em usinas de energia solar. Com isso o custo da energia elétrica produzida seria reduzido.

Apesar de ampliarem a eficiência dos painéis solares, os concentradores solares possuem um ponto negativo que inviabiliza em alguns projetos. O concentrador pode funcionar somente quando orientado diretamente para o fluxo solar. Conseqüentemente, algum tipo de dispositivo de detecção do fluxo luminoso deve ser instalado. Portanto, os concentradores solares são geralmente utilizados quando maiores temperaturas são requeridas, de modo a compensar o investimento em sistemas de direcionamento do painel (WIEDER, 1982).

## 2.3 Sistema Solar-Térmico

Os sistemas solares-térmicos coletam a energia térmica em forma de radiação solar e a transferem para objeto ou fluido, aquecendo-o. Podemos dividir esse tipo de sistema em sistemas de baixa e alta temperatura.

### 2.3.1 Sistemas de baixa temperatura

Os sistemas de baixa temperatura tem por finalidade aquecer água para uso final ou para trocar calor com o ar, aquecendo-o. O ar aquecido é utilizado posteriormente em ambientes de prédios comerciais ou residenciais.

A água aquecida através de energia solar pode ser utilizada também de outras maneiras. Embora o uso permaneça predominantemente residencial, existe também o uso industrial, que pode ser, por exemplo, para pré-aquecer água de caldeiras, ou gerar energia elétrica (MARKEN C., 2009).

Para se aquecer a água, um coletor é instalado, geralmente no telhado ou uma parede com face para o sol, de modo que a água circule enquanto os raios solares incidem sobre o mesmo. A figura 6 exemplifica uma aplicação industrial desse tipo de equipamento, pré-aquecendo a água de circulação de uma caldeira.



Figura 6 – Aquecedor solar industrial (<http://www.solarmundi.com.br>).



O sistema de circulação da água pode ser de dois tipos: natural (termossifão) ou forçada. No primeiro a água escoa por convecção, devido à diferença de densidade entre a água quente e fria. Como a água fria é mais densa, a mesma provoca o deslocamento da água quente, empurrando-a e promovendo a circulação (RODRIGUES, 2005).

No segundo tipo, a circulação é promovida com a utilização de uma bomba hidráulica que força o deslocamento da água.

Segundo a fabricante Soletrol, líder no mercado brasileiro, os aquecedores solares são de simples instalação mesmo em prédios já acabados e possuem um tempo de retorno do investimento de aproximadamente três anos para residências. A figura 7 mostra um esquema desse tipo de aquecedor.

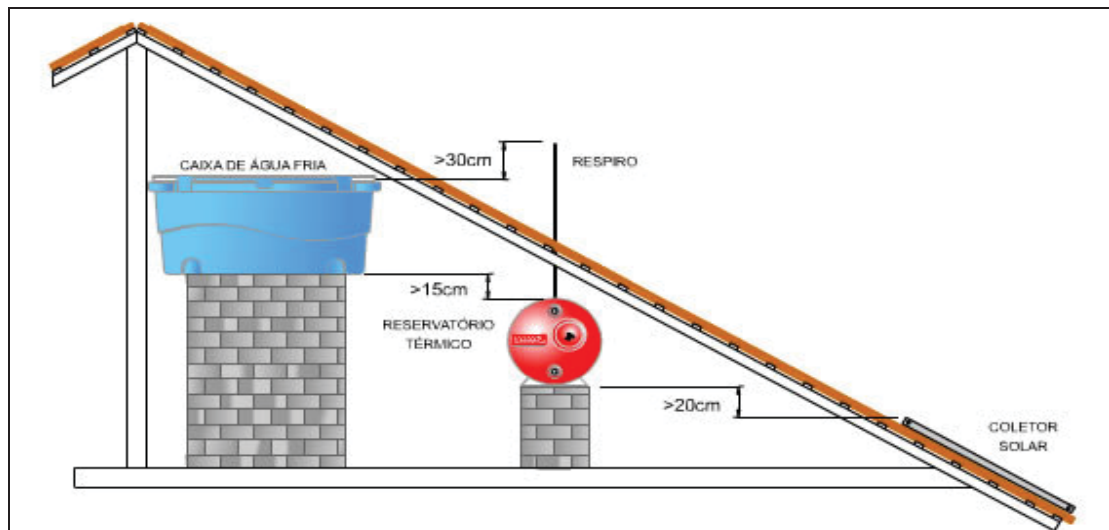


Figura 7 – Esquema de uma instalação de aquecimento solar de água residencial ([www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br)).

### 2.3.2 Sistemas de alta temperatura

Os sistemas de alta temperatura são os que, por exemplo, transformam água em vapor para geração de energia elétrica.

A tecnologia de concentração da energia solar tem a capacidade de armazenar a energia térmica proveniente do sol e utilizá-la em forma de energia elétrica em caso de falta de energia ou horário de pico.

Segundo MUKUND (2006), essa tecnologia promete fornecer eletricidade em larga escala e a preços acessíveis.

A figura 8 mostra um esquema de como funciona um sistema solar- térmico de grande porte.

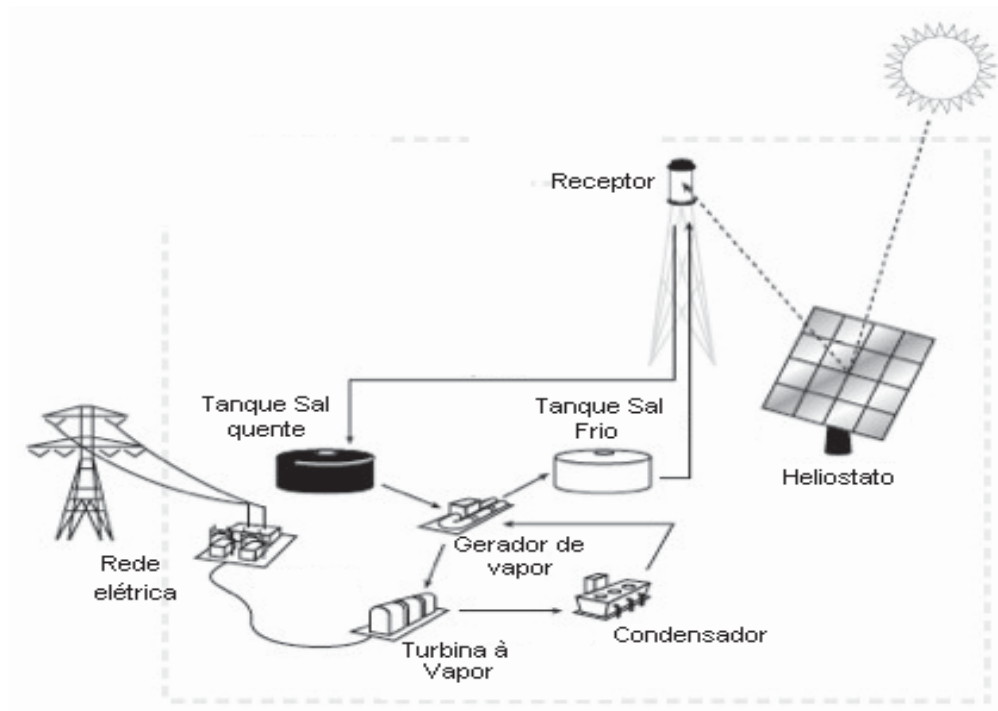


Figura 8 – Sistema solar-térmico de alta temperatura

No esquema, a energia solar é coletada por milhares de espelhos que são direcionados automaticamente de acordo com a posição do sol, chamados Heliostatos, que os raios solares para um único receptor que está situado no topo da torre. Esta enorme quantidade de energia focalizada no receptor é utilizada para derreter um sal a alta temperatura. Este sal derretido é armazenado num tanque sendo utilizado para gerar vapor e movimentar uma turbina de geração de energia elétrica em caso de necessidade.

Após a geração de vapor, o sal é bombeado para o tanque de sal a baixa temperatura, de onde será bombeado novamente para o receptor onde um novo ciclo de aquecimento e geração de vapor se poderá ser iniciado.

A máxima eficiência que teoricamente pode ser alcançada por esse ciclo é alcançada através da eficiência de um ciclo de Carnot, onde a temperatura do lado quente é indicada por  $T_{\text{Quente}}$  e a temperatura do lado frio por  $T_{\text{Frio}}$ .

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_{\text{quente}} - T_{\text{frio}}}{T_{\text{quente}}}$$

Analisando a equação da eficiência nota-se que quanto mais alta a temperatura do lado quente e mais baixa a temperatura do lado frio melhor a eficiência, ou seja, maior a geração de energia da planta.

O grande benefício desse sistema é que o mesmo é capaz de manter a energia térmica por varias horas com poucas perdas de desempenho. Além disso, comparado com sistemas fotovoltaicos, este sistema é em mais econômico e eficiente, devido ao fato de eliminar as caras células fotovoltaicas e conversores de corrente continua para alternada. Entretanto seu uso fica limitado a grandes instalações (MUKUND, 2006).

## 2.5 Aquecedor solar com materiais reutilizados

Para popularizar, promover melhoria da qualidade de vida e mostrar à sociedade a funcionalidade dos aquecedores solares foram desenvolvidos aquecedores solares que utilizam materiais reutilizados como garrafas PET, caixas de leite longa vida, papel amassado para isolamento, etc.

Em 1996 foi publicado pelo departamento de física e o centro de energias renováveis da Universidade de Dhaka, em Bangladesh, o artigo Projeto e Fabricação de Aquecedores de Água de Baixo Custo.

Foi desenvolvido um aquecedor com capacidade de elevar a temperatura de 10 l de água em 18°C acima da temperatura ambiente (HUSSAIN, 1996). Um esquema do aquecedor é mostrado na figura 9.

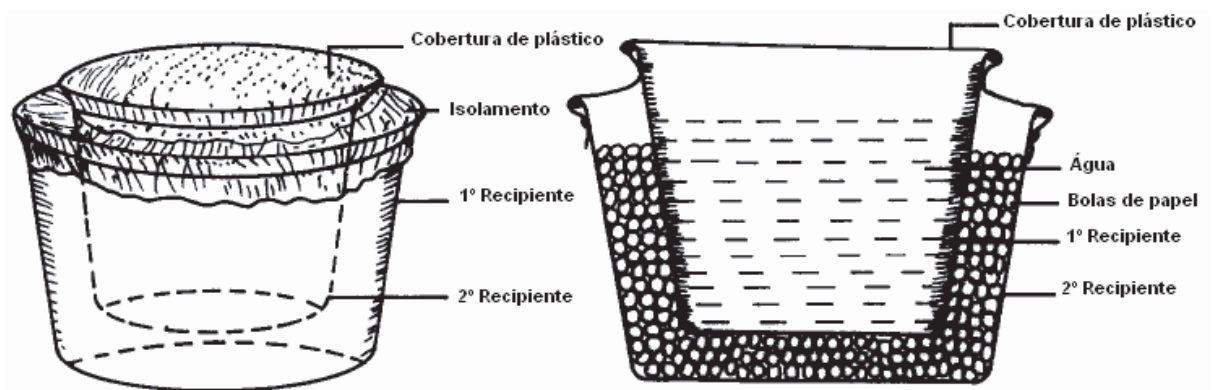


Figura 9 – Aquecedor solar de baixo custo (HUSSAIN, 1996).



A água é armazenada no recipiente interno, que está inserido dentro de um outro recipiente. O espaço entre os dois é preenchido com bolas de papel amassado que funciona como isolante térmico. Sobre os recipientes foi colocada uma cobertura de plástico transparente.

O ponto positivo desse projeto foi o custo de apenas sete reais (4,5 Dólares), porém, a geração de apenas dez litros de água quente e a ausência de tubulação de abastecimento, torna o projeto apenas praticável para mostrar que a energia solar pode ser utilizada em projetos de baixíssimo custo.

Outro projeto, desenvolvido por NIEUWOUDT (2004), visava levar água quente a comunidades do sul da África onde nem mesmo instalações hidráulicas são disponíveis. O projeto teve como foco o aquecimento solar de água de modo que pudesse ser utilizada em qualquer lugar.

Para tal, foi desenvolvido um protótipo de armazenador e aquecedor portátil, como mostrado na figura 10.



Figura 10 – Aquecedor solar móvel (NIEUWOUDT, 2004).

A água aquecida pelo sistema chegou próximo a 60 °C, o que é suficiente para destruir bactérias como a da cólera em apenas uma hora.

Com o surgimento, em 2001, de uma organização não governamental voltada para desenvolver e difundir o conhecimento sobre a fabricação de aquecedores solares de baixo custo, a Sociedade do Sol, foi publicado, pela primeira vez, um modelo de aquecedor solar de baixo custo no Brasil. O aquecedor desenvolvido, além de empregar materiais de baixo custo e fácil acesso, é facilmente adaptável às instalações hidráulicas já finalizadas. Devido a essa

facilidade, estima-se que já existam centenas de aquecedores solares de baixo custo nos municípios brasileiros (SOCIEDADE DO SOL, 2011).

No Centro de Energias Renováveis, na Unesp de Guaratinguetá, foi desenvolvido um aquecedor solar de água que supre a demanda diária de água quente de uma família de quatro pessoas (SANTOS, 2009).

O aquecedor, mostrado na figura 11, foi confeccionado com uso de garrafas PET e tubos PVC e tem o custo estimado em R\$ 250,00.



Figura 11 – Coletor solar de garrafa PET do Centro de Energias Renováveis da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (SANTOS, 2009).

### 3 EXPERIMENTO

#### 3.1 O aquecedor solar

O aquecedor solar do Centro de Energias Renováveis da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, mostrado na figura 11, já foi exaustivamente estudado e por isso foi utilizado como base no projeto em questão. O aparato é capaz de fornecer cerca de 30 ml de água quente, a 60 °C por segundo, utilizando-se o painel solar composto pelos seguintes componentes e que está esquematizado pela figura 12 (SANTOS, 2009).

- 36 tubos de PVC de 1/2 polegada com 2,0 metros de comprimento cada;
- 36 tubos de PVC de 1/2 polegada com 0,08 metros de comprimento;
- 72 conexões “T” de 1/2 polegada e liso;
- Uma curva de 90°, 1/2 polegada e liso;
- 216 garrafas PET incolores de dois litros;
- Tinta preta fosco;
- Silicone para vedação;
- Cola para PVC;

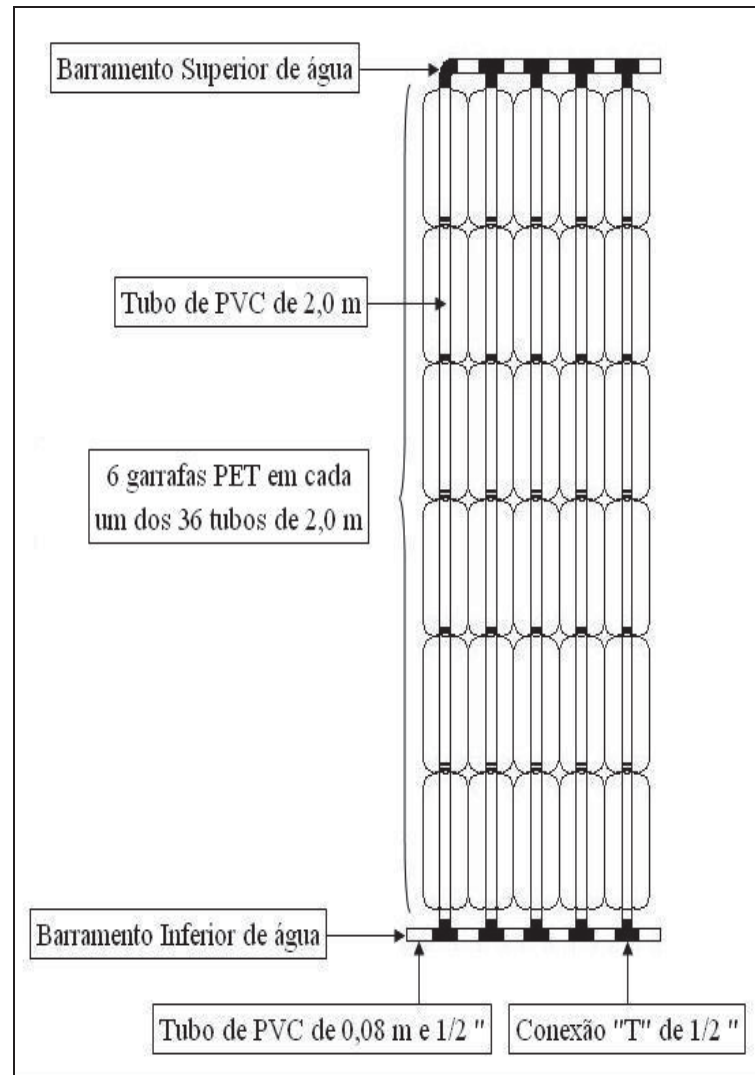


Figura 12 – Desenho esquemático do coletor solar (SANTOS, 2009).

### 3.2 Características de aplicação do estudo

O estudo de caso deste trabalho se baseia na introdução de um aquecedor solar de água, cujo coletor é composto de tubos de PVC e garrafas PET, para aquecer o ar de entrada numa cabine e uma estufa de pintura.

Atualmente energia elétrica é utilizada para aquecer o ar da estufa e da cabine de pintura desta indústria, como mostra o esquema na figura 13.

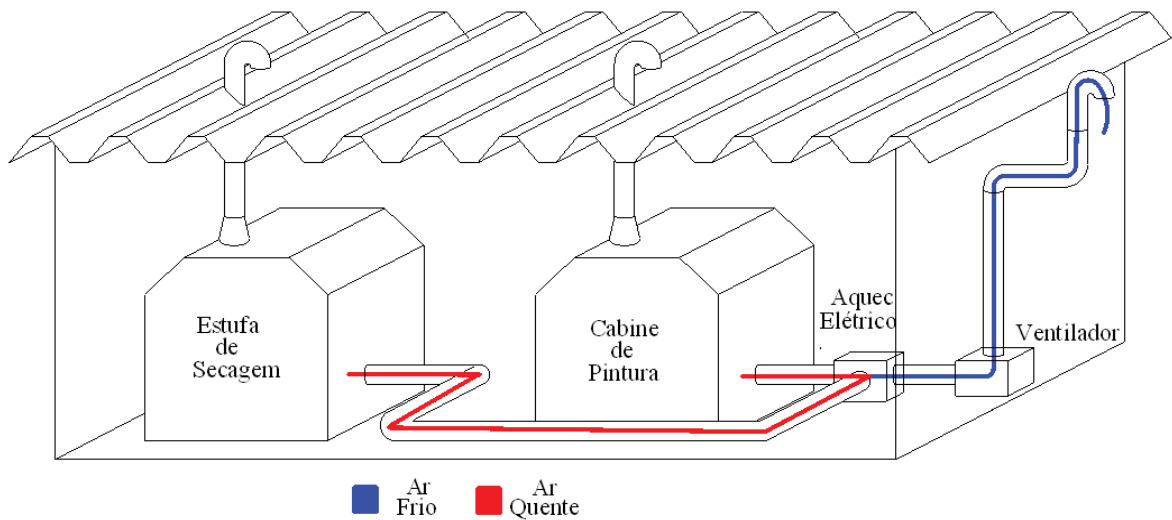


Figura 13 – Configuração atual da instalação da indústria.

Na figura 13, ar frio é aspirado pelo ventilador e em seguida é aquecido através de um aquecedor elétrico e insuflado na cabine de pintura e na estufa de secagem.

Com a instalação dos painéis solares, a instalação ficará como mostrado na figura 14.

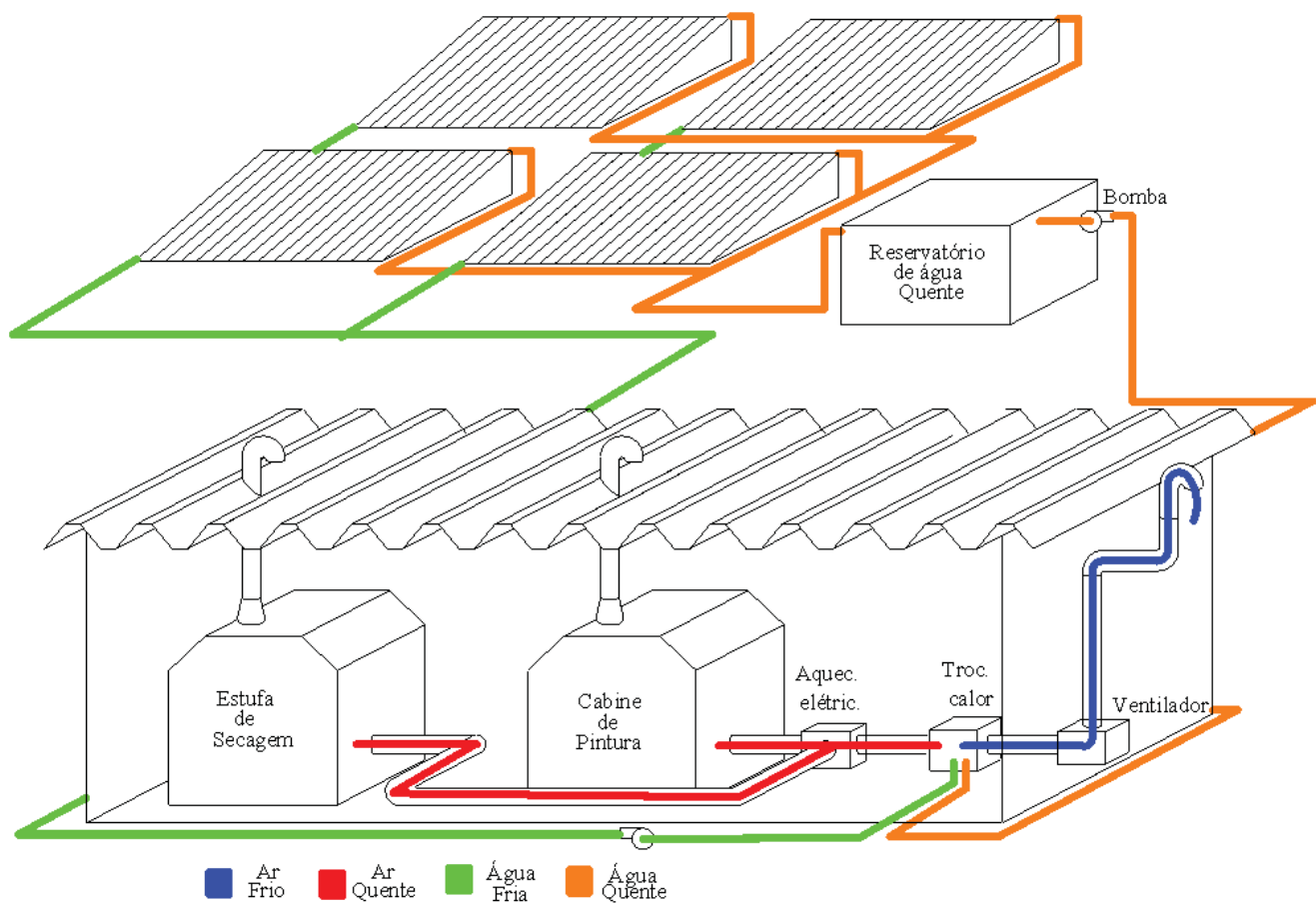


Figura 14 – Configuração da instalação com aquecedor solar.

Nesta nova configuração, a água quente aquecida pelo coletor solar é bombeada para o trocador de calor, onde ocorre a troca térmica com o ar insuflado pelo ventilador. O sistema de aquecimento elétrico só entra em operação quando a água quente não é capaz de fornecer calor suficiente para aquecer o ar à temperatura requerida. Isto pode ocorrer em dias nublados, chuvosos ou quando um serviço de manutenção dos painéis ou da instalação hidráulica for necessário. O Número de painéis solares necessários será calculado na seção 3.3

Além das características físicas, foram obtidas também, as características de consumo para que assim os cálculos pudessem ser realizados.

Características da cabine de pintura:

- Fabricante: DURR do Brasil S/A MOTORES ELÉTRICOS;
- Marca do ventilador central: WEG MOD. 160L 1087;
- 60 Hz;
- 380/660 V;
- Categoria B A-24/14 FS 1,15.

Outras características:

- Marca do ventilador central: Zauli;
- Tipo: AT 32/1050-K-606;
- Vazão: 45000m<sup>3</sup>/h;
- Temperatura de insuflamento: 50°C
- Pressão: 45mmca;
- Rotação 1170rpm.

Lado direito (parede)

- Marca DURR n° Ordem 7736;
- Rotor tipo EV 05;
- Rotação 1740 rpm;
- Potência do motor: 15HP;
- Vazão 22500m<sup>3</sup>/h;

- Temperatura de insuflamento: 50°C
- Pressão: 100 mmca.

Lado esquerdo (painéis)

- Marca DURR n° Ordem 7736;
- Rotor tipo EV 05;
- Rotação 1740 rpm;
- Potência do motor: 15HP;
- Vazão 22500m<sup>3</sup>/h;
- Temperatura de insuflamento: 50°C
- Pressão: 100 mmca.

Motor dos exautores

- Marca WEG MOD 132M986
- Rotação 1740 rpm;
- Potência: 15cv.

### **3.3 Cálculos do número de coletores solares**

Para determinarmos a quantidade de coletores necessários para suprir a demanda de água quente da indústria será utiliza-se a Primeira Lei da Termodinâmica. Para tal, será aplicado um volume de controle no trocador de calor conforme figura 15.

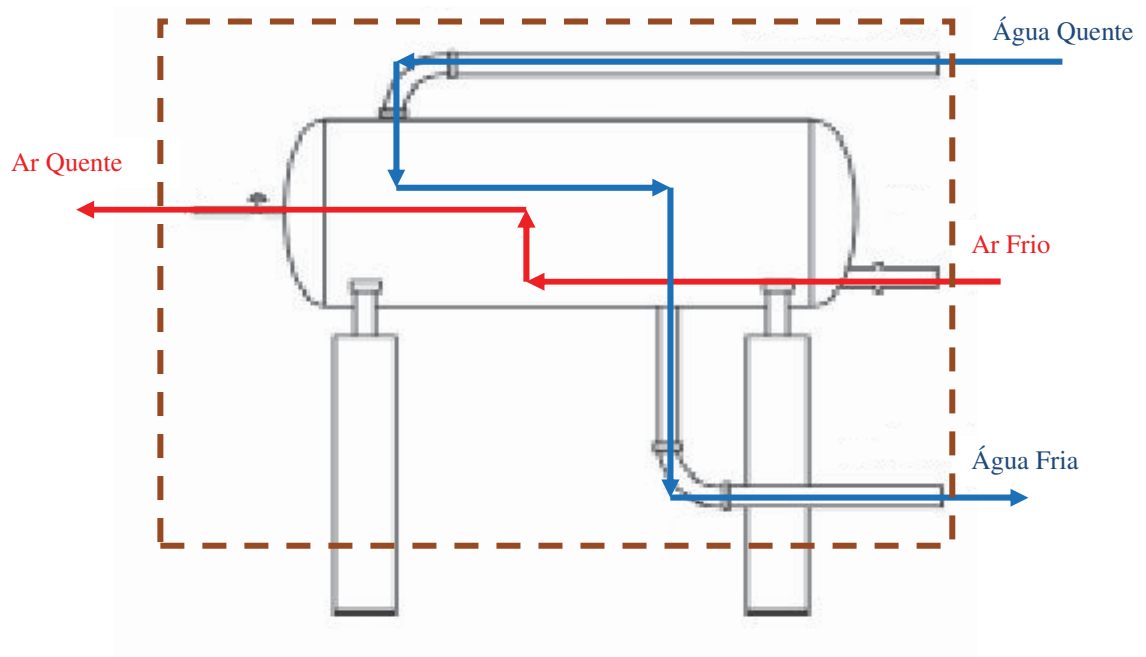


Figura 15: Volume de controle no trocador de calor.

1ª Lei da Termodinâmica da Termodinâmica (VAN WYLEN, 2003):

$$Q_{V.C} + \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{1}{2} V_e^2 + gZ_e \right) = W_{V.C} + \sum \dot{m}_s \left( h_s + \frac{1}{2} V_s^2 + gZ_s \right) \quad (1)$$

Onde os índices  $e$  e  $s$  são entrada e saída, respectivamente, e os demais são:

- $V.C$  : Volume de Controle;
- $W$  : Trabalho realizado;
- $\dot{Q}$  : Fluxo de Calor;
- $\dot{m}$  : Vazão de entrada;
- $h$  : Entalpia;
- $V$  : Velocidade;
- $g$  : Gravidade;
- $Z$  : Altura.



Para o caso em estudo algumas considerações podem ser feitas de modo a simplificar a equação. Elas são:

- O sistema não realiza trabalho;
- O sistema é adiabático;
- Desprezam-se variações de energia potencial.

Com isso, a equação fica reduzida em:

$$\sum \dot{m}_e h_e = \sum \dot{m}_s h_s \quad (2)$$

Substituindo os valores encontra-se:

$$\dot{m}_{e,ar} h_{e,ar} + \dot{m}_{e,\acute{a}gua} h_{e,\acute{a}gua} = \dot{m}_{s,ar} h_{s,ar} + \dot{m}_{s,\acute{a}gua} h_{s,\acute{a}gua} \quad (3)$$

Equação da continuidade (VAN WYLEN, 2003):

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s \quad (4)$$

Ou seja:

$$\dot{m}_{e,ar} = \dot{m}_{s,ar} \text{ e } \dot{m}_{e,\acute{a}gua} = \dot{m}_{s,\acute{a}gua} \quad (5)$$

Logo:

$$\dot{m}_{ar} h_{e,ar} + \dot{m}_{\acute{a}gua} h_{e,\acute{a}gua} = \dot{m}_{ar} h_{s,ar} + \dot{m}_{\acute{a}gua} h_{s,\acute{a}gua} \quad (6)$$

Agrupando os termos:

$$\dot{m}_{ar}(h_{e,ar} - h_{s,ar}) = \dot{m}_{\acute{a}gua}(h_{s,\acute{a}gua} - h_{e,\acute{a}gua}) \quad (7)$$

A somatória das vazões de ar é:

$$\dot{m}_{ar} = 45000 + 22500 + 22500 = 90000 \frac{m^3}{h}$$

Para os cálculos, as unidades de vazão ser convertidas para  $\frac{m^3}{s}$ , então, para massa específica do ar ( $\rho_{ar}$ ) à temperatura de 35°C (média entre a temperatura ambiente, 20°C e a de insuflamento na cabine, 50°C) igual a  $1,11 \frac{Kg}{m^3}$  tem-se:

$$\frac{90000 \frac{m^3}{h} \times 1,11 \frac{Kg}{m^3}}{3600 \frac{s}{h}} = 27,5 \frac{Kg}{s}$$

Como (VAN WYLEN, 2003):

$$\dot{m}(h_e - h_s) = \dot{m} C_p (T_e - T_s) \quad (8)$$

Onde:

- $C_p$  : Calor Específico;
- $T$  : Temperatura.

Temos:

$$\dot{m}_{ar} C_{p,ar} (T_{e,ar} - T_{s,ar}) = \dot{m}_{\acute{a}gua} C_{p,\acute{a}gua} (T_{s,\acute{a}gua} - T_{e,\acute{a}gua}) \quad (9)$$

Substituindo valores na equação (10):

$$27,5 \times 1,0035(20 - 50) = \dot{m}_{\text{água}} 4,18 \times (20 - 60) \quad (10)$$

Logo:

$$\dot{m}_{\text{água}} = 4,95 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Onde:

- l: litros.

Com a vazão de água quente pode-se calcular o número de coletores solares necessários através de uma simples proporção linear.

Como a unidade descrita no item 3.1 é capaz de fornecer 10 ml por segundo, então serão necessários 501 painéis.

Cada painel tem 2,0m comprimento por 3,6 m de largura, ou seja, uma área de 7,2m<sup>2</sup>. Então, para o caso, deverá ser disponibilizada uma área de aproximadamente 3600m<sup>2</sup> para instalação dos painéis.

A lista de materiais necessários para a confecção desse aquecedor é:

- 18036 tubos de PVC de 1/2 polegada com 2,0 metros de comprimento cada;
- 18036 tubos de PVC de 1/2 polegada com 0,08 metros de comprimento;
- 36072 conexões “T” de 1/2 polegada e liso;
- 501 curvas de 90°, 1/2 polegada e liso;
- 108216 garrafas PET incolores de dois litros;
- Tinta preta fosco;
- Silicone para vedação;
- Cola para PVC;

## 4 RESULTADOS

Foi realizado um levantamento dos custos para a implantação do sistema, cujos dados estão apresentados na Tabela 1

Tabela 1 – Levantamento de custos do projeto.

<b>Orçamento</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Subtotal</b>
Tubo 1/2"	6255	R\$ 6,86	R\$ 42.909,30
TES 1/2"	36072	R\$ 0,40	R\$ 14.428,80
Curva 90 1/2"	501	R\$ 0,40	R\$ 200,40
Garrafas PET	108216	R\$ 0,01	R\$ 1.082,16
Tinta preta fosco	10	R\$ 50,00	R\$ 500,00
Silicone	10	R\$ 15,98	R\$ 159,80
Cola PVC	15	R\$ 25,33	R\$ 379,95
Instalação	1	R\$ 44.000,00	R\$ 44.000,00
Instrumentação	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
Caixa d'água	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Trocador de calor	1	R\$ 45.000,00	R\$ 45.000,00
		<b>Total</b>	R\$ 203.660,41

Para análise econômica do projeto, objetivo deste trabalho, precisa-se além do levantamento de custo, fornecidas na Tabela 1, informações pertinentes ao uso da cabine e estufa de pintura.

Os dados da tabela 2 foram coletados para o cálculo do payback.

Tabela 2 – Dados para cálculo do *payback*.

<b>Dados para cálculo do <i>payback</i></b>	
<b>Descrição</b>	<b>Subtotal</b>
Número de horas trabalhadas utilizando equipamento solar	5000h
Demanda máxima de energia (medida) da cabine e Estufa	210KW
Fator de utilização da demanda Máxima (estimado)	0,5
Custo do kWh	R\$0,25
Custo estimado do investimento (projeto + montagem)	R\$203.600,41

Com os dados coletados e os cálculos realizados é possível, por fim, realizar o estudo de retorno financeiro.

Energia que não será consumida:  $5000h \times 210kW \times 0,5 = 525.000kWh/ano$

Economia no período:  $525.000 kWh/ano \times R\$0,25 = R\$131.250,00$

$$Payback: \frac{203.600,41}{131.250,00} = 1,55 \text{ anos}$$

## 5 CONCLUSÕES

Analisando as pesquisas apresentadas e o retorno financeiro de um ano e meio poderia-se concluir que o projeto é viável. Alguns aspectos adicionais poderiam ter sido abordados na decisão sobre a viabilidade.

Numa análise econômica mais detalhada, pode-se notar que neste estudo de retorno financeiro não foi incorporado o custo de oportunidade.

A área disponibilizada pela empresa para construção dos coletores solares ficará indisponível para seu uso, ou seja, a empresa perde a oportunidade de utilizar aquela área para outros fins como, por exemplo, aumento das instalações prediais ou aluguel da área para alguma empresa prestadora de serviço.

De modo geral, os aquecedores solares feitos com materiais como tubos PVC e Garrafas PET tem a água quente movimentada através da circulação natural (item 2.3.1). Porém, como no caso em questão, trata-se de uma instalação com dimensões ampliadas, reservatórios intermediários poderiam ser utilizados para acumular a água quente que então seria bombeada para o reservatório principal, para ser utilizada no trocador de calor.

Um fator que deve ser levado em consideração na decisão de se aprovar o projeto é a questão ambiental.

A sustentabilidade, assunto que hoje em dia é foco de diversas discussões, é um fator que deve ser levado em conta em qualquer decisão empresarial. Seja qual for o projeto, saber se o mesmo respeita o meio ambiente e gere uma demanda sustentável é tão relevante quanto a análise econômica. Por isso, apostando no pioneirismo da solução apresentada, além de investir num projeto de cunho ecológico, a empresa estaria se posicionando entre as empresas que investem em projetos sustentáveis. O investimento nesse projeto pode não somente ser um fator de redução de consumo de energia elétrica, mas um grande marketing a nível nacional e internacional, tendo em vista o tamanho do projeto e a visibilidade do mesmo.

Em conclusão dos assuntos expostos, o projeto se mostra atrativo tanto no ponto de vista econômico, quanto no ponto de vista da sustentabilidade e do marketing atribuído a este assunto.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALL about solar reflective absorbant collectors Disponível em: <<http://anometsolar.com>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

AFRICA, T.W. **Archimedes through the Looking Glass** Classical Association of the Atlantic States, p. 305, 1975

AQUECEDOR solar de água Aquecedores Solares Disponível em: <<http://www.solarmundi.com.br>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

AQUECEDOR solar de água Soletrol Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

BUZZO, D. **Uso de coletores solares para geração de frio**. 2011. 81f. Trabalho de Graduação em engenharia mecânica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

CREDER, Hélio. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991. 465p.

HUSSAIN, M.. **Design and fabrication of low cost solar water heaters**. 1996. - University Of Dhaka, Dhaka, Bangladesh, 1996.

MARKEN, C. Solar collectors - behind the glass. **Homepower Magazine**, p.70-76 - 2009.

MUKUND, R. P.. **Wind and solar power systems :design, analysis, and operation**. Taylor & Francis, 2006. 448 p.

NIEUWOUDT, M.n.; MATHEWS, E.h.. **A mobile solar water heater for rural housing in Southern Africa**. 2004 - Crced-pretoria, North West University, África do Sul, 2004.

NING, X.; WINSTON, R.; O’GALLAGHER, J. **Dielectric Totally Internally Reflecting Concentrators**. 1987. 305 f.

PHILIBERT; CÉDRIC. **The Present and Future use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy**. International Energy Agency. 2008. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/papers/2005/solarthermal.pdf>. Acesso em 10/10/2011.

PISZCZOR, M. F.; MACOSKO, R.p.. **A High-Efficiency Refractive Secondary Solar Concentrator for High Temperature Solar Thermal Applications**. Memorando técnico NASA, EUA, 2000.

RODRIGUES, S. G. **Energia Solar**. 8.ed. São Carlos: Revista Eletrônica de Ciências. Jun-2002. Disponível em <[http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art\\_08/energiasolar.html](http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_08/energiasolar.html)>. Acesso em: 10/10/2011.

SALA, G. ; PACHÓN, D.; ANTÓN, I. **Classification of PV Concentrators, Test, Rating, and Specification of PV Concentrator Components and Systems, C** , (2000). Disponível em <http://www.ies-def.upm.es/ies/CRATING/crating.htm> (Acesso em 20/11/2011).

SANTOS, A. P. P. **Eficiência térmica de aquecedores solares confeccionados com garrafas PET incolores para uma família de quatro pessoas.** 2009. 37 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

SOCIEDADE do sol Disponível em: <<http://www.sociedadedosol.org.br>>. Acesso em: 01 dez. 2011.

SRP: Salt River Project power and water Disponível em: <<http://www.srpnet.com>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

STINE, W.b.; GEYER, M.. **Power from the sun.** Disponível em: <<http://www.powerfromthesun.net>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

VAN WYLEN, Gordon J. et al. **Fundamentos da Termodinâmica.** São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 577p.

WIEDER, S.**An introduction to solar energy for scientists and engineers.** Malabar : Krieger, 1982 xii, 301 p. : il.