



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**PAULO CÉSAR FAUSTINO**

**ESTUDO DO COEFICIENTE DE TEMPERATURA EM CÉLULAS  
FOTOVOLTÁICAS**

Taubaté - SP  
2018



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**PAULO CÉSAR FAUSTINO**

**ESTUDO DO COEFICIENTE DE TEMPERATURA EM CÉLULAS  
FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Graduação apresentado ao Coordenador de Trabalho de Graduação do curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

Orientador (a): Rubens Castilho Júnior

Taubaté - SP  
2018



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **ESTUDO DO COEFICIENTE DE TEMPERATURA EM CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

**PAULO CÉSAR FAUSTINO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA”

### **BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Me. RUBENS CASTILHO JÚNIOR**

**Orientador/UNITAU-DEE**

**Me. CARLOS HENRIQUE SILVA MOURA**

**UNITAU-DEE**

**Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES**

**UNITAU-DEE**

**Dezembro de 2018**



**UNITAU**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a minha família por estarmos sempre unidos me apoiando e me incentivando principalmente nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus avós e meu irmão que tiveram um papel fundamental para a execução do trabalho bem como em todo o decorrer do curso.

Agradeço aos professores do departamento de engenharia da UNITAU pelo seu ótimo trabalho possibilitando a formação profissional de cada aluno.

Agradeço também a todos os funcionários, especialmente às secretarias do departamento de engenharia elétrica pelo seu excelente atendimento, às funcionárias da biblioteca, aos porteiros que zelaram pela segurança dos alunos e demais funcionários, aos responsáveis pela manutenção do prédio e de toda sua mobília, em especial ao engenheiro de manutenção Anésio Veloso Sobrinho, com quem tive o prazer de passar várias horas de estágio, o qual contribuiu muito para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço também ao técnico do setor de manutenção Marcus Teixeira por me auxiliar e dar algumas dicas importantes para minha carreira bem como para a realização de algumas atividades.

Agradeço a todos professores, todos funcionários, que direta ou indiretamente me ajudaram, de uma maneira especial ao Professor Rubens Castilho Junior, Professor Eder Salim Minhoto chefe do departamento de engenharia elétrica da universidade de Taubaté, Professor Marcelo Pinheiro Werneck, Professor Márcio Abud Marcelino, e Professor Luis Otávio Matos dos Reis (Pará), que ao longo desses anos dedicaram seu tempo e esforços para que esse curso pudesse ser concluído com sucesso.

Gostaria de agradecer também a todos os meus amigos e colegas de classe, especialmente aos amigos Lucas Miguel Sant'Ana, Hércio do Carmo Ribeiro, Leonardo Galvão de Carvalho, Caio Chicarino, Yves Luiz Ferreira e Ana Carolina Consolino que tiveram um papel fundamental na minha formação me auxiliando com exercícios e principalmente tornando o dia a dia na faculdade menos desgastante fazendo com que pudesse me concentrar e participar mais das aulas bem como estar presente quase todos os dias no decorrer desses 5 anos.

Finalmente agradeço ao meu professor orientador que esteve comigo desde do trabalho sempre me auxiliando da melhor maneira possível, dando dicas importantes que pudesse seguir no rumo certo.

Agradeço de uma forma geral a todos que contribuíram indiretamente e estiveram comigo no decorrer dessa etapa da minha vida, hoje só estou aqui graças a participação de cada

um de vocês, apesar de todas as dificuldades encontradas no decorrer do caminho fica mais fácil quando estamos em equipe, muitas vezes acabam passando despercebidos, mas nem por isso são menos importantes, como por exemplo o serviço de atendimento ao consumidor da loja minha casa solar, em especial a funcionária Grazielle Castro pelo seu ótimo atendimento, clareza e rapidez.

## RESUMO

Iniciaremos o trabalho fazendo uma rápida introdução das partes que compõe o sol, suas respectivas características e função, falaremos também a respeito da reação de fusão nuclear que ocorre em seu núcleo transformando hidrogênio em hélio e como ocorre a liberação de energia, veremos como essa energia chega até nosso planeta e as vantagens e desvantagens.

Este trabalho aborda também as principais partes que compõem um painel solar, suas características e funções, dando destaque para a parte mais importante que são as Células Fotovoltaicas, iniciaremos com uma breve história do seu surgimento, como eram fabricadas e a utilização, a seguir falaremos de como são compostas atualmente, materiais utilizados, tipos de junções processo de fabricação. A energia solar é uma forma de geração limpa e renovável que vem se destacando no mercado mundial, pelo fato de não causar impactos ao meio ambiente, utilizada principalmente em geração distribuída o que reduz significativamente os custos da transmissão e distribuição de energia elétrica uma vez que a energia é gerada próxima aos centros consumidores.

A maioria das células existentes no mercado atual são fabricadas com silício, material semicondutor que apresenta baixo custo se comparado aos demais e, portanto, um rendimento inferior ao do arsenieto de gálio por exemplo, que é destinado especificamente para indústria aeroespacial.

O trabalho também traz uma breve introdução de como é gerada a energia elétrica nos painéis fotovoltaicos, isso nos permite ter uma noção básica do que ocorre na estrutura do semicondutor e os fatores que influenciam na perda de potência em um sistema fotovoltaico.

Vamos dar ênfase para a diminuição devido ao aumento de temperatura na junção, e fazer um levantamento da energia que deixa de ser gerada devido ao aumento da temperatura, ao final do projeto iremos propor um sistema com o objetivo de amenizar o aumento da temperatura dos painéis quando expostos ao sol.

Para entender melhor como o sistema de controle da temperatura irá funcionar, vamos fazer uma breve introdução sobre sistemas de aquecedores solares, com isso teremos o conhecimento básico necessário para compreender melhor o que será proposto.

Faremos também uma comparação dos dados obtidos no ensaio considerando as condições do ambiente com os fornecidos pelo fabricante, com isso saberemos como será o comportamento do painel em uma situação real de uso na qual será submetido diariamente.

Para finalizar iremos fazer um levantamento levando em conta o custo aproximado do que seria investido na instalação do sistema e a economia que será gerada quando este estiver em funcionamento, levando em consideração não só a energia que será gerada a mais pelos painéis, mas também a que será economizada com o aquecimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** células fotovoltaicas, características, materiais, composição, utilização, fabricação, silício, semicondutor, arsenieto de gálio, temperatura na junção PN, perda de potência, resfriamento de painéis solares, coeficiente de temperatura do painel solar, sistemas híbridos.

## ABSTRACT

We will start the work by making a quick introduction of the parts that make up the sun, their respective characteristics and function, we will also talk about the nuclear fusion reaction that happens in its nucleus transforming hydrogen into helium and how the energy release occurs, we will see how this energy reaches our planet and the advantages and disadvantages.

This work also covers the main parts that make up a solar panel, its characteristics and functions, highlighting the most important part is the Photovoltaic Cell, we will start with a brief history of its appearance, how they were manufactured and the use, of how they are currently compounded, materials used, types of joints manufacturing process. Solar energy is a form of clean and renewable generation that has been standing out in the world market, because it does not cause impacts to the environment, used mainly in distributed generation, which significantly reduces the transmission and distribution costs of electric energy since the energy is generated close to the consumer centers.

Most of the existing cells on the market today are made from silicon, a semiconductor material that is inexpensive compared to others and therefore a lower yield than gallium arsenide for example, which is specifically intended for the aerospace industry.

The work also brings a brief introduction of how electricity is generated in photovoltaic panels, this allows us to have a basic notion of what happens in the structure of the semiconductor and the factors that influence the loss of power in a photovoltaic system.

Let's emphasize the decrease due to the increase in temperature at the junction, and make a survey of the energy that is no longer generated due to the increase in temperature, at the end of the project we will propose a system with the aim of softening the temperature increase of the panels when exposed to the sun.

To better understand how the temperature control system will work, let's make a brief introduction on solar heating systems, with this we will have the basic knowledge needed to better understand what will be proposed.

We will also make a comparison of the data obtained in the test considering the con the environment with those provided by the manufacturer, with this we will know behavior of the panel will be in a real situation of use in which it will be submitted daily.

Finally we will make a survey taking into account the approximate cost of what would be invested in the installation of the system and the savings that will be generated when it is in operation, taking into account not only the energy that will be generated more by the panels, but also the which will be saved with heating.

**KEYWORDS:** photovoltaic cells, characteristics, materials, composition, use, fabrication, silicon, semiconductor, gallium arsenide, PN junction temperature, power loss, solar panel cooling, solar panel temperature coefficient, hybrid systems.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 O SOL:</b> .....	<b>19</b>
2.1 ESTRUTURA SOLAR: .....	20
2.1.1 NÚCLEO SOLAR: .....	22
2.1.1.1 Produção de energia:.....	22
2.1.2 ZONA DE RADIAÇÃO: .....	23
2.1.2 ZONA DE CONVECCÃO:.....	24
2.1.3 FOTOSFERA: .....	25
2.1.4 ATMOSFERA SOLAR:.....	25
2.2 CAMPO MAGNÉTICO SOLAR: .....	26
2.3 LUZ SOLAR: .....	27
2.4 EVOLUÇÃO E DESTINO DO SOL: .....	27
<b>3 NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO MUNDO</b> .....	<b>29</b>
3.2 VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL:.....	31
<b>4 ENERGIA HELIOTÉRMICA:</b> .....	<b>33</b>
4.1 AQUECIMENTO DE CALDEIRAS PARA PROCESSOS INDUSTRIAIS: .....	33
4.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA:.....	34
4.3 TIPOS DE MECANISMOS DE REFLEXÃO E CONCENTRAÇÃO DE LUZ: .....	35
4.3.1 CALHA PARABÓLICA: .....	35
4.3.2 FRESNAL: .....	36
4.3.3 TORRE SOLAR: .....	36
4.3.4 DISCO PARABÓLICO: .....	37
4.4 FUNCIONAMENTO DE UMA USINA HELIOTÉRMICA: .....	38
<b>5 HISTÓRICO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS</b> .....	<b>40</b>
<b>6 ESTRUTURA E EFEITO FOTOVOLTAICO</b> .....	<b>42</b>
<b>7 COMPOSIÇÃO DE UM PAINEL SOLAR</b> .....	<b>45</b>
7.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	45
7.2 VIDRO TEMPERADO ESPECIAL.....	45
7.3 FILME ENCAPSULANTE – EVA.....	46
7.4 BACKSHEET .....	47
7.5 CAIXA DE JUNÇÃO .....	47
7.6 MOLDURA EM ALUMÍNIO .....	48
<b>8 PRINCIPAIS TIPOS DE CÉLULAS</b> .....	<b>49</b>

8.1 CÉLULAS MONO-CRISTALINAS .....	49
8.2 CÉLULAS POLI-CRISTALINAS .....	49
8.3 CÉLULAS DE SILÍCIO AMORFO .....	50
8.4 CÉLULAS DE FILMES FINOS .....	51
<b><u>9 AQUECEDORES SOLAR .....</u></b>	<b><u>52</u></b>
9.1 AQUECIMENTO DA ÁGUA PELO SOL .....	52
<b><u>10 COMPONENTES DE UM AQUECEDOR SOLAR .....</u></b>	<b><u>53</u></b>
10.1 COLETOR SOLAR .....	53
10.2 RESERVATÓRIO TÉRMICO .....	54
10.3 AQUECIMENTO AUXILIAR .....	55
10.4 TUBOS E CONEXÕES .....	57
<b><u>11 PERDAS DEVIDO A TEMPERATURA .....</u></b>	<b><u>58</u></b>
11.1 COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA TENSÃO .....	58
11.2 COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA CORRENTE .....	58
11.3 COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA POTÊNCIA .....	59
<b><u>12 SISTEMAS HÍBRIDOS .....</u></b>	<b><u>60</u></b>
<b><u>13 ESTRUTURA .....</u></b>	<b><u>61</u></b>
13.1 ESCOLHA DO TIPO DE TROCADOR DE CALOR: .....	61
13.2 MATERIAIS UTILIZADOS E CUSTOS PARA A REALIZAÇÃO DO PROJETO: .....	62
13.2.1 PAINEL FOTOVOLTAICO: .....	62
13.2.2 CUSTO PARA A INSTALAÇÃO DE UM PAINEL HÍBRIDO: .....	62
<b><u>14 MONTAGEM .....</u></b>	<b><u>63</u></b>
<b><u>15 FUNCIONAMENTO .....</u></b>	<b><u>64</u></b>
<b><u>16 TESTES E RESULTADOS .....</u></b>	<b><u>64</u></b>
<b><u>17 REFERÊNCIAS .....</u></b>	<b><u>72</u></b>
<b><u>18 ANEXO 1: DATASHEET PAINEL CS6K-275P .....</u></b>	<b><u>74</u></b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a busca crescente por fontes alternativas de energia, iniciou-se o estudo do aproveitamento da energia luminosa proveniente do sol, esse processo teve origem em 1839 quando Becquerel demonstrou a possibilidade da utilização da radiação luminosa do sol para a geração de energia elétrica. E em 1883 é produzida na Inglaterra a primeira célula solar com um rendimento de apenas 1%.

O aumento constante da demanda de energia elétrica e a escassez de recursos não renováveis que são a principal fonte de energia atual, fez com que surgisse a necessidade da busca por novas formas de geração que pudessem suprir um mercado com dependência cada vez maior de forma limpa e sustentável, dentre essas fontes de energia podemos citar as usinas hidrelétricas, usinas eólicas e solares.

Uma grande vantagem da energia solar é a geração distribuída, que é gerada próximo aos grandes centros consumidores, reduzindo significativamente os custos e investimentos na transmissão e distribuição.

O avanço da ciência possibilitou que novas técnicas e novos materiais fossem utilizados na fabricação das células fotovoltaicas, que atualmente algumas categorias podem fornecer um rendimento de aproximadamente 50%, mas por outro lado tem seu uso restrito, devido ao alto custo de fabricação, são utilizadas apenas onde se dá a necessidade de diminuir ao máximo a área a ser ocupada pelos painéis, como por exemplo em satélites e equipamentos aeroespaciais.

Nos últimos anos o preço da geração solar diminuiu significativamente, o que incentivou o investimento de alguns países no ramo, mas o preço ainda é caro se comparado a termoelétricas que são predominantes no mundo todo e principalmente às hidrelétricas que são responsáveis pela maior parte da matriz energética brasileira.

Um dos motivos pelos quais a energia fotovoltaica ainda não está sendo amplamente utilizada é devido ao baixo rendimento dos painéis, apesar da melhora significativa nos últimos anos ainda estamos longe de ter um bom rendimento se comparado ao de uma termoelétrica que chega próximo a 50% ou de uma hidrelétrica na qual aproximadamente 90% da energia potencial da água é transformada em elétrica.

Por se tratar de um material semicondutor, os painéis fotovoltaicos têm uma diminuição no seu rendimento devido ao aumento excessivo da temperatura, que será o tema principal desse trabalho, vamos estudar melhor as perdas causadas por ela e propor um sistema com a finalidade de amenizar esses efeitos.

O objetivo principal desse projeto é mensurar de forma prática os efeitos do aumento da temperatura em um sistema de geração fotovoltaica, para isso será utilizado um painel solar da marca Canadian, também será feita uma comparação entre os dados levantados nos testes e os informados na ficha técnica pelo fabricante do produto.

Ao final faremos uma proposta de uma melhoria para possível diminuição da temperatura, onde essa poderá ser reaproveitada para outras finalidades graças a utilização de um sistema híbrido que será montado.

Feito isso, seguem a conclusão e as referências.

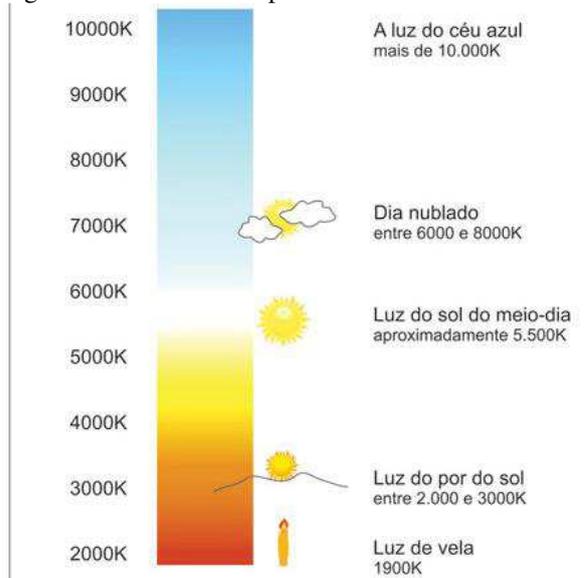
## 2 O SOL:

O Sol é a estrela central do Sistema Solar. Todos os outros corpos do Sistema Solar, como planetas, planetas anões, asteroides, cometas e poeira, bem como todos os satélites associados a estes corpos, giram ao seu redor. Responsável por 99,86% da massa do Sistema Solar, localizado a uma distância de 150 milhões de quilômetros da Terra, ou uma unidade astronômica (UA), distância essa que pode variar de acordo com a época do ano entre 147,1 milhões de quilômetros (0,9834 UA) no perélio ou periélio, período entre os meses de dezembro e janeiro, e uma distância máxima de 152,1 milhões de quilômetros (1,018 UA) no afélio, período compreendido entre os meses de junho e julho. A radiação solar demora aproximadamente 8 minutos e 8 segundos para percorrer essa distância e atingir a superfície terrestre.

É composto basicamente por hidrogênio (74% de sua massa, ou 92% de seu volume) e hélio (24% da massa solar, 7% do volume solar), e o restante por outros elementos, incluindo ferro, níquel, oxigênio, silício, enxofre, magnésio, néon, cálcio, crômio e outros.

O sol é classificado de acordo com sua classe espectral em **G2V**, onde a sigla G2 devido a sua cor branca (apesar de ser visto da superfície da terra com uma cor amarelada devido à dispersão dos raios solares que acontecem na camada atmosférica), a cor branca se deve ao fato de sua temperatura superficial estar em torno de 5778K ou 5505°C. Podemos observar na escala da figura a seguir (figura 01) as temperaturas em Kelvin e suas respectivas cores.

Figura 01: Escala de temperatura da luz



Fonte: Arquisefaz.com

O V (número 5 em algarismos romanos) indica que o sol, assim como a maioria das outras estrelas, faz parte da sequência principal na classe espectral. O que significa a geração de energia pelo método da fusão de núcleos de hidrogênio resultando em moléculas de hélio, na Via Láctea existem mais de 100 milhões de estrelas nessa mesma categoria e acredita-se que o sol é atualmente mais brilhante que 85% delas.

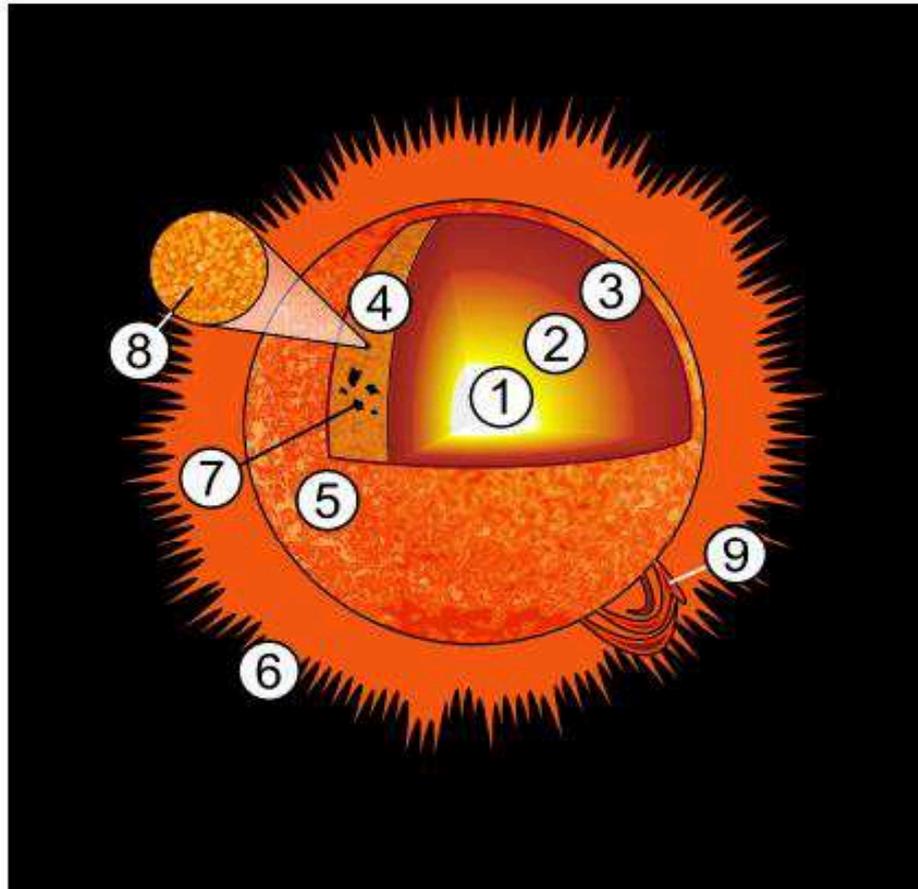
## **2.1 Estrutura solar:**

O sol, assim como as outras estrelas, é um astro em formato esférico composto por materiais em estado de plasma onde as forças que agem em seu interior encontram-se em equilíbrio hidrostático. Partindo do núcleo em sentido à camada superficial temos a força exercida pela pressão termodinâmica que são originadas pelas altas temperaturas em seu interior. Em sentido oposto, em direção ao núcleo, temos a força gravitacional que é gerada pela atração das partículas em direção a um ponto central. Aproximadamente 99,86% da massa do sistema solar está no sol, seu formato é de uma esfera quase perfeita, diferenciando apenas em 10Km entre seu diâmetro polar e o diâmetro equatorial.

Por ser rico em elementos pesados, o sol é uma estrela pertencente a população I e pode ter se formado a partir de ondas resultantes da explosão de uma ou mais supernovas, os metais pesados presentes no sol são originários de reações nucleares que ocorreram em supernovas antigas ou da transmutação nuclear por captura de nêutrons.

Sua superfície não é bem definida como a de planetas rochosos, e a densidade das camadas vão diminuindo de acordo com aumento da distância do núcleo, na figura 02 podemos observar como é feita sua divisão por camadas e suas respectivas nomenclaturas.

Figura 02: Estruturas e camadas do sol



*Uma ilustração da estrutura do Sol:*

1. Núcleo
2. Zona de radiação
3. Zona de convecção
4. Fotosfera
5. Cromosfera
6. Coroa
7. Mancha solar
8. Grânulos
9. Proeminência solar

Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/evolucao-estelar/>

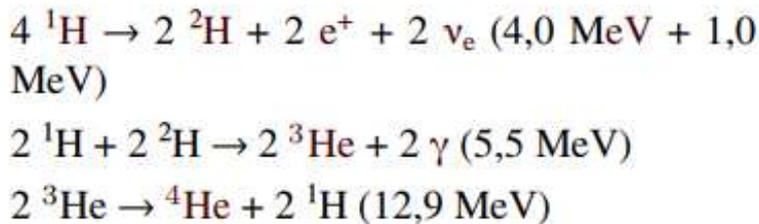
A região interna do sol está dividida em três partes diferentes: núcleo onde ocorrem as reações nucleares e a liberação de energia pelo processo de fusão nuclear, zona radiativa e zona de convecção.

### 2.1.1 Núcleo solar:

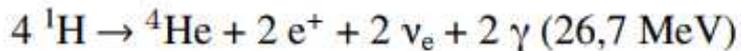
Estima-se que o núcleo solar vai do centro até uma distância equivalente a 25% do seu raio, sua densidade é de  $150\text{g/cm}^3$  (150 vezes mais denso se comparada com a da água). A fusão nuclear é responsável pela maior parte da energia que é produzida no sol onde o hidrogênio é convertido em hélio, essa fusão nuclear ocorre apenas no núcleo, sendo esse responsável pela geração de energia, as outras camadas são aquecidas pelo núcleo e transportam a energia produzida para as camadas mais externas para que possam ser liberadas ao espaço em forma de ondas eletromagnéticas ou energia cinética através de partículas.

#### 2.1.1.1 Produção de energia:

O processo de fusão de hidrogênio ocorre de acordo com a seguinte cadeia de reações chamada de cadeia próton-próton:



A equação acima pode ser resumida resultando em:

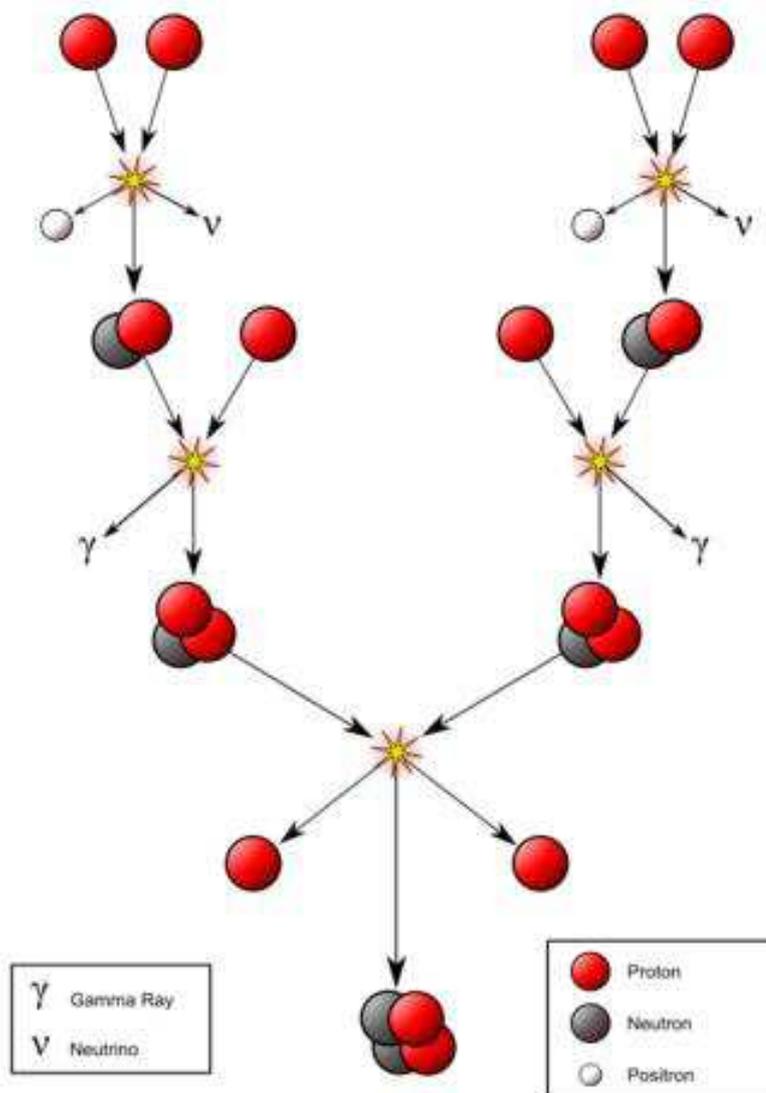


A massa do sol é composta por  $8,9 \times 10^{56}$  núcleos de hidrogênio (prótons livres) com a reação acontecendo  $9,2 \times 10^{37}$  vezes por segundo. Como resultado dessa reação temos a conversão de 0,7% da massa em energia, resultando em um total de 383 otta-watts por segundo.

Na figura a seguir (Figura 03) podemos observar melhor a reação e em que parte dela os raios gama são liberados.

Os fótons gerados no núcleo solar são absorvidos pelos núcleos presentes no plasma das outras camadas e reemitidos em uma direção diferente, como consequência desse processo temos um longo período de tempo que leva para ser liberado na superfície que pode variar de 10 a 170 mil anos. Quando chegam na fotosfera, os raios gama são convertidos em fótons visíveis para então serem liberados no espaço.

Figura 03: Diagrama da cadeia próton-próton e geração de energia por fusão nuclear.

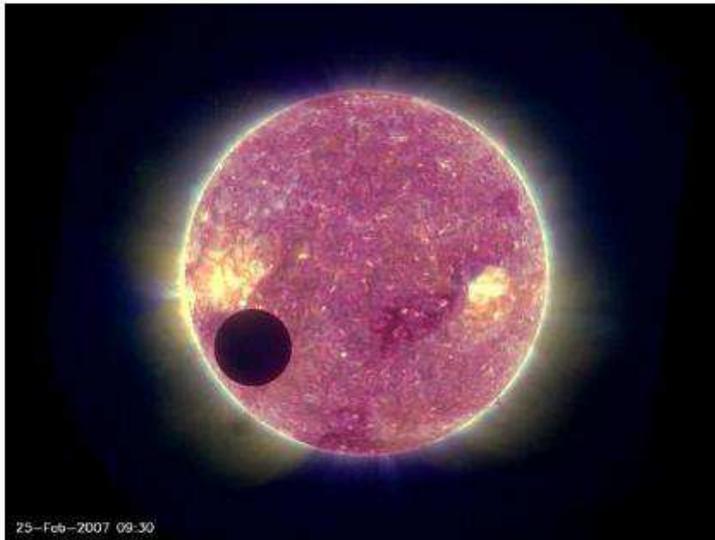


Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/evolucao-estelar/>

### 2.1.2 Zona de Radiação:

O espaço compreendido entre 0,25 e 0,7 do raio solar recebe o nome de Zona de Radiação, nessa região, a densidade é grande demais para que ocorra a convecção, o calor produzido no núcleo passa para as camadas externas por radiação térmica, na figura 04 podemos observar uma imagem dessa zona capturada por uma câmera ultravioleta.

Figura 04: Zona de Radiação solar:



Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/evolucao-estelar/>

Entre a camada de convecção e a camada de radiação, existe uma camada de transição chamada de taoclina, é nessa camada que ocorre a mudança entre as rotações uniforme da zona radiativa e a rotação diferencial da zona de convecção, acredita-se que o campo magnético solar é gerado nessa camada devido as altas tensões de cisalhamento funciona como um dínamo magnético.

### 2.1.2 Zona de Convecção:

Está localizada ente entre 0,7 raios solares e a superfície, nessa região a densidade e a temperatura não permitem que o calor produzido no núcleo seja transferido por radiação. O material localizado mais próximo do núcleo recebe calor e vai em direção às camadas mais externas, quando chega a superfície libera o calor diminuindo sua temperatura o que faz com que retorne em direção ao núcleo e o ciclo recomeça, na figura a seguir podemos observar como esse processo ocorre indicado pelas setas.

Figura 05: movimentação na zona de convecção solar.

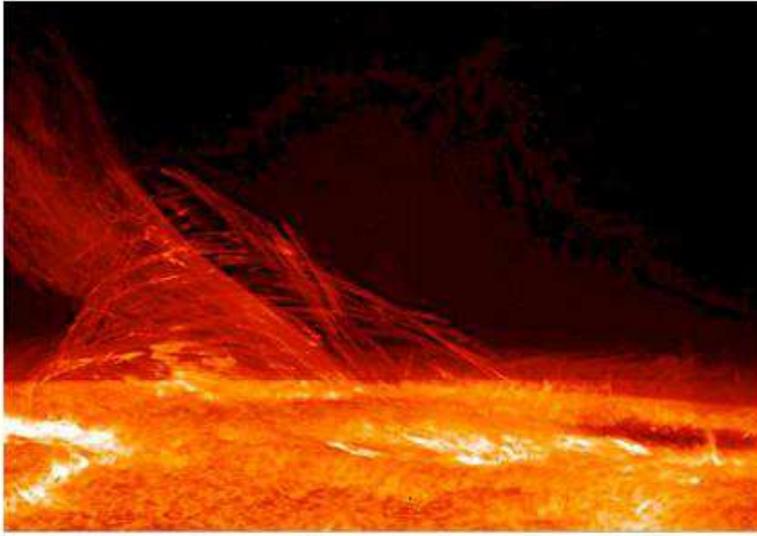


Fonte: [petquim.wordpress.com](http://petquim.wordpress.com)

### 2.1.3 Fotosfera:

Fotosfera (Figura 06) é a camada superficial do sol que pode ser vista, nessa camada ocorre a liberação da luz para que possa se propagar pelo espaço, estima-se que a fotosfera tenha em torno de 300Km de espessura em média, podendo variar desde algumas dezenas de quilômetros em algumas regiões.

Figura 06: Camada superficial do sol, Fotosfera.



Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/evolucao-estelar/>

### 2.1.4 Atmosfera Solar:

Atmosfera solar é uma camada com densidade menor que envolve toda a superfície do sol, seu volume é muito maior do que o do sol propriamente dito, está dividida em 5 camadas onde a mais externa compreende todo o espaço do sistema solar, envolvendo todos os astros e planetas nele existente. Na figura 07 a seguir podemos observar a camada da atmosfera mais próxima ao sol onde a densidade das moléculas é maior e por isso pode ser visível mais facilmente com a ajuda de um telescópio capaz de identificar ondas eletromagnéticas.

A heliosfera (figura 08) que é a cavidade em torno do Sol preenchida com o plasma do vento solar, estende-se de 20 raios solares até o limite do Sistema Solar, é caracterizada pela presença do vento solar que sopra partículas que se originaram no sol em direção às extremidades do sistema solar até a região denominada heliopausa, que pode ser encontrada a uma distância superior a 50 raios solares.

Figura 07: Atmosfera solar.

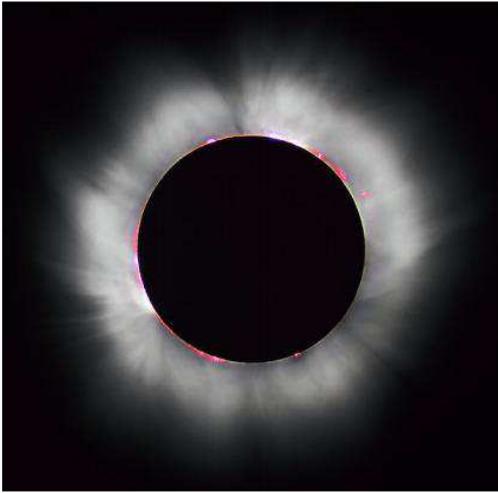
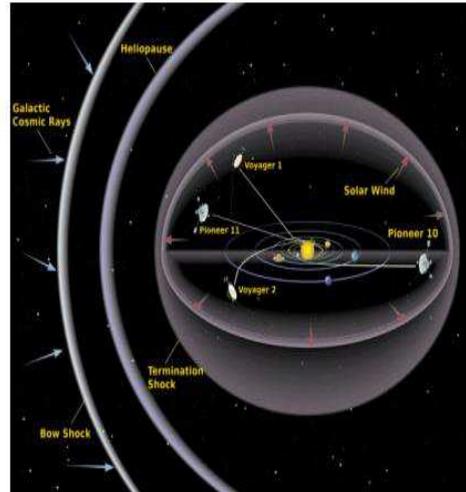


Figura 08: Heliosfera.



Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/evolucao-estelar/>

## 2.2 Campo magnético solar:

O sol é considerado uma estrela magneticamente ativa, que gera um forte campo magnético cujas características estão em constante mudanças. Anualmente ocorrem variações em seu campo magnético, ocorrendo a inversão de polaridade em um período de aproximadamente 11 anos. O campo magnético do sol é responsável por causar vários efeitos que são denominados de atividade solar, dentre eles estão as erupções na superfície solar, surgimento de manchas na superfície e o vento solar. Na Terra é possível observar algumas influências dessas atividades como o surgimento de auroras boreais em algumas regiões e a interferência causada nos meios de comunicação que dependem da transmissão de dados via transmissão eletromagnética.

O campo magnético gerado no sol é transportado para o espaço por meio do plasma magnetizado do vento solar, dando origem ao campo magnético interplanetário. À medida que vamos distanciando do sol, o campo magnético sofre uma deformação ficando com um formato semelhante à uma espiral de Arquimedes, denominada espiral de Parker, como pode ser vista na figura 09.

Toda matéria presente no sol encontra-se em sua forma gasosa ou de plasma, o que permite que a rotação diferencial ocorra, a diferença de rotação equatorial faz com que as linhas de campo magnético entorçam com o passar do tempo, provocando erupções na superfície que podem ser visíveis com a ajuda de telescópio, quando essas erupções ocorrem, uma onda de maior intensidade é lançada no espaço e viaja com o vento solar.

Figura 09: Campo magnético interplanetário.



Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/evolucao-estelar/>

### **2.3 Luz solar:**

A luz proveniente do sol é atualmente a principal fonte de energia da Terra, antes de atingir a superfície a luz é atenuada pela atmosfera terrestre o que causa uma diminuição da sua potência. A luz do sol é indispensável pela manutenção da vida como conhecemos hoje no planeta Terra, um dos papéis mais importantes é manter a água no estado líquido, o que garante a sobrevivência da maioria dos seres vivos que possuem água em seus corpos. A luz do sol também é responsável por permitir a produção de oxigênio e glicose por organismos que realizam fotossíntese, e com isso garante o desenvolvimento não só de plantas e algas como também de todos os seres vivos que se alimentam dos primeiros.

A luz solar também pode ser capturada por meios artificiais, como as células solares e os coletores, criados para a produção de energia elétrica ou obtenção de calor a partir da energia do sol.

### **2.4 Evolução e destino do Sol:**

O sol teve sua formação cerca de 4,6 bilhões de anos atrás, quando uma nuvem de moléculas entrou em colapso. Atualmente o sol encontra-se próximo a metade da sua vida, mais de 4 milhões de toneladas de matéria são convertidas em energia por segundo dentro do núcleo solar, desde sua origem, o sol já converteu o que seria equivalente a 100 vezes a massa da Terra em energia. Estima-se que daqui a 5 bilhões de anos, quando o hidrogênio, que atualmente está sendo convertido em hélio, se esgotará, quando isso acontecer, a massa solar entrará em contração devido à gravidade, causando um aumento da temperatura até 100 milhões de kelvin, quando isso acontecer, o sol terá temperatura suficiente para iniciar a fusão nuclear do hélio, então surgirá uma nova fase chamada de gigante assintótico, onde o hélio passa a ser transformado em carbono.

Figura 10: ciclo de vida do sol:



Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/evolucao-estelar/>

Quando o Sol se tornar uma gigante vermelha, cerca de 30% da sua massa atual terá sido perdida devido ao vento solar. Apesar de estar com um tamanho 250 vezes maior, estima-se que não irá engolir a Terra devido ao afastamento que está ocorrendo no sistema solar, de qualquer forma se isso ocorrer a vida será prejudicada pois a água existente hoje em nosso planeta em estado líquido irá se evaporar e com isso a Terra também irá perder sua camada atmosférica. Algumas pesquisas apontam que a Terra será consumida devido às forças de maré, que irão atrair a Terra e os demais astros que estiverem próximos em direção ao Sol.

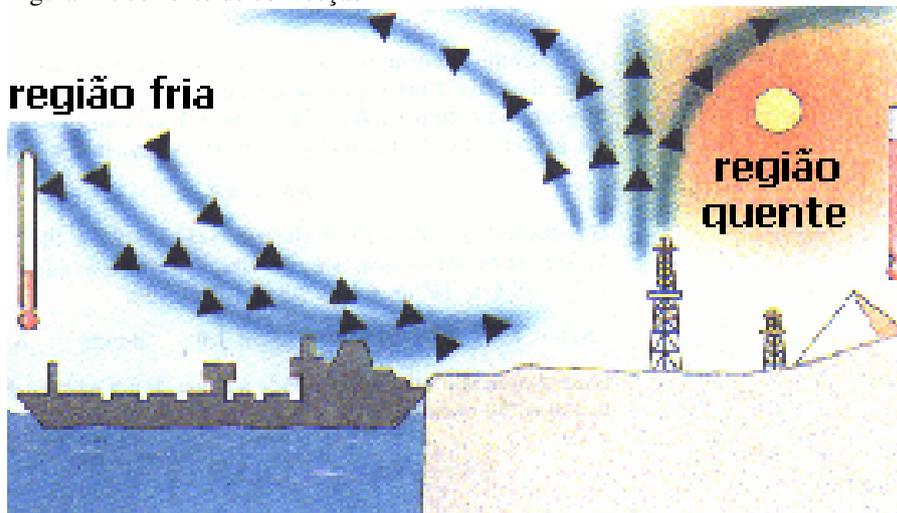
O Sol quando surgiu, possuía um brilho cerca de 75% menor do que como conhecemos hoje e tem se tornado mais brilhante e mais quente a cada dia mesmo estando em equilíbrio na sua sequência principal, com o aumento da temperatura do Sol, a Terra também sofre as consequências, acredita-se que no início a vida na Terra não era possível pois não existia água em seu estado líquido, só depois de alguns milhões de anos com o aumento da temperatura que a Terra deu início a seu aquecimento da superfície possibilitando a origem da vida.

Após todo o hidrogênio ser transformado em hélio, e o novo ciclo se iniciar, estima-se que a fusão do hélio sustentará o Sol por 100 milhões de anos, quando todo o hélio do núcleo do Sol tiver sido transformado em carbono, o Sol não possuirá massa e temperatura suficiente para converter carbono em oxigênio, então não ocorrerá uma explosão que transformaria em supernova. Após todo o hélio convertido em carbono, as camadas externas serão ejetadas devido a intensas pulsações que ocorrerão, as camadas que se desprenderem do núcleo formarão o que chamamos de nebulosa planetária, enquanto o restante da massa irá se resfriar gradualmente, a parte sólida do núcleo ficará com um diâmetro próximo ao da Terra hoje e com a metade da massa atual do Sol, quando isso ocorrer passará a ser chamado de anã branca.

### 3 NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO MUNDO

Sabemos que o sol é a maior fonte de energia que existe atualmente, ele é responsável por aquecer e iluminar vários planetas dentre eles a Terra, sem o sol certamente não existiria vida em nosso planeta, pelo menos não como a conhecemos hoje. Em nosso planeta, os ciclos naturais dependem diretamente da influência do sol, por consequência, muitas das formas de geração de energia também dependem dele indiretamente, como é o caso da energia eólica, o sol aquece o ar perto da superfície terrestre fazendo com que as moléculas de ar fiquem mais afastadas, resultando em um ar menos denso do que um com uma temperatura menor onde as moléculas estão mais próximas, como mostrado na figura 11, a massa de ar sobre o continente se aquece mais rapidamente, gerando o que chamamos de corrente de convecção, surge então um vento vindo em direção ao continente.

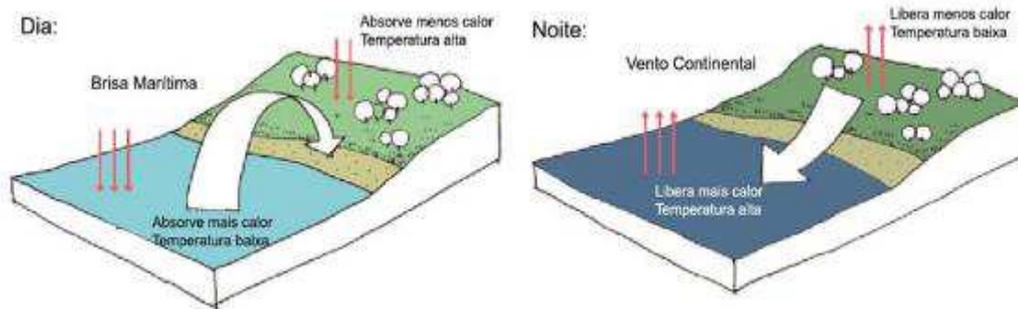
Figura 11: corrente de convecção



Fonte: <http://www.cepa.if.usp.br>

Durante o dia, por absorver calor mais rapidamente, a terra se aquece mais rápido fazendo com que o ar que está acima também se aqueça, por outro lado, durante a noite a terra se resfria mais rapidamente, ficando com uma temperatura menor do que a do oceano, isso faz com que a brisa inverta seu sentido, agora a massa de ar localizada sobre o oceano se torna menos densa com que a continental e com isso se desloca para cima criando uma região de baixa pressão, o ar que está sobre o continente ocupa essa região fazendo com que o vento sopre em sentido ao oceano, como podemos ver na figura 12.

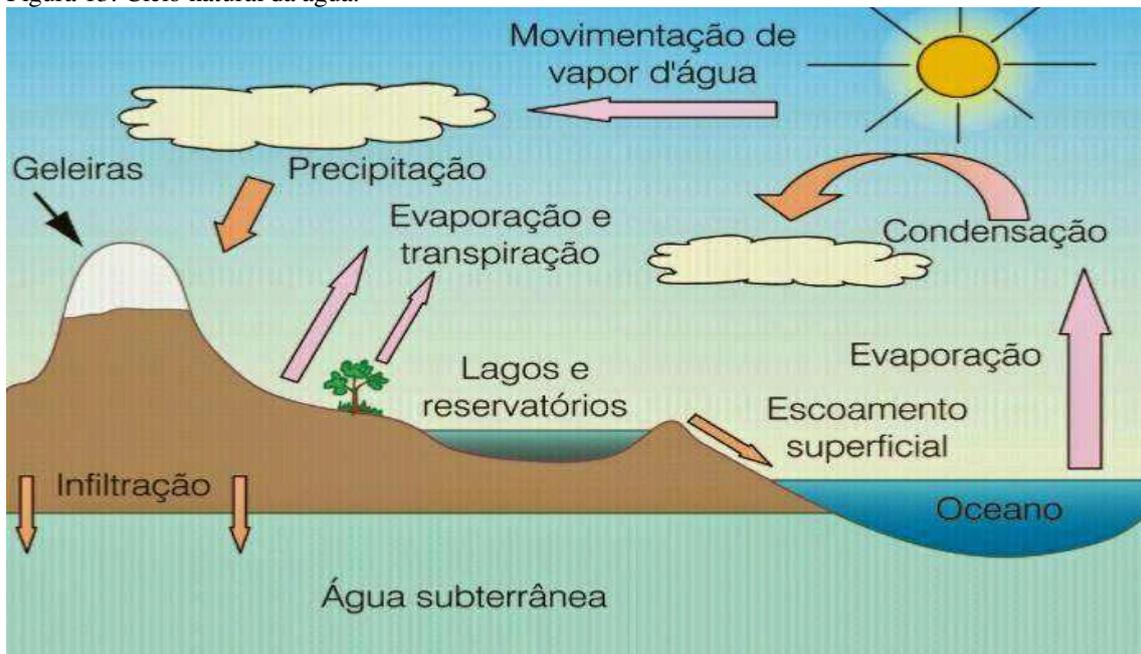
Figura 12: Deslocamento de ar durante o período do dia e da noite:  
**Mudança de Vento Diurno na Área Costeira**



Fonte: [slideplayer.com.br/LucianaMeloAlmeida](http://slideplayer.com.br/LucianaMeloAlmeida)

Outra forma de geração de energia elétrica que depende do sol é a hidrelétrica, para que o ciclo da água seja completado, é preciso que a água passe do estado líquido para o estado gasoso, e para isso é preciso receber energia vinda do sol, ao evaporar a água vai para camadas mais elevadas onde futuramente se condensa e volta à superfície, essa água então é armazenada e sua energia potencial é transformada em elétrica pelas usinas hidrelétricas, o ciclo da água pode ser observado na figura 13.

Figura 13: Ciclo natural da água:

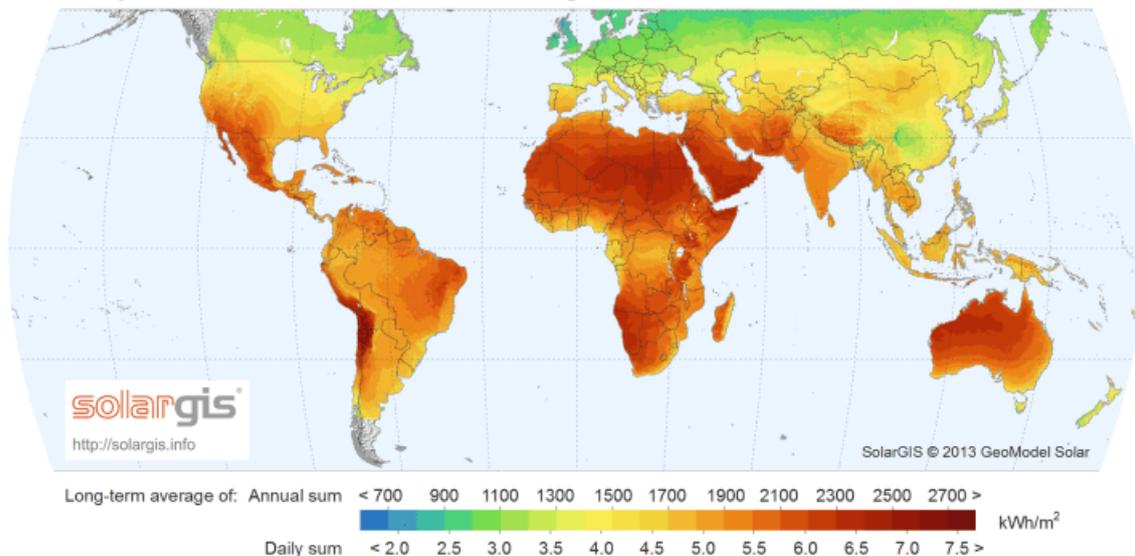


Fonte: <http://quimicadashotoko.blogspot.com>

### 3.1 Variação dos níveis de irradiação solar no mundo:

Na superfície terrestre, a incidência dos raios solares não ocorre com a mesma intensidade, e esse fator é muito importante quando se trata de energia fotovoltaica, alguns fatores determinam se a incidência dos raios solares em uma região ocorre de forma mais intensa ou não, dentre eles estão a localização de um ponto no globo terrestre e a altura em relação ao nível do mar, a latitude, distância em graus em relação à linha do equador, é o principal deles, quanto mais próximo à linha do equador maior será a incidência de raios solares, no mapa a seguir (Figura 14) podemos observar como a distribuição dos níveis de radiação ocorrem em toda a superfície terrestre.

Figura 14: Incidência dos raios solares na superfície terrestre:



Fonte: <http://charlezine.com.br>

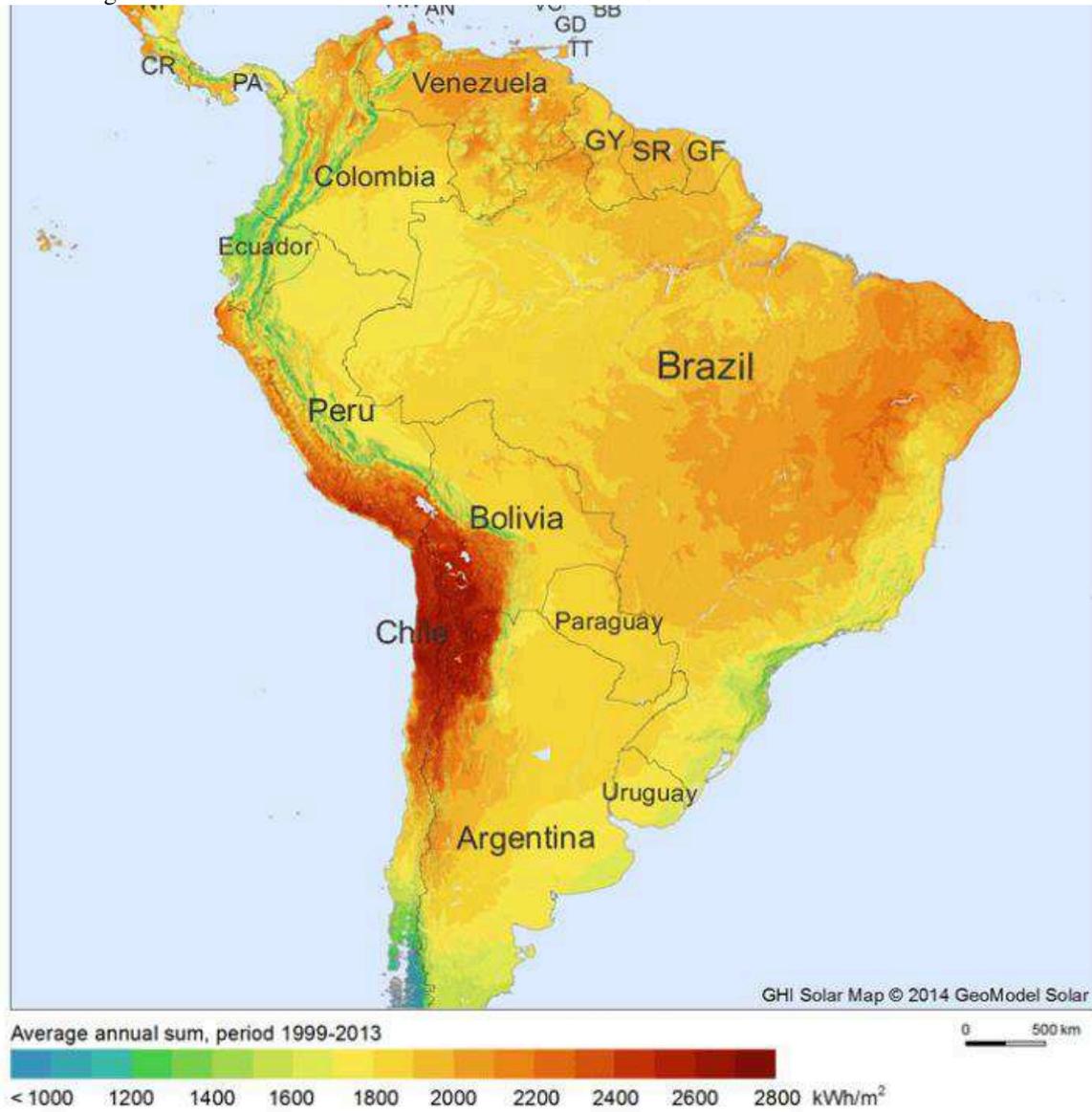
As áreas mais avermelhadas do mapa são as que apresentam maior potencial para geração de energia solar, para melhor aproveitamento da luz solar, ao se instalar painéis solares em países localizados no hemisfério norte, devemos colocar os painéis com a face virada para o sul, e ao instalarmos painéis em países do hemisfério sul, devemos direcionar os painéis para o norte.

Apesar da maior concentração de raios solares estar próximo à linha do equador, os países que lideram o ranking de geração de energia solar atualmente estão mais afastados dessa área, os maiores produtores atualmente são: China, Japão, Alemanha, Estados Unidos e Itália.

### 3.2 Variação dos níveis de irradiação solar no Brasil:

No Brasil essa tecnologia ainda não está bastante difundida e por isso representa apenas uma pequena parcela da matriz energética brasileira, cenário que irá mudar daqui alguns anos devido a crescentes investimentos na área e localização privilegiada, como podemos ver na figura 15 a seguir, as regiões com maiores índices de irradiação solar no Brasil são centro oeste e nordeste.

Figura 15: Incidência dos raios solares na América do Sul:



## 4 ENERGIA HELIOTÉRMICA:

Energia heliotérmica, energia solar térmica concentrada ou *Concentrated Solar Power* (CSP), é uma fonte de energia renovável proveniente do sol, mas ao contrário da energia fotovoltaica, essa aproveita o calor gerado pelo sol e não a luminosidade para ser transformada em outras formas de energia incluindo a elétrica.

O processo consiste em concentrar os raios solares em um único ponto com a ajuda de espelhos devidamente posicionados, os raios solares são refletidos e direcionados para um coletor ou receptor térmico, esse calor concentrado poderá ser usado tanto em processos industriais para aquecimento de caldeiras quanto para a geração de energia elétrica. Para a geração de energia elétrica, o calor do sol é refletido, captado, armazenado e transportado para depois ser utilizado no aquecimento de água para geração de vapor, semelhante ao que ocorre nas usinas termoelétricas convencionais.

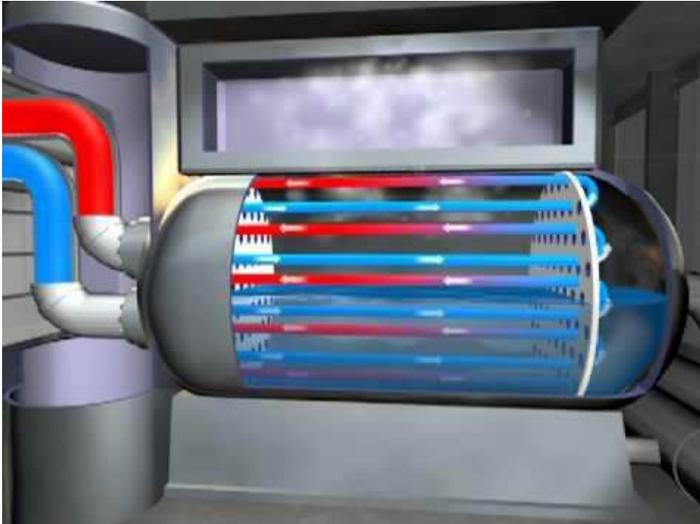
### 4.1 Aquecimento de caldeiras para processos industriais:

Com a concentração dos raios solares em um único ponto, é possível se obter temperaturas próximas a 1500°C dependendo do tipo de estrutura que está sendo utilizada, a energia térmica é transportada dos coletores até o local onde será utilizada por meio de um fluido, que pode ser óleo ou sais fundidos, o fluido de transporte ao chegar na caldeira, passa por um conjunto de serpentinas, onde ocorre a troca do calor entre o fluido e o meio que se deseja aquecer, o calor pode ser usado na geração de vapor, aquecimento de substâncias que necessitem de aquecimento durante os processos industriais ou ainda pré-aquecimento de substâncias que a temperatura de manuseio excedam a atingida pelo sistema heliotérmico, nesse caso, após o pré-aquecimento, será enviada para outro tipo de forno elétrico ou a combustíveis para finalizar o processo de aquecimento.

No esquema a seguir podemos analisar melhor como ocorre a troca de calor entre o fluido de transporte e a água da caldeira por exemplo, temos a entrada do óleo quente indicado na cor vermelha do lado esquerdo, ao entrar no trocador o tubo principal sofre derivações e o fluido é direcionado para vários tubos menores denominado de serpentina, com o aumento da quantidade de tubos, aumenta a superfície de contato o que faz com que a troca ocorra de forma mais eficiente e homogênea. Ao perder calor, o fluido de transporte agora indicado pela cor azul se une novamente e segue pelo tubo até os concentradores onde será reaquecido, fechando

assim o ciclo. É importante ressaltar que não existe contato entre o líquido utilizado para transporte de calor e o que está sendo aquecido.

Figura 16: Trocador de calor.



Fonte: <http://energizandofisica.blogspot.com>

#### **4.2 Geração de energia elétrica:**

Atualmente a maior parte da matriz energética mundial é ocupada pela energia termelétrica, as quais geram energia elétrica através da queima de combustíveis fósseis derivados do petróleo ou carvão mineral, assim como as termelétricas convencionais, as usinas heliotérmicas também necessitam do calor para funcionar, a diferença entre elas é a fonte de onde é obtido o calor, por um lado temos uma usina que utiliza recursos não renováveis e por outro uma usina que utiliza uma fonte de energia limpa e sustentável, o sol.

A concentração e o direcionamento dos raios solares é feito por meios de painéis espelhados, que refletem as ondas eletromagnéticas para um único ponto, para que isso seja feito é preciso que haja um mecanismo capaz de monitorar o deslocamento do sol e reposicionar os refletores de acordo com a sua localização a fim de que seja obtido o maior aproveitamento possível, no ponto de convergência dos raios é colocado um receptor por onde irá circular o fluido térmico, responsável pelo transporte do calor até as caldeiras.

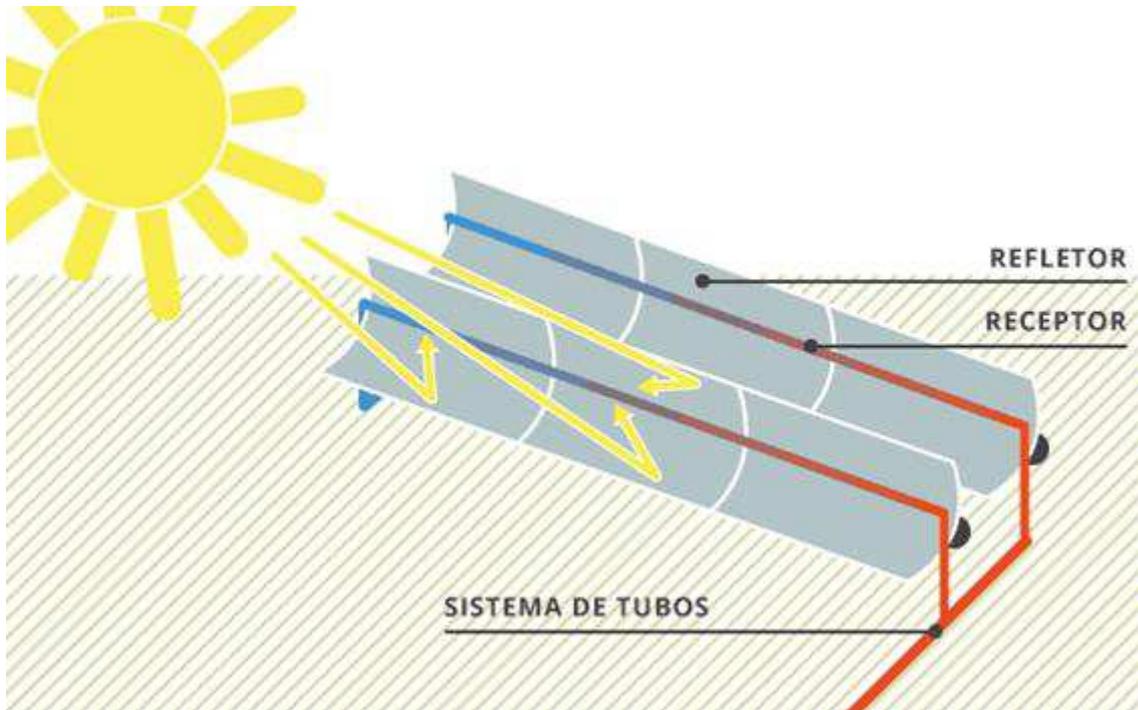
### 4.3 Tipos de mecanismos de reflexão e concentração de luz:

Existem vários tipos diferentes de mecanismos para refletir e captar o calor do sol, sua utilização é de acordo com a intensidade dos raios solares no local, área disponível para a instalação da usina e temperatura que se deseja obter pelo receptor.

#### 4.3.1 Calha Parabólica:

São utilizadas calhas refletoras em formato de parábola para direcionar o feixe de luz a fim de atingir a tubulação por onde circula o fluido térmico que é colocada no centro das calhas, geralmente os tubos são da cor preta ou outra cor escura a fim de absorver melhor o calor, à medida em que o sol se desloca, os refletores acompanham o movimento e o tubo receptor permanece fixo, na figura 17 podemos ver um diagrama que retrata o funcionamento desse tipo de sistema, podemos ver a direção dos raios solares sendo refletidos e a circulação do fluido térmico.

Figura 17: Sistema do tipo calha parabólica:



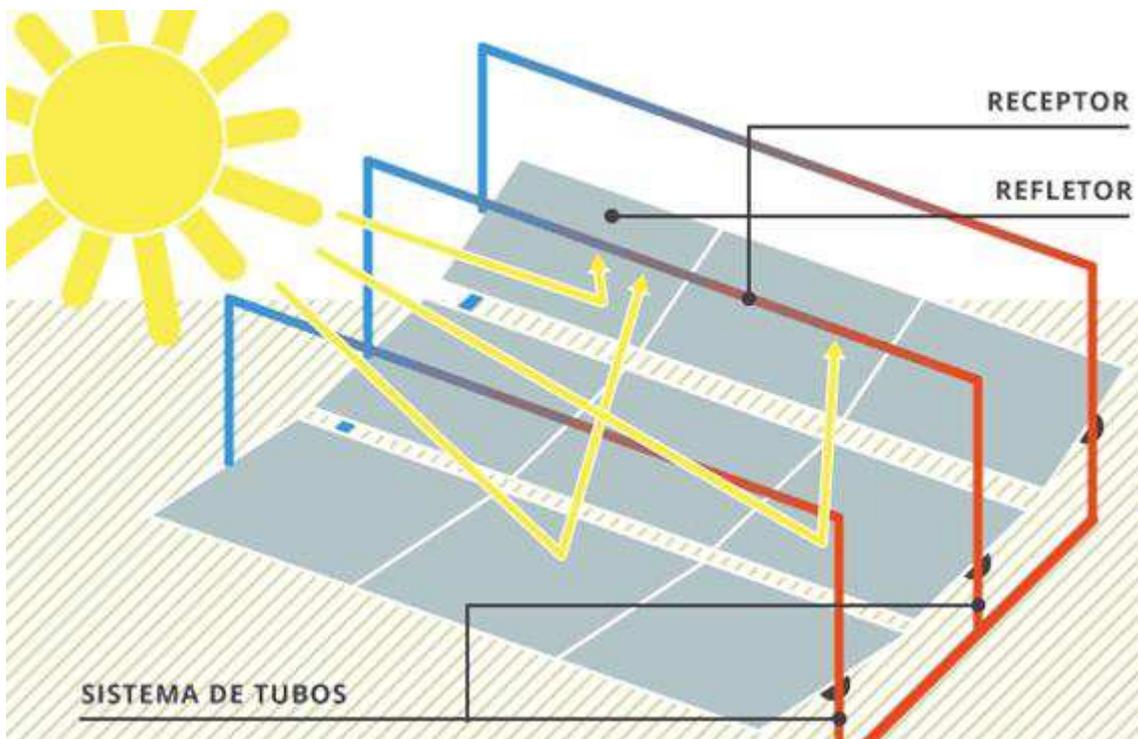
Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

### 4.3.2 Fresnal:

O funcionamento do coletor do tipo fresnal é semelhante ao de calhas parabólicas, nesse tipo de coletor são utilizados refletores de espelhos planos, a tubulação por onde circula o fluido permanece fixa e a linha focal onde a luz é concentrada não se move, alterando apenas a inclinação dos refletores de acordo com a posição do sol.

A seguir temos um diagrama ilustrando as partes que compõe esse sistema e seu funcionamento. (Figura 18)

Figura 18: Sistema do tipo Fresnal:



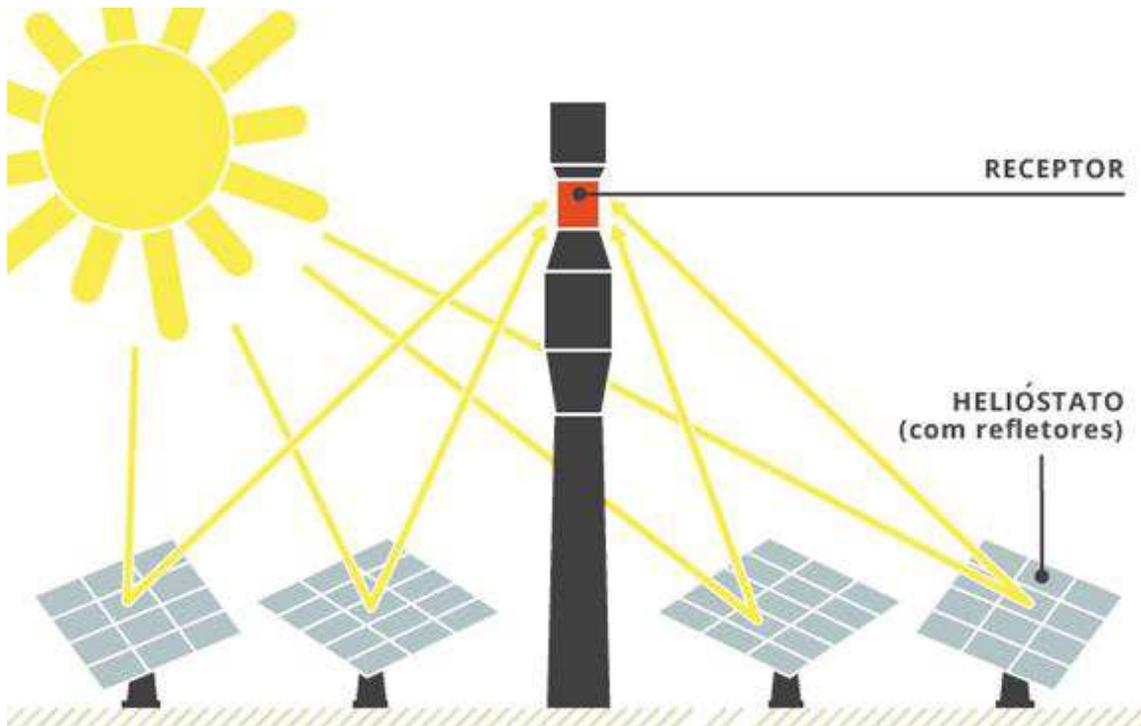
Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

### 4.3.3 Torre solar:

Uma torre é erguida no centro da usina e ao redor são colocados vários refletores que se movimentam de forma independente, de modo que todo o calor é direcionado para um único ponto da torre onde está localizado o receptor, nesse tipo de sistema é possível atingir temperaturas mais elevadas que nos anteriores, a desvantagem é que demanda uma área maior para a instalação, maiores investimentos e a tecnologia empregada é maior, uma vez que os painéis devem se movimentar de forma independente e precisa para que a luz atinja o receptor instalado no alto da torre. Como em todas as usinas heliotérmicas, o calor é transportado para

o gerador de vapor por meio do fluido térmico e depois retorna para a torre por meio de tubulações, na figura 19 podemos observar o posicionamento dos painéis, sua inclinação e a forma que a luz é direcionada para o receptor.

Figura 19: Sistema do tipo Torre:

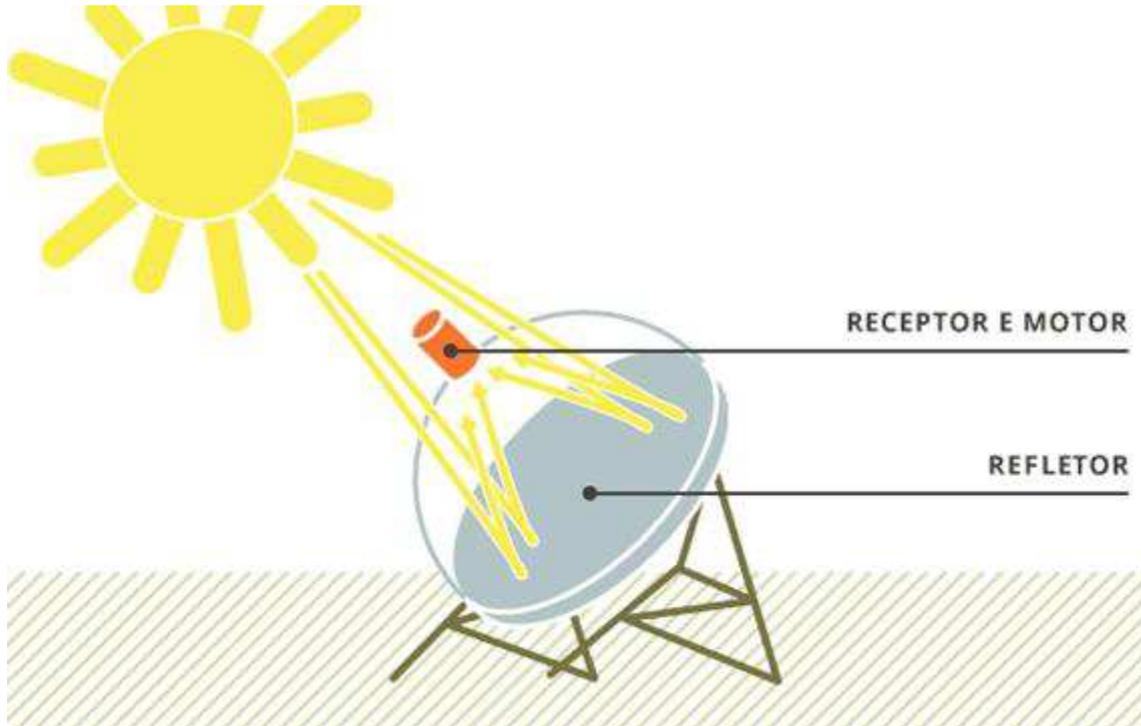


Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

#### 4.3.4 Disco parabólico:

A reflexão da luz é feita em um disco com formato parabólico semelhante ao utilizado na recepção e envios de sinais por ondas de rádio, os raios solares são concentrados em um receptor localizado no ponto focal da parábola, como podemos observar na figura 20, o calor refletido aquece o fluido que transporta o calor, também pode ser utilizado para aquecer um motor gerando energia mecânica e em seguida energia elétrica.

Figura 20: Sistema do tipo Disco Parabólico:



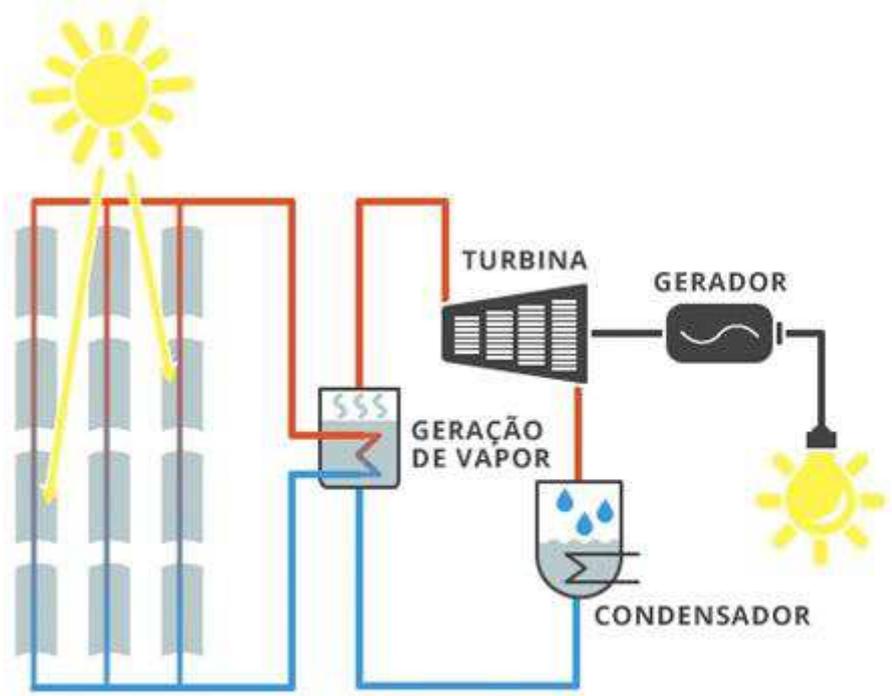
Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

#### 4.4 Funcionamento de uma usina heliotérmica:

Seu funcionamento é semelhante ao de uma usina termelétrica convencional, utiliza do mesmo princípio de geração de vapor para movimentar uma turbina gerando movimento de rotação que é transmitido para um gerador elétrico. Uma usina heliotérmica como esquematizada na figura 21 a seguir é composta pela unidade de aquecimento do fluido térmico que são refletores, tubulações e receptores de calor, caldeira para a geração de vapor de água, turbina, condensador e gerador elétrico.

A caldeira é responsável por fazer a troca do calor entre o óleo térmico e a água, com isso a água se transforma em vapor, o vapor segue por meio de tubulações até as turbinas, após movimentar as pás, vai para um condensador onde passa para o estado líquido novamente e é bombeado para a caldeira fechando o ciclo.

Figura 21: Esquema básico de uma usina heliotérmica.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

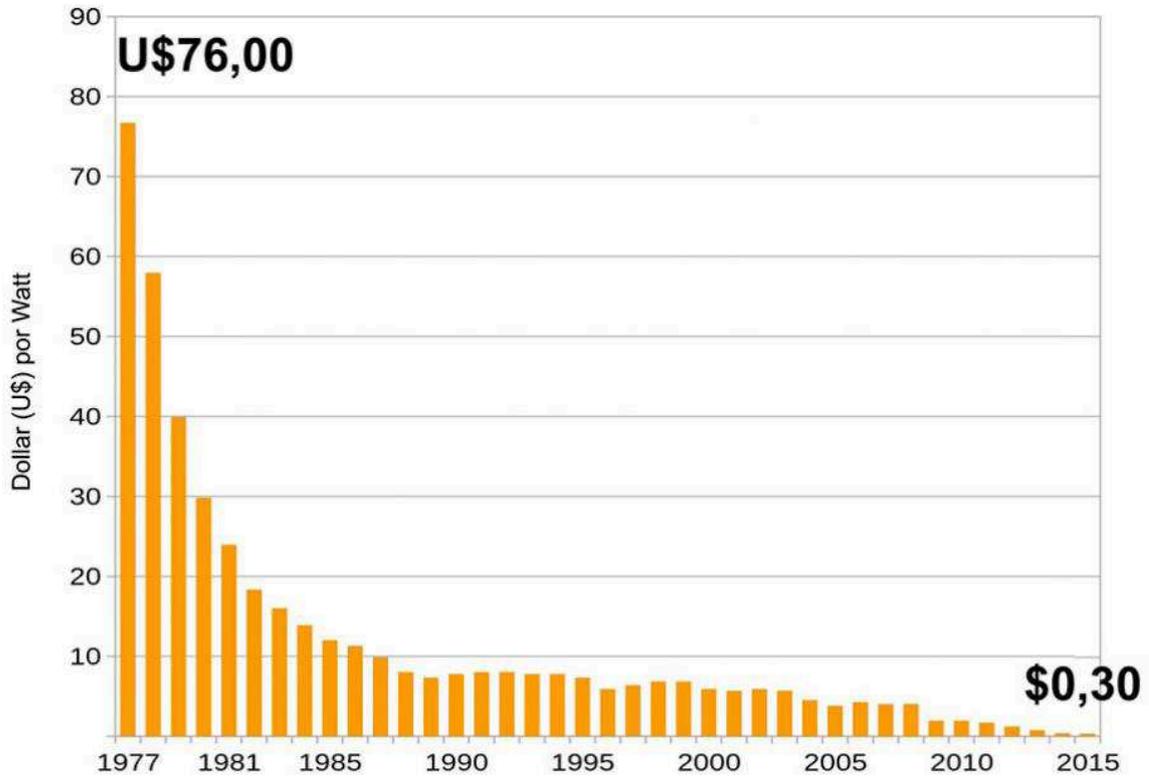
## 5 HISTÓRICO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A produção de energia elétrica a partir da conversão da energia luminosa do sol teve início em 1839, quando Becquerel faz uma demonstração comprovando que era possível converter a energia luminosa em energia elétrica quando a luz solar incide sobre um eletrodo imerso em um eletrólito. A partir desta data começa o estudo dessa técnica, buscando novos materiais que tivesse um rendimento melhor e maior facilidade de manuseio e utilização. Em 1877, Adams e Day verificam que o fenômeno fotoelétrico também está presente em materiais sólido, o selênio. Finalmente em 1883, é produzida na Inglaterra a primeira célula com um rendimento inferior a 1%. No ano de 1941, Ohl comprova que surge uma diferença de potencial quando uma junção P-N de silício é exposta a luz do sol, após 2 anos tem início a produção industrial de células solares feitas de uma junção de silício monocristalino com um aproveitamento em torno de 5%.

Com a produção industrializada de células solares, em 1958 começa a utilização dessa fonte de energia em programas espaciais, e em pouco tempo se torna a principal fonte de energia de satélites. Por outro lado, a utilização para geração de energia na superfície terrestre era irrelevante devido ao alto custo de instalação e rendimento muito inferior se comparado a outras formas de geração existentes na época, ficando o uso restrito à áreas onde era impossível ou inviável a utilização de outros métodos.

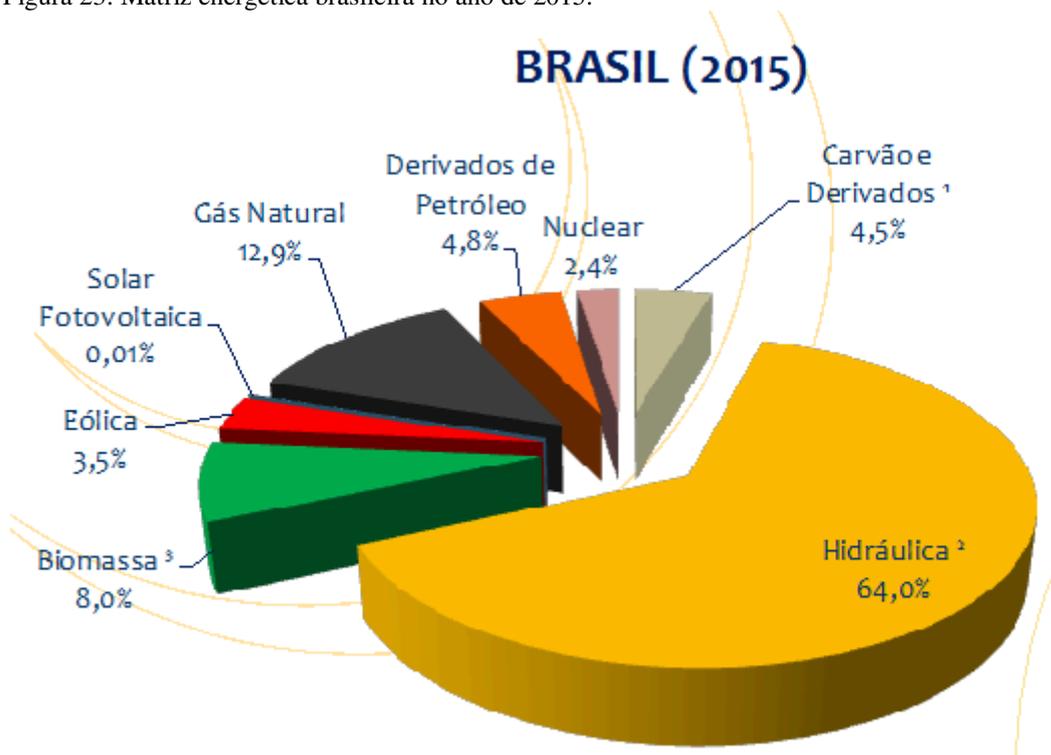
Atualmente, apesar dos custos de painéis solares virem diminuindo significativamente nos últimos anos, figura 22, os maiores problemas encontrados são baixo rendimento e elevado custo de implantação. Em alguns países europeus, existe incentivos para a instalação de sistema de energia solar, o que fez com que essa geração ganhasse mercado, mesmo estes países estando localizados em uma região onde a incidência dos raios solares é baixa se comparado aos países que são cortados pela linha do equador, como no caso do Brasil, que possui uma das melhores condições para a instalação desses sistemas, mas não é tão difundido, Figura 23, devido a altos impostos sobre produtos importados, falta se incentivos por parte governamental e dificuldade de ganhar mercado tendo a geração hidrelétrica, que é uma das formas mais baratas, como principal concorrente.

Figura 22: Preço da geração de energia solar nos últimos 40 anos.



Fonte: portalsolar

Figura 23: Matriz energética brasileira no ano de 2015.



Fonte: EPE, 2016.

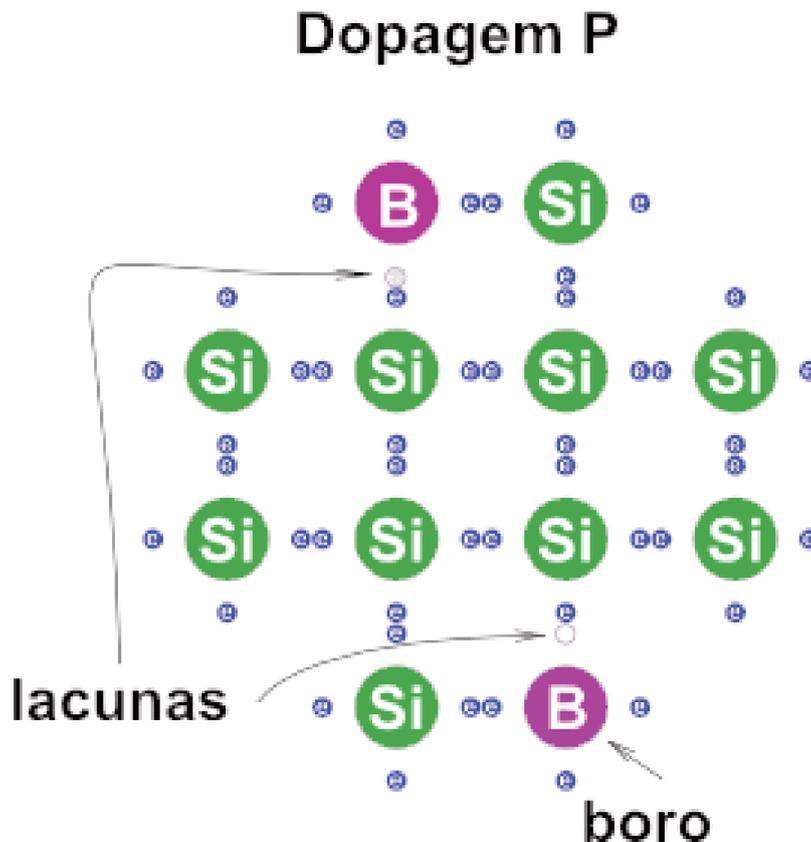
## 6 ESTRUTURA E EFEITO FOTOVOLTAICO

As células solares são compostas por materiais semicondutores, que podem assumir características de um material condutor ou de um material isolante dependendo das condições que são submetidos. Comumente é utilizado o Silício, elemento utilizado na produção de grande parte de semicondutores como transistores e diodos.

Para que o Silício assuma a característica de um semicondutor é preciso passar por um processo de dopagem, onde outro material é inserido na sua estrutura, fazendo que o Silício passe de um material isolante para um semicondutor, existem dois tipos de dopagem utilizados, acrescentando dois tipos de materiais diferentes.

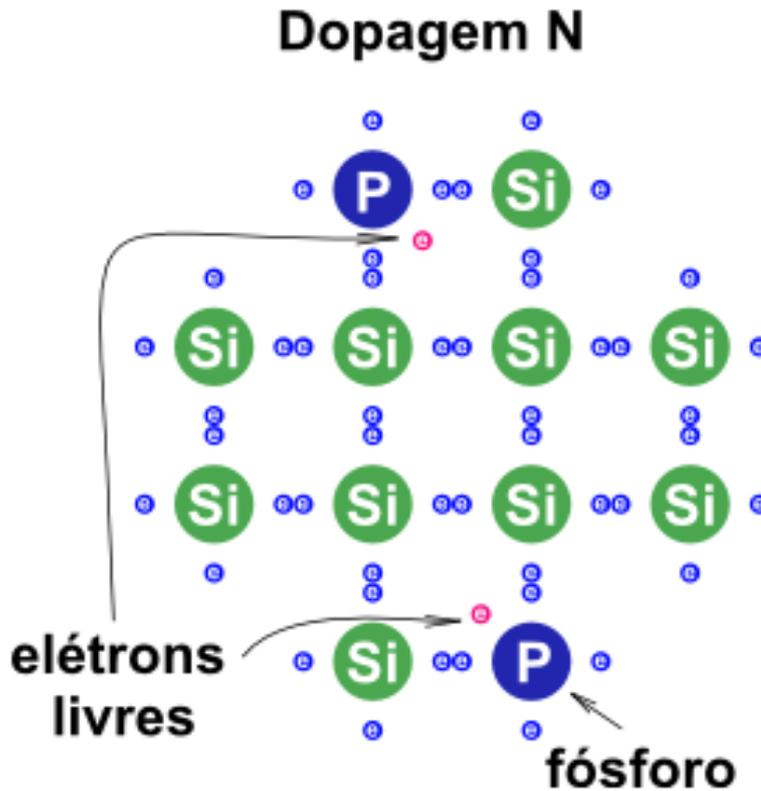
Quando acrescentamos Boro a uma estrutura de Silício, figura 24, o material formado fica com o número de prótons maior que o número de elétrons, fazendo com que se torne positivo, conhecido também como elemento tipo “P” da junção.

Figura 24: Dopagem tipo P



Para se obter um material negativo, número de elétrons maior que o de prótons, é acrescentado Fósforo á uma estrutura de silício, figura 25, feita essa união, sobrará um elétron em cada átomo de fosforo que foi inserido, o resultado será um material do tipo “N”.

Figura 25: Dopagem tipo N

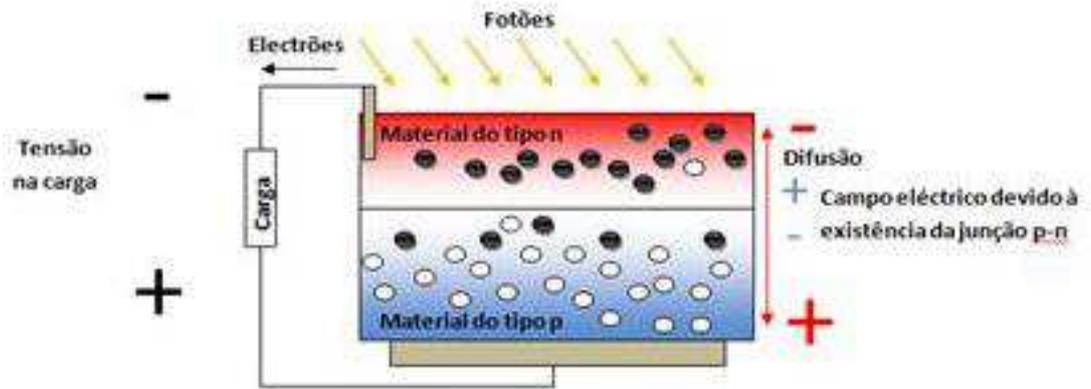


Fonte: [eletronpi.com.br](http://eletronpi.com.br)

Uma célula fotovoltaica é formada colocando uma camada fina de silício com dopagem tipo “N” sobre outra camada de espessura um pouco maior com dopagem tipo “P”, ao expor essa junção ao sol, os fótons da luz solar se chocam com os elétrons fazendo com que os elétrons livres, figura 25, ganhem energia necessária para se movimentar através de um condutor externo à junção, ocupando as lacunas das ligações entre o Boro e o Silício, figura 3.

Na incidência de luz solar sobre a junção P-N, surge uma diferença de potencial entre as duas camadas, que quando conectadas a uma carga externa gera um fluxo constante de elétrons, no sentido de N para P, indicado na Figura 26.

Figura 26: Junção P-N e diferença de potencial sobre uma carga externa.



Fonte: LARUS/FEUP.

## 7 COMPOSIÇÃO DE UM PAINEL SOLAR

### 7.1 células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são estruturas cristalinas, mono cristalinas ou poli cristalinas de material semicondutor, geralmente Silício, e como dito anteriormente, são responsáveis por transformar a energia luminosa proveniente dos raios solares em energia elétrica em corrente contínua (D.C.). As células fotovoltaicas são o principal componente de um painel solar e responsável por aproximadamente 60% do seu preço final, por serem extremamente finas e frágeis, figura 27, necessitam da proteção de outros elementos para evitar danos e aumentar sua durabilidade.

Figura 27: Célula Fotovoltaica.

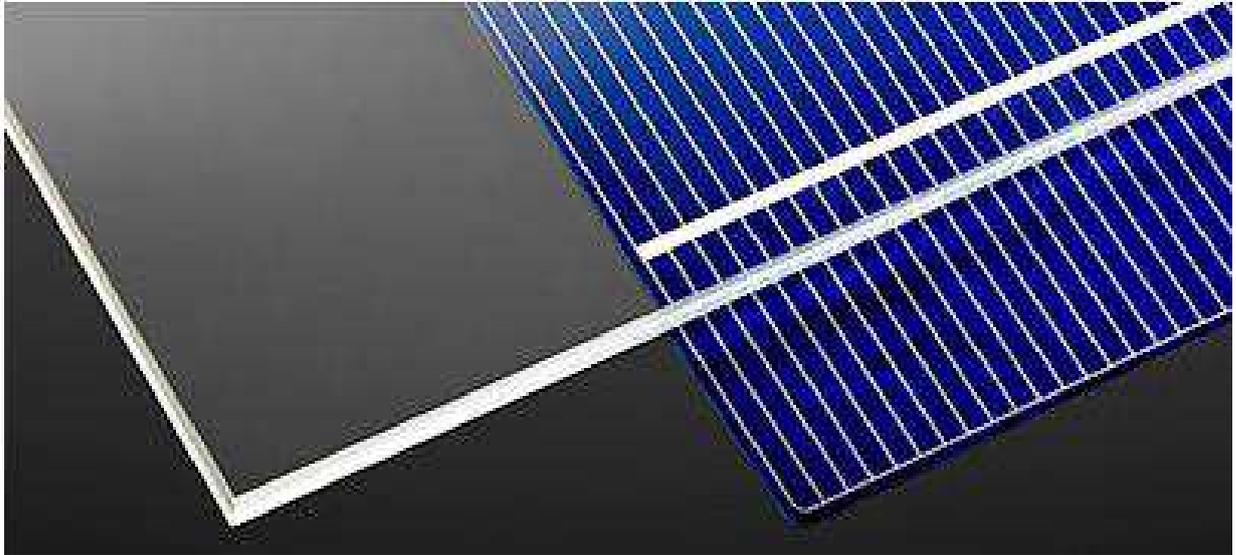


Fonte: portalsolar

### 7.2 Vidro temperado especial

O vidro, figura 28, é responsável pela proteção das células fotovoltaicas, o vidro utilizado em painéis solares possui um grau de pureza elevado a fim de permitir a passagem de maior quantidade de luz para as células, além de alto grau de transparência, os vidros possuem baixo teor de ferro e uma camada de substância antirreflexiva para evitar que a luz seja refletida e atravesse com mais intensidade. Geralmente o vidro tem uma espessura entre 3 e 4mm, capaz de resistir à chuvas de granizo e outros objetos que possam vir a colidir com a superfície do painel, e representam cerca de 10% do custo final do painel solar.

Figura 28: Vidro Temperado utilizado em painéis solares.



Fonte: portalsolar

### 7.3 Filme encapsulante – EVA

É uma película transparente de acetato-vinilo de etileno, figura 29, tem a função de proteger as células contra temperaturas extremas, umidade e contra o envelhecimento causado pela exposição aos raios U.V. Representam aproximadamente 8% do custo total de fabricação do painel solar.

Figura 29: Filme de EVA Transparente.

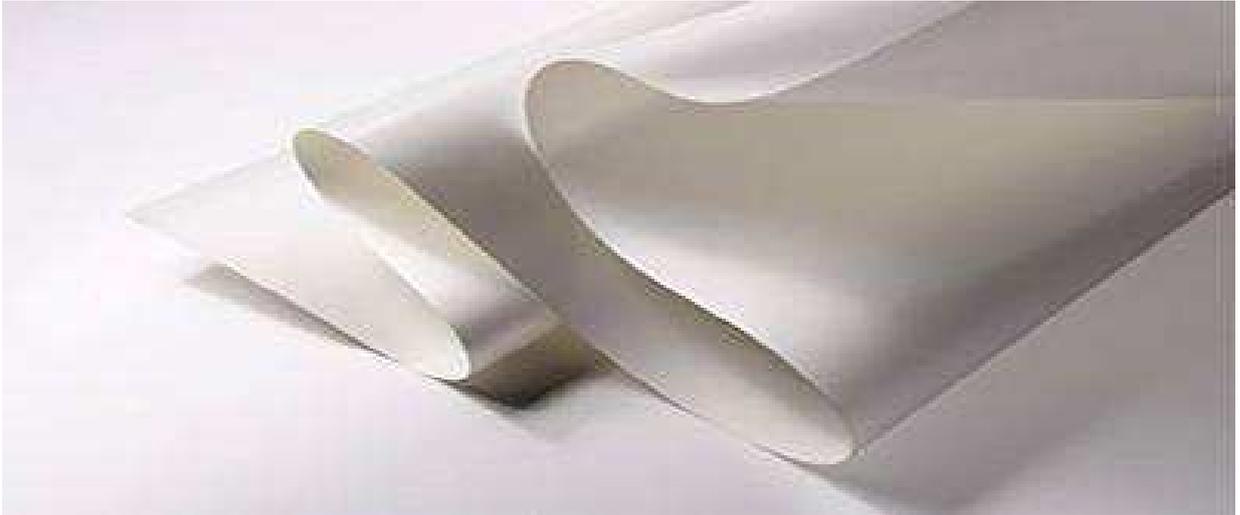


Fonte: portalsolar

## 7.4 Backsheet

É uma camada espessa de plástico branco, figura 30, colocado na parte traseira do painel, que tem por finalidade proteger as células fotovoltaicas e agir como um isolante elétrico.

Figura 30: Backsheet.



Fonte: portalsolar

## 7.5 Caixa de junção

É uma caixa que fica localizada na parte de trás do painel, figura 31, onde são feitas as conexões dos cabos para a interligação com outros painéis solares e com o restante do sistema.

A caixa de junção não deve ser aberta pois sua selagem garante total vedação contra umidade e outras partículas que possam vir a causar mau funcionamento dos painéis.

Figura 31: Caixa para conexão.

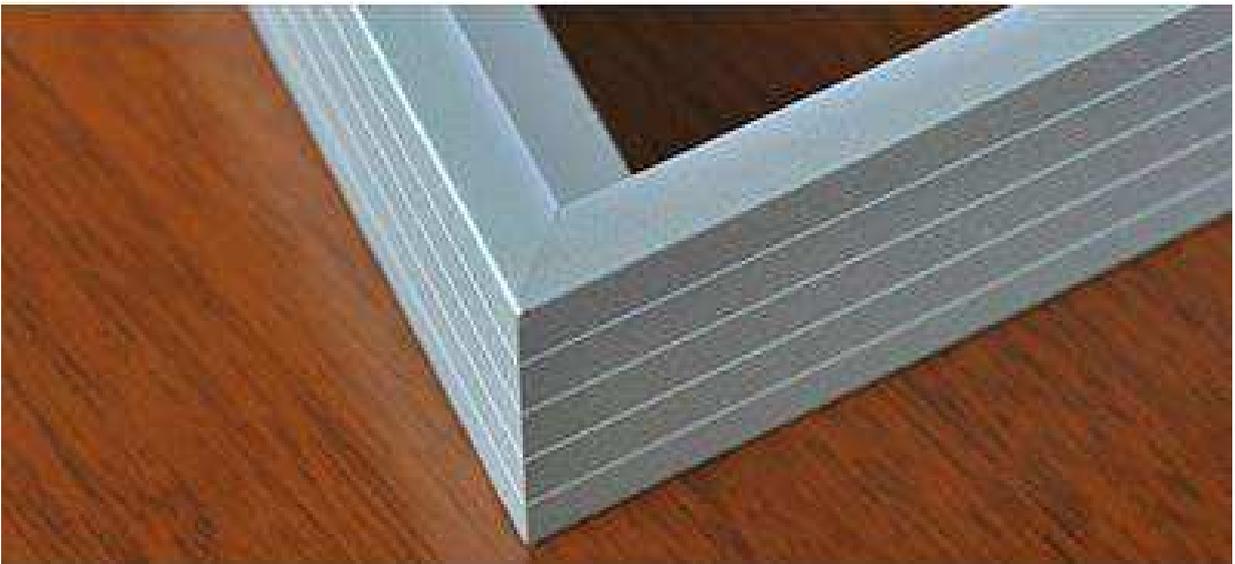


Fonte: portalsolar

## 7.6 Moldura em alumínio

Ao redor do painel são colocadas molduras de alumínio, figura 32, para torná-lo mais resistente a torção e flexão, a moldura geralmente mede entre 4 e 5 centímetros e é fabricada com alumínio anodizado, garantindo leveza e resistência à estrutura.

Figura 32: Moldura em Alumínio.



Fonte: portalsolar

## 8 PRINCIPAIS TIPOS DE CÉLULAS

### 8.1 Células mono-cristalinas

As células mono-cristalinas, figura 33, são as mais utilizadas e comercializadas para conversão de energia solar em energia elétrica, os materiais utilizados, (silício) apresentam um grau elevado de pureza, que chega a 99,99999%. Por esse motivo possuem preço mais elevado se comparado aos demais tipos, mas também entregam o melhor rendimento, cerca de 15% podendo chegar a 18% para as produzidas em laboratórios. Para se obter uma estrutura mono-cristalina, o processo de fabricação demanda uma quantidade de energia elevada.

Figura 33: painel feito com células mono-cristalinas.

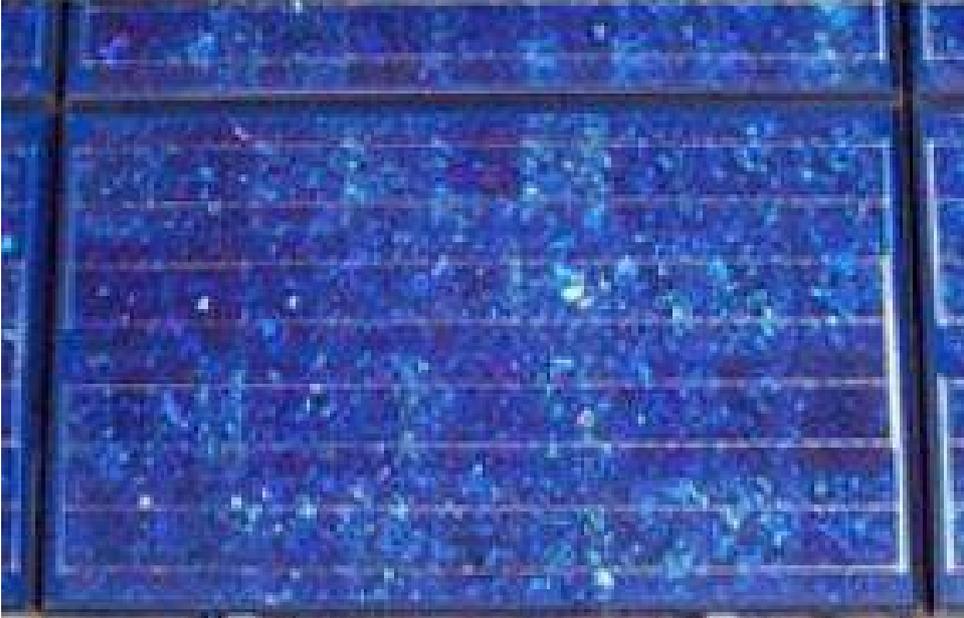


Fonte: portal-energia

### 8.2 Células poli-cristalinas

Células de silício poli-cristalino, figura 34, tem o mesmo processo de fabricação que as de silício mono-cristalino, diferenciando apenas no grau de pureza dos componentes e no rigor do processo que é menor. O custo final de produção desse tipo de célula é inferior se comparada com as mono-cristalinas e seu rendimento é em torno de 12,5% para produção em fábricas podendo chegar a 15% se produzidas em laboratório.

Figura 34: Painel feito com células poli-cristalinas.



Fonte: portal-energia

### 8.3 Células de silício amorfo

Uma célula de silício amorfo, figura 35, apresenta alto grau de desordem na estrutura dos átomos de silício, são bastante utilizadas em sistemas fotovoltaicos de baixo custo onde não demandam uma eficiência elevada, esse tipo de célula apresenta custo final bem inferior as anteriores mas por outro lado tem desvantagens como baixa eficiência se comparada as células cristalinas além de ter alta degradação logo nos primeiros meses após a instalação que reduz seu desempenho e sua vida útil, o rendimento de uma célula de silício amorfo é em torno de 8% para processos industrializados podendo chegar a 12% para fabricação laboratorial.

Figura 35: Célula de silício amorfo.



Fonte: portal-energia

#### 8.4 Células de filmes finos

Células solares de filmes finos, figura 36, são fabricadas de materiais como cádmio, gálio e silício amorfo, possuem rendimento inferior a 7% mas por outro lado apresentam vantagens sobre as demais como espessura e peso reduzidos além de serem flexíveis. São comumente utilizadas em equipamentos como calculadoras de escritório e luminárias para jardins.

Figura 36: Célula solar de filmes finos.



Fonte: portalsolar

## 9 AQUECEDORES SOLAR

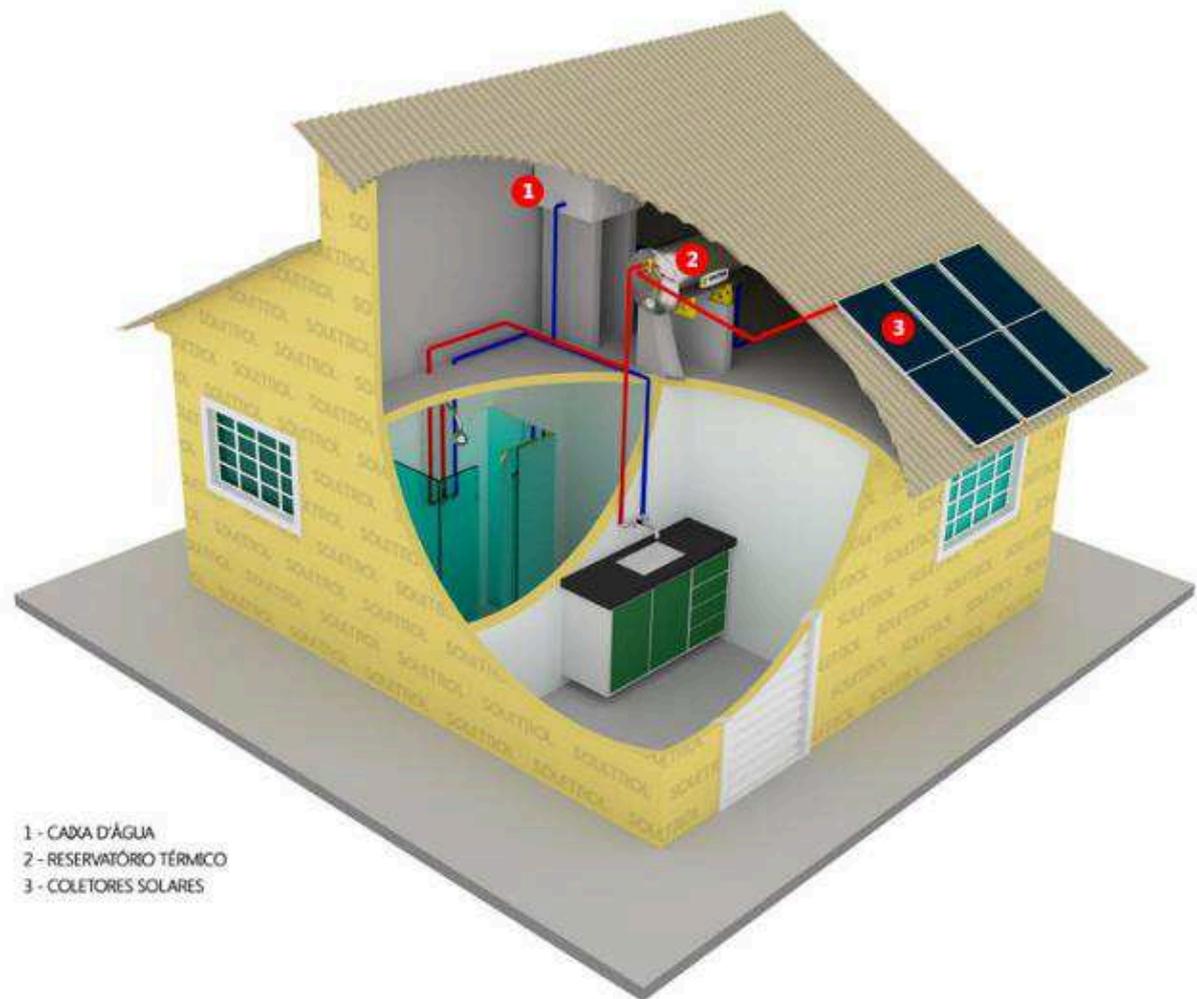
Aquecedores solar são sistemas destinados ao aproveitamento do calor do sol para aquecimento de água e ambientes, aquecedores de água para uso residencial são compostos basicamente por um coletor que tem a função de aquecer a água, um boiler para armazenamento da água aquecida e tubos de conexão. O investimento para a instalação de um sistema de aquecedor solar trará retorno em média dois anos após sua instalação, reduzindo a conta de energia elétrica em torno de 50%, que é a quantia que o uso do chuveiro elétrico representa no total de energia consumida.

### 9.1 Aquecimento da água pelo sol

O aquecimento da água é feito pelas placas coletoras, item 3 Figura 37, que captam a radiação solar e transmite o calor gerado para a água que circula por uma serpentina no interior das placas. A água já aquecida segue por meio de tubulações especiais até o reservatório térmico, também conhecido como boiler, item 2 Figura 37, a circulação da água no interior da placa e das tubulações ocorre geralmente por meio natural chamado de termossifão, onde a água que foi aquecida fica com densidade menor que a água fria, como a entrada de água fria é feita pela parte inferior da placa, ao aquecer ela se desloca para a parte superior, gerando um fluxo de água pela serpentina e tubulações, em sistemas onde os painéis ficam muito distantes do reservatório ou onde o volume de água é muito grande é necessário a utilização de um sistema com circulação forçada, onde a água é bombeada por uma bomba geralmente elétrica pela tubulação.

Na Figura 37 podemos verificar que a alimentação com água fria que vem da caixa d'água, item 1, é feita pela parte inferior do boiler, a água fria que entrou, por ser mais densa segue para a parte inferior das placas de aquecimento e quando aquecidas vai para a parte superior e retornam para o boiler por uma tubulação conectada na parte de cima do reservatório, próximo ao ponto por onde sai a água quente com destino ao chuveiro e outros equipamentos.

Figura 37: Aquecedor Solar Residencial



Fonte: Soletrol

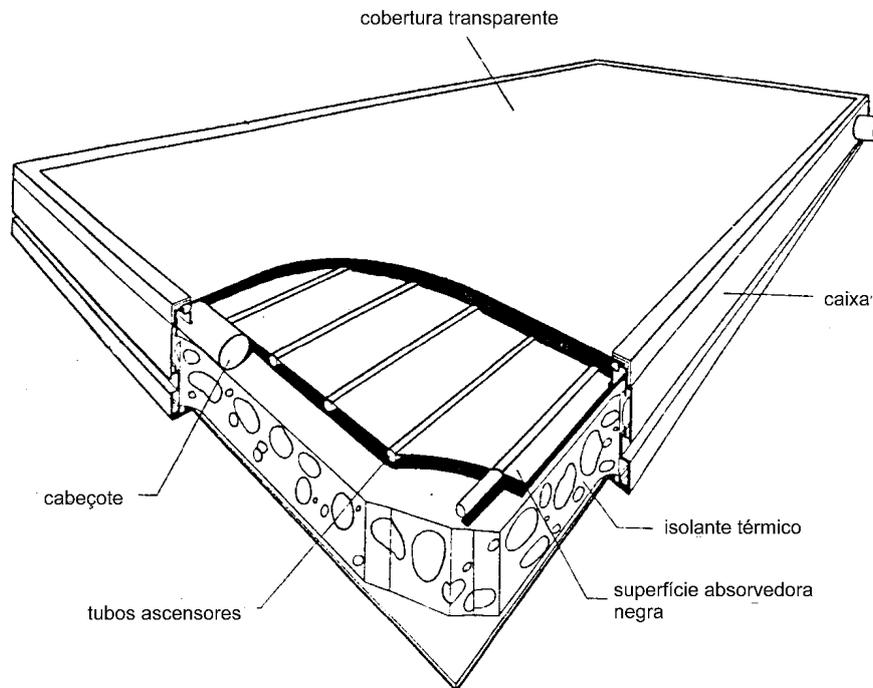
## 10 COMPONENTES DE UM AQUECEDOR SOLAR

### 10.1 Coletor solar

Um coletor solar, figura 38, tem a função de absorver o calor da radiação solar e transmitir esse calor para a água que circula pela serpentina no seu interior, o coletor solar é composto por uma cobertura transparente geralmente de vidro que tem a função de proteger os demais componentes e permitir a passagem da luz solar, uma superfície absorvente logo abaixo da cobertura, que tem uma cor preto fosco para melhor absorção dos raios solares, e aumentar a superfície de absorção, cabeçote por onde a água entra na placa e distribui a água para os tubos ascensores, onde é aquecida e levada para parte de cima da placa, abaixo da superfície

absorvente é colocada uma camada de isolante térmico e uma placa traseira geralmente metálica, todos esses componentes são fixados a uma moldura ou caixa, que dá sustentação e é por onde a placa é fixada na estrutura montada sobre o telhado.

Figura 38: Placa Solar em corte

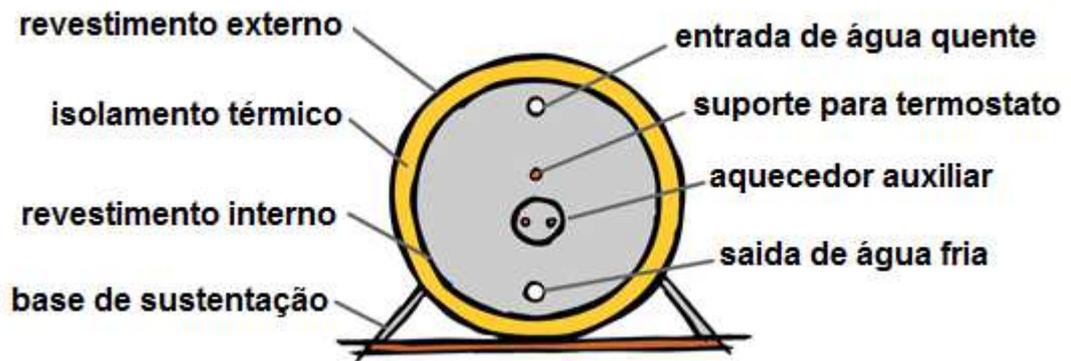


Fonte: blogdopão duro

## 10.2 Reservatório térmico

Os reservatórios térmicos, figura 39, são formados por uma camada externa para dar proteção ao isolante térmico que geralmente é um material mais frágil como espumas e poliuretanos, o revestimento externo impede a entrada de água e contra danos causados por choques mecânicos, o isolante térmico impede a troca de calor da parte interna do reservatório com a parte externa garantindo que a água permaneça aquecida por mais tempo, o revestimento interno é onde a água que te ficará em contato, por esse motivo é feito de material metálico e resistente a corrosão, na face do reservatório existem conexões para entrada e saída de água, e local para instalação de termostato e aquecedor auxiliar, o reservatório é colocado em um suporte ou base de sustentação por onde é preso na superfície da construção.

Figura 39: Reservatório Térmico em corte



Fonte: PUC Minas

### 10.3 Aquecimento auxiliar

O sistema de aquecimento auxiliar pode ser instalado dentro do boiler, como por exemplo uma resistência elétrica, figura 40, pode ser instalado na tubulação como aquecedores elétricos e chuveiros, figura 41, que só serão ativados quando houver utilização de água ou para sistemas maiores geralmente destinados à aquecimento de água de piscina ou em hotéis onde o volume de água é maior, utiliza-se aquecedores de água a gás ou a óleo, figura 42.

Figura 40: Aquecedor Elétrico para instalação no reservatório



Fonte: 太阳能专用电加热

Figura 41: Aquecedor de água elétrico



Fonte: Lorenzetti

Figura 42: Aquecedor de Água á Óleo



Fonte: Kodsan

## 10.4 Tubos e conexões

Os tubos e conexões por onde passa a água aquecida, figura 20, são feitos de metal ou ligas metálicas, que possuem resistência a corrosão, geralmente são feitos de aço inox, alumínio e cobre, externamente a tubulação, é colocada uma camada de isolante térmico, para evitar perdas de temperatura e aquecimento dos locais por onde passa a tubulação.

Figura 20- Tubo Metálico com Isolação Térmica



Fonte: VA isolamento térmico

## 11 PERDAS DEVIDO A TEMPERATURA

Considerando que a temperatura real de operação de um painel fotovoltaico é de até 50°C maior que a estabelecida pelo STC (Standard Testing Conditions), ocorrem variações nos parâmetros de saída, (tensão e corrente) que leva a uma alteração na potência gerada.

Em uma temperatura de 15°C acima da estabelecida (25°) pode-se verificar uma perda entre 7 e 10% em relação a potência oferecida enquanto estivesse operando em condições ideais.

Essa perda pode ser verificada no coeficiente de temperatura de cada painel, que deverá ser fornecida pelo fabricante, o coeficiente pode variar de acordo com as características do painel e os materiais utilizados na sua fabricação, geralmente essa variação está entre 0,35 e 0,5% para cada °C acima de 25°C, podendo chegar a ser superior a 1% em painéis de má qualidade devido à grande quantidade de impurezas nos materiais utilizados na fabricação das células.

### 11.1 Coeficiente de temperatura da tensão

O coeficiente de temperatura da tensão representa o quanto a tensão de saída de um painel fotovoltaico se altera com a mudança de temperatura, esse valor é definido pelo fabricante através de testes realizados em laboratórios, o coeficiente varia de um painel para outro de acordo com o material que é utilizado na sua produção, o coeficiente da tensão em semicondutores é negativo, ou seja, a tensão diminui proporcionalmente com o aumento de temperatura, essa diminuição é exponencial mas pode ser considerada linear em uma pequena variação da temperatura para facilitar os cálculos e determinar o valor do coeficiente. No painel que será utilizado para testes o coeficiente de temperatura da tensão é de  $-0.35V/^{\circ}C$ , ou seja, para cada °C de temperatura acima de 25°C o a tensão de saída sofrerá uma perda de 0,35V.

### 11.2 Coeficiente de temperatura da corrente

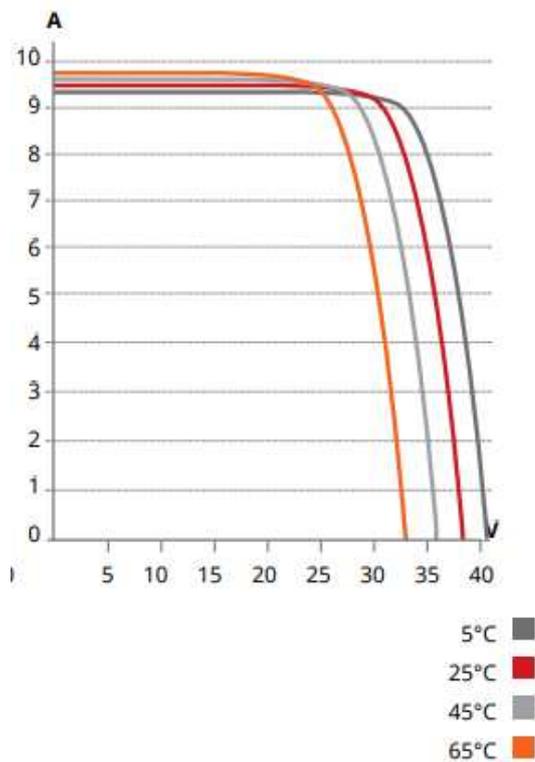
Representa a variação da corrente em relação a temperatura, nos condutores o coeficiente de temperatura da corrente é negativo, quando aumenta a temperatura, aumenta a resistência do material diminuindo a corrente, já nos semicondutores ocorre o inverso, quando a temperatura aumenta a resistência oferecida á passagem da corrente elétrica diminui, aumentando a corrente, no painel solar que será testado, esse coeficiente é de  $0,06A/^{\circ}C$ . Para cada °C acima da temperatura estabelecida.

### 11.3 Coeficiente de temperatura da potência

A diminuição da potência entregue por um painel fotovoltaico em relação ao aumento da temperatura é representada pelo coeficiente de temperatura da potência, esse valor é expresso em porcentagem que é perdida em relação a potência máxima do painel. O painel que iremos utilizar para os testes possui um coeficiente de  $-0,40\%/^{\circ}\text{C}$ , para cada  $^{\circ}\text{C}$  acima de  $25^{\circ}\text{C}$  temos uma perda de  $0,40\%$  em relação a potência máxima do painel.

No gráfico a seguir (figura 21) fornecido pelo fabricante podemos observar as curvas correspondentes a 4 classes de temperatura ( $5^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$  e  $65^{\circ}\text{C}$ ).

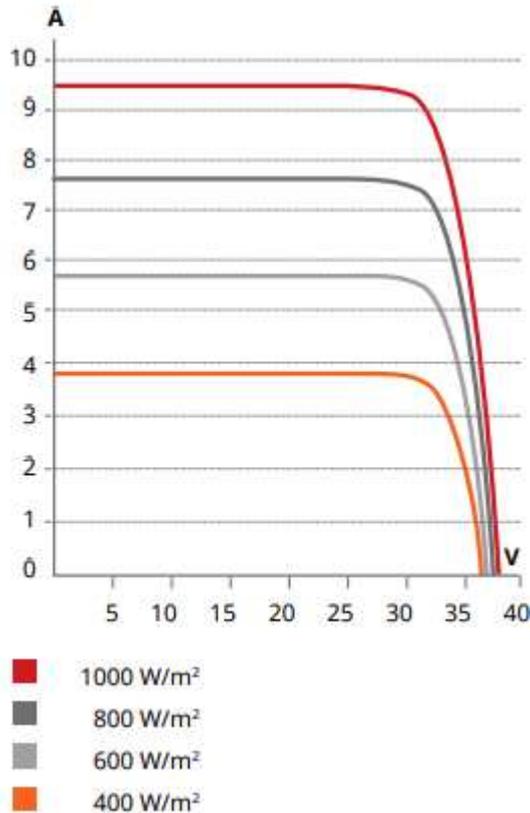
Figura 21- Curvas características da tensão e corrente do painel solar CS6K-270



Fonte: [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com)

Observamos também as curvas características da incidência dos raios solares (Figura 22), a temperatura das células é diretamente proporcional à incidência dos raios, podemos observar que existe uma grande variação devido a intensidade da luz sobre o painel, alterando principalmente a

Figura 22- Curvas características da intensidade dos raios solares sobre o painel CS6K-270



Fonte: [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com)

## 12 SISTEMAS HÍBRIDOS

Um sistema é caracterizado como híbrido quando possui tecnologia capaz de envolver duas ou mais funções diferentes em um mesmo equipamento ou processo, como exemplo desses sistemas podemos citar máquinas que funcionam tanto com combustíveis fósseis como energia elétrica, o que acontece em alguns modelos de carros, uma máquina que pode operar utilizando energia da rede elétrica ou de um gerador, entre outros.

Quando se trata de energia solar, esses sistemas são chamados de PVT (*Photovoltaic/Thermal*), onde uma placa específica converte energia luminosa do sol em energia elétrica ao mesmo tempo que é resfriada por um fluido transferindo para o esse a energia térmica. Os primeiros estudos sobre esse sistema foram realizados em 1970 onde pesquisadores propuseram a utilização de água ou ar como fluido para a refrigeração das células fotovoltaicas. Na década de 1990 houve um crescimento das pesquisas por essa tecnologia aonde começaram a ser instalados em algumas construções da Ásia e Europa, levava vantagem pois ocupava uma

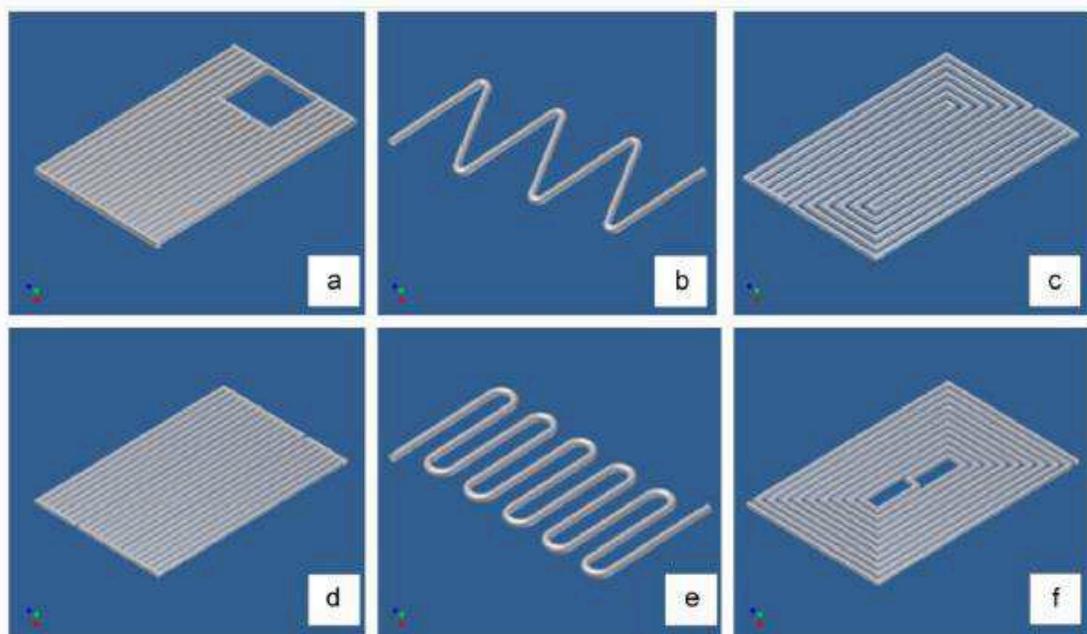
área menor do que se fossem instalados dois sistemas distintos, um para a geração de energia elétrica e outro para aquecimento de água, no entanto o sistema híbrido não foi muito acento devido à falta de demanda por inviabilidade econômica.

## 13 ESTRUTURA

### 13.1 Escolha do tipo de trocador de calor:

Existem várias possibilidades para a disposição da tubulação metálica na parte traseira do painel, como pode-se observar na figura 23, entre elas: (a) fluxo direto, (b) fluxo em serpentina, (c) fluxo em serpentina paralela, (d) fluxo modificado de serpentina paralela, (e) fluxo oscilatório, (f) fluxo em espiral.

Figura 23: Formatos de serpentinas possíveis de serem instaladas.



Fonte: Ibrahim et al., 2009. Disponível em: <https://fga.unb.br/articles/0001/6749/TCC-NADJA.pdf>

Ao analisar a imagem acima e a partir de conhecimentos anteriores sobre transferência de calor, chegamos à conclusão que quanto mais próximos um do outro estiverem os tubos metálicos e assim maior quantidade de tubos, maior será a área de contato e com isso mais eficiente a transferência de calor entre a placa e a serpentina.

## 13.2 Materiais utilizados e custos para a realização do projeto:

### 13.2.1 Pannel fotovoltaico:

Optou-se por utilizar o pannel solar canadian modelo CS6K-275P cujas características e especificações técnicas constam na figura 24.

Figura 24: Placa de especificação do pannel solar canadian CS6K-275P.

**Energia** (Elétrica)

Fabricante: CANADIAN SOLAR  
Marca: CanadianSolar  
Modelo: CS6K-275P

Mais eficiente: **A**

Menos eficiente: E

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%) **16,82**

Área Externa do Módulo (m<sup>2</sup>): 1,64  
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês): 34,41  
Potência nas Condições Padrão (W): 275,00

Regulatório de Avaliação de Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica  
INMETRO

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA  
PROCEL

IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR

**CanadianSolar**

MODEL TYPE: CS6K-275P Assembled in China with Chinese cells

Nominal Maximum Power (P<sub>max</sub>): 275 W  
Optimum Operating Voltage (V<sub>mp</sub>): 31.0 V  
Optimum Operating Current (I<sub>mp</sub>): 8.88 A  
Open Circuit Voltage (V<sub>oc</sub>): 38.0 V  
Short Circuit Current (I<sub>sc</sub>): 9.45 A  
Maximum System Voltage IEC 1000V & UL 1000V  
Maximum Series Fuse Rating: 15 A

All electrical data at Standard Test Conditions (STC): Irradiance of 1000W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25 °C.  
Maximum Temperature: 85 °C  
Module Fire Performance: TYPE 1 (UL1703) / CLASS C (IEC61730)  
Application Class: CLASS A  
System Fire Class Rating: See Installation Instructions for Installation Requirements to Achieve a Specified System Fire Class Rating with this Product.

For field connection, use 4mm<sup>2</sup> & 12 AWG copper wire insulated for a minimum of 90°C.

**WARNING-ELECTRIC HAZARD/ATTENTION - RISQUE ELECTRIQUE**  
This solar module produces electrical voltage when exposed to sunlight or intense artificial lights. Proper precautions associated with electrical power systems must be taken while handling and installing this product.  
Ce module photovoltaïque est conçu pour produire de l'énergie électrique sous forme de courant continu quand soumis à la lumière du jour ou à une source de lumière artificielle. Les précautions adéquates associées aux systèmes de production électrique doivent être prises lors de la manipulation et de l'installation de ce produit.

PLEASE READ THE INSTRUCTION MANUAL FOR MORE INFORMATION PRIOR TO INSTALLATION. THE MANUAL CAN BE DOWNLOADED ON CANADIAN SOLAR WEBSITE: <http://www.canadiansolar.com/downloads.html>

Canadian Solar's Limited Warranty is valid only for products purchased either directly from Canadian Solar or from an authorized reseller who is in your region or authorized with written permission from Canadian Solar. If you want to find out who's our authorized reseller in your region, please contact 'support@canadiansolar.com'.

Conforms to UL STD No.1703,ULC/ORD-C1703; certified to IEC61215, IEC61730

www.canadiansolar.com inquire@canadiansolar.com

Fonte: Canadian Solar

### 13.2.2 Custo para a instalação de um pannel híbrido:

Tabela 1- Materiais utilizados no projeto

Quantidade	Descrição	Preço
1	pannel solar fotovoltaico canadian 275W	R\$ 533,40
15m	tubo de cobre 1/2"	R\$ 225,00
2	Cotovelo 90° de cobre 1/2"	R\$ 4,00
5	Folha de alumínio laminada	R\$ 20,00
	<b>TOTAL</b>	<b>R\$782,40</b>

Fonte: Próprio autor.

## 14 MONTAGEM

Para garantir a melhor distribuição e condução térmica, foi colocada uma camada de alumínio laminado em toda a área traseira do painel, o que facilitou o contato entre a serpentina e o backsheet. Optou-se pela disposição em formato de ziguezague devido a melhor aproveitamento da tubulação e dificuldade para se obter outros formatos, pois seria necessário fazer cortes e dobras mais complexas na tubulação.

Na figura a seguir podemos ter uma noção melhor de como ficou o painel após a instalação da serpentina, tentamos preencher os espaços da melhor forma possível apesar das dificuldades em fazer as dobras com a distância correta.

Figura 25: Painel solar com serpentina instalada.



Fonte: Próprio autor.

## 15 FUNCIONAMENTO

O sistema de resfriamento consiste em um conjunto de tubos de cobre que foi instalado na parte traseira do painel fotovoltaico, onde a água circula em seu interior por meio de convecção, a água fria sai pela parte inferior do reservatório percorre o tubo que está conectado à parte de baixo dos painéis, quando aquecida, fica com densidade menor do que se estivesse fria, fazendo com que se desloque para a parte superior, dando lugar para que a água mais fria possa entrar.

A água aquecida será armazenada em um reservatório térmico que garante que ela permaneça aquecida para que possa ser utilizada durante a noite, o reservatório térmico fica conectado diretamente à caixa de água fria pela parte inferior, por onde é abastecido, e a água quente é retirada pela parte de cima próximo à entrada de água que vem dos aquecedores.

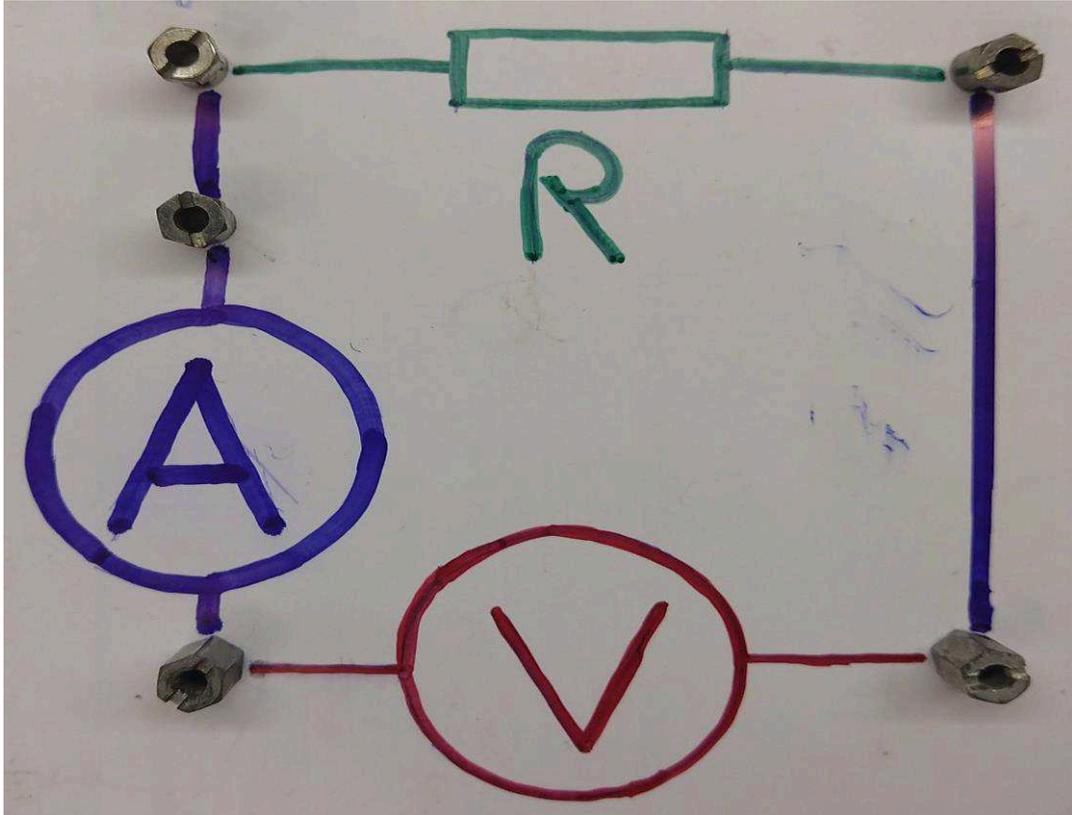
## 16 TESTES E RESULTADOS

Para melhor aproveitamento do sistema, os testes foram realizados no verão, um período em que a incidência dos raios solares são maiores e conseqüentemente a temperatura do painel também, as medições foram feitas em um domingo, dia 02 de dezembro de 2018 entre 13 e 14 horas, a tabela a seguir mostra os valores de temperatura que foram obtidos na superfície do painel utilizando um termômetro digital durante o decorrer do intervalo de tempo mencionado anteriormente, mostra também os valores de tensão e corrente que foram obtidos ao longo do experimento utilizando uma carga resistiva e um multímetro para a medição.

Para que as medições de potência pudessem ser realizadas, foi montado um dispositivo a fim de facilitar a colocação do amperímetro e do voltímetro, cujas respectivas posições estão indicadas na figura 25, o dispositivo conta com um resistor de resistência igual a  $3,5\Omega$  e bornes para conexões.

Após realizados os testes de potência em um painel convencional, foi acionado o sistema híbrido para que os novos dados fossem coletados e colocados na tabela para ser comparados.

Figura 25: Dispositivo para medição de potência:



Fonte: Próprio autor.

Para que pudéssemos obter um valor de corrente próximo á nominal estabelecida no datasheet do painel, utilizou-se um resistor de  $3,5\Omega$ , cujo valor foi calculado conforme a equação a seguir:

Equação 1: cálculo do do valor da resistência.

$$R = \frac{E}{I}$$

$$R = \frac{31}{8,88}$$

$$R = 3,4909\Omega$$

Feito isso, colocou-se o painel no sol e esperou-se até que a temperatura se estabilizasse, o que ocorreu em aproximadamente  $80^{\circ}\text{C}$ .

Após atingir a temperatura máxima, ligou-se a água, que por sua vez circulou pelo interior da serpentina resfriando o painel solar, feito isso, começou-se a monitorar a variação de temperatura com o termômetro digital a laser conforme podemos observar na figura 26 e 27.

Figura 26: Medição de temperatura.



Fonte: Próprio autor

Figura 27: Termômetro Digital laser.



Fonte: Próprio autor

Ao mesmo tempo foram feitas as medições de tensão e corrente e anotadas em uma tabela, para fazer essas medições, utilizou-se o dispositivo já visto anteriormente na figura 25 e o multi-ampérímetro alicate Minipa ET3920. (Figura 28)

Figura 28: Multi-ampérímetro alicate digital Minipa ET3920.



Fonte: Próprio autor

Foi feita uma tabela onde foram colocados todos os dados obtidos nos testes, para que depois pudéssemos calcular a potência correspondente à cada valor de temperatura e comparar com o valor que deveria ser obtido de acordo com os coeficientes fornecidos pelo fabricante do produto.

Tabela 2 – Resultados dos testes realizados.

Valores Medidos				Valores Calculados			
Temperatura	Tensão	Corrente	Potência medida	Temperatura	Tensão	Corrente	Potência calculada
81,70°C	22,70V	8,90A	202,03W	81,70°C	25,55V	8,90A	212,63W
78,80°C	22,80V	9,00A	205,20W	78,80°C	25,83V	8,90 A	215,82W
76,00°C	23,10V	9,00A	207,90W	76,00°C	26,10V	8,90A	218,90W
73,10°C	23,50V	9,00A	211,50W	73,10°C	26,38V	8,90A	222,09W
70,00°C	23,90V	9,00A	215,10W	70,00°C	26,68V	8,90A	225,50W
65,30°C	24,30V	9,10A	221,13W	65,30°C	27,13V	8,90A	230,67W
60,20°C	25,00V	9,10A	227,50W	60,20°C	27,62V	8,90A	236,28W
56,40°C	25,80V	9,10A	234,78W	56,40°C	27,98V	8,89A	240,46W
51,90°C	26,90V	9,00A	242,10W	51,90°C	28,41V	8,89A	245,41W
48,40°C	28,30V	9,10A	257,53W	48,40°C	28,75V	8,89A	249,26W
45,00°C	28,90V	9,10A	262,99W	45,00°C	29,08V	8,89A	253,00W
40,00°C	29,00V	9,10A	263,90W	40,00°C	29,56V	8,89A	258,50W
35,00°C	29,20V	9,00A	262,80W	35,00°C	30,04V	8,88A	264,00W
30,00°C	29,50V	9,10A	268,45W	30,00°C	30,52V	8,88A	269,50W
25,00°C	30,10V	9,10A	273,91W	25,00°C	31,00V	8,88A	275,00W

Fonte: Próprio autor.

Para calcular os valores de tensão, corrente e potência de acordo com o coeficiente de temperatura do painel, correspondentes aos valores de temperatura obtidos, utilizou-se o programa Excel da Microsoft, conforme podemos observar do lado direito da tabela.

O valor da tensão foi calculado multiplicando a tensão nominal do painel (31V) pela diferença entre a temperatura medida e a temperatura estabelecida nas condições padrões de testes na qual foi submetido o painel pelo fabricante ao realizar os testes em laboratório (25°C), multiplicado pelo coeficiente de temperatura da tensão fornecido (0,31%), o valor obtido com esse cálculo foi subtraído da tensão nominal do painel (31V) para que fosse encontrado o valor de tensão que deveria ser obtido naquele momento, para que esse valor pudesse ser feito, digitou-se em uma célula em branco do Excel a seguinte equação:

$$=31-(((F4-25))*0,31)/100)*31$$

O valor da corrente foi calculado de maneira semelhante ao da tensão, utilizamos o mesmo programa e para que obtivesse o valor digitamos a seguinte equação:

$$=8,88+(((F4-25))*0,05)/100)*8,88$$

Onde (8,88) corresponde a corrente nominal do painel, F4 é a célula onde foi colocada a temperatura obtida na medição, (25) é a temperatura estabelecida pelas normas de testes e (0,05) é o coeficiente de temperatura correspondente a corrente que foi fornecido pelo fabricante.

O cálculo da potência foi realizado novamente levando em conta os valores de temperaturas obtidos na medição, o valor da potência nominal fornecida pelo fabricante e o coeficiente de temperatura também fornecido pelo fabricante, para esse cálculo utilizamos a seguinte equação:

$$=275-(((F4-25))*0,4)/100)*275$$

Onde (275) corresponde à potência nominal do painel, F4 é a célula onde foi colocado o valor da temperatura, (25) é a temperatura na qual foram realizados os testes em laboratório e (0,4) corresponde ao coeficiente de temperatura da potência fornecido pelo fabricante em %.

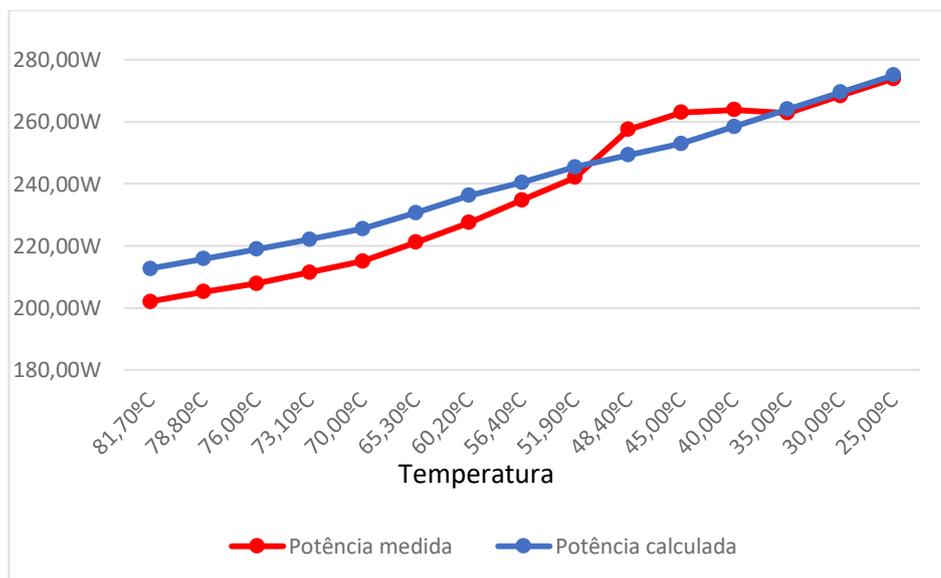
Do lado esquerdo da tabela, colocou-se os valores de temperatura, tensão, corrente e potência que foram obtidos nas medições, para o cálculo da potência, foi utilizada uma equação conhecida como lei de Ohm, onde podemos obter a potência multiplicando o valor da tensão pela corrente, esse cálculo foi realizado no Excel a partir da seguinte equação que foi digitada em uma célula em branco.

$$=(C4*D4)$$

Onde C4 corresponde à célula onde foi digitado o valor de tensão obtido na medição e D4 corresponde à célula onde foi colocado o valor da corrente.

Para facilitar a visualização dos dados obtidos, plotou-se um gráfico fazendo a comparação das curvas dos valores obtidos pelos cálculos de acordo com o datasheet do painel e os valores calculados.

Gráfico 1: Curvas referentes aos valores de potência



Fonte: Próprio autor.

Podemos observar no gráfico 1, que os valores de potência encontrados estão próximos, a inclinação e o formato da curva da potência medida e a curva da potência calculada são semelhantes, podemos notar também que no final, quando a temperatura está próxima de 25°C, a diferença entre elas é pequena se comparada à de temperaturas maiores, no início do gráfico.

## 17 CONCLUSÃO

A energia solar tem se mostrado uma boa alternativa para a geração de energia elétrica quando os métodos tradicionais não suprirem totalmente a demanda do mercado. A partir da sua descoberta, os métodos vêm se aprimorando em busca da melhor eficiência e preço mais acessível, nos últimos anos houve uma diminuição significativa no preço dos painéis fotovoltaicos, o que fez com que aumentassem os investimentos na sua instalação.

Países como Alemanha, China, Japão, Itália e Estados Unidos lideram o ranking mundial de geração fotovoltaica, no Brasil, esse tipo de geração ainda representa apenas uma pequena parte da matriz energética nacional, menos de 1% de toda energia gerada é de origem solar, isso ocorre devido ao custo da geração hidrelétrica, principal componente da matriz energética brasileira, ser muito baixo e das dificuldades encontradas na importação de células fotovoltaicas devido a altas tarifas cobradas e falta de incentivos fiscais na instalação.

Estimativas apontam que nos próximos anos a geração solar tende a crescer no Brasil, pois o país apresenta um grande potencial para a produção de energia fotovoltaica, com a instalação do complexo solar Ituverava localizado no estado da Bahia, que está em fase final de construção, e uma capacidade de geração de 500 GWh anuais, já é a maior usina do ramo da América Latina, com início da operação prevista para o segundo semestre de 2017, está previsto que até 2020, 5% da matriz energética nacional seja ocupada pela energia solar fotovoltaica.

Com a instalação do sistema de resfriamento nos painéis solares, obtivemos um ganho de potência de aproximadamente 20% no horário de pico da geração fotovoltaica em relação a um painel que estaria operando nas mesmas condições, porém sem o controle da temperatura.

Outro grande benefício que o sistema oferece é o pré-aquecimento da água que será utilizada em um chuveiro, reduzindo a elevação da temperatura que seria realizada apenas por um aquecedor elétrico convencional, colocando água com uma temperatura superior a ambiente, a elevação seria menor e com isso o gasto de energia elétrica para se alcançar a temperatura ideal também seria menor.

Nos testes que foram realizados, a mínima temperatura que foi possível obter com a utilização do sistema híbrido foi de 45°C, como pode-se observar em destaque na tabela 2, as 5 últimas linhas, para temperaturas de 45°C a 25°C, foi necessário o resfriamento através do derramamento de água diretamente sobre a superfície do painel, esses valores foram colocados na tabela e no gráfico apenas para fazer a comparação com os dados calculados, para isso forçamos o sistema a atingir a mesma temperatura na qual foi testada em laboratório.

No decorrer de seu desenvolvimento, o projeto passou por algumas alterações em relação ao que se tinha em mente no início, como a colocação de folhas de alumínio recobrando a parte traseira do painel o que fez com que aumentasse a transferência de calor entre a serpentina e o backsheet, além de proporcionar uma distribuição mais uniforme da temperatura, observou-se ainda que existe a possibilidade de fazer algumas melhorias para projetos futuros, como a utilização de um trocador de calor de fluxo direto ao invés do modelo em ziguezague que foi utilizado neste trabalho, isso facilitaria o deslocamento da água no interior da serpentina, fazendo com que o fluxo seja maior e conseqüentemente melhorando a troca de calor.

Outro ponto a ser melhorado que pode observar nos testes é a possibilidade de se aumentar a área de contato entre o tubo e a placa, pois em um tubo cilíndrico, como foi utilizado, a superfície de contato é muito limitada, ficando restrita à apenas uma pequena área da extremidade do raio do tubo, a utilização de tubos com uma superfície plana (achatada) aumentaria essa área de contato facilitando também a troca de calor, outra solução seria a utilização de tubos cilíndricos como o do projeto porém envolvidos com um material condutor térmico que pudesse ser modelado garantindo a maior área possível de contato entre a tubulação e a placa fotovoltaica, como por exemplo uma pasta ou massa térmica.

## 17 REFERÊNCIAS

< [http://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf) >  
Acesso em: 28 mar. 2018 às 23:05.

< <http://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html> >  
Acesso em: 28 mar. 2018 às 23:46.

< [http://www.av.it.pt/laboratoriosremotos/?page\\_id=288](http://www.av.it.pt/laboratoriosremotos/?page_id=288) >  
Acesso em: 29 mar. 2018 às 00:12.

< <http://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html> >  
Acesso em: 29 mar. 2018 às 00:33.

<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf)  
>  
Acesso em: 29 mar. 2018 às 23:40.

< <http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/> >  
Acesso em 30 mar. 2018 às 23:17.

< <http://www.ccbs-energia.pt/formacao-tecnica/solar-fotovoltaico/celulas-fotovoltaicas> >  
Acesso em 31 mar. 2018 às 00:29.

<[http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index\\_ficheiros/Page830.htm](http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page830.htm)>  
Acesso em 01 abr. 2018 às 16:05.

<<http://www.eletronpi.com.br/ce-024-semicondutor.aspx>>  
Acesso em 03 abr. 2018 às 00:11.

<<http://www.canalbioenergia.com.br/complexo-fotovoltaico-na-bahia-e-o-maior-da-america-latina/>>  
Acesso em 04 abr. 2018 às 16:30

<<http://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>>  
Acesso em 12 mai. 2018 às 10:30

<<http://www.blogdopaoduro.com.br/tag/aquecedor-solar-a-vacuo/>>  
Acesso em 12 mai. 2018 às 15:38

<[http://portal.pucminas.br/green/index\\_padrao.php?pagina=3480](http://portal.pucminas.br/green/index_padrao.php?pagina=3480)>  
Acesso em 12 mai. 2018 às 16:17

<<http://charlezine.com.br/niveis-de-irradiacao-solar-no-mundo/>>  
Acesso em 02 set. 2018 às 20:56

<[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>  
Acesso em 08 set. 2018 às 22:10

<<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2014/02/o-que-e-e-como-funciona-energia-heliotermica/23874#.W6BY1-hKjIW>>  
Acesso em 17 set. 2018 às 23:20

<<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/o-que-e-energia-heliotermica>>  
Acesso em 18 set. 2018 às 21:40

<<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>>  
Acesso em 19 set. 2018 às 22:15

<<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-heliotermica-entenda-como-funciona.html>>  
Acesso em 19 set. 2018 às 23:45

<<http://energiainteligenteufjf.com/energia-2/energia-heliotermica-mais-uma-opcao-entre-renovaveis/>>  
Acesso em 20 set. 2018 às 23:37

<<http://www.cdcc.usp.br/cda/cursos/2016/evolucao-estelar/1-aula-O-Sol/Sol.pdf>>  
Acesso em 28 set. 2018 às 18:04

<<https://fga.unb.br/articles/0001/6749/TCC-NADJA.pdf>>  
Acesso em 02 nov. 2018 às 09:00

<<https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/viewFile/11997/pdf>>  
Acesso em 02 nov. 2018 às 10:15

<[https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/en/new/Canadian\\_Solar-Datasheet-CS6K-P\\_en.pdf](https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/en/new/Canadian_Solar-Datasheet-CS6K-P_en.pdf)>

Acesso em 02 nov. 2018 às 11:00