

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise energética do  
Hospital Estadual Vila Alpina (HEVA)

São Paulo  
11 de Dezembro de 2006

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise energética do  
Hospital Estadual Vila Alpina (HEVA)

Relatório do trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Graduação em Engenharia

Autor: André Simões Costa.

Orientador: Prof. Dr. Silvio de Oliveira Junior.

São Paulo  
11 de Dezembro de 2006

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Costa, André Simões**  
**Análise energética do Hospital Estadual Vila Alpina / A.S.**  
**Costa. -- São Paulo, 2006.**  
**47 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade**  
**de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Consumo de energia elétrica 2.Ar condicionado 3.Aqueci-**  
**mento de água I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.**  
**Departamento de Engenharia Mecânica II.t.**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de tentar expor com algumas palavras, que não serão suficientes, minha enorme gratidão a algumas pessoas nesse trabalho de conclusão de curso.

Ao Professor Dr. Sílvio de Oliveira Júnior, que com bastante paciência e boa vontade me orientou e me apoiou na confecção desse trabalho desde seu início até o final.

À minha Mãe, que me criou muito bem desde minha infância pensando em meu futuro, sempre me incentivando nos estudos e acreditando na minha capacidade.

Ao meu Pai, que graças ao seu ensino me ajudou a despertar o interesse pela Engenharia Mecânica que aqui concluo.

À minha Irmã, que sempre esteve presente me guiando, protegendo e fazendo um papel importante na minha vida.

À minha Namorada Simone, que esteve sempre presente entre alegrias e tristezas, me ensinando cada dia mais e me estimulando em busca do melhor em tudo.

Ao meu Amigo Rodrigo Cazelato Papetti, que durante toda minha vida escolar, pessoal e profissional esteve me apoiando e me ensinando.

Ao Thomas David Serafini de Oliveira, Amigo que conheci na faculdade que, embora distante por dois anos, sempre esteve presente em todos os momentos.

Aos colaboradores do Hospital Vila Alpina, em especial ao engenheiro Paulo Inocêncio e ao tecnólogo Geraldo Vital da Silva Nascimento que estiveram sempre à disposição ao longo do projeto.

A todos os meus amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para a construção desses escritos.

## **RESUMO**

Em um local grande e dinâmico como um hospital, no qual as atividades são constantes e intensas 24 horas por dia, as quantidades de energia elétrica e térmica gastas são muito grandes. É fácil perceber que qualquer redução no percentual da quantidade de energia gasta representa uma significativa economia financeira e, administrando bem os recursos, outros investimentos poderão ser realizados para o atendimento no centro médico hospitalar.

O que se propõe aqui é ser estudado o sistema de auxílio de aquecimento de água que alimenta o Hospital Estadual Vila Alpina, obra do Seconci-SP, além de analisar o uso de energia elétrica do próprio hospital identificando uma alternativa de melhoria. Para tanto, será necessário coletar alguns dados do sistema completo de aquecimento de água, tanto dos coletores solares quanto da caldeira do hospital, a fim de estudar o consumo de energia térmica. Quanto ao consumo de energia elétrica, haverá um estudo da utilização dessa energia por parte do ar-condicionado frente ao total utilizado pelo hospital. Assim, determinaremos a gama de energia poupada, a quantidade de gás natural que está sendo economizada e finalmente a economia em termos financeiros gerada.

## **ABSTRACT**

In a dynamic and great place like a hospital, in which the activities are constant and intense 24 hours a day, the amounts of electric and thermal energy spent are very great. It is easy to pretend that any reduction in the percentage of the amount of energy spent represents a significant financial economy and, managing well the resources, other investments could be done for the attendance in the hospital medical center.

What it is considered here is verify the system of auxiliary water heating that feeds the Hospital Estadual Vila Alpina, built by the Seconci-SP, beyond analyzing the use of electric energy of the hospital identifying an improvement point. For in such a way, it will be necessary to collect some data of the complete system of water heating, as much of the solar collectors how much of the boiler of the hospital, in order to analyze the consumption of thermal energy. About the consumption of electric energy, it will have a study of the use of this energy on the part of the air-conditioning comparing to the total used for the hospital. Thus, we will determine the quantity of energy saved, the amount of natural gas that is being saved and finally the economy in financial terms generated.

## SUMÁRIO

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 1. LINHAS GERAIS.....                               | 7  |
| 1.1. INTRODUÇÃO .....                               | 7  |
| 1.2. OBJETIVO.....                                  | 7  |
| 1.3. MÉTODO E ANÁLISE .....                         | 8  |
| 2. A ENERGIA SOLAR .....                            | 9  |
| 2.1. O QUE É A ENERGIA SOLAR.....                   | 9  |
| 2.2. RADIAÇÃO SOLAR.....                            | 9  |
| 2.3. CAPTAÇÃO SOLAR .....                           | 11 |
| 2.3.1. Formas de captação solar .....               | 11 |
| 2.3.2. Conversão térmica e coletores solares .....  | 11 |
| 2.3.3. Aparelhos de medição solar .....             | 13 |
| 3. ENERGIA ELÉTRICA.....                            | 16 |
| 3.1. USO E RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ..... | 16 |
| 3.2. ENERGIA ELÉTRICA E MOTORES À GÁS NATURAL ..... | 18 |
| 3.3. COGERAÇÃO .....                                | 19 |
| 3.3.1. O processo de cogeração.....                 | 19 |
| 3.3.2. A refrigeração por absorção .....            | 21 |
| 3.3.3. O ciclo de absorção .....                    | 22 |
| 4. O HOSPITAL VILA ALPINA .....                     | 25 |
| 4.1. SECONCI-SP .....                               | 25 |
| 4.2. O HOSPITAL ESTADUAL VILA ALPINA .....          | 25 |
| 4.3. O EQUIPAMENTO SOLAR DO HOSPITAL.....           | 27 |
| 4.3.1. Características gerais.....                  | 27 |
| 4.3.2. Descrição do sistema solar .....             | 27 |
| 4.4. O USO DA ENERGIA ELÉTRICA DO HOSPITAL .....    | 29 |
| 4.5. O SISTEMA DE AR-CONDICIONADO DO HOSPITAL ..... | 29 |
| 5. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA .....           | 33 |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 5.1. ENERGIA TÉRMICA DO HOSPITAL .....   | 33 |
| 5.2. ENERGIA ELÉTRICA DO HOSPITAL.....   | 35 |
| 5.3. RESULTADOS.....                     | 38 |
| 5.3.1. Economia no sistema térmico ..... | 38 |
| 5.3.2. Economia no sistema elétrico..... | 39 |
| 6- CONCLUSÃO .....                       | 40 |
| 7- BIBLIOGRAFIA .....                    | 41 |
| 8- ANEXOS .....                          | 45 |



## **1. LINHAS GERAIS**

### **1.1. INTRODUÇÃO**

No contexto em que vive a sociedade atual, os recursos energéticos vêm se tornando cada vez mais escassos ao longo dos anos e pouca coisa é feita se comparado ao que deveria. Algumas tecnologias alternativas surgem para ajudar a suprir esse consumo energético, principalmente de maneira ecológica. Assim, nas últimas décadas, um enfoque foi dado em âmbito mundial para que soluções novas surjam justamente em função de poupar o desperdício e também a utilização de recursos naturais não-renováveis, de modo a poluir o meio-ambiente cada vez menos e evitar decorrentes tragédias ecológicas, além de diminuir gastos em termos financeiros. Desse modo, fica evidente o uso de sistemas de catalisadores em automóveis, hidrogênio como combustível futuro, coletores solares para produção de energia térmica, células de controle para apagar as luzes ambiente entre outros.

Nesse contexto e em auxílio ao programa Poli Cidadã, esse projeto é uma causa social que visa atender necessidades identificadas em um organismo importante à sociedade: O Hospital Estadual Vila Alpina. Assim, deseja-se avaliar a melhoria das condições financeiras e sociais do Hospital para fazer com que os recursos financeiros disponibilizados tragam maior qualidade no atendimento ao público.

### **1.2. OBJETIVO**

O presente trabalho irá apresentar uma análise energética com proposta de melhorias do Hospital Estadual Vila Alpina (HEVA), localizado na zona leste do estado de São Paulo. A análise será feita em duas etapas: a primeira consiste em realizar um estudo da quantidade de energia economizada por um equipamento que auxilia no aquecimento de água que alimenta o hospital. Esse tem por objetivo aproveitar a energia solar incidente disponível no local através de coletores solares para esquentar a água demandada, com o intuito de diminuir o consumo de gás natural utilizado pela caldeira. A segunda etapa consistirá em estudar o uso da energia elétrica do local e propor métodos alternativos para economia da mesma. Desta maneira, será feita uma análise

técnico-econômica para as instalações em ambos os casos envolvendo, custos, benefícios, desvantagens, prazo e retorno financeiro.

### **1.3. MÉTODO E ANÁLISE**

Para efetuar o trabalho mencionado acima, foram necessárias algumas atividades conforme consta no cronograma. Primeiramente houve um levantamento bibliográfico para que o assunto se tornasse conhecido e familiar. Posteriormente foram realizados contatos telefônicos com os responsáveis do equipamento no hospital para saber um pouco sobre o escopo do estudo e sobre a função do equipamento estudado.

Com alguns dados e os objetivos definidos, tornou-se necessário uma visita no hospital, na qual foram analisados alguns aspectos como localização geográfica do mesmo, o leiaute do sistema de captação solar e dos equipamentos, o conjunto de equipamentos auxiliares e periféricos, os dados técnicos de alguns dos principais sistemas e resultados colhidos em análises efetuadas pelo fabricante e pelo próprio hospital para testes e conferências.

Com esses dados coletados, foram analisadas a eficiência do equipamento e a necessidade do mesmo e houve discussão sobre seus benefícios e desvantagens. Também foram comparados o sistema atual, que faz a queima de gás natural (GN) e utiliza o aquecimento solar como complemento e o sistema anterior, que era somente caldeira a gás liquefeito do petróleo (GLP).

Analogamente, faz-se necessário a coleta de dados referentes ao consumo de energia elétrica do hospital em um determinado período. Foram computados os consumos energéticos e os valores financeiros pagos para alguns meses do ano, de maneira a comparar o sistema atual com o que será proposto: a utilização de um motor a gás natural com o escape voltado para um ciclo de cogeração por absorção, podendo satisfazer a demanda de uma parte do consumo de ar-condicionado do Hospital.

## 2. A ENERGIA SOLAR

### 2.1. O QUE É A ENERGIA SOLAR

Segundo a definição, energia solar é a designação dada a qualquer tipo de captação de energia luminosa ou térmica proveniente do Sol<sup>1</sup>. O homem deve saber aproveitar essa inesgotável fonte de energia de alguma forma, e ele a faz. Tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais importantes para a vida terrestre. Deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia terrestre. É a partir dele que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas (que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade) e outros ciclos naturais. A radiação solar, através de diferença de pressões, também induz a circulação atmosférica em larga escala, sem cogitar que petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, milhões de anos atrás, receberam energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar.

### 2.2. RADIAÇÃO SOLAR

A potência de radiação solar incidente na Terra é da ordem de  $1,71 \cdot 10^{14} \text{ kW}$ , isso significa que em pouco mais que 52 minutos, apenas a fração de energia incidente na atmosfera poderia suprir o consumo anual energético mundial caso fosse inteiramente aproveitada.

Conforme valores adquiridos no *World Meteorological Organization*, a constante solar vale aproximadamente  $1367 \text{ W/m}^2$ , dos quais 19% são absorvidos pela atmosfera e pelas nuvens, 30% refletidos pelas nuvens, espalhados para o espaço e refletido pela superfície, o que resta passa diretamente pela atmosfera em forma de luz visível ou ultravioleta, conforme visto na figura 1. Deve-se levar em conta, ainda, que a superfície receptora pode estar inclinada com relação à horizontal e haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente em volta, seja o solo, a vegetação, os obstáculos, os

---

<sup>1</sup> Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o\\_solar](http://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_solar)

terrenos rochosos, etc. O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de "albedo".

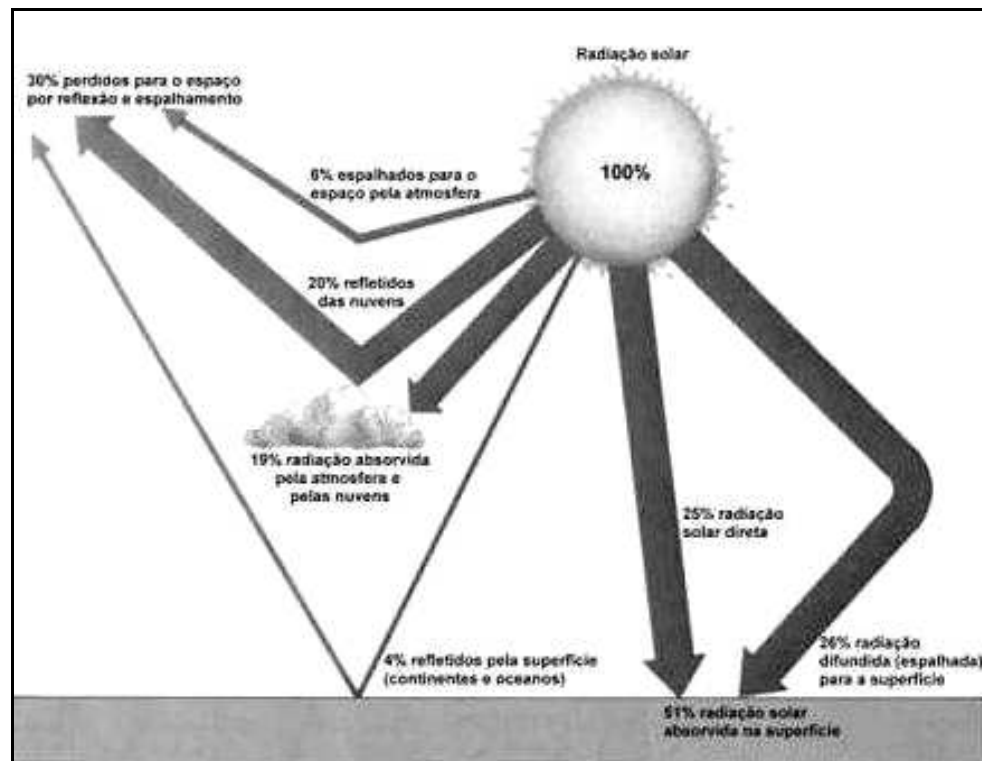


Figura-1: Porcentagens absorvidas e refletidas da radiação solar:  
 Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>

Dessa forma, a radiação aproveitada pelo homem é apenas devido à componente direta e pela componente difusa em um dia claro, ao meio dia, sem nuvens e 25 °C, o fluxo de radiação recebida pela superfície da terra soma aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup>. Considerando fatores como a latitude, longitude e altitude, a média anual, no estado de São Paulo, segundo o Instituto Astronômico e Geofísico<sup>2</sup> (IAG) é de 179 W/m<sup>2</sup>, Número bem menor do que o considerado anteriormente.

<sup>2</sup> Fonte: <http://www.iag.usp.br>

## 2.3. CAPTAÇÃO SOLAR

### 2.3.1. Formas de captação solar

Conforme foi dito, a busca de sistemas alternativos de energia é uma constante, devido ao aumento do consumo de todas as formas de energia e da dependência mundial sobre a geração delas através de fontes renováveis e não renováveis. Com isso, o ser humano inventa formas alternativas de produção de energia. Dentre as formas de captação de energia solar, pode-se distinguir, basicamente, três maneiras de captação de energia solar: conversão química, conversão elétrica (termoelétrica e fotoelétrica) e a conversão térmica. Será estudada aqui principalmente a captação de energia solar através de conversão térmica por coletores solares.

### 2.3.2. Conversão térmica e coletores solares

A conversão da energia solar em energia térmica é bastante simples: Há algumas caixas pretas retangulares isoladas que recebem a radiação solar diretamente. Analisando uma caixa, existe uma placa preta plana ou ondulada, pintada de preto fosco, para evitar a reflexão da luz. Essa placa fica apoiada no fundo da caixa, tendo esta como cobertura uma lâmina de vidro plano transparente, conforme mostra a figura 2:

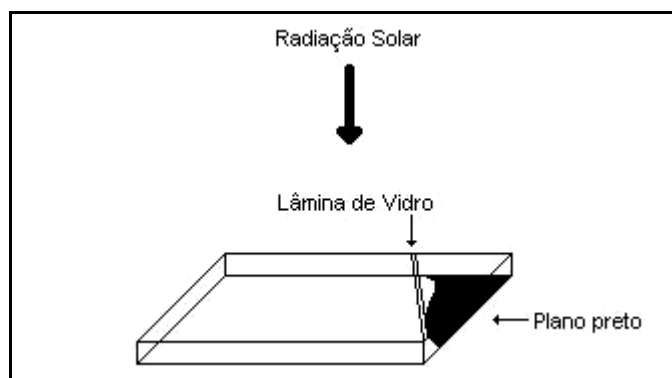


Figura 2: Funcionamento da captação da radiação por um coletor solar<sup>3</sup>

A caixa recebe a ação da luz solar visível e da respectiva radiação infravermelho, de forma que ambas atuarão juntas dependendo das condições atmosféricas locais. A radiação solar atravessará o vidro de cobertura e ao encontrar a chapa preta sofre uma

alteração no seu comprimento de onda, aumentando-a, o que a impossibilita de atravessar novamente o vidro e, a partir daí, tem origem uma reemissão desta radiação entre vidro e chapa. Como a caixa se encontra isolada ocorre uma variação da energia interna, responsável pelo aumento progressivo da temperatura da chapa pintada de preto fosco enquanto durar a ação da radiação solar.

Abaixo dessa chapa, há também uma grade de tubos paralelos ligados nas extremidades por dois tubos de maior diâmetro, contendo água em seu interior conforme a figura 3:

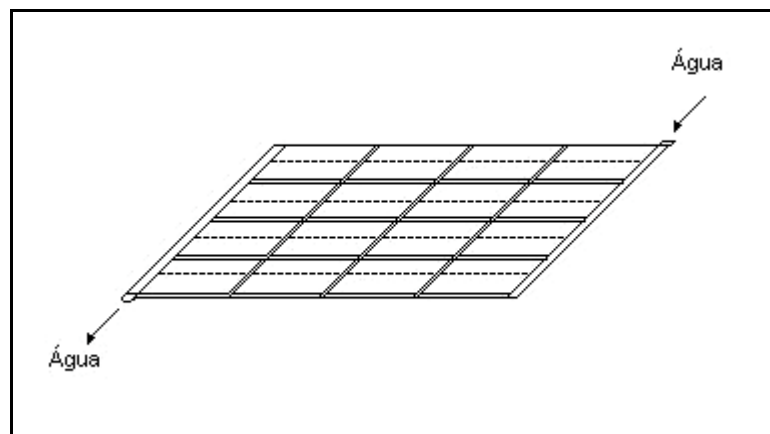


Figura 3: Fluxo de água nas placas solares

Como a chapa preta está sendo aquecida pela radiação solar e estando a grade de tubos em contato direto com a respectiva chapa, verifica-se uma transferência de calor (pela temperatura da chapa), para a grade de tubos e desta para a água que se encontra em seu interior.

Numa aplicação hospitalar a necessidade de água quente é bem maior do que o volume de água existente no interior de uma grade de tubos. Para que isto possa ser possível liga-se, por meio de tubos, o coletor solar a um tanque termicamente, isolado. Semelhante ao processo que ocorre em uma chaleira quando se coloca água para esquentar, ao aquecermos as moléculas da água do fundo, essas vão pouco a pouco para a superfície ao mesmo tempo em que as moléculas de água das camadas superiores e mais densas vão tomando o lugar das moléculas mais aquecidas, formando o movimento convectivo. No aquecedor solar, o calor é transferido à grade de tubos a qual transfere parte desse calor para a água tornando-a mais leve. Essa água passa para o reservatório

<sup>3</sup> Fonte: <http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto04.htm>.

termicamente isolado (boiler) que irá trocar calor com a água fria através de trocadores de calor. Movimento este que só é interrompido quando toda a massa líquida atinge a mesma temperatura. Este movimento convectivo é também conhecido como termo-sifão. Pode-se ver o esquema através da figura 4:

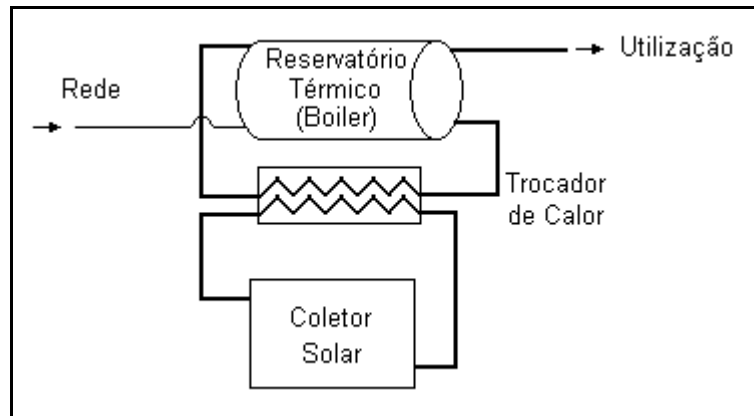


Figura 4: Troca de calor para aquecimento da água

No caso do coletor solar a temperatura para operação é de no máximo 80°C em um dia ensolarado e sem nuvens. Condição esta normalmente observada nas regiões Norte e Nordeste brasileiros, que não é o caso estudado.

Assim, pode-se supor a temperatura de equilíbrio quando o sistema está sem demanda de água em um determinado momento. Quando um certo volume de água quente é retirado para consumo, imediatamente um igual volume de água à temperatura ambiente entra no reservatório termicamente isolado, já que este está diretamente ligado à caixa de água do local. Nesta situação o equilíbrio térmico é desfeito restabelecendo o movimento convectivo, ou seja, a convecção natural, e assim por diante.

### 2.3.3. Aparelhos de medição solar

Para haver a instalação de um equipamento dependente de radiação solar, é preciso obter medições da radiação solar naquele local para garantir o aproveitamento dessa. Condições atmosféricas e climáticas são fatores que determinarão se será ou não possível a utilização do equipamento em tese. Portanto, a medição da radiação solar, tanto a radiação direta como a difusa na superfície terrestre, é de extrema importância para este estudo. Existem aparelhos que realizam essas medições. Os mais conhecidos são os piranômetros e os pireliômetros.

Os piranômetros medem a radiação global utilizando uma termopilha, a qual mede a diferença de temperatura entre uma superfície pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca uma diferença de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar. Existem alguns modelos de piranômetros que têm suas precisões variando de 2% a 5% <sup>4</sup>. A figura 5 mostra um piranômetro comum:

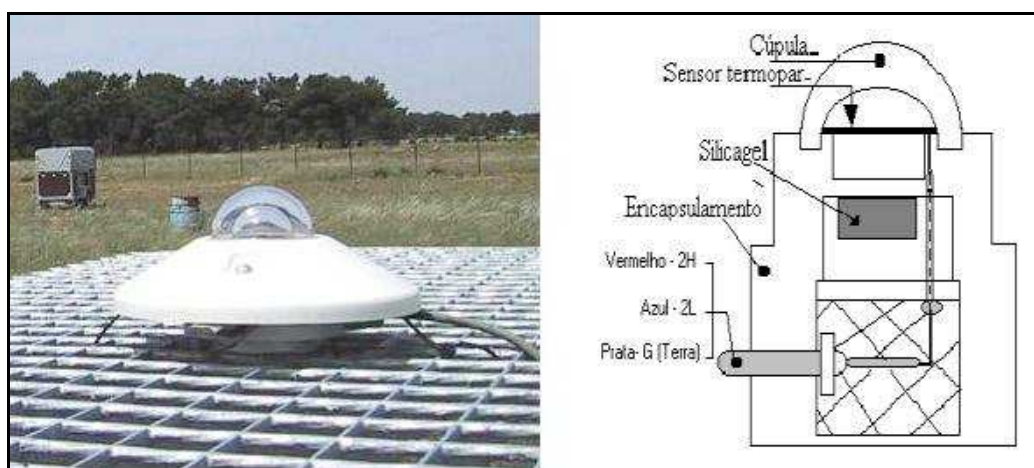


Figura 5: Piranômetro simples e seus componentes. <sup>5</sup>

Já os pireliômetros, são instrumentos que medem a radiação direta. O instrumento que se caracteriza por apresentar uma pequena abertura de forma que a radiação atinja apenas o disco solar e a região vizinha denominada circumsolar. O instrumento segue o movimento solar onde é constantemente ajustado para focalizar melhor a região do sensor. Muitos dos pireliômetros se auto-ajustam, apresentando precisão na faixa de 5% quando adequadamente utilizados para medições. A figura 6 mostra um pireliômetro:

<sup>4</sup> Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm#item-31>

<sup>5</sup> Fonte: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100025&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100025&script=sci_arttext)



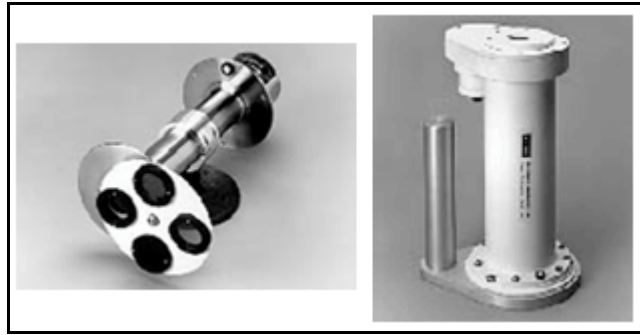


Figura 6: Pireliômetro de incidência (esquerda) e de cavidade. 6

---

<sup>6</sup> Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm#item-31>

### 3. ENERGIA ELÉTRICA

#### 3.1. USO E RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é uma das fontes de energia mais requisitadas pelos seres humanos, seja em forma de luz, movimento ou calor. Ela pode ser gerada de diversas formas conforme mostra a tabela 1. A busca pelo conforto, pelas diversões, pela agilidade de muitas atividades do dia-a-dia e também pelo constante desenvolvimento de aparelhos eletrodomésticos, ferramentas e equipamentos industriais levam à utilização cada vez maior dessa forma de energia no mundo inteiro.

| Origem    | Fonte                                 | Equipamento           |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------|
| CALOR     | Reação nuclear                        | Central nuclear       |
|           | Nascentes hidrotermais                | Central geotérmica    |
|           | Queima de resíduos orgânicos          | Incinerador           |
|           | Queima de outros tipos de combustível | Central termelétrica  |
| LUZ       | Sol                                   | Célula fotoelétrica   |
| MOVIMENTO | Vento                                 | Aerogerador           |
|           | Motor                                 | Gerador               |
|           | Ondas do mar                          | Central talassomotriz |
| GRAVIDADE | Maré                                  | Central talassomotriz |
|           | Água dos rios                         | Turbina hidráulica    |
| QUÍMICA   | Reações químicas                      | Célula eletrolítica   |

Tabela 1: Tipos de geração de energia elétrica<sup>7</sup>

De acordo com o levantamento do consumo de energia efetuado anualmente pelo ministério de Minas e Energia, desde 1970 nosso país aumenta ano a ano o consumo de energia elétrica, com exceção do ano de 2001, conhecido como o “ano do apagão”, no qual uma imposição governamental causou uma diminuição no consumo de energia elétrica, a demanda de eletricidade vem apresentando uma taxa de crescimento significativa ao longo dos anos, bem como o crescimento populacional. A tabela 2 mostra o consumo medido ano a ano desde 1970 e a variação percentual ao longo dos anos no país, e o gráfico 1 mostra o aumento ano a ano desse consumo:

<sup>7</sup> Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_el%C3%A9trica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_el%C3%A9trica)

| Ano  | Consumo (em GWh) | Variação (%) | Ano  | Consumo (em GWh) | Variação (%) | Ano  | Consumo (em GWh) | Variação (%) | Ano  | Consumo (em GWh) | Variação (%) |
|------|------------------|--------------|------|------------------|--------------|------|------------------|--------------|------|------------------|--------------|
| 1970 | 39,01            | -            | 1979 | 109,18           | 12,08        | 1988 | 200,54           | 5,78         | 1997 | 289,83           | 6,12         |
| 1971 | 44,11            | 13,05        | 1980 | 120,68           | 10,54        | 1989 | 208,88           | 4,16         | 1998 | 301,97           | 4,19         |
| 1972 | 49,02            | 11,13        | 1981 | 124,15           | 2,87         | 1990 | 214,07           | 2,48         | 1999 | 310,55           | 2,84         |
| 1973 | 55,78            | 13,80        | 1982 | 131,37           | 5,82         | 1991 | 221,66           | 3,54         | 2000 | 326,17           | 5,03         |
| 1974 | 62,30            | 11,68        | 1983 | 141,54           | 7,74         | 1992 | 226,67           | 2,26         | 2001 | 304,62           | -6,61        |
| 1975 | 68,70            | 10,27        | 1984 | 157,36           | 11,18        | 1993 | 237,19           | 4,64         | 2002 | 319,02           | 4,73         |
| 1976 | 77,97            | 13,49        | 1985 | 170,70           | 8,48         | 1994 | 245,67           | 3,58         | 2003 | 336,71           | 5,54         |
| 1977 | 87,37            | 12,06        | 1986 | 183,98           | 7,78         | 1995 | 260,44           | 6,01         | 2004 | 354,15           | 5,18         |
| 1978 | 97,41            | 11,48        | 1987 | 189,58           | 3,04         | 1996 | 273,11           | 4,86         | 2005 | 369,16           | 4,24         |

Tabela 2: Aumento do consumo de energia elétrica e percentual ao longo dos anos – Fonte MME 2006<sup>8</sup>

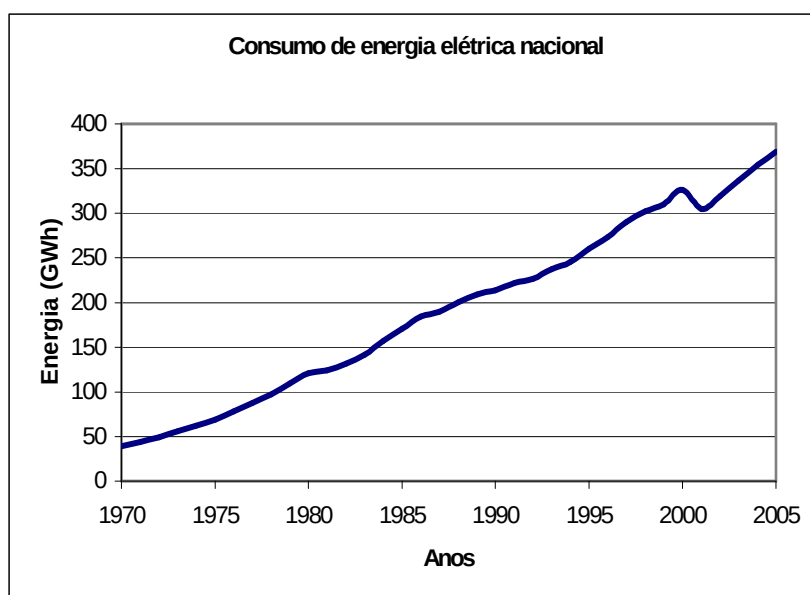


Gráfico 1: Consumo de energia elétrica ao longo dos anos – Fonte MME 2006

Por não poder atender a demanda necessária à sociedade devido a fatores climáticos e de falhas no setor elétrico em vários aspectos, incluso a coordenação governamental, há alguns anos vêm surgindo alguns programas de reeducação para seu uso. Através de sua conservação e racionalização, os programas almejavam obter uma diminuição significativa no consumo de eletricidade. Dessa forma, toda e qualquer ação que resulte na diminuição de investimentos no setor elétrico, sem comprometimento da sua confiabilidade e que também contribua para redução nas despesas com energia elétrica por parte dos consumidores, pode e deve ser incentivada.

<sup>8</sup> Fonte: [http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=1432](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432)

Com esse âmbito, será estudado aqui uma maneira alternativa para geração de energia elétrica através do consumo de gás natural para o consumo de energia elétrica do Hospital Estadual Vila Alpina, já que a produção da energia própria agrada a muitas pessoas se o custo for mais baixo do que o uso da rede elétrica. Além, disso, não haverá dependência de crises quaisquer relativas à falta de capacidade de suprir a demanda.

### **3.2. ENERGIA ELÉTRICA E MOTORES À GÁS NATURAL**

Os pioneiros no desenvolvimento dos motores alternativos que são conhecidos atualmente são os motores a gás de ciclo Otto, desenvolvidos por volta da metade do século XIX. No entanto, para a época em que foram desenvolvidos, a pouca disponibilidade desses motores e as dificuldades de armazenamento do combustível fizeram com que eles fossem colocados de lado durante muitos anos. Mais tarde, com o aumento da disponibilidade do gás natural na América do Norte e em alguns países europeus, foi novamente dedicada atenção a este combustível, principalmente devido às suas características de queima limpa. Hoje em dia carregam como característica combinar um alto rendimento mecânico com baixos níveis de emissões de NO<sub>x</sub>, CO e HC. Como a formação de NO<sub>x</sub> desta combustão pobre é muito baixa, não há necessidade, na maioria dos casos, de controle externo de emissões (catalisador catalítico) e portanto o investimento inicial torna-se mais baixo.

Posteriormente, com o aumento da demanda de energia elétrica, começou-se a pensar que esses motores poderiam gerar eletricidade de forma bastante satisfatória. Os aparelhos geradores acionados por motores a gás alternativos atuais têm apresentado grandes vantagens quando comparados com outros acionadores, tornando um investimento bastante adequado para a geração de energia de pequeno e médio porte. Os grupos geradores a gás têm um alto rendimento elétrico, o baixo custo por kW instalado, é um bem com uma tecnologia madura e disponível no mercado, apresenta uma grande versatilidade em recuperação de calor, é de fácil instalação, curto prazo de entrega e um dos pontos mais importantes é que esses motores são de fácil manutenção, pois derivam de motores diesel.

### **3.3. COGERAÇÃO**

#### **3.3.1. O processo de cogeração**

O processo de cogeração é o processo que permite não só a produção de energia elétrica, mas também térmica por parte dos gases de escape, a partir de uma única fonte de combustível. Ele possibilita melhor aproveitamento do gás, com mais eficiência, cujo ganho assim obtido produz uma energia elétrica confiável com baixo custo, ficando a unidade industrial ou comercial independente da qualidade de fornecimento do distribuidor de energia. Fato da maior importância para usuários que necessitam de um abastecimento sempre contínuo e ininterrupto, como hospitais, hotéis, shopping centers, grandes empreendimentos e mesmo muitas indústrias. Além disso, a cogeração causa menor impacto no meio ambiente, pois agredem menos a atmosfera uma vez que utiliza a queima de gases que iriam ser desperdiçados para produzir mais energia e suas fontes de energia utilizadas são renováveis como madeira, bagaço e cascas.

As aplicações são diversas, conforme pode-se ver na figura 4. Nos países desenvolvidos, a cogeração vem sendo empregada em diversos segmentos. Na Europa, com o apelo de economia de energia, e depois como geração descentralizada de baixo custo, pois evita a construção de grandes linhas de transmissão, obtendo-se assim maior eficiência do sistema elétrico. O fato de o gás natural ser um combustível com combustão limpa faz com que as centrais elétricas de cogeração a gás natural causem um menor impacto ambiental. No Brasil, ela ainda é usada em poucas instalações em operação como a agroindústria (especificamente a cogeração de energia a partir do bagaço de cana de açúcar), e já foi implantada até na Universidade Luterana do Brasil, em Canoas, Porto Alegre - RS. A cogeração vem aumentando a cada dia, e já conta com uma linha de financiamento oferecida pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento) para a sua implantação. Essa forma de produção de energia poderá ter um papel importante na matriz energética brasileira caso haja políticas de incentivo. Em lugares como Inglaterra e Alemanha, a cogeração tem uma participação forte devido a sua alta eficiência energética. Entretanto, alguns problemas precisam ser resolvidos para permitir essa expansão.

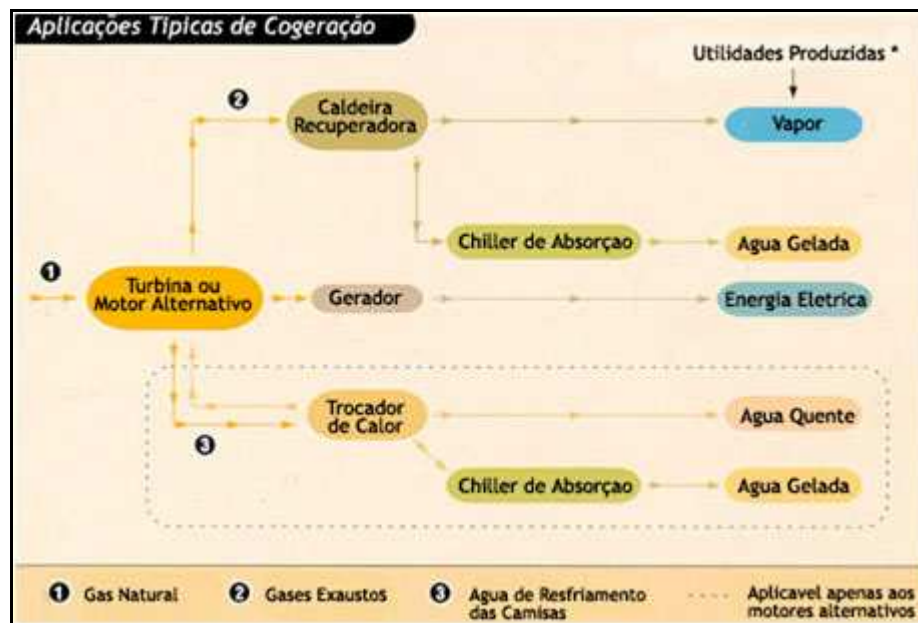


Figura 4: Aplicações típicas de cogeração.<sup>9</sup>

Em princípio a cogeração faz sentido em qualquer instalação onde se exija eletricidade e calor. Porém, o arranjo depende de aspectos técnicos e econômicos, pois as centrais de cogeração devem ser dimensionadas para atender à demanda elétrica e térmica da instalação em particular. Por isso, é de extrema importância analisar o perfil elétrico e térmico anual da instalação e determinar a curva de utilização. Em muitos casos, é melhor dimensionar a central de cogeração para atender à demanda de calor da instalação<sup>10</sup>.

Uma instalação de cogeração pode ter eficiência térmica de até 85% se utilizada com reaproveitamento do vapor. Enquanto as usinas termelétricas convencionais, queimando combustíveis fósseis, têm uma eficiência térmica da ordem de 30 a 40%, isto é, só estas percentagens da energia contida no combustível são transformadas em trabalho mecânico ou elétrico. O restante é perdido em forma de calor, seja na exaustão ou na condensação do vapor. Em uma unidade de cogeração, a energia que seria desprezada é utilizada para prover calor a um processo, aquecimento ou refrigeração de ambientes.

A refrigeração por sorção pode ser dividida em dois grupos:

<sup>9</sup> Fonte: <http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf#http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf/0/BA D638D8FA51F04303256DAD004CDAEE?OpenDocument&SEnergia>

- Absorção, na qual há uma substância absorvendo a outra sem interação química entre ambas. A absorção irá acontecer quando uma das substâncias estiver em uma temperatura mais baixa e a separação irá ocorrer quando a substância estiver numa temperatura mais alta.

- Adsorção, na qual há um sistema com uma substância no estado sólido absorvendo outra através do princípio de Faraday (1824)<sup>11</sup>.

Será estudado a seguir mais detalhadamente o processo por absorção.

### **3.3.2. A refrigeração por absorção**

O processo de refrigeração por absorção faz a utilização de um Chiller de absorção associado ao sistema de cogeração que possibilita o aproveitamento do calor em forma de vapor, água quente ou até os gases de escape para produção de água fria. Essa água poderá ser utilizada para o processo de cogeração ou para a climatização do ambiente. Além disso, essa solução é consideravelmente a favor do meio-ambiente, pois os sistemas de absorção não utilizam os CFCs, responsáveis pela danificação da camada de ozônio.

O sistema de absorção funciona similarmente ao ciclo de compressão de vapor. Há um ciclo de refrigeração que irá operar junto ao condensador, uma válvula de expansão e um evaporador, a fim de fazer com que o vapor de baixa pressão do evaporador possa ser transformado em vapor de alta pressão e seja entregue ao condensador e para a compressão de vapor utiliza-se um compressor. O sistema de absorção irá primeiramente absorver o vapor de baixa pressão em um líquido absorvente adequado. No processo de absorção, o refrigerante é absorvido pela substância absorvente com transferência de calor para o meio. O passo seguinte é elevar a pressão do líquido com uma bomba, e o passo final é liberar o vapor do líquido absorvente por adição de calor. A figura 5 mostra um esquema simplificado da condensação, evaporação e compressão:

---

<sup>10</sup> Fonte: [http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos\\_view2.asp?cod=56](http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos_view2.asp?cod=56)

<sup>11</sup> Michael Faraday, cientista inglês que realizou experimento expondo vapor de amônia a cloreto de prata. Isto resultou na formação de um líquido, o qual quando evaporava, retirava calor do ambiente.

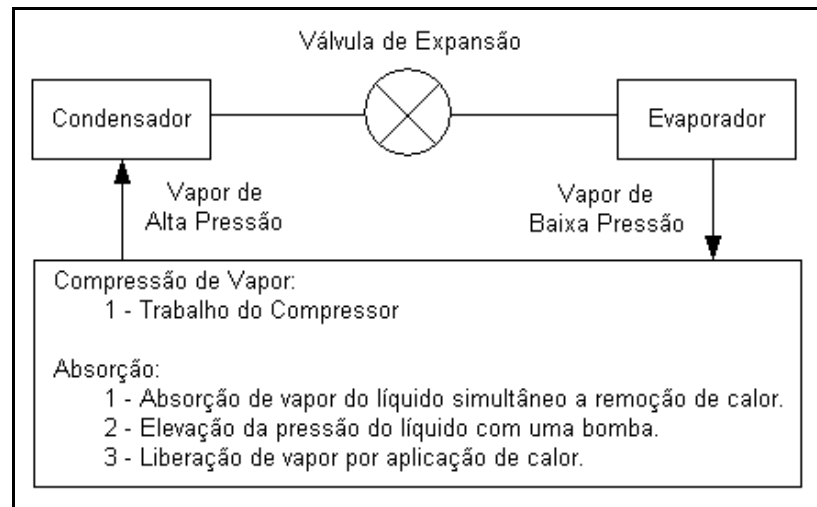


Figura 5: Ciclo geral para aumento de pressão: condensação, evaporação e compressão.

O ciclo de compressão de vapor é descrito como um ciclo operado a trabalho por que a elevação da pressão do refrigerante é obtida por um compressor que requer trabalho. O ciclo de absorção, por outro lado, é referido como ciclo operado a calor porque a maior parte do custo de operação é associada com o fornecimento de calor que libera o vapor do líquido de alta pressão. Na verdade existe a necessidade de algum trabalho para acionar a bomba no ciclo de absorção, mas a quantidade de trabalho para uma dada quantidade de refrigeração é significativamente pequena, comparada com aquela que seria necessária no ciclo de compressão de vapor.

### 3.3.3. O ciclo de absorção

Percebe-se que a operação de compressão é proporcionada pela montagem apresentada na parte debaixo da figura 5. Pode-se ver o ciclo de absorção básico conforme explicita a figura 6:



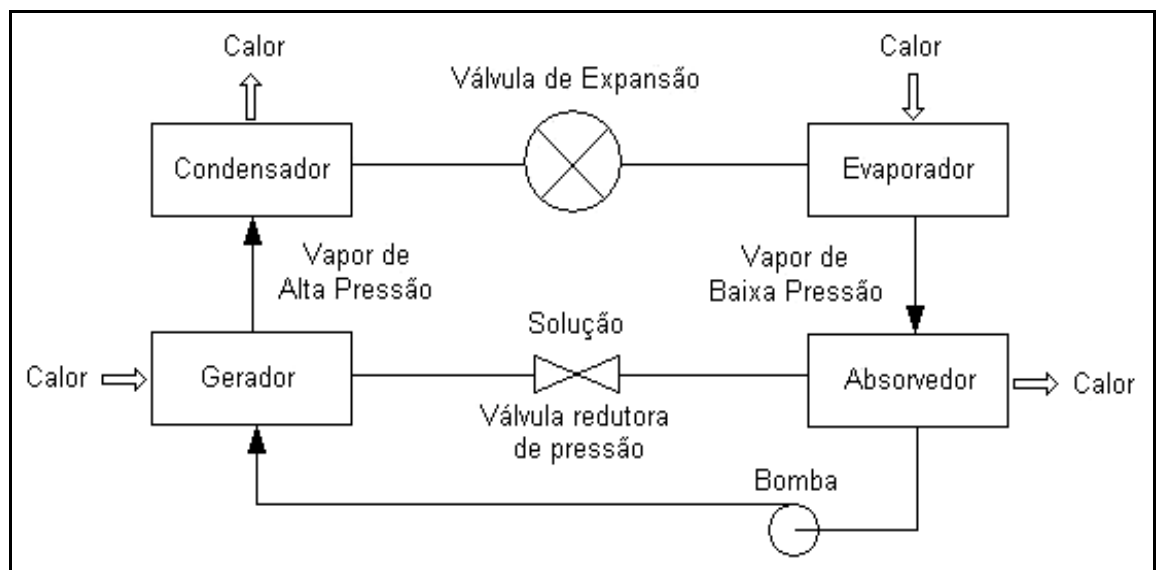


Figura 6: O ciclo da unidade de absorção básica

Dentro do evaporador há vapor de refrigerante em baixa pressão. Este vapor será absorvido por uma solução ao passar pelo absorvedor. Se a temperatura desta solução se elevar até certo nível, a absorção de vapor pelo absorvedor poderia parar. De forma a evitar esse problema, o absorvedor é constantemente resfriado por um fluido que pode ser ar ou água. Dentro do absorvedor existe uma solução que é considerada concentrada, pois contém grande quantidade de fluido refrigerante. O fluido sai do absorvedor e passa para uma bomba, que eleva a pressão da solução concentrada e faz com que esta entre no gerador. No gerador, ocorre a adição de calor, sendo esse local ligado a uma fonte que forneça temperaturas elevadas, fazendo com que o refrigerante volte ao estado de vapor. Este vapor está em elevadas temperatura e pressão.

Com isso, a solução líquida que antes possuía alta concentração de refrigerante, passa a ter baixa concentração e retorna ao absorvedor por uma válvula redutora de pressão conforme mostra na figura 6. A função dessa válvula é manter a diferença de pressão entre o absorvedor e o gerador. No evaporador há passagem de água fria, que resfria o vapor e condensa o refrigerante. Esse último vai para o evaporador através de uma válvula de expansão também indicada. No evaporador ocorre a passagem de um fluido que será resfriado ao trocar calor com o refrigerante. Logo, este fluido fornecerá calor ao refrigerante que evaporará uma vez que está em baixa pressão. Este é o efeito de diminuição de temperatura que se conhece nos ciclos de refrigeração por absorção. Os fluxos de calor para os dois trocadores de calor e para os dois trocadores de calor e

massa, componentes do ciclo de absorção, ocorrem da seguinte forma: o calor de uma fonte de alta temperatura entra no gerador, enquanto que o calor a baixa temperatura da substância que está sendo refrigerada entra no evaporador. A rejeição de calor do ciclo ocorre no absorvedor e condensador a temperaturas tais que o calor possa ser rejeitado para a atmosfera.

## **4. O HOSPITAL VILA ALPINA**

### **4.1. SECONCI-SP**

No dia 20 de março de 1964, o Serviço Social da Construção Civil do Estado de São Paulo (Seconci-SP) foi fundado em função da má qualidade do atendimento prestado pelo sistema público de saúde aos trabalhadores próximos da região. Com isso, um grupo de empresários fundou essa entidade, sem fins lucrativos e filantrópica, cuja sustentação financeira é baseada na contribuição mensal das empresas a ela filiadas.

O projeto foi bem sucedido e, hoje, o Seconci-SP mantém duas unidades na capital e outras sete localizadas nas cidades de Santos, Praia Grande, Riviera de São Lourenço, Campinas, Piracicaba, São José dos Campos e Sorocaba.

A entidade visa sempre fortalecer ainda mais o seu papel social, procurado intensificar sua atuação junto às empresas. Para isso organizam palestras nos canteiros de obras, campanhas de caráter educativo e preventivo, passando, pelos programas de controle médico ocupacional e de segurança no ambiente de trabalho.

Mais tarde, o Seconci-SP foi eleito pela Secretaria de Estado da Saúde para cuidar da gestão do Hospital Geral de Itapeverica da Serra (HGIS), que iniciou suas atividades em março de 1999. Desde então, ele já recebeu quatro prêmios, sendo um internacional, conferido pela Organização Mundial de Saúde.

### **4.2. O HOSPITAL ESTADUAL VILA ALPINA**

O Seconci-SP recebeu a responsabilidade de administrar um segundo hospital estadual, desta vez, o de Vila Alpina, inaugurado em 2001. O hospital Vila Alpina teve sua inauguração em 11 de dezembro desse ano, tendo como características seis andares, 220 leitos operacionais e ocupa 15 mil m<sup>2</sup> de área construída. O objetivo é atender as especialidades de clínica médica, cirurgia geral, pediatria, ginecologia e obstetrícia, de modo a beneficiar mais de 230 mil habitantes próximos à região. A figura 7 mostra uma foto do hospital.



Figura 7 -Hospital Estadual Vila Alpina

Para conseguir atender a um número de pacientes tão elevado, o hospital conta com uma despesa muito elevada. Dessa forma, uma pequena economia em algum processo pode representar um bom montante monetário ao final do período de um mês. Nesse contexto, foi colocada em prática a adaptação de um equipamento solar (coletores solares) de modo a aproveitar a energia do sol, a qual é limpa, ecologicamente correta, renovável e de graça, para ajudar a aumentar a temperatura da água que vai para uma caldeira e segue para o hospital para consumo. A figura 8 mostra as placas instaladas no hospital:



Figura 8 –As placas de aquecimento solar do Hospital Estadual Vila Alpina

### 4.3. O EQUIPAMENTO SOLAR DO HOSPITAL

#### 4.3.1. Características gerais

O equipamento solar comprado e instalado no hospital Vila Alpina em 2004 foi fabricado pela empresa *Heliotek*. O mesmo foi dimensionado para auxiliar na produção de água aquecida a uma temperatura de 60°C, que é uma referência de temperatura de consumo para todo o hospital. O sistema entrega a água pré-aquecida para as caldeiras a gás do hospital, as quais irão aquecer a água até a temperatura necessária, levando, segundo o fabricante, a uma economia média anual de 20% no consumo de gás natural. A figura 9 apresenta o arranjo geral do sistema de aquecimento completo do hospital Vila Alpina, com os coletores, as caldeiras e os equipamentos suplementares do conjunto:

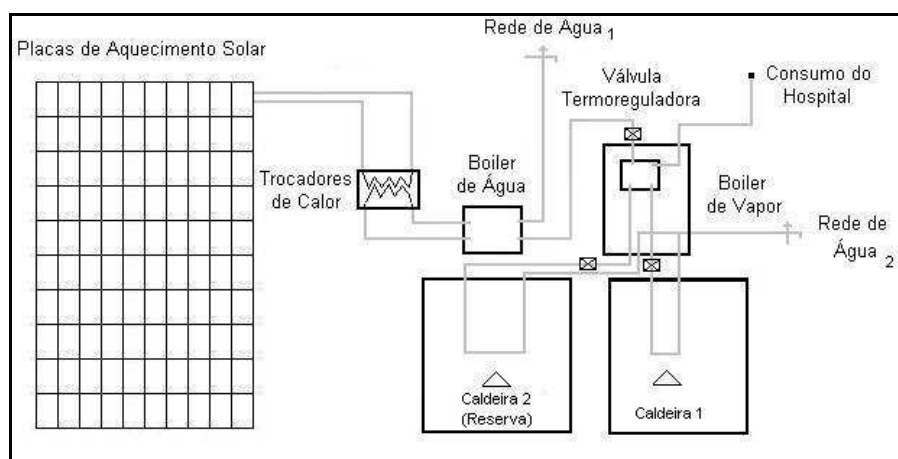


Figura 9: Sistema completo de aquecimento de água do Hospital Vila Alpina

#### 4.3.2. Descrição do sistema solar

O sistema de pré-aquecimento em questão é composto de diversos equipamentos. Cada um realizará sua função em busca do melhor desempenho do conjunto. São eles:

- 01 Reservatório Térmico APSI modelo MKPI2000 capacidade 2.000 litros em Aço Carbono.
- 100 Coletores Solarsonic modelo Chromagem CR90PS com a seguinte especificação:

- Área total de cada coletor: 1,70 m<sup>2</sup>.
- Área líquida de cada coletor: 1,50 m<sup>2</sup>.
- Peso vazio: 32 kg.
- Pressão de trabalho: 10 mca.
- Eficiência térmica: 61%
- Dimensões: 1820 x 930 x 90 mm
- 02 Trocadores de Calor em Inox 316L.
- 01 Moto Bomba Schneider BCR 2000V 1/4 cv 220V/60Hz monofásico.
- 01 Moto Bomba Schneider BC92SK 1cv 220V/60Hz monofásico.
- 01 Quadro de comando e Sistema de Monitoramento.
- 01 Vaso de expansão.
- Tubulações de cobre classe E, conexões, válvulas e registros.

O sistema apresentado é composto de um reservatório de acumulação de água quente com capacidade de 2000 litros, 100 coletores modelo CR90PS da marca *Solarsonic*, construídos com tubos de alumínio tratado e aletas de cobre, que alimentam o circuito de consumo de água quente. O aquecimento da água ocorre através de um circuito selado nos coletores que é chamado de circuito primário, que passa por trocadores de calor a placas e transfere a energia para a água do circuito secundário que vem do reservatório e retorna quente para o mesmo. A circulação da água é feita através de moto-bombas que são especialmente construídos para suportar altas temperaturas.

Todas tubulações de água quente são isoladas termicamente com lã de vidro ou isopor (poliestireno expandido) para evitar a perda de calor com o meio durante a circulação e trajeto. O sistema possui válvulas e registros de modo a garantir que em casos necessários de parada de manutenção, as partes possam ser isolados de modo a facilitar a desmontagem e montagem do item em questão.

A água fria que entra no reservatório é aquecida e sai num fluxo cruzado em sua parte superior em relação ao fluxo do circuito secundário, de modo a maximizar a uniformidade de temperatura do fluido a ser aquecido. A concentração de fluido térmico (fluido especial do fabricante *Heliotherm*) na mistura do circuito primário melhora o desempenho na transferência de calor, alterando as temperaturas de congelamento e

ebulição. O vaso de expansão (explicado adiante) garante que o circuito primário sempre esteja cheio de mistura água-fluido.

O comando elétrico responsável pelo acionamento do sistema é supervisionado por uma unidade programável, (no caso, a 60°C), a qual fornece os parâmetros de operação e resultados em tempo real. O sistema opera automaticamente sem a necessidade da intervenção humana, graças ao dispositivo eletrônico.

#### 4.4. O USO DA ENERGIA ELÉTRICA DO HOSPITAL

Como qualquer hospital de grande porte, o Hospital Estadual Vila Alpina chega a atender 15 mil pessoas por mês só no departamento de pronto socorro. Com uma estrutura para tamanha capacidade, é necessário não só o trabalho de muitos funcionários, mas também a utilização de grande quantidade de recursos materiais, além de hídricos e energéticos. Dessa forma, foi feito um levantamento do consumo de energia elétrica do Hospital no período de dezembro de 2005 a agosto de 2006, conforme segue na tabela 3 apresentada:

| Meses  | Nº de dias | Conta de energia elétrica - Valores em R\$ | Energia consumida kWh |                             |                               | Total de energia elétrica | Total de horas no mês | Potência média necessária em kW |
|--------|------------|--------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|
|        |            |                                            | Cons ativo ponta      | Cons fora de ponta indutivo | Cons fora de ponta capacitivo |                           |                       |                                 |
| Dez-05 | 31         | 43074,95                                   | 17982                 | 131720                      | 37057                         | 186759                    | 744                   | 251,0                           |
| Jan-06 | 31         | 51308,30                                   | 20605                 | 153040                      | 44163                         | 217808                    | 744                   | 292,8                           |
| Fev-06 | 28         | 53339,84                                   | 20431                 | 166849                      | 45410                         | 232690                    | 672                   | 346,3                           |
| Abr-06 | 30         | 47080,26                                   | 16964                 | 139885                      | 38354                         | 195203                    | 720                   | 271,1                           |
| Mai-06 | 31         | 47457,44                                   | 18659                 | 130952                      | 36943                         | 186554                    | 744                   | 250,7                           |
| Jun-06 | 30         | 51102,58                                   | 18761                 | 147395                      | 42739                         | 208895                    | 720                   | 290,1                           |
| Jul-06 | 31         | 52202,20                                   | 20030                 | 139255                      | 39892                         | 199177                    | 744                   | 267,7                           |
| Ago-06 | 31         | 52583,44                                   | 18533                 | 146840                      | 41693                         | 207066                    | 744                   | 278,3                           |
| TOTAIS | 243        | 398149,01                                  | 151965                | 1155936                     | 326251                        | 1634152                   | <b>Média</b>          | <b>281,0</b>                    |

Tabela 3 – Quantidade de energia elétrica consumida entre dez 2005 e produzida e requerida pelo hospital

#### 4.5. O SISTEMA DE AR-CONDICIONADO DO HOSPITAL

O Hospital Vila Alpina, como qualquer outro hospital, necessita de um sistema de ar-condicionado para manter a temperatura em seus ambientes internos mais baixa do que o exterior do hospital, ou seja, por volta de 20°C. Um sofisticado e complexo

sistema ar condicionado central com filtragem composto por um chiller e 13 fan-coils abastecem locais como o complexo cirúrgico, o lactário a lavanderia, a cozinha entre outros. Com isso, o ar que circula nesses ambientes tem uma densidade bastante reduzida de bactérias, reduzindo o risco de infecção hospitalar e oferecendo segurança e conforto térmico. A densidade de bactérias em um ambiente como esses pode passar de 30 milhões de bactérias por metro cúbico (normal para o ar ambiente) para 300 mil bactérias por metro cúbico<sup>12</sup>. No entanto, é necessário que haja o controle da filtragem e condicionamento do ar, além de avaliar a troca de filtros e a manutenção geral, inclusive dos dutos, mantendo as salas climatizadas a uma temperatura mais baixa que o ambiente externo.

Como o sistema central de ar-condicionado não supre toda a necessidade de refrigeração de ar do complexo hospitalar, uma série de aparelhos de ar-condicionado estão à disposição em outros ambientes como pronto socorro, consultórios, quartos, farmácia, entre outros. A tabela 3 mostra os aparelhos do hospital com suas respectivas capacidades de operação:

---

<sup>12</sup> Fonte: <http://www.santalucia.com.br/arcondicionado/arcondicionado-p.htm>



| Localização                 | Quantidade | Potência Frigorífica (Btu/h) | Potência Frigorífica (kW) | Potência Consumo (kW) |
|-----------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| PS                          | 1          | 24000                        | 7,034                     | 2,512                 |
| PS                          | 1          | 24000                        | 7,034                     | 2,512                 |
| Transfusional               | 1          | 30000                        | 8,792                     | 3,140                 |
| PS                          | 1          | 12000                        | 3,517                     | 1,256                 |
| Ultra-Som                   | 1          | 30000                        | 8,792                     | 3,140                 |
| Ecocardiograma              | 1          | 21000                        | 6,154                     | 2,198                 |
| Emergência                  | 1          | 21000                        | 6,154                     | 2,198                 |
| CPD                         | 1          | 18500                        | 5,422                     | 1,936                 |
| Split Nutrição              | 1          | 12000                        | 3,517                     | 1,256                 |
| Janela Suprimentos          | 1          | 12000                        | 3,517                     | 1,256                 |
| Janela Almoxarifado         | 1          | 12000                        | 3,517                     | 1,256                 |
| Split Almoxarifado          | 2          | 18500                        | 10,844                    | 3,873                 |
| Split Farmácia              | 3          | 18500                        | 16,265                    | 5,809                 |
| Janela Segurança            | 1          | 19000                        | 5,568                     | 1,989                 |
| Split Auditório             | 2          | 18500                        | 10,844                    | 3,873                 |
| Split Diretoria             | 1          | 42500                        | 12,456                    | 4,448                 |
| Janela Diretoria            | 5          | 12000                        | 17,584                    | 6,280                 |
| Janela Central Vagas        | 2          | 12000                        | 7,034                     | 2,512                 |
| Split Faturamento           | 1          | 18500                        | 5,422                     | 1,936                 |
| Split Banco                 | 1          | 12000                        | 3,517                     | 1,256                 |
| Split Same                  | 1          | 12000                        | 3,517                     | 1,256                 |
| Split Servidores            | 1          | 12000                        | 3,517                     | 1,256                 |
| Split OBS Feminina          | 1          | 18500                        | 5,422                     | 1,936                 |
| Janela Sala de Gesso        | 2          | 7000                         | 4,103                     | 1,465                 |
| Janela Consultórios Novos   | 2          | 7000                         | 4,103                     | 1,465                 |
| Janela Departamento Pessoal | 2          | 7000                         | 4,103                     | 1,465                 |
| Split Raio X                | 1          | 18500                        | 5,422                     | 1,936                 |
| Janela Repouso Médico       | 1          | 18500                        | 5,422                     | 1,936                 |
| Ar Condicionado Central     | 1          | 840000                       | 246,180                   | 87,921                |
|                             |            | <b>TOTAL</b>                 | <b>434,8</b>              | <b>155,3</b>          |

Tabela 3: Aparelhos de ar-condicionado do Hospital Vila Alpina.

O sistema central de ar-condicionado, composto pelo *chiller* e pelos 13 *fan-coils*, tem capacidade de refrigeração de 70 TR, potência equivalente a  $8,4 \cdot 10^5$  Btu/h e aproximadamente 240 kW de potência frigorífica. Além disso, somam-se 29 aparelhos instalados nas outras localidades do hospital conforme tabela. A potência frigorífica total dos aparelhos é estimada em 434,8 kW como pode ser visto na tabela. Pelo desempenho comum dos aparelhos de ar-condicionado convencionais pesquisados no site do fabricante<sup>13</sup>, estimou-se um coeficiente de desempenho (cop) de

<sup>13</sup> Fabricante Springer: [www.springer.com.br](http://www.springer.com.br)

aproximadamente 2,8 para obter os valores de consumo de energia. Deve-se levar em consideração, ainda, que ao longo de um dia os aparelhos passem cerca de metade do tempo ligado em potência máxima, o que faz com que essa potência frigorífica média necessária seja dividida pela metade, ou seja, algo em torno de 217,4 kW e a potência de consumo em torno de 77,6 kW.

## 5. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA

### 5.1. ENERGIA TÉRMICA DO HOSPITAL

Ao estudar o sistema em questão, deseja-se avaliar a quantidade de energia térmica economizada pela caldeira, pois é ela quem dará a contribuição pela queima de gás natural para aumento de temperatura para a água com o objetivo de fazê-la chegar a 60°C.

Para determinar a quantidade de energia poupada pelo equipamento do hospital, foram coletados alguns dados da entrada de água fria utilizada para consumo no trocador de calor e na saída do mesmo. A diferença de temperatura dessa água tem origem devido ao calor transferido pela mistura água+fluido circulante pela placa.

A seguir, visualiza-se um exemplo na tabela 1 dos dados coletados pelo fabricante no dia 27 de dezembro de 2004:

| 27/dez | Periodo | Temperatura entrada | Temperatura saída | Volume | Energia solar convertida pelo equipamento solar | Energia necessária para obter água a 60°C |
|--------|---------|---------------------|-------------------|--------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|        | h       | °C                  | °C                | m³/h   | kJ                                              | kJ                                        |
|        | 06:00   | 24                  | -                 | -      | -                                               | -                                         |
|        | 07:00   | 24                  | -                 | -      | -                                               | -                                         |
|        | 08:00   | 24                  | -                 | -      | -                                               | -                                         |
|        | 09:00   | 24                  | 27                | -      | -                                               | -                                         |
|        | 10:00   | 24                  | 30                | 1      | 26122                                           | 156731                                    |
|        | 11:00   | 24                  | 33                | 1,4    | 53876                                           | 215506                                    |
|        | 12:00   | 24                  | 36                | 1,5    | 74849                                           | 224548                                    |
|        | 13:00   | 24                  | 39                | 2,1    | 131237                                          | 314970                                    |
|        | 14:00   | 24                  | 43                | 1,8    | 143963                                          | 272773                                    |
|        | 15:00   | 24                  | 44                | 1,4    | 116376                                          | 209477                                    |
|        | 16:00   | 24                  | 46                | 0,6    | 57100                                           | 93436                                     |
|        | 17:00   | 24                  | 45                | 1      | 86152                                           | 147689                                    |
|        | 18:00   | 24                  | 44                | 1,1    | 88747                                           | 159745                                    |
|        | 19:00   | 24                  | 42                | 1,2    | 89668                                           | 179337                                    |

Tabela 4 – Quantidade de energia produzida e requerida pelo hospital

Pela tabela, computa-se que nesse dia a energia solar convertida em térmica pelo equipamento solar é de 868092 kJ, enquanto a energia necessária durante esse período é de 1974211 kJ, o que traz uma economia de 20%. O fabricante realizou medições para alguns dias consecutivos e determinou que a quantidade de energia produzida no final

do período é de 8284025 kJ. Bem como a energia necessária no período considerado é de 16559515 kJ. Porém, há a suposição de que no período da noite (referente a 15 horas), haja um consumo de água em torno de 30% menor, resultando em um aumento de consumo de energia de 19319434 kJ, totalizando assim 35878948 kJ. Logo, para o dia em questão, por exemplo, considerando as hipóteses do fabricante, estima-se em termos da energia total requisitada, um aproveitamento equivalente a:

$$\eta = \frac{8284025}{35878948} = 23,09\%$$

Porém, para ter uma estimativa mais aperfeiçoada, deve-se pensar em algo um pouco mais detalhado e verificar o aproveitamento da radiação solar ao longo do ano. Segundo o fabricante *Heliotek*, as frações de aproveitamento solar no local podem ser determinadas pelo gráfico 1:

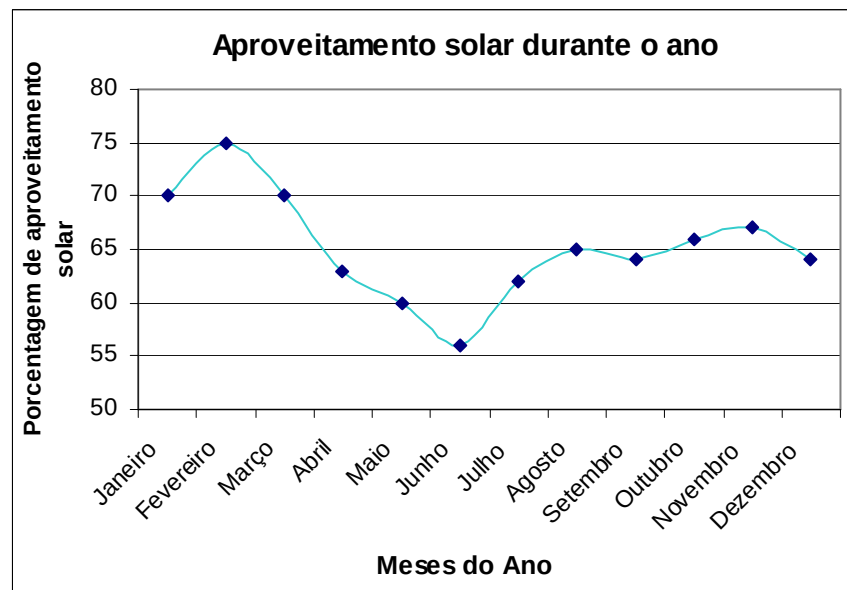


Gráfico 1: Aproveitamento solar durante o ano

Pode-se perceber nitidamente que esse índice de aproveitamento cairá ao longo dos meses frios do ano. Será adotado, portanto, que o índice calculado acima será de 20% como média anual, sendo um resultado bastante expressivo.

$$\eta_{\text{estimado}} = 20\%$$

## 5.2. ENERGIA ELÉTRICA DO HOSPITAL

Conforme foi visto anteriormente, o ciclo de cogeração por absorção é um sistema eficiente e pode ser uma alternativa para a utilização de parte da energia elétrica para suprimento do sistema de ar-condicionado do Hospital Vila Alpina.

Através de estimativa da energia elétrica correspondente à utilização de ar-condicionado do hospital e da medição da energia elétrica total consumida, analisando as variáveis e os parâmetros envolvidos, pode-se calcular a parcela correspondente ao sistema de refrigeração citado. Dessa forma, avalia-se de forma técnico-financeira a implantação de um ciclo de geração de eletricidade através do consumo de gás natural com cogeração por absorção para suprir o sistema de ar-condicionado.

Assim sendo, pode-se fazer uso de um motor a gás natural, pois esse gera energia elétrica e possui uma saída de gases quentes, a qual pode ter ligado um sistema de cogeração por absorção de forma que um *chiller* de água gelada refrigere o ar recirculante. A figura 10 mostra como seria o sistema basicamente:

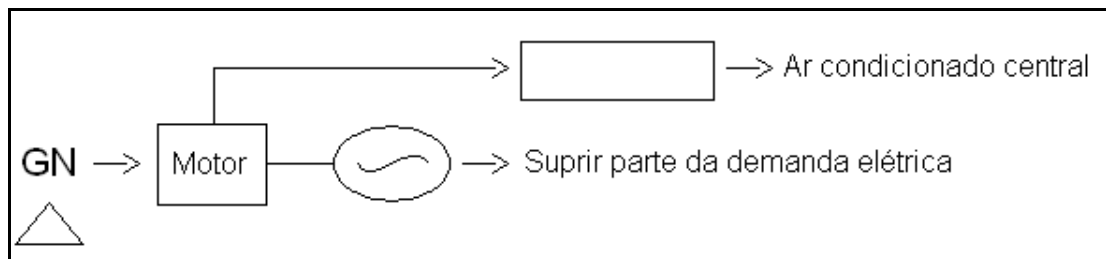
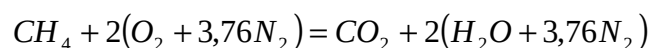


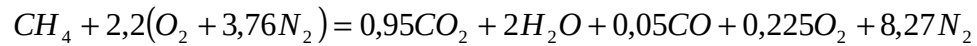
Figura 10: Motor a gás para geração de energia elétrica e cogeração por absorção

Dessa forma, opta-se pela utilização de um motor a gás natural para geração de energia elétrica com utilização de um *chiller* que produz água gelada utilizando o princípio da refrigeração por absorção em sua saída de gases quentes.

Os motores a gás natural apresentam em geral bons desempenhos. A equação da queima do gás natural ideal é:



Mas o que ocorre na prática nos equipamentos combustores é que há a presença de um pouco de excesso de ar e uma pequena quantidade de produtos intermediários da combustão, conforme a reação:



Dessa forma, percebe-se que há um pouco de excesso de ar na queima real e a temperatura na saída de gases é menor que a ideal, o que causa uma diminuição do aproveitamento do poder calorífico do gás.

Para o caso do motor, convém utilizar um equipamento que associado ao sistema de cogeração forneça mais do que 435 kW de potência, já que a média da tabela 2 mostrou-se em torno de 281 kW, o pico mensal em torno de 346 kW e a potência frigorífica do ar-condicionado em 434,8 kW. Um motor alternativo para esse caso é do fabricante General Eletric (GE)<sup>14</sup>, de potência 500 kW, cuja foto apresenta-se na figura 11 abaixo:



Figura 11: Motor a gás da General Eletric para geração de energia elétrica.

Esse motor apresenta rendimento de 36,5%, o que leva a um consumo de 1369 kW. Como o PCI do gás natural é de 36454 kJ, estima-se um consumo de gás conforme tabela a seguir:

|                               |          |                    |
|-------------------------------|----------|--------------------|
| PCI GN                        | 36454    | kJ/m <sup>3</sup>  |
| Potência necessária           | 500      | kJ/s               |
| Consumo do motor              | 1369,863 | kJ/s               |
| Consumo do motor              | 0,037578 | m <sup>3</sup> /s  |
| Valor pago por m <sup>3</sup> | 1,6496   | R\$/m <sup>3</sup> |

<sup>14</sup> Fabricante GE, distribuidor Direct Industry: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es).

|                       |          |         |
|-----------------------|----------|---------|
| Gastos<br>Financeiros | 0,061989 | R\$/s   |
|                       | 223,1622 | R\$/h   |
|                       | 5355,892 | R\$/dia |
|                       | 166032,6 | R\$/mês |

**Tabela 5: Consumos do motor de 500 kW**

Dessa forma, poderá ser utilizado um chiller correspondente para suprir parte do sistema de ar-condicionado. Assim, uma parte da energia elétrica será suprimida. O sistema de energia elétrica do hospital poderá continuar ligado à rede para o caso de um pico diário extrapolar a capacidade do motor.

### 5.3. RESULTADOS

#### 5.3.1. Economia no sistema térmico

O gás natural é um importante recurso energético para os mais variados fins. Trata-se de um combustível com poucas impurezas, e renovável. Porém, deve-se economizar ao máximo sua queima, uma vez que o combustível não é gratuito.

Dessa maneira, conforme exposto acima, com a economia gerada no consumo de gás, pode-se determinar essas quantidades economizadas em m<sup>3</sup>, mostradas na tabela 6:

| Meses do Ano | Consumo medido de GN (em m <sup>3</sup> ) | Valores pagos (em R\$) | Aprov energético no mês           | Valor em R\$/m <sup>3</sup> | Consumo de GN sem equip solar em (m <sup>3</sup> ) | Economia de gás (em m <sup>3</sup> ) | Economia em R\$/mês |
|--------------|-------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| ago/05       | 18799                                     | 29422,77               | 0,20                              | 1,5651                      | 23498,8                                            | 4699,8                               | 7355,69             |
| set/05       | 20719                                     | 32223,55               | 0,20                              | 1,5553                      | 25898,8                                            | 5179,8                               | 8055,89             |
| out/05       | 15742                                     | 25016,30               | 0,20                              | 1,5891                      | 19677,5                                            | 3935,5                               | 6254,08             |
| nov/05       | 20130                                     | 32359,85               | 0,20                              | 1,6075                      | 25162,5                                            | 5032,5                               | 8089,96             |
| dez/05       | 17459                                     | 27438,66               | 0,20                              | 1,5716                      | 21823,8                                            | 4364,8                               | 6859,67             |
| jan/06       | 18322                                     | 29468,22               | 0,20                              | 1,6084                      | 22902,5                                            | 4580,5                               | 7367,06             |
| fev/06       | 16661                                     | 29250,72               | 0,20                              | 1,7556                      | 20826,3                                            | 4165,3                               | 7312,68             |
| mar/06       | 22234                                     | 38238,37               | 0,20                              | 1,7198                      | 27792,5                                            | 5558,5                               | 9559,59             |
| abr/06       | 22062                                     | 37369,87               | 0,20                              | 1,6939                      | 27577,5                                            | 5515,5                               | 9342,47             |
| mai/06       | 22418                                     | 38739,35               | 0,20                              | 1,7280                      | 28022,5                                            | 5604,5                               | 9684,84             |
| jun/06       | 24428                                     | 41260,28               | 0,20                              | 1,6891                      | 30535,0                                            | 6107,0                               | 10315,07            |
| jul/06       | 20073                                     | 34366,78               | 0,20                              | 1,7121                      | 25091,3                                            | 5018,3                               | 8591,70             |
|              |                                           |                        | Preço médio em R\$/m <sup>3</sup> | 1,6496                      | <b>TOTAL</b>                                       | 59761,75                             | 98788,68            |

Tabela 6- Valores de consumo de gás natural de set-05 a ago-06

Conclui-se com essa tabela que o montante economizado de gás natural no período passa de 59.700 m<sup>3</sup>, o que implica em uma economia de quase R\$ 100.000 por ano, uma quantia expressiva para a compra de suprimentos para o hospital. Levando-se em conta que o equipamento solar completo foi comprado no valor de aproximadamente R\$ 160.000,00, o retorno do valor investido se dará em pouco mais de um ano. Considerando dados fornecidos do Banco Central do Brasil para o ano passado, a taxa de juros anual foi de 13% e a inflação de 5%. Utilizando o conceito de valor presente obtemos que o tempo de retorno pode ser dado por:



$$VP = M \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \Leftrightarrow 160000 = 100000 \cdot \frac{(1+0,13)^n - 1}{0,13 \cdot (1+0,13)^n} \Leftrightarrow$$

$$\boxed{n = 1,91} \text{ anos ou } \boxed{n = 23} \text{ meses}$$

### 5.3.2. Economia no sistema elétrico

O motor a gás natural escolhido, que seria utilizado pelo hospital para substituição do sistema elétrico que utiliza energia elétrica da rede, apresenta bom desempenho. Porém, em termos financeiros, o mesmo já não pode ser aceito, uma vez que seus custos de operação apresentaram valores muito maiores em relação ao atual, que utiliza energia elétrica da rede de energia.

O sistema de utilização de um motor a gás natural apresentou-se um pouco fora do ideal. A utilização de tal sistema prevê um gasto mensal de R\$ 166.000,00, valor monetário que ultrapassa a conta de energia elétrica mensal atual em ampla vantagem.

## 6- CONCLUSÃO

O sistema de aquecimento solar é uma opção para evitar gastos tanto materiais quanto financeiros, além de ser mais ecologicamente correto. Idealmente pode-se tê-los para suprir toda a demanda de energia e assim seriam evitados gastos com manutenção de caldeiras, utilização e controle de GN, mas o número de coletores solares seria muito grande. O equipamento tem alto custo inicial e necessita de um tempo considerável para que se pague. É importante determinar esse tempo de retorno pois se o mesmo for alto, o investimento se torna impróprio para um hospital se comparado com algum outro equipamento que poderia suprir uma outra necessidade vigente do hospital e que pudesse servir melhor a pacientes, daí a razão da análise.

A implementação de um sistema a gás para substituir a demanda de energia elétrica da rede pode ser uma alternativa inviável, visto que o consumo de gás natural mostra-se muito superior financeiramente em relação ao consumo de energia elétrica da rede. Sugere-se um estudo mais aprimorado com dados de consumo mais próximos do real e com custos de sistemas a fim de estudar a viabilidade da solução proposta: a implementação de um motor a gás para gerar eletricidade.

## 7- BIBLIOGRAFIA

DUFFIE, J.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**: second edition. United States of America: Wiley Interscience Publication, 1991. 919p.

MOREIRA, J.G.S. **Energia solar no Brasil: o uso de coletores planos para o aquecimento de água**: Rio de Janeiro, 1985.

OLIVEIRA JÚNIOR, S. de; CESPEDES, J.F.P. **Análise termoeconômica de plantas de cogeração**: *Revista Brasileira de Engenharia Química*, nº4, dez 1997/ jan 1998, pp21-27.

OLIVEIRA JÚNIOR, S. de; TRIBESS, A.; NETO, A.H.; FIORELLI, F.A.S. **Sistemas de refrigeração por absorção**: São Paulo, 2004. 32p.

VAN WILEN, GORDON J. **Fundamentos da Termodinâmica**: second edition. Brasil: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998. 537p.

Aonde vamos. Disponível em:

<<http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto04.htm>>. Acesso em 13 de outubro de 2006.

Aquecedores Solares. Disponível em:

<<http://www.heliotek.com.br/>>. Acesso em 18 abril de 2006.

Aquecedores Solares. Disponível em:

<<http://www.soletrol.com.br/>>. Acesso em: 18 abril de 2006.

Centro Tecnológico de Gás – CTGás. Disponível em:

< <http://www.ctgas.com.br>>. Acesso em: 16 de outubro de 2006.

Chillers para refrigeração. Disponível em:

<[http://www.alibaba.com/productsearch/Machine\\_Chiller.html](http://www.alibaba.com/productsearch/Machine_Chiller.html)>. Acesso em 05 de novembro de 2006.

Comgás – Ar-condicionado. Disponível em:

<<http://www.comgas.com.br/templates/index.asp>>. Acesso em: 02 de setembro de 2006.

Cresesb – Cepel. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm#item-31>>. Acesso em 14 de abril de 2006

Direct Industry – Motores a gás. Disponível em:

<<http://www.directindustry.es>>. Acesso em 14 de setembro de 2006.

Enciclopédia Wikipedia. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_solar](http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar)>. Acesso em 05 junho de 2006.

Energia solar – Princípios e Aplicações. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm>>. Acesso em: 12 abril de 2006.

Energia solar – Princípio de Funcionamento. Disponível em:

<<http://educar.sc.usp.br/licenciatura/1999/princ.html>>. Acesso em: 08 abril de 2006.

Energia - Racionalização de Energia. Disponível em:

<<http://www.energias.com.br/energia/racionalizacao.htm>>. Acesso em: 21 de julho de 2006.

Gasnet – Artigos. Disponível em:

<[http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos\\_view2.asp?cod=56](http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos_view2.asp?cod=56)>, Acesso em 18 de agosto de 2006.

Instituto de Astronômico e Geofísico. Disponível em:

<<http://www.iag.usp.br/>>. Acesso em 25 de maio de 2006.

Ministério de Minas e Energia. Disponível em:

<[http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=1432](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432)>.

Acesso em 02 de novembro de 2006.

Petrobrás na Mídia. Disponível em:

<<http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf#http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf/0/BAD638D8FA51F04303256DAD004CDAEE?OpenDocument&Senegia>>. Acesso

em 3 de novembro de 2006.

Poli Energia e Automação – PEA. Disponível em:

<<http://www.pea.usp.br/>>. Acesso em 02 de outubro de 2006.

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL. Disponível em:

<<http://www.eletrobras.gov.br/>>. Acesso em 02 de outubro de 2006.

Scielo Proceedings. Disponível em:

<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100025&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100025&script=sci_arttext)>. Acesso em 03 de novembro de 2006.

Seconci SP. Disponível em:

<<http://www.seconci-sp.org.br/>>. Acesso em 12 de abril de 2006.

Springer. Disponível em:

<<http://www.springer.com.br/>>. Acesso em 17 de outubro de 2006.

Stemac – Grupos Geradores. Disponível em:

<[http://www.stemac.com.br/content/produtos/prod\\_gasnatural\\_tabela.asp?Feature\\_id=27&line\\_id=224](http://www.stemac.com.br/content/produtos/prod_gasnatural_tabela.asp?Feature_id=27&line_id=224)>. Acesso em 15 de novembro de 2006.

Universidade Federal do Paraná: Disponível em:

<<http://fisica.ufpr.br>>. Acesso em 13 de maio de 2006.

Wikipedia, a enciclopédia livre. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o\\_solar](http://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_solar)>. Acesso em 6 de abril de 2006.

World Meteorological Organization. Disponível em:

<<http://www.wmo.ch/index-en.html>>. Acesso em 05 junho de 2006.



Desenho Heliotek de arranjo dos equipamentos.

