

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CLEON FRAGA DOS SANTOS

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA SEGUIDOR SOLAR DE  
2 EIXOS PARA PAINEL FOTOVOLTAICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2015

CLEON FRAGA DOS SANTOS

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA SEGUIDOR SOLAR DE 2  
EIXOS PARA PAINEL FOTOVOLTAICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Jaime Favretto, M.Eng.

CURITIBA  
2015

# CLEON FRAGA DOS SANTOS

## PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA SEGUIDOR SOLAR DE 2 EIXOS PARA PAINEL FOTOVOLTAICO

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Automação Industrial**, do **Curso Superior de Tecnologia** da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 26 de novembro de 2015

---

Prof. Ednilson Soares Maciel Me.  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

---

Prof. Rafael Fontes Souto, Dr.  
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

### BANCA EXAMINADORA

---

Profª Amauri Amorin Assef, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profª. Jaime Favretto Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

---

Prof. Joaquim Eloir Rocha, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Ubirajara Zoccoli, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## RESUMO

FRAGA, Cleon; **Projeto e implementação de um sistema seguidor solar de 2 eixos para painel fotovoltaico.** 70f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Eletrotécnica – Modalidade Automação Industrial, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A energia solar é uma fonte de energia inesgotável e esteve sempre presente em nossas vidas, também é considerada uma alternativa energética muito promissora para enfrentar os desafios da expansão da oferta de energia com menor impacto ambiental. No entanto, a tecnologia desenvolvida que possibilita a sua captação e transformação em energia elétrica é recente e possui um vasto campo para pesquisa e desenvolvimento. O presente trabalho propõe uma solução mais eficiente na captação da energia solar, cujo objetivo é projetar e desenvolver um mecanismo de orientação biaxial que posicione automaticamente a face do painel fotovoltaico em um ângulo reto com os raios solares durante o dia, e que também seja capaz de gerar energia elétrica para si e para outra fonte consumidora. Ao por do sol, o painel solar retorna sua face para o leste, ficando em repouso até o dia seguinte. A estrutura mecânica é basicamente feita em alumínio. O circuito eletrônico é do tipo analógico, e utiliza a diferença de potencial entre dois fotorresistores para acionamento de um atuador elétrico, o qual movimentará o painel de modo que fique sempre perpendicular aos raios solares. A bateria ideal para ser utilizada em um sistema coletor de energia solar é apresentada. Também são apresentados os problemas encontrados durante a execução do trabalho, assim como as soluções encontradas.

### Palavras-chave:

- Alternativa energética
- Captação da energia solar
- Mecanismo de orientação biaxial
- Atuador elétrico
- Fotorresistores

## ABSTRACT

FRAGA, Cleon; **Design and implementation of a solar tracker system of two axes for photovoltaic panel.** 70f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Eletrotécnica – Modalidade Automação Industrial, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Solar energy is an inexhaustible source of energy and was always present in our lives, it is also considered a promising alternative energy source to face the challenges of the expansion of energy supply with less environmental impact. However, the developed technology that enables its uptake and transformation into electricity is recent and has a vast field for research and development. This work proposes a more efficient solution in the capture of solar energy, which aims to design and develop a biaxial orientation mechanism that automatically positions the face of the photovoltaic panel at a right angle to the sun's rays during the day, and that is also able to generate electricity for themselves and other consumer source. At sunset, the solar panel returns his face to the east, staying at stand-by mode until the next day. The mechanical structure is essentially made of aluminum. The electronic circuit is analogic, and uses the potential difference between two LDR (Light Dependent Resistor) to drive an electric actuator, which will move the panel so that it is always perpendicular to the sun. The ideal battery for use in a collector system solar energy is presented. Also they present the problems encountered during the execution of the work, as well as the solutions found.

### Key Words:

- Alternative energy
- Capture of solar energy
- Biaxial orientation mechanism
- Electric Actuator
- Light Dependent Resistor

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Painel solar fixo.....	3
Figura 2-Painel solar de um eixo.....	3
Figura 3-Painel solar de dois eixos. ....	4
Figura 4 - Mapa da média anual de temperatura no Brasil. ....	13
Figura 5 - Radiação solar global horizontal média anual.....	14
Figura 6 - Médias sazonais da irradiação global diária. ....	15
Figura 7 - Radiação solar inclinada média sazonal.....	16
Figura 8 - Silício monocristalino .....	21
Figura 9- Efeito Cosseno sobre o conceito de Irradiância Extraterrestre .....	24
Figura 10- Trajetória solar em diferentes épocas de um ano.....	25
Figura 11- Perfil típico anual de radiação solar para a região nordeste, Petrolina-BA	27
Figura 12- Perfil típico anual de radiação solar para a região sul, Porto Alegre-RS....	27
Figura 13-Variação da tensão da descarga para dois regimes de corrente e dois tipos de baterias, conforme dados medidos a 25°C.....	29
Figura 14 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo paralelo .....	31
Figura 15 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo série .....	32
Figura 16 - Materiais utilizados na estrutura do painel solar .....	35
Figura 17- Vista lateral seguidor solar.....	37
Figura 18 - Controlador de carga Solar 10A.....	38
Figura 20 - Atuador Linear Elétrico.....	44
Figura 21- Esquema básico de conexões. ....	45
Figura 22- Esquema elétrico do quadro de montagem. ....	46
Figura 23- Circuito seguidor solar .....	47
Figura 24 - LM339 e suas especificações .....	48
Figura 25-Comparador de tensão .....	48
Figura 26- Circuito regulador de tensão .....	49
Figura 27 - Esquema elétrico relé ML2RC2 .....	49
Figura 28- Circuito montado na protoboard para testes.....	51
Figura 29- Circuito seguidor solar montado. ....	52
Figura 30 - Sensores LDR.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Capacidades para dois regimes de descarga (a 10 horas-C10 e a 100 horas-C100) conforme dados medidos por Copetti et al. (1997, 1993) e Moura (1995).....	38
Tabela 2 - Tabela de parâmetros para o modo de trabalho .....	48

## LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AIFE	Associação da Indústria Fotovoltaica Europeia
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CI	Circuito Integrado
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DC	<i>Direct Current</i>
DPDT	<i>Double Pole Double Throw</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo
Fundunesp	Fundação para o Desenvolvimento da Unesp
FV	Fotovoltaico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Labsolar	Laboratório de Energia Solar
LDR	Resistor dependente de luz
LED	Diodo Emissor de Luz
ONG	Organização Não Governamental
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RPM	Rotação Por Minuto
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
Unesp	Universidade Estadual Paulista
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical



## LISTA DE SÍMBOLOS

A x L x P	Altura x Largura x Profundidade
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
Ah	Ampere hora
Pb	Chumbo
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
I <sub>cc</sub>	Corrente de curto circuito
IMP	Corrente máxima de operação
F	Módulo da Força
Kg	Quilograma
kWh/m <sup>2</sup>	Quilowatt-hora por metro quadrado
M	Módulo do Momento da Força
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
MJ/m <sup>2</sup>	Mega joule por metro quadrado
mc-Si	Multi-cristalino de Silício
MWh	Megawatt-hora
MWp	Megawatt de potência
N.m	Newton-metro
PbO <sub>2</sub>	Óxido de chumbo
p-Si	Polisilício
Sem	Seno
Si	Silício
mono-Si	Silício monocristalino
PbSO <sub>4</sub>	Sulfato de chumbo
μF	Microfarad
VMP	Tensão máxima de operação

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 TEMA .....	2
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	5
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS .....	5
1.4 OBJETIVOS .....	6
1.4.1 Objetivo Geral .....	6
1.4.2 Objetivos Específicos .....	6
1.5 JUSTIFICATIVA .....	6
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	8
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	9
2.1 FUNCIONAMENTO DE UMA PLACA SOLAR .....	9
2.2 FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	9
2.2.1 Vantagens e Desvantagens .....	10
2.2.2 O que já está sendo feito no Brasil .....	10
2.3 POTENCIAL ENERGETICO DO BRASIL .....	11
2.4 POTENCIAL ENERGETICO DO PARANA .....	12
2.5 ENERGIAS RENOVÁVEIS .....	17
2.6 ENERGIA SOLAR .....	18
2.7 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	19
2.8 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	20
2.8.1 Silício (Si) .....	20
2.8.1.1 Silício monocristalino .....	21
2.8.1.1.1 Vantagens do painel solar monocristalino .....	22
2.8.1.1.2 Desvantagens do painel solar monocristalino .....	22
2.8.1.2 Silício policristalino .....	23
2.8.1.2.1 Vantagens do painel solar policristalino .....	23
2.8.1.2.2 Desvantagens do painel solar policristalino .....	24
2.9 MOVIMENTO SOLAR .....	24
2.10 ACUMULADORES DE CARGA .....	26
2.10.1 Capacidade dos Acumuladores .....	28
2.11 REGULADORES (CONTROLADORES) DE CARGA .....	30
2.12 TORQUE OU MOMENTO DE UMA FORÇA .....	32
3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO .....	34

3.1 PROJETO DA ESTRUTURA DOS MECANISMOS MÓVEIS .....	34
3.2 CONCEPÇÃO DO PROJETO.....	35
3.2.1 Desenho AutoCAD.....	35
3.2.2 Controlador de carga utilizado .....	38
3.2.2.1 Principais características do Controlador de Carga Solar PWM:.....	38
3.2.2.2 Descrição do controlador de carga, Solar PWM.....	39
3.2.2.3 Instalação e utilização de Controlador de Carga Solar PWM.....	40
3.2.2.4 Procedimento de operação para o controlador de carga.....	41
3.3 BATERIA UTILIZADA .....	42
3.4 PAINEL SOLAR UTILIZADO .....	43
3.5 ATUADOR LINEAR UTILIZADO .....	43
3.6 ESQUEMA BÁSICO DAS LIGAÇÕES ELÉTRICAS .....	44
3.7 CIRCUITO ELETRÔNICO SEGUIDOR SOLAR .....	46
4. CONCLUSÃO .....	54
4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	55
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Assim como a eólica e a do mar, a energia solar se caracteriza como inesgotável e é considerada uma alternativa energética muito promissora para enfrentar os desafios da expansão da oferta de energia com menor impacto ambiental.

As aplicações práticas da energia solar podem ser divididas em dois grupos: energia solar fotovoltaica - processo de aproveitamento da energia solar para conversão direta em energia elétrica, utilizando os painéis fotovoltaicos - e a energia térmica (coletores planos e concentradores), relacionada basicamente aos sistemas de aquecimento de água.

As vantagens da energia solar ficam evidentes, quando os custos ambientais de extração, geração, transmissão, distribuição e uso final de fontes fósseis de energia são comparados à geração por fontes renováveis, como elas são classificadas.

O Brasil é um país com enorme potencial solar: praticamente em todo o território encontram-se mais de 2200 horas de insolação, com um potencial equivalente a 15 trilhões MWh, o que corresponde a cerca de 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade. Conforme dados do relatório "Um Banho de Sol para o Brasil" do Instituto Vitae Civilis, 2004.

Apesar disso, possui poucos equipamentos de conversão de energia solar em outros tipos de energia, que poderiam estar operando e contribuindo para diminuir a pressão para construção de barragens para hidrelétricas, queima de combustíveis fósseis, desmatamentos para produção de lenha e construção de usinas atômicas.

No Brasil, foram realizados dois grandes estudos de avaliação da disponibilidade de radiação solar, porém são antigos e defasados, sendo eles os seguintes: a) Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), produzido em 2000; b) Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Laboratório de

Energia Solar (Labsolar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), produzido em 1998.

Os resultados destes trabalhos mostram que a radiação solar no país varia de 8 a 22 MJ/m<sup>2</sup> durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, quando a radiação varia entre 8 e 18 MJ/m<sup>2</sup>.

## 1.1 TEMA

Os painéis solares foram desenvolvidos para serem mais um recurso alternativo na captação e distribuição de energia elétrica para os consumidores, em especial aqueles que não têm acesso as fontes de energia tradicionais como, por exemplo, as usinas hidrelétricas.

A energia elétrica é uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, sendo recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento. Apesar dos avanços tecnológicos e benefícios proporcionados pela eletricidade, cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso a esse recurso, e uma parcela considerável dos dois terços restantes é atendida de forma muito precária. No Brasil, a situação é menos crítica, mas ainda preocupante. Embora exista abundância de recursos energéticos, há grande diversidade regional e uma forte concentração de pessoas e atividades econômicas em regiões com problemas de suprimento energético. (ANEEL ,2005)

O presente estudo surge a partir da insuficiência constatada na baixa captação da energia solar feita por um painel fotovoltaico fixo.

Sistemas que rastreiam o movimento do Sol e trabalham em um único eixo (*single axis*) podem aumentar em mais de 20% a produção de eletricidade, enquanto que sistemas de rastreamento em dois eixos (*double axis*) podem aumentar em mais de 40% a produção de eletricidade. (Chun-Shenget *al.* 2008).

Na Figura 1, segue um exemplo de um painel fotovoltaico fixo.



**Figura 1-Painel solar fixo.**

Fonte: <http://solventoenergia.blogspot.com.br>

Esta forma de estrutura permite a captação da luz solar em apenas uma posição, pois como ela é fixa, o sol não estará sempre em posição perpendicular com as placas solares. Por exemplo, ao nascer e pôr do sol ela terá uma captação mínima e ao meio dia solar ela terá uma captação ótima.

Já no caso de um painel solar de um eixo a captação solar será mais eficiente que o fixo, pois ele irá seguir o movimento aparente do sol durante o nascer e pôr do sol. A Figura 2 demonstra esse tipo de painel.



**Figura 2-Painel solar de um eixo**

Fonte: <http://www.tutiendasolar.es>

Na Figura 3 tem-se a imagem do painel solar de dois eixos. Como é possível notar, a única diferença em relação ao painel solar de um eixo é o acréscimo de mais um motor (eixo), para realização do movimento que compensa a variação angular da terra durante nosso ano solar.



**Figura 3-Painel solar de dois eixos.**

**Fonte: <http://www.tutiendasolar.es>**

Com o movimento automático dos painéis em dois eixos é possível aumentar, em média, 40% da captação da energia solar, durante o período solar (Chun-Sheng *et al.* 2008).

Deste modo, o objetivo do trabalho é projetar e desenvolver um mecanismo de orientação biaxial que posicione automaticamente a face do painel fotovoltaico em um ângulo reto com os raios solares durante o dia, e que também seja capaz de gerar energia elétrica para si e para outra fonte consumidora.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho busca desenvolver um sistema que permite o movimento dos painéis fotovoltaicos em dois eixos, utilizando parte da energia gerada para sua alimentação.

O projeto será desenvolvido nas dependências da UTFPR, assim como seus testes.

A estrutura será composta de um painel fotovoltaico, uma central elétrica e dois atuadores lineares, que realizarão os movimentos do painel em duas direções, norte/sul e leste/oeste.

## 1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Os dois principais problemas encontrados, e que objetivaram o trabalho, foram:

- ✓ Baixa eficiência da captação de energia solar realizada por painéis fotovoltaicos fixos.
- ✓ Necessidade de uma fonte de energia alternativa e eficiente.

Em decorrência dos dois problemas citados, a captação da luz solar não é feita de uma forma eficiente pelos painéis fixos, gerando captação insatisfatória da luz solar durante o dia.

Logo: **como desenvolver um painel solar que colete o máximo de energia gerada pelo sol?**

Com a utilização de um sistema móvel de dois eixos, que use um sistema de controle de movimentos e motores de baixo consumo de energia elétrica, que utilize em sua estrutura materiais leves e resistentes, para minimizar o esforço dos motores no movimento dos painéis fotovoltaicos.



## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Construir um mecanismo de orientação biaxial, inclinação e azimute, de forma automatizada para o painel solar CHN80W-36M, capaz de captar a energia solar e gerar energia elétrica para sua própria alimentação e para outra fonte consumidora.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Investigar a incidência solar na região onde será instalado;
- ✓ Pesquisar o movimento anual do sol em relação à terra;
- ✓ Calcular o melhor posicionamento dos atuadores, de forma que o momento físico seja ideal;
- ✓ Identificar os materiais mais leves e resistentes para a estrutura do painel solar;
- ✓ Projetar a estrutura mecânica do painel solar;
- ✓ Projetar as ligações elétricas dos painéis e do sistema de acionamento.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O Greenpeace e a Associação da Indústria Fotovoltaica Européia (AIFE) publicaram a quarta edição do relatório Geração Solar, que prevê um futuro brilhante para a indústria da energia solar. O relatório Geração Solar 2007 demonstra o crescimento acentuado do mercado fotovoltaico dos últimos anos e projeta que essa indústria pode atingir um volume anual de 300 bilhões de euros até 2030, criando 6.5 milhões de empregos e suprimindo 9,4% da demanda mundial por

eletricidade. O relatório enfatiza os benefícios e a forma de proporcionar energia elétrica a 2,9 bilhões de pessoas vivendo em países em desenvolvimento, como o Brasil. O recente incremento da eletricidade fotovoltaica é apenas uma amostra do que está por vir (GREENPEACE 2007).

"A utilização de painéis solares fotovoltaicos pode eliminar a emissão de bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, criar milhões de empregos e levar eletricidade a bilhões de pessoas que hoje não têm acesso à rede elétrica", afirma Sven Teske, coordenador da campanha internacional de energia renovável do Greenpeace. "Os geradores solares logo estarão competindo com centrais elétricas, já que produzem eletricidade a preços competitivos exatamente onde ela é necessária - nas casas." (GREENPEACE 2007).

Desde 1998, o mercado de energia solar fotovoltaica cresceu a uma taxa de 35% por ano e hoje gira mais de 9 bilhões de euros anualmente. Em 2006, a capacidade total instalada de sistemas fotovoltaicos atingiu um novo pico de 6.500 MWp, comparado aos 1.200 MWp de 2000. Esse crescimento mostra que, em algumas áreas, será mais fácil tornar-se competitivo nos preços finais para o consumidor até 2015 (GREENPEACE 2007).

A indústria solar é um elemento-chave para reduzir a emissão de gases estufa relacionada ao consumo energético. Em 2030, a taxa de redução anual de emissões de CO<sub>2</sub> deve estar em torno de 1 bilhão de toneladas/ano, o equivalente às emissões totais da Índia no ano de 2004, ou às emissões de 300 usinas termelétricas a carvão. O saldo acumulado de economia de emissões atingiria 6,6 bilhões de toneladas em 2030 (GREENPEACE 2007).

Segundo Winfried Hoffmann, da AIFE, "a indústria solar fotovoltaica vai investir, de agora até 2010, 14 bilhões de euros na expansão de fábricas de painéis fotovoltaicos no mundo todo. A produção em massa vai possibilitar a redução dos custos e esperamos ter preços finais competitivos para o consumidor, em determinadas regiões, até 2015." (GREENPEACE 2007).

O Greenpeace e a AIFE conclamam os governos a garantirem investimentos em energia fotovoltaica, incentivando programas como as tarifas feed-in que garantem um preço fixo para cada quilowatt-hora de energia solar disponibilizado à rede elétrica (GREENPEACE 2007).

"A indústria está comprometida a fazer da geração de energia fotovoltaica um sucesso, mas necessita de ajuda e de vontade política. O mundo está pronto

para uma revolução energética, mas os governos têm que apoiar sua retórica contra o aquecimento global em ações concretas para o desenvolvimento das energias renováveis, como a tecnologia fotovoltaica", concluiu Teske (GREENPEACE 2007).

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa é do tipo exploratória, explicativa, bibliográfica e tecnológica.

A pesquisa é do tipo exploratória enquanto busca proporcionar maior familiaridade com o sistema de captação de energia solar através de células fotovoltaicas, tornando o entendimento do sistema mais fácil de ser compreendido.

Esta pesquisa tem como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições. (GIL, 2007, p. 41).

É bibliográfica enquanto "a pesquisa de fontes secundárias, abrange toda bibliografia pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, etc." (MARCONI; LAKATOS, 2002, p. 71).

É explicativa, pois "visa identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o porquê das coisas". (GIL, 2007, p. 42).

A pesquisa é do tipo tecnológica enquanto a preocupação do trabalho é preponderante com aspectos práticos e tecnológicos como projeto, montagem e execução.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Prevê-se a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 - Introdução com apresentação do tema, problemas, objetivos principais e metodologia da pesquisa.
- Capítulo 2 - Fundamentação teórica.
- Capítulo 3 - Metodologia e desenvolvimento.
- Capítulo 4 - Conclusão.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 FUNCIONAMENTO DE UMA PLACA SOLAR

Existem dois tipos de placa solar. O primeiro utiliza a luz do Sol apenas para aquecimento, geralmente de água. "Essa placa consiste em uma superfície escura, que absorve a energia do Sol e a transforma em calor", diz o engenheiro José Kleber da Cunha Lima, da Escola Politécnica da USP. O outro tipo de placa solar é aquele que converte a energia do Sol diretamente em eletricidade. Ela é composta de células solares, feitas de materiais semicondutores como o silício. São as chamadas células fotovoltaicas. Quando as partículas da luz solar (fótons) colidem com os átomos desses materiais, provocam o deslocamento dos elétrons, gerando uma corrente elétrica, usada para carregar uma bateria (MUNDO ESTRANHO, 2015).

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1887 pelo físico alemão Heinrich R. Hertz (1857-1894). Geradores elétricos como esses são cada vez mais usados em aparelhos eletrônicos e em satélites (MUNDO ESTRANHO, 2015).

### 2.2 FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Nos sistemas fotovoltaicos a radiação solar é convertida em energia elétrica por intermédio dos chamados semicondutores, que são configurados em elementos denominados células fotovoltaicas.

Os semicondutores feitos de silício são os mais usados na construção das células e o seu rendimento possível razoável é, atualmente, de cerca de 25-30%.

Uma vez que cada célula produz uma corrente contínua de intensidade relativamente fraca, procede-se à sua associação para obter, após encapsulamento, um conjunto denominado módulo fotovoltaico.

O agrupamento de módulos, colocados numa mesma estrutura de suporte, forma um painel. Quando incide luz solar com energia suficiente sobre estas

estruturas, produz-se uma corrente de elétrons, obtendo-se assim energia elétrica utilizável.

### 2.2.1 Vantagens e Desvantagens

As principais vantagens atribuídas aos sistemas fotovoltaicos são a facilidade de manutenção (apenas é necessário proceder-se periodicamente à sua limpeza); a possibilidade de armazenar a eletricidade gerada em baterias e a contribuição para a redução da dependência externa, em termos de importação de combustíveis fósseis.

Em relação às desvantagens referem-se os custos de implementação associados; as condicionantes inerentes à natureza da energia solar – as alterações de luz ao longo das 24 horas, a presença de condições climáticas desfavoráveis (chuva, nuvens) e o sombreamento causado por árvores ou edifícios – que reduzem o rendimento do sistema; a necessidade de manutenção e substituição de baterias e os impactos negativos durante as fases de produção, construção e desmantelamento

### 2.2.2 O que já está sendo feito no Brasil

Um sistema mais eficiente de geração de energia solar foi criado pela Universidade Estadual Paulista (Unesp). Trata-se de placas solares móveis, capazes de acompanhar a posição dos raios solares durante o ano. Novidade que, se chegar ao mercado, poderá movimentar o setor e trazer benefícios energéticos e ambientais.

O modelo foi desenvolvido pelo professor da Faculdade de Engenharia da Unesp, Alceu Ferreira Alves, e teve origem a partir de uma pesquisa para sua tese de doutorado. O estudo contou com o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) e da Fundação para o Desenvolvimento da Unesp (Fundunesp).

A placa móvel utiliza um sistema mecânico para gerar os movimentos e um dispositivo eletrônico que calcula a posição do Sol e envia os comandos para um conjunto de dois motores de passo. “A inclinação do painel é mantida constante ao longo do dia e há um movimento apenas do ângulo equivalente ao fuso-horário da Terra, ajustando a posição do painel a cada quatro minutos. A inclinação do painel só muda quando há uma diferença entre a posição real do painel e um ângulo de incidência superior a um grau, o que ocorre aproximadamente a cada quatro dias”, explica Alves.

A proposta do professor é voltada para aplicação em pequenas propriedades rurais isoladas, na construção de grandes parques fotovoltaicos, uso residencial em centros urbanos e na geração distribuída de eletricidade em conjunto com outras fontes de energia, como eólica, térmica, entre outras.

O novo sistema tem capacidade para produzir 53% mais energia se comparado a sistemas fotovoltaicos fixos, ou seja, o modelo da Unesp não consome muito da energia que produz. Vantagem que pode se transformar em retorno de capital, já que o custo 35,7% superior a um sistema convencional é compensado pela maior geração de energia elétrica. O seu encarecimento se deve ao alto custo de implantação e por causa do alto preço do silício, material utilizado para fabricar os painéis fotovoltaicos.

Entre as características que o diferenciam de outros sistemas comercializados hoje, estão a não utilização de sensores, o que diminui a possível interferência de sombras ou nuvens; o movimento de apenas um motor durante o dia, economizando parte da energia gerada; e o uso de motores de passo, em vez de motores de corrente contínua, o que torna o sistema mais simples e exclui a necessidade de retroalimentação.

### 2.3 POTENCIAL ENERGETICO DO BRASIL

O Brasil tem potencial para chegar a 2050 com uma matriz energética com 66,5% de participação de fontes renováveis, como vento, sol e biomassa - presença 47% maior do que a observada hoje. A estimativa foi feita pela ONG ambiental Greenpeace, que divulgou o relatório Revolução Energética.

Atualmente no Brasil a energia gerada pelas hidrelétricas representa 88,8% da nossa matriz energética, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

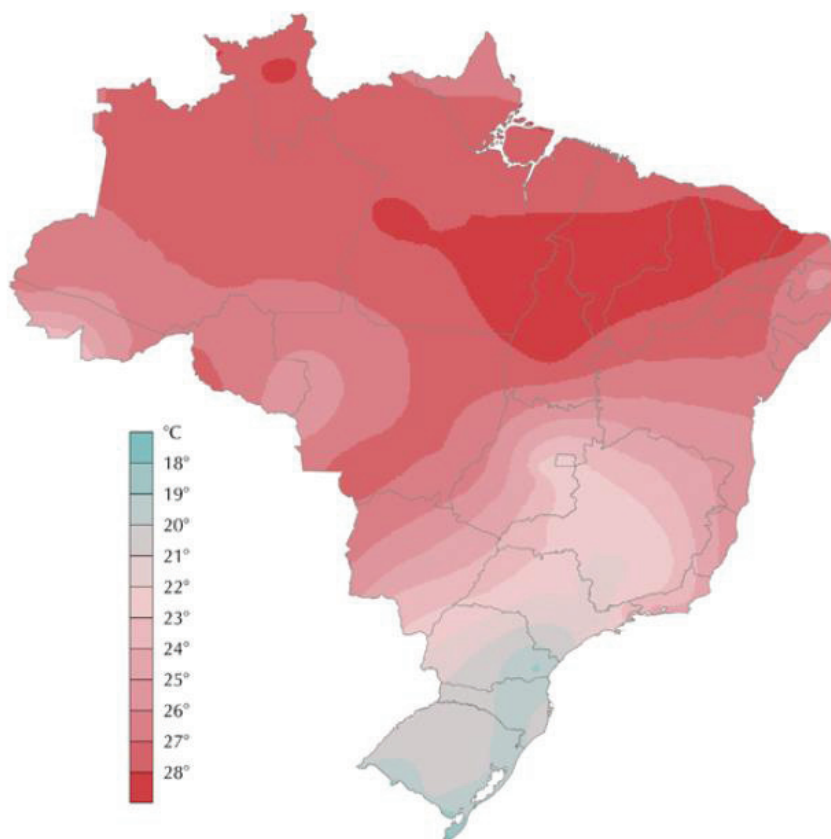
Mas este cenário está mudando e a previsão é de aumento na participação das energias renováveis, em 2014 a Eletrosul, situada em Florianópolis, foi contemplada com o maior complexo de geração de energia fotovoltaica integrado a um edifício com mais de 4 mil painéis solares. A usina Megawatt Solar, foi inaugurada no dia 27 de julho de 2014 e gera energia suficiente para atender aproximadamente 450 casas. Uma das particularidades da Usina Megawatt Solar é que, além de gerar energia, servirá como base para estudos, que permitirão ao País avançar em tecnologia e na viabilidade econômico-financeira da geração fotovoltaica. O complexo de geração solar agrega pequenas plantas experimentais, que se destinarão a estudos técnicos e acadêmico-científicos das tecnologias existentes, e sua eficiência na captação da radiação solar (PERES *et AL.* 2014).

## 2.4 POTENCIAL ENERGETICO DO PARANA

O estado do Paraná está localizado na região sul do Brasil e pelo fato de estar na região sul, abaixo do trópico de capricórnio, é uma região mais fria conhecida como zona temperada sul. Esta zona é uma região onde a angulação de incidência da luz solar é menor e ilumina uma área maior dissipando assim a incidência de energia, justificando as baixas temperaturas.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar 2006 gerou um mapa resultante da interpolação espacial dos valores médios anuais da temperatura observados em cada estação de coleta de dados, usando o método de interpolação Krigging, assumindo a hipótese de isotropia no ajuste do semivariograma (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006).

Na Figura 4, pode-se visualizar o mapa da média anual de temperatura no Brasil, confirmando que a região sul do Brasil é a região com menores temperaturas, e, conseqüentemente, a região com o menor potencial energético em questões de irradiação solar, se comparado com a região norte, por exemplo, mas ainda assim com boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país.



**Figura 4 - Mapa da média anual de temperatura no Brasil.**

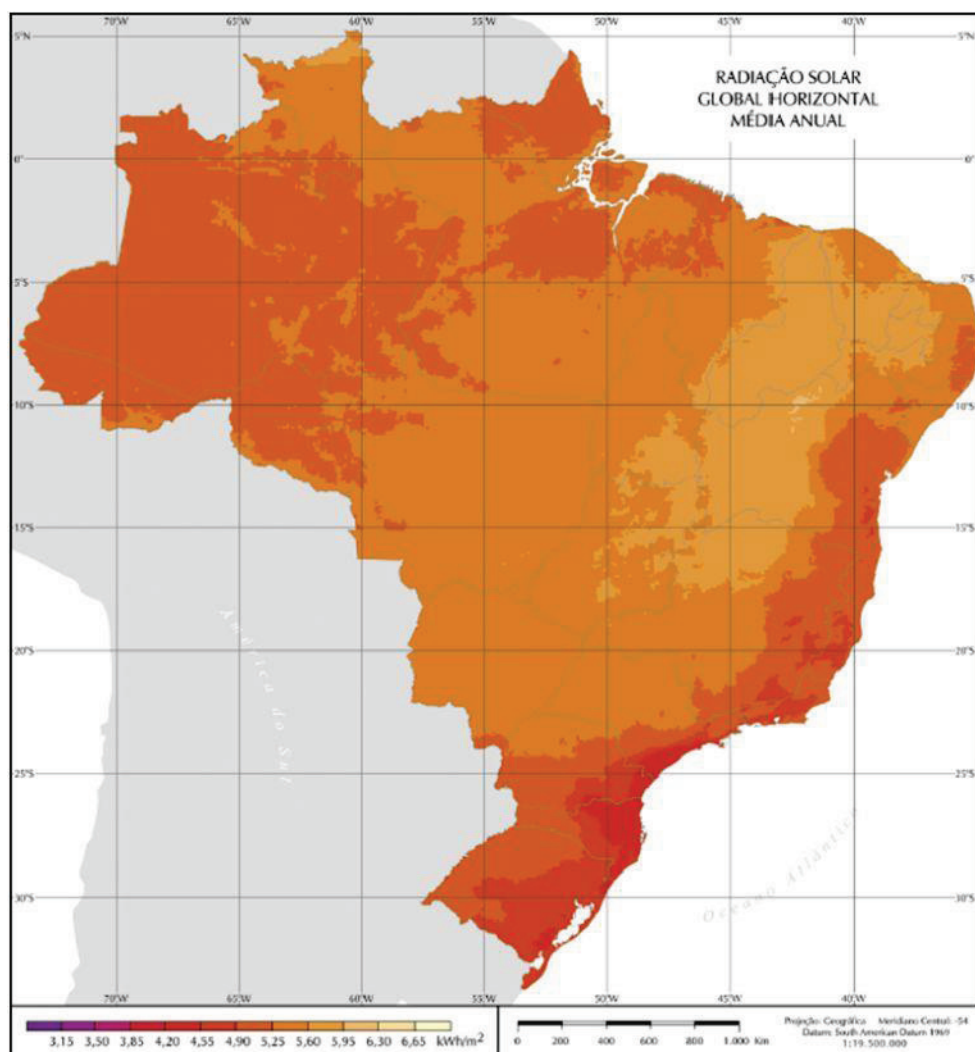
**Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.**

O valor máximo de irradiação global – 6,5kWh/m<sup>2</sup> - ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. Essa área apresenta um clima semi-árido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente 300mm/ano) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil. A menor irradiação solar global – 4,25kWh/m<sup>2</sup> – ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 kWh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900-1650kWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006).

Na Figura 5, é apresentado o mapa do Brasil representando a média anual do total diária de irradiação solar global incidente em nosso território. Apesar das



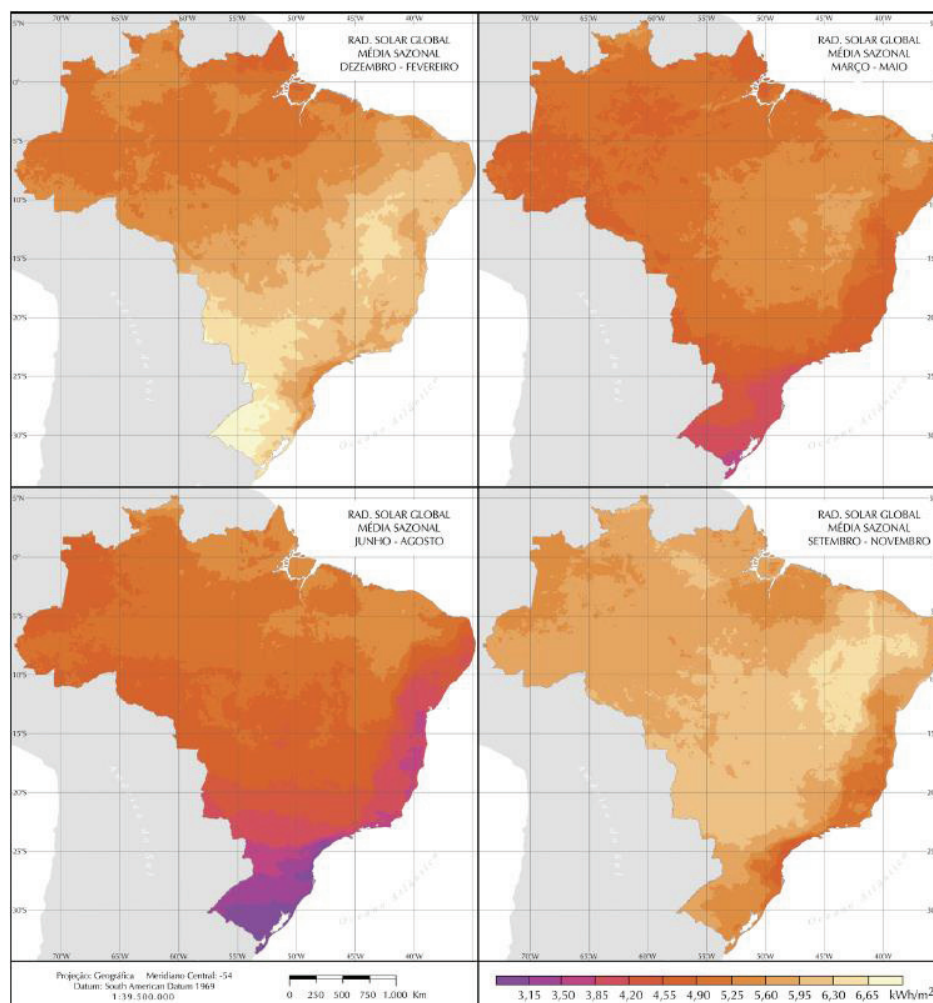
diferentes características climáticas observadas no Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país.



**Figura 5 - Radiação solar global horizontal média anual.**

**Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.**

A Figura 6 apresenta os mapas de médias sazonais da irradiação global diária. Os meses do ano foram classificados em quatro estações de modo que o período de dezembro a fevereiro refere-se ao Verão, de março a maio ao Outono, de junho a agosto ao Inverno e de setembro a novembro refere-se à Primavera.



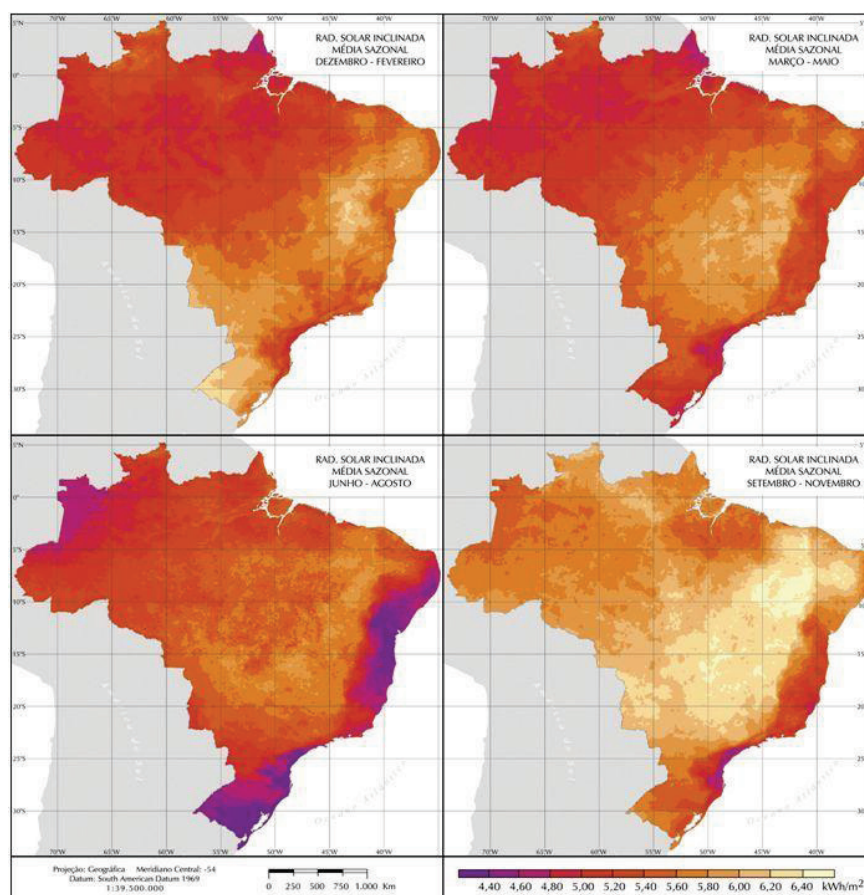
**Figura 6 - Médias sazonais da irradiação global diária.**

**Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.**

Na Figura 6 pode-se observar que a região Norte recebe menor incidência de radiação solar durante o Verão do que a região Sul, apesar de sua localização próxima à linha do Equador. Durante os meses de Inverno, ocorre o inverso e a região amazônica recebe maior irradiação solar global. Isso se deve às características climáticas da região amazônica que apresenta fração de cobertura de nuvens e precipitação elevadas durante o Verão devido à forte influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A variação da incidência de radiação solar entre o Inverno e Verão é menor na região Norte do que nas regiões Sul e Sudeste. O decréscimo natural da incidência de radiação solar no topo da atmosfera que ocorre no Inverno em decorrência de fatores astronômicos associados ao sistema Sol-Terra é compensado na região amazônica por uma menor nebulosidade associada ao deslocamento da ZCIT em direção ao hemisfério norte.

A irradiação solar global apresenta maior variação inter-sazonal na região Sul. Também é na região Sul que são observados os menores valores de irradiação global no Brasil, notadamente na costa norte do estado de Santa Catarina, litoral do Paraná e litoral sul de São Paulo. As características de clima temperado dessa região e a influência de sistemas frontais associados ao Anticiclone Polar Antártico contribuem para o aumento da nebulosidade na região, principalmente durante os meses de Inverno (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006).

A Figura 7 mostra os mapas das médias anual e sazonais da irradiação solar diária incidente sobre um plano com inclinação igual a latitude do pixel em consideração. Não levando em conta a topografia local, essa configuração é a que possibilita a máxima captação da energia solar incidente. Os maiores níveis de irradiação no plano inclinado ocorrem na faixa que vai do Nordeste ao Sudeste durante a Primavera e os menores valores em todas as regiões do Brasil ocorrem durante os meses de Inverno.



**Figura 7 - Radiação solar inclinada média sazonal.**

**Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.**

## 2.5 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Diz-se que uma fonte de energia é renovável quando não é possível estabelecer um fim temporal para a sua utilização. É o caso do calor emitido pelo sol, da existência do vento, das marés ou dos cursos de água. As energias renováveis são virtualmente inesgotáveis, mas limitadas em termos da quantidade de energia que é possível extrair em cada momento.

As principais vantagens resultantes da sua utilização consistem no fato de não serem poluentes e poderem ser exploradas localmente. A utilização da maior parte das energias renováveis não conduz à emissão de gases com efeito de estufa.

A única exceção é a biomassa, uma vez que há queima de resíduos orgânicos, para obter energia, o que origina dióxido de enxofre e óxidos de azoto.

A exploração local das energias renováveis contribui para reduzir a necessidade de importação de energia, ou seja, atenua a dependência energética relativamente aos países produtores de petróleo e gás natural.

As fontes de energia renováveis ainda são pouco utilizadas devido aos custos de instalação, à inexistência de tecnologias e redes de distribuição experimentadas e, em geral, ao desconhecimento e falta de sensibilização para o assunto por parte dos consumidores e dos municípios.

A principal fonte de energia existente hoje é o petróleo, mas além de não ser renovável, e ser um dos principais responsáveis pelo efeito estufa o petróleo é e ainda será motivo de muitas guerras e conflitos entre os países, principalmente aqueles países que dependem muito dessa fonte energética como, por exemplo, os Estados Unidos (PORTAL ENERGIA, 2015).

Diversas nações do mundo inteiro estão investindo muito dinheiro em projetos que utilizam às fontes de energia alternativa como a energia solar, a energia eólica, a energia geotérmica, o biodiesel, a energia obtida através do hidrogênio, a energia das marés, o etanol e a biomassa (PORTAL ENERGIA, 2015).

Essas fontes de energia alternativas citadas são as mais abordadas em projeto para uma menor contribuição para o aquecimento da Terra e também para tentar alcançar cada vez mais uma independência com relação ao petróleo e aos países produtores (PORTAL ENERGIA, 2015).

Neste trabalho será tratado somente sobre a energia solar fotovoltaica, foco deste projeto.

## 2.6 ENERGIA SOLAR

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais, etc.) para o aquecimento de água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes).

Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor. Neste último caso, pode-se gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares.

Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em



comunidades isoladas da rede de energia elétrica (Atlas Brasileiro de Energia Solar, pág. 29, 2006).

## 2.7 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

O sistema de transformação de energia solar em elétrica, por meio de células fotovoltaicas, é uma forma instantânea de adquirir energia elétrica. As placas fotovoltaicas se utilizam da radiação solar como fonte de energia natural, que é a mais limpa e abundante, transformando-a em energia elétrica (TESSARO, 2006).

De acordo com Braga (2008), o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Edmund Becquerel, em 1839, em uma solução de selênio. Mais tarde, esse efeito foi estudado em sólidos e, por volta de 1880, foi confeccionado o primeiro módulo fotovoltaico utilizando-se selênio. Este módulo possuía eficiência de 2%. A partir de 1950, após pesquisas realizadas nos EUA, foi construído o primeiro módulo fotovoltaico de silício.

Segundo Brito (2009), as razões para a escolha do silício como material para produção de placas fotovoltaicas estão associadas às características únicas deste material. Entre essas características estão a sua abundância deste elemento no planeta (cerca de 30% da crosta terrestre), a sua não toxicidade, o fato de ser a matéria-prima da indústria eletrônica e, portanto, ter sido alvo de uma investigação extraordinariamente detalhada nas últimas décadas e uma série de vantagens técnicas, em particular a propriedade fotovoltaica.

A célula fotovoltaica é a menor unidade em um sistema de geração fotovoltaica. Geram pequenas potências e pequenas tensões e são ligadas em série e/ou paralelo em painéis fotovoltaicos de forma a formar geradores de potências maiores (NUNES FILHO, 2008).

As células fotovoltaicas trabalham segundo o princípio de que os fótons incidentes, colidindo com os átomos de certos materiais, provocam um deslocamento de elétrons. Se estes elétrons podem ser capturados antes de retornarem aos seus orbitais atômicos, podem ser aproveitados livres formando um fluxo ordenado, ou corrente elétrica. (TESSARO, 2006).

Os fótons presentes na radiação solar são absorvidos por um material semicondutor. A energia destes fótons leva à libertação de elétrons de valência, dos

átomos do material semicondutor, permitindo que os elétrons formem um fluxo através deste, produzindo assim eletricidade. Quando um elétron é libertado do seu átomo surge uma carga positiva complementar chamada de lacuna que flui no sentido contrário ao do elétron, assim, forma-se um par elétron-lacuna (BONIFÁCIO, 2010).

O rendimento das células monocristalinas, ainda de acordo com Oliveira e Pereira (2011), é da ordem de 15% a 18%, enquanto que das células policristalinas é de 13% a 15%. Já as células de silício amorfo são obtidas a partir da deposição de finas camadas de silício sobre superfícies de vidro ou metal e seu rendimento é da ordem de 5% a 7%. Além dessas existem células de telureo de cádmio e de disseleneto de cobre-índio, que possuem rendimento menor e não são o foco de estudo deste trabalho.

Pesquisas que buscam aumento da eficiência nos sistemas fotovoltaicos têm sido desenvolvidas e enfocam diferentes alternativas para alcançar este objetivo. As variadas tecnologias de construção das células fotovoltaicas têm resultado em melhor eficiência na conversão da energia solar. Nas últimas três décadas, avanços significativos no desenvolvimento de materiais permitiram o aumento da eficiência dos painéis, com diminuição de custos, tornando a tecnologia acessível a uma maior parcela da população. (ALVES, 2010).

## 2.8 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Existe uma infinidade de variáveis que devem ser levadas em consideração antes de se adquirir um painel solar, pois existem muitas opções no mercado e cada uma tem uma particularidade que deve ser levada em consideração no projeto de um painel solar. A seguir, será descrito os dois principais tipos de células fotovoltaicas e suas características.

### 2.8.1 Silício (Si)

Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo hoje são baseados em alguma variação de silício. Em 2014, cerca de 85% de todos os sistemas de energia

solar fotovoltaica instalados em casas e empresas no mundo todo utilizaram alguma tecnologia baseada em silício (Si).

O silício usado em painéis solares assume muitas formas. A principal diferença é a pureza dele.

Quanto mais perfeitamente alinhadas estiverem as moléculas de silício, melhor a célula solar será na conversão de luz solar em energia elétrica.

A eficiência de painéis solares é diretamente proporcional pureza do Silício (Si). Mas os processos utilizados para melhorar a pureza do silício e o tratamento dele são caros e impactam diretamente no preço do painel solar (45% do custo de um painel solar convencional de tecnologia de silício cristalino é o silício bruto purificado e tratado).

Dentre os painéis de silício existem dois tipos os Monocristalinos e os Policristalinos (PORTAL SOLAR, 2015).

#### 2.8.1.1 Silício monocristalino

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também uma das mais caras, porém eles possuem a eficiência mais alta. Comercialmente falando, a eficiência dos painéis gira em torno de 14 a 21% (PORTAL SOLAR, 2015).

Os painéis solares de silício monocristalino (mono-Si) são facilmente reconhecíveis apenas olhando de perto. Possuem uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados como você pode ver na Figura 8.



**Figura 8 - Silício monocristalino**

**Fonte: [www.portalsolar.com.br](http://www.portalsolar.com.br)**



Eles são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, (lingotes de silício de forma cilíndrica), este é fatiado, fazendo assim lâminas de silício individuais, que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. Cada célula fotovoltaica circular tem seus “4 lados” cortados fora para otimizar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveitar melhor a área do painel. O painel solar é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em formações de série e paralelo. (PORTAL SOLAR, 2015).

#### 2.8.1.1.1 Vantagens do painel solar monocristalino

- Os painéis solares monocristalinos possuem a eficiência mais alta dentre as tecnologias comercialmente viáveis atualmente. A eficiência dos painéis solares monocristalinos está hoje entre 14% e 21%;
- Painéis solares de silício monocristalino ocupam menos espaço. Uma vez que estes painéis solares possuem uma eficiência maior eles necessitam de menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica;
- A vida útil dos painéis monocristalinos é maior que 30 anos e eles vêm com garantia de 25 anos;
- Tendem a funcionar melhor do que painéis solares policristalinos em condições de pouca luz.

#### 2.8.1.1.2 Desvantagens do painel solar monocristalino

- Painéis solares monocristalinos são os mais caros. Do ponto de vista financeiro, um painel solar que é feito de silício policristalino e, em alguns casos de filme fino, pode ser uma escolha melhor para os proprietários que se importam com o custo;
- O processo Czochralski usado para produzir silício monocristalino resulta em grandes lingotes cilíndricos. Quatro lados são cortados dos lingotes para fazer as lâminas de silício e por isso uma quantidade significativa do silício não é aproveitada naquela célula e precisa ser reciclado.

A eficiência das células fotovoltaicas individualmente é maior que a do painel solar como um todo. Isso acontece ao encapsular a célula fotovoltaica durante o processo de montagem do painel solar, a luz que atinge a superfície da célula fotovoltaica, é filtrada pelo vidro em cima do painel e pelo EVA (material encapsulante) reduzindo assim a eficiência do painel como um todo, por exemplo, um painel solar de tecnologia cristalina com eficiência de 16% possui provavelmente células de 18% de eficiência.

#### 2.8.1.2 Silício policristalino

Ambos, mono e poli cristalino são feitos de silício, a principal diferença entre as tecnologias é o método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais, conhecido pelo nome policristalino. Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais.

Uma vez fundido, eles são serrados em blocos quadrados e, em seguida, fatiados em células assim como no monocristalino, mas é um pouco mais fácil de produzir. Eles são semelhantes aos de um único cristal (monocristalino) tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes.

Os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, que também são também conhecidos como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si), foram introduzidos no mercado em 1981 (PORTAL SOLAR, 2015).

##### 2.8.1.2.1 Vantagens do painel solar policristalino

- A quantidade de silício residual gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas é menor em comparação com monocristalino;
- Painéis policristalinos tendem a ser um pouco mais baratos que os painéis solares monocristalinos;
- A vida útil dos painéis policristalinos é maior que 30 anos e eles vêm com garantia de 25 anos.

### 2.8.1.2.2 Desvantagens do painel solar policristalino

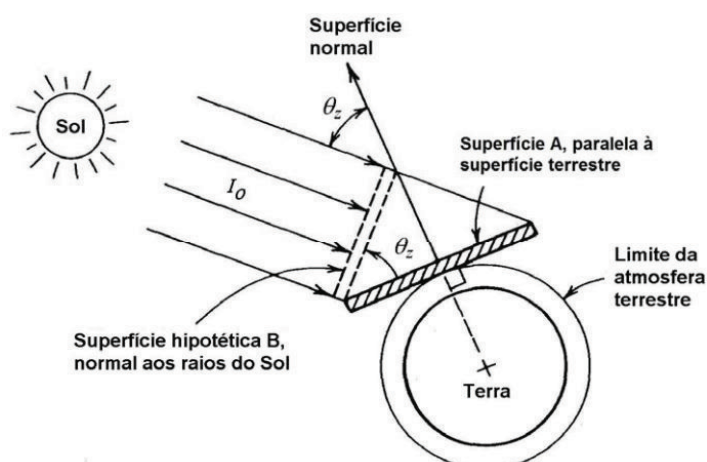
- A eficiência de painéis solares policristalinos é tipicamente entre 13 e 16.5%. Isso é devido, principalmente, a menor pureza do polisilício. Painéis solares monocristalinos são normalmente mais eficientes;
- Menos Watts por hora por  $m^2$ . Você normalmente precisa de uma área maior de painéis policristalinos para gerar a mesma quantidade de  $Watts/m^2$  que o painel monocristalino. Isto não necessariamente significa que o Mono é melhor que o Poli.

## 2.9 MOVIMENTO SOLAR

De acordo com Ribeiro (2012), a energia gerada por um painel fotovoltaico tem relação direta com a intensidade luminosa (radiação) provinda do sol e quanto maior a energia solar entregue ao painel, maior será a sua capacidade de conversão de energia.

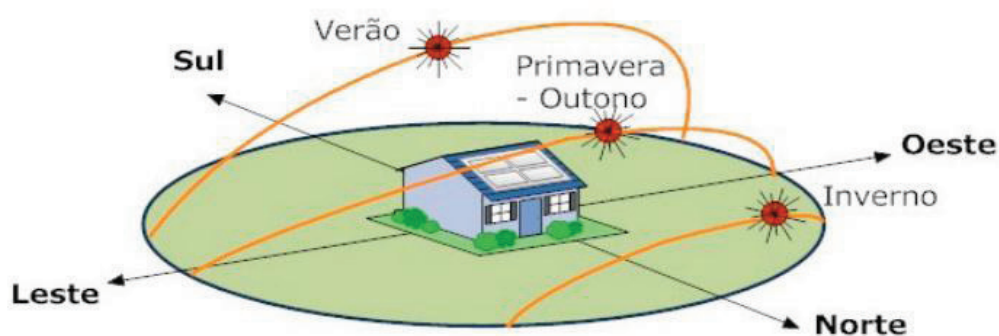
A intensidade da radiação solar incidente sobre a superfície terrestre sofre variações além do diurno-noturno, como apresentado na Figura 09. Têm-se variações anuais, em consequência da trajetória elíptica da órbita da terra em torno do Sol (COMETTA, 2004). Como apresentado na Figura 10

Os principais movimentos da terra são a rotação e a translação. A rotação é o movimento da Terra em torno de seu próprio eixo, e tem duração de aproximadamente 24 horas.



**Figura 9- Efeito Cosseno sobre o conceito de Irradiância Extraterrestre**

**Fonte: ALVES, 2008.**



**Figura 10- Trajetória solar em diferentes épocas de um ano.**

**Fonte: RIBEIRO 2012**

O movimento de rotação proporciona o ciclo dia-noite, e a hora solar. A hora solar depende da localidade (longitude) e geralmente é diferente da hora local marcada pelos relógios, definida pelas Zonas de Hora Padrão (fuso horário) e outras aproximações. A hora solar é baseada no relógio de 24 horas, com 12h00 sendo o horário em que o Sol está exatamente na direção Norte. O conceito de hora solar é usado para prever a direção dos raios solares em um determinado ponto sobre a Terra (ALVES, 2008).

O eixo de rotação da terra faz um ângulo de  $66,5^\circ$  com o plano da órbita da mesma em relação ao sol. O raio médio de órbita da terra tem cerca de 150 milhões de quilômetros. O movimento de translação é o realizado em torno do Sol, que dura em torno de 365 dias, um ano.

Esses movimentos proporcionam alguns ângulos em relação ao Sol e a Terra. Segundo Faricelli (2008), o Sol forma, em relação à Terra, um ângulo de Declinação que é a medida formada pelo plano do Sol, ao meio dia, com o plano do equador; o Zenital que é o ângulo formado entre a posição do Sol e a vertical do observador; o ângulo de Altura solar é dada pela medida entre o horizonte e a posição do Sol acima do horizonte; o Ângulo Horário que é o formado entre o plano meridiano passando pelo Sol e o plano meridiano do local e o Ângulo de Saída solar dado pela medida na qual o Sol nasce ou se põe.

Já para ângulos do plano coletor em relação à Terra, ainda segundo Faricelli (2008), existem o Ângulo de Inclinação dado pelo ângulo entre a horizontal do local com o plano da superfície coletora; o Ângulo Azimutal dado pela medida angular tomada a partir da orientação norte do observador no plano do horizonte e,

finalmente, o Ângulo de Incidência que é o ângulo formado entre a posição do Sol relativa à superfície em questão e a normal a essa superfície.

A variação da posição do sol em relação à terra proporciona uma captação de energia não uniforme pelos coletores solares.

## 2.10 ACUMULADORES DE CARGA

Aumentar a eficiência e a durabilidade dos sistemas implica entender como funciona o acumulador e sua relação com os outros elementos. Selecionar adequadamente o tipo, o tamanho e as características do acumulador, assim como a estratégia de controle que deve ser aplicada ao mesmo.

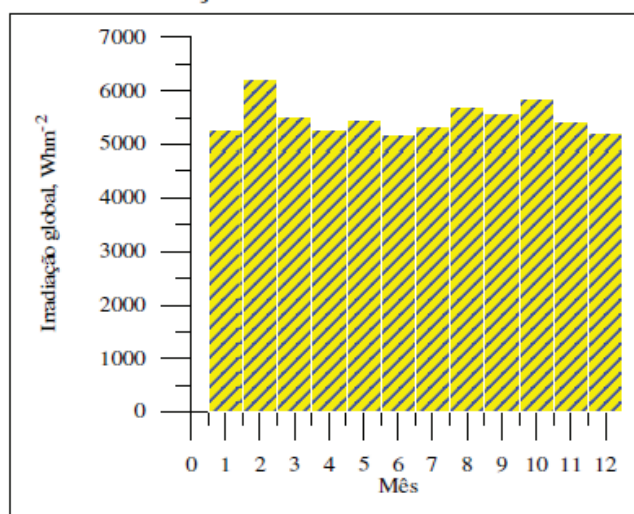
O sistema de armazenamento de energia deve funcionar continuamente em ciclos de carga e descarga, de intensidade e duração variáveis em função da intermitência da geração de energia e dos diversos tipos de consumo. A um ciclo diário (determinado pelos perfis de geração e consumo) se superpõe um ciclo sazonal, que depende da evolução da radiação solar ao longo do ano. Conforme a aplicação um ciclo diário pode variar desde superficial (profundidade de ciclagem em torno de 15%) a profundo (maior que 80%). Assim, as baterias em aplicações fotovoltaicas podem operar em condições de cargas e descargas irregulares, longos períodos em baixa carga ou em sobrecarga e sob variações na temperatura. Isto varia muito conforme a localização do sistema e da demanda.

Em um estudo realizado por Morante (2004) sobre a demanda de sistemas domiciliares de instalações nacionais se verifica que o consumo médio mensal pode variar desde 0,24 kWh/mês até 4,8kWh/mês, dependendo do tipo de família, das cargas e do uso das mesmas. O consumo diário é praticamente concentrado à noite, considerando as cargas de iluminação, rádio e TV, mas há usos de alguns eletrodomésticos durante o dia. O estudo registrou que o consumo não é linear, nem constante ao longo do tempo, de acordo com os hábitos de cada família e região. (I CEBENS 2007).

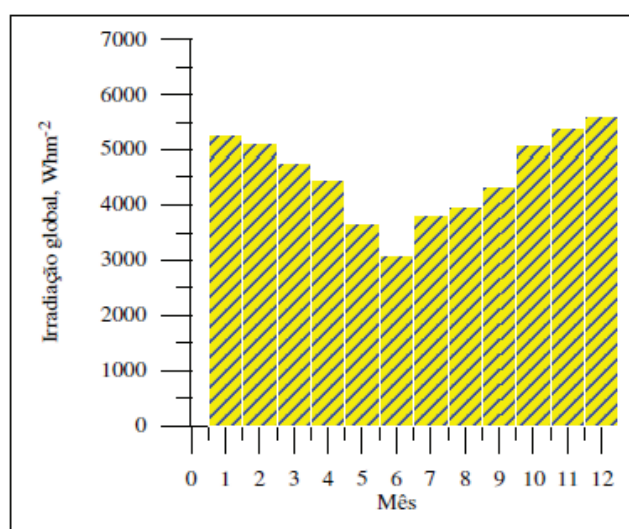
Por outro lado, grande parte dos sistemas fotovoltaicos estão localizados nas regiões Norte e Nordeste onde o ciclo anual de radiação solar não apresenta uma sazonalidade muito marcada, como se pode ver na Fig. 11, pois estas regiões

apresentam uma média anual, mais ou menos constante e acima de 5 kWh/m<sup>2</sup>. (I CEBENS 2007).

Para comparação, se apresenta na Figura 12 o perfil de radiação anual para o sul do país, onde as estações do ano são bem definidas e o período de inverno exerce uma influência muito grande no comportamento dos sistemas aí instalados, pois o nível de insolação diminui. Para um consumo constante ao longo do ano estas condições de geração submetem a bateria a condições operacionais muito variáveis. (I CEBENS 2007).



**Figura 11- Perfil típico anual de radiação solar para a região nordeste, Petrolina-BA**  
**Fonte- I CEBENS (2007).**



**Figura 12- Perfil típico anual de radiação solar para a região sul, Porto Alegre-RS**  
**Fonte- I CEBENS (2007).**

Com relação ao tipo de armazenamento, o eletroquímico, ou a bateria recarregável é o sistema utilizado. As baterias convertem energia elétrica em química, quando carregam, e a energia acumulada é convertida em elétrica novamente quando descarregam. A bateria de chumbo-ácido é considerada ainda hoje a mais viável de utilização, por ser uma tecnologia conhecida e dominada, que apresenta uma boa relação entre rendimento, custo e vida útil, além da disponibilidade.

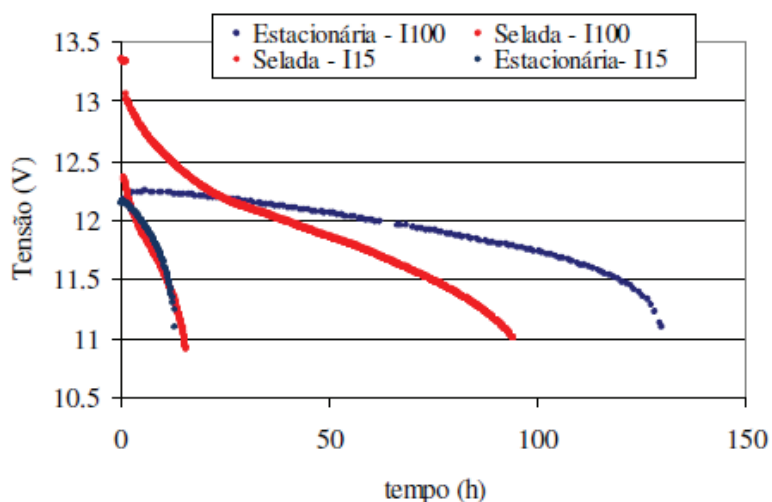
Diferentes formas construtivas desta bateria estão disponíveis no mercado para suprir a demanda das aplicações convencionais: arranque (automotivas), tração (veículos elétricos) e estacionárias (auxiliar dos sistemas de alimentação ininterrupta). Independente das características construtivas específicas, esta bateria envolve os materiais ativos chumbo (Pb) e óxido de chumbo (PbO<sub>2</sub>) nas placas e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como eletrólito. Na descarga forma sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>) e na carga os materiais ativos são revertidos, ou seja,  $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2$ .

### 2.10.1 Capacidade dos Acumuladores

A quantidade de eletricidade, ou a capacidade útil, é dada pelo produto da corrente de descarga pelo tempo de duração da mesma e depende de como são utilizados os materiais ativos no processo. A descarga se caracteriza por uma progressiva diminuição da tensão, da densidade do eletrólito e do estado de carga e influem os fatores construtivos da bateria (estrutura dos materiais ativos, porosidade, concentração de ácido, espessura das placas) e os fatores operacionais, como o regime de corrente ( $I_t$ = corrente para t horas de descarga), a temperatura e a tensão final de descarga. A Figura 13 apresenta dados medidos de descarga, mostrando o efeito do regime de descarga na variação da tensão para dois tipos construtivos de baterias: uma estacionária (C<sub>100</sub>=100Ah), aberta ou ventilada, e formada de 6 vasos individuais de 2V cada, e a outra selada, livre de manutenção, em estrutura monobloco de 12V (C<sub>10</sub>=95 Ah).

Complementando a análise desta figura, a Tabela 1 apresenta os valores obtidos de capacidade para estas baterias nos diferentes regimes de descarga, adicionando a bateria automotiva monobloco 12 V (C<sub>20</sub>=36Ah).





**Figura 13-Variação da tensão da descarga para dois regimes de corrente e dois tipos de baterias, conforme dados medidos a 25°C.**

Fonte: I CBENS (2007).

Através da Figura 13 pode-se ver como a tensão diminui com o tempo na descarga e a diferença com o regime refletindo-se diretamente no cálculo da capacidade apresentado na Tabela 1. Nesta tabela se pode verificar a influência dos fatores externos na capacidade. Para regimes mais elevados ( $I_{10}$ ) as baterias dão menores capacidades, pois se descarregam mais rapidamente e as transformações internas são superficiais (tempo limitado para o processo de difusão do eletrólito), ao contrário das descargas a regimes menores ( $I_{100}$ ) que a capacidade aumenta. Com menores correntes se produz um melhor e mais completo uso dos materiais ativos e do ácido e se obtém uma distribuição de correntes mais uniformes. Considerando os valores médios de consumo e irradiação, se pode dizer que os regimes usuais das aplicações fotovoltaicas costumam ser de baixa intensidade, claro que isto dependerá também do dimensionamento do sistema, e dos dias de autonomia estabelecidos.

Baterias (12V)	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	Tensão final (V)	Capacidade (Ah)	
			$C_{10}$	$C_{100}$
Estacionária <sup>1</sup> ( $C_{10}=100\text{Ah}$ )	1,24	11,1	127,8	194,2
Automotiva <sup>2</sup> ( $C_{20}=36\text{Ah}$ )	1,26	11,0	26,0	30,5*
Selada <sup>2</sup> ( $C_{10}=95\text{Ah}$ )	1,27	11,0	74,6	99,7

**Tabela 1-Capacidades para dois regimes de descarga (a 10 horas- $C_{10}$  e a 100 horas- $C_{100}$ ) conforme dados medidos por Copetti et al. (1997, 1993) e Moura (1995).**

Fonte: I CBENS (2007).



Os números em potência na primeira coluna da Tabela 1, são referentes à: 1 Bateria de fabricação Alemã e 2 Baterias de fabricação nacional. Esta capacidade da bateria automotiva foi obtida para um regime correspondente a 60 horas de descarga, ou seja, C60.

As diferenças nos valores obtidos, principalmente para as baterias estacionárias e selada, que possuem praticamente a mesma capacidade nominal para 10 horas, podem estar associadas aos aspectos construtivos, pois a estrutura interna deve adaptar-se à aplicação a que se destinam. As baterias estacionárias são para aplicações em que a maior parte do tempo se mantém carregada e, esporadicamente, são submetidas a descargas profundas, por isso possuem placas grossas ou tubulares. Estas características construtivas fazem com estas baterias possam suportar as condições de ciclagem e, portanto, se comportem melhor que as demais em sistemas FV, mas por serem abertas exigem manutenção para reposição de água. Neste sentido as baterias seladas são interessantes, pois são livres de manutenção e, diferente das abertas, possuem uma quantidade limitada de eletrólito e um valor mais elevado de densidade. No entanto, os dados medidos não correspondem à capacidade nominal fornecida pelo fabricante, sendo observado que após ciclos de acondicionamento e testes repetitivos a bateria perdia capacidade.

As baterias automotivas são indicadas para descargas rápidas e, portanto, correntes elevadas, sendo por isto fabricada com placas planas e delgadas. Esta bateria não se comportou bem ao longo do tempo a correntes reduzidas, e se observou que os regimes impostos nos experimentos aceleraram os mecanismos de envelhecimento da mesma.

## 2.11 REGULADORES (CONTROLADORES) DE CARGA

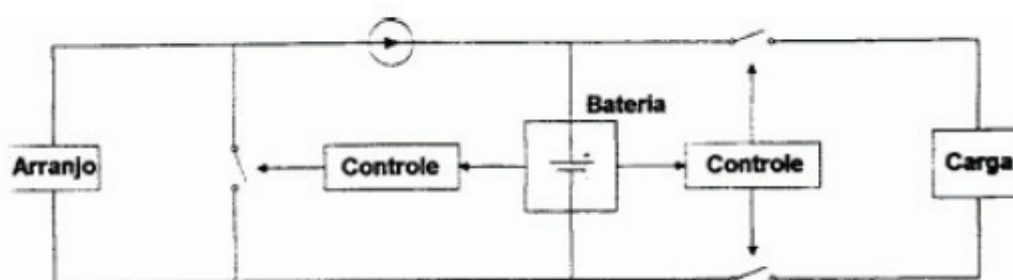
Quando um equipamento é ligado à bateria a quantidade de energia elétrica armazenada nela vai diminuindo à medida que o tempo passa. Para evitar que a bateria se descarregue por completo nos períodos longos sem insolação e de grande consumo, ou seja, tenha uma descarga profunda, é conveniente instalar um controlador de carga. Este acessório monitora a carga da bateria e impede que a

mesma descarregue completamente, aumentando a sua vida útil. Já em períodos de grande insolação e pequeno consumo de energia, a bateria tende a se carregar em excesso, aumentando a sua tensão e reduzindo a sua vida útil. O controlador de carga evita este excesso desconectando o módulo.

Os reguladores de carga podem ser do tipo paralelo (shunt) ou série, dependendo da forma como desconectam os módulos fotovoltaicos das baterias quando elas atingem a posição de plena carga.

Os controladores tipo paralelo apresentam um circuito elétrico básico conforme mostrado na Figura 14. Quando as baterias estão muito carregadas o controlador curto-circuita a saída dos módulos fotovoltaicos, fazendo com que a tensão dos mesmos caia para um valor próximo de zero. Como a tensão das baterias fica maior que a dos módulos não há mais carregamento. São muito utilizados para sistemas com correntes baixas (até 10A).

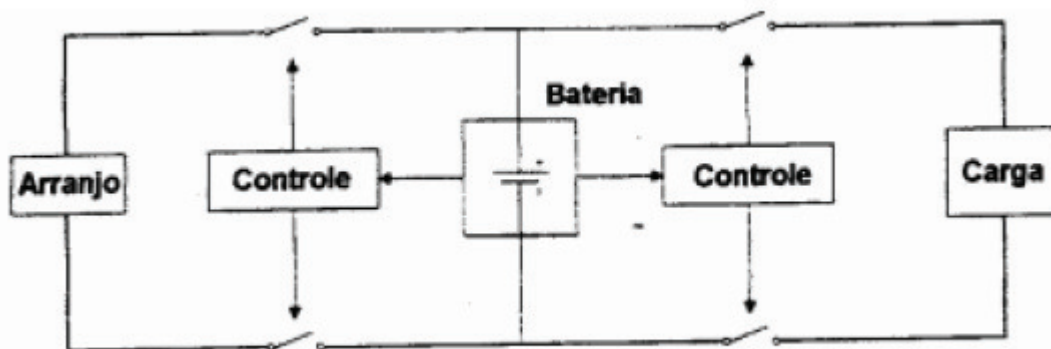
É necessária a colocação de um diodo em série para bloquear a corrente reversa da bateria para o curto-circuito. Tal diodo é também importante para evitar a corrente reversa da bateria para os módulos durante a noite. Entretanto, como este diodo está em série, o mesmo provoca uma queda de tensão e uma perda de energia no sistema. Alguns tipos de controladores, quando projetados para baixas tensões ( $\leq 12V$ ), não usam diodos de bloqueio, pois a perda nos mesmos poderia ser maior que a eventual perda pela corrente reversa.



**Figura 14 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo paralelo**

**Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.**

Os controladores tipo série são utilizados normalmente em sistemas com corrente mais elevada e se caracterizam por desconectar os módulos das baterias conforme mostrado na Figura 15.



**Figura 15 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo série**  
**Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.**

As características esperadas que o controlador de carga exerça neste projeto são:

- Proteção contra inversão de polaridade;
- Desconexão da carga para proteção das baterias contra descargas excessivas;
- Curto-circuitar o módulo em caso de não uso da energia gerada;
- Compensar variações de temperatura.

## 2.12 TORQUE OU MOMENTO DE UMA FORÇA

Torque ou momento de uma força é uma grandeza física proporcional a Força e a distância da aplicação em relação ao ponto de giro, ou seja:

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

A unidade do Momento da Força no sistema internacional é o Newton-metro (N.m).

Como este é um produto vetorial, pode-se dizer que o módulo do Momento da Força é:

$$M = F \cdot d \cdot \text{sen } \theta$$

Sendo:

$M$  = Módulo do Momento da Força.

$F$  = Módulo da Força.

$d$  = distância entre a aplicação da força ao ponto de giro; braço de alavanca.

$\sin \theta$  = menor ângulo formado entre os dois vetores.

Como,  $\sin 90^\circ = 1$ , se a aplicação da força for perpendicular à  $d$  o momento será máximo;

Como,  $\sin 0^\circ = 0$ , quando a aplicação da força é paralela à  $d$ , o momento é nulo.

Baseado neste princípio da física, os atuadores instalados na estrutura estão fixados na parte mais afastada da extremidade fixa, exercendo assim o menor esforço possível, e conseqüentemente consumindo menos energia durante o movimento.

### 3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

O projeto foi desenvolvido nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba – sede Centro, nas coordenadas  $25^{\circ} 26' 21''\text{S}$   $049^{\circ} 16' 07''\text{W}$ . Sendo o nascer do sol, para o dia 11/11/2015, às 05:22 horas com Azimute  $109,73^{\circ}$  e pôr-do-sol às 18:39 horas com Azimute  $250,11^{\circ}$ . Com isso temos uma variação angular, do nascer ao pôr-do-sol de  $140,38^{\circ}$ . A variação angular do plano do equador em relação ao sol, varia de  $23^{\circ}27'N$  a  $23^{\circ}27'S$ , conforme as estações do ano, sendo assim, a variação angular do painel solar, no eixo Norte/Sul deve ser de  $47^{\circ}$  e no eixo Leste/Oeste deve ser de  $140^{\circ}$ .

#### 3.1 PROJETO DA ESTRUTURA DOS MECANISMOS MÓVEIS

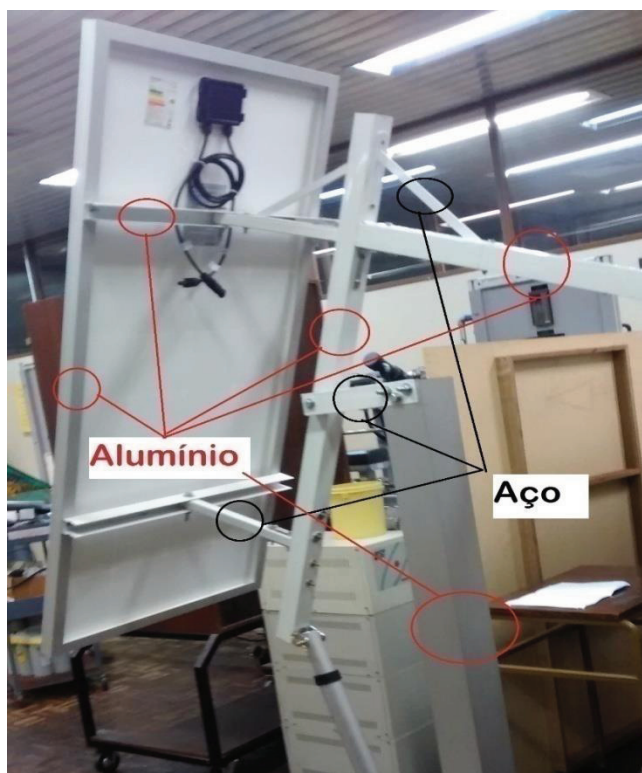
A estrutura do painel solar foi projetada seguindo os seguintes critérios estipulados:

- Estrutura feita com o material leve e resistente a esforços e desgastes causados pelo clima.
- Estrutura resistente o suficiente para suportar o painel solar, os atuadores, o quadro de energia, a bateria mais os esforços causados pelo vento.
- Variação angular do painel solar, no eixo Norte/Sul deve ser de  $47^{\circ}$  e no eixo Leste/Oeste deve ser de  $140^{\circ}$ .

Baseado nos critérios estipulados, a maior parte do material utilizado na estrutura foi o alumínio. O alumínio é um metal leve, resistente e não oxidável, com isso ele foi utilizado na base, na coluna principal e nas hastes de fixação

Devido ao peso do painel solar e dos atuadores, foram utilizados tubos e chapas de aço, onde o desgaste e o esforço são maiores.

Na Figura 16, pode-se identificar as partes feitas de aço.



**Figura 16 - Materiais utilizados na estrutura do painel solar**

**Fonte: Elaborada pelo autor.**

A estrutura do painel solar pesa 8 kg, os atuadores pesam 2 kg cada, o painel solar pesa 12 kg, a bateria pesa 05 kg, o quadro de energia e seus equipamentos pesam 02 kg, totalizando em 31 kg seu peso total.

## 3.2 CONCEPÇÃO DO PROJETO

### 3.2.1 Desenho AutoCAD

O desenho da estrutura foi realizado no AutoCAD 2014, e foi baseado em imagens encontradas na internet, entretanto foi planejado pensando principalmente nos equipamentos que estavam disponíveis para este projeto.

Estes equipamentos que foram disponibilizados para o projeto, e que devido ao alto custo, não poderiam ser substituídos por outros que fossem mais

apropriados, tiveram grande influência na escolha dos materiais e na forma da estrutura desenhada.

Os equipamentos que já estavam disponíveis para o projeto são:

- 02 Atuadores mecânicos da Line, com curso máximo de 550mm.
- 01 Painel solar de Silício Monocristalino CHN80W-36M, com potência máxima de 80 watts.

A Figura 17 mostra a vista lateral do desenho projetado no AutoCad, com suas dimensões expressas em milímetros.

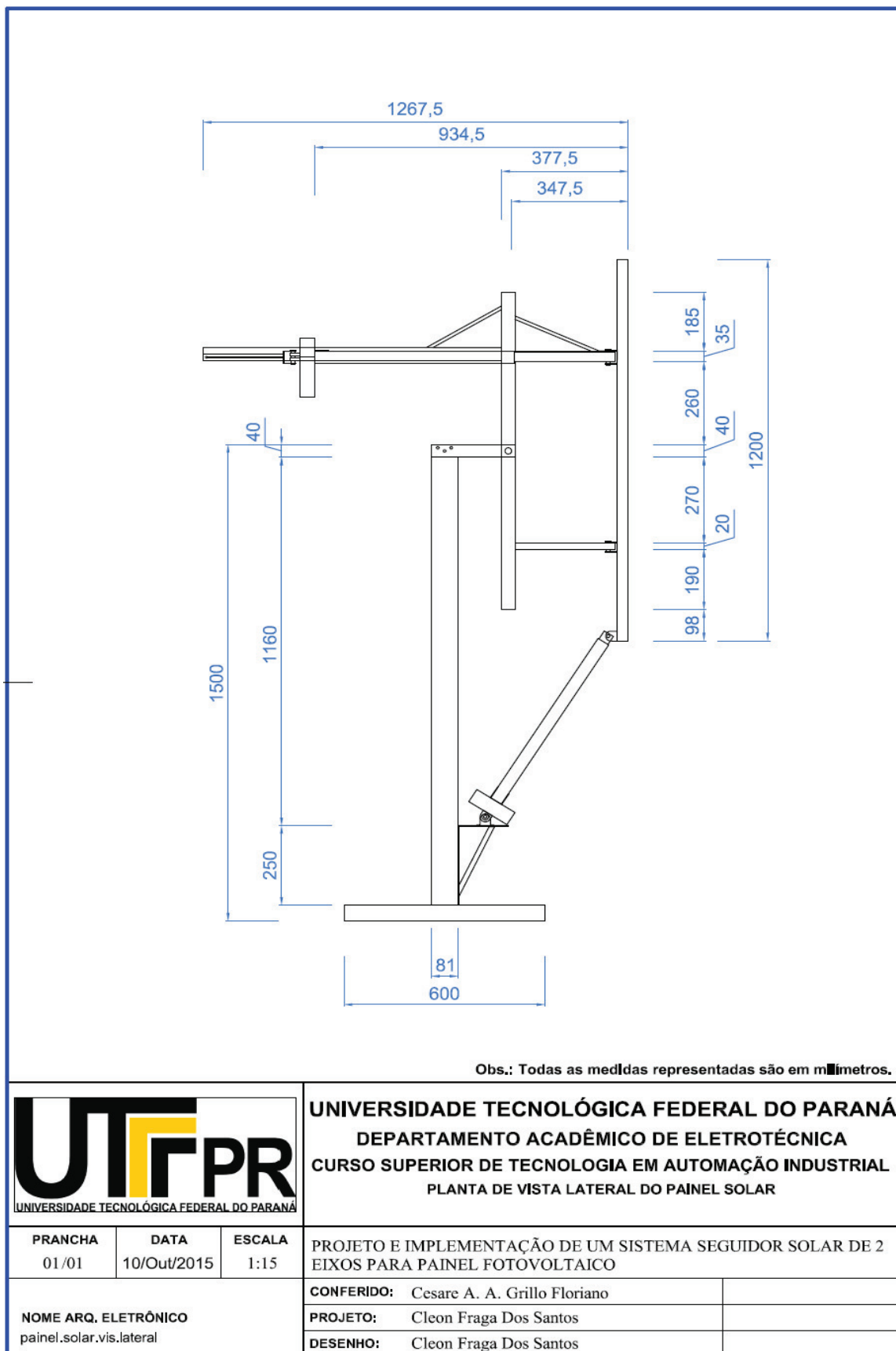


Figura 17- Vista lateral seguidor solar

Fonte: Elaborada pelo autor



A variação angular do painel no sentido Norte/Sul é de 90° e no sentido Leste/Oeste de 300°.

### 3.2.2 Controlador de carga utilizado

O controlador de carga escolhido para o projeto foi o da marca Solar, que é um controlador de carga de 10A programável, com as seguintes especificações:

- Voltagem de saída: 12V/24V;
- Corrente máxima: 12A;
- Corte de carga total: 13.7V/27.4V;
- Corte de carga baixa: 10.5V/21V;
- Dimensões: 11,6 x 10,6 x 5,5 cm (A x L x P).

Na Figura 18 pode-se observar o controlador escolhido e suas ligações.



**Figura 18 - Controlador de carga Solar 10A**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

#### 3.2.2.1 Principais características do Controlador de Carga Solar PWM:

- O controle inteligente é feito usando microprocessador e cálculo de controle dedicado;
- Possui quatro modos de carga de trabalho: controle de iluminação pura, controle de iluminação e de tempo, operação manual e modo de depuração;

- Gestão inteligente da bateria: até a bateria estar totalmente carregada ela terá sua tensão de carga intensificada. Em estado de funcionamento normal, a carga direta e a carga flutuante estão ambas disponíveis, de modo que o tempo de vida da bateria é aumentado. Além disso, a adoção de compensação de temperatura de alta precisão torna o carregamento mais preciso;
- Comparando com os *loops* de carregamento usando diodos, aquele que adota duplo controle do circuito série MOS (*Metal-Oxide-Semiconductor*) faz com que a perda de tensão caia em 50%. Com o controle *fuzzy* PWM (*Pulse Width Modulation*), no carregamento, a eficiência de carga melhora muito;
- A tela de LED mostra o estado de funcionamento da bateria solar, bateria de armazenamento e carga. O visor LED mostra o parâmetro ajustado. Deste modo, os usuários podem saber o estado de funcionamento em tempo real. Além disso, existem várias opções de parâmetro; os usuários podem selecionar o modo de funcionamento com base nas diferentes condições;
- Existem várias proteções, incluindo sobrecarga completa, descarga completa e sobre carga, bem como proteção contra curto-circuito e proteção de conexão reversa. Todas as proteções são inofensivas para todas as partes e fusíveis. TVS trovão é uma proteção contra trovões que também está disponível. O design sem jumpers melhora a confiabilidade e durabilidade dos produtos;
- *Chips* e componentes de precisão são adotados nos controles. Por conseguinte, o controlador opera também em temperatura muito baixa ou muito alta, bem como em ambientes úmidos. Ao mesmo tempo, com a utilização do controle de temporização de cristal, a função de temporização do controlador é muito mais confiável;
- O display de LED digital possui um botão de configuração que torna o dispositivo fácil de manusear.

### 3.2.2.2 Descrição do controlador de carga, Solar PWM

Os controladores Solar PWM são projetados especialmente para um sistema solar de alimentação e saída com corrente contínua. O controle inteligente é feito usando *chips* de computadores dedicados. Para os controladores com 12 V / 24 V

existe a função de identificação automática, o sistema vai identificar a voltagem quando os controladores são carregados inicialmente.

Proteção a Curto-circuito, sobrecarga, proteção de conexão reversa, bem como o excesso de carga, sobre-descarga, também estão disponíveis. Além disso, possui indicações para os estados de carga, armazenamento da bateria e falhas.

Através dos *chips* de computador, os controladores colhem amostras a partir dos parâmetros de tensão de armazenamento de bateria, do painel solar, corrente de descarga e temperatura ambiente, e, em seguida, usa o cálculo modo de controle dedicado para controlar a taxa de descarga e torná-la combinada com as características de armazenamento da bateria.

Este controlador de carga supriu completamente as necessidades do projeto, pois como a corrente máxima do circuito é de 1,5 Ampere, não ultrapassa a máxima suportada que é de 10 A. Já a tensão das baterias, dos atuadores é de 12 V, e a do circuito seguidor solar é de 9 V, sendo assim suportada pelo controlador.

### 3.2.2.3 Instalação e utilização de Controlador de Carga Solar PWM

Alguns detalhes devem ser observados para a instalação do Controlador de Carga Solar PWM, são eles:

- Fiação: os fios devem ser combinados com o resto do sistema. O diâmetro dos fios ligados ao controlador deve ser de 5 mm. Quanto maior for o diâmetro maior será a perda;
- Ligação à bateria de armazenamento: Prestar atenção ao "+" e "-" no caso de conexão reversa. Se estiver ligado corretamente, a luz de indicação irá acender. Caso contrário, verifique as ligações;
- Conexão com o painel solar: Prestar atenção ao "+" e "-" no caso de conexão reversa. Se estiver ligado corretamente, a luz de indicação irá acender. Caso contrário, verifique as ligações;
- Ligação à carga: conecte os fios no controlador de carga. As duas interfaces estão ligadas em paralelo, e a corrente total deve ser menos do que a

corrente nominal. Preste atenção ao "+" e "-" no caso de conexão reversa, poderá danificar do dispositivo.

#### 3.2.2.4 Procedimento de operação para o controlador de carga

A seguir será descrito como são apresentadas as Indicações luminosas de estado de trabalho do controlador de carga:

Indicação de estado carregado: A luz de indicação solar acende quando a tensão de entrada do painel solar atinge certo ponto, enquanto a bateria está sendo carregada. A luz de indicação solar pisca rapidamente, se o sistema estiver com sobretensão.

Indicação de armazenamento na bateria: quando a bateria está com pouca tensão, a luz indicadora fica na cor amarela. Quando sobrecarregada por mais de 10 segundos, a luz indicadora ficará vermelha e a carga será desligada. No estado normal de trabalho, a luz indicadora é verde.

Indicação de carga: quando a carga está em estado normal de trabalho, a luz indicadora fica acesa continuamente. Em caso de sobre carregamento a luz indicadora pisca lentamente. Quando em curto-circuito, a carga é desligada de uma vez e a luz indicadora pisca rapidamente. Quando a corrente for mais do que 1,25 vezes da corrente nominal ou superior a 1,5 vezes durante 5 segundos, o controlador de carga será desligado.

Definição de parâmetros do controlador de carga:

Ao pressionar o botão do Controlador de carga por 3 segundos, o LED pisca e o sistema está em modo de regulação. Depois de soltar o botão, os valores no indicador de LED variam conforme se aperta o botão até se chegar ao parâmetro desejado. Para finalizar o ajuste, aguarde até que o LED pare de piscar. Ou basta pressionar o botão por 3 segundos.

Descrição dos modos de trabalho:

Controle de iluminação: Sem a luz do sol no painel solar a tensão que chega no controlador de carga diminui fazendo com que o controlador reconheça esta queda de tensão e em seguida, o controlador reconhece a queda, depois de dez minutos e libera tensão na saída de carga, se o parâmetro escolhido for para este modo de operação. Enquanto o painel solar estiver sob a luz do sol, o controlador reconhece o sinal de tensão e desliga a saída de carga.

Controle de Tempo: O controle de tempo é programado através da Tabela 2, que define os modos de trabalho do controlador. Existem dezessete modos de trabalho pré-programados no controlador de carga mais um modo de teste, estes parâmetros permitem ao usuário escolher por quanto tempo o controlador de carga terá tensão em sua saída após o fim do dia solar, ou até mesmo durante o dia solar.

Modo de teste: este modo é projetado para a regulação do sistema. Possui o mesmo princípio de funcionamento do modo de controle de iluminação, porém não demora 10 minutos para liberar tensão na saída, por favor, consulte controle de iluminação puro. Se houver alguma tensão vindo do painel solar para o controlador ele libera tensão na saída e se não houver tensão vinda do painel ele corta a tensão na saída, este modo existe para testar o funcionamento do controlador de carga.

Data in LED	Mode	Data in LED	Mode
0	Dusk-to-Dawn, light is on all light	9	9 hours light is turn on after sundown
1	1 hours light is turn on after sundown	10	10 hours light is turn on after sundown
2	2 hours light is turn on after sundown	11	11 hours light is turn on after sundown
3	3 hours light is turn on after sundown	12	12 hours light is turn on after sundown
4	4 hours light is turn on after sundown	13	13hours light is turn on after sundown
5	5 hours light is turn on after sundown	14	14 hours light is turn on after sundown
6	6 hours light is turn on after sundown	15	Manual mode
7	7 hours light is turn on after sundown	16	Test mode, lights on after it detects no light, lights off after it detects light.
8	8 hours light is turn on after sundown	17	Load open all times

**Tabela 2 - Tabela de parâmetros para o modo de trabalho.**

**Fonte: Manual do usuário SOLAR.**

### 3.3 BATERIA UTILIZADA

A bateria utilizada inicialmente neste projeto foi uma bateria selada recarregável de 07 Ampere da marca Mega Power, regulada por válvula. Ela foi escolhida, pois é uma bateria pequena de fácil transporte, baixo custo e cabe dentro da caixa de montagem.

Suas características, para uma condição de carga a 25°C são:

- Tensão de flutuação: 13,5 a 13,8 V;
- Cíclico: 14,4 a 15 V;

- Corrente inicial 1,5 A.

Sendo a corrente máxima medida no circuito de 1,5 A, corrente de pico ao acionar o atuador, a bateria utilizada supri as necessidades do sistema.

### 3.4 PAINEL SOLAR UTILIZADO

O painel solar utilizado é um painel fabricado em Silício Monocristalino modelo CHN80-36M, e possui as seguintes características:

- 36 células instaladas com eficiência das células de 14,80%;
- Dimensões: 1200x540x30mm (A, L, P);
- Tensão de circuito aberto: 21,6V;
- Tensão máxima de operação: 17,6V;
- Corrente de curto circuito: 4,95A;
- Corrente máxima de operação: 4,55A.;
- Potência máxima: 80 Wp;
- Conector elétrico tipo MC4.

### 3.5 ATUADOR LINEAR UTILIZADO

O Atuador linear elétrico é um dispositivo que converte o movimento de rotação de um motor de baixa voltagem de corrente contínua em um movimento linear, ou seja, movimento de empurrar e puxar.

Os atuadores lineares elétricos proporcionam uma circulação segura e limpa com controle de movimento preciso. Eles são eficientes e têm uma vida útil longa com pouca ou nenhuma manutenção.

A instalação de um atuador linear elétrico é muito fácil, em comparação, por exemplo, com a de sistemas hidráulicos e ocupa muito menos espaço, uma vez que não tem bombas ou mangueiras.

A capacidade dos atuadores lineares elétricos em se adaptar às necessidades específicas garante o bom funcionamento das soluções que são

aplicadas em muitos aspectos diferentes de uma ampla variedade de aplicações e produtos.

Um atuador linear elétrico é constituído por um motor, uma engrenagem e um fuso, incluindo uma porca, como mostra a Figura 20.



**Figura 19 - Atuador Linear Elétrico**

**Fonte: <http://www.linak.com.br>**

Neste projeto o atuador linear terá a função de movimentar o painel solar conforme o comando do circuito seguidor solar.

Os dados técnicos do atuador são:

- Marca: Line;
- Força exercida: 15 Kgf;
- Velocidade de deslocamento: 3 6mm/s;
- Curso máximo de extensão: 550 mm;
- Tensão de Operação Vcc: 11 a 15 V;
- Rotação: 90 RPM.

### 3.6 ESQUEMA BÁSICO DAS LIGAÇÕES ELÉTRICAS

Para o correto funcionamento de todo o sistema é necessário atentar as ligações entre todos os componentes utilizados.

Os componentes utilizados, neste projeto, serão:

- 01 Controlador de carga;
- 01 Bateria de ciclo profundo;
- 02 Circuitos seguidores solar;
- 01 Estrutura com um painel solar e com dois atuadores;
- 02 Pares de fotoresistores;
- 04 Fins de Curso.

Na Figura 21 tem-se o esquema básico das ligações dos componentes, observe que o item de número quatro é um inversor de frequência que transforma os 12 Vcc em 110/220 Vac. Este inversor não será utilizado, pois tem um alto custo e não faz parte do objetivo deste projeto.

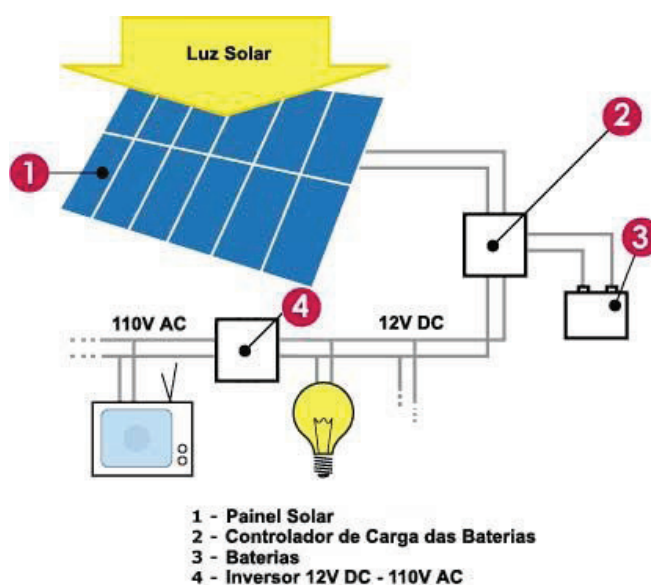


Figura 20- Esquema básico de conexões.

Fonte: <http://www.brasilhobby.com.br>.

Na Figura 22, temos o esquema elétrico das ligações de todos os componentes que fazem parte do sistema seguidor solar. Para diminuir o número de fios que entram no quadro de montagem os fios comuns, terra e +09 Vcc, estão ligados juntos antes de entrar no quadro de montagem, ficando assim, alguns terminais do circuito seguidor solar livres.



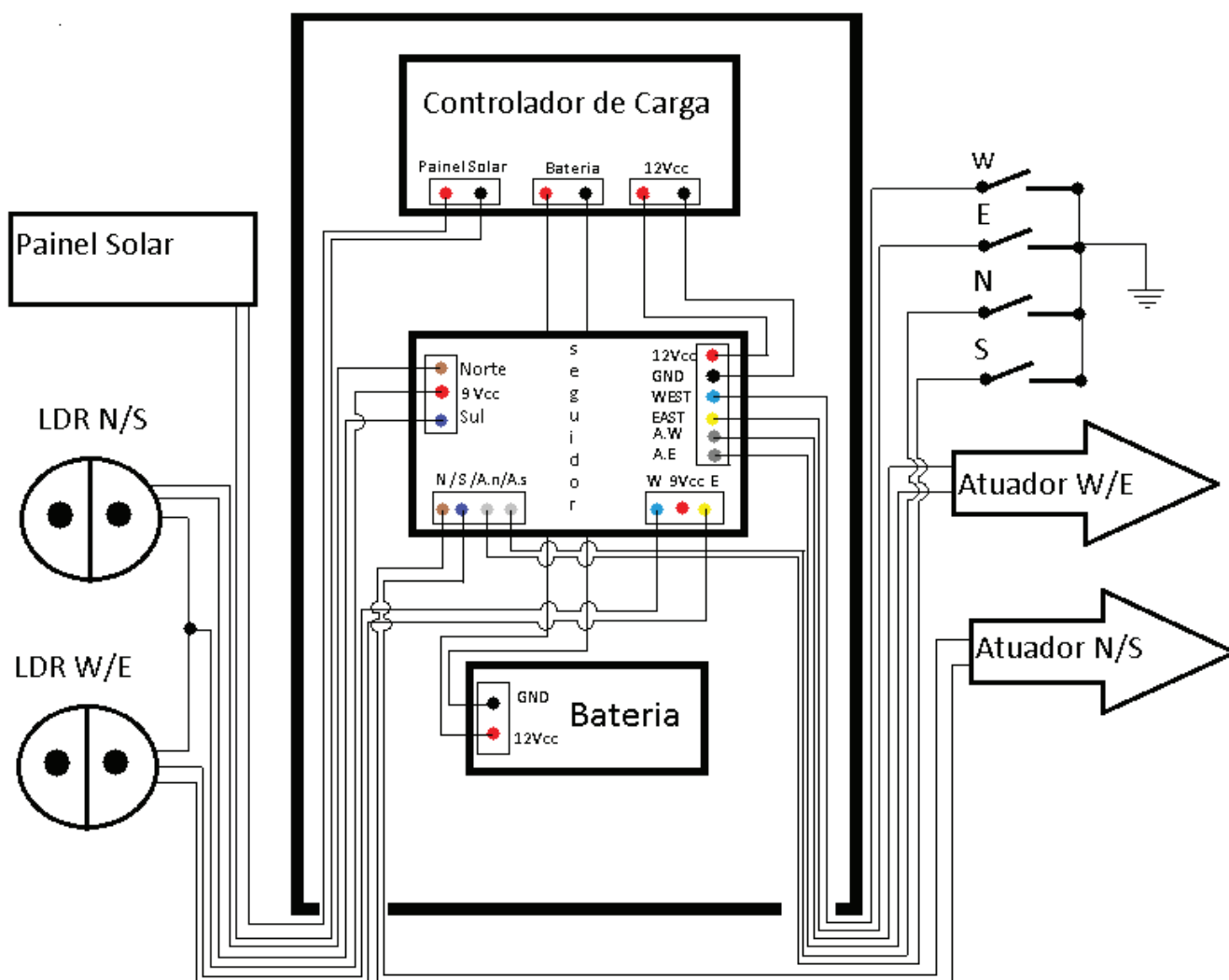


Figura 21- Esquema elétrico do quadro de montagem.

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.7 CIRCUITO ELETRÔNICO SEGUIDOR SOLAR

Para a implementação de um sistema eletrônico que siga o sol é necessário que exista algum tipo de circuito que faça com que o painel se mantenha sempre na vertical com o sol e que o siga conforme seu movimento de nascer e pôr do sol e que também se ajuste conforme a variação angular da terra em relação ao sol, com o mudar das estações climáticas

Com isso, neste trabalho foi utilizado um circuito que funciona comparando a diferença de potencial entre dois fotoresistores através de um circuito integrado

LM339 que dispara um transistor 2N3904 e este realiza o chaveamento de um relé, que por fim aciona o atuador.

Como foram utilizados dois atuadores neste projeto, foram implementados dois circuitos iguais, um para cada atuador. Cada atuador tem a função de movimentar o painel solar em um sentido. Um o movimenta no sentido Norte/Sul e o outro Leste/Oeste.

Na Figura 23 pode-se analisar de forma simplificada o circuito do seguidor solar, com a descrição de seus componentes.

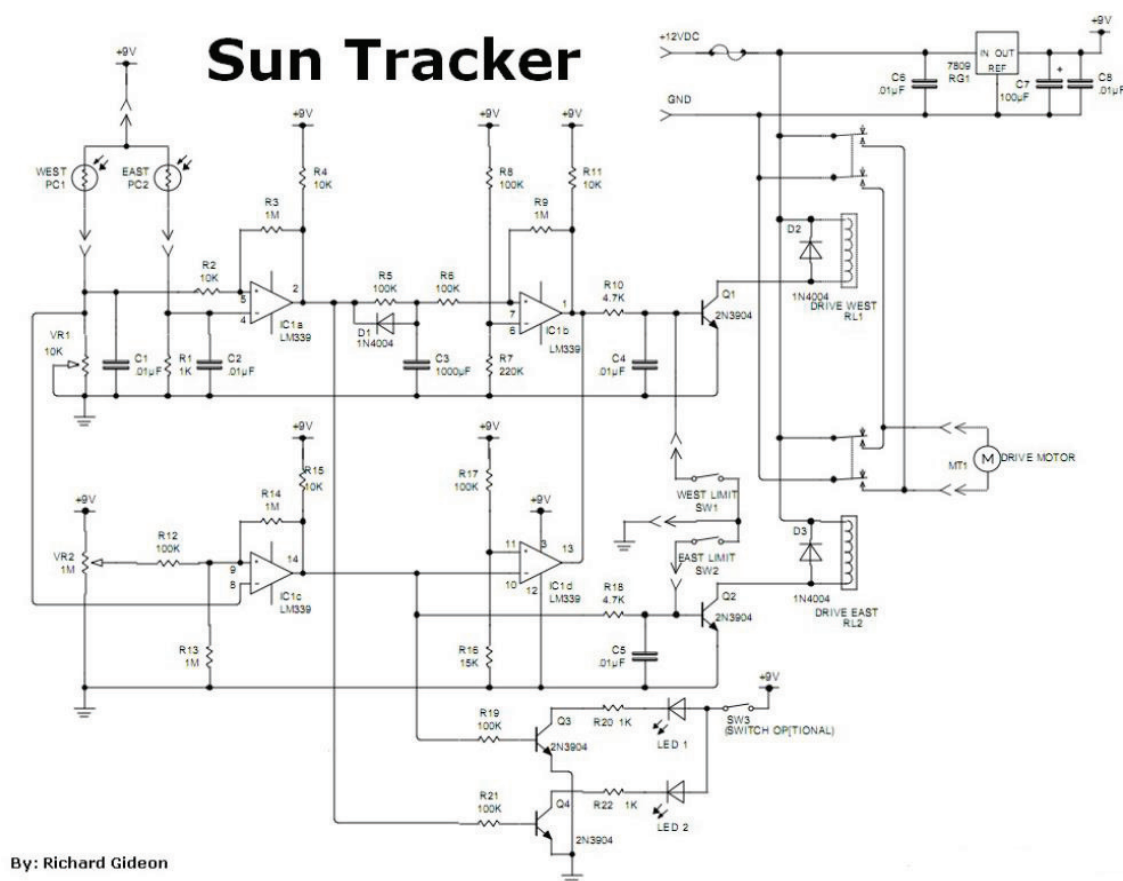


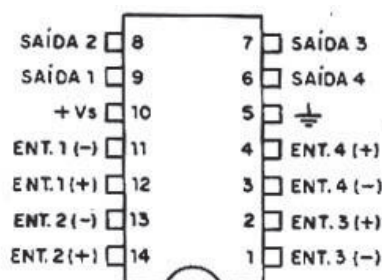
Figura 22- Circuito seguidor solar

Fonte: <http://www.electronica-pt.com/solar/suntracker.pdf>

O circuito foi desenvolvido por Richard Gideon e adaptado neste projeto.

O circuito utiliza o CI (circuito integrado) LM339, que possui quatro comparadores de tensão de alto ganho, fornecidos num invólucro DIL de 14

terminais. Na Figura 24 podemos observar sua pinagem e as suas principais características.



### Especificações

Tensão de alimentação ( $V_s$ ) (máx) –  $\pm 18V$  ou  $+36V$   
 Potência máxima ( $P_{tot}$ ) 600 mW  
 Corrente consumida ( $I_s$ ) para  $R_L = \infty$  – 0,8 mA (tip)

Figura 23 - LM339 e suas especificações

Fonte: <http://www.alldatasheet.com>

Um comparador de tensão nada mais é do que um amplificador operacional de alto ganho ligado de forma a comparar uma tensão de entrada com uma tensão de referência. A saída estará no nível alto ou baixo, conforme a tensão de entrada for maior ou menor que a tensão de referência.

A tensão de referência será regulada por um potenciômetro, que têm por finalidade ajustar a sensibilidade do LDR.

A Figura 25 mostra um circuito comparador de tensão.

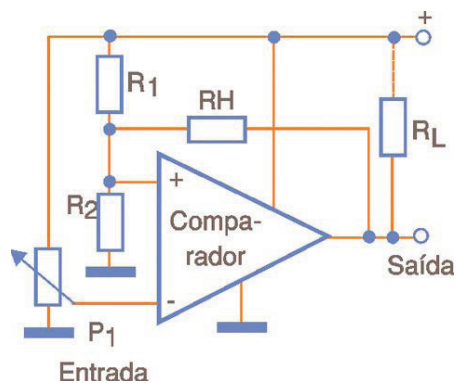
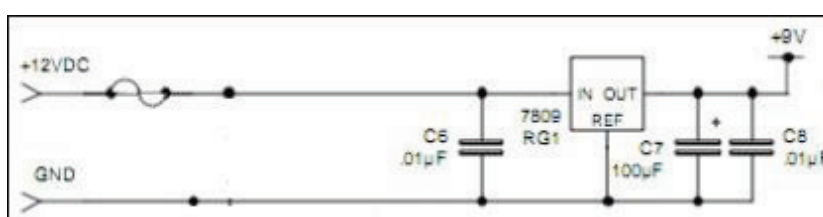


Figura 24-Comparador de tensão

Fonte: <http://www.sabereletronica.com.br>

Neste trabalho o circuito foi alimentado com 9 V e seus relés com 12 V, conforme especificado no esquema elétrico. Para isso será utilizado uma bateria de 12 V para alimentar os relés, e esta bateria é aproveitada também para alimentar o circuito.

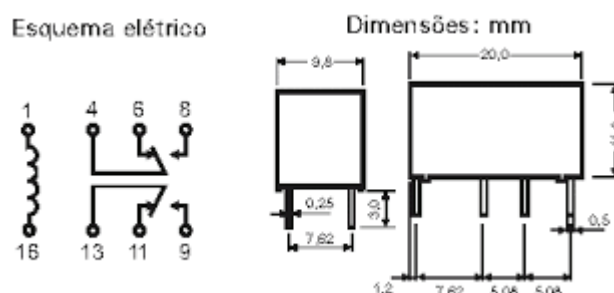
Para diminuir a tensão de 12 V para 9 V foi utilizado um circuito regulador de tensão que transforma os 12 V em 9 V. Este circuito utiliza um CI7809, Circuito Integrado regulador de tensão, um capacitor de 100 $\mu$ F (cem microfarads), e dois capacitores de 0.01 $\mu$ F. A Figura 26 mostra o esquema elétrico deste circuito.



**Figura 25- Circuito regulador de tensão**

Fonte: <http://www.electronica-pt.com/solar/suntracker.pdf>

O Relé utilizado neste projeto é um relé tipo “DPDT” da Metaltex que possui dois contatos bifurcados e comutação de carga a partir de 10  $\mu$ A. Sua tensão nominal é de 12VCC e a tensão de operação 9VCC, com máxima tensão contínua de 24VCC. A figura 26 mostra seu esquema elétrico e suas dimensões.



**Figura 26 - Esquema elétrico relé ML2RC2**

Fonte: <http://www.alldatasheet.com>

A sigla DPDT significa “*Double Pole Double Throw*”, em tradução livre “Dois Pólos Duas Posições”. O relé é um dispositivo eletromagnético usado para separar dois circuitos eletricamente e conectá-los magneticamente, é usado normalmente em interfaces de circuitos elétricos que funcionam com baixa ou alta-tensão

Neste projeto o relé funciona como uma chave eletromagnética que irá ligar ou desligar o atuador.

Os pinos 6 e 11, conforme Figura 27, do relé não foram utilizados, pois eles funcionam como uma chave fechada quando o relé está sem tensão nos pinos 1 e 16. E esta posição não será aproveitada.

Cada relé do circuito irá fazer com que o atuador gire em um sentido, e para que os dois relés não acionem ao mesmo tempo e ocorra um curto circuito entre eles será utilizado o LM339.

O circuito desenvolvido por Richard Gideon é basicamente um comparador lógico onde o CI LM339 compara a tensão nos foto resistores, que varia conforme a intensidade luminosa, e aciona uma porta lógica que por sua vez aciona o relé que liga o atuador em um sentido ou no outro.

Por exemplo, se o foto resistor *West*, identificado no circuito da Figura 23, estiver com uma intensidade luminosa maior que o *East*, o LED2 acende e o LED1 fica apagado, o relé RL1 liga e o motor do atuador fica acionado até os foto resistores ficarem com a mesma intensidade luminosa, ou até acionar o sensor fim de curso, desligando o motor, até que haja uma nova diferença de potencial entre os fotoresistores.

O circuito original foi modificado para este trabalho, pois não estava operando conforme o esperado.

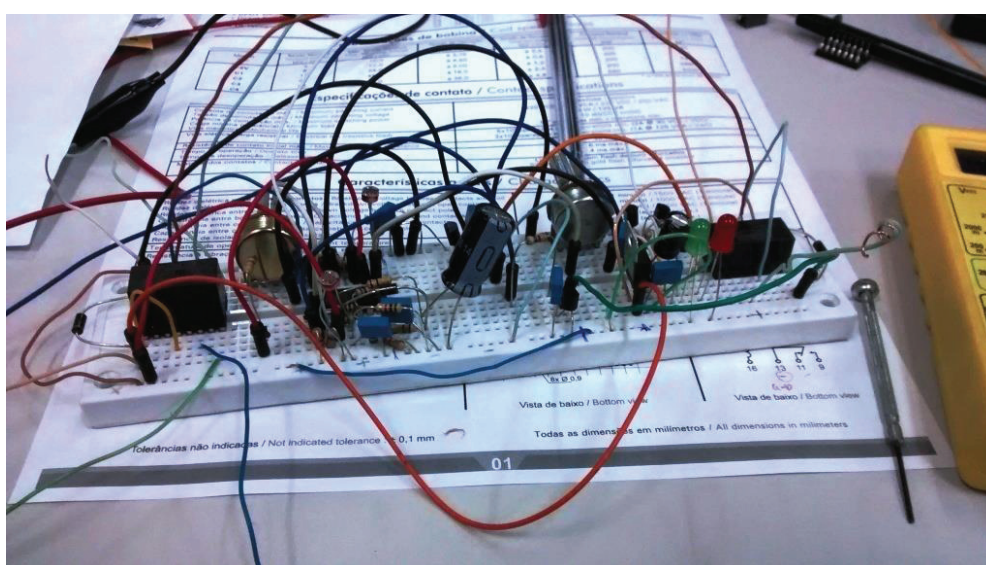
Após a montagem do circuito seguidor solar, Figura 23, foi identificado que o resistor R8 com valor de 100 k $\Omega$  estava com uma queda de tensão muito baixa e não possibilitava que o valor de tensão no terminal 7 do LM339 ficasse em nenhum momento maior que a do terminal 6, mesmo que a tensão fosse a máxima no LDR PC1, com isso a porta 1 do LM339 sempre teria o mesmo resultado.

Para conseguir um valor de tensão mais próximo da tensão no terminal 6, o resistor R8 de 100k $\Omega$  foi substituído por um resistor de 1M $\Omega$ , possibilitando assim que o terminal 1 obtivesse valor diferente de 0V quando a iluminação no LDR PC1 aumentasse.

O circuito possui 2 diodos emissores de luz – LED, que indicam o correto funcionamento do circuito e também serve para a regulagem da sensibilidade dos fotoresistores. A regulagem consiste em deixar os dois fotoresistores apagados quando em exposição direta ao sol e os dois acesos quando ficarem sem luz.

Existem dois sensores fim de curso que servem para limitar o movimento dos atuadores, pois sem eles o atuador ficaria acionado sem desligar e poderia danificar o motor ou o circuito devido ao excesso de esforço.

O circuito foi montado, inicialmente, em uma *protoboard* até que ele funcionasse perfeitamente e após o correto funcionamento o circuito foi montado em uma placa perfurada, a Figura 28 mostra o circuito montado em um *protoboard* e a Figura 29 mostra o circuito finalizado na placa perfurada.



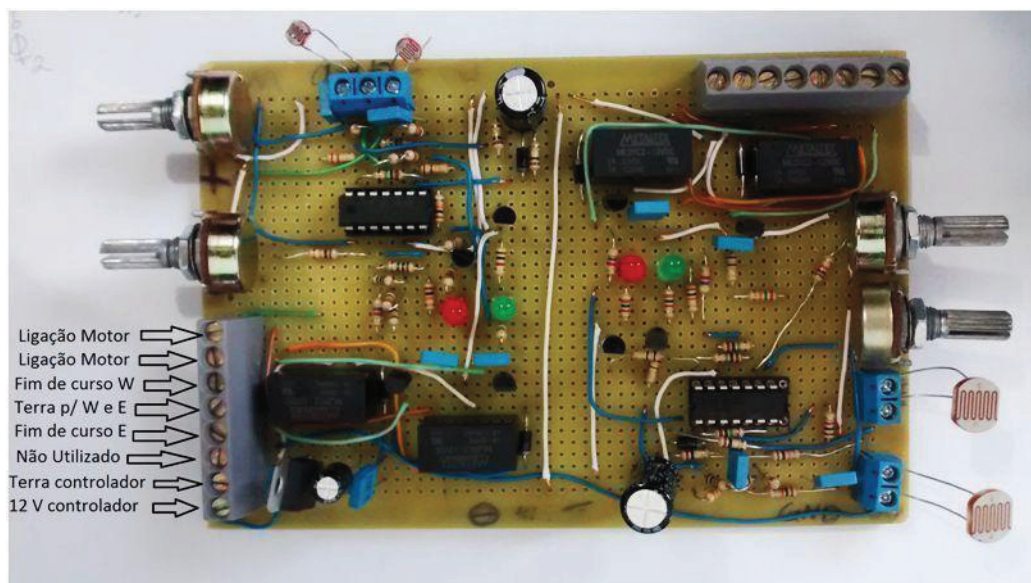
**Figura 27- Circuito montado na protoboard para testes.**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Após a montagem na *protoboard* o circuito foi testado para verificar se estava funcionando corretamente, então foi transferido para uma placa perfurada onde os dois circuitos foram montados juntos, utilizando o mesmo circuito regulador de tensão que transforma os 12 V da bateria em 9 V, que é a alimentação do circuito.

A Figura 29 mostra os dois circuitos montados, pode-se verificar que existem terminais borne para a ligação dos atuadores, dos fotoresistores, do controlador de carga e dos terminais fim de curso.



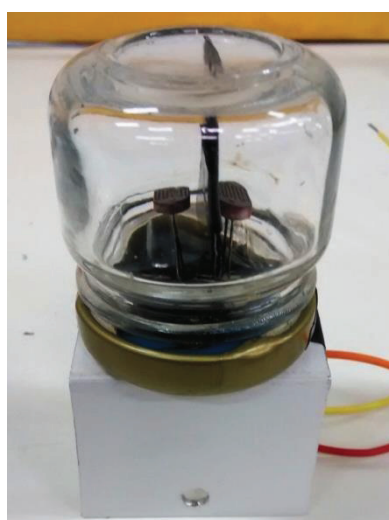


**Figura 28- Circuito seguidor solar montado.**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Deve-se ressaltar que para o correto funcionamento do circuito os aterramentos do controlador de carga, do circuito seguidor solar e da bateria devem ser comuns, caso contrário o relé não acionará e os atuadores não funcionarão.

Os pares de LDR foram acondicionados dentro de um vidro transparente com tampa, figura 30, reciclado de um antigo vidro de pimenta e adaptado de forma que os LDR não sofram com as intempéries climáticas.



**Figura 29 - Sensores LDR**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Os LDR foram separados entre si por um material plástico preto até a altura da borda superior do vidro, de forma que eles recebam a mesma quantidade de luz somente se os raios solares incidirem em um ângulo de  $90^\circ$  com a face dos LDR.

Caso contrário um LDR receberá mais luz que o outro e conseqüentemente o atuador será acionado na direção do LDR que recebeu mais luz, até que o outro LDR receba a mesma quantidade de luz.

As curvas do vidro não causaram reflexão ou refração perceptível da luz incidente sobre os LDR. Durante os testes não houve diferença nos resultados obtidos com os LDR cobertos ou não com o vidro.



#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou inicialmente um estudo sobre a incidência solar no Brasil e no Paraná, comparando com outros países onde o estudo e a tecnologia de sistemas solares são amplamente utilizados. Mostrando que nosso país possui grande potencial para geração de energia solar.

Foi demonstrado como foram descobertas as células fotovoltaicas e o seu funcionamento, assim como, seus tipos mais comuns utilizados no mercado atualmente.

Pesquisou-se o movimento do Sol e as variações angulares da irradiação solar em relação a Terra, assim como, demonstrou os ângulos de movimento necessários para uma ótima captação solar em um sistema seguidor solar de dois eixos.

Para este trabalho foi projetado e montado uma estrutura metálica que possibilitasse o movimento do painel solar em dois eixos e acomodasse dois atuadores lineares de forma que fosse utilizada sua máxima extensão em proveito de uma maior variação angular.

Esta estrutura metálica desenvolvida foi capaz de resistir ao peso do painel solar, dos atuadores, da bateria e do quadro de comando. Porém na fixação da base com a estrutura central identificou-se um movimento não desejado, que foi gerado devido à maleabilidade do alumínio que se deformou ao apertar os parafusos da estrutura da base com a estrutura central, permitindo que o painel se movimentasse, em caso de vento forte, em um ângulo de até dez graus.

Também foi utilizado um circuito eletrônico que permite através da diferença de potencial controlar os dois atuadores lineares de modo que realizem o movimento de seguir o movimento do Sol em quatro direções.

O circuito seguidor solar utilizado apresentou bons resultados nos testes e não ficou acionando os atuadores a todo o momento, caso este que desprenderia energia desnecessária. Devido ao fato de possuir dois potenciômetros o circuito

permite que seja regulada a sensibilidade dos fotoresistores, evitando assim que uma sombra seja interpretada como escuridão total e que o sistema voltasse a posição inicial.

Durante os testes identificou-se que ao realizar movimentos constantes e rápidos com uma lâmpada de teste o circuito entrava em conflito e entrava em curto, e por vezes realizava movimentos contrários ao esperado, porém o movimento do sol é um movimento suave e constante e durante os testes de com movimentos constantes e lentos não foi identificado esta falha.

Os potenciômetros, do circuito seguidor solar, foram regulados para que a cada dez graus de variação da incidência dos raios solares em relação aos fotoresistores os atuadores realizassem um novo reposicionamento do painel solar.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Reforçar a base da estrutura metálica do painel solar com solda ou substituição por um material mais resistente a esforços.
- Substituir os atuadores lineares por outros de menor curso, visto que os utilizados são superdimensionados para este único painel.
- Utilizar um sistema que controle o tempo de iluminação diária da região a fim de evitar o retorno automático do painel solar em caso de escuridão, que não seja a do fim do dia solar.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Brasil. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. Ed. Brasília: ANEEL,2005. 243 p. ISBN 85-87491-09-01.

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Automático para Painéis Fotovoltaicos**. 2008. (Tese de mestrado com área de Concentração em Energia na agricultura) – 152 folhas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus de Botucatu. Botucatu-SP, 2010.

BERTOLI, Gustavo de Carvalho. **Sistemas Fotovoltaicos de Geração de Energia: Comparação de Desempenho entre um Sistema com Rastreamento Solar e um Sistema Estático**. Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Elétrica apresentado à Faculdade de Engenharia de Bauru/UNESP. Bauru, 2012

BONIFÁCIO, P. J. S.. **Seguidor Fotovoltaico: Uma Variação do P&O.-Simulação e Prototipagem**. 2010. 120f. (Formas Alternativas de Geração de Energias Elétrica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

BRAGA, R. P.. **Energia Solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**. 2008. 67f. (Formas Alternativas de Geração de Energias Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2008.

BRITO, M. C. **Energia fotovoltaica: Conversão de Energia Solar em Electricidade**. 2009 7f. (Formas Alternativas de Geração de Energias Elétrica) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2009.

CEBENS, **I Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Realizado em Fortaleza de 8 a 11 de abril, 2007.

CHUN-SHENG, W.: YI-BO, W.; SI-YANG, L.; YAN-CHANG, P. AND HONG-HUA, X. **Study on Automatic Sun Tracking Technology in PV Generation**, in: DRPT'2008 – PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRIC UTILITY DEREGULATION AND RESTRUCTURING AND POWER TECHNOLOGIES, 2008. Nanjing, China.

COMETTA, E.. **Energia Solar: Utilização e Empregos Práticos**. Tradução: Norberto de Paula Lima: Editora Hemus. Brasil, 2004

COPETTI, J. B.; MACAGNAN M. H. **Baterias Em Sistemas Solares Fotovoltaicos**. 2007. / CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, 2007.

FARICELLI, C. F.. **Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos**. 2008. 102f. (Formas Alternativas de Geração de Energias Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

GABRIEL ARAÚJO, **Jornal da Energia**. Disponível em <[http://www.jornaldaenergia.com.br/ler\\_noticia.php?id\\_noticia=3693&id\\_tipo=3&id\\_secao=8&id\\_pai=2](http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=3693&id_tipo=3&id_secao=8&id_pai=2)> Acesso em: 01 de Novembro de 2015.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GREENPEACE, **Um futuro brilhante e multibilionário para a energia solar**. Disponível em <[www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/um-futuro-brilhante-emultibil/](http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/um-futuro-brilhante-emultibil/)> Acesso em: 05 de Novembro de 2015.

KEPLER DE SOUZA OLIVEIRA FILHO & MARIA DE FÁTIMA OLIVEIRA SARAIVA, **Movimento anual do sol e as estações do ano**. Disponível em <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>> Acesso em: 01 de Novembro de 2015.

MARCONI, Maria A. de; LAKATOS, Eva M. **Técnicas de pesquisas**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MORANTE, F. **Demanda de energia elétrica e desenvolvimento socioeconômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistema FV**. Tese de doutorado. PPG em energia da USP, 311p. São Paulo, 2004.

MUNDO ESTRANHO, **Como funciona a placa solar?** Disponível em <<http://mundoestranho.abril.com.br/materia/como-funciona-a-placa-solar>> Acesso em: 01 de Novembro de 2015.

NUNES FILHO, G. D., **Desenvolvimento de protótipo para controle da posição de um gerador fotovoltaico e sistema de otimização da geração de energia através de um seguidor de máxima potência**. 87f. Trabalho final de curso de Engenharia Elétrica. 2008. Universidade Luterana do Brasil .Canoas 2008.

OLIVEIRA, M. A. S.; PEREIRA, F. A. de S.. **Curso técnico Instalador de Energia Fotovoltaica**. 395p. Grafilinnha Ltda. Porto, 2011.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; Abreu, Samuel Luna; RÜTER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. Ed. São José dos Campo, 2006.

PERES, Sandra; ANDRADE, Jonatas; LOMBARDO André. **Maior usina solar da América Latina integrada a edifício é inaugurada pela Eletrosul**. Disponível em <<http://www.eletrosul.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/maior-usina-solar-da-america-latina-integrada-a-edificio-e-inaugurada-pela-eletrosul>> Acesso em: 03 de Novembro de 2015.

PETRUZZIELLO, Maurizio; PINHEIRO, Felipe de Souza; ZADURSKI, Amauri Roberto. **Projeto e construção de cinematismo automatizado para comparação energética entre painel solar móvel e fixo**. 2013. 90p. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Portal Energia, **Fontes de energia renováveis e não renováveis**. Disponível em <http://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>> Acesso em 01 de Novembro de 2015.

Portal Energia, **Funcionamento dos sistemas**. Disponível em <http://www.portal-energia.com/teoria-funcionamento-energia-solar-fotovoltaic/>> Acesso em 01 de Novembro de 2015.

PORTAL SOLAR, **Tipos de painel solar fotovoltaico**. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em: 01 de Novembro de 2015.

RIBEIRO, C. H. M. **Implantação de um Sistema de Geração Fotovoltaica**. 2012. 57f. Trabalho final de Curso de Engenharia de Controle e Automação – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

SOLARBRAS TECNOLOGIA, **Desafios: Energia com Menor Impacto Ambiental**. Disponível em <<http://www.solarbrastecnologia.com.br/index.php?q=leia-mais12313131244443>>< Acesso em: 01 de Novembro de 2015.

TESSARO, A. R.. **Desempenho de um Painel Fotovoltaico Acoplado a um Rastreador Solar**. 2006. (Otimização de Formas Alternativas de Geração de Energias Elétrica) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2006.

## APÊNDICE A

