



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**EULER PAIVA DE MORAES**

**SEGUIDOR SOLAR DE UM ÚNICO EIXO INCLINADO**

**Orientador: M.C Maria Marony Sousa Farias**

Brasília  
Dezembro, 2012

**EULER PAIVA DE MORAES**

**SEGUIDOR SOLAR DE UM ÚNICO EIXO INCLINADO**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília  
(UNICEUB) como pré-requisito  
para a obtenção de Certificado de  
Conclusão de Curso de Engenharia  
de Computação.

Orientador:

Prof.<sup>a</sup> M.C Maria Marony Sousa  
Farias

Brasília

Dezembro, 2012

**EULER PAIVA DE MORAES**

**SEGUIDOR SOLAR DE UM ÚNICO EIXO INCLINADO**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília  
(UNICEUB) como pré-requisito  
para a obtenção de Certificado de  
Conclusão de Curso de Engenharia  
de Computação.

Orientador:

Prof.<sup>a</sup> M.C Maria Marony Sousa  
Farias

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS.

---

Prof.<sup>o</sup> Abiezer Amarilia Fernandez  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> M.C Maria Marony Sousa Farias  
Orientadora

---

Prof. Msc. Roberto Avila Paldês  
Uniceub

---

Prof. Msc. José Julimá Bezerra Junior  
Instituto Militar de Engenharia do Rio de Janeiro -RJ

---

Prof. Msc. Luciano Henrique Duque  
Uniceub

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao meu pai Edimilson Moraes da Silva e a minha mãe Ana Aparecida Costa Paiva Moraes que dedicaram parte de suas vidas à minha educação e que sempre apoiaram minhas escolhas, me incentivando e me amando. A minha irmã Aniele Paiva Moraes, que está sempre ao meu lado com todo amor e carinho. Aos meus familiares que sempre me incentivaram a correr atrás dos meus sonhos. Aos meus amigos que estiveram ao meu lado sempre me apoiando. Aos meus colegas de trabalho, em especial Gustavo Maia Aguiar, Josias Machado Sales de Campos Jr. e Marcos Vinícius dos Santos Feitosa que acreditaram em minha competência e me concederam grandes oportunidades.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por suas bênçãos que me fizeram capaz de realizar mais esta conquista. À minha professora e orientadora, Maria Marony Sousa Faria pelo incentivo e apoio no desenvolvimento deste trabalho. Aos meus colegas do curso de Eng.<sup>a</sup> da Computação, pelo companheirismo e incentivo durante os todo o período do curso. Aos professores do curso de Eng.<sup>a</sup> da Computação, por todo o conhecimento repassado e principalmente pela nobre dedicação ao ensino. À Eliana Luiza de Azevedo por me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho. E por fim, aos meus pais pelo apoio e incentivo em toda a minha vida.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 - Motivação.....	13
1.2 - Objetivos .....	13
1.3 – Estruturas do Trabalho .....	14
<b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1 – Princípios de um seguidor Solar.....	15
2.2 – Rendimentos obtidos com Seguidores Solares.....	15
2.3 – Geometrias Solar .....	16
2.4 – Tipos de Seguidores Solar .....	20
2.4.1 - Seguidor Solar de um único eixo .....	20
2.4.2 - Seguidor de um único eixo horizontal .....	20
2.4.3 - Seguidor solar de único eixo com orientação vertical.....	22
2.4.4 - Seguidor Solar de único eixo inclinado .....	23
2.5 – Arduino.....	25
2.6 – Células fotovoltaicas.....	27
2.7 – Controladores de Carga .....	29
2.8 – Servomotor .....	30
2.9 – LDR .....	32
2.10 – Bateria de Chumbo-Ácido .....	33
2.11 – Engrenagens do tipo “parafuso com rosca sem fim”.....	34
<b>CAPÍTULO 3 – IMPLEMENTAÇÃO</b> .....	37
3.1 – Tecnologias utilizadas .....	37
3.1.1 – Softwares .....	37
3.1.2 - Hardware .....	38
3.2 – Simulação .....	42
3.3 – Desenvolvimento .....	43
3.3.1 – Sensores .....	43
3.3.2 – Montagem do módulo de Processamento.....	46
3.3.2.1 – Programação do Microcontrolador.....	47

3.3.2.2 – Instalação do servomotor e da caixa de engrenagem .....	49
3.3.3 – Módulo de Controle de Carga .....	52
3.3.4 – Estrutura do protótipo .....	54
<b>CAPÍTULO 4 - TESTES E RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
4.1 – Teste 1 – Teste para construção do sensor de movimento solar.....	55
4.2 – Teste 2 – Seguidor solar em ambiente com luz artificial. ....	56
4.3 – Teste 3 – Seguidor Solar instalado em ambiente externo (com luz natural). ....	57
4.4 – Considerações finais sobre os testes realizados.....	60
<b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>61</b>
5.1 – Conclusões.....	61
5.2 – Sugestão para trabalhos futuros.....	61
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>62</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>64</b>
<b>ANEXO I</b> - Partes do Manual de Instalação do PHOCOS CA06-2.2 .....	<b>66</b>
<b>ANEXO II</b> – Como modificar um Servomotor (Construindo servomotor de giro contínuo). 70	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Declinação Solar .....	18
Figura 2.2 - Ângulo de Azimute Solar .....	19
Figura 2.3 - Representação de ângulo de Zênite solar.....	19
Figura 2.4 - Seguidor Solar de único eixo horizontal (ângulos).....	211
Figura 2.5 - Seguidor Solar de único eixo horizontal.....	211
Figura 2.6 - Seguidor solar de único eixo vertical (ângulos).....	222
Figura 2.7 - Seguidor Solar de único eixo vertical .....	233
Figura 2.8 - Seguidor Solar de único eixo inclinado (ângulos).....	233
Figura 2.9 - Seguidores de único eixo com inclinação de 20° em Nellis Air Force Base - Nevada-USA.....	244
Figura 2.10 - Arduino Development Enviroment (IDE) .....	26
Figura 2.11 - Foto de um Arduino .....	26
Figura 2.12 - Funcionamento de uma célula fotovoltaica .....	28
Figura 2.13 - Célula fotovoltaica.....	28
Figura 2.14 - Componentes de um servomotor .....	30
Figura 2.15 - Gráfico de um sinal PWM para servomotor .....	311
Figura 2.16 - Detalhes de um LDR .....	33
Figura 2.17 - Detalhes internos de uma bateria de chumbo .....	34
Figura 2.18 - Engrenagem Parafuso com rosca sem fim.....	35
Figura 2.19 - Detalhe do parafuso com rosca sem fim.....	35
Figura 3.1 - Desenho esquemático do Protótipo .....	37
Figura 3.2 - Foto do Arduino Duemilanove e especificações técnicas .....	388
Figura 3.3 - Componentes utilizados para construção do sensor .....	39
Figura 3.4 - Foto do servomotor GWS S35/STD .....	39
Figura 3.5 - Controlador de Carga Phocos CA06-2.2 .....	400
Figura 3.6 - Foto da bateria selada de 12 v - Firstpower .....	41
Figura 3.7 - Imagem da simulação do circuito utilizando o ISIS .....	42
Figura 3.8 - Imagem da tela do software de simulação do movimento solar .....	43
Figura 3.9 - Circuito divisor de tensão utilizado no sensor .....	444
Figura 3.10 - Incidência de raios solares sobre os LDRs .....	44
Figura 3.11 - Fotos do sensor de ângulo de ângulo dos raios solares.....	455
Figura 3.12- Chaves de contato .....	45
Figura 3.13 - Foto do Módulo de Processamento.....	46
Figura 3.14 - Diagrama de Fluxo do programa do microcontrolador .....	48
Figura 3.15 - Diagrama do Programa .....	5048
Figura 3.16 - Foto do servomotor e engrenagens .....	52
Figura 3.17 - Foto do Módulo de Controle de Carga .....	533
Figura 3.18 - Frente do Controlador de Carga .....	533
Figura 3.19 - Foto do engate do eixo de rotação e estrutura fixa .....	54
Figura 4.1 - Foto do Teste 1 - Montagem do sensor em protoboard. ....	566
Figura 4.2 - Imagem do programa utilizado no Teste 2 .....	566
Figura 4.3 - Foto do protótipo (Teste 2) .....	577
Figura 4.4 - Fotos do protótipo (Teste 3) .....	58
Figura 4.5 - Fotos da alteração do sensor (Teste 3).....	588
Figura 4.6 - Fotos de medição das tensões geradas no sistema. (Teste 3).....	59

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Perda X ângulo de incidência.....	16
Tabela 2 - Especificações do servomotor.....	39
Tabela 3 - Especificações PHOCOS CA06-2.2 .....	40
Tabela 4 - Especificações Bateria Selada FP1270S .....	41
Tabela 5 - Tabela de custos .....	51
Tabela 6 - Ângulos de inclinação em latitude de -15° .....	60

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um protótipo de Seguidos Solar de único eixo inclinado. Este sistema tem como princípio de funcionamento, o ajuste da posição de um painel fotovoltaico de acordo com o movimento aparente do Sol, minimizando as perdas de rendimento de sistemas fotovoltaicos devido à variação do ângulo de incidência dos raios solares. Segundo estudos realizados em outros trabalhos, aos quais serviram de referência para este, seguidores solares podem prover um rendimento de até 32% em relação a sistemas fotovoltaicos com ângulo fixo. Foram utilizados LDRs (Resistores dependentes de luz) para construir um sensor capaz de coletar informações sobre a posição do sol em relação à superfície do painel fotovoltaico, um Arduino Duemilanove para realizar o controle de automação do sistema, e um servomotor alterado para trabalhar com giro contínuo. Um painel fotovoltaico foi instalado sobre um eixo inclinado ligado a engrenagens conectadas ao servomotor. As informações coletadas pelo sensor construído com LDRs são processadas pelo microcontrolador que identifica a necessidade de ajuste do painel e envia sinais ao servomotor para mover o painel em direção ao Sol. Toda energia utilizada para o funcionamento do sistema é fornecida por uma bateria carregada pela energia gerada pelo painel fotovoltaico. O controle de alimentação e carregamento da bateria é feito por um controlador de carga PHOCOS CA06-2.2.

## ABSTRACT

This paper presents the development of a single axis tilted solar tracker prototype. This system has as its principle of operation the adjustment of a photovoltaic panel's position according to the apparent movement of the sun in order to minimize yield losses of photovoltaic systems caused by the variation of the angle of incidence of sunlight. According to studies conducted in other papers, which served as a reference for this one, solar trackers can provide a yield of up to 32% compared to fixed angle photovoltaic systems. LDRs (light dependent resistors) were used to construct a sensor able to gather information about the sun's position relative to the surface of the photovoltaic panel, an Arduino Duemilanove to realize the automation control system, and a modified servomotor to work with continuous spin. A photovoltaic panel was installed on an inclined axis connected to the gears attached to the servomotor. The information gathered by the LDRs built sensor are processed by the microcontroller which identifies the need to adjust the panel and sends signals to the servomotor to adjust the panel's position according to the sun's. All energy used for the system's operation is supplied by a battery charged by the photovoltaic panel. The control feed and battery charging is done by a load controller Phocos CA06-2.2.

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A energia elétrica é muito importante para a sociedade, pois proporciona a capacidade de trabalhar, produzir, desenvolver; oferece conforto, comodidade, bem-estar e praticidade à população, tornando a sociedade moderna cada vez mais dependente de seu fornecimento. No entanto, a forma de produção e utilização da energia elétrica preocupa cada vez mais a população que ao longo dos anos pôde presenciar diversos impactos negativos ao meio ambiente.

Das diversas formas de produção de energia elétrica, destacam-se como menos prejudicial ao meio ambiente, as fontes renováveis como solar, eólica, hidráulica e geotérmica. Considerando o custo e o impacto como fatores relevantes ao meio ambiente, a energia solar é a fonte que possui mais vantagens [USP, 2011].

Estimulada por estas vantagens, a população utiliza cada vez mais este recurso por meio de sistemas simples de aquecimento residencial, aquecimento de água e alimentação de equipamentos autônomos com células fotovoltaicas, tornando-o cada vez mais popular, e estimulando estudos em busca da diminuição dos custos de implantação desses sistemas.

Como qualquer outra fonte de energia, a solar também possui alguns desafios a serem superados. No caso da fonte solar, a uniformidade é um dos maiores problemas a serem trabalhados. Essa uniformidade é causada pela variação da incidência dos raios solares sobre a superfície da terra. Algumas das variações são previsíveis, como a variação diurna, que é em função do movimento de rotação da terra; a variação sazonal, que é em função da inclinação do eixo da terra; a variação anual, que é em função da órbita elíptica da Terra em torno do Sol, e pode ser determinada por meio de estudos de geometria solar. Outras variações podem ser previstas com estudos estatísticos como, por exemplo, o caso de variações provocadas por formação de nuvens, poluição, pó, nevoeiros, etc. [ANEEL, 2011].

Uma forma encontrada para minimizar os efeitos dessa variação e então tornar a energia solar uma fonte mais rentável, é utilizar sistemas Seguidores Solares. Um seguidor solar, como será explicado no capítulo 2, é um sistema que tem com função de regular a posição de um coletor solar, de acordo com a posição geométrica do Sol, aumentando a irradiação solar sobre a superfície do coletor [USP, 2011].

## 1.1 - Motivação

Este projeto teve como principal motivação as recentes e fortes discussões sobre o tema meio ambiente sustentável. O tema Seguidor solar foi escolhido por se tratar de um sistema cujo principal contribuição é aumentar o rendimento da produção de energia elétrica a partir do Sol, incentivando o uso da energia solar, que é fonte limpa e renovável. Outro fator que contribuiu fortemente para a motivação deste projeto, foi a grande possibilidade de aplicação dos estudos desenvolvidos durante o curso de Engenharia da Computação, por meio da implementação de circuitos eletrônicos, programação de microcontroladores etc.

## 1.2 - Objetivos

O objetivo geral é desenvolver uma solução que identifique a posição instantânea do Sol por meio de sensores, processe essas informações e faça o ajuste da posição de um painel fotovoltaico para que a incidência dos raios solares sobre o ele não diminua devido ao movimento aparente do Sol.

Os objetivos específicos deste trabalho se resumem aos seguintes tópicos:

- Desenvolver um sensor que colete informações sobre a posição solar;
- desenvolver um circuito microcontrolado que processe as informações do sensor, e com base nos dados coletados, ative um sistema que movimente um painel fotovoltaico de acordo com o movimento solar;
- montar um circuito de alimentação para o circuito de processamento, utilizando como fonte, a energia solar.

### **1.3 – Estrutura do Trabalho**

O tema abordado nesta monografia está distribuído entre capítulos da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução - Parte que trata da motivação do trabalho, objetivos gerais e específicos e como a monografia foi estruturada.

Capítulo 2: Referencial Teórico - Oferece o embasamento teórico da proposta de solução do problema. São abordados os temas como Geometria Solar, Arduino, Células fotovoltaicas, servomotores, Controlador de Carga, entre outros estudos teóricos necessários para o desenvolvimento deste projeto.

Capítulo 3: Desenvolvimento do Projeto - A parte de projeto de software e hardware é abordada nesse item. Todo o procedimento, metodologia, tecnologias e equipamentos são mostrados e detalhados.

Capítulo 4: Testes e Resultados - Apresentação dos casos de testes efetuados para comprovar o funcionamento do dispositivo. É apresentada também a análise dos resultados.

Capítulo 5: Conclusão - Síntese conclusiva do projeto final e sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 – Princípios de um seguidor Solar**

Seguidor Solar é um dispositivo que permite o ajuste de ângulo de um coletor solar de tal forma que este esteja sempre voltado para o sol, fazendo com que aumente a incidência de raios solares perpendiculares à superfície dos coletores [OLIVEIRA, 2008]. Este ajuste permite que haja um melhor aproveitamento da energia emitida pelo sol por meio de raios solares, aumentando assim o rendimento da produção energética.

### **2.2 – Rendimentos obtidos com Seguidores Solares**

A luz solar tem dois componentes, o "feixe direto" que transporta cerca de 90% da energia solar, e da "luz solar difusa" que carrega o restante. A parte difusa é o céu azul em um dia claro e aumenta em proporção em dias nublados.

A energia gerada pela incidência dos feixes diretos sobre o painel fotovoltaico é diminuída à medida que o ângulo de incidência aumenta. Essa relação é obtida pelo cosseno do ângulo entre a os raios solares e a superfície do painel fotovoltaico. Outra situação que interfere diretamente na radiação solar sobre os painéis, é a refletância, que é constante para ângulos de até 50°, mas apresenta uma rápida degradação acima deste valor.

Seguidores com 5° de precisão podem proporcionar um aproveitamento de até 99,6% da energia solar fornecida pelos feixos diretos sobre o painel, e 100% dos raios difusos.

Apesar de o Sol ser visível durante um período de ½ dia em um ângulo de 180°, os efeitos da superfície terrestre minimiza este ângulo de visão em 150°. Um painel com orientação fixa vai ver um movimento de 75° em cada lado, e por isso perderá 75% da energia solar gerada do nascer ao pôr do Sol. Com a utilização de seguidores solares, essa perda pode ser recuperada. [COOKE, 2011].

O sol também se move através de 46° norte-sul ao longo do período de um ano, causando perdas de 8,3% em painéis estáticos [COOKE, 2011].

**Tabela 1 - Perda X ângulo de incidência**  
**Fonte: COOKE, 2011**

ângulo de incidência (i)	Perda (1-cos(i))
0°	0%
1°	0,015%
3°	0,14%
8°	1%
15°	3,40%
23,4°	8,30%
30°	13,40%
45°	30%
60°	>50%
75°	>75%

### 2.3 – Geometrias Solar

Ao passar dos dias, o ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície terrestre sofre uma variação constante. Esta variação está diretamente ligada aos movimentos de translação e rotação da terra, e da inclinação do seu eixo (aprox. 23,27°).

O movimento transaccional é movimento que a terra realiza em torno do Sol. Este movimento provoca uma variação na declinação solar, que é o ângulo entre os raios solares e a linha do equador e, conseqüentemente, na variação do ângulo de Zênite solar, de forma regular originando as estações do ano. Outro movimento que interfere diretamente no ângulo de incidência dos raios solares é o movimento de rotação, sendo este o movimento da terra em torno do seu próprio eixo. Este movimento provoca a variação do ângulo de Azimute, que será mais bem explicado adiante, e pode ser notado pelo que chamamos de movimento aparente do sol (Deslocamento do astro em um plano horizontal da terra, iniciando-se ao Leste (Nascente) e finalizando-se ao Oeste (Poente)) [MARQUES, 2012].

Com o estudo da geometria solar, pode-se determinar por meio de cálculos, o fluxo de radiação que atinge uma determinada superfície ( $I_T$ ). Segundo Duffie, John A., a determinação deste fluxo se dá pelo cálculo de três componentes básicas, a radiação direta do Sol, ( $I_{DN}$ ), a radiação difusa ( $I_d$ ) e radiação refletida pelo entorno ( $I_r$ ). O Cálculo para se determinar a radiação em uma determinada superfície, é expresso pela fórmula (1):

$$I_T = I_{DN} \cdot \cos \theta + I_d + I_r \quad (1)$$

Em que  $\theta$  é o ângulo de incidência dos raios solares sobre uma determinada superfície.

O valor da radiação solar direta ( $I_{DN}$ ) é obtido pela multiplicação do valor de radiação aparente do Sol ( $A$ ) por uma constante  $e$ , elevada ao valor negativo da divisão entre o coeficiente de extinção atmosférica ( $B$ ) e o seno da altitude solar ( $\beta$ ). Conforme expressado na fórmula (2):

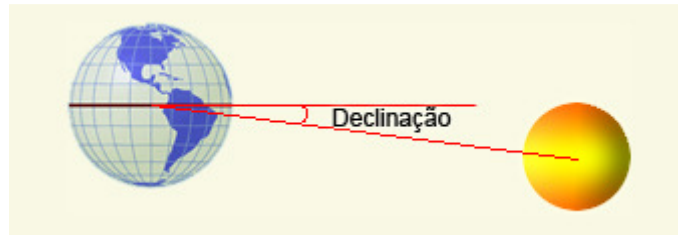
$$I_{DN} = A \cdot e^{-(B/\sin \beta)} \quad (2)$$

A radiação aparente do Sol e o coeficiente de extinção atmosférica são valores obtidos com o auxílio de instrumentos específicos instalados em satélites e na superfície terrestre. Neste trabalho não será abordado à forma como esses valores são obtidos, pois seria necessário um estudo mais aprofundado sobre radiação solar, que não está no escopo desta monografia. A altitude solar ( $\beta$ ) — ângulo formado entre o plano horizontal sobre a terra e os raios solares — é calculada através da fórmula (3).

$$\sin \beta = \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos H + \sin L \cdot \sin \delta \quad (3)$$

Em que  $L$  refere-se à Latitude da superfície,  $H$  ao ângulo horário, que é o ângulo do Sol em relação ao meio dia, sendo antes de meio dia um valor negativo e após, um valor positivo.

A declinação solar ( $\delta$ ) é o ângulo entre a linha do Equador e o eixo que sai do centro do Sol, como pode ser observado na Figura 2.1.



**Figura 2.1 - Declinação Solar**  
**Fonte: UFRGS,2012**

Como o Equador da Terra está inclinado cerca de  $23,27^\circ$  sobre o plano da órbita à volta do Sol, a declinação terrestre pode variar entre  $23,27^\circ$  ao norte e  $23,27^\circ$  a sul durante o movimento de translação. Esse valor pode ser calculado de acordo com o dia do ano, a partir da resolução da equação (4) onde N será o dia do ano, contado a partir do dia 1º de Janeiro [UFRGS, 2012].

$$\delta = 23,47 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + N}{365}\right)$$

(4)

Para determinar o ângulo de incidência ( $\theta$ ) dos raios solares sobre uma superfície em uma determinada latitude, é necessário primeiramente obter o ângulo de Azimute. A fórmula (5) é utilizada para a determinação deste valor, sendo  $\alpha$  a inclinação da superfície em relação ao plano horizontal da terra. Como o ângulo de Azimute é determinado considerando o plano horizontal da terra, o valor do Azimute utilizado para o cálculo do ângulo de inclinação deverá ser a diferença entre o ângulo de Azimute da superfície, que no caso de um Seguidor Solar será a diferença de ângulo entre a direção do coletor solar e o eixo horizontal norte-sul e o ângulo de Azimute solar [DUFFIE, BECKMAN, 1991].

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \alpha + \sin \beta \cdot \cos \alpha$$

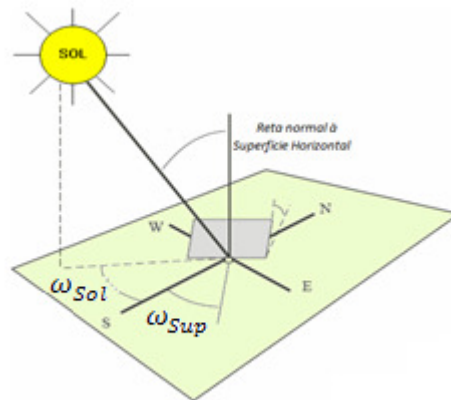
(5)

$$\gamma = \omega_{Sup} \mp \omega_{Sol}$$

(6)

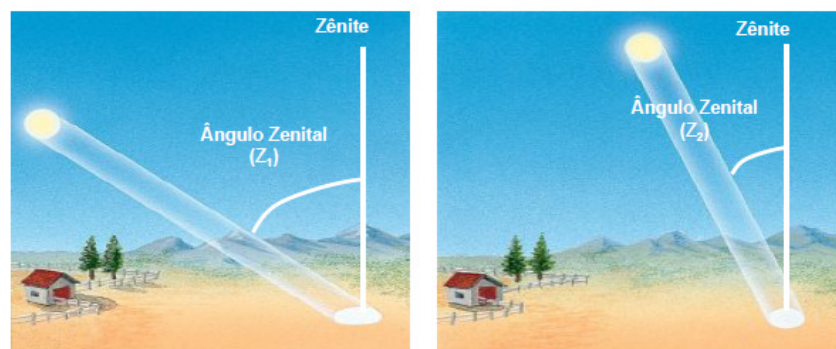
O ângulo de Azimute solar é o ângulo determinado pela posição de um astro em relação ao eixo norte-sul, sendo positivo em direção ao oeste e negativo em direção ao leste,

como está sendo ilustrado na Figura 2.2. A fórmula (7) é aquela utilizada para se obter o valor do ângulo de Azimute do sol [DUFFIE, BECKMAN, 1991].



**Figura 2.2 - Ângulo de Azimute Solar**  
Fonte: Autor

Outro ângulo que dever ser considerado no estudo da geometria solar é o ângulo de Zênite, que também interfere no nível da radiação solar sobre uma determinada superfície. Este ângulo é formado entre a linha perpendicular a uma superfície chamada de Zênite e uma linha imaginária que vai do centro da terra ao centro do Sol, conforme ilustrado na Figura 2.3.



**Figura 2.3 - Representação de ângulo de Zênite solar**  
Fonte: UFPEL, 2012

Quanto maior o ângulo de Zênite, menor será a irradiação solar sobre uma determinada superfície [UFPEL, 2012].

## 2.4 – Tipos de Seguidores Solar

Existem vários modelos de seguidores solares, os quais podem ser classificados de diversas formas. Em um trabalho publicado pelo instituto de engenharia elétrica da USP, os seguidores solares são classificados de acordo com o número de eixos, tipo de estrutura, tipo de controle e estratégia de rastreamento [USP, 2012].

Por exemplo, o seguidor de único eixo com orientação vertical que pode ser chamado também de seguidor Azimutal. Seguidores de um eixo com orientação horizontal pode ser chamado também de seguidor Zenital. Neste trabalho iremos adotar as seguintes classificações: horizontal, vertical, único eixo inclinado e dois eixos.

Os seguidores podem ser classificados também com relação ao mecanismo de rastreamento, sendo passivo, ativo, cronológico ou misto [MARQUES, 2012].

### 2.4.1 - Seguidor Solar de um único eixo

Seguidores Solares de único eixo são seguidores que geralmente apresentam o menor custo de implementação. Por ser um seguidor menos complexo, a tecnologia utilizada é mais simples.

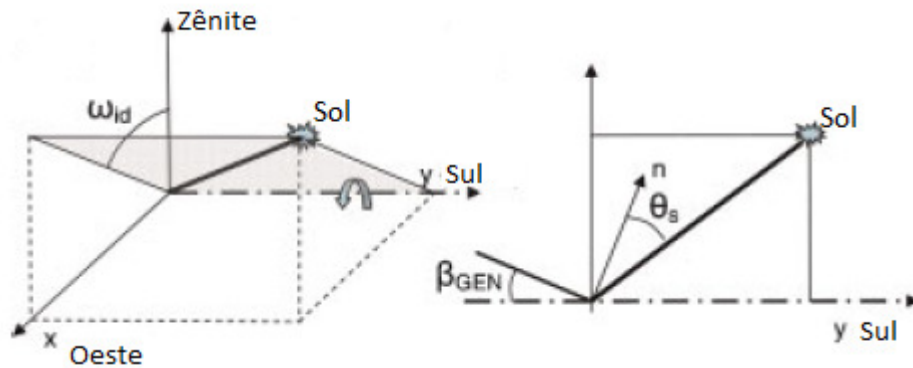
Segundo Bill Gross, CEO da Energy Innovations, a utilização de seguidores de um único eixo é o caminho mais eficiente e barato para as instalações solares utilizadas no comércio de energia elétrica, sendo essa a principal razão de este tipo de seguidor ser o mais utilizado [REDROBIT, 2008].

### 2.4.2 - Seguidor de um único eixo horizontal

Este tipo de seguidor tem como princípio a rotação do plano do coletor solar sobre o eixo horizontal. A implementação deste tipo de sistema, geralmente é feita com um tubo horizontal paralelo ao eixo polar norte-sul, apoiado sobre suportes. Os painéis são montados em cima deste tubo que gira sobre seu eixo de acordo com o movimento aparente do sol ao longo do dia, de Leste-Oeste.

Conforme a Figura 2.4, a função do seguidor solar neste tipo de implementação é ajustar o ângulo  $\beta_{GEN}$  para que a linha normal (n) da superfície do coletor fique no mesmo

plano que o eixo imaginário, que vai da terra ao centro do sol. Dessa forma o ângulo de incidência ( $\theta_s$ ) dos raios solares será minimizado [NAVARTE,LORENZO,2008].



**Figura 2.4 - Seguidor Solar de único eixo horizontal (ângulos)**  
**Fonte: NARVATE, 2008**

A grande vantagem deste tipo de implementação é o ganho no custo de montagem. Um único sistema seguidor solar pode ser utilizado para controlar vários coletores solares ao mesmo tempo, dependendo da área disponível para implementação. Na Figura 2.5, pode-se observar uma implementação de um sistema seguidor de um único eixo com orientação horizontal, em que várias células solares estão instaladas sobre um mesmo eixo (tubo). Para cada eixo é necessário somente um sistema de controle.



**Figura 2.5 - Seguidor Solar de único eixo horizontal**  
**Fonte: WIKPÈDIA**

### 2.4.3 - Seguidor solar de único eixo com orientação vertical

O eixo de rotação para este tipo de seguidor é vertical em relação à superfície terrestre sendo este eixo paralelo ao Zênite. Este tipo de seguidor também conhecido com seguidor Azimutal tem um inclinação fixa do coletor solar, que é determinada de acordo com a latitude de implementação do sistema, e deve ajustar a superfície do coletor solar de acordo com o ângulo de Azimute.

Seguidores com orientação vertical apresentam maior rendimento em latitudes elevadas do que seguidores com orientação horizontal, isso ocorre, pois nestas regiões a elevação solar é menor.

Para melhor entender o funcionamento desse sistema, usaremos como referência a Figura 2.6. Em seguidores com orientação vertical o ângulo de incidência dos raios solares ( $\theta_s$ ) é minimizado quando o ângulo de azimute da superfície do coletor ( $\omega_{id}$ ) e o ângulo de azimute do sol ( $\psi$ ) são iguais. O ângulo de inclinação da superfície do coletor ( $\beta_{GEN}$ ) é um ângulo fixo, determinado através dos cálculos do ângulo de Zênite, e baseado no ângulo de inclinação solar ( $Y_s$ ).

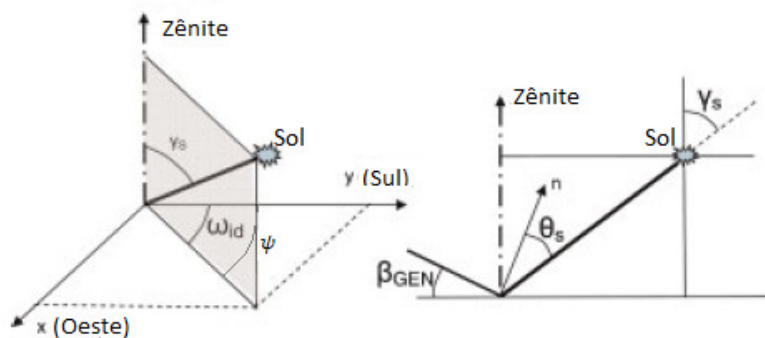


Figura 2.6 - Seguidor solar de único eixo vertical (ângulos)  
Fonte: NARVATE, 2008

Na figura 2.7, pode-se ver uma implementação de um sistema seguidor solar de um eixo com orientação vertical.

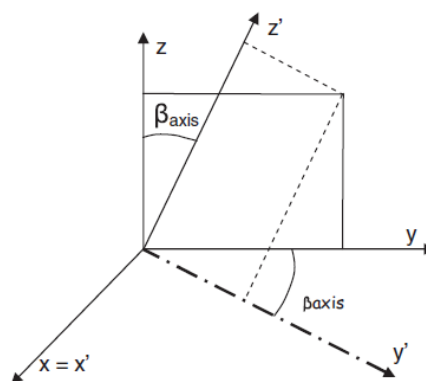


**Figura 2.7 - Seguidor Solar de único eixo vertical**  
Fonte: WIKPEDIA

#### 2.4.4 - Seguidor Solar de único eixo inclinado

Seguidores de um único eixo inclinado possuem o eixo rotação paralelo à superfície do coletor solar, da mesma forma que o seguidor com orientação horizontal. A diferença é que existe uma inclinação deste eixo, que deve ser determinada de acordo com a declinação solar, semelhante aos seguidores de único eixo com orientação vertical.

Para entender melhor o funcionamento deste tipo de seguidor, tomemos a Figura 2.8 com referência. O ângulo de inclinação da superfície do coletor ( $\beta_{axis}$ ) é um ângulo fixo determinado pelo cálculo do ângulo de zênite e inclinação solar. Neste tipo de seguidor o eixo  $Y'$ , que será o eixo inclinado, é rotacionado de tal forma que a linha normal da superfície do coletor, esteja alinhada à reta imaginária que vai até o centro do Sol, assim minimizando o ângulo de incidência dos raios sobre a superfície do coletor.



**Figura 2.8 - Seguidor Solar de único eixo inclinado (ângulos)**  
Fonte: NARVATE, 2008

Para calcular os ângulos relevantes neste modelo de sistema, vamos fazer uma referência a posição do Sol  $X'Y'Z'$  que é resultante da manobra do sistema  $XYZ$ .

Então, o plano do painel fotovoltaico deverá está no mesmo plano das coordenadas do Sol que pode ser encontrada através da equação (7) [NAVARTE,LORENZO,2008].

$$x' = x; y' = \rho \cos(\theta + \beta_{AXIS}); z' = \rho \sin(\theta + \beta_{AXIS}) \quad (7)$$

Onde,

$$\rho = (y^2 + z^2)^{1/2}; \theta = \arctan\left(\frac{z}{y}\right) \quad (8)$$

$$\theta_s = \arctan\left[\frac{y'}{x(x'^2 + z'^2)^{1/2}}\right] - \beta_{AXIS} \quad (9)$$

Este modelo de seguidor, apresentar maior rendimento em relação aos de orientação horizontal devido ao ajuste angular do eixo minimizando os efeitos do Zênite Solar.

Na Figura 2.9 é mostrado um parque com seguidores solares de único eixo inclinado.



Figura 2.9 - Seguidores de único eixo com inclinação de 20° em Nellis Air Force Base - Nevada-USA  
Fonte: WIKIPÈDIA

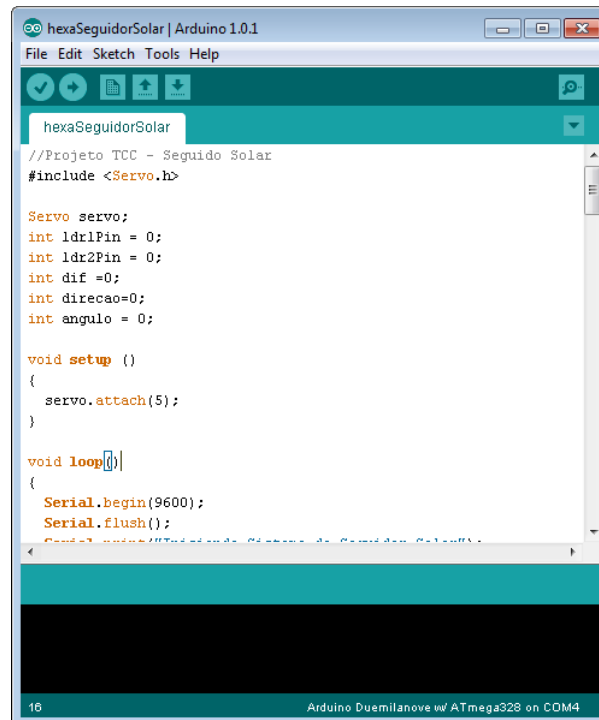
## 2.5 – Arduino

Arduino é uma ferramenta utilizada para a construção de protótipos eletrônicos, de forma simplificada possibilitando a utilização por quaisquer estudantes ou qualquer outra pessoa com pouco conhecimento em eletrônica. Trata-se de uma plataforma projetada com um microcontrolador Atmel AVR, que possui circuitos de alimentação e comunicação já integrados em uma única placa para facilitar sua utilização. Possui uma porta de comunicação USB que permite sua fácil integração com softwares instalados em PCs.

Esta plataforma é um projeto de hardware livre, ou seja, da mesma forma que softwares livres as informações sobre o este projeto são públicas, disponíveis para qualquer usuário que deseja utilizá-la de forma coerente com as regras de licença Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 [ARDUINO, 2012].

Apesar de existirem vários produtos para a mesma finalidade baseados no projeto do Arduino, somente a empresa italiana Smart Projects pode “batizar” e comercializar os projetos com o nome “Arduino”. Ou seja, a Smart Projects é a empresa oficial para comercialização deste produto; e desenvolveu várias versões como o Arduino UNO, Arduino Nano, Arduino Mini, Arduino Duemilanove, etc.

A plataforma de desenvolvimento\programação utilizada pelo Arduino, é baseada em projetos como Wiring e Processing, que são projetos desenvolvidos com o intuito de facilitar a integração com este tipo de plataforma de prototipagem [maartenlamers.com]. Ela é composta basicamente por uma linguagem de programação própria, baseada em C e C++, e um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), Figura 2.10, que interage com o Arduino através de porta serial (USB).

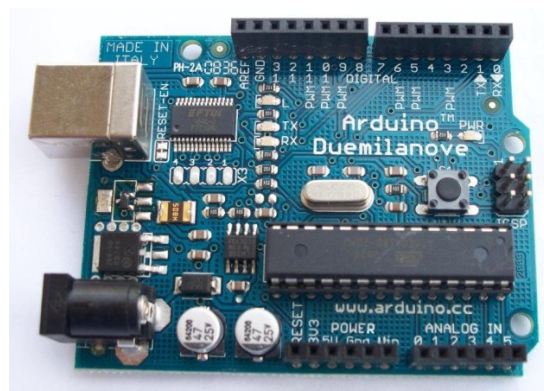


**Figura 2.10- Arduino Development Enviroment (IDE)**

**Fonte: Autor**

O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) é um software multiplataforma, desenvolvida em JAVA. Como o próprio Arduino, este software também foi desenvolvido sobre o conceito de Open-Source, e possui seu código disponível no site oficial do Arduino.

Na figura 2.11 é mostrado um modelo de um Arduino Duemilanove.



**Figura 2.11 - Foto de um Arduino**

**Fonte: Autor**

## 2.6 – Células fotovoltaicas

Uma célula fotovoltaica, ou célula fotoelétrica, é um dispositivo capaz de converter luz em energia elétrica, por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é um fenômeno provocado em um material quando exposto a uma fonte de luz, tendo como resultado a produção de uma corrente elétrica.

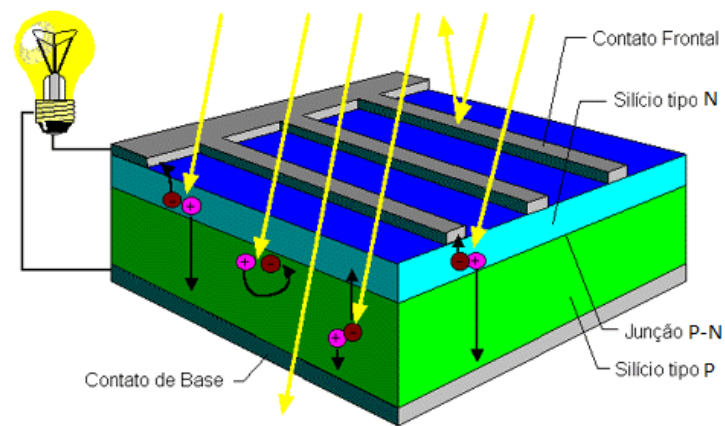
Células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, que são materiais capazes de reagir à exposição da luz pelo efeito fotovoltaico [Nascimento, 2004]. O semicondutor mais utilizado para a composição de células fotovoltaica é o Silício, um material, até então, abundante na natureza e que, ao ser combinado com outros materiais como o fósforo, apresenta uma maior eficiência na produção de corrente elétrica devido às características de sua composição química [OLIVEIRA, 2012].

O cristal de silício puro é um mal condutor por não possuir em sua composição elétrons livres. Para tornar o silício um material capaz de reagir aos efeitos de luz, um processo conhecido como dopagem é realizado, geralmente, com utilização fósforo, obtendo assim um material com elétrons livres. A partir deste processo tem-se então um silício negativamente carregado, que será chamado de Silício do tipo N.

Através do mesmo processo de dopagem, é acrescentado o Boro ao Silício, obtendo assim um material com características inversas ao Silício do tipo N, que será chamado agora de Silício do tipo P.

Na construção de uma célula fotovoltaica, uma camada fina do Silício de tipo N é disposta sobre uma camada mais espessa de Silício do tipo P. Devido às características inversas dos dois materiais, os elétrons do Silício do tipo N passam a ocupar a estrutura do Silício do tipo P, tendendo a uma neutralização de ambos os materiais e formando um campo elétrico na junção P-N.

Os fótons emitidos por uma fonte de luz incidente sobre a célula fotovoltaica se chocam com os elétrons da estrutura do Silício, fornecendo energia ao material e transformando-o em condutor. Com isso, ocorre um fluxo de elétrons entre o Silício do tipo N e o Silício do tipo P, sendo esse fluxo uma corrente elétrica que será conduzida por outro material (mostrado na Figura 2.12 como Contato frontal e Contato Base) até sistemas que irão armazenar ou consumir esta energia gerada [NASCIMENTO, 2004]. A Figura 2.12 ilustra o funcionamento de uma célula fotovoltaica.



**Figura 2.12 - Funcionamento de uma célula fotovoltaica**  
**Fonte: NASCIMENTO, 2004**

Além do modelo de célula fotovoltaica construída a partir de cristais de Silício, outros modelos podem ser encontrados no mercado, porém com um rendimento inferior a este modelo, construído a partir de outros semicondutores como o Silício amorfo, Arsênio de gálio e Telureto de Cádmio.

Várias células fotovoltaicas podem ser interligadas de forma serial ou em paralelamente, de acordo com o dimensionamento da carga que deverá ser gerada, formando os painéis fotovoltaicos.

Na Figura 2.13 é mostrado um modelo de célula fotovoltaica de Silício Cristalino, mais comumente utilizado.



**Figura 2.13 - Célula fotovoltaica**  
**Fonte: NASCIMENTO, 2004**

## 2.7 – Controladores de Carga

Em sistemas fotovoltaicos, a carga gerada por um painel fotovoltaico geralmente é armazenada em baterias para garantir que, mesmo em momentos com baixa incidência de radiação solar, o fornecimento de energia para um sistema seja garantido de forma uniforme e com qualidade.

O armazenamento desta carga é feito em baterias, e deve ser controlado por um circuito que garanta o bom funcionamento e a vida útil das baterias. Esse circuito é chamado de Controlador de Carga.

Um controlador de carga permite que as baterias sejam carregadas completamente e evita que sejam descarregadas abaixo de um valor que poderia ser prejudicial ao sistema de armazenamento, além disso, garante que a tensão correta seja fornecida ao banco de baterias [PHOCOS, 2012].

Esses sistemas geralmente são compostos por um circuito eletrônico que possui uma entrada para os painéis fotovoltaicos, uma saída para as baterias e uma saída para carga de corrente contínua. Várias tecnologias podem ser utilizadas para se construir este tipo de circuito, mas os controladores mais modernos utilizam uma tecnologia chamada PWM (Pulse With Modulation) para assegurar que a bateria possa ser carregada até atingir sua capacidade máxima.

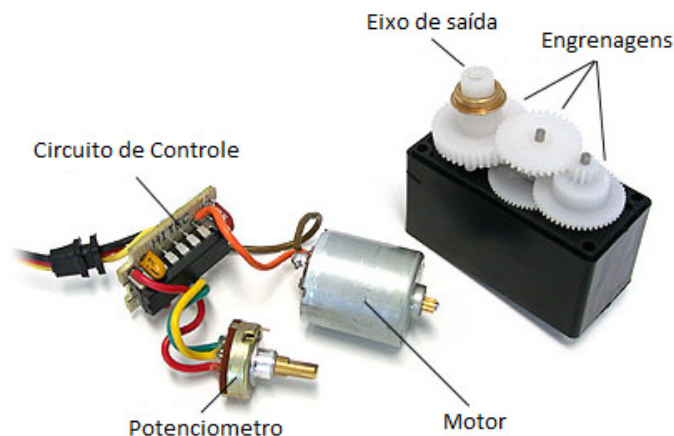
O funcionamento de um controlador de carga dá-se basicamente pelo processo de leitura da tensão das baterias a fim de determinar seu estado de carga e controlar a intensidade de corrente que fluirá dos painéis fotovoltaicos para as baterias. Além desse tipo de controle, um controlador de carga fornece uma proteção contra a corrente reversa, que é uma corrente gerada pela carga das baterias em direção aos painéis fotovoltaicos quando não estão sob a incidência de luz e proteção contra curto circuito do sistema fotovoltaico. Dependendo do tipo de seguidor solar, controle como temperatura do banco de baterias, monitoramento através de LED e telas de LCD, pode ser encontrado [MINHACASASOLAR, 2012].

Esses circuitos são dimensionados em função da corrente dos módulos fotovoltaicos e tensão de operação do sistema.

## 2.8 – Servomotor

O Servomotor é um dispositivo mecânico que possui um eixo que se movimenta proporcionalmente a um sinal eletrônico. Diferentemente de motores convencionais, que possuem um eixo que gira livremente sem um controle efetivo de posição, os servomotores possuem a capacidade de controlar precisamente seu giro, garantindo uma posição exata [SANTOS, 2007].

Um servomotor possui um sistema eletrônico de controle e um potenciômetro que está ligado ao eixo de saída. Este potenciômetro possibilita ao circuito de controle monitorar o ângulo do eixo do servomotor. Se o eixo estiver no ângulo correto, o motor para. Se o circuito detecta que o ângulo está incorreto, o motor é ativado até que o ângulo desejado seja alcançado. Nas engrenagens de um servomotor existe um limitador que atua no ângulo de giro do eixo, fazendo com que este varie de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . Na Figura 2.14 é apresentado um servomotor desmontado com cada um de seus componentes identificados.



**Figura 2.14 - Componentes de um servomotor**  
 Fonte: Servomotores. Santos, 2007.

O circuito de controle é responsável por receber os sinais e energia do receptor, monitorar a posição do potenciômetro e controlar o motor de acordo com o sinal do receptor e a posição do potenciômetro. O potenciômetro ligado ao eixo de saída do servo monitora a posição do eixo. O motor é responsável por movimentar as engrenagens e o eixo principal.

Para aumentar a força e reduzir a rotação do motor, são instaladas várias engrenagens na caixa do servo.

O ângulo do eixo é determinado a partir da duração da largura de pulso (PWM – Pulse Width Modulation) enviado ao circuito de controle do servomotor. Este sinal pode ter 0 v ou 5 v. O circuito controle do servo fica monitorando este sinal em intervalos de 20 ms. Se dentro deste intervalo ele identifica uma alteração do sinal de 0 v para 5 v durante um período de até 2 m/s, o circuito altera a posição do eixo, sendo o intervalo de 1 m/s equivalente à posição de 0°, 1,5 m/s à posição de 90° e 2 m/s à posição de 180°. Na Figura 2.15 é apresentado um gráfico do sinal PWM enviado ao servomotor [SANTOS, 2007].

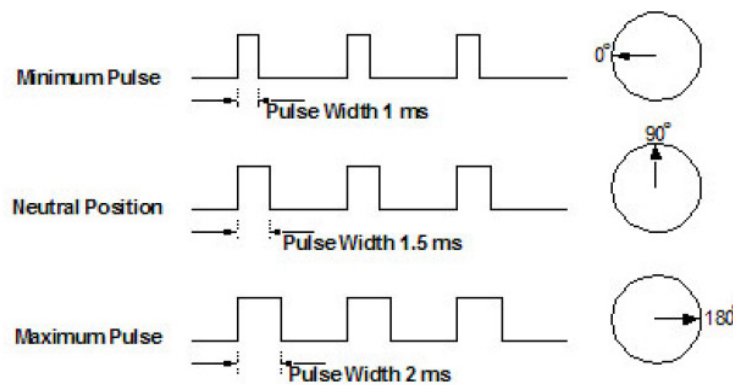


Figura 2.15 - Gráfico de um sinal PWM para servomotor  
Fonte: Servomotores. Santos, 2007.

Para alguns tipos de implementação, são utilizados os servomotores de giro contínuo. Esses dispositivos são basicamente servomotores alterados para que possam trabalhar como um motor DC controlado por um sinal PWM.

Ao contrário do servomotor comum, o servomotor de giro contínuo responde ao sinal PWM girando o eixo principal para um lado ao receber pulsos com intervalo de 1 m/s e para o outro lado com pulsos de 2 m/s continuamente até receber um sinal de parada, que é um pulso de 1,5 m/s equivalente a 90° de um servo comum.

Servomotores de giro contínuo geralmente são utilizados em robótica e são encontrados prontos ou podem ser construídos facilmente a partir algumas alterações em um servo comum. Em Anexo II encontra-se um manual de como realizar essas alterações.

## 2.9 – LDR

O LDR (Light Dependent Resistor) possui a interessante característica de ser um componente eletrônico cuja resistência elétrica diminui quando sobre ele incide luz. Isto possibilita a utilização deste componente para desenvolver sensores que reagem à incidência de luz.

A resistência do LDR varia de forma inversamente proporcional à quantidade de luz incidente sobre ele, isto é, enquanto o feixe de luz estiver incidindo, o LDR oferece uma resistência muito baixa. Quando este feixe é cortado, sua resistência aumenta.

O LDR é composto de um material semicondutor, o sulfeto de cádmio, CdS, ou o sulfeto de chumbo. O processo de construção de um LDR consiste na conexão do material fotossensível com os terminais, sendo que uma fina camada é simplesmente exposta à incidência luminosa externa.

Também chamado de célula fotocondutiva, ou ainda de foto resistência, o LDR é um dispositivo semicondutor de dois terminais, cuja resistência varia linearmente com a intensidade de luz incidente, obedecendo à equação (10), em que  $L$  é a luminosidade em Lux,  $C$  e  $a$  são constantes dependentes do processo de fabricação e material utilizado.

$$R = C.L.a \tag{10}$$

Como foi dito anteriormente o LDR tem sua resistência diminuída ao ser iluminado. A energia luminosa desloca elétrons da camada de valência para a de condução (mais longe do núcleo), aumentando o número destes, diminuindo a resistência.

Conforme aumenta a intensidade de luz incidente no LDR, um número maior de elétrons na estrutura tem também seu nível de energia aumentado, devido à aquisição da energia entregue pelos fótons. O resultado é o aumento de elétrons livres e elétrons fracamente presos ao núcleo [UFRJ, 2012].

Na Figura 2.16 são mostrados detalhes de como um LDR é construído.

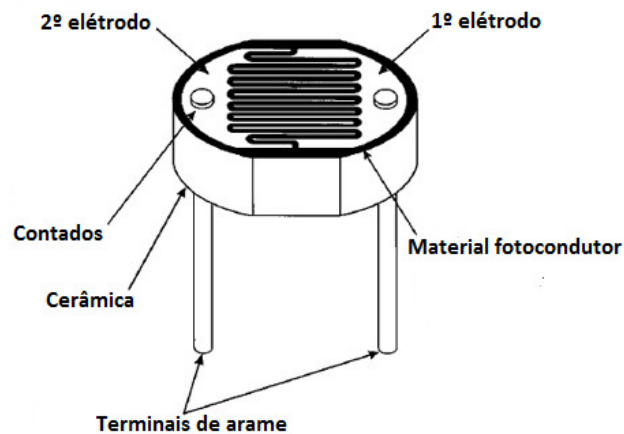


Figura 2.16 - Detalhes de um LDR  
Fonte: ADAFRUIT,2012

## 2.10 – Bateria de Chumbo-Ácido

Baterias de chumbo-ácido são conjuntos de acumuladores elétricos recarregáveis, interligados convenientemente, construídos e utilizados para receber, armazenar e liberar energia elétrica por meio de reações químicas envolvendo chumbo e ácido sulfúrico.

Os componentes básicos de uma bateria são Placas Positivas e Negativas: São grades produzidas com uma liga onde é aplicada uma massa de PbO (óxido de chumbo) adicionada de outras substâncias que responderão por determinadas reações. Estão diferenciadas em placas positivas e negativas e são responsáveis pelo acúmulo e condução da corrente elétrica:

**Separadores:** Executado em polietileno, são envelopes que evitam o contato direto entre placas positivas e negativas para que não ocorram assim curtos circuitos.

**Caixas:** Servem para acondicionar os elementos e a solução eletrolítica.

**Conectores:** Servem para a interligação dos elementos da bateria para formação do circuito.

**Terminais:** Pólos positivos e negativos da bateria.

**Solução:** Composta por 35% de ácido sulfúrico e 65 % de água destilada. Essa solução é indispensável às possíveis reações químicas.

Como funciona: Dióxido de chumbo ( $\text{PbO}_2$ ) é uma substância que possui grande tendência para receber elétrons, enquanto que o chumbo metálico ( $\text{Pb}$ ), tem uma grande tendência para doar elétrons; a isso chamamos diferença de potencial. O meio utilizado para transferência de elétrons no caso das baterias automotivas é a solução de ácido sulfúrico, pela sua boa estabilidade térmica, alta condutividade iônica, baixo nível de impurezas e baixo custo [PRAC, 2012].

Na Figura 2.17 é mostrada a estrutura básica de uma bateria de Chumbo-Ácido.

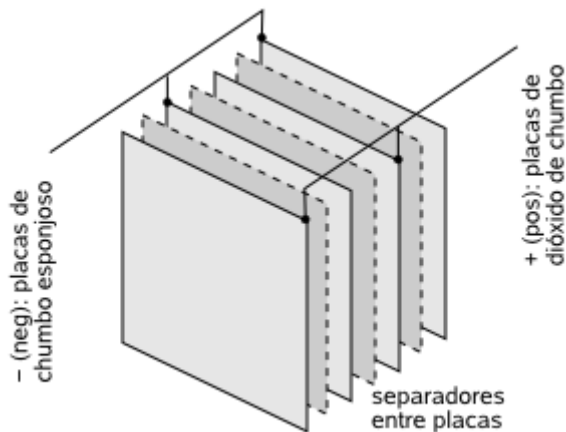


Figura 2.17 - Detalhes internos de uma bateria de chumbo  
Fonte: PRAC, 2012

## 2.11 – Engrenagens do tipo “parafuso com rosca sem fim”

A coroa e o parafuso com rosca sem-fim compõem um sistema de transmissão muito utilizado na mecânica, principalmente nos casos em que é necessária a redução de velocidade ou um aumento de força, como nos redutores de velocidade. Na Figura 2.18 é mostrado um desenho de uma engrenagem com parafuso de rosca sem fim.

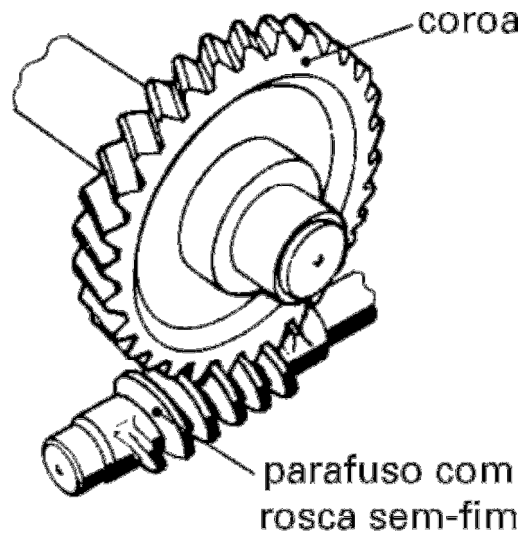


Figura 2.18 - Engrenagem Parafuso com rosca sem fim  
Fonte: OBERG,2008

O parafuso com rosca sem-fim pode ter uma ou mais entradas. Veja, por exemplo, a ilustração de um parafuso com rosca sem-fim com 4 entradas na Figura 2.19.

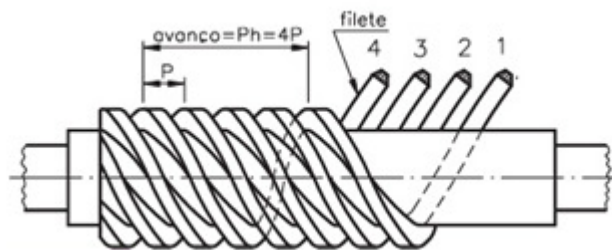


Figura 2.19 - Detalhe do parafuso com rosca sem fim  
Fonte: OBERG,2008

O número de entradas do parafuso tem influência no sistema de transmissão. Se um parafuso com rosca sem-fim tem apenas uma entrada, uma está acoplada a uma coroa de 60 dentes; em cada volta dada no parafuso a coroa vai girar apenas um dente. Como a coroa tem 60 dentes, será necessário dar 60 voltas no parafuso para que a coroa gire uma volta. Assim, a rpm da coroa é 60 vezes menor que a do parafuso. Se, por exemplo, o parafuso com rosca sem-fim está girando a 1.800rpm, a coroa girará a 1.800 rpm, divididas por 60, que resultarão em 30 rpm. Suponhamos, agora, que o parafuso com rosca sem-fim tenha duas entradas e a coroa tenha 60 dentes. Assim, a cada volta dada no parafuso com rosca sem-fim, a coroa girará dois dentes. Portanto, será necessário dar 30 voltas no parafuso para que a coroa gire uma volta. Assim, a rpm da coroa é 30 vezes menor que a rpm do parafuso com rosca sem-fim. Se, por exemplo, o parafuso com rosca sem-fim está girando a 1.800rpm, a coroa girará a

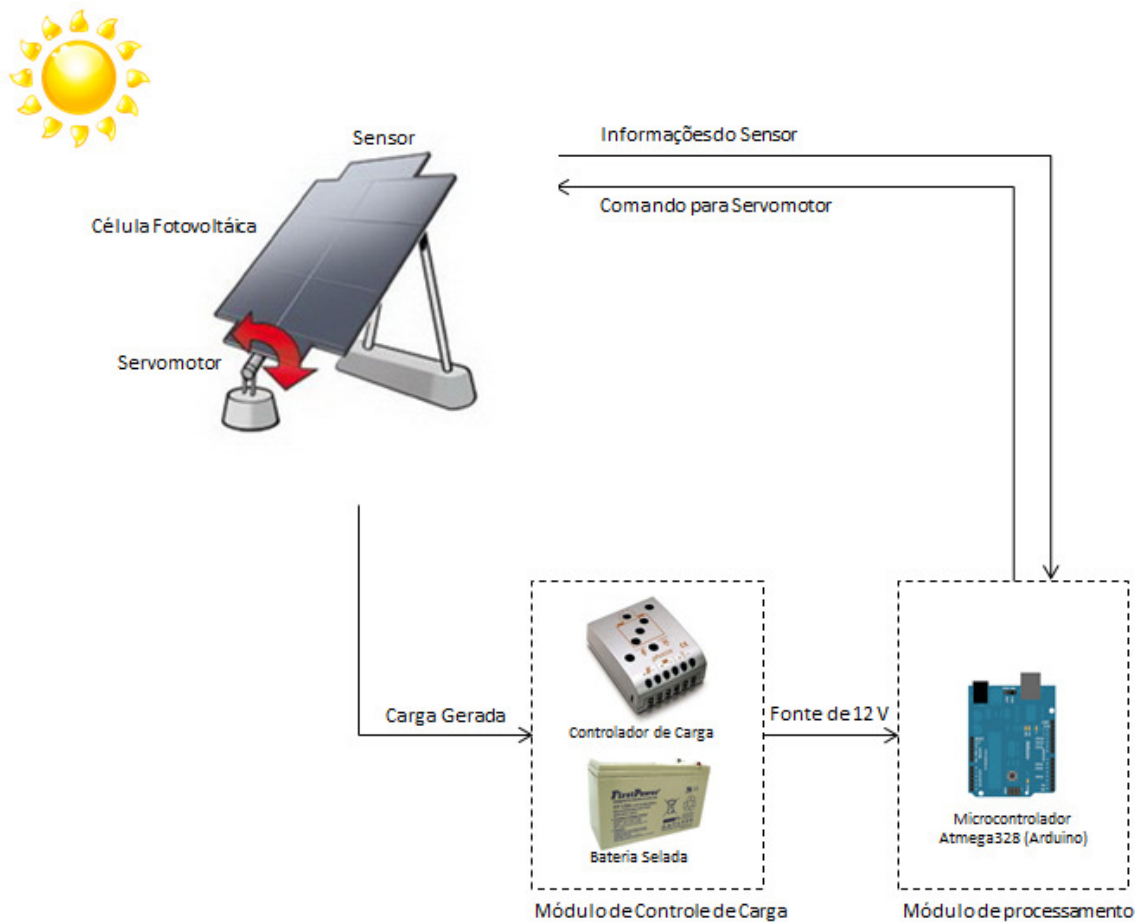
1.800 divididas por 30, que resultará em 60 rpm. A rpm da coroa pode ser expressa pela fórmula (11).

$$N_c = \frac{N_p \cdot N_e}{Z_c} \tag{11}$$

Em que  $N_p$  é quantidade de voltas da coroa em cada segundo (rpm);  $N_e$  é a quantidade de voltas do parafuso com rosca sem fim a cada segundo;  $N_e$  é o número de entradas do parafuso e  $Z_c$  é o número de dentes da coroa [OBERG,2008].

## CAPÍTULO 3 – IMPLEMENTAÇÃO

Como uma forma de organização, e para melhor entendimento das etapas de desenvolvimento, o projeto foi dividido na construção de dois módulos. O módulo de processamento, que atuará no controle do servomotor e na interpretação dos sinais gerados pelos sensores, e o módulo de controle de carga, que terá como função controlar a carga gerada pelo painel fotovoltaico para que seja armazenada e fornecida ao módulo de processamento. Nã Figura 3.1 é mostrado um diagrama do projeto, onde pode-se observar a ligação entre todos o componentes do sistema, e suas interações.



**Figura 3.1 - Diagrama esquemático do Projeto**  
Fonte: Autor

### 3.1 – Tecnologias utilizadas

#### 3.1.1 – Softwares

Foi utilizado o software PROTEUS (ISIS) Professional, Versão 7.7 SP2, para a construção e simulação do circuito eletrônico de automação do Seguidor Solar.

No desenvolvimento e programação do módulo de processamento foi utilizado o Arduino Development Environment Versão 1.0.1.

Para auxiliar os estudos sobre radiação e geometria solar, foi utilizado o software sunmotions068, disponível via WEB pelo site <http://astro.unl.edu>.

O Sistema operacional utilizado para instalação de ambos os softwares, foi o Windows 7 SP1.

### 3.1.2 - Hardware

Na construção do módulo de processamento, foi utilizado um Arduino Duemilanove. Este modelo do Arduino utiliza um microcontrolador Atmega328 com 32 KB de memória flash, disponível para armazenar o código do programa, 2KB de memória RAM e 1 KB de EPROM, disponível para eventuais necessidades na programação. A alimentação do circuito é feita através da porta USB ou uma fonte externa, ambos fornecendo uma tensão mínima de 5 v e máxima de 12 v. Neste modelo, estão disponíveis quatorze pinos digitais que podem ser utilizados tanto na função input como para output, e que operam a uma tensão de 5 v e corrente máxima de 40 mA. Seis dos pinos digitais estão disponíveis para a função PWM. Estão disponíveis também seis portas analógicas de input com uma resolução de 10 bits e tensão padrão de 5 v. Na Figura 3.1. , estão sendo mostrados um Arduino Duemilanove e seus componentes físicos.



**Figura 3.2 - Foto do Arduino Duemilanove e especificações técnicas**  
**Fonte: Autor**

No desenvolvimento do sensor, foram utilizados dois resistores LDRs de 10 mm, dois resistores de  $2K2 \Omega$ , e dois resistores variáveis de  $10K \Omega$ . Na Figura 3.2 é mostrado um foto de cada um dos componentes citados.



**Figura 3.3 - Componentes utilizados para construção do sensor**  
**Fonte: Autor**

Um servomotor de giro contínuo da GWS, modelo S35/STD, mostrado na Figura 3.3, foi utilizado para movimentar o painel fotovoltaico. Na tabela 1.1 estão as especificações técnicas do modelo utilizado.

**Tabela 2 - Especificações do servomotor**  
**Fonte: Autor**

<b>SERVO GWS S35/STD</b>		
Tensão de alimentação	4.8 V	6 V
Velocidade	0.16 sec/60°	0.14 sec/60°
Torque máximo	2,52Kg.cm	2,82Kg.cm
Tamanho	29,5 mm x 20,0 mm x 35,6 mm	
Peso	42 g	



**Figura 3.4 - Foto do servomotor GWS S35/STD**  
**Fonte: Autor**

Na montagem do módulo de controle de carga, foi utilizado um controlador de carga da marca PHOCOS, modelo CA06-2.2, mostrado na Figura 3.4, uma bateria selada

Firstpower FP 1270S, mostrado na Figura 3.5, e uma célula fotovoltaica KOMAES MK(P)5. Nas tabelas 2.2, 2.3 e 2.4, estão às especificações técnicas de cada um dos dispositivos utilizados no desenvolvimento desta parte do projeto.

**Tabela 3 - Especificações PHOCOS CA06-2.2**

<b>Controlador de Carga PHOCOS CA06-2.2</b>	
Tensão Nominal	12 V
Corrente Máx. dos módulos fotovoltaicos	5A (25°C)
Corrente de carga máxima	6A (25°C)
Peso	180g
Dimensões	80mm x 100mm x 32mm
Bitola mínima dos cabos elétricos	2,5mm <sup>2</sup>
Bitola máxima dos cabos elétricos	16mm <sup>2</sup>
Reforço de tensão	14,5V (25°C)
Tensão flutuante	13,7V (25°C)
Tensão para desconexão da carga	11,5V (25°C)
Tensão para reconexão da carga	12,5V (25°C)
Consumo próprio de energia	4mA
Compensação de temperatura	-4mA/célula.K
Faixa de temperatura ambiente	-40°C até +50°C
Grau de Proteção	IP22



**Figura 3.5 - Controlador de Carga Phocos CA06-2.2**  
Fonte: Autor

Tabela 4 - Especificações Bateria Selada FP1270S

Bateria Selada Firstpower FP 1270S	
Tensão da bateria	12v
Máximo fornecimento de corrente	7A
Corrente máxima de carga	2,1A
Resistência interna	18 mΩ
Dimensões	7cm x 15,5cm x 10cm
Peso	2,8Kg
Tensão de carga (standby)	13,6v – 13,8v



Figura 3.6 - Foto da bateria selada de 12 v – Firstpower  
Fonte: Autor

### 3.2 – Simulação

O primeiro passo realizado no desenvolvimento do sistema Seguidor Solar foi a criação e a simulação dos circuitos através do software PROTEUS – ISIS, onde foi possível planejar e dimensionar todos os componentes necessários para o desenvolvimento do sistema. Como no ISIS não existe um modelo da plataforma Arduino pronta, foi utilizado um microcontrolador Atmega328P, disponível na biblioteca nativa do ISIS, e componentes básicos para o funcionamento do microcontrolador, como pode ser observado na Figura 3.6.

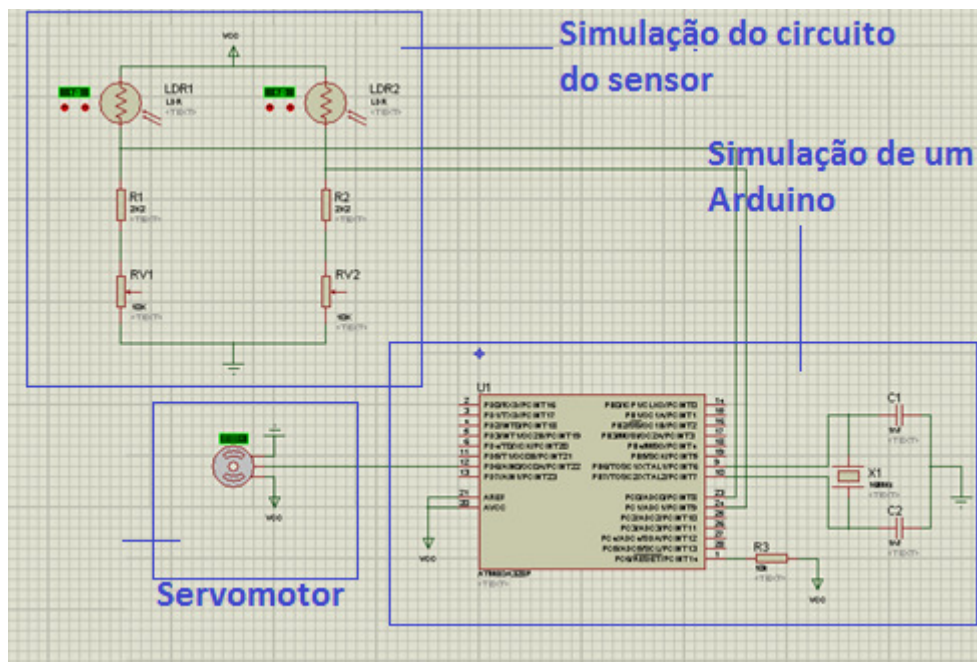
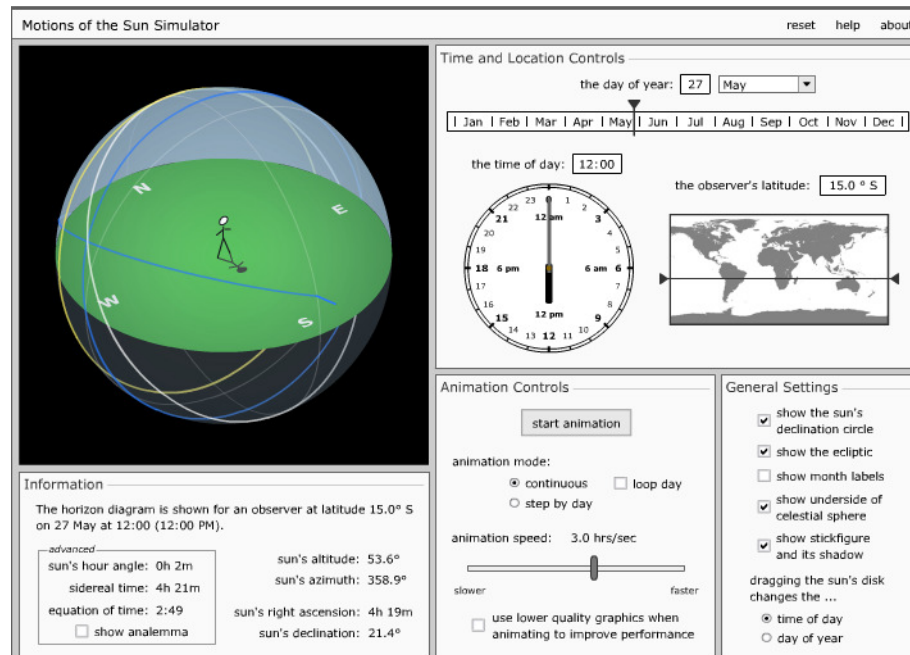


Figura 3.7 - Imagem da simulação do circuito utilizando o ISIS  
Fonte: Autor

Para entender e simular o movimento aparente do sol, fatores que interferem diretamente na radiação solar sobre a superfície o painel solar, foi utilizado um software disponível no site Astro. Com a utilização deste software, foi possível simular o movimento aparente do sol a partir de diferentes latitudes, facilitando a definição e planejamento do movimento que o painel fotovoltaico irá realizar. Para realizar a simulação, deve-se inserir informações como data, mês e latitude do local onde está sendo implantado o painel, e então o grau de inclinação necessário para que o painel tenha o maior aproveitamento possível dos raios solares em uma determinada região será informado na tela do software. Uma imagem gráfica que mostra o movimento aparente do Sol em um determinado período, a ser configurado na tela do software, será apresentado na tela de saída.



**Figura 3.8 - Imagem da tela do software de simulação do movimento solar**  
**Fonte: Autor**

### 3.3 – Desenvolvimento

#### 3.3.1 – Sensores

Uma das partes deste projeto é o desenvolvimento do sensor que irá coletar informações sobre a posição do Sol em relação à superfície do painel fotovoltaico. Durante o planejamento, foram estudados alguns componentes que tivessem a capacidade de identificar a intensidade da luz, como células fotovoltaicas, LEDs e resistores LDR. O componente que apresentou melhor resultado foi o resistor LDR. Apesar de sua baixa precisão, este componente foi escolhido por ser um componente mais sensível, barato e por exigir uma implementação menos complexa.

O sensor foi desenvolvido a partir de um circuito divisor de tensão, conforme exposto na Figura 3.8. Partindo do princípio que quanto maior a incidência de luz sobre um LDR, maior sua resistência, a variação de intensidade da luz sobre o LDR pode ser medida pelo microcontrolador a partir da variação da tensão que ocorrerá entre os resistores LDR1 e R1, e LDR 2 e R2. Os resistores variáveis R3 e R4 são utilizados neste circuito como um regulador, necessários devido à falta de precisão dos LDRs e diferença de comportamento que depende do fabricante, lote, material utilizado etc.

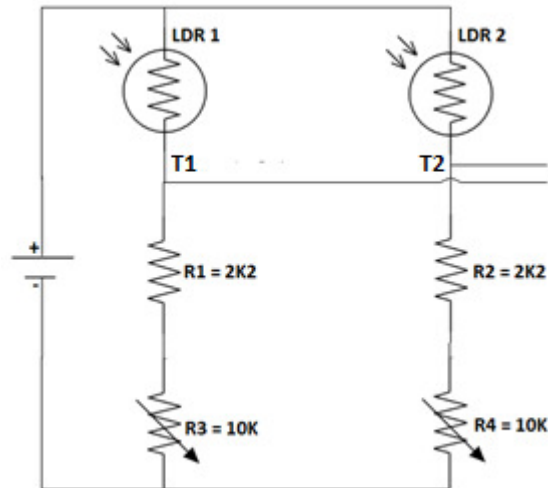


Figura 3.9 - Circuito divisor de tensão utilizado no sensor  
Fonte: Autor

Os dois LDRs são separados por meio de um material opaco, que isola incidência de luz sobre cada um deles, fazendo com que uma sombra seja gerada sobre os LDRs, dependendo da inclinação dos raios solares. Na Figura 3.9, um desenho esquemático é mostrado, onde devido à inclinação dos raios solares, é gerada uma sombra sobre o LDR1 e desta forma a resistência do LDR1 será maior que a resistência do LDR2, refletindo na variação da tensão nos pontos T1 e T2, mostrados na Figura X.X, e que será identificada e processada pelo microcontrolador.

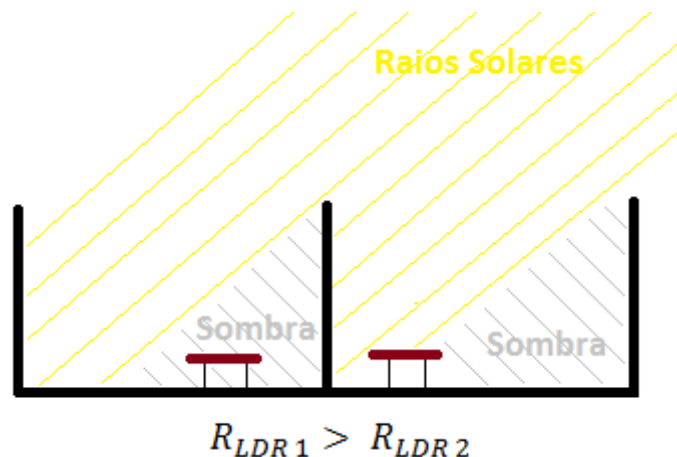


Figura 3.10 - Incidência de raios solares sobre os LDRs  
Fonte: Autor

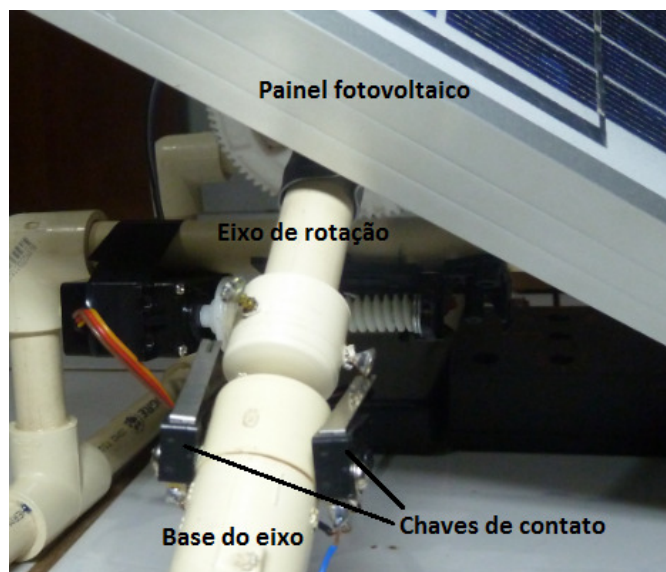
Na Figura 3.10. , é mostrada uma foto do sensor desenvolvido, com e sem a capa de proteção em que está acoplada a barreira que divido os dois LDRs. Toda a placa do circuito e a lateral da caixa foram revestidas com um material preto, diminuindo ao máximo a reflexão

da luz, que interfere no funcionamento do sensor. Este sensor está acoplado ao painel fotovoltaico para que os dois componentes se movimentem juntos, e assim o ângulo de incidência dos raios solares sobre a superfície do painel seja o mesmo sobre a superfície do sensor.



**Figura 3.11 - Fotos do sensor de ângulo de ângulo dos raios solares**  
**Fonte: Autor**

Para identificar quando o painel fotovoltaico chega ao seu limite de inclinação, duas chaves de contato foram instaladas na base de rotação do eixo onde está fixado o painel, uma em cada lado, como pode ser observado na Figura 3.11. Estas duas chaves serão acionadas por dois parafusos presos ao eixo de rotação.



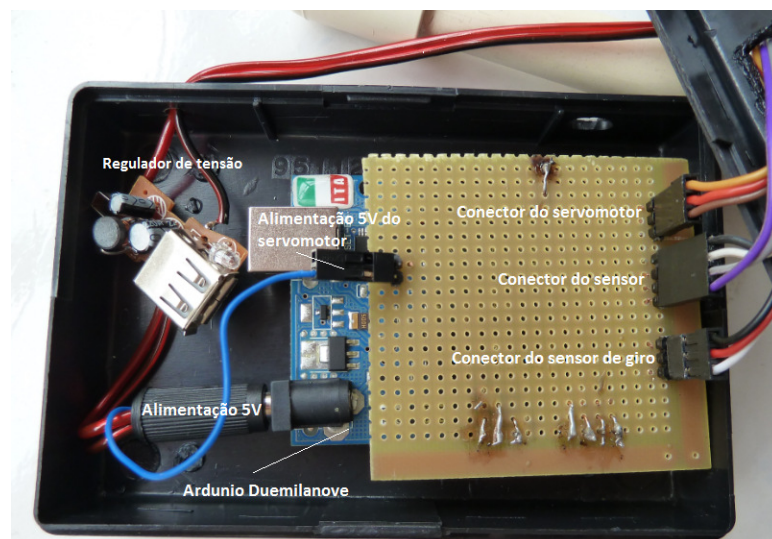
**Figura 3.12 - Chaves de contato**  
**Fonte: Autor**

### 3.3.2 – Montagem do módulo de Processamento

No módulo de processamento são conectados os sensores que fornecem informações sobre a posição do Sol, os dois sensores de contato e o servomotor. Os sinais dos sensores, e o acionamento do servomotor são processados pelo microcontrolador do Arduino.

O servomotor foi conectado ao Arduino através do pino 6, que é uma porta de input/output digital e com função PWM. A alimentação do servo foi feita por meio de uma ligação direta ao circuito regulador de tensão evitando que houvesse interferências no funcionamento do microcontrolador. O sensor que coleta informações sobre a posição do sol, foi conectado aos pinos de input analógico 0 e 1, e aos pinos de alimentação 5 v e GND. Já os sensores de contato, foram conectados aos pinos de input analógico 2 e 3, e ao pino de alimentação 5 v.

Como pode ser observado na Figura 3.12, uma placa foi montada sobre o Arduino, para facilitar e organizar as conexões dos componentes externos (sensores e servomotor).



**Figura 3.13 - Foto do Módulo de Processamento**  
Fonte: Autor

Para regular a tensão de alimentação do Arduino e do servomotor, foi utilizado um circuito regulador de tensão. Este circuito foi retirado de um carregador automotivo de celular, e utiliza um regulador MC34063A, para converter a tensão de 12 v para 5 v.

### 3.3.2.1 – Programação do Microcontrolador

A programação do microcontrolador foi feita com a utilização da linguagem de programação da plataforma de desenvolvimento do Arduino, como foi dito anteriormente, trata-se de uma linguagem base em C\C++.

O código foi escrito obedecendo ao diagrama de fluxo mostrado na Figura 3.13. Ao iniciar a execução do código, é feita uma leitura nas portas analógicas 0 e 1, em que está conectado o sensor que identifica a posição do sol. Nesta leitura são obtidos valores que podem variar entre 0 e 1023, de acordo com a tensão sobre os LDRs. A relação entre a tensão e o valor lido na porta analógica pode ser obtida pela fórmula (12).

$$\text{Valor de leitura} = \frac{\text{tensão } (v)}{5.0(v) \cdot 1023} \quad (12)$$

Após a realização da leitura, os valores obtidos são analisados e comparados para que seja identificado se é período noturno, ou seja, quando não há incidência de luz sobre os LDRs, e se existe necessidade de ajustes do painel. Se for identificado que é um período noturno, um sinal PWM é enviado ao servomotor para que realize o movimento painel fotovoltaico em direção ao nascer do Sol, e espere um tempo relativo ao período da noite para que volte a fazer a leitura dos sensores.

Se for identificada a necessidade de ajuste do painel, o microcontrolador envia um sinal PWM ao servomotor durante 3 segundos. Este tempo equivale ao movimento de aproximadamente 15° do painel. Após este primeiro ajuste, é feita uma nova leitura do sensor, através das portas analógicas 0 e 1, e caso identifique que o painel ainda necessita de ajuste, um novo sinal PWM é enviado ao servomotor por aproximadamente 3 segundos, repetindo este procedimento até que o painel esteja com sua superfície voltada em direção ao Sol.

As portas analógicas 2 e 3 são lidas sempre que houver um movimento do painel. Em caso de acionamento de uma das chaves de contato, uma interrupção no movimento é realizada, evitando que o servomotor seja acionado, evitando danos ao sistema.

O código utilizado para a programação do microcontrolador será apresentado em Apêndice "A" deste trabalho.

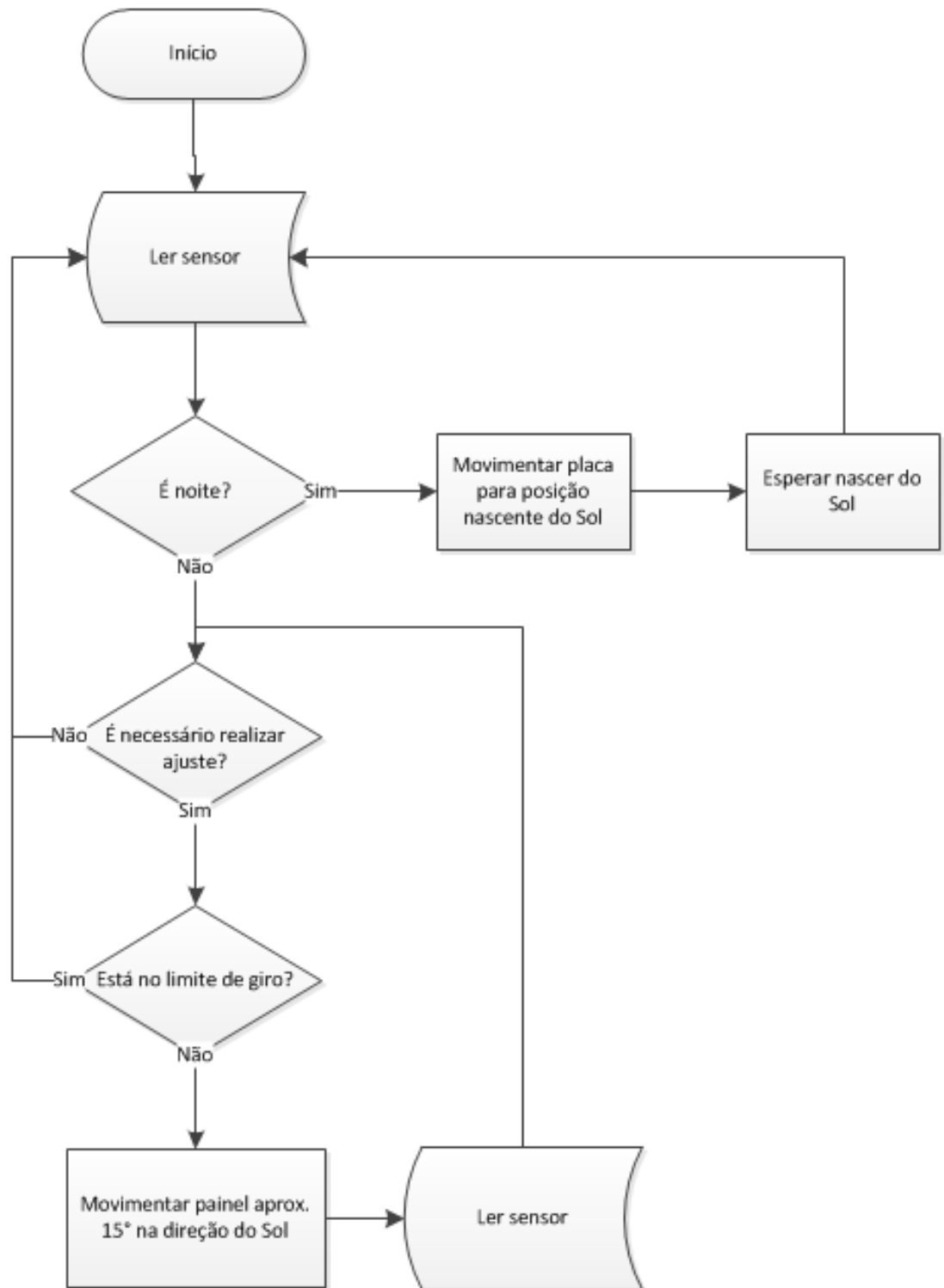


Figura 3.14 - Diagrama de Fluxo do programa do microcontrolador

Na figura 3.15 é mostrado um diagrama que representa a sequência de execução do código. No 1º passo, o programa inicia com a declaração de todas as variáveis utilizadas no programa. Ldr1Pin e Ldr2Pin são as variáveis que recebem o número das portas analógicas onde estão conectadas as duas saídas do sensor solar, sendo ldr1Pin o LDR que está no lado leste do sensor, conectado ao pino número 1 e ldr2Pin o LDR que está no lado oeste do sensor, conectado ao pino 0. Após iniciar a execução do programa, é realizada a primeira leitura do sensor solar. Essa leitura é feita através da utilização da função `analogRead()`, que recupera um valor entre 0 a 1023. Esse valor é obtido a partir da conversão do sinal analógico para o sinal digital, feita pelo conversor A/D do atmega. No terceiro passo, é realizada uma verificação do valor lido nas portas dos ldrs. Se o valor estiver abaixo de 20 em ambos ldrs, significa que não há incidência de luz suficiente para que energia seja gerada, por este motivo é considerado que é noite. Caso seja identificado que é noite, a função `fnoite()` é chamada, fazendo com que o sistema entre em standby. Nesta função, um comando PWM é enviado ao servo motor através da função `servo.write()` movendo o painel solar na direção leste até o limite. Esse limite é identificado quando um valor acima de 1000, é lido na porta analógica `sensorPin1`, que é a porta aonde está conectado a chave de contato. Quando a chave é acionada, o circuito fica fechado fazendo com que a tensão na porta analógica seja de aprox. 5V.

Caso seja identificada que há incidência de luz em dos sensores, ou seja, que não é noite, é calculada a diferença entre os valores lidos nas portas analógicas onde estão conectadas as duas saídas do sensor solar. Se essa diferença, for maior que 25, é considerado que existe a necessidade de ajuste do painel, de forma a minimizar essa diferença. Novamente verifica-se se o painel está no limite de rotação, fazendo uma leitura nas portas analógicas onde estão conectadas as chaves de contato, sendo a porta `sensorPin2` a chave do lado Oeste, e `sensorPin1` a chave do lado Leste.

Na etapa de ajuste do painel, o primeiro passo é iniciar a porta aonde está conectado o servo motor, `servoPin`, através da função `servo.attach()`. Caso seja identificado que o painel terá que sofrer um ajuste na direção Oeste, um sinal PWM equivalente ao ajuste para o grau 0º é enviado ao servo motor, para que o painel se movimente nesta direção durante 3s, definido pela função `delay(3000)`. Ao término desse período o servomotor é desativado com a chamada da função `digitalWrite()`, que recebe o número da portado do servomotor e o valor LOW.

Esse ciclo se repete até que o ajuste necessário seja atingido, ou seja até que a diferença entre os valores dos dois LDR esteja abaixo de 25.

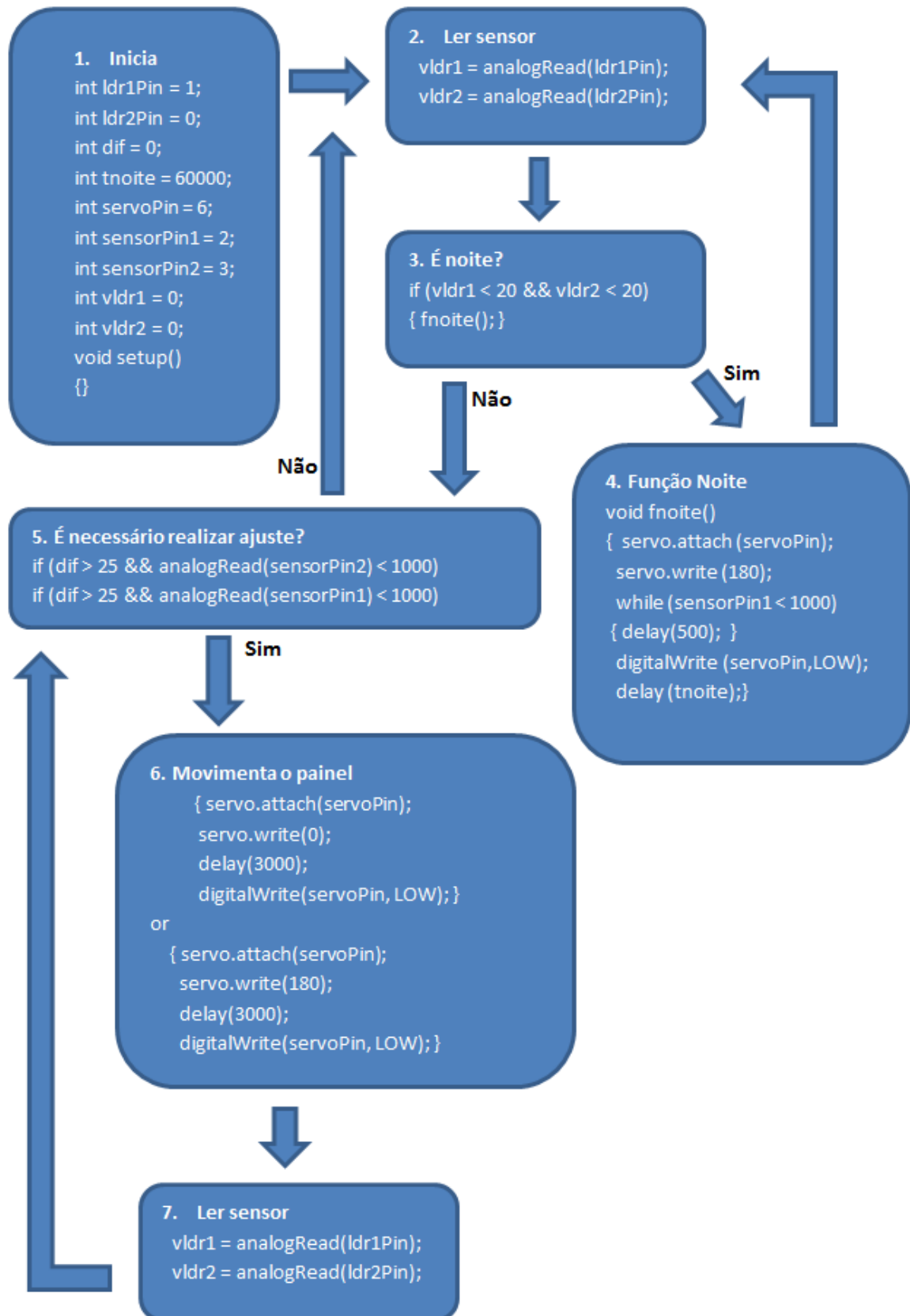


Figura 3.15 - Diagrama do programa  
 Fonte: Autor

### 3.4 – Estimativa de Custo

Tabela 5 - Tabela de custos

<b>Descrição do Material</b>	<b>Valor</b>
Servomotor	R\$ 90,00
Célula Fotovoltaica - 5 W	R\$ 300,00
Controlador de Carga - PHOCOS CA 06-2.2	R\$ 100,00
Bateria Selada 12V	R\$ 60,00
Arduino Duemilanove	R\$ 100,00
Canos de PVC\Conectores	R\$ 120,00
Componentes eletrônicos (LDR, Resistores, etc.)	R\$ 40,00
Circuito Regulador de tensão	R\$ 15,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 825,00</b>

Fonte: Autor

#### 3.3.2.2 – Instalação do servomotor e da caixa de engrenagem

Para realização do movimento do painel fotovoltaico, foi instalado um servomotor abaixo do eixo de rotação. Este servomotor aciona uma engrenagem chamada de “Parafuso sem fim”, que por sua vez aciona outra engrenagem presa ao eixo de rotação.

O uso de engrenagens foi necessário para diminuir a força exercida sobre o eixo de rotação do servomotor e para que o painel permanecesse inclinado, mesmo sem o acionamento do motor, funcionando como um freio. Na Figura 3.15, pode observado como esta implementação foi feita.

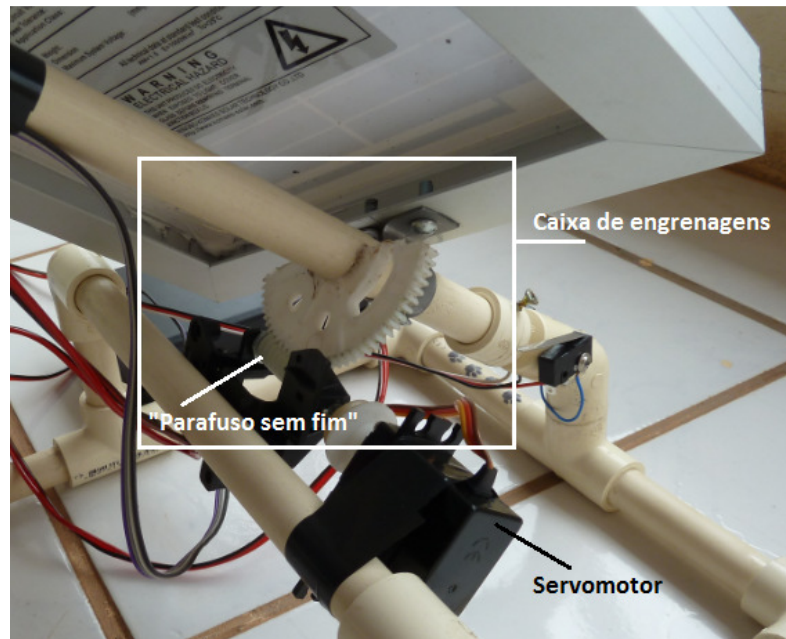
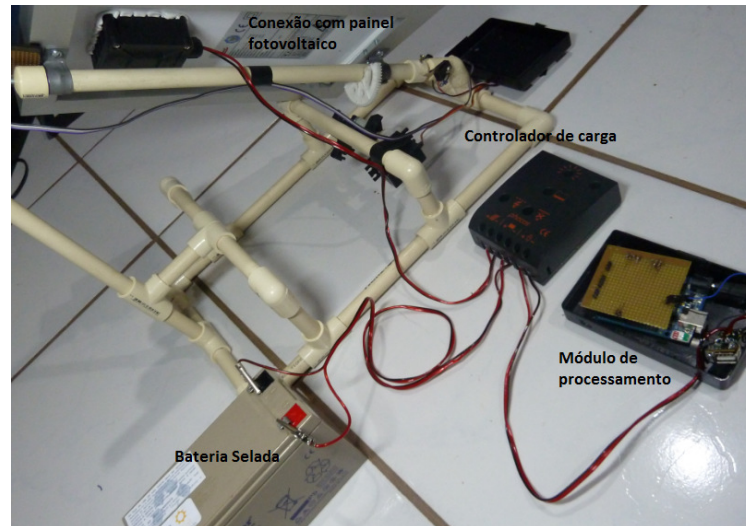


Figura 3.16 - Foto do servomotor e engrenagens  
Fonte: Autor

### 3.3.3 – Módulo de Controle de Carga

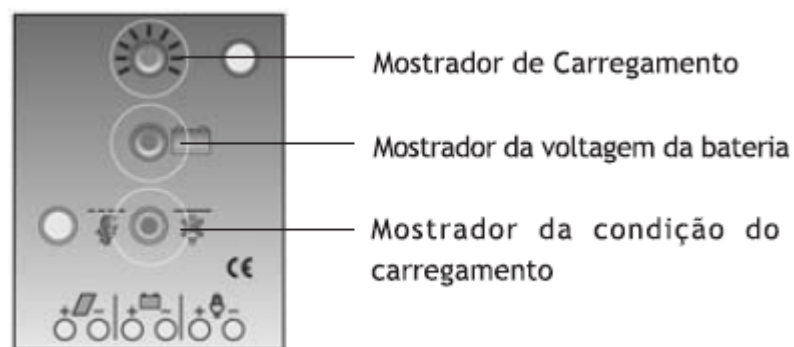
Para a montagem deste circuito, foi utilizado um controlador de carga PHOCOS CA06-2.2, em que foi conectada uma bateria selada de 12 v e a alimentação do módulo de processamento. Para realizar estas conexões, foram utilizados fios de cobre duplos de 1,5 mm, como pode ser observado na Figura 3.16.

O painel fotovoltaico utilizado tem capacidade de gerar uma tensão de até 17,56 v podendo danificar a bateria ou até mesmo o circuito do módulo de processamento. Para evitar que isso ocorra, o controlador de carga possui um circuito interno que limita a tensão fornecida à bateria e ao módulo de processamento em aprox. 12 v.



**Figura 3.17 - Foto do Módulo de Controle de Carga**  
Fonte: Autor

O funcionamento do controlador de carga pode ser monitorado através de três LEDs encontrados na parte da frente do controlador, conforme mostrado na Figura 3.17. Mais detalhes sobre o funcionamento do controlador de carga é apresentado em Anexo I deste trabalho.



**Figura 3.18 - Frente do Controlador de Carga**  
Fonte: Manual Phocos

### 3.3.4 – Estrutura do protótipo

A estrutura que sustenta todos os componentes do sistema e o painel fotovoltaico foi construída utilizando uma barra de cano de PVC de 15 mm, geralmente utilizado em instalações hidráulicas. Este material foi escolhido devido sua grande facilidade de manipulação, não necessitando de soldas ou equipamentos especiais. Para este tamanho do protótipo, o cano de PVC de 15 mm apresentou-se muito estável, suportando o peso do painel fotovoltaico.

O eixo de rotação, onde está preso o painel fotovoltaico, é apoiado sobre dois parafusos presos na estrutura fixa de PVC, sendo um na parte superior e outro na parte inferior do eixo de rotação. Este eixo gira livremente sobre os parafusos com o mínimo de atrito possível, permitindo o movimento do painel em 360°. Na Figura 3.18 é mostrada uma foto deste encaixe.

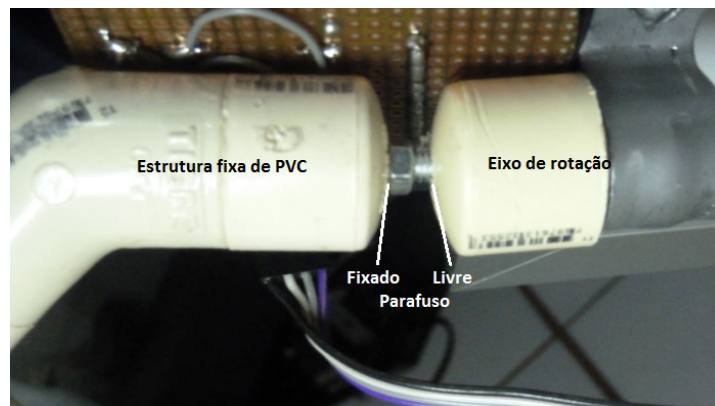


Figura 3.19 - Foto do engate do eixo de rotação e estrutura fixa  
Fonte: Autor

## CAPÍTULO 4 - TESTES E RESULTADOS

Durante e ao final do desenvolvimento deste trabalho, foram realizados alguns testes para comprovar o funcionamento de cada uma das partes propostas no planejamento. Dentre estes testes, se destacaram os realizados durante construção do sensor, necessário para validar a efetividade do circuito planejado em atender as necessidades do modelo de Seguidor Solar proposto, e os outros dois que tiveram o objetivo de comprovar a funcionamento do protótipo ao fim de sua construção. A seguir, serão descritos cada um dos três principais testes.

### 4.1 – Teste 1 – Teste para construção do sensor de movimento solar

Este primeiro teste foi necessário para validar o funcionamento do circuito divisor de tensão na montagem do sensor que coletará informações sobre a posição do Sol.

Para realização deste teste, foi necessária a montagem do circuito do sensor e do microcontrolador em uma *protoboard*.

Neste teste foram feitas as seguintes validações:

- A tensão gerada pode ser medida pela porta analógica do Arduino.
- A diferença de tensão entre os dois LDRs é perceptível quando há diferença na quantidade de Luz incidida sobre cada um dos LDRs.

Com estes resultados foi possível constatar que o circuito divisor de tensão com utilização de resistores LDR, atenderiam as necessidades do projeto. Na figura 4.1 é apresentada uma foto da montagem do circuito sobre uma *protoboard*.

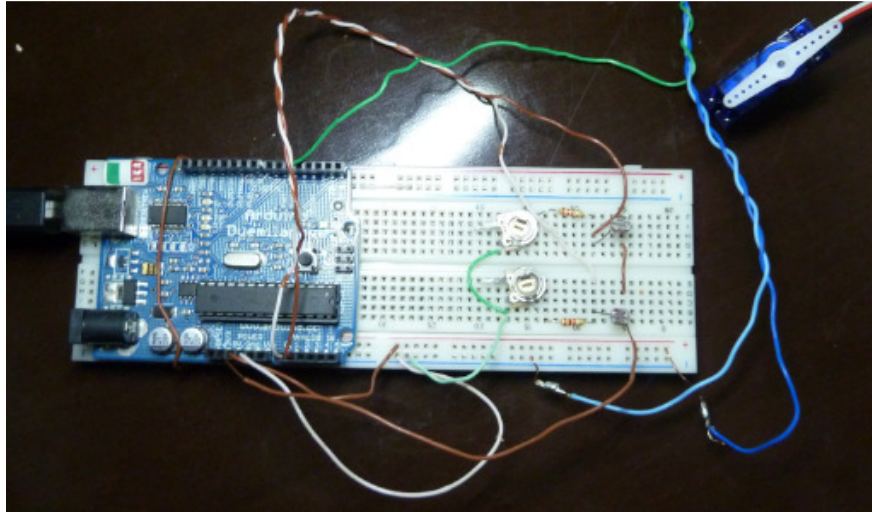


Figura 4.1 - Foto do Teste 1 - Montagem do sensor em protoboard.  
Fonte: Autor

#### 4.2 – Teste 2 – Seguidor solar em ambiente com luz artificial.

Este teste foi realizado em ambiente escuro, com o auxílio de uma luminária para simular o movimento do Sol. Neste teste, o sistema estava em 80 % de sua montagem, faltando apenas alguns ajustes e a conclusão da montagem do circuito controlador de carga.

O módulo de processamento e os sensores foram alimentados pela porta USB de um computador, e os valores de tensão gerados pelos sensores foram monitorados pela porta USB, onde o programa carregado no microcontrolador estava preparado para enviar pela porta serial os valores lidos, conforme Figura 4.2.

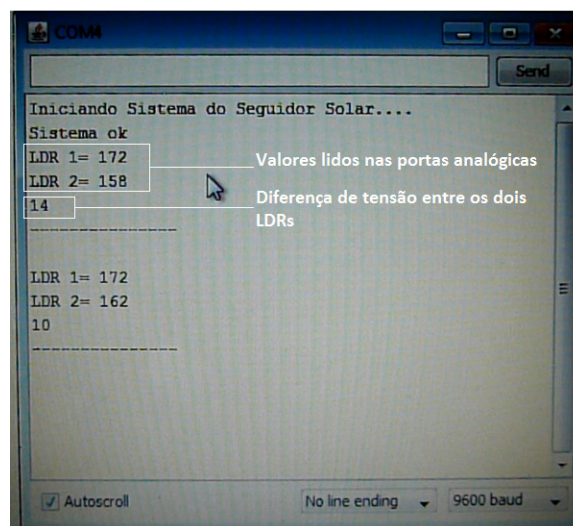
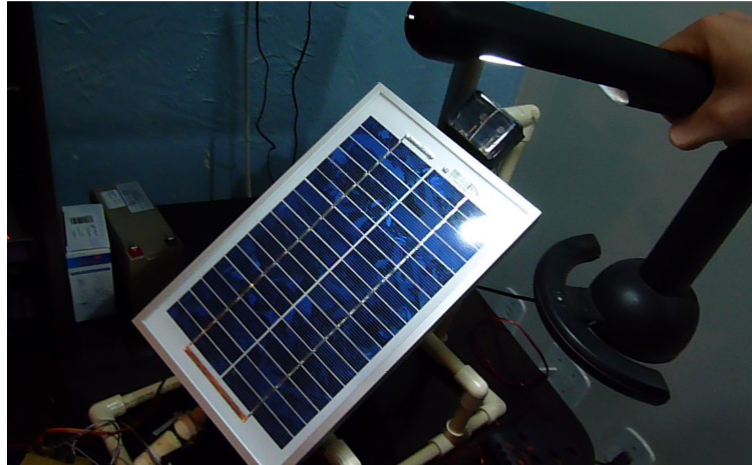


Figura 4.2 - Imagem do programa utilizado no Teste 2  
Fonte: Autor

Na Figura 4.3 é mostrada uma foto tirada durante a realização desse teste.



**Figura 3.3 - Foto do protótipo (Teste 2)**  
Fonte: Autor

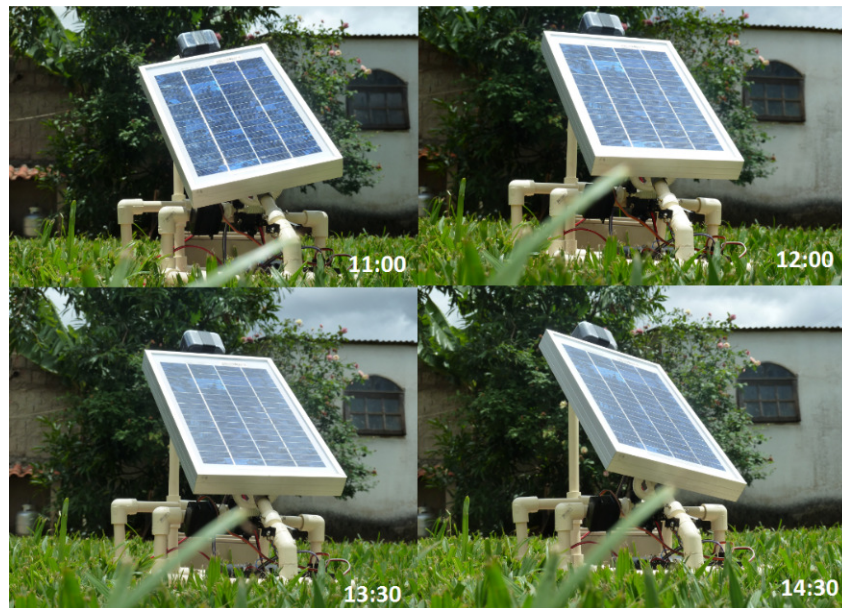
Com a realização desse teste, os seguintes resultados foram obtidos:

- Foi identificado que quando fornecida uma tensão de 5 v aos LDRs, os valores lidos nas portas analógicas eram mais precisos.
- Foi validada a função noite, onde o sistema entra em estado de espera até o nascer do Sol.
- O sistema apresentou bom comportamento, de acordo com o planejado.

#### **4.3 – Teste 3 – Seguidor Solar instalado em ambiente externo (com luz natural).**

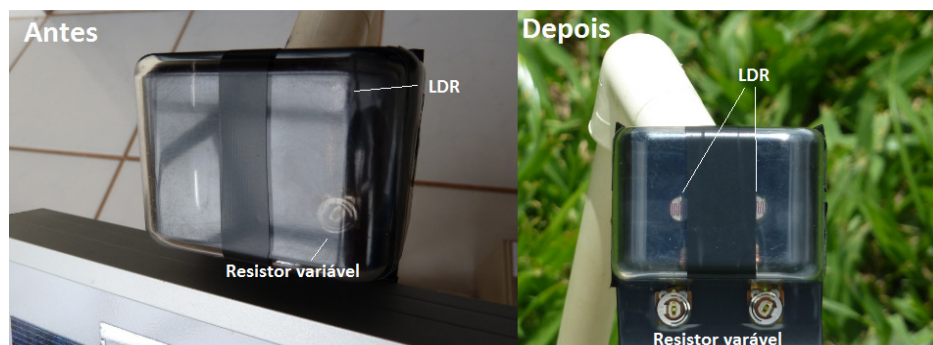
Neste teste, a Sistema foi instalado em ambiente externo, longe de objetos que pudessem criar sombras sobre o painel. O teste foi realizado em um dia parcialmente nublado, permitindo que a incidência direta dos raios sobre o painel ocorresse durante um período de 3 horas e trinta minutos, considerado suficiente para validar o funcionamento do protótipo. Em momentos onde o Sol estava coberto por nuvens, observou-se que o painel permaneceu parado. Isso se deve ao fato de que neste caso, os raios foram dissipados, fazendo com que a quantidade de raios sobre cada LDR fosse igual.

Durante o período de exposição do protótipo em ambiente externo, foram feitas fotos a cada trinta minutos e durante este período observou-se que o painel realizou quatro ajustes, conforme mostrado na Figura 4.4.



**Figura 4.4 - Fotos do protótipo (Teste 3)**  
**Fonte: Autor**

No início do teste foi identificada a necessidade de um ajuste nos LDRs e na posição da caixa de proteção, conforme pode ser visto na Figura 4.5. O ajuste na resistência do circuito foi feito por meio do resistor variável. Estes ajustes foram necessários devido a quantidade de raios sobre os LDR que quando exposto ao Sol é muito maior do que a quantidade luz gerada por um lâmpada.



**Figura 4.54 - Fotos da alteração do sensor (Teste 3)**  
**Fonte: Autor**

A segunda parte deste teste foi medir a tensão em cada parte do circuito, para comprovar o funcionamento do Módulo de Controle da Carga do sistema. Essa medição foi realizada às 10 horas e 30 minutos aproximadamente, com um auxílio de um multímetro e os seguintes resultados foram obtidos:

- Tensão gerada pelo painel fotovoltaico: 18,91 – 19,17 v
- Tensão fornecida à bateria: 13,77 v
- Tensão de alimentação do Módulo de processamento: 13,54 v

Na Figura 4.6, são apresentadas fotos tiradas durante a medição destes valores.

Comparando com os valores especificados nos manuais de cada componente, observou-se que esta parte do sistema estava funcionando corretamente.

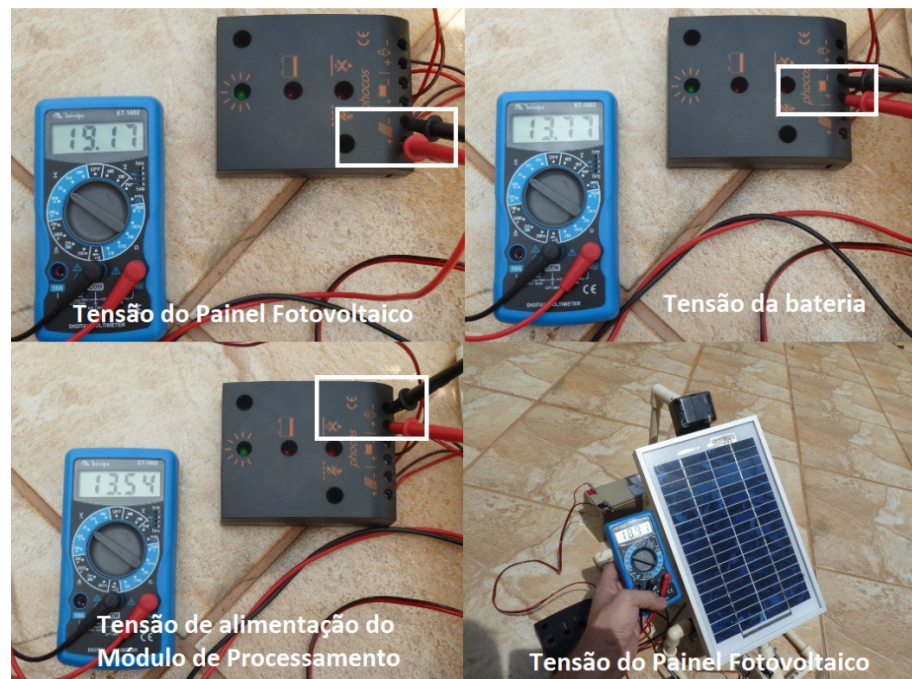


Figura 4.6 - Fotos de medição das tensões geradas no sistema. (Teste 3)  
Fonte: Autor

Ao final desse teste foi possível comprovar o funcionamento do sistema, obtendo resultados satisfatórios que comprovam a construção e o funcionamento de cada item proposto no objetivo deste projeto.

Resultados:

- Circuito microcontrolado e sensores, funcionando corretamente.
- Circuito de controle de carga funcionando corretamente.
- Servomotor funcionando corretamente.
- O ajuste do painel solar não foi realizado de forma precisa.

#### 4.4 – Considerações finais sobre os testes realizados

Os testes realizados foram considerados satisfatórios.

A falta de precisão do ajusto do painel, identificada durante a realização do teste 3, se deve ao fato de que o ângulo de inclinação do painel na latitude e no período em que o teste foi realizado deveria ser de  $-5^{\circ}$ . O painel foi construído sobre um eixo com inclinação de aproximadamente  $-45^{\circ}$ , e como este projeto não contempla um mecanismo de ajuste deste ângulo, o teste foi considerado satisfatório. Na Tabela 5 são apresentados os ângulos de inclinação necessários para maior rendimento do sistema em uma latitude de  $-15^{\circ}$ .

Tabela 6 - Ângulos de inclinação em latitude de  $-15^{\circ}$

Mês	Altura do Sol ( Sun Altitude )	Inclinação ( Array Tilt )	Inclinar para o:
JAN	85	5	Sul
FEV	86	4	Norte
MAR	75	15	Norte
ABR	63	27	Norte
MAI	55	35	Norte
JUN	52	38	Norte
JUL	55	35	Norte
AGO	63	27	Norte
SET	75	15	Norte
OUT	87	3	Norte
NOV	85	5	Sul
DEZ	82	8	Sul

Fonte: Autor

## **CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 – Conclusões**

O uso de energia solar como fonte para produção de energia elétrica está sendo cada vez mais estimulado por ser considerada uma fonte de energia limpa. Diversas discussões recentes sobre os impactos negativos causados ao meio ambiente, incentiva cada vez mais pesquisas voltadas para o desenvolvimento e da utilização de energia limpa.

Neste contexto, este trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo de um sistema seguidor que é utilizado em sistemas fotovoltaicos para melhorar seu rendimento, tornando o uso de energia solar cada vez mais barato. Para o desenvolvimento do protótipo, foram utilizadas tecnologias como o Arduino, Servomotor, LDRs, controlador de carga, regulador de tensão, células fotovoltaicas, etc.

Ao final do desenvolvimento do protótipo, através da realização de testes, foi comprovado que o sistema construído foi capaz de regular a posição de painel fotovoltaico de acordo com a posição instantânea do Sol, comprovando que o objetivo geral e os objetivos específicos propostos foram atingidos.

### **5.2 – Sugestão para trabalhos futuros.**

Criar um mecanismo que, com base em informações de um GPS, faça o ajuste do ângulo de inclinação para a latitude que está sendo instalado o sistema Seguidor Solar de forma automática.

## CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAFRUIT INDUSTRIES. **Photocells a.k.a CdS cells, photoresistors, LD, etc.** Disponível em: <<http://www.adafruit.com/blog/2009/05/21/photocells-aka-cds-cells-photoresistors-ldr-light-dependent-resistor/>>. Acessado em: 9 Nov. 2012.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27>>. Acessado em: 10 Set 2012.

COOKE, David. **Single vs. Dual Axis Solar Tracking.** Ontário: Alternate Energy eMagazine, 2011.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** 3ªed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

LATORRE, Marcelo. **Utilização de um método de correção atmosférica para processamento de dados hiperespectrais do sensor aviris em regiões tropicais.** Apêndice H. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Latorre-M-L-1998/>>. Acessado em: 16 Out. 2012.

MARQUES, Afonso. **Seguidores Solares.** Disponível em: <<http://www.profafonso.com/>>. Acessado em: 12 Out. 2012.

MCROBERTS, Michael. **Beginning Arduino.** New York, NY: Apress, 2010.

NASCIMENTO, Cássio A. **Monografia: Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** LAVRAS: Universidade Federal de Lavras, 2004.

NARVARTE, L.; LORENZO, E. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications.** Madrid, Espanha: Instituto de Energía Sola, UPM, Ciudad Universitaria s/n., 2008.

OBBERG, Erik. **Spiral and worm gearing.** Madison: The Industrial Press, 2008.

OLIVEIRA, Maurício M. Dissertação: **Análise de desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal.** Porto Alegre: 2008

OLIVEIRA, Fernanda P. **Monografia: Célula Fotovoltaica de Silício.**São Paulo: USP, 2010

PINTO, Aimé. et al. **Descrição de seguidores solares e sua aplicação em centrais fotovoltaicas conectadas à rede.** Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2010/Trabalhos/>>. Acessado em: 15 Set. 2012

PRAC, Programa de Responsabilidade Ambiental Compartilhada. **Baterias de Chumbo.** Disponível em: <<http://www.prac.com.br/reciclar.php>>. Acessado em: 9. Nov. 2012.

REDORBIT. **Customers Recognize the Power of Solar Tracking By Selecting RayTracker GC for Their PV Installations.** RedOrbit – News, 7 out. 2008. Disponível em: <[http://www.redorbit.com/news/business/1580656/customers\\_recognize\\_the\\_power\\_of\\_solar\\_tracking\\_by\\_selecting\\_raytracker/](http://www.redorbit.com/news/business/1580656/customers_recognize_the_power_of_solar_tracking_by_selecting_raytracker/)>. Acessado em: 6 Out. 2012.

SANTOS, André. **Tutorial de Servomotores.** Porto Alegre: 2007. Disponível em: <<http://www.sumoderobos.org/>>. Acessado em: 10 Nov. 2012.

UFPEL, Universidade Federal de Pelotas. **Radiação Solar.** Disponível em: <<http://www.ufpel.edu.br/faem/agrometeorologia/>>. Acessado em: 14 Out. 2012.

UFRRJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Métodos Descritivos para Determinação de Sombras.** Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmund/>>. Acessado em: 15 Set. 2012.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Movimento Anual do Sol e Estações do Ano.** Disponível em: < <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm> >. Acessado em: 14 Out. 2012

UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro. LDR – **Light Dependent Resistor.** Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/grad/01\\_1/contador555/ldr.htm](http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm)>. Acessado em: 9 Nov. 2012.

USP, Universidade de São Paulo. **Fontes Alternativas de energia.** Disponível em: <[http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo1/fontes\\_eletrica.html](http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo1/fontes_eletrica.html)>. Acessado em: 14 Out. 2012

## APÊNDICE A

```

/*
 * UNICEUB - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA
 * TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGa DA COMPUTAÇÃO
 * PROJETO: SEGUIDOR SOLAR DE ÚNICO EIXO INCLINADO
 * ALUNO: EULER PAIVA DE MORAES
 * AUTOR: EULER PAIVA DE MORAES
 * REVISADO EM: 25 DE NOVEMBRO DE 2012.
 * COMPILADO POR: PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO DO ARDUINO.VERSÃO 1.0.1.
 */
#include <Servo.h>//Biblioteca para controle do servomotor.

// Declaração de Variáveis
Servo servo;//Variável utilizada para as funções do servomotor.
int ldr1Pin = 0;//Pino de conexão do LDR1 - Leste
int ldr2Pin = 1;//Pino de conexão do LDR1 - Oeste
int dif = 0; //Variável para receber o valor da diferença entre os LDRs
int tnoite = 60000;// Definição do tempo do período noturno.Para fim de demonstração,
                    *está sendo utilizado 1 min.
                    */
int servoPin = 6; //Pino de conexão do servomotor
int sensorPin1 = 2;//Pino de conexão da chave de contato 1 - Leste.
int sensorPin2 = 3;//Pino de conexão da chave de contato 2 - Oeste.
int vldr1 = 0;//Variável para receber valor lido na porta analógica do LDR 1.
int vldr2 = 0;//Variável para receber valor lido na porta analógica do LDR 2.
void setup();//Função necessária para iniciar o programa no Arduino.
{
}

void loop ()
{
  vldr1 = analogRead(ldr1Pin);//Leitura de valores do LDR1 - Leste
  vldr2 = analogRead(ldr2Pin);//Leitura de valores do LDR2 - Oeste
  /*
   * Verifica se os valores lidos em cada LDR está abaixo de 20.
   * Valores abaixo de 20, significa que não existe Luz suficiente para o painel fotovoltaico
   *gerar energia, e por este motivo é considerado um período noturno.
   */
  if (vldr1 < 20 && vldr2 < 20)
  {
    fnoite();//Chama função para para o período noturno.
  }
  vldr1 = analogRead(ldr1Pin);//Leitura de valores do LDR1 - Leste
  vldr2 = analogRead(ldr2Pin);//Leitura de valores do LDR2 - Oeste
  if (vldr2 > vldr1) /*   Compara os valores lidos em cada LDR para que o calcula
                    *da diferença entre os LDRs não gere um valor negativo.
                    */
  {
    dif = vldr2 - vldr1;//Calcula a diferença dos valores lidos em cada LDR.
    if (dif > 25 && analogRead(sensorPin2) < 1000)/* Verifica se o eixo chegou ao limite
                                                *de giro.(Leitura do sensor de contato do lado Oeste.)
                                                */
    {
      servo.attach(servoPin); //Ativa a porta onde está o conectado o servomotor.
      servo.write(0);//Envia sinal PWM ao servomotor. Giro em direção ao Oeste.
      delay(3000);//Mantem o sinal PWM durante 3 seg. Equivalente a aprox. 15° de movimento.
      //pinMode(servoPin, INPUT);//Desativa a porta do servomotor.
      digitalWrite(servoPin, LOW);//Desativa a porta do servomotor.
    }
  }
}

```

```

else /* Neste passo, é considerado que o LDR2 tem valor maior que o LDR1.*/
{
dif = vldr1 - vldr2;//Calcula a diferença dos valores lidos em cada LDR.
if (dif > 25 && analogRead(sensorPin1) < 1000)/* Verifica se o eixo chegou ao limite
*de giro.(Leitura do sensor de contato do lado Leste.)
*/
{
servo.attach(servoPin); /* Ativa a porta onde está o conectado o servomotor e indica que ela funcionará
*enviando sinal PWM.
*/
servo.write(180);//Envia sinal PWM ao servomotor. Giro em direção ao Leste.
delay(3000);//Mantem o sinal PWM durante 3 seg. Equivalente a aprox. 15° de movimento.
//pinMode(servoPin, INPUT);
digitalWrite(servoPin, LOW);//Desativa a porta do servomotor.
}
}
delay (5000);//Espera de 5 seg. para reiniciar o processo de análise do Sistema.
}

void fnoite()/*Função para ser executado quando for período noturno*/
{
servo.attach (servoPin);/*Ativa a porta onde está o conectado o servomotor e indica que ela funcionará
*enviando sinal PWM.
*/
servo.write (180);//Envia sinal PWM ao servomotor. Giro em direção ao Leste.
while (sensorPin1 < 1000)/*Mantém o envio de sinal PWM ao servo até que a posição do painel chegue ao limite
*em direção ao Leste - Nascente do Sol
*/
{
delay(500);//Espera 0,5 seg.
}
//pinMode(servoPin,INPUT);
digitalWrite (servoPin,LOW);//Desativa a porta do servomotor.
delay (tnoite);//Espera um tempo definido no início do programa.
}

```

## ANEXO I - Partes do Manual de Instalação do PHOCOS CA06-2.2

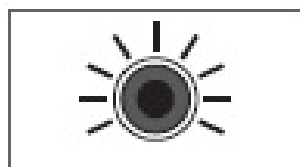
### Funções de Mostrador em operação normal

O controlador é equipado com 3 mostradores LED a fim de exibir as condições de operação.

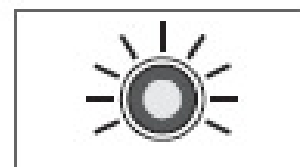


Em modalidade de operação normal, o controlador mostra o estado da carga (energia disponível) da bateria, o estado da voltagem da bateria e o estado da saída de carga.

#### Mostrador de Carregamento



O painel solar não fornece electricidade



(luz verde)  
O painel solar fornece electricidade

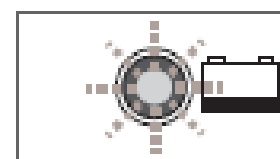
### Mostrador da voltagem da bateria



OK



baixa  
(LED acesa)



muito baixa  
(LED a piscar)

Quando a voltagem da bateria indica que está baixa, é recomendado usar a energia que permanece economicamente. Subsequentemente o controlador de carga desligará o carregamento.

### Mostrador da condição do carregamento

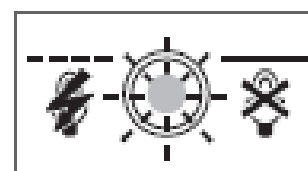
Caso haja um descarregamento profundo ou sobrecarga/curto-circuito da carga, a saída de carga será desligada. Isto é indicado por:



Operação normal



(luz)  
Desconectar  
baixa voltagem



(luz a piscar)  
obrecarga ou Curto-  
circuito da carga

## Função Desconectar Baixa Voltagem (LVD)

O controlador está equipado com uma função de desconexão em baixa voltagem a fim de proteger a bateria contra um descarregamento profundo. Esta função é controlada pela voltagem e automaticamente desliga a saída de carga quando houver uma voltagem de bateria abaixo de 11.5 V.

Assim que a bateria alcançar uma voltagem de 12.5V, a saída de carga é ligada de novo.


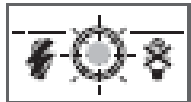


## Recursos de Segurança

O controlador é protegido contra instalação ou uso incorrectos:

	No terminal solar	No terminal da bateria	No terminal de carga
Bateria conectada com polaridade correcta	Sem restrição	Operação normal	Sem restrição
Bateria conectada com polaridade errada	Sem restrição	Sim, apenas se a bateria estiver conectada	Sem restrição
Polaridade Reversa	Sem restrição	Sim, apenas se a bateria estiver conectada	Last output is beveiligd. Last kan beschadigd zijn.
Curto-circuito	Sem restrição	Sem restrição. <b>CUIDADO:</b> A bateria deve ser protegida por um fusível.	Sem restrição
Sobreintensidade	Sem protecção	-----	O Controlador desliga
Não há conexão	Sem restrição	Sem restrição	Sem restrição
Corrente Reversa	Sem restrição	-----	-----
Sobrevoltagem	Varistor 56 V, 2,3 J	Máx. 30 V	Sem protecção
Subvoltagem	Operação normal	Controlador desliga o terminal de carga	Controlador desliga o terminal de carga

**AVISO:** A combinação de diferentes condições de erros pode danificar o controlador. Sempre remova um erro antes de continuar a conectar o controlador!

## Descrição de Erro

Erro	Mostrador	Razão	Solução
Dispositivos não são fornecidos		Bateria está com carga baixa (luz)	Carga será reconectada assim que a bateria for recarregada.
		Sobreintensidade/ Curto-circuito dos dispositivos	Desligue todos os dispositivos. Remova o curto-circuito. O controlador ligará a carga automaticamente após máx. 1 minuto.
Accu is na korte tijd weer ontladen		A bateria está com baixa capacidade (luz)	Troque a bateria
Batterij wordt overdag niet opgeladen		Painel solar defeituoso ou polaridade errada	Remova conexão defeituosa/ polaridade reversa

## Recomendações Gerais de Segurança e Uso

### Uso Intencionado

O controlador de cargas é intencionado exclusivamente para uso em sistemas fotovoltaicos com voltagem nominal de 12 V e apenas em conjunção com baterias ácidas de chumbo ventiladas ou seladas

## **ANEXO II – Como modificar um Servomotor (Construindo servomotor de giro contínuo).**

### **Como modificar um servomotor**

Como dito anteriormente, um servomotor pode girar seu eixo de 0° a 180°. Para poder utiliza-lo como um motor DC com redutor de velocidade, temos que realizar algumas modificações:

1. Remover o potenciômetro que está conectado ao eixo.
2. Remover o circuito eletrônico de controle.
3. Remover o limitador do eixo.

Para que possamos realiza-las, precisaremos de alguns materiais:

- Chave Philips para abrir a caixa.
- Ferro de solda.
- Um sugador para remover a solda do conector do motor.
- Estilete ou algo semelhante para remover o limitador.
- Fios das cores vermelha e preta, por exemplo, para fazer a nova conexão do motor.

Com tudo preparado, basta seguir os passos a seguir:

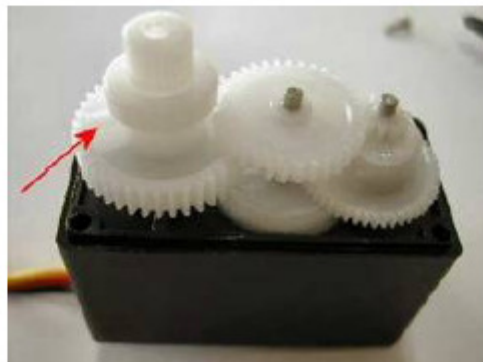
- Retire o parafuso que conecta a flange ao eixo do motor.



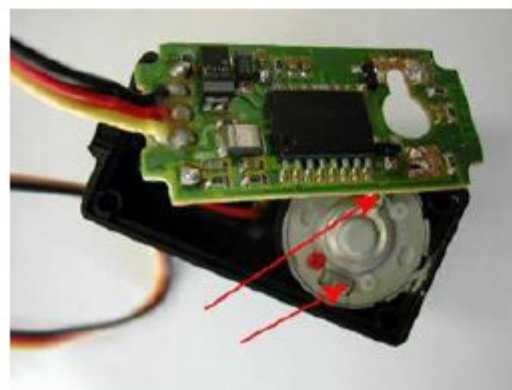
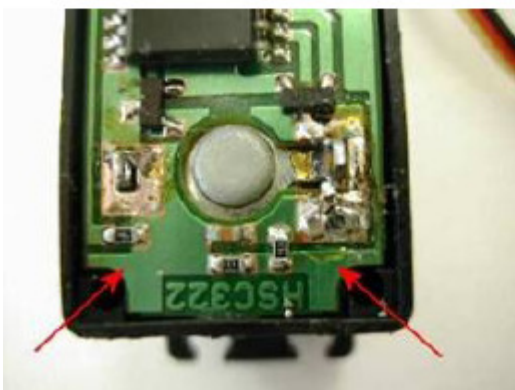
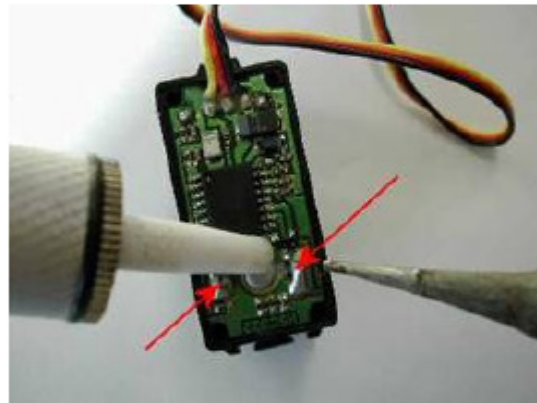
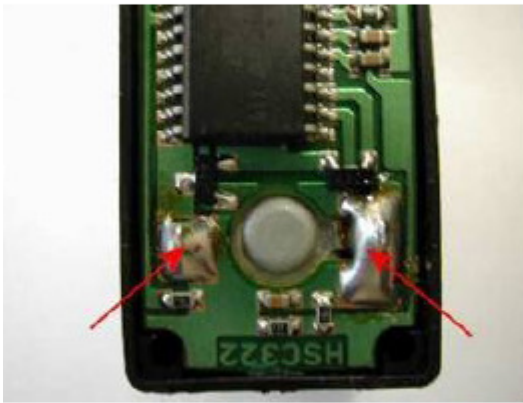
- Abra a caixa removendo os 4 parafusos localizados na base do servo. Com a retirada destes parafusos o servo será aberto em dois lugares: a tampa reta irá deixar a mostra o circuito de controle do servo e a tampa em relevo, que fica na parte de baixo junto ao eixo, nos permitirá mexer nas engrenagens. Retire a tampa junto ao eixo.



- Tenha cuidado em anotar o modo como estão dispostas as engrenagens. Remova-as do servo e as coloque em cima de uma folha de papel na mesma ordem que estavam montadas. A engrenagem fina no centro não precisa ser retirada.



- Agora será necessário remover a placa de controle. Para isso é necessário dessoldar os terminais do motor que estão diretamente inseridos na placa. Use o sugador para auxiliar na retirada do estanho, sempre cuidando para não ser aplicado calor excessivo nos terminais, afim de não danificar as ligações internas do motor. Retire cuidadosamente o circuito impresso. No caso dos servomotores da Futaba modelo S3003, é necessário aplicar um pouco de pressão na ponta do eixo do potenciômetro, que pode ser visualizado após a retirada das engrenagens [Passo Anterior]. Guarde a placa para remontar o servo no futuro.



- Utilizando os fios que foram inicialmente preparados para esta modificação, solde-os nos terminais do motor.
- O último passo é remover o limitador da engrenagem para que a mesma possa girar 360°.



- Volte a colocar as engrenagens nos seus lugares, começando pela do meio. Quando todas estiverem colocadas, encaixe as duas tampas. Finalmente aperte os quatro parafusos da caixa. Os servos estão finalmente em condições de serem utilizados como motores DC com redução.
- Teste o servo, alimentando os novos terminais com uma tensão DC de 5v e verifique se não há ruído excessivo resultante de corte incompleto do limitador. A intensidade de corrente deve ser na ordem de 180mA. Inverta a polaridade e realize as mesmas verificações.

Fontes:

<http://www.asaseletricas.com.br/>

<http://www.anpee.org/>