

FACULDADE INDEPENDENTE DO NORDESTE
ENGENHARIA ELÉTRICA
CELSO HENRIQUE DE SOUZA LOPES

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA POSICIONAMENTO DE PAINÉIS
FOTOVOLTÁICOS**

VITÓRIA DA CONQUISTA
2016

CELSO HENRIQUE DE SOUZA LOPES

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA POSICIONAMENTO DE PAINÉIS
FOTOVOLTÁICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade Independente do Nordeste, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR (A): Natália Lima de Oliveira, M.Sc.

VITÓRIA DA CONQUISTA

2016

CELSO HENRIQUE DE SOUZA LOPES

**SISTEMA MICROCONTROLADO PARA POSICIONAMENTO DE PAINÉIS
FOTOVOLTÁICOS**

Monografia apresentada ao departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade Independente do Nordeste, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: / /

Banca examinadora

Professor (a)

Professor (a)

Professor (a)

Vitória da Conquista, junho de 2016.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado saúde e a oportunidade de concluir este trabalho.

Em segundo agradeço meus pais José Aparecido e Dalva Augusta, pois sem o apoio deles nada disto teria sido possível, a meus irmãos Rui César e André Luiz pela compreensão e ajuda que deram aos meus pais.

Agradeço minha orientadora Natália Oliveira, pela dedicação e pelo empenho que teve para comigo me auxiliando na conclusão deste trabalho.

Agradeço a Tayná Porto e toda sua família por ter me tratado com carinho e me ajudado sempre que precisei na cidade de Vitória da Conquista.

Por fim agradeço toda turma de Engenharia elétrica 2012.1, tenho certeza de que apenas não levarei colegas de titulação, mas sim amigos. Em especial agradeço Irone Aguiar por ter me ajudado neste período que residi em Vitória da Conquista e Claudir Nunes pelo aprendizado compartilhado, e a todos que direta e indiretamente me ajudaram na conclusão do presente trabalho.

“ Dedico este trabalho a minha família. ”

RESUMO

O presente trabalho apresenta a construção de um protótipo microcontrolado com dois eixos de inclinação para posicionamento de painéis fotovoltaicos, visando a minimização do ângulo de incidência solar, responsável esse diretamente pela irradiação solar incidente sobre o painel. Será apresentado um estudo sobre o posicionamento do Sol em diferentes épocas do ano, ao qual devido a sua posição influenciará diretamente o feixe direto de luz solar sobre planos inclinados. Um estudo sobre seguidores solares, demonstrando as formas de atuação para captação de energia Solar, e os sistemas de controle de posicionamento de tais seguidores, que inclusive impulsionou na escolha do algoritmo do projeto em dois eixos e do circuito eletrônico que atendeu de forma eficiente os propósitos almejados. Ao decorrer do trabalho será apresentada a construção do sistema, fazendo todo um levantamento teórico dos componentes utilizados, levando em consideração baixo custo e eficiência em sua aplicação, será explicado o funcionamento de cada circuito eletrônico e sua aplicação. Por fim, realizar um levantamento de dados sobre o comportamento do sistema fixo e móvel, para o levantamento destas medidas utilizou um *software* que em conjunto com um arduino puderam fazer a leitura da tensão de saída do painel, considerando as duas hipóteses já citadas, e também considerando o mesmo horário, porém dias diferentes para medição.

Palavras-chave: Seguidor solar; Eficiência em painéis fotovoltaicos; Eficiência energética automatizada.

ABSTRACT

This paper presents the construction of a prototype microcontroller with two tilting axes for positioning of photovoltaic panels, in order to minimize the solar incidence angle, charge this directly by solar radiation incident on the panel. a study on the position of the sun at different times of the year, which due to its location directly influence the direct beam of sunlight on inclined planes will be displayed. A study of solar followers, demonstrating the ways of acting for solar energy capture, and motion control systems such followers, who also drove in choosing the design of the algorithm in two axes and electronic circuit that met Efficiently desired purposes. In the course of the work the system construction will be presented, doing a theoretical survey of the components used, taking into consideration cost and efficiency in its application, the operation of each electronic circuit and its application will be explained. Finally, carry out a data collection on fixed and mobile system behavior for the removal of these measurements utilized a software together with a Arduino could make the reading of panel output voltage, considering the two situations already mentioned, and also considering the same time, however different days for measurement.

Keywords: Solar tracker; Efficiency photovoltaic panels; Automated energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de potência global em (W/m^2).....	19
Figura 2: Eixos imaginários da Terra.....	20
Figura 3: Movimento de translação da terra.....	21
Figura 4: Ângulos representando a posição do Sol em uma superfície horizontal.	22
Figura 5: Ângulos formados pelos raios solares em uma superfície inclinada.....	22
Figura 6: Funcionamento de uma célula fotovoltaica.	25
Figura 7: Seguidor Solar Passivo.....	27
Figura 8: Comparação de energia produzida por vários tipos de seguidores.	28
Figura 9: Seguidor de eixo polar.	29
Figura 10: Seguidor de eixo horizontal.	29
Figura 11: Seguidor de eixo Vertical ou de Azimute.....	30
Figura 12: Seguidor solar de dois eixos.....	31
Figura 13: Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos.....	32
Figura 14: Fluxograma de um sistema de rastreamento solar.....	33
Figura 15: Microcontrolador PIC 16f877A.	37
Figura 16: Diagrama de programação dos microcontroladores.....	39
Figura 17: Resistor dependente de luz (LDR).	39
Figura 18: Curva de resposta de um LDR.....	40
Figura 19: Motor unipolar de passo inteiro, e motor bipolar de passo inteiro respectivamente.	42
Figura 20: Motor unipolar de meio passo e motor bipolar de meio passo respectivamente.	42
Figura 21: Engrenagem cilíndrica de dentes retos trabalhando de forma conjugada.	43
Figura 22: Parte mecânica do protótipo.....	47
Figura 23: Sistema embarcado simulado no Proteus.....	50
Figura 24: Ambiente de programação do software microC PRO for PIC.	50
Figura 25: Circuito responsável pela alimentação dos sensores e do microcontrolador.	51
Figura 26: Circuito impresso de alimentação.....	52
Figura 27: Sensor de captura de luminosidade.....	53
Figura 28: Disposição dos sensores e barreira de separação a direita.....	53
Figura 29: Placa do microcontrolador no Proteus.....	55

Figura 30: Placa de circuito impresso do PIC.....	55
Figura 31: Transistor Darlington TIP 122 NPN internamente.....	56
Figura 32: Polarização do transistor.....	57
Figura 33: Driver de alimentação dos motores no software Proteus.	58
Figura 34: Circuito impresso da placa de driver do motor.	58
Figura 35: Fluxograma da programação do microcontrolador.	60
Figura 36: Arranjo de um divisor de tensão para 20 volts.....	61
Figura 37: Modo de captura de dados do sistema.....	62
Figura 38: Medição da tensão do sistema em movimento entre 8:00 e 10:30 da manhã do dia 21/05/2016.....	63
Figura 39: Medição da tensão do sistema parado entre 8:00 e 10:30 da manhã do dia 23/05/2016.....	63
Figura 40: Medição da tensão do sistema em movimento entre 12:00 e 14:30 da tarde do dia 21/05/2016.....	64
Figura 41: Medição da tensão do sistema parado entre 12:00 e 14:30 da tarde do dia 23/05/2016.....	64
Figura 42: Medição da tensão do sistema em movimento entre 15:00 e 17:30 da tarde do dia 21/05/2016.....	65
Figura 43: Medição da tensão do sistema parado entre 15:00 e 17:30 da tarde do dia 23/05/2016.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Característica do painel solar e do motor de passo.....	49
Tabela 2: Características das engrenagens e da estrutura.....	50
Tabela 3: Características dos transistores utilizados.....	5

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Problema de pesquisa.....	14
1.2. Questão de pesquisa	15
1.3. Hipótese	15
1.4. Objetivo geral.....	15
1.5. Objetivos específicos	15
1.6. Justificativa.....	16
2. ESTADO DA ARTE	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Energia solar fotovoltaica	18
2.2 Radiação solar.....	18
2.3 Geometria Sol - Terra.....	20
2.3.1 Ângulos da geometria solar	21
2.4 Painéis fotovoltaicos.....	23
2.5 Seguidor solar.....	25
2.5.1 Rendimentos através de seguidores solares	25
2.5.2 Seguidores solares passivos	26
2.5.3 Seguidores solares ativos	27
2.5.3.1 Seguidor polar de eixo único	28
2.5.3.2. Seguidor de eixo horizontal	29
2.5.3.3. Seguidor de eixo vertical ou de azimute.....	30
2.5.3.4. Seguidor de dois eixos	30
2.5.3.5. Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos	31
2.6 Sistemas de controle para seguidores solares	32
2.7 Microcontroladores PIC.....	34
2.7.1 Microcontrolador PIC 16F877A	35

2.7.2 Diagrama de programação do PIC 16F877A.....	38
2.8 Resistor dependente de luz (LDR).....	39
2.9 Controlador de carga.....	40
2.11 Motor de passo.....	41
2.12 Engrenagens	43
3 METODOLOGIA.....	44
3.1 Tipo de pesquisa quanto a natureza.....	44
3.2 Tipo de pesquisa quanto aos objetivos fins.....	45
3.3 Tipo de pesquisa quanto a abordagem.....	45
3.4 Tipo de pesquisa quanto aos meios e procedimentos técnicos.....	45
3.5 Etapas das pesquisas	46
4 DESENVOLVIMENTO.....	46
4.1 Protótipo do seguidor solar de dois eixos	46
4.2 Sistema embarcado simulado no Proteus	48
4.3 Alimentação do sistema.....	51
4.4 Sensores utilizados.....	52
4.5 Sistema microcontrolado	54
4.5 Driver de saída para os motores	56
4.6 Programação do sistema.....	59
4.7 Sistema para captura de resultados	60
5 RESULTADOS.....	62
6. CONCLUSÃO	66
6.1 Trabalhos Futuros.....	67
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
Apêndice A.....	71
Apêndice B.....	72
Apêndice C.....	77
Apêndice D	79

1. INTRODUÇÃO

Este estudo analisará a eficiência correlacionada com o ângulo de maior incidência de radiação solar em painéis fotovoltaicos. Primeiramente fazendo uma revisão teórica acerca do assunto para a partir desta definir os parâmetros a serem utilizados para atender o objetivo proposto, ou seja, a busca de maior intensidade luminosa incidente sobre o painel, para que este aumente sua eficiência energética.

Com a crescente demanda por utilização de energias renováveis por parte dos consumidores finais, as tecnologias empregadas e a mão de obra especializada têm evoluído continuamente, e tornando mais viável do ponto de vista financeiro a aquisição de recursos alternativos de geração de energia.

Segundo o ministério de minas e energias (MME, 2016) o Brasil apresenta situação privilegiada em termos de utilização de fontes renováveis de energia. No país 43,9% da oferta interna de Energia (OIE) é renovável, enquanto a média mundial é de 14%. A OIE, também denominada de matriz energética, representa toda a energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos do país.

O conceito de eficiência energética segundo (OLIVEIRA, 2010), é a atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia, ou seja, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Assim sendo muitas empresas do setor energético têm feito aquisição de formas alternativas de geração de energia elétrica, como as contidas na movimentação das marés, nos ventos ou na luz solar de forma a aproveitar a energia proveniente de fontes limpas, renováveis e de baixo impacto ambiental ou social, quando comparadas à queima de combustíveis fósseis ou ao alagamento necessário para a instalação de usinas hidrelétricas.

O presente trabalho demonstrará que o uso eficiente de energias alternativas, mais precisamente a energia solar fotovoltaica poderá ser feita, a partir do emprego da tecnologia disponível atualmente, em conjunto com os dispositivos necessários para geração de energia elétrica.

1.1 Problema de pesquisa

Atualmente no que diz respeito ao uso de energias renováveis o aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano (CRESESB, 2014).

O alto custo da implantação de painéis fotovoltaicos ainda é nos dias atuais o maior impedimento para que essa tecnologia possa ser realmente difundida no cotidiano dos brasileiros. Assim, é de extrema importância desenvolver novas tecnologias para reduzir os custos e aumentar a eficiência de todos os processos que envolvam sua utilização (CAROLINA, 2013). A partir da premissa do primeiro parágrafo e a questão do alto custo de implementação de sistemas mais eficientes, várias tecnologias vêm sendo desenvolvidas para que integre de forma conjunta a eficiência e baixo custo de implantação.

Atualmente, com o aumento da demanda por fontes renováveis de energia elétrica e com a grande necessidade de se preservar o meio ambiente, órgãos governamentais e não governamentais estão intensificando os incentivos a projetos que promovam meios de melhorar a geração e o consumo de energia elétrica.

Neste trabalho, buscou-se desenvolver um sistema que fosse capaz de gerar energia elétrica de um modo mais eficiente, utilizando como fonte geradora um painel solar fotovoltaico. A ideia é que esse painel converta a radiação solar o máximo possível em energia elétrica, trazendo benefícios e rendimentos para o consumidor final.

1.2. Questão de pesquisa

É possível aumentar a eficiência de painéis fotovoltaicos utilizando um sistema eletrônico, que fará o painel solar acompanhar a variação do sol ao longo do dia?

.

1.3. Hipótese

Através de um sistema embarcado é possível corrigir o posicionamento de um painel solar fotovoltaico, com o intuito de aumentar sua eficiência energética. Através de sensores para captar a correta posição do Sol, e enviar a informação para o microcontrolador que fará o processamento e a tomada de decisões, acionando assim o mecanismo de correção do posicionamento do painel.

1.4. Objetivo geral

Construir um sistema de captação de energia solar que ajuste o posicionamento das placas solares de forma automatizada visando a máxima eficiência energética.

1.5. Objetivos específicos

- Realizar um estudo sobre o posicionamento do sol ao longo do ano levando em consideração as estações do ano e a importância de se explorar o ângulo de maior incidência em sistemas fotovoltaicos.
- Apresentar alguns modelos de seguidores solares, descrevendo o modo de operação, seus sistemas de *software* e *hardware*, que auxiliou na escolha do projeto final deste trabalho.
- Desenvolver *hardware*, *software* e a parte mecânica, para implementar o sistema de seguidor solar na prática.

- Realizar testes em campo, mais precisamente na cidade de Vitória da Conquista na Bahia, levando em consideração as condições climáticas adequadas, ou seja, dias com intensidade solar elevada.
- Apresentar resultados gráficos colhidos através de *software*, analisando o sistema em movimento por um período de 10 horas em intervalos definidos, onde o movimento do Sol torna-se aparente, e com o sistema estático por igual período.

1.6. Justificativa

Observa-se nos dias atuais que as questões relacionadas com o uso eficiente dos recursos naturais como o Sol, vêm se tornando cada vez mais difundida no cotidiano da população, com os avanços tecnológicos ocorridos nos últimos 20 anos é possível usar tais recursos de uma maneira mais eficiente.

Energia elétrica é quase que indispensável para a sobrevivência humana, a indústria não seria a mesma que é se não fosse a eletricidade, os meios de comunicação não teriam evoluído tanto, o conforto residencial não seria o mesmo, o avanço tecnológico e vários outros segmentos importantes da sociedade moderna tiveram como alavanque principal a eletricidade.

Por se tratar de um tema muito importante e difundido no dia-a-dia, tratá-lo de maneira adequada e que vise a geração, distribuição e o uso de maneira eficiente é de extrema importância.

2. ESTADO DA ARTE

Segundo (PAIVA, 2012), em seu artigo ele propôs o desenvolvimento de um sistema seguidor solar de um único eixo (Leste – Oeste), com estudos realizados pelo próprio autor, outros seguidores de um único eixo foram capazes de aumentar a eficiência dos painéis em 35%. Ao fim do estudo ele concluiu que o sistema construído foi capaz de regular a posição do painel fotovoltaico de acordo com a posição instantânea do Sol, porém as medições feitas por ele não foram capazes de chegar a uma conclusão exata, em níveis de porcentagem do aumento de eficiência por parte do painel com o uso do sistema microcontrolado.

Segundo (CORTEZ, 2013), em seu artigo, uma empresa com negócios nas áreas de energias renováveis o fez realizar um estudo sobre seguidores solares, mais precisamente o comercializado pela empresa, que utilizava para leitura do posicionamento do sol um calendário astronômico, e queria ver possíveis alternativas para substituir o comercializado pela empresa. O autor concluiu que o uso de sensores para captação da posição do sol tornou o sistema mais eficiente, aumentando cerca de 10% em relação ao anterior empregado pela empresa.

Tomazoni et al. (2013), desenvolveu um sistema de seguidor solar alfa de baixo custo, que apresenta movimentação através de um eixo central em conjunto com uma junta homocinética, motores e barras roscadas. O controle de movimento é feito por programação em “C”, através da interface arduino UNO. Os autores não concluíram a análise de eficiência do painel com o projeto, porém constatou-se que o funcionamento do seguidor atendeu os objetivos de seguimento solar.

Bôas e Mota (2011), realizaram um trabalho para medir a influência do ângulo de incidência solar na geração fotovoltaica, para os testes eles utilizaram um protótipo composto basicamente de um painel solar apoiado sobre uma base giratória e uma ferramenta para leitura de tensão elétrica gerada pelo painel. Após os ensaios concluíram que o ângulo de incidência solar tem um baixo grau de influência na geração fotovoltaica, tornando o sistema inviável financeiramente, para microgeração solar.

Segundo (OLIVEIRA, 2008), em seu artigo propôs uma análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal (eixo vertical móvel) em comparação com sistemas fixos, através de análises em laboratório foram possíveis levantar dados como corrente fotogerada, irradiância, radiação global e temperatura dos módulos, para ambos os sistemas. Ao término da análise concluiu que o ganho energético com a utilização do seguidor chegou a 24% em relação ao fixo.

Através da crescente tecnologia é possível aumentar a eficiência de sistemas remotos de captação de energias limpas, com o intuito de gerar mais energia de forma mais inteligente, que gere menos degradação ao meio ambiente e que logo vise a diminuição dos custos de implementação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Energia solar fotovoltaica

É a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, responsável por essa conversão, dispositivo este feito de material semicondutor, fundamental para o processo de conversão (Cressesb, 2014).

A eletricidade solar fotovoltaica é considerada uma tecnologia energética promissora. As células solares convertem diretamente a energia solar – a mais abundante fonte de energia renovável – em eletricidade. O processo de geração, executado por dispositivos semicondutores, não têm partes móveis, não produz cinzas nem outros resíduos e, por não liberar calor residual, não altera o equilíbrio da biosfera. Como não envolve queima de combustíveis, evita por completo o efeito estufa. (BRAGA, 2008, P. 4)

Gazoli et al. (2012) afirma que os sistemas de autoprodução de eletricidade com energia fotovoltaica são muito vantajosos diante da inflação das tarifas de eletricidade. O consumidor final, utilizando tal recurso fica imune aos aumentos do preço da energia, e garante o abastecimento de eletricidade por pelo menos 25 anos, que é o tempo mínimo de vida de um sistema fotovoltaico.

A energia solar fotovoltaica com tantos benefícios a ela atrelada vêm crescendo continuamente na aquisição de novos consumidores, tendo em vista o retorno de investimento, a depender do local onde vai se empregar, este tipo de tecnologia torna-se uma forma de economizar recursos financeiros, e ainda produzir energia limpa, que não agrida o meio ambiente.

2.2 Radiação solar

Segundo (CRESSESSEB, 2014) o fluxo energético proveniente da radiação solar (irradiância solar), quando medida num plano perpendicular à direção de propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre recebe o nome de constante solar e corresponde ao valor de 1.367 W/m^2 . Considerando que o raio médio da Terra é 6.371 Km , e considerando o valor da irradiância

incidindo sobre a área projetada da Terra, conclui-se que a potência total disponibilizada pelo Sol à Terra, no topo da atmosfera, é de aproximadamente 174 mil TW (TeraWatts).

Trenberth et al. (2009) concluiu através de observações periódicas, e atualizaram o diagrama de fluxo de potência global, com base em medições de março de 2000 a novembro de 2005. Através do diagrama que 54% da irradiância solar que incide no topo da atmosfera, 7% é refletida e 47% absorvida pela superfície terrestre (os 46% restantes são absorvidos ou refletidos diretamente pela atmosfera) conforme mostra a Figura 1.

Figura 1: Fluxo de potência global em (W/m²)



Fonte: Trenberth et al., 2009

Através desta análise pode-se fazer um comparativo entre a potência emitida pelo Sol e a potência consumida pela Terra, ou seja, o Sol emite cerca de 94 mil TW a superfície terrestre.

O consumo mundial de energia primária no ano de 2011 foi cerca de 143 mil TWh segundo (Cressesb, 2014). Então no intervalo de duas horas a quantidade de energia solar recebida na superfície terrestre, se multiplicarmos por 94 mil TW em um intervalo de duas horas, iremos obter um resultado de 188 mil TWh (superior ao consumo energético anual da humanidade).

Como os sistemas fotovoltaicos utilizam das radiações solares para conversão em energia elétrica é extremamente importante que as mesmas

estejam sendo emitidas de forma direta, ou seja, aquela proveniente da direção do Sol e produz sombras nítidas.

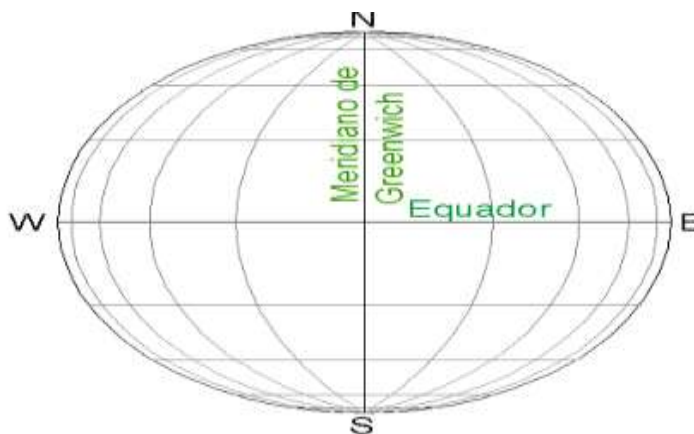
2.3 Geometria Sol - Terra

O conhecimento prévio sobre o posicionamento e movimentação solar em relação a terra, ou de maneira mais específica, em relação a uma superfície coletora é de extrema importância, tanto para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos fixos, quanto para sistemas seguidores.

Dentre vários movimentos da terra, destacam-se o movimento de rotação e translação. A rotação é o movimento da terra em torno do seu próprio eixo que dura, aproximadamente, 24 horas, ou seja, um dia. Já o movimento de translação é o realizado em torno do sol, que dura em torno de 365 dias, um ano. (Faricelli, 2008, p.12)

A Terra possui dois eixos imaginários que atravessam sua superfície, o primeiro vai do Norte para Sul também conhecido como meridiano de Greenwich, e o segundo vai do Leste para o Oeste também conhecido por linha do Equador, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Eixos imaginários da Terra

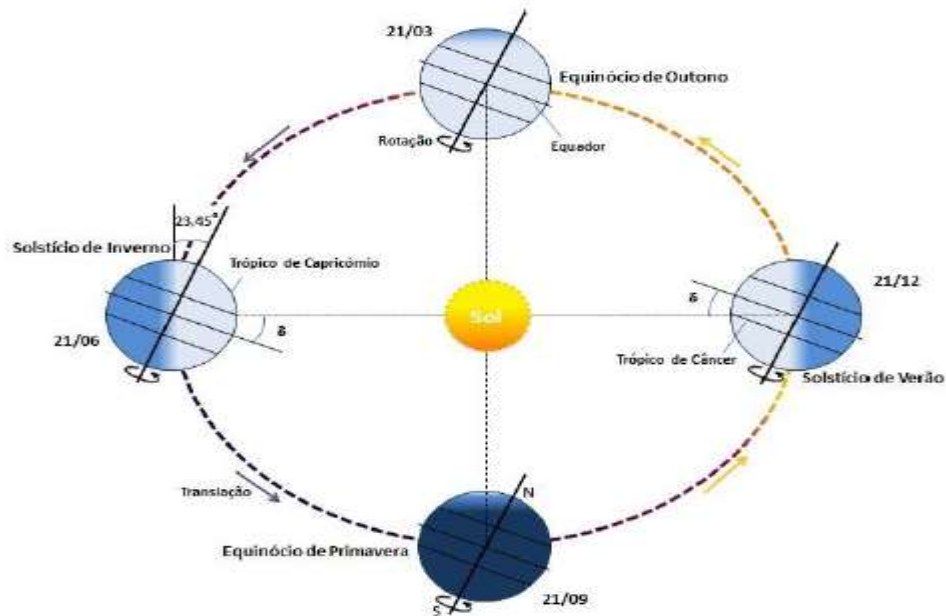


Fonte: geoden.uff.br/index.php/menu-vertical2/38. Acessado em: 17 de maio de 2016

O seu movimento de translação segundo (Cressesb, 2014) é o responsável por dar origem as estações do ano, isso levando em conta a trajetória elíptica, e a declinação de seu eixo em relação ao plano normal, que chega a 23,45°. Na

Figura 3 pode-se ver o ângulo de latitude (δ) formado pelos raios solares incidentes na Terra, com a linha do equador, na mesma figura é possível ver o ângulo de declinação, formado pelo meridiano de Greenwich e a linha da trajetória da Terra.

Figura 3: Movimento de translação da terra.



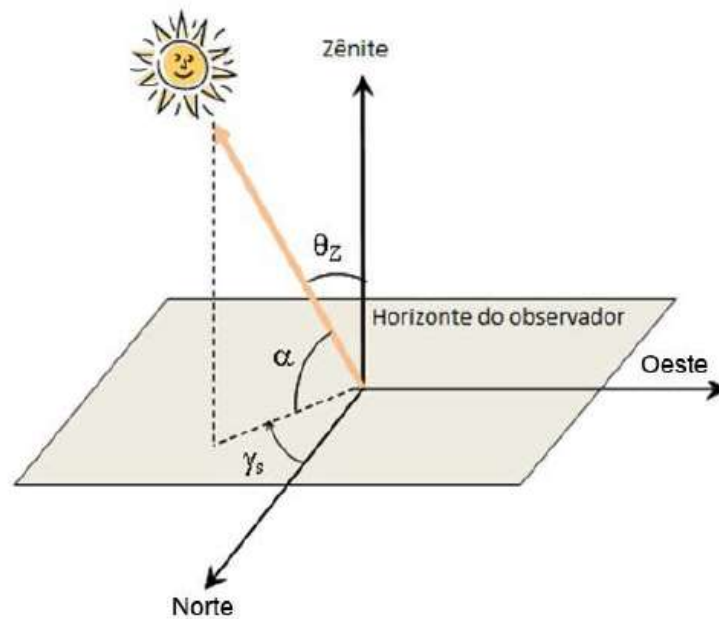
Fonte: Cressesb, 2014

2.3.1 Ângulos da geometria solar

Vários ângulos podem descrever as relações geométricas entre os raios solares, que variam conforme o movimento aparente do Sol na superfície terrestre.

Segundo (CRESESSEB, 2014), os principais ângulos são formados em duas superfícies diferentes, uma é a projeção dos raios solares em uma superfície horizontal, vista na figura 4, e outra em uma superfície inclinada, vista na Figura 5.

Figura 4: Ângulos representando a posição do Sol em uma superfície horizontal.

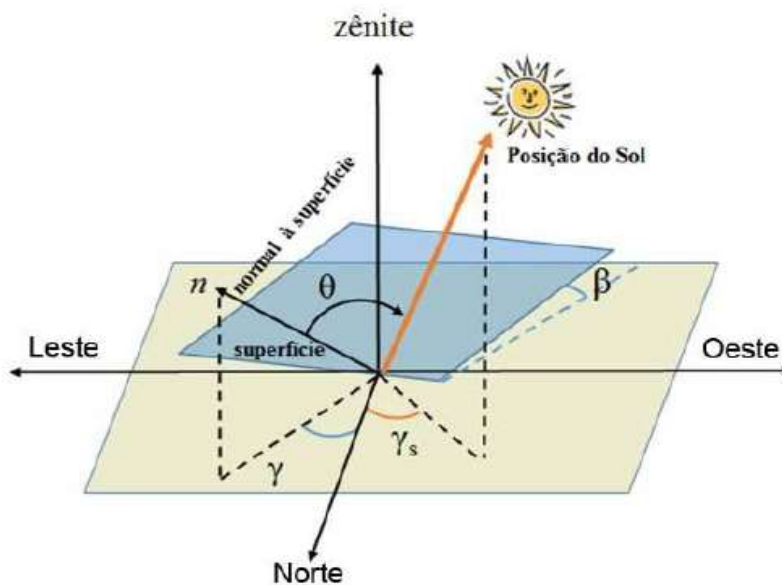


Fonte: Cressesb, 2014.

Os ângulos mostrados na figura correspondem:

- θ_z – Ângulo zenital, formado entre os raios do Sol e a vertical local (Zênite)
- α – Altura ou elevação, é a medida entre o horizonte e a posição do Sol acima do horizonte
- γ_s – Ângulo azimutal, entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte – Sul.

Figura 5: Ângulos formados pelos raios solares em uma superfície inclinada.



Fonte: Cressesb, 2014.

Os ângulos agora formados são:

γ – Azimutal da superfície, projeção da normal a superfície no plano horizontal e a direção Norte – Sul.

β – Inclinação da superfície de captação, entre o plano da superfície em questão e o plano horizontal.

θ – Ângulo de incidência, formado entre os raios do Sol e a normal da superfície de captação.

De acordo com Cresseb (2014, p.70), “o termo radiação solar é usado de forma genérica e pode ser referenciado em termos de fluxo de potência, quando é especificamente denominado de irradiação solar”. A importância dos ângulos formados pela irradiação útil (B_U) no painel é descrita pela seguinte equação:

$$B_U = G \times \text{COS}(\theta)$$

Onde:

G = Irradiância global de um PV [W/m^2].

θ = Ângulo de incidência [$^\circ$]

Note que se o ângulo de incidência θ estiver o mais próximo de zero, a irradiação captada pelo painel fotovoltaico será maior, pela propriedade do cosseno, assim sendo a irradiação útil estará chegando com mais eficiência.

2.4 Painéis fotovoltaicos

Painéis ou módulos solares fotovoltaicos são dispositivos utilizados para converter a energia da luz do sol em energia elétrica. Compostos por células solares, designadas assim por ter a propriedade física de captar, em geral, a luz do Sol. Com capacidade de criar um potencial elétrico por ação da luz (seja Sol ou não). As células solares contam com o efeito fotovoltaico para absorver a energia do Sol e fazer com que flua uma corrente elétrica entre duas camadas com cargas opostas. (LANDIN et al.,2010)

Conforme José (2012), células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, que são materiais capazes de reagir à exposição da luz pelo efeito

fotovoltaico. 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 as características de sua composição química (OLIVEIRA, 2012).

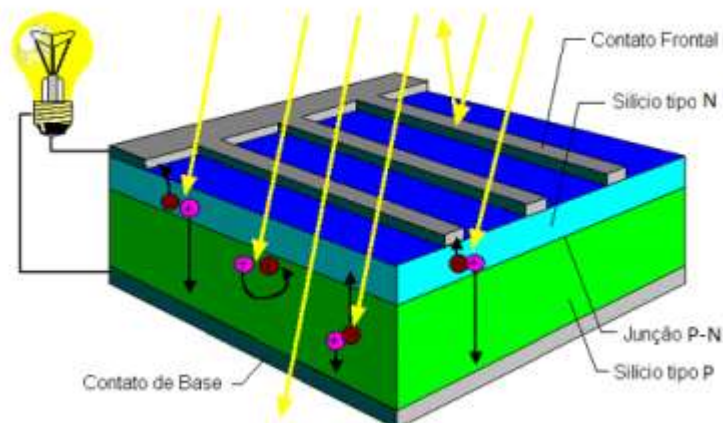
Segundo (PAIVA, 2012) o cristal de silício puro não é um bom condutor de energia elétrica, pois possui em sua composição elétrons livres. Para tornar o silício um material capaz de reagir aos efeitos da luz, um processo denominado de dopagem é realizado com a utilização de um outro material que é o fósforo. A partir da dopagem tem-se então um material de silício negativamente carregado, que será chamado de silício do tipo N.

Ainda segundo (PAIVA, 2012), 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.

Por fim Paiva (2012) descreve que a construção de uma célula fotovoltaica, uma camada fina de silício do tipo N é disposta sobre uma camada mais espessa de silício do tipo P. Devido as características inversas dos materiais, os elétrons do material do tipo N passam a ocupar a estrutura do material do tipo P, tendendo a uma neutralização de ambos os materiais e formando um campo elétrico de 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 6 como Contato frontal e Contato Base) até sistemas que irão armazenar ou consumir esta energia gerada (NASCIMENTO, 2004).

Figura 6: Funcionamento de uma célula fotovoltaica.



Fonte: NASCIMENTO, 2004.

2.5 Seguidor solar

Seguidor solar é um dispositivo capaz de detectar e ajustar o ângulo de um painel fotovoltaico de tal forma que sempre sua superfície esteja voltada para o Sol, com isso ele permite aumentar a incidência de raios solares perpendiculares à superfície dos painéis (JOSÉ, 2012). Com este ajuste os raios solares irão incidir paralelamente a superfície dos painéis fazendo com que o ângulo de incidência (θ) fique o mais próximo possível de 0° , consequentemente determinando que o sistema trabalhe em máxima potência.

2.5.1 Rendimentos através de seguidores solares

Os custos advindos de um sistema de seguimento, quando se leva em conta o valor do projeto de um sistema fotovoltaico é de um incremento de 20% desse valor, mas é necessário ter em mente que em um sistema deste tipo pode vir a aumentar as receitas geradas em cerca de 40% (RENEWABLE ENERGY SOURCES, 2009).

A luz solar possui dois componentes, o feixe direto que transporta cerca de 90% da energia solar, e a da luz difusa que transporta os 10% restantes. A

parte difusa é o céu azul em um dia claro e aumenta a proporção em dias nublados (PAIVA, 2012).

Como visto na seção 2.3.1 a importância de o ângulo de incidência estar próximo de 0° é fundamental para que a incidência dos feixes diretos sobre o painel aumente, conforme o ângulo aumenta, o efeito fotovoltaico é diminuído. Paiva (2012), afirma que 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 feixes diretos sobre o painel, e 100% dos raios difusos. (PAIVA, 2012, p.15)

Um estudo realizado por David Cooke no ano de 2011 (apud PAIVA, 2014, p.15) constatou que apesar de o Sol ser visível durante um período de $\frac{1}{2}$ dia em um ângulo de 180° , os efeitos da superfície terrestre minimizam este ângulo de visão em 150° . Um painel com orientação fixa vai ter 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. 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.

Existem diversos tipos de seguidores solares, estes variam de custo, complexidade e funções, podendo fazer o seguimento através de vários eixos e garantir diferentes níveis de precisão. Dentre eles podemos destacar os dois principais:

- Seguidor Solar Passivo
- Seguidor Solar Ativo

2.5.2 Seguidores solares passivos

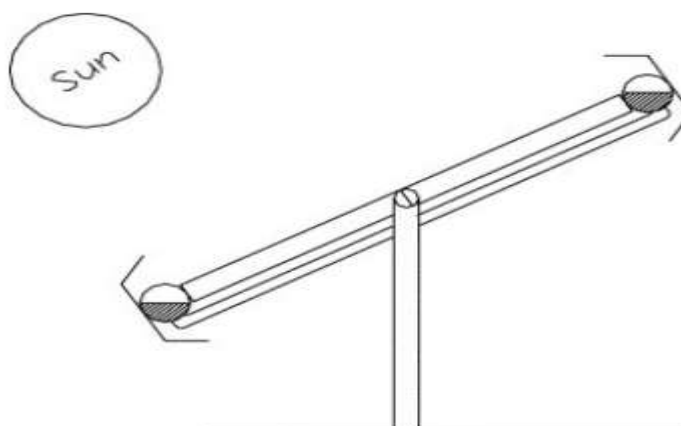
Cardoso et al. (2014) define que seguidor solar passivo é uma solução de seguimento solar de baixo custo e manutenção reduzida, com tecnologia acessível a todos, ideais para aplicações de energia solar em zonas remotas.

De acordo com José:

Este tipo de seguidor é baseado na expansão térmica de um líquido do tipo Freon. Este tipo de gás aumenta de volume quando sujeito ao aumento de temperatura, o gás ao expandir vai provocar o movimento dos painéis solares de uma forma já definida no sentido de os apontar para o sol. O gás é colocado em tubos, um de cada lado do painel, ao aquecer o gás vai passar para o estado gasoso e condensar no tubo do lado oposto, provocando o movimento. O problema deste tipo de seguidor é o fato de ter baixa precisão e só ser aplicável em locais que sofram uma variação térmica suficiente para provocar a expansão do gás. A vantagem é o fato de ser muito simples e de não usar motores para o movimento.(2013, p.16)

Na Figura 7 pode ser visto um exemplo deste tipo de seguidor.

Figura 7: Seguidor Solar Passivo.



Fonte: JOSÉ, 2013.

2.5.3 Seguidores solares ativos

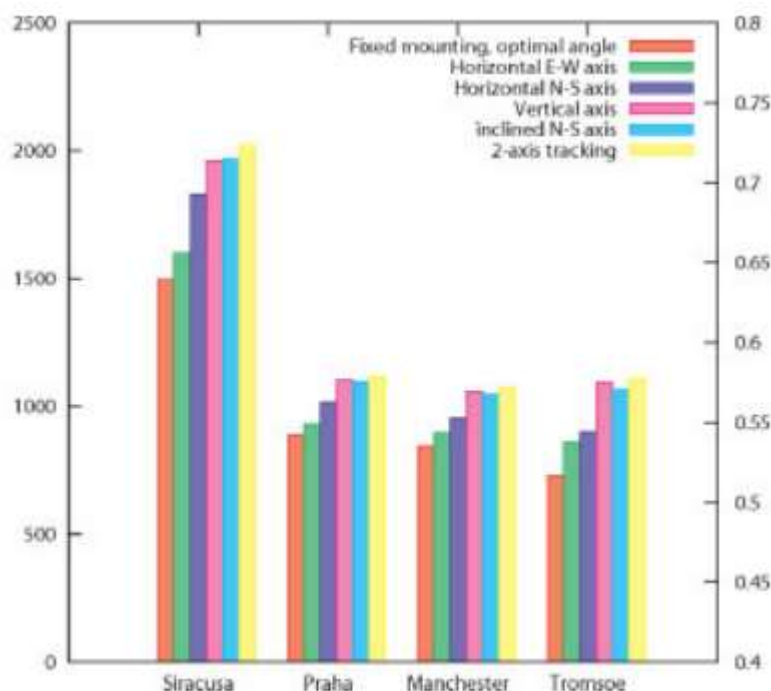
São seguidores que podem fazer o seguimento por diversos métodos, podendo utilizar sensores ou algoritmos cronológicos do movimento do sol, ou até mesmo as duas formas trabalhando em conjunto para obter uma maior precisão, sendo responsáveis por fazer o seguimento do sol de forma ativa ao fazer atuar algum tipo de motor. A característica do movimento de seu eixo pode determinar sua classificação da seguinte forma (JOSÉ, 2013):

- Seguidor polar de eixo único

- Seguidor de eixo horizontal
- Seguidor de eixo vertical ou de azimute
- Seguidor de dois eixos
- Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos

A Figura 8 ilustra a comparação da energia produzida por diferentes tipos de seguidores em diferentes locais, no eixo y a esquerda está a medida da energia produzida em KW, e a direita a relação direta mundial.

Figura 8: Comparação de energia produzida por vários tipos de seguidores.

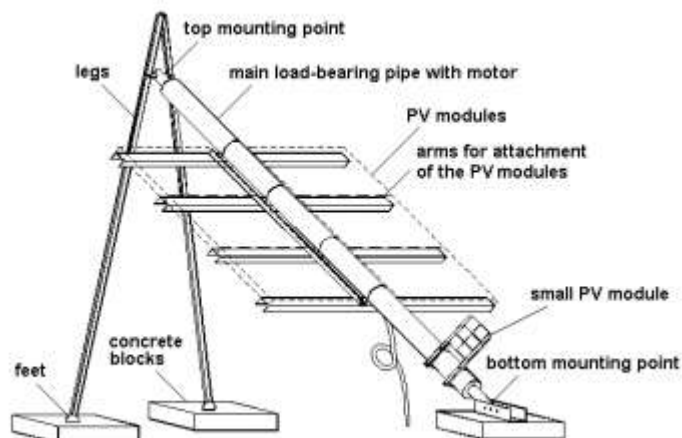


Fonte: JOSÉ, 2013.

2.5.3.1 Seguidor polar de eixo único

Na figura 9 pode-se ver este tipo de seguidor que tem um eixo N-S fixo em um ângulo determinado, normalmente a latitude do local. Este eixo vai ser o eixo principal de rotação para o seguidor. Ao adotar este eixo como o de rotação ele vai garantir que o painel vai estar perpendicular ao sol nos equinócios da Primavera e de Outono. Em qualquer outro dia um pequeno erro irá acontecer (JOSÉ, 2013).

Figura 9: Seguidor de eixo polar.



Fonte: JOSÉ,2013

2.5.3.2. Seguidor de eixo horizontal

Este seguidor tem um eixo horizontal que vai servir como pivô para os painéis, permitindo deste modo um seguimento sazonal do sol. São seguidores muito simples e de instalação muito económica e com pouca manutenção. A sua eficiência não é tão grande como a dos outros seguidores, porém são uma opção a considerar quando o objetivo é aumentar a eficiência total do sistema, visto que este sistema pode suportar um grande número de painéis (JOSÉ, 2013).

O sistema de eixo horizontal ao contrário de outros sistemas, não necessita de um sistema automático de seguimento, podendo antes funcionar através de uma série de posições fixas, determinadas anteriormente a instalação. Na Figura 10 pode-se ver um destes seguidores.

Figura 10: Seguidor de eixo horizontal.



Fonte: JOSE,2013.

2.5.3.3. Seguidor de eixo vertical ou de azimute

Neste tipo de seguidor o painel vai rodar sobre uma base fixa, ou seja, vai provocar uma variação do azimute ao longo do dia. É possível afirmar que um seguidor vertical vai colher menos 7% da radiação que um seguidor de dois eixos e mais 4% do que um seguidor polar (RENEWABLE ENERGY SOURCES, 2009).

A vantagem deste tipo de seguidor é o fato de ser muito robusto e fácil de implementar, em muitos casos esta vantagem compensa a menor radiação colhida, motivo pelo qual este tipo de seguidor é cada vez mais utilizado. Na figura 11 pode-se ver um destes seguidores.

Figura 11: Seguidor de eixo Vertical ou de Azimute.



Fonte: JOSÉ, 2013.

2.5.3.4. Seguidor de dois eixos

Segundo José (2103) este seguidor tem um poste vertical que vai permitir movimento segundo o eixo L-O e um poste horizontal que vai permitir movimento segundo o eixo N-S. A armação sobre a qual os painéis vão ser montados está presa ao poste que permite o movimento N-S. Com a movimentação nesses dois eixos a radiação direta incidente no painel é maximizada, garantindo assim que o ângulo de incidência fique o mais próximo do 0°. (OLIVEIRA, 2008).

Até hoje, são o tipo de seguidor mais comum, usado principalmente nos parques solares e em instalações de grandes dimensões. Alguns deles podem suportar uma área de colheita até 300 metros quadrados. A grande desvantagem

deste tipo de seguidor é o esforço a que estão sujeitos, principalmente devido ao seu peso e ao fato de que tem que ser bloqueados sempre que se registar muito vento. Em muitas aplicações, devido à complexidade mecânica que é necessária para este tipo de seguidor não se tornam competitivos quando comparados com um seguidor vertical (JOSÉ, 2013). A figura 12 pode-se ver um seguidor solar de dois eixos.

Figura 12: Seguidor solar de dois eixos.



FONTE: JOSÉ, 2013.

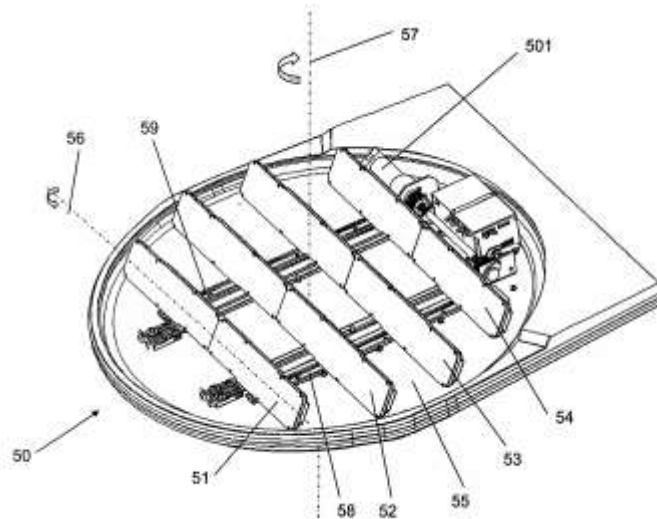
2.5.3.5. Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos

Este seguidor consiste de uma plataforma que vai rodar sobre uma base fixa e fazer o seguimento de L-O. Em cima dessa plataforma vão estar os painéis que por sua vez vão estar assentes em fileiras sobre um eixo horizontal que vai fazer o seguimento N-S (JOSÉ, 2013).

A desvantagem é o fato de ser necessária muita manutenção das partes móveis, remoção de obstáculos que possam surgir na área do seguidor e o mais importante é o fato de ser necessário uma grande área para esta configuração de seguidor, área essa que não vai estar disponível ao contrário do que acontece com os seguidores de dois eixos polares. Seguidores deste tipo tem uma estrutura metálica com uma serie de apoios fixos à terra que vai servir de suporte a uma roda circular, que vai ser a responsável pelo movimento da base. (JOSÉ, 2013, p.20)

Na Figura 13 pode-se ver este tipo de seguidor.

Figura 13: Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos.



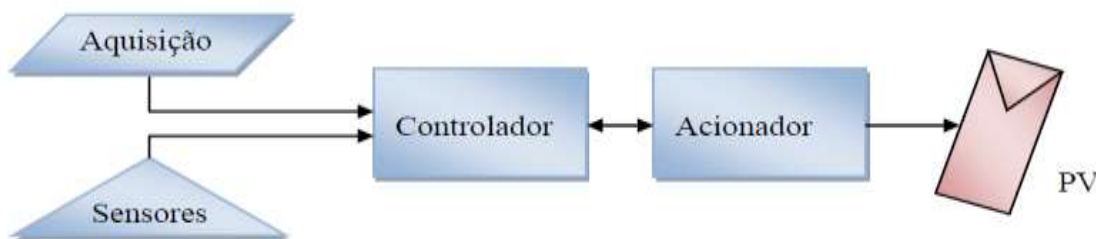
Fonte: JOSÉ, 2013.

2.6 Sistemas de controle para seguidores solares

Os seguidores podem usar como sensores dispositivos fotossensíveis que irão determinar a posição do Sol, para tal usam fotosensores como os LDRs, fotodiodos e fototransistores, também podem fazer o seguimento recorrendo ao uso de câmeras (JOSÉ,2013).

No ano de 2013 Cortez (apud ITANOR, 2014, p.26) definiu que existem vários tipos de controle para seguidores solares. Controle de malha aberta, com algoritmos de cálculo da posição do Sol, ou em malha fechada, utilizando sensores para leitura da posição do Sol, ou ainda sistemas de controle misto, que utiliza sensores e algoritmos. Alguns estágios devem ser levados em conta na hora de fazer o tipo de controle, na figura 14 é ilustrado uma configuração completa de um sistema de seguimento, por (RIBEIRO; PRADO; GONÇALVES. 2012).

Figura 14: Fluxograma de um sistema de rastreamento solar.



Fonte: Ribeiro et al. (2012, p. 3)

De acordo com Itanor:

Quando o controle se dá com o uso de sensores, geralmente se utiliza um sensor para cada eixo de seguimento. Os sensores usados normalmente são compostos por pelo menos um par de fotosensores, que produzem diferentes níveis de corrente quando não estão alinhados com o Sol. Entre esses sensores é utilizado um obstáculo, de forma que quando o Sol encontrar-se perpendicular a superfície dos sensores haverá igual incidência de radiação solar em cada um dos sensores, e caso contrário, o controlador irá promover a movimentação do mecanismo atuador, ou acionador, de forma que a incidência do Sol em cada sensor se torne igual. (ITANOR, 2013, p.27)

Os estágios ilustrados na Figura 14 correspondem segundo (RIBEIRO; PRADO; GONÇALVES, 2012):

- Aquisição: Fornecendo dados como latitude, longitude do local de instalação, coordenadas solares e hora solar para a inicialização e orientação do painel.
- Sensores: Fornece os sinais de controle, para efetuar o rastreamento independente das coordenadas solares e a hora.
- Acionador: Responsável por acionar os servomecanismos, motores, excitadores e atuadores.
- Controlador: Que atualmente é utilizado com microcontroladores, responsável por fazer a leitura dos sensores e efetuar a tomada de decisões para que o acionador atue.

2.7 Microcontroladores PIC

Segundo (BRAGA, 2016), muitos projetos eletrônicos elaborados até pouco tempo atrás, continham uma grande quantidade de componentes. Com a chegada dos microcontroladores esses componentes foram substituídos apenas por um chip. Esses chips possui a capacidade de fazer “tudo”, pois podem ser programados para isso. No entanto para o uso dos microcontroladores é preciso ter um conhecimento prévio de seu funcionamento, a sua forma de programação e os tipos que existem.

Para Trevisan:

Os microcontroladores são chips inteligentes, que tem um processador, pinos de entradas e saídas, e memória. Através da programação dos microcontroladores podemos controlar suas saídas, tendo como referência as entradas ou um programa interno. O que diferencia os diversos tipos de microcontroladores, são as quantidades de memória interna (programa e dados), velocidade de processamento, quantidade de pinos de entrada e saída (I/O), alimentação, periféricos, arquitetura e set de instruções. (2013, p.1)

O microcontrolador PIC é um circuito integrado fabricado pela Microchip Technology Inc., que pertence a categoria dos microcontroladores, ou seja, através de um único chip e encontrado todos os circuitos necessários para realizar um completo sistema digital programável.(TREVISAN, 2013)

A Microchip usa na construção dos microcontroladores PIC usa dois tipos de arquitetura nos seus chips, a RISC e a Harvard. RISC significa Reduced Instruction Set Computer (computador com conjunto de instruções reduzido). Neste tipo de arquitetura o microcontrolador faz tudo utilizando poucas instruções, com isso torna o processamento do microcontrolador muito rápido, pois cada instrução pode ser executada em apenas um ciclo de clock.(BRAGA, 2016)

Na arquitetura Harvard, tanto o programa como os dados podem ser armazenados em um mesmo local de memória, facilitando assim a operação dos circuitos de entrada e saída, porém utilizam barramentos diferentes, com circuitos de entrada e saída separados. (BRAGA. 2016)

Segundo Trevisan (2013), o microcontrolador PIC pode ser visto externamente como um circuito TTL (Transistor – Transistor Logic) ou CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor), porém internamente ele dispõe de todos os dispositivos típicos de um microprocessador, ou seja, uma CPU (Central Processor Unit) que têm por finalidade interpretar as instruções de programa, possui uma memória PROM (Programmable Read Only Memory) somente para leitura que irá memorizar de maneira permanente as instruções do programa, possui uma memória RAM (Random Acces Memory) utilizada para memorizar variáveis utilizadas pelo programa, uma serie de entradas e saídas I/O, que servem para controlar dispositivos externos ou receber sinais de sensores, além de uma série de dispositivos que auxiliam seu funcionamento como gerador de Clock, bus, contador, etc.

2.7.1 Microcontrolador PIC 16F877A

Segundo seu datasheet este modelo de microcontrolador desenvolvido pelo microchip possui 40 pinos, sendo que 7 destes 40 pinos são utilizados para alimentação e controle do mesmo.

O pino 1: suporta até três níveis de tensão. Quando este pino estiver recebendo 5V, o microcontrolador setará em condições de executar o programa. Quando este pino receber 0V (GND), o PIC será resetado. Quando este pino receber tensão de 13,4V, o PIC irá entrar em modo de gravação.

Pinos 11 e 32: Alimentação (máximo 5V).

Pinos 12 e 31: Referência GND.

Pinos 13 e 14: onde estará ligado o ressonador externo (cristal de clock).

Os demais pinos são entradas e saídas I/OS (inputs/outputs) e são agrupados em PORTs (portos), de no máximo 8 pinos cada (limitação pois o componente possui um núcleo de 8 bits).

Há um total de 33 I/Os disponíveis, que podem ser configuradas como entradas ou saídas em tempo de execução.

Quando um pino é configurado como ENTRADA, ele pode ser conectado a algum sensor para detectar sinais analógicos através de variação da tensão de 0 e 5V. quando um pino é configurado como saída, o programa poderá

aciona-lo, e com isso gerar uma corrente baixa (máx. 20 mA) com os níveis de tensão de 0V e 5V.

Alguns pinos, possuem outras funções além de serem entradas ou saídas digitais. Por exemplo os pinos 2 a 10 (exceto o pino 6) são entradas analógicas, e podem ser usadas para detectar uma variação de tensão entre 0V e 5V, transformando esta informação em um código binário de 10 bits. Os pinos 39 e 40 também são pinos usados na gravação do microcontrolador, e os pinos 25 e 26 são usados para comunicação serial padrão RS232. Os pinos 16 e 17 são pinos geradores de pulso (PWM), que é similar a uma saída analógica. Muito útil para controle de velocidade de motores por exemplo. O pino 6 é um pino usado para contagem rápida.

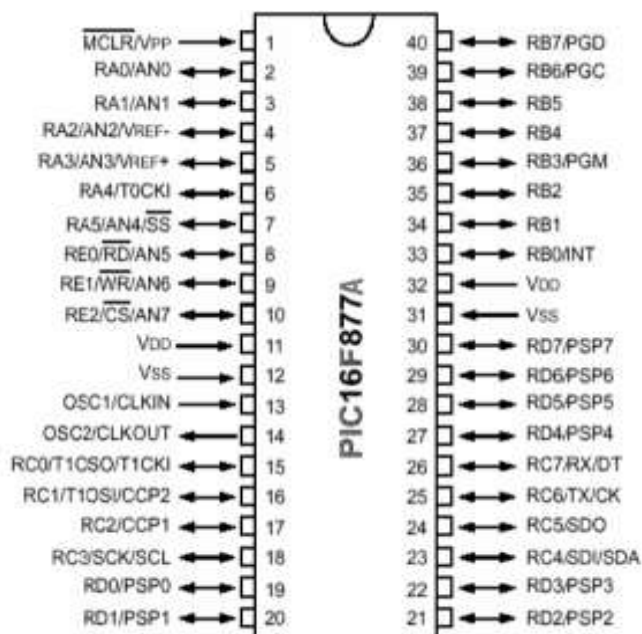
De acordo com seu datasheet o microcontrolador possui CPU RISC de alta performance, baseado em uma arquitetura Harvard modificada. Suas características mais significativas são:

- Opera com somente 35 instruções (ASSEMBLY);
- Operações com duração de um único ciclo, exceto pelas instruções de desvio que consomem dois ciclos de máquina. Cada ciclo equivale a 4 pulsos do circuito oscilador (clock);
- Operação em até 20 MHz (20 milhões de pulsos de clock por segundo = 5 milhões de ciclos de máquina por segundo = 200 ns por ciclo);
- 8 KWords de FlashROM (Word com 14 bits), suportando mais de 8 mil instruções em um programa;
- 368 Bytes de memória RAM;
- 256 Bytes de memória EEPROM (regravável via software e não volátil);
- Capacitado para interrupções com 14 fontes diferentes (timer, contagem, pulso externo, serial, etc.);
- Pilha física com 8 níveis de profundidade;
- Endereçamento direto, indireto e relativo;
- Power-on Reset, power-on timer, oscillator start-up timer;
- Watch-dog Timer baseado em oscilador RC interno para tratar um possível travamento de software;
- Opção para proteção de código executável (Ativando-a, não é mais possível se ler a memória, evitando a duplicação do código em outro microcontrolador);
- Modo SLEEP para poupar energia;

- Opções diferentes para circuito oscilador;
- Tecnologia CMOS FLASH/EEPROM de baixo consumo e alta velocidade, permitindo armazenamento não volátil na memória EEPROM interna em tempo de execução;
- Programação ICSP (recurso embutido de gravação) através de dois pinos, facilitando a gravação do microcontrolador;
- Capacidade opcional de gravação com tensão de 5V;
- Opção de depuração in-circuit através de dois pinos;
- Tensão de trabalho de 2 a 5.5V;
- Baixo consumo de energia (abaixo de 1mA);
- 3 timers (2 de 8 bits e 1 de 16 bits);
- 2 pinos para captura, comparação e módulos PWM;
- 8 canais analógicos para um AD de 10 bits;
- Porta serial síncrona com SPI (master) e I2C (master/slave);
- Porta serial universal (RS232 ou RS485) com buffer via hardware (2 bytes)
- Porta paralela escrava de 8 bits;
- Detector Brown-out;
- 33 pinos de entrada/saída configuráveis;

A Figura 15 mostra o microcontrolador utilizado na construção do projeto e a descrição detalhada da pinagem mesmo.

Figura 15: Microcontrolador PIC 16f877A.



2.7.2 Diagrama de programação do PIC 16F877A

Segundo (CORTELETTI; DANIEL, 2014) a programação do microcontrolador PIC 16F877A segue um padrão em 6 passos como visto a seguir:

Passo 1: Extração de requisitos – levantar as necessidades da automação junto ao cliente, aos usuários do equipamento e as demais pessoas envolvidas no processo de automação.

Passo 2: Modelo de software – é a planta baixa do programa. Define quais serão as estratégias de programação que serão utilizadas, para programas mais simples, recomendando-se a construção de um fluxograma ou de um modelo gráfico do programa. Para situações onde pode haver situações mais complexas, o modelo deve prever a quebra do problema em situações ou camadas mais simples, que podem ser implementadas separadamente.

Passo 3: Implementação – é a escrita do programa na linguagem de programação desejada (no caso, linguagem C). Deve-se observar também o compilador a ser utilizado, bem como as variações na sintaxe da linguagem de programação para a ferramenta escolhida.

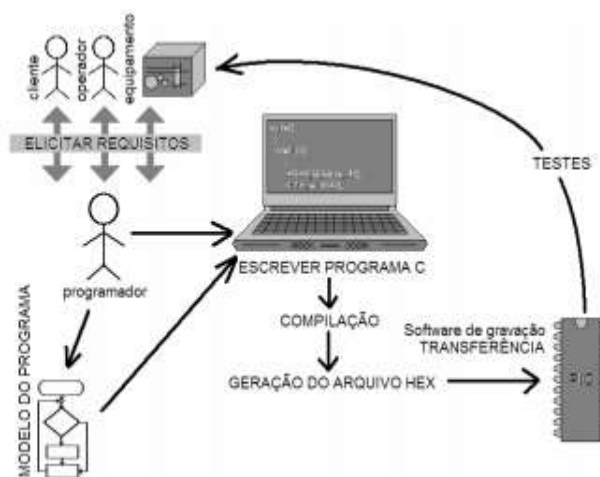
Passo 4: Compilação – Ocorre a tradução da linguagem de programação para a linguagem nativa do microcontrolador. Nesta etapa parte dos erros (principalmente erros de sintaxe) são detectados. Os erros de sintaxe são causados por erros de digitação ou uso incorreto de comandos.

Passo 5: Transferência – Através de um programa específico, os dados contidos no arquivo HEX gerado pelo compilador são transferidos para a memória ROM do microcontrolador.

Passo 6: Testes – Aqui são descobertos os erros de lógica que podem ser gerados por um erro de digitação (pontuação incorreta, comando inadequado, esquecimento de linhas, etc.). Esta etapa realimenta o processo, até que os testes efetuados garantam a qualidade do programa criado.

Abaixo na Figura 16 pode-se visualizar o diagrama de programação.

Figura 16: Diagrama de programação dos microcontroladores.



Fonte: <http://www.mecatronica.org.br/disciplinas/programacao/002/picpdf>. Acesso em 24/11/2015

2.8 Resistor dependente de luz (LDR)

O componente visto na Figura 17 trata-se de um LDR (Light Dependent Resistor), e têm sua superfície feita de um composto químico semiconductor chamado de sulfeto de cádmio. Este componente têm a propriedade de diminuir sua resistência quando a luminosidade ou fótons (as partículas de luz) aumentam. Já quando a luminosidade incidente sobre ele está baixa, a sua resistência é aumentada (BEZERRA, 2014).

Para ver a variação medida na prática, basta ter um multímetro caseiro. Conecte as pontas de prova nas duas pernas do LDR e coloque a chave seletora na escala Ohmica. Agora, com a luz do celular, ou uma lanterna, você pode-se observar a variação no visor do multímetro.

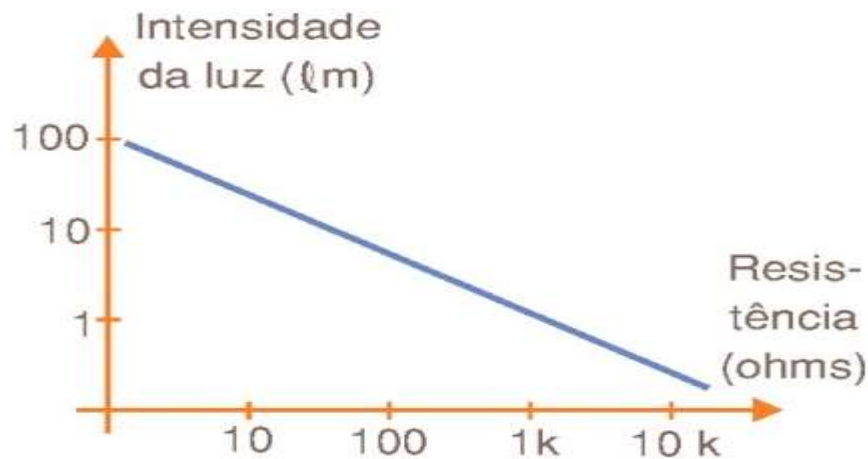
Figura 17: Resistor dependente de luz (LDR).



Fonte: PAIVA, 2012

A curva característica desse sensor mostra que a resistência aumenta enormemente à medida que a intensidade da luz incidente cai. Na figura 18 mostra o gráfico da relação de intensidade luminosa (Lumens) no eixo das ordenadas, e a resistência no eixo das abscissas.

Figura 18: Curva de resposta de um LDR.



Fonte: <http://www.sabereletronica.com.br/artigos-2/1532-Acesso> em 18 de maio de 2016.

Observando tais características pode-se perceber que quando a intensidade de luz incidente sobre a superfície do LDR aumenta, sua resistência vai diminuir de tal forma chegando há valores relativamente baixos, fazendo assim com que possa passar uma quantidade maior de corrente, podendo atuar como uma espécie de resistor variável controlado por luz.

2.9 Controlador de carga

Tratando-se de sistemas fotovoltaicos, toda energia gerada pelas células deve ser armazenada em uma bateria, para garantir que em momentos de baixa incidência de radiação solar, o fornecimento de energia seja garantido com qualidade.

Para o controle do circuito e aumentar a vida útil de tais baterias um componente essencial é utilizado. Esse circuito é o controlador de cargas.

Segundo (Phocos, 2012), um controlador de cargas permite que as baterias sejam carregadas por completo, e evita que sejam descarregadas abaixo de um valor que seria prejudicial ao sistema de armazenamento, além disso, garante que a tensão correta seja fornecida ao banco de baterias.

Os controladores de carga 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 (PAIVA,2012).

O funcionamento de um controlador de cargas dar-se pelas leituras de tensões das baterias para determinar seu estado de carga e controlar a intensidade de corrente que fluirá das células fotovoltaicas 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, 2015).

2.11 Motor de passo

Os motores de passo fazem parte de uma infinidade de aplicações, desde impressoras, equipamentos automotivos máquinas automatizadas, discos rígidos e uma infinidade de dispositivos que necessitam de um controle preciso de movimentos. (BEZERRA, 2014)

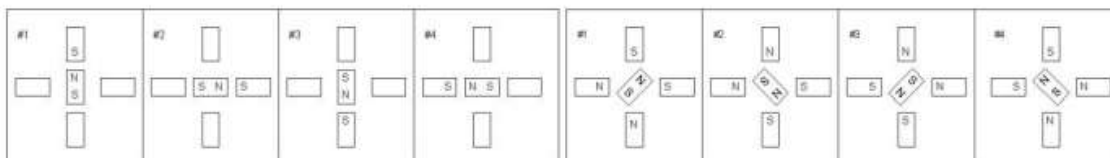
Os Motores de Passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais deste. A rotação de tais motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a sequência a qual tais pulsos são aplicados reflete diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados. (Gonçalves, Puga, 2008, p.1)

O funcionamento sucintamente falando de um motor de passo, é pelo uso de bobinas alinhadas em conjuntos de dois pares, quando energizadas o campo magnético das bobinas atrai o rotor fazendo com que o mesmo se alinhe com o eixo, resultando assim em uma pequena variação de ângulo, também denominado de passo. A velocidade e o sentido de movimento são determinados pela forma como cada bobina é ativada (GONCALVES, PUGA,2008).

O número de passos é dado pelo número de alinhamentos possíveis entre o rotor e as bobinas. Ou seja, utilizando um maior número de bobinas, aumenta o número de passos do motor.

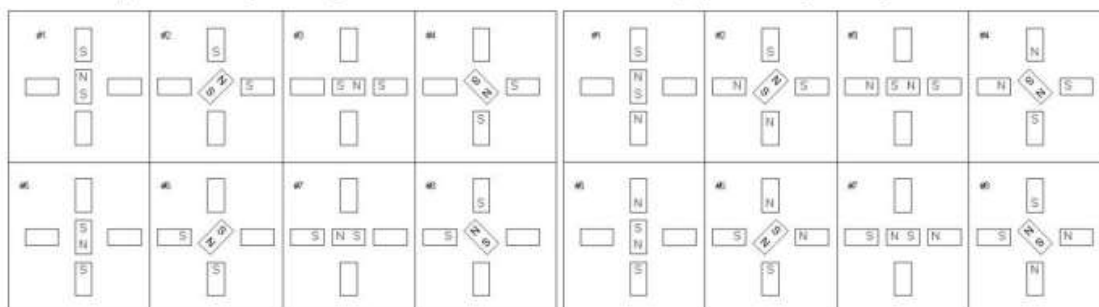
A energização de apenas uma bobina produz um pequeno deslocamento do rotor. Este deslocamento ocorre simplesmente pelo fato de o rotor ser magneticamente ativo e a energização das bobinas criar um campo magnético intenso que atua no sentido de se alinhar com os dentes do rotor. Assim polarizando de uma forma adequada as bobinas, podemos movimentar o rotor entre as bobinas (meio passo ou half-step) ou alinhados com as mesmas (passo completo ou full-step). Abaixo nas figuras é representado estes movimentos.

Figura 19: Motor unipolar de passo inteiro, e motor bipolar de passo inteiro respectivamente.



Fonte: (GONCALVES, PUGA, 2008)

Figura 20: Motor unipolar de meio passo e motor bipolar de meio passo respectivamente.



Fonte: (GONCALVES, PUGA, 2008)

2.12 Engrenagens

Uma engrenagem é um componente rígido que funciona através do contato e atrito de seus dentes com os dentes de uma segunda engrenagem. Para que o movimento funcione, as duas engrenagens devem se encontrar em cada dente sem atraso ou diferença de espaço, pois se isso ocorre, é possível que o sistema trave, tornando a utilização de engrenagens um processo inútil (SANTANA, 2014).

Para Antunes:

Engrenagens são elementos rígidos utilizados na transmissão de movimentos rotativos entre eixos. Consistem basicamente de dois cilindros nos quais são fabricados dentes. A transmissão se dá através do contato entre os dentes. Como são elementos rígidos, a transmissão deve atender a algumas características especiais, sendo que a principal é que não haja qualquer diferença de velocidades entre pontos em contato quando da transmissão do movimento. Eventuais diferenças fariam com que houvesse perda de contato ou o travamento, quando um dente da engrenagem motora tende a transmitir velocidade além da que outro dente da mesma engrenagem em contato transmite. (2008, p.1)

Mais uma coisa que as engrenagens fazem é ajustar a direção de rotação. Como exemplo, no diferencial existente entre as rodas traseiras de um carro, a energia é transmitida por um eixo que passa pelo centro do carro, o que faz com que o diferencial tenha de deslocar essa energia em 90°, para aplicá-la sobre as rodas, na figura a seguir é ilustrado uma engrenagem que trabalha de forma conjugada com outra. (NICE, 2014)

Figura 21: Engrenagem cilíndrica de dentes retos trabalhando de forma conjugada.



Fonte: ANTUNES, 2008.

Segundo Antunes (2008), a regra que rege o funcionamento de uma transmissão baseada em engrenagens, é que um objeto vai efetuar força sobre o outro, fazendo com que os dois se movimentem causando determinado torque. Mais comumente utilizada em motores, a Engrenagem Cilíndrica com dentes Retos pode exercer funções essenciais em conjuntos de motores que precisam de seu resultado em conjunto para manter a velocidade e rotação para melhor desempenho.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa quanto a natureza

O estudo experimental segue um planejamento rigoroso. As etapas de pesquisa iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que atuam no fenômeno estudado (TRIVIÑOS, 1987).

Para Gil (2008), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Já segundo Fonseca (2002, p. 38):

A pesquisa experimental seleciona grupos de assuntos coincidentes, submete-os a tratamentos diferentes, verificando as variáveis estranhas e checando se as diferenças observadas nas respostas são estatisticamente significantes. [...] os efeitos observados são relacionados com as variações nos estímulos, pois o propósito da pesquisa experimental é apreender as relações de causa e efeito ao eliminar explicações conflitantes das descobertas realizadas.

Sendo assim, a elaboração de instrumentos para a coleta de dados deve ser submetida a testes para assegurar sua eficácia em medir aquilo que a pesquisa se propõe a medir. A pesquisa experimental pode ser desenvolvida em laboratório (onde o meio ambiente criado é artificial) ou no campo (onde são criadas as condições de manipulação dos sujeitos nas próprias organizações, comunidades ou grupos).

Portanto, esta pesquisa trata-se de uma pesquisa experimental, pois ela visa fundamentar a elaboração do projeto para fins práticos, levantando dados e respostas do sistema em questão, considerando variáveis que influenciam diretamente no comportamento do sistema.

3.2 Tipo de pesquisa quanto aos objetivos fins

O objetivo de uma pesquisa experimental é proporcionar familiaridade com o problema, analisando-o, construindo hipóteses, e manipulando as variáveis que influenciam diretamente no fenômeno estudado, podendo-se controlar e avaliar os resultados dessas relações (GIL, 2002).

Esta pesquisa pode ser considerada experimental, pois através de levantamentos teóricos, prática de levantamento de resultados e análise de dados recolhidos, pode-se chegar as devidas conclusões.

3.3 Tipo de pesquisa quanto a abordagem

“Se tratando de pesquisa qualitativa a mesma não requer uso de métodos estatísticos. O ambiente natural é considerado a fonte direta para se coletar os dados e o pesquisador é considerado o instrumento chave.” (Silva et al., 2011, p. 2).

Quanto a abordagem da pesquisa será de modo qualitativa pois a mesma não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas.

3.4 Tipo de pesquisa quanto aos meios e procedimentos técnicos

A pesquisa bibliográfica desenvolve-se principalmente tendo por base um material já bem elaborado, constituído principalmente por livros e artigos científicos. Onde pode ser feita uma diferenciação na natureza das fontes, pois ainda são materiais que não receberam um tratamento analítico, ou seja, ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa (GIL, 2008).

A partir dos meios e procedimentos técnicos, esta pesquisa trata-se de um levantamento bibliográfico e documental acerca do assunto proposto.

3.5 Etapas das pesquisas

Inicialmente foi feita uma pesquisa sobre o movimento da Terra em relação ao Sol, para que pudesse descrever o porquê da escolha do seguidor solar de dois eixos, em seguida partiu para o estudo de seguidores encontrados atualmente no mercado como também os modos de se fazer o controle de tais. Por fim foi apresentado a construção do protótipo e fazendo o levantamento de dados como leitura de tensão com o sistema desligado e ligado.

4 DESENVOLVIMENTO

Aqui descreve-se como foi feita a construção do protótipo, desde as simulações realizadas através do *software* Proteus 8.0, a programação realizada no *software* microC PRO for PIC, ao desenvolvimento e escolha de componentes que atendam de maneira eficaz o que se foi proposto. Por fim será utilizado um *software* para coleta de dados, em específico, o MATLAB R2012, que será capaz de fazer leituras de tensões de saída do painel solar com ele estático e seguindo o movimento do sol, gerando gráficos para comparação.

4.1 Protótipo do seguidor solar de dois eixos

Na Figura 22 pode ser visto a parte mecânica do protótipo, composto de dois eixos, um azimutal e outro de elevação. Para construção da parte mecânica que suporta o painel e os motores foi escolhido madeira, pois como se trata apenas de um protótipo o mesmo não necessitaria do uso de metal, que é o recomendável por características de duração, e por sofrerem menos com a deterioração ocasionada pelo tempo, porém tornaria bem mais caro a construção, como o objetivo do trabalho não envolve a parte mecânica utilizou-se a madeira do tipo sucupira.

Os motores de passo têm características de bobina de funcionamento unipolares, e foram utilizados o Nema 17, que têm características fundamentais como torque de 1.1 kgf, que torna suficiente para trabalhar em conjunto com as

engrenagens de plástico, além da precisão para se trabalhar com projetos deste tipo. Outro fator importante foi a não utilização de pontes H no sistema caso utilizasse um motor DC, além de que teria que ser feito uma caixa de redução para as engrenagens, tornando mais complexa o sistema conjugado de engrenagens.

O painel utilizado foi apenas para demonstração e coleta de dados, pois através da geração fotovoltaica advinda dele, foi possível levantar gráficos de comparação, logo abaixo será apresentado as tabelas 1 e 2 que descrevem as características, atribuindo os pontos mais relevantes de cada componente.

Ao final deste trabalho no apêndice A, será apresentado uma visão estendida do protótipo feito pelo *software* QICAD V4.

Figura 22: Parte mecânica do protótipo.



Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela1: Característica do painel solar e do motor de passo

Painel solar fotovoltaico	Motor de passo Nema 17
Potência máxima: 10 W	Tensão de operação: 12 V
Corrente máxima: 0.60 A	Resistência das bobinas: 6 ohms
Peso: 1.2 Kg	Corrente de operação: 2 A
Dimensões: 10 x 14,5 cm	Dimensões: 1 x 2 cm
Tensão de saída: 12 V	Motor unipolar de 6 fios

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 2: Características das engrenagens e da estrutura

Engrenagens	Estrutura
Tipo: cilíndrica de dentes retos	Madeira utilizada: sucupira
Dimensões: 2 de 1,5 cm e 2 de 2,5 cm	Dimensão base 1: 13 cm
Característica de trabalho: conjugadas	Dimensão base 2: 14 cm
Número de dentes: 2 com 41 e 2 com 47	Dimensão base 3: 11 cm

Fonte: Autoria própria, 2016

As tabelas apresentadas demonstram algumas das características de cada componente, note que a tensão de saída do painel especificada pelo fabricante é de 12 Volts, porém será demonstrado graficamente que esta tensão pode atingir valores maiores quando submetidas a exposição paralela dos raios solares. Os motores como visto na tabela tem configuração unipolar, e para economizar energia foi feita via programação a energização de uma bobina por vez.

Com as características apresentadas pela tabela 2 em relação as engrenagens, concluiu-se que atenderia bem o objetivo proposto se ambas trabalhassem de forma conjugadas. Já a estrutura de madeira facilitou a aquisição se tratando de termos financeiros.

4.2 Sistema embarcado simulado no Proteus

Antes de partir para os testes em protoboard, e posteriormente montar o circuito impresso, foram feitas as simulações no *software* Proteus 8.0, a Figura 24 mostra a constituição do sistema. Nos tópicos subsequentes serão apresentados cada característica dos circuitos complementares. Para a geração

do código tanto para simulação quanto para programação do microcontrolador foi utilizado o *software* microC PRO para PIC v.4 do ano 2012, que oferece um ambiente de programação simples e intuitivo, que além de oferecer vantagens de operação como facilitar o usuário na hora da configuração dos FUSEBITS do microcontrolador, oferece uma biblioteca extensa de funções e exemplos de como utilizá-las na programação.

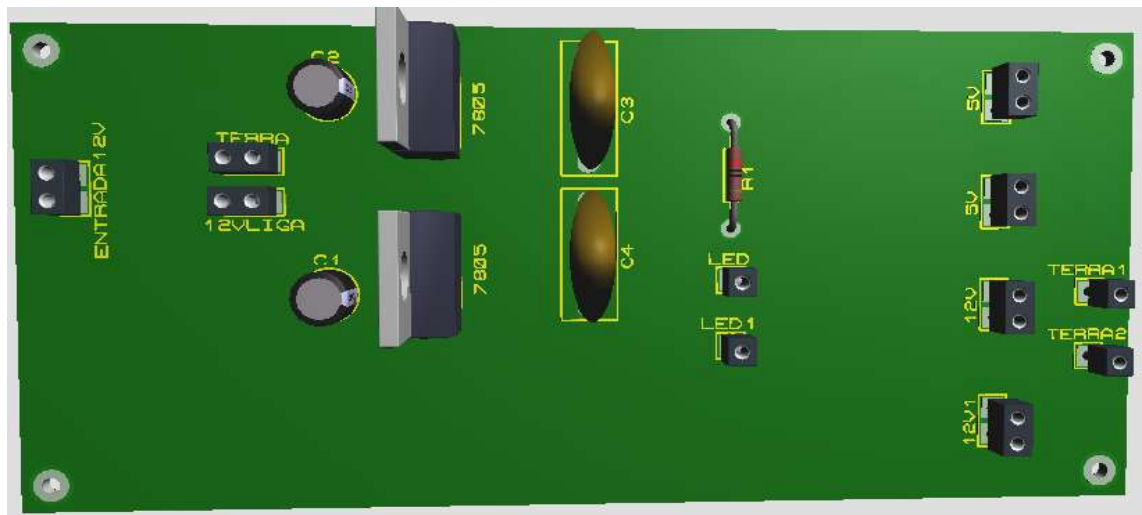
Em partes e posteriormente explicado em cada tópico o circuito constitui de 4 partes, a primeira seria o circuito de alimentação do sistema, garantindo que tanto na entrada do microcontrolador quanto na entrada dos sensores LDRs chegue uma tensão máxima de 5 Volts, o segundo é composto pelos sensores LDRs, que fariam a simulação da radiação do Sol. O terceiro circuito mostrado na Figura 23 trata-se do *driver* de saída para os motores, cada saída é representada por um Led, que facilita na simulação, pois é possível ser visto a sequência correta através da ligação de cada Led. Por fim o quarto circuito é o mais importante pois trata-se do microcontrolador PIC 16f877A com seu circuito oscilador, esta parte da simulação pode ser considerada o cérebro do sistema, pois recebe os dados dos LDRs, realiza a tomada de decisões de qual sequência ativar nos transistores, para ser visualizada o Led acendendo.

4.3 Alimentação do sistema

A alimentação de todo o sistema incluindo os 12 volts dos motores foram feitos em uma única unidade, onde dois reguladores de tensão serão os responsáveis pela conversão de 12 para 5 volts, para atender tanto o circuito de monitoramento quanto a alimentação do microcontrolador, garantindo assim que nosso chip não venha queimar por surtos de tensões maiores que 5 volts. Os reguladores escolhidos foram o 7805, onde se dispôs de capacitores tanto na entrada quanto na saída dos reguladores para fazer a filtragem da tensão e garantir que variações abruptas não comprometam a integridade e funcionamento dos componentes eletrônicos.

Na saída da placa existem duas alimentações de 5 volts e duas de 12 volts, as de 5 volts atenderão o PIC e o circuito de monitoramento da posição do Sol, os motores receberão a alimentação de 12 volts. Na Figura 25 pode ser visto a placa do circuito simulado no *software* Proteus e logo em seguida na Figura 26 a placa impressa.

Figura 25: Circuito responsável pela alimentação dos sensores e do microcontrolador.



Fonte: Autoria própria, 2016.

Figura 26: Circuito impresso de alimentação.



Fonte: Autoria própria, 2016

4.4 Sensores utilizados

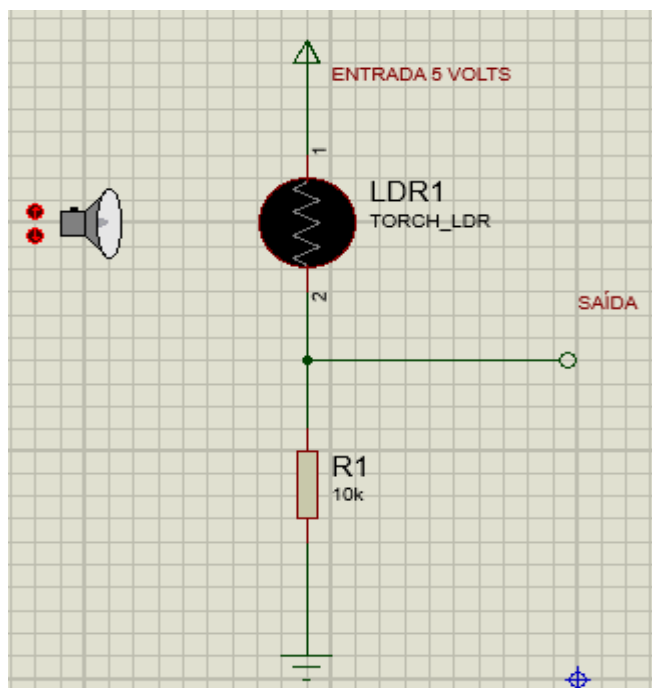
Conforme o capítulo 2 seção 2.6 deste trabalho apresenta-se um estudo feito sobre alguns sistemas de controle para seguidores solares, o escolhido para atuar no projeto foi sistemas mistos que utilizam sensores e algoritmos para detectar a posição do Sol.

O funcionamento do sensor é feito através de um divisor de tensão, onde a entrada do sistema irá ser de 5 volts, como mostra a Figura 27. Note que a variação de tensão na saída dependerá da intensidade de luz incidente sobre o LDR

As características de funcionamento do LDR foram apresentadas no capítulo 2 seção 2.8 deste trabalho, conforme a teoria nos diz, a saída do sistema irá variar conforme a intensidade de luz incidente sobre a superfície do LDR varie, ou seja, se a luminosidade incidente sobre o LDR for baixa irá mandar níveis baixos de tensão podendo chegar até 0 volts para entrada analógica do microcontrolador, se a luminosidade sobre o LDR for alta, a saída irá mandar até 5 volts para a entrada analógica do microcontrolador.

Para a leitura do posicionamento do sol, necessitou-se de 4 LDRs, onde cada um dos pontos cardeais principais como Norte, Sul, Leste e Oeste, será representado por um LDR. Para fazer o controle de posicionamento, utilizou-se uma barreira entre os LDRs, onde se propôs a separação para que a incidência não prejudicasse o funcionamento do outro no envio de sinais, a Figura 28 mostra a disposição dos sensores e essa barreira entre eles.

Figura 27: Sensor de captura de luminosidade.



Fonte: Autoria própria, 2016.

Figura 28: Disposição dos sensores e barreira de separação a direita.



Fonte: Autoria própria, 2016

O microcontrolador irá fazer a leitura analógica de cada sensor, onde o comportamento do sistema irá depender de onde se está chegando maior luminosidade.

4.5 Sistema microcontrolado

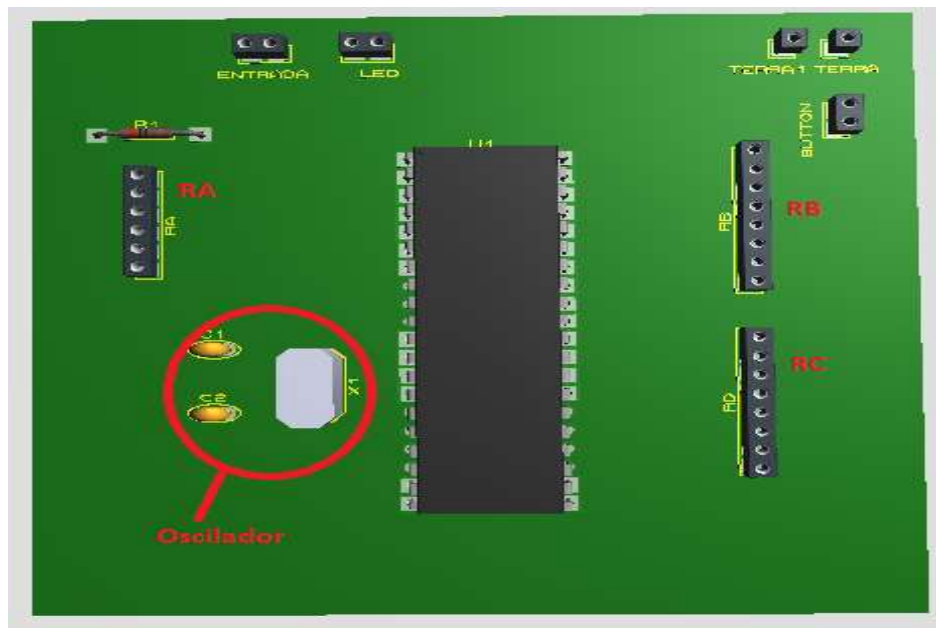
Aqui será feito toda leitura e processamento do sistema, onde os sensores irão mandar os valores de tensões para as entradas analógicas do microcontrolador, representado no esquemático por RA, o microcontrolador fará a leitura deste sinal e dependendo de qual sensor será feito a leitura, a saída RD irá fazer o acionamento dos atuadores, no caso, motores de passo, fazendo com que o painel se movimente e busque a maior incidência de luz nos quatro sensores. O RB será deixado para possíveis aperfeiçoamentos do projeto, como controle manual, leitura por displays LCD como várias outras possibilidades.

O circuito oscilador é composto de um crystal na configuração *de High Speed (HS)* de 16 MHz, com capacitores de 22 pF, como designado pelo próprio datasheet do componente. O Crystal é responsável pelo clock do sistema.

O circuito é também composto por um push button para fazer o reset, e um Led sinalizador quando essa função for executada. As demais características do PIC16f877A foram descritas no capítulo 2 seção 2.7 do presente trabalho.

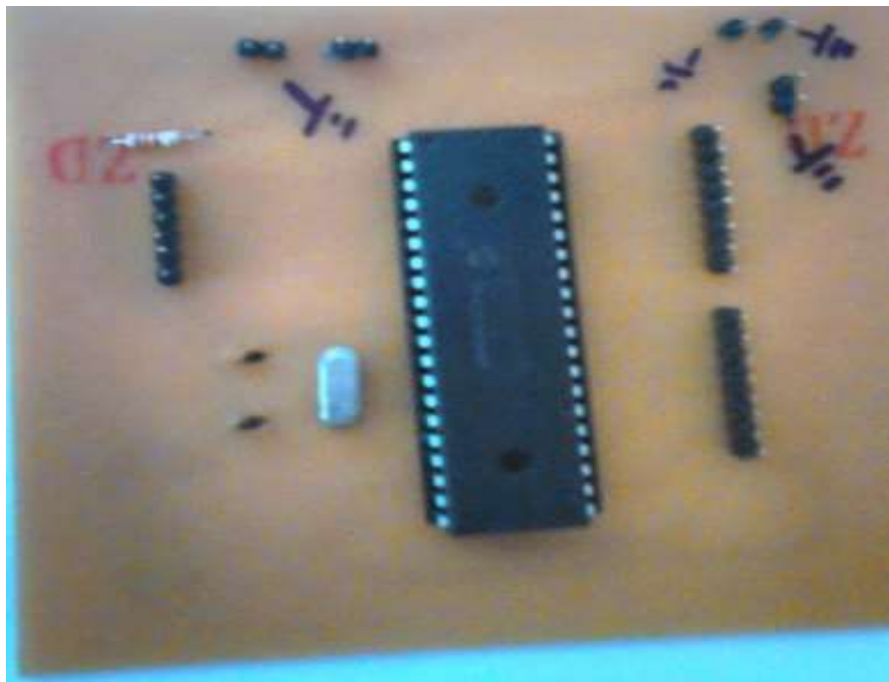
As Figuras 29 e 30 mostram o circuito feito no Proteus e o circuito impresso em placa, respectivamente.

Figura 29: Placa do microcontrolador no Proteus



Fonte: Autoria própria, 2016.

Figura 30: Placa de circuito impresso do PIC.



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.5 Driver de saída para os motores

As características de funcionamento dos motores de passo, como corrente de alimentação das bobinas de 2 ampères fizeram, com que a escolha do *driver* fosse feito através de transistores Darlingtons NPN, mais precisamente o TIP 122.

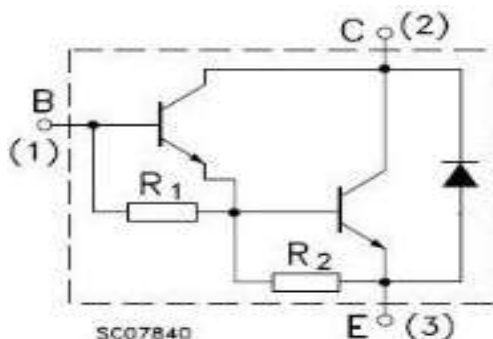
Os transistores desta família têm a característica de em um único invólucro ter dois transistores montados na configuração Darlington, como mostra a Figura 31, a existência de resistores internos de polarização, pode ser observada na mesma figura, como também o diodo de proteção contra correntes reversas, a seguir na tabela 3 pode ser visto as características do transistor utilizado retirados do seu Datasheet.

Tabela 3: Características dos transistores utilizados.

TIPO:	V _{be} (V)	I _c (max) (A)	h _{fe} (min)	P _d (W)
TIP 122	2,5	5	1000	65

Fonte: Datasheet, 2016.

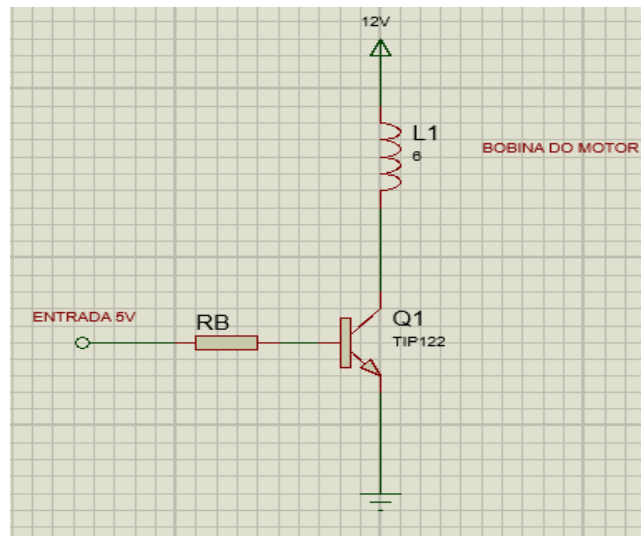
Figura 31: Transistor Darlington TIP 122 NPN internamente.



Fonte: Datasheet, 2016.

Para o cálculo de polarização é preciso alguns parâmetros da tabela 3, na figura 32 a bobina do motor de passo é representada pelo indutor, uma entrada no emissor de 12 volts, e uma entrada na base de 5 volts, considerando circuitos TTL (Transistor-Transistor Lógico).

Figura 32: Polarização do transistor.



Fonte: Autoria própria, 2016.

$$I_C = 2 A$$

$$I_b = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{2}{1000} = 0,002$$

$$V_{BE} = 2,5 V$$

$$h_{fe} = 1000$$

$$R_B = \frac{V - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 2,5}{0,002} = 1.250,00$$

Logo o resistor de base utilizado foi de 1,2 K Ω , garantindo assim que o transistor utilizado para o driver de potência do motor atenda as especificações.

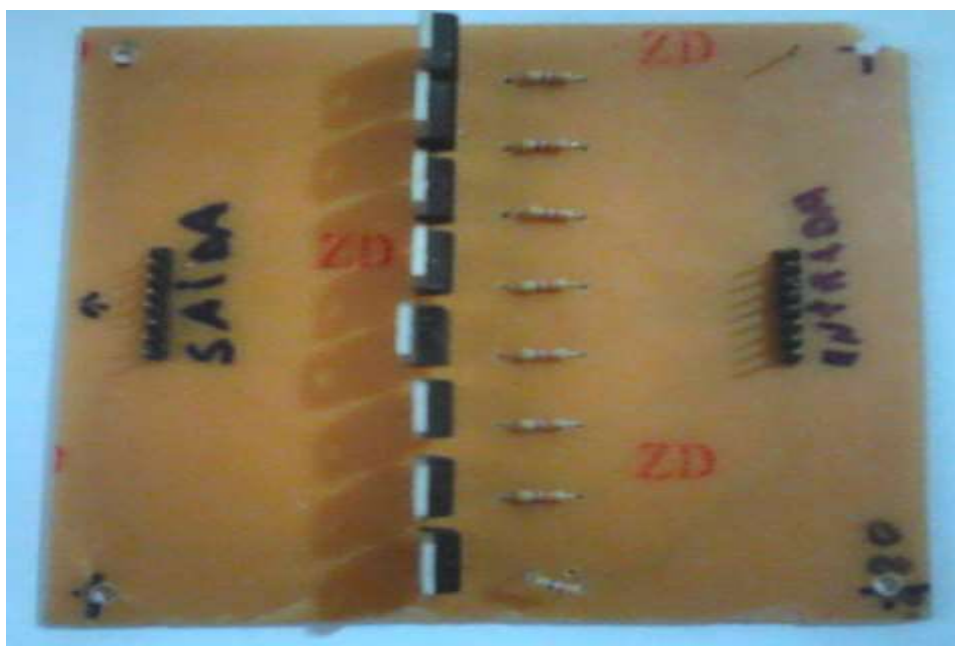
Na Figura 33 pode-se ver os 8 TIP 122, cada um responsável pela alimentação de uma bobina, os resistores de base para saturar o transistor o terra do *driver* e entrada e saída composto por *pinheades*.

Figura 33: Driver de alimentação dos motores no software Proteus.



Fonte: Autoria própria, 2016.

Figura 34: Circuito impresso da placa de driver do motor.



Fonte: Autoria própria, 2016.

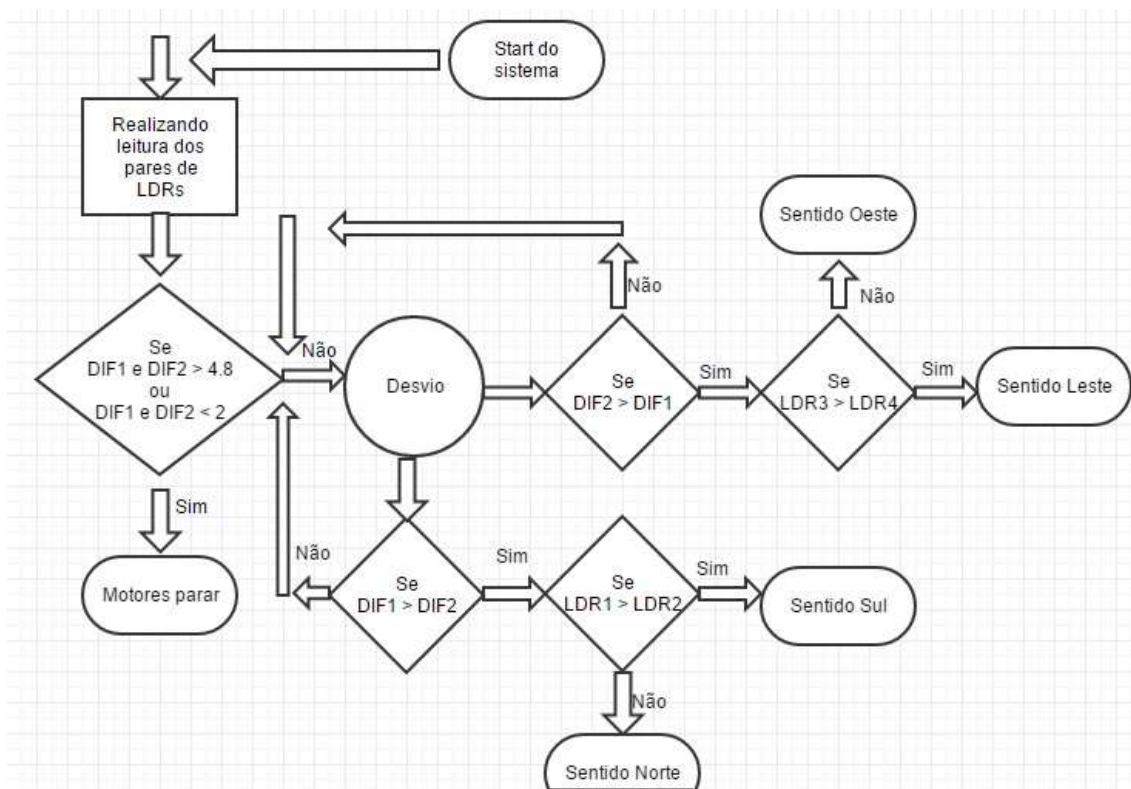
4.6 Programação do sistema

O *software* utilizado para programar o microcontrolador foi o microC PRO for PIC, que é um compilador da microchip, muito conhecido pela facilidade de interação com o usuário, além de dispor de bibliotecas das principais funções da linguagem C ele dispõe de um modo de configuração dos FUSEBETS fora do escopo do programa, economizando em linhas de código.

O fluxograma da rotina principal do programa utilizado encontra-se na Figura 35, a programação em C feita no ambiente propício e com todas as funções e rotinas utilizadas, pode ser encontrada no apêndice B deste trabalho.

Ao inicializar o sistema, o microcontrolador irá realizar as leituras dos sensores, na própria programação foi feito um mapeamento de *hardware* nos sensores, ou seja, foi dividido cada par de sensores em uma rotina, para exemplificar foi feita uma leitura da diferença entre as tensões para os dois pares de sensores, caso a diferença estivesse maior em um eixo cardinal, uma outra rotina iria se iniciar fazendo a leitura dos LDRs separadamente, caso a leitura de 2 ou dos 4 LDRs fossem menor que 2 volts considerado noite e maior que 5 volts considerado perpendicular ao Sol, os atuadores irão parar, caso a leitura de um fosse maior que do outro um determinado sinal seria enviado para os atuadores, fazendo com que os motores movimentasse a estrutura ou no caso o painel fotovoltaico.

Figura 35: Fluxograma da programação do microcontrolador.



Fonte: Autoria própria, 2016.

4.7 Sistema para captura de resultados

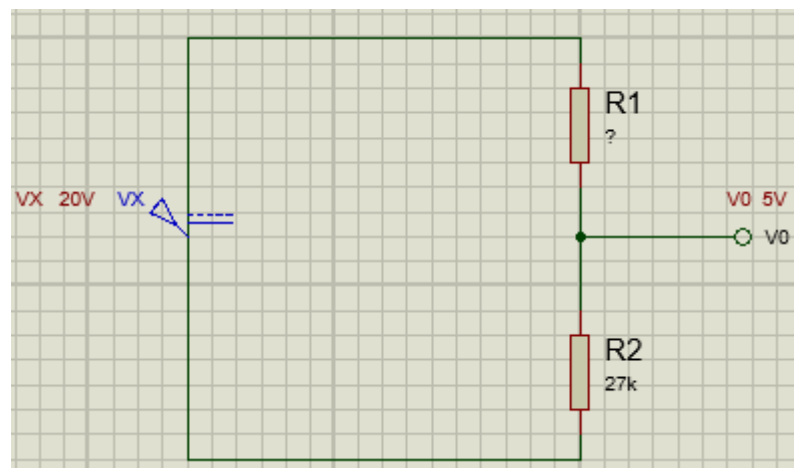
Para fazer a captura de dados foi utilizado o *software* MATLAB R2012, em conjunto com um microcontrolador arduino da família mega 2560 para fazer o interfaceamento, entre a saída do painel e o *software*. Com essas duas ferramentas foi possível fazer uma leitura de 10 horas em um intervalo de 2 dias da tensão de saída do painel, tanto com ele parado, quanto em movimento ligado ao sistema seguidor. Os resultados podem ser encontrados no próximo capítulo, e toda programação da MATLAB pode ser visto no apêndice D.

Basicamente para fazer a leitura foi construído um arranjo com resistores formando um divisor de tensão, já que na entrada analógica do arduino, tensões acima de 5 volts podem danificar o circuito. Como a tensão de saída do painel solar especificado pelo fabricante era de 12 volts, foi feita uma análise de campo com um multímetro ligado aos terminais do painel, a leitura fez-se com o painel voltado perpendicularmente para o sol, para que a tensão de saída fosse a

máxima, no multímetro foi feita a leitura de 19,8 volts, para maiores seguranças estabelecemos que a tensão máxima de saída do painel seja de 20 volts.

Abaixo na Figura 36 segue o arranjo para calcular as fórmulas para garantir que na entrada analógica do arduino chegue no máximo até 5 volts, o valor de 27kΩ para o resistor R2 foi obtido arbitrariamente por se tratar de um resistor encontrado facilmente em lojas de eletrônicos.

Figura 36: Arranjo de um divisor de tensão para 20 volts.



Fonte: Autoria própria, 2016.

$$V_0 = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \times V_X$$

$$R_1 = \left(\left(\frac{R_2}{V_0} \right) \times V_X \right) - 27000$$

$$R_1 = \left(\frac{27000}{5} \times 20 \right) - 27000$$

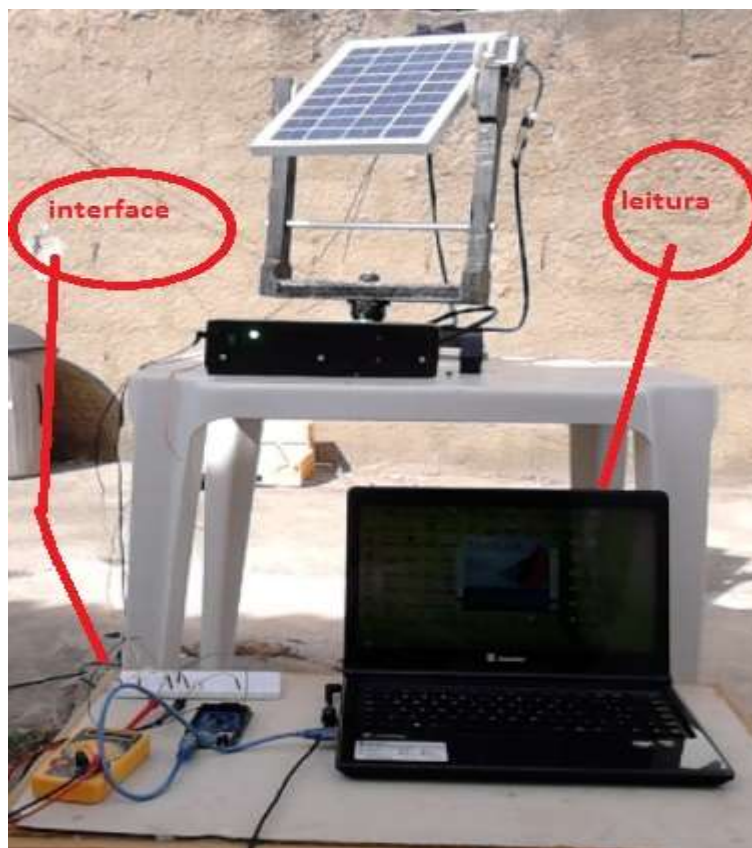
$$R_1 = 81000$$

Como visto nos cálculos acima, um resistor de 81 KΩ garantirá na entrada do arduino valores máximos de 5 volts.

Na Figura 37 pode ser visto como foi realizada esta captura de sinais, a saída do painel fotovoltaico está conectada ao protoboard, como foi apenas para leituras de dados não necessitou a confecção de uma plaquinha para 2 resistores. Através de um divisor de tensão irá garantir que a saída para o arduino seja de no máximo 5 volts, ao variar a posição do painel a tensão pode ser vista em forma de gráfico na tela do notebook em tempo real através do

software MATLAB. A programação de captura de dados será disponibilizada no fim deste trabalho.

Figura 37: Modo de captura de dados do sistema.



Fonte: Autoria própria, 2016.

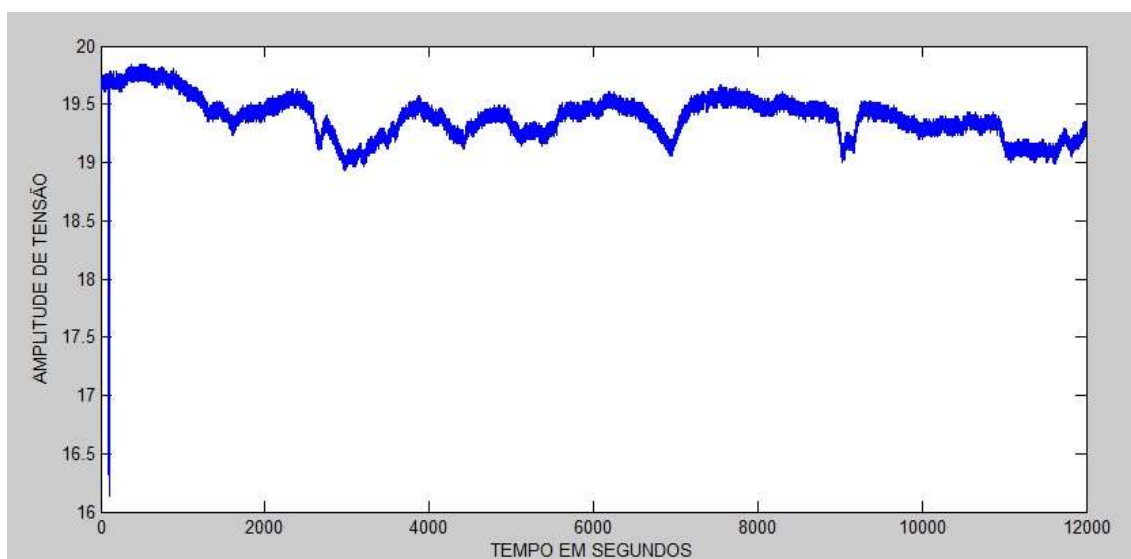
5 RESULTADOS

Será apresentado no presente capítulo os resultados obtidos durante 10 horas e 30 minutos de coleta de dados. De acordo com García (2014, p.46) tensão de circuito aberto (V_{oc}), é a tensão máxima proporcionada pelo painel quando não há nenhuma carga conectada entre os terminais do painel. Logo a leitura de tensão que será feita pelo *software* Matlab será a tensão de circuito aberto.

A leitura dos resultados obtidos foram no mesmo horário, porém em dias diferentes, logo a análise dos gráficos será correlacionada com o horário da coleta de dados, tendo o intuito de fazer leituras e comparações em situações mais idênticas possíveis, conforme abaixo.

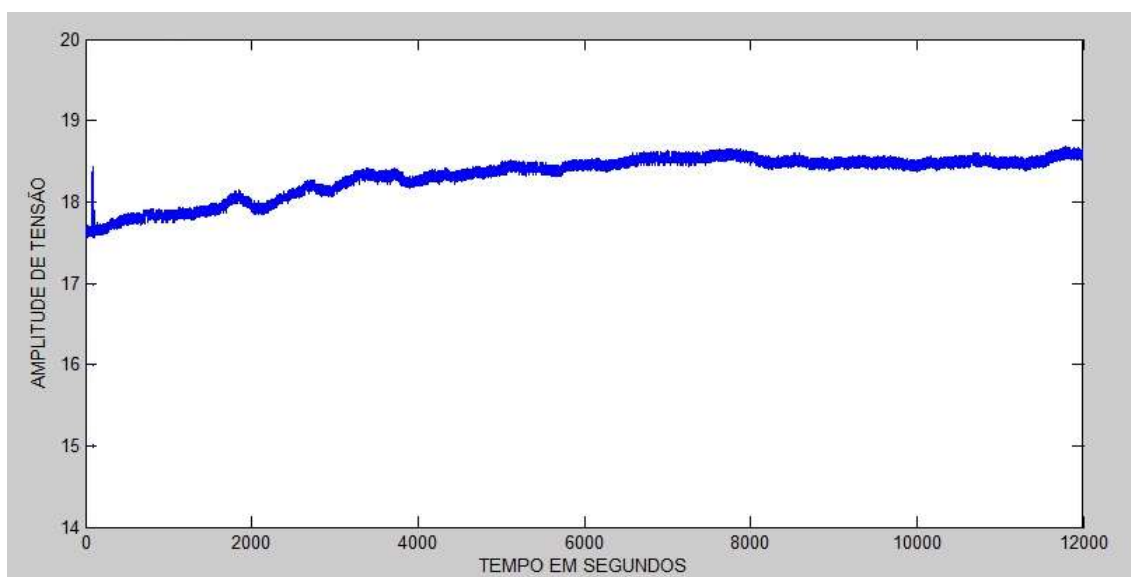
A Figura 38 mostra a tensão de circuito aberto para o sistema de seguimento solar ligado, note que a tensão fica entre os 19 e 20 volts, tendo por vezes variações ocorridas pela influência de nuvens que tapavam o Sol em determinados momentos, já na Figura 39 pode-se ver que a tensão foi variando a partir do deslocamento do Sol, ou seja, às 8:00 horas a tensão devido a incidência de irradiação solar estava entre 17.8 volts, já no período de 10:30 da manhã o painel conseguiu atingir cerca de 18.5 volts.

Figura 38: Medição da tensão do sistema em movimento entre 8:00 e 10:30 da manhã do dia 21/05/2016.



Fonte: Autoria própria, 2016

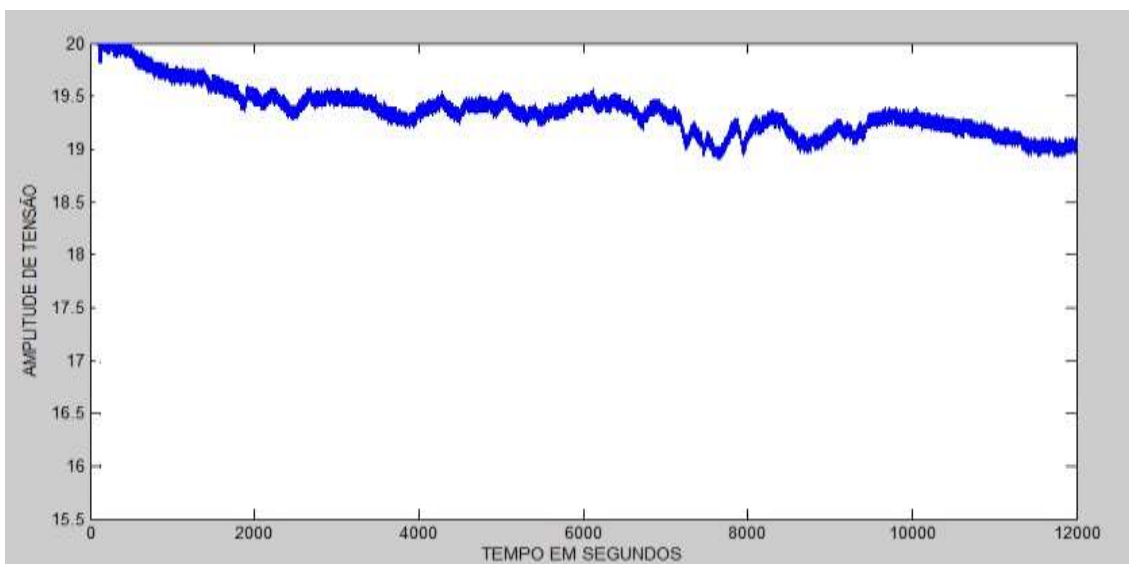
Figura 39: Medição da tensão do sistema parado entre 8:00 e 10:30 da manhã do dia 23/05/2016.



Fonte: Autoria própria, 2016.

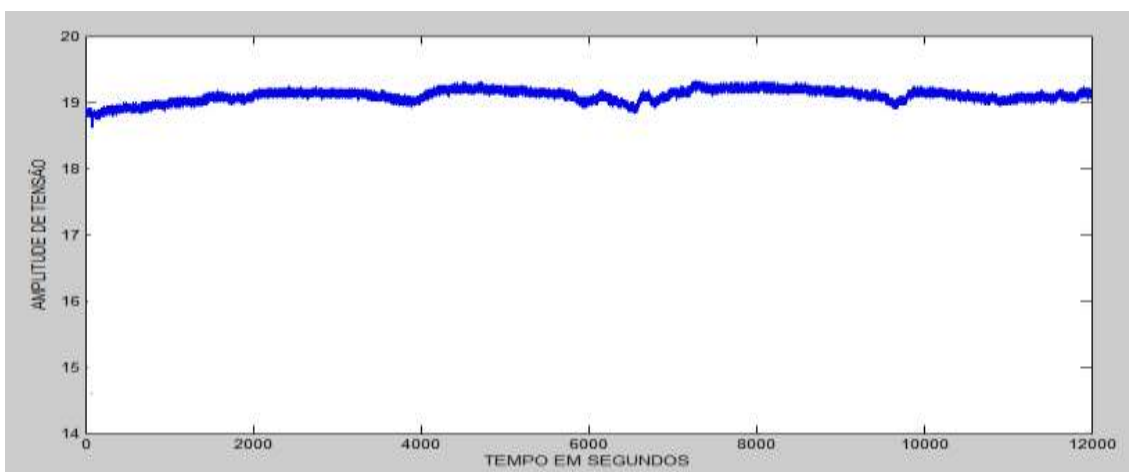
Analisando as Figuras 40 e 41 que correspondem a um horário em que o Sol está quase que perpendicular sobre a superfície terrestre na cidade de Vitória da Conquista – BA. Nota-se que com o sistema em seguimento a tensão que teve picos de até 20 volts, continuou oscilando entre 19 e 20 volts, já no gráfico da figura 41 não houve muita oscilação, pois como o sol estava quase que perpendicular ao painel as leituras se tornaram quase que iguais com o sistema ligado, ficando na faixa dos 19 volts.

Figura 40: Medição da tensão do sistema em movimento entre 12:00 e 14:30 da tarde do dia 21/05/2016.



Fonte: Autoria própria, 2016.

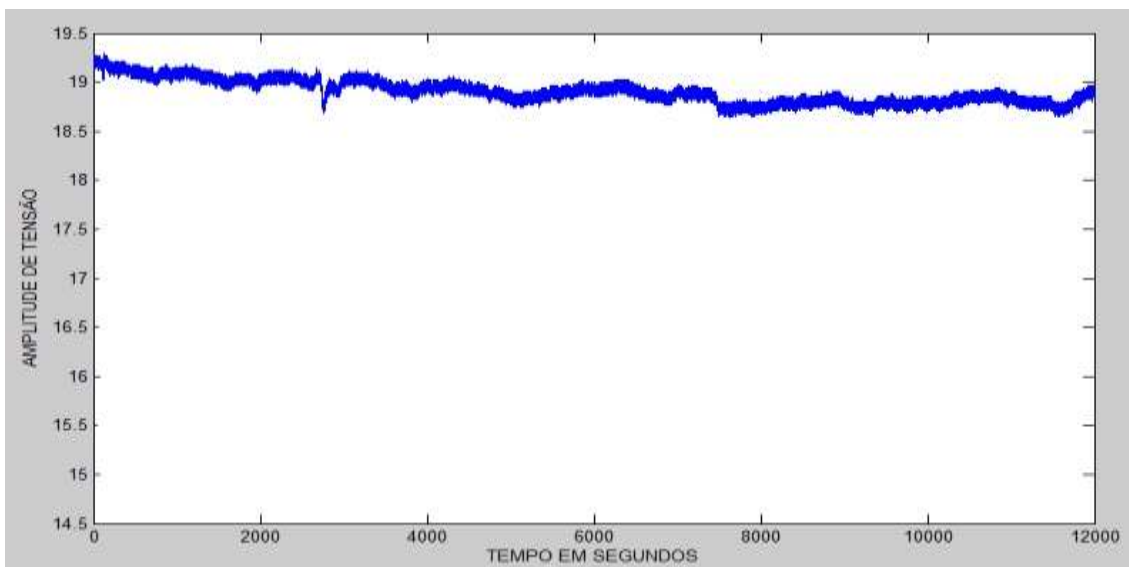
Figura 41: Medição da tensão do sistema parado entre 12:00 e 14:30 da tarde do dia 23/05/2016.



Fonte: Autoria própria, 2016.

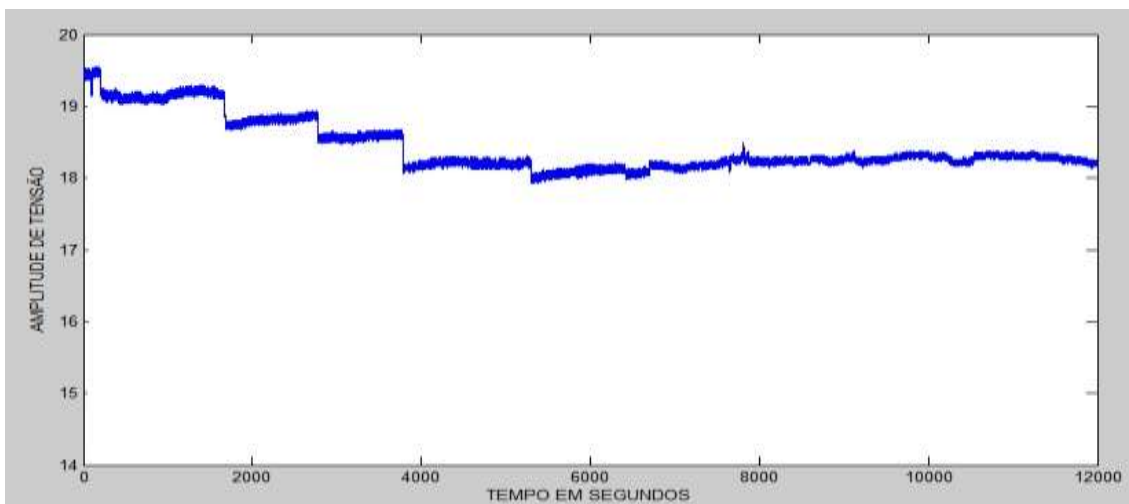
Por fim, os gráficos das Figuras 42 e 43, mostram o comportamento da tensão nos horários compreendidos entre 15:00 e 17:30, note que com o sistema ligado (Figura 42) a variação de tensão não sofreu nenhum grande efeito comparado com os outros gráficos quando o sistema estava ligado, porém na Figura 43 a tensão notoriamente abaixa conforme o Sol vai se pondo ao oeste.

Figura 42: Medição da tensão do sistema em movimento entre 15:00 e 17:30 da tarde do dia 21/05/2016.



Fonte: Autoria própria, 2016.

Figura 43: Medição da tensão do sistema parado entre 15:00 e 17:30 da tarde do dia 23/05/2016.



Fonte: Autoria própria, 2016.

Uma característica a ser notada analisando a resposta do sistema é de que com ele ligado a variação de tensão ficou sempre entre os 19 e 20 volts, já

com o sistema desligado ocorreram variações mais explícitas fazendo com que o sistema mandasse uma tensão menor em respectivos períodos do dia, um outro fato que chamou a atenção é que as nuvens ao tapar o Sol têm uma influência maior em sistemas com seguimento solar, porém nada que varie muito a tensão.

6. CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho pode-se concluir que através da construção de um sistema eletrônico trabalhando de forma mista, entre *software* e *hardware*, pode-se aumentar a eficiência do painel solar fotovoltaico. Através de estudos bibliográficos a importância de se tentar minimizar o ângulo de incidência de radiação solar mostra-se essencial, pois seguidores com até 5° de precisão deste ângulo têm uma eficiência superior a 99%, considerando a geração de energia elétrica, conforme apresentado em nosso estudo.

O sistema de busca de posicionamento do Sol se mostrou eficaz para os três mecanismos, *software*, *hardware* e a parte mecânica. Foi demonstrado ao longo do trabalho a escolha dos componentes, a construção e a parte principal que foi a colheita de resultados para provar que o sistema funciona. A escolha por um seguidor solar de dois eixos era justamente tentar explorar a minimização do ângulo de incidência solar ao máximo, e justificou através da colheita de resultados.

Após a realização dos testes em campo com características idênticas para as duas medições, como mesmo horário de coleta, mesmo tempo de amostras, aqui considerado 12.000 segundos para cada análise conclui-se que o sistema de captura de resultados mostrou-se eficiente, tanto na leitura de grandezas como na demonstração dos resultados, tendo em vista que o maior propósito era demonstrar que com a utilização do sistema o painel iria ter sua eficiência aumentada.

Analisando os gráficos do capítulo anterior nota-se que em todos os casos em que o sistema esteve ligado, o aumento de eficiência é notório no painel. Se fizermos um levantamento a respeito de eficiência na captura de radiação perpendicular, nota-se que em 100% do tempo com o painel seguindo o Sol a

radiação pode ser convertida para os picos máximos de tensão de saída, se considerarmos um período de 12 horas de incidência solar, já com o painel estático apenas 25% do tempo ou seja 3 horas o painel pode converter a radiação em níveis máximos de tensão de saída do painel, ou seja, um aumento de eficiência de 75% de captação de radiação solar.

Por fim conclui-se que todos os objetivos propostos no escopo do trabalho foram apresentados, testados e realizados com sucesso.

6.1 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros sugiro a implementação de um sistema supervisor, para que indique ao usuário sobre a tensão, corrente e potência de saída do painel. Com isso um leque de oportunidades pode ser explorado, não apenas para controle de painéis solares, mas também para antenas, telescópios e uma gama de equipamentos que precisem de um posicionamento correto para recepção de sinais.

Um estudo que vise apresentar se a instalação deste sistema torna-se mais viável economicamente em comparação com sistemas estáticos para a geração de energia elétrica em residências ou qualquer outro seguimento também pode ser feito.

Medidas como corrente e potência geradas pelo painel podem ser medidas também em trabalhos futuros, tendo os equipamentos corretos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministério de minas e energias, PROINFA. Disponível em:<
http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/Energias_Renovaveis.html> acesso em 24 de abril de 2016

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

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia solar- Princípios e aplicação**. Disponível em: Acesso em: 01 de dezembro de 2015

CAROLINA, A.G. **A sustentabilidade empresarial, social e as fontes de energia**. São Paulo. PUC, 2013.

PAIVA, Euler. **Seguidor dólar de um único eixo inclinado**. Dezembro 2012. 73. Monografia Centro Universitário de Brasília (UNICEUB).

JOSÉ, Ramiro Cortez Monteiro. **Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica**. 2013. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

TOMAZONI,LF.;HAYAKAWA,R.A.;SCARTAZZINI, L.S. **Desenvolvimento do seguidor solar aplicado em placas fotovoltaicas**. Santa Catarina.IFSC, 2013.

BÔAS, M.F.;MOTA,A.A.; **Avaliação da influência do ângulo de incidência solar na geração fotovoltaica**. Campinas. PUC,2011

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

BRAGA, Renata P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**.Rio de Janeiro: UFRJ, 2008.

GAZOLI, J.R.;VILLALVA, M.G.;GUERRA, J. **Energia solar fotovoltaica**; São Paulo, 2013.

TRENBERTH, K. E;FASULLO, J.T.;KIEHL,J. Earth's global energy budget. Bulletin of the American Meteorological society. Março de 2009. Disponível em: http://www.cgd.ucar.edu/cas/Treberth/Trenberth.papers/TFK_bams09.pdf

Acesso em: abril de 2016.

FARICELLI, Christian de Freitas. **Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos**. São Paulo, USP, 2008.

LANDIN, E.P.; OLIVEIRA, M.B.; ALMEIDA, N.S.; et al: **Energia Solar Fotovoltaica. Niquelândia**. SENAI, 2010.

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

Renewable energy sources, google artigos científicos <<http://www.renewableenergyworld.com/index/tech.html>> Acesso em 01 de dezembro de 2015

CARDOSO, A.M.; ESTES, N.; JORGE, J.; et al. **Seguidor Solar Passivo**. Lisboa. FCUL, 2014.

RIBEIRO, S.C.; PRADO, P.P.; GONÇALVES, J.B. et al. **Projeto e desenvolvimento de um rastreador solar para painéis fotovoltaicos**. IX SEGT, 2012.

ITANOR, J. C. **Potencial para uso de seguimento solar em sistemas fotovoltaicos**: Estudo de caso para fortaleza/CE. Fortaleza UFC, 2013.

Microcontroladores PIC, Newton C. Braga <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/microcontroladores/141-microchip-pic/1243-mic001>>. Acesso em 20 de maio de 2016.

TREVISAN, Pedro v. Artigo: **Microcontroladores PIC**. São Paulo: mecatrom.cjb.net, 2013.

Datasheet do PIC 16F877A Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>, acessado em 30 de novembro de 2015

Programação de microcontroladores PIC, mecatrônica< Fonte:<http://www.mecatronica.org.br/disciplinas/programacao/002/picpdf> > acesso em 24/11/2015

Saber eletrônica, **tipos de sensores**< <http://www.sabereletronica.com.br/artigos-2/1532-todos-os-tipos-de-sensores>> acesso em 18 de maio de 2016

Saber eletrônica, **motores de passo**.< <http://www.sabereletronica.com.br/artigos-2/1349-controle-de-motor-de-passo>>, Acesso em 18 de maio de 2016

Minha casa solar, **controlador de carga e descarga.**>
<http://www.minhacasasolar.com.br/saiba-controlador.php>>. Acesso em 01 de dezembro de 2015.

GONÇALVES, F.B.; PUGA, V.A. **Motor de passo**. Rio de Janeiro: UFF, 2008.

SANTANA, Valter. **Engrenagem cilíndrica com dentes retos**, 2014. Disponível em:<<http://www.fresadorasantana.com.br/engrenagem-cilindrica-dentes-retos.php/>>. Acesso em: 17 de maio de 2016.

ANTUNES, A.S. **Engrenagens cilíndrica de dentes retos**. Campinas. UEC, 2002.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

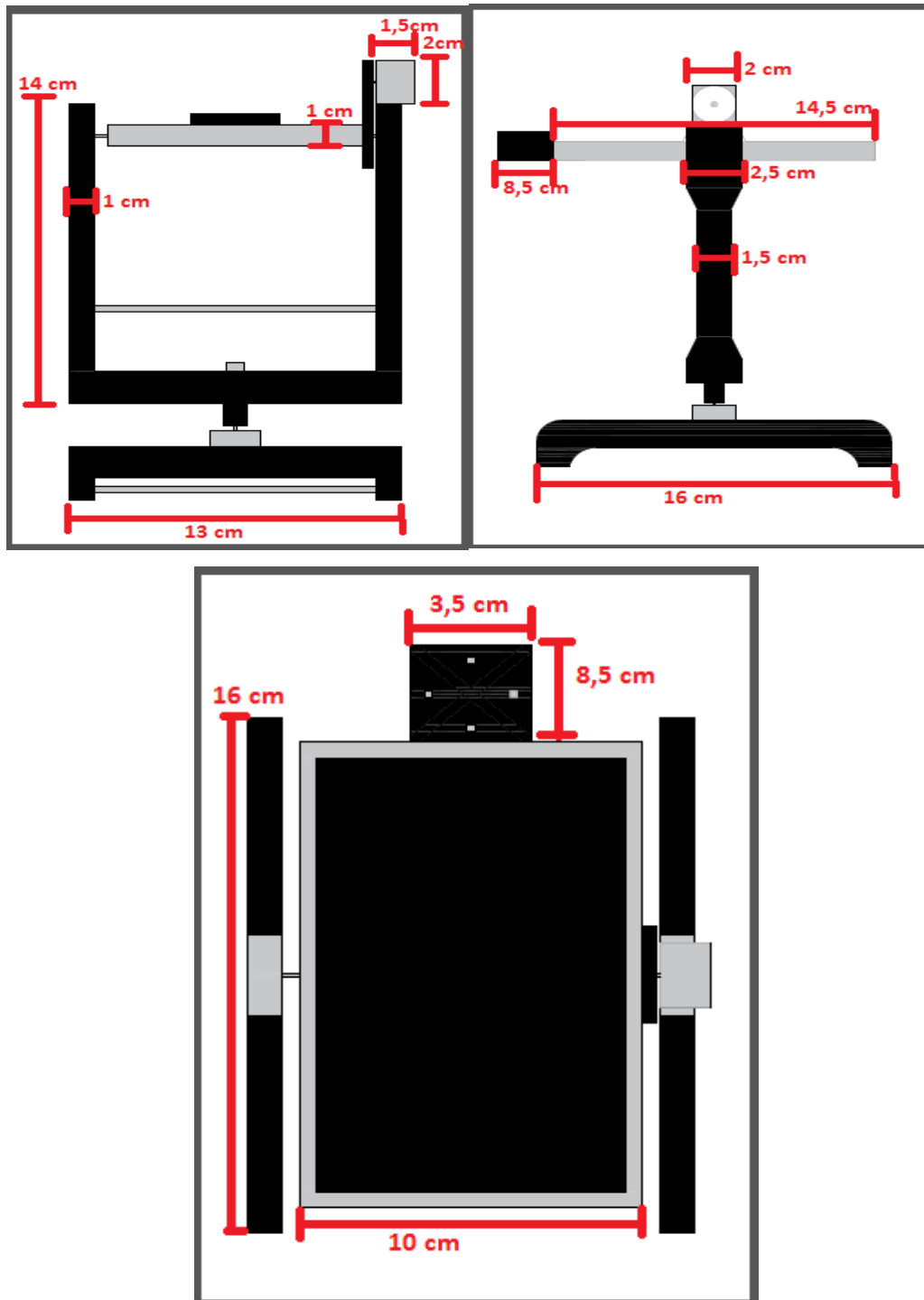
GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GÁRCIA, Antía. **Eficiência Energética Sobre O Aproveitamento Térmico E Elétrico Na Integração De Um Painel Térmico Com Um Painel Fotovoltaico**. Curitiba, junho 2014. P.46

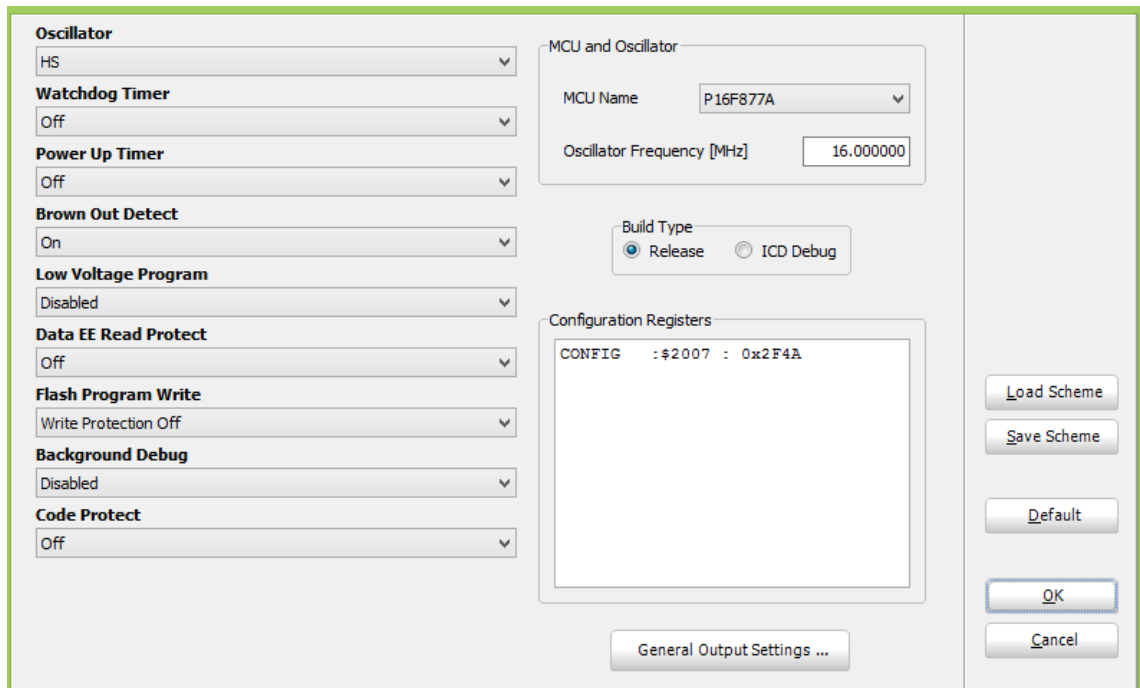
Apêndice A

Vista frontal, lateral e superior:



Apêndice B

Configuração dos Fusebits e programação do microcontrolador



//Programa feito por: Celso Henrique de Souza Lopes

//Data: 23/05/2016

```
#define tempo 100
#define ADC 10
unsigned char dif1, dif2;
float ldr1, ldr2, ldr3, ldr4;
void sentido_leste();
void sentido_oeste();
void sentido_norte();
void sentido_sul();
void motor_parar();
void motor1_parar();
void motor2_parar();
void sentidonorte_sul();
void sentidoleste_oeste();
void main() {
```

```

while(1){

    CMCON = 0X07;
    ADCON0 = 0x0F;
    TRISA = 0x0F;
    TRISB = 0X0F;
    TRISD = 0x00;

    PORTA = 0x00;
    PORTB = 0X00;
    PORTD = 0x00;

    ldr1 = (ADC_read(0)*5)/1023; //Atribuindo valores para comparação
    ldr2 = (ADC_read(1)*5)/1023;
    ldr3 = (ADC_read(2)*5)/1023;
    ldr4 = (ADC_read(3)*5)/1023;

    dif1 = (ldr1 - ldr2); //comparação entre os pares
    dif2 = (ldr3 - ldr4);

    if(dif1 > dif2) sentidonorte_sul();//condições para entrar em uma
rotina
    if(dif2 > dif1) sentidoleste_oeste();
}
}

void sentidonorte_sul()
{

    if(ldr1 > ldr2 ) sentido_norte();
    if(ldr2 > ldr1 ) sentido_sul();
    if(ldr1 > 4.9 && ldr2 > 4.9 ) motor1_parar();
    if(ldr1 < 2 && ldr2 < 2 ) motor1_parar();
}

```

```
}  
void sentidoleste_oeste()  
{  
    if(ldr1 > ldr4 )sentido_oeste();  
    if(ldr4 > ldr3 )sentido_leste();  
    if(ldr3 > 4.9 && ldr4 > 4.9 ) motor2_parar();  
    if(ldr3 < 2 && ldr4 < 2 ) motor2_parar();  
  
}
```

```
void sentido_norte()  
{  
    PORTD = 0x01;  
    delay_ms(tempo);  
    PORTD = 0x02;  
    delay_ms(tempo);  
    PORTD = 0x04;  
    delay_ms(tempo);  
    PORTD = 0x08;  
    delay_ms(tempo);  
  
}
```

```
void sentido_sul()  
{  
    PORTD = 0x08;  
    delay_ms(tempo);  
    PORTD = 0x04;  
    delay_ms(tempo);  
    PORTD = 0x02;  
    delay_ms(tempo);  
  
}
```

```
    PORTD = 0x01;
    delay_ms(tempo);

}

void sentido_leste()
{
    PORTD = 0x10;
    delay_ms(tempo);
    PORTD = 0x20;
    delay_ms(tempo);
    PORTD = 0x40;
    delay_ms(tempo);
    PORTD = 0x80;
    delay_ms(tempo);

}

void sentido_oeste()
{
    PORTD = 0x80;
    delay_ms(tempo);
    PORTD = 0x40;
    delay_ms(tempo);
    PORTD = 0x20;
    delay_ms(tempo);
    PORTD = 0x10;
    delay_ms(tempo);
}

void motor1_parar()
{
    PORTD = 0x02;
}

void motor2_parar()
{
```

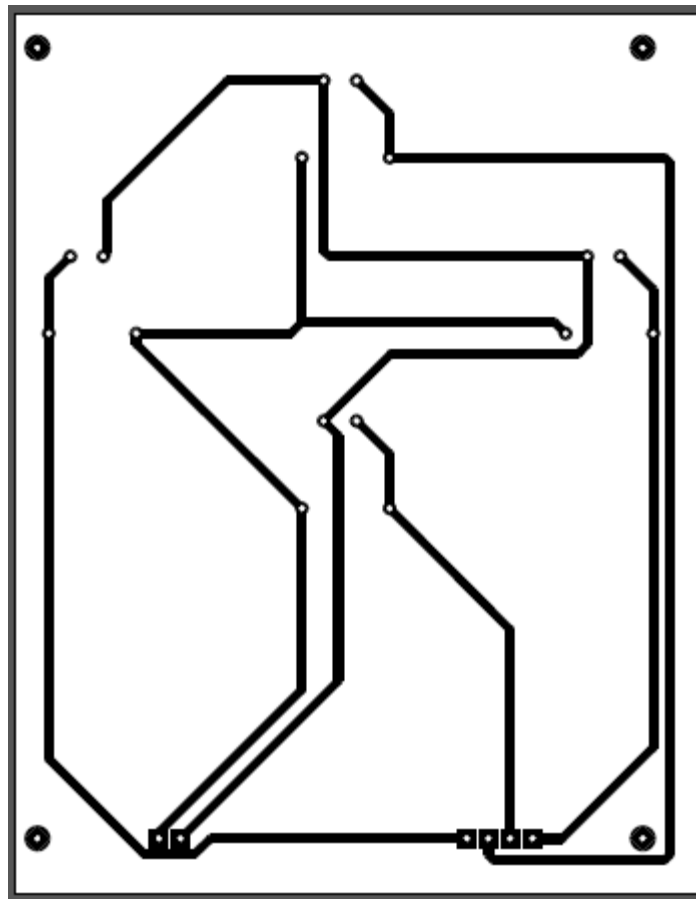
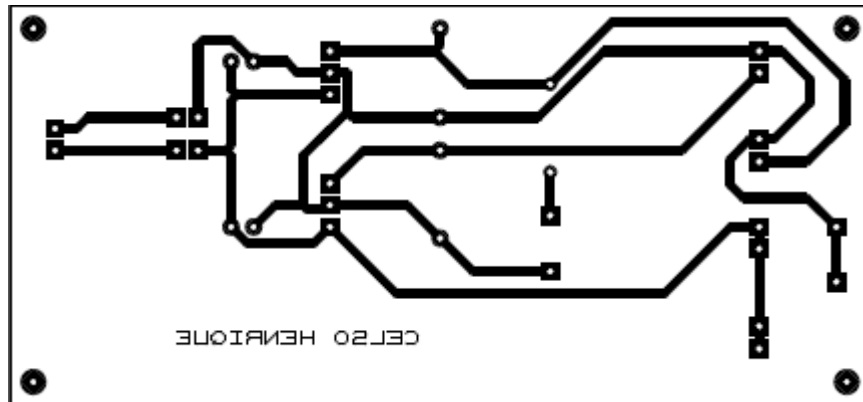
```
    PORTD = 0x40;
}

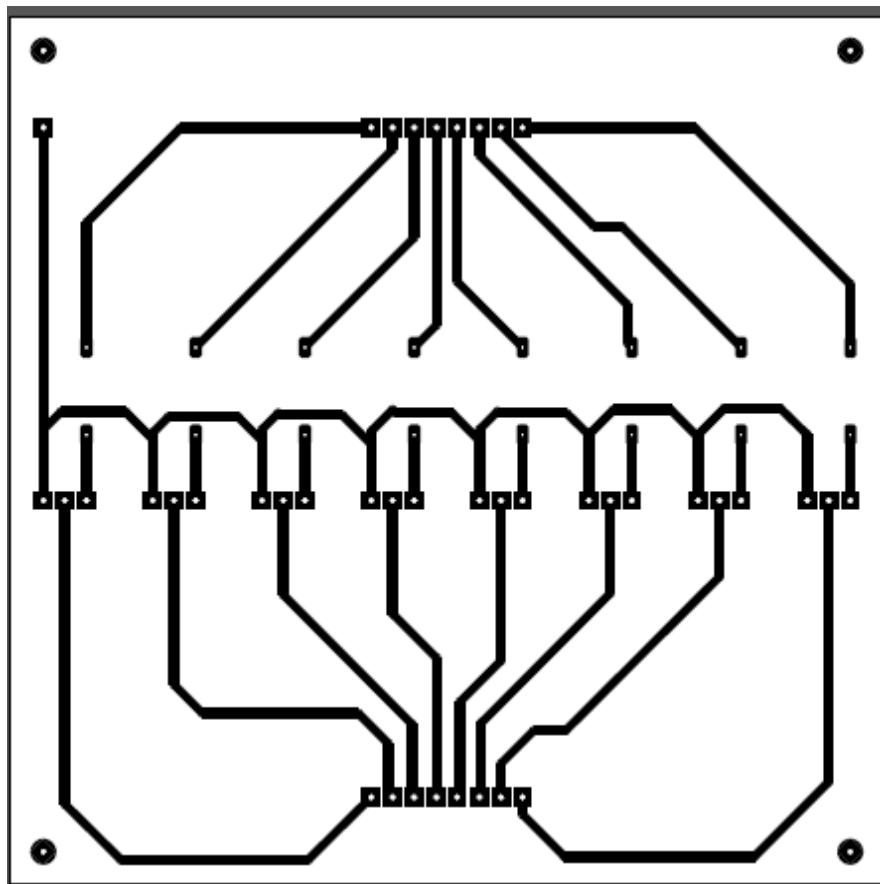
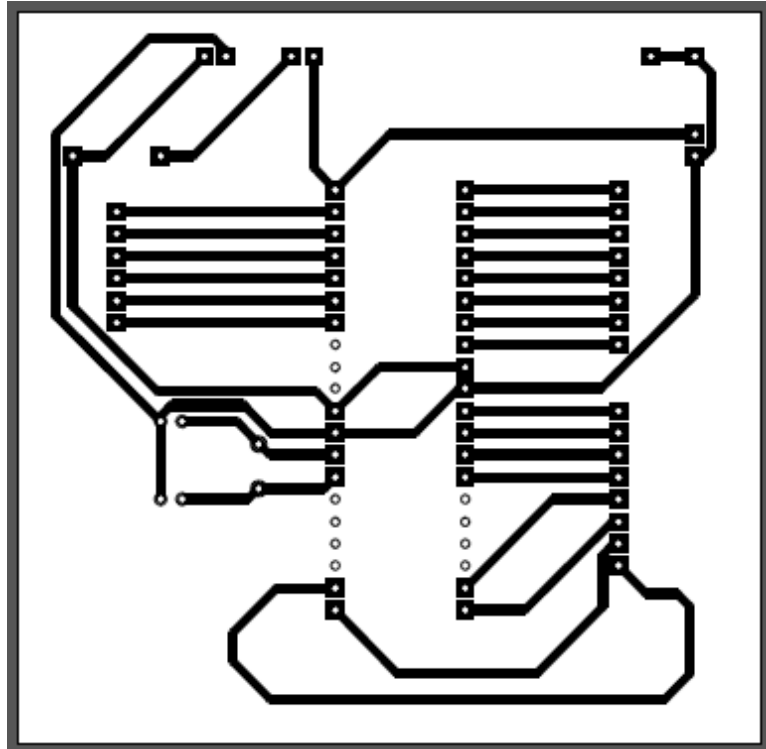
void motor_parar()
{

    PORTD = 0x12;
}
```

Apêndice C

Layout de impressão das placas de alimentação, sensores, pic e driver do motor respectivamente





Apêndice D

Programação para coleta de dados no Matlab

```
%CELSO HENRIQUE DE SOUZA LOPES
%REALIZADO EM 16/05/2016 AS 16:30.

%PROGRAMA PARA LEITURA DE TENSÃO DE SAIDA PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

clear;

a = arduino('COM10');

tempo = input('DIGITE POR QUANTOS SEGUNDOS QUER REALIZAR A LEITURA DE
TENSÃO: ');

disp('REALIZANDO A MEDIÇÃO...');
figure;

for ii = 1:tempo

    tensao(ii) = ((a.analogRead(0)*20) / 1023);

    plot(tensao);
    pause(tempo);
    xlabel('TEMPO EM SEGUNDOS')
    ylabel('AMPLITUDE DE TENSÃO')

end

disp('FIM DA MEDIÇÃO. ');
disp('PRESSIONE QUALQUER TECLA PARA TERMINAR O PROGRAMA. ');
pause;

% Desconectando do Arduino
delete(a);
```

