

GESEP – Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência



Título:

CONSTRUÇÃO DE UM SEGUIDOR SOLAR COM SENSOR DE POSIÇÃO

Autor:

ADRIANO DA SILVA ANTÔNIO

Orientador:

Prof. Dr. José Tarcísio de Resende

Membros:

Prof. Eng. Allan Fagner Cupertino

Prof. Paulo Fábio Figueiredo Rocha

Aprovação:

19 de Dezembro de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ADRIANO DA SILVA ANTÔNIO

**CONSTRUÇÃO DE UM SEGUIDOR SOLAR COM SENSOR DE
POSIÇÃO**

VIÇOSA
2013

ADRIANO DA SILVA ANTÔNIO

**CONSTRUÇÃO DE UM SEGUIDOR SOLAR COM SENSOR DE
POSIÇÃO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. José Tarcisio de Resende

VIÇOSA
2013

ADRIANO DA SILVA ANTÔNIO

**CONSTRUÇÃO DE UM SEGUIDOR SOLAR COM SENSOR DE
POSIÇÃO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 19 de Dezembro de 2013.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. José Tarcísio de Resende – Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Eng. Allan Fagner Cupertino – Membro Externo
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Paulo Fábio Figueiredo Rocha - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“O mais competente não discute, domina a sua ciência e cala-se.”

(Voltaire)

À minha mãe.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus, por ter colocado as pessoas certas em meu caminho, o que me faz a cada dia acreditar mais em meu sonho.

Entre essas pessoas destaco com imenso prazer a minha mãe Rita, pessoa no qual me ensinou que para a realização de um sonho, necessita-se de muito trabalho, honestidade e que não se pode abaixar a cabeça para as pequenas derrotas, pois são elas que fazem as nossas vitórias serem mais significativas.

Não posso deixar também de falar dos meus sobrinhos, André Victor e Raissa, e a minha namorada Samara, pois, os primeiros me dão força para não desistir, são eles que me fazem ter responsabilidade e que preciso ser exemplo, a segunda sempre me compreende nos momentos que preciso e me faz feliz.

As escolas pela quais eu estudei deixo meu imenso obrigado, são elas: E. M. Pedro Gomide Filho, E.M. Ministro Edmundo Lins, Colégio Equipe e o Colégio de Aplicação Universitário – Coluni, onde considero ter sido o “passo” mais importante em minha vida. Para finalizar e não menos importante, gostaria de agradecer ao João Bosco do cursinho pré-coluni aprovado, pessoa que considero ser quem confiou em mim pela primeira vez, e é claro, o departamento de Engenharia Elétrica – UFV pelo conhecimento transmitido.

Ao GESEP pela possibilidade de realizar trabalhos, onde fui muito bem orientado pelo meu professor e amigo, Heverton Augusto Pereira. Professor que não mede esforços para transmitir os conhecimentos adquiridos e confia no que faz.

Aos amigos de curso, Jason, Allan, João, Brenda, Tiago, Filipe, Michael, Eduardo, Babidi. Resumindo, todos que ingressaram em nosso curso nos anos de 2008 e 2009. Aos meus amigos especiais que trago com carinho a amizade desde a minha infância, onde nos auto denominamos os “PRG’s”, pessoas que me acolheram nos momentos difíceis e fizeram de minha vida um caminho com um menor número de obstáculos.

Finalizo agradecendo a minha segunda mãe, Inês Molica Vitarelli, que sempre acreditou em mim e sempre me trouxe confiança, pois, foi mais uma guerreira para lutar ao meu lado durante essa grande trajetória.

Resumo

A busca por fontes renováveis de energia é uma realidade na atual conjuntura política e social no qual vivemos. Nesse contexto a utilização de painéis solares fotovoltaicos tem se tornado uma alternativa viável economicamente, de maneira que sua inserção na matriz energética de muitos países já é uma realidade. A potência produzida por um painel fotovoltaico está diretamente relacionada com o nível de radiação solar incidente sobre a placa, e devido à ocorrência de mudanças atmosféricas, onde se destaca a variação da posição do sol em relação ao painel durante o dia, se faz necessário a utilização de seguidores solares para que o painel trabalhe sempre no ponto onde é possível captar o máximo de radiação fornecida pelo sol. Este trabalho tem o objetivo de estudar o ganho de energia elétrica produzida por um painel solar devido à utilização de um seguidor solar unidirecional. O protótipo construído possui um circuito de controle que faz o painel girar, após o acionamento de um motor de passo, além da possibilidade de monitorar todos os dados referentes ao desempenho do painel, através de uma interface gráfica desenvolvida. Além disso é possível realizar o envio de comandos ao circuito de controle do protótipo através da interface. Para validar a importância da utilização de seguidores solares será utilizado um painel estático, onde os seus dados também serão monitorados, para efeito de comparação com o painel móvel. Chegando a conclusão que a utilização de um seguidor solar para movimentar o painel fotovoltaico gera um acréscimo na energia produzida.

Abstract

The search for renewable sources of energy is a reality in the current political and social scenario we live. In this context the use of photovoltaic solar panels is inserted, where the solar radiation is captured and transformed into electrical energy. The power produced by a photovoltaic panel is directly related to the level of incident solar radiation on the panel, and because of the atmospheric changes during the day, where the variation of the position of the sun in relation to the panel stands out, becomes necessary the use of solar trackers to force the panel to work in a point where it is possible to capture the maximum radiation provided by the sun. In order to study the gain of energy produced by a panel when using a solar tracker, in comparison to a static one, this work proposes the construction of a prototype that intends to do the panel track the sun's movement. This prototype will have a control circuit that will rotate the panel with the actuation of a stepper motor, besides the possibility to monitor all the data related to the performance of the panel, which is sent to a computer that has an interface where you can view your and send some commands to the control circuit of the prototype. To validate the benefits of the use of solar trackers, it were monitored and compared the generation performance data between static and a dynamical panel. Reaching the conclusion that the use of a solar tracker to move the photovoltaic panel generates an increase in energy produced.

Sumário

<i>1</i>	<i>Introdução</i>	14
1.1	Evolução da Energia Solar no Mundo	15
1.2	Energia Solar no Brasil	17
1.3	Objetivo Geral	17
1.4	Motivação	18
1.5	Organização do Trabalho.....	18
<i>2</i>	<i>Revisão Bibliográfica</i>	19
2.1	Energia Solar	19
2.1.1	Rastreador Solar	20
2.1.2	Movimento solar.....	20
2.1.3	Tipos de Seguidores Solares.....	21
2.2	Microcontroladores.....	22
2.2.1	Microcontrolador PIC 18F4550	23
2.3	Relé.....	24
2.4	Transistor BC547.....	25
2.5	Motor de passo	26
2.5.1	Motor de passo a relutância variável	26
<i>3</i>	<i>Metodologia</i>	28
3.1	Equações.....	28
3.1.1	Sistema estático	29
3.1.2	Sistema sustentado por um seguidor solar movido em um eixo.....	30
3.1.3	Sistema sustentado por um seguidor solar movido em dois eixos	30
3.2	Protótipo	31
3.2.1	Acionamento e estratégia de controle.....	31
3.2.2	Aquisição de dados e montagem	32
3.2.3	Sistema de monitoramento	33
3.2.4	Características dos Painéis	34
3.3	Condições experimentais	35
<i>4</i>	<i>Resultados e discussões</i>	36
<i>5</i>	<i>Conclusões</i>	40
<i>6</i>	<i>Referências Bibliográficas</i>	41
<i>7</i>	<i>Anexo 1</i>	43

7.1	Resultados Inválidos.....	43
7.1.1	Resultados do primeiro dia.....	43
7.1.2	Resultados do segundo dia	43

Lista de Figuras

Figura 1 – Evolução do potencial energético fotovoltaico instalado no mundo [2].....	15
Figura 2 – Evolução de unidades de painéis instalados mundialmente entre 2012-2017 [2]...	16
Figura 3 – Previsão de crescimento do potencial fotovoltaico até 2017 [2].....	16
Figura 4 - A posição do sol pode ser descrita pelo ângulo de altitude β e o seu ângulo azimutal ϕ_s [17].	21
Figura 5 - Classificação de painéis solares quanto ao número de eixos rotativos: a) painel estático – 0 eixos, painel movido unidirecionalmente – 1 eixo, c) painel movido bidirecionalmente - 2 eixos [18].	21
Figura 6 - Fator de capacidade de radiação solar captada por sistemas estáticos e seguidores solares [19].....	22
Figura 7 – Arquitetura de um computador [20].....	23
Figura 8 – Pinos do PIC 18F4550 [23].....	24
Figura 9 – Exemplo de Relé [25].....	25
Figura 10 – BC547 a) Representação do transistor real. b) Simbologia adotada do transistor.	26
Figura 11 – Motor de passo a relutância variável [30].....	27
Figura 12 – Estrutura desenvolvida.	31
Figura 13 – Circuito de acionamento.	32
Figura 14 – Sensores. a) Sensor de posição. b) Sensor de corrente.	33
Figura 15 – Montagem.	33
Figura 16 – Interface Gráfica.....	34
Figura 17 – Instalação do Protótipo.....	36
Figura 18 – Dados apresentados na Interface Gráfica.	36
Figura 19 – Posição dos Painéis.	37
Figura 20 – Tensões dos painéis e bateria.	37
Figura 21 – Corrente produzida pelos painéis.	38
Figura 22 – Potência produzida pelos painéis na prática e na teoria.	38
Figura 23 – Potência produzida pelos painéis na prática entre 12 e 13 horas.	39
Figura 24 – Potência produzida pelos painéis no primeiro dia inválido.	43
Figura 25 – Potência produzida pelos painéis no segundo dia inválido.....	44
Figura 26 – Potência produzida pelos painéis no segundo dia inválido entre às 14 e 15 horas.	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Características dos seguidores solares.	22
Tabela 2 – Características do motor de passo utilizado.	31
Tabela 3 – Características dos painéis solares.	34
Tabela 4 – Valores médios encontrados.	39

1 Introdução

O sol fornece para a atmosfera terrestre $1,5 \cdot 10^{18}$ KWh de energia anualmente, cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia [1]. Parte dela é responsável pela manutenção da vida na terra e outra pequena parte utilizada como fonte renovável para a produção de energia elétrica. Do total de energia solar que atinge a atmosfera terrestre, apenas $5,96 \cdot 10^{-5}\%$ é utilizada para a produção de energia elétrica, já que em 2012 possuíamos uma capacidade instalada mundial de energia fotovoltaica de 102,16 GW [2]. Valores que possuem pouca expressão na matriz energética mundial.

Mediante a esses números, pode-se perceber que ainda é possível aproveitar a energia solar em uma escala muito maior como fonte de energia limpa e renovável para a produção de energia elétrica, o que não ocorre devido aos baixos incentivos governamentais e ao alto custo relacionado ao baixo rendimento na produção de energia. Como consequência disso pode-se citar a falta de investimentos no primeiro leilão de energia solar ocorrido no dia 18/11/2013 no Brasil [3].

Ainda não se pode afirmar que a utilização da energia solar se configura como a solução definitiva para o problema de produção de energia mundial, mas vários ganhos com sua utilização são possíveis [4]:

- A descentralização da geração, ficando acessível em lugares remotos;
- Facilidade para efetuar a instalação, transmissão e uma manutenção quase que inexistente;
- Boa durabilidade quando se trata da vida útil dos painéis solares.

Além das características anteriormente citadas e considerando um cenário favorável para a utilização de energia fotovoltaica, onde se destaca o investimento governamental, pode-se afirmar que a utilização da energia solar tende a crescer. Por exemplo, as primeiras células foram produzidas com o custo de U\$\$ 600,00/W para os programas espaciais. Com a ampliação de mercados e várias empresas voltadas para a produção de células fotovoltaicas, pode ser encontrada hoje, para aplicações em grandes escalas, células pelo valor médio de U\$\$ 2,43/W [5].

A produção de energia utilizando como fonte painéis fotovoltaicos ainda tem muito a ser estudado.

Mas é consenso que ela se tornará uma das principais fontes a complementar os meios já existentes, dando aos consumidores a possibilidade de gerar eletricidade em sua própria casa,

reduzindo os gastos com a conta de luz e contribuindo para o desenvolvimento de um planeta mais sustentável.

1.1 Evolução da Energia Solar no Mundo

Um estudo divulgado na coleção de dados do setor fotovoltaico nas indústrias, concessionárias de energia, agências e associações nacionais de energia, feito pela EPIA (European Photovoltaic Industry Association) demonstram a evolução da capacidade instalada mundial de energia fotovoltaica entre os anos de 2000 e 2012 [2].

Na Figura 1 é possível ver que nos últimos 13 anos houve um grande crescimento da capacidade instalada mundial. Todos os valores são dados em GW.

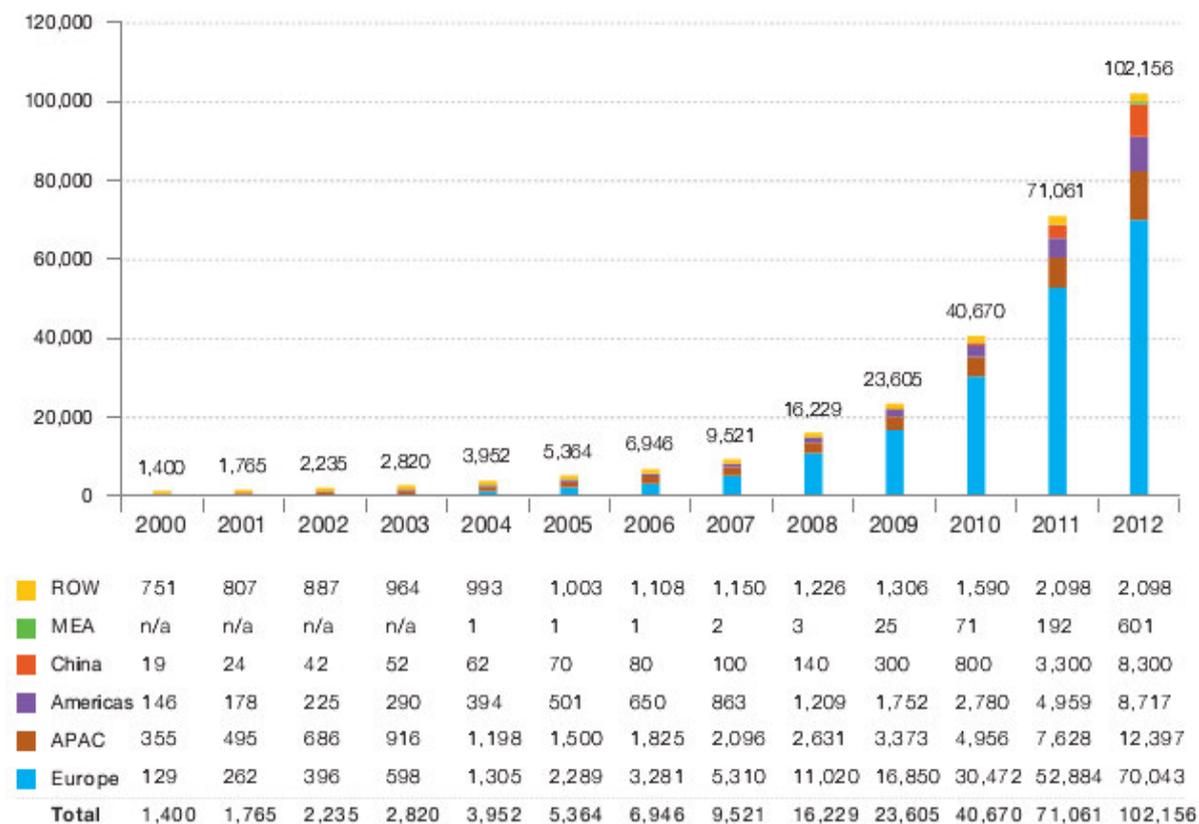


Figura 1 – Evolução do potencial energético fotovoltaico instalado no mundo [2].

Deve-se destacar que dentre as diferentes tecnologias de geração, a fotovoltaica atualmente é a que cresce mais rápido no mundo. Crescimento estimulado principalmente pela Alemanha e Itália, países que possuem cerca de 80% da capacidade mundial instalada.

O EPIA também disponibiliza uma previsão de crescimento em unidades de painéis instalados, considerando dois cenários, sendo o primeiro para um cenário mais otimista, onde

haveria incentivos e políticas dirigidas para a instalação de painéis em telhados nas residências de todo o mundo, e o segundo mais moderado, sem incentivos fiscais. Este estudo é apresentado logo abaixo na Figura 2. É possível notar que nos dois casos o ganho foi positivo.

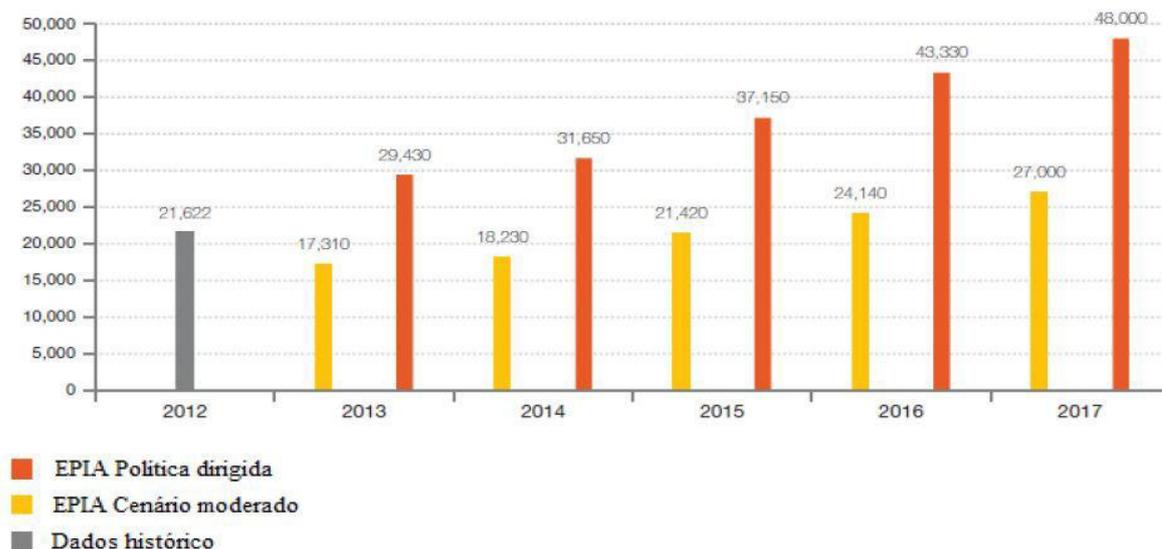


Figura 2 – Evolução de unidades de painéis instalados mundialmente entre 2012-2017 [2].

O aumento no número de painéis instalados, ocasionará como resultado natural o aumento da potência fotovoltaica instalada mundialmente, como se pode notar na Figura 3.

É possível perceber que o ganho da potência instalada mais uma vez foi positivo, obtendo um crescimento de mais de quatro vezes em relação a potência instalada em 2012 para um cenário político favorável.

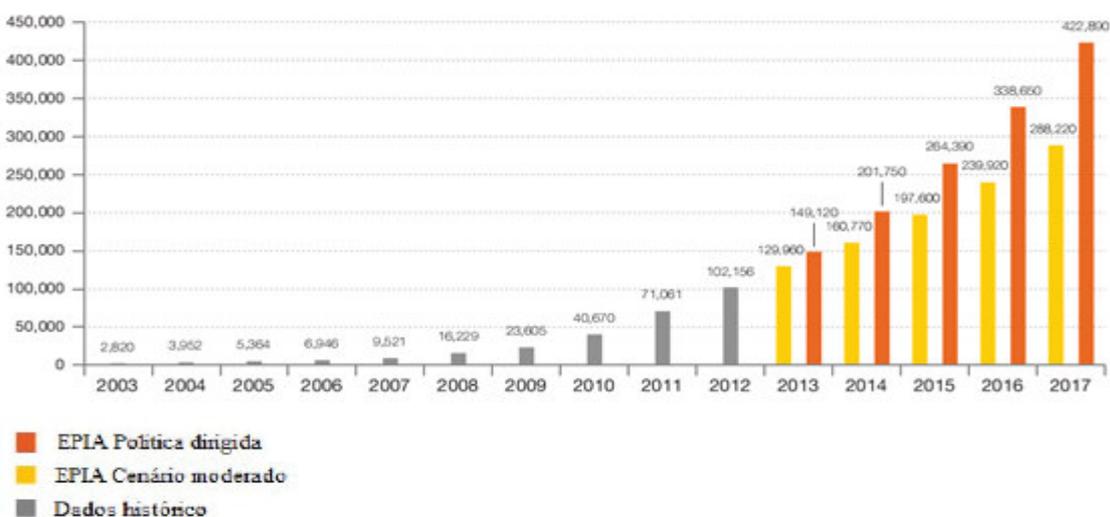


Figura 3 – Previsão de crescimento do potencial fotovoltaico até 2017 [2].

1.2 Energia Solar no Brasil

O Brasil possui atualmente um total de 2.096 empreendimentos em operação, que gera um total de 124.307.721 KW de potência. Destes, apenas 14 empreendimentos são de energia fotovoltaica que geram um total de 2.617 KW de potência, um valor ínfimo comparado com o valor total de energia gerada [6].

Mesmo que contenha na matriz energética brasileira pouca energia oriunda de fontes fotovoltaicas, o governo já se prepara para uma possível mudança nesse cenário. Em 17/04/2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a Resolução Normativa (RN) 482 onde regulamenta a micro e mini produção de energia, onde a energia elétrica de fonte solar entra como um dos principais destaques na produção por parte dos consumidores residenciais, comerciais e industriais, sendo os adeptos obrigados a adequarem os medidores de energia para um modelo que faz medições bidirecionais [7].

Os consumidores que adotarem esse modelo de produção poderão obter créditos das concessionárias ao enviarem o excedente da produção de energia para a rede da empresa, sendo esses créditos válidos no prazo de 36 meses [7].

Além dos consumidores, que adotarem a micro ou mini geração de energia, economizarem nos gastos com a concessionária, acredito eles terão a possibilidade de não variar sua rotina ao aderir a nova forma de tarifa, a “Tarifa Branca” que será opcional a partir de janeiro de 2014, para os consumidores residenciais e comerciais, gerando assim mais economia e conforto, pois, a Tarifa Branca prevê tarifas diferentes ao consumidor no gasto de energia elétrica durante o dia, estabelecendo preços mais altos nos horários de pico, preços intermediários uma hora antes e uma hora depois do horário de pico e o preço mais baixo nos demais horários ou feriados [8], com o objetivo de mudar o horário em que o consumidor gasta mais energia, ou seja, ao aderir esse novo sistema tarifário ele não terá que se preocupar em economizar energia nos horários de pico como um consumidor normal.

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo aprimorar um protótipo existente, que tem a função de seguir o deslocamento diário do sol, servindo como suporte para um painel solar que produz energia elétrica. Para a análise será utilizado um painel estático, para que seja feita a comparação da energia produzida por ambos os painéis durante o mesmo espaço de tempo e

sobre as mesmas condições. Para que seja facilitado a visualização dos dados, será construído uma interface utilizando o *Guide/Matlab*, que receberá os dados de tensão, corrente e posição do painel móvel, além de poder enviar comandos para o circuito de controle, que terá a função de movimentar um motor de passo e conseqüentemente o painel móvel. Será possível também a criação de um banco de dados onde estará todas as variáveis do processo, para que no futuro, se necessário, seja feita comparações da eficiência do processo, considerando algumas situações constantes, seja ela, o mesmo período do ano ou até mesmo se o dispositivo ainda apresenta boas condições de uso.

1.4 Motivação

Dado o objetivo geral, este projeto tem a seguinte motivação:

Realizada as comparações, será possível afirmar se a utilização de um rastreador solar otimiza a energia produzida, e sobre quais condições é aconselhável introduzir esse dispositivo no processo de produção de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos.

Com a criação da interface gráfica será possível o acompanhamento instantâneo das variáveis do processo, trazendo a comodidade da ausência de deslocamento até o dispositivo e a utilização de aparelhos de medições para que seja conhecido como está o funcionamento do equipamento.

1.5 Organização do Trabalho

Primeiramente será realizada a revisão bibliográfica a respeito do processo de transformação da energia solar em energia elétrica com o uso de painéis solares fotovoltaicos. Serão mostrados os tipos de seguidores solares existentes e como a posição do painel em relação aos raios solares afetam na produção de energia elétrica.

Na segunda parte será apresentada a metodologia utilizada para se alcançar os objetivos do trabalho.

Finalmente, serão apresentados os resultados obtidos com o protótipo construído, onde será feita uma discussão comparando os resultados do painel sobre o rastreador solar e o painel estático.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Energia Solar

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz solar em eletricidade através do Efeito Fotovoltaico. Em 1839, Edmond Becquerel, observou o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz, a esse fenômeno ele denominou Efeito Fotovoltaico [9].

A célula fotovoltaica é a unidade fundamental e o dispositivo mais importante de todo o sistema, pois ela é responsável pelo processo de conversão de energia solar em energia elétrica [9].

Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são os mais sensíveis, ou seja, aqueles que geram o maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela de energia fornecida pelos raios do sol está dentro da faixa visível do espectro. Existe todo um processo para que o material semicondutor se transforme realmente em uma célula fotovoltaica. O que ocorre, de uma maneira geral, é que o semicondutor deve passar por uma etapa de purificação e, em seguida, por uma etapa de dopagem, através da introdução de impurezas, dosadas na quantidade certa. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo os principais tipos constituídos de silício monocristalino, silício multicristalino, filmes finos, silício amorfo e células com concentração [9].

Uma única célula fotovoltaica isoladamente, tem capacidade de produção de energia elétrica, tipicamente entre 1 e 2 W, correspondente a uma tensão de 0,5 V e uma corrente entre 2 e 4 A. Portanto, para atingir determinados níveis de tensão e corrente, faz-se necessária a associação de várias células através de ligações série e paralelo, formando assim os painéis fotovoltaicos [10].

O número de células em um painel é determinado pelas necessidades de tensão e corrente da carga a alimentar. Normalmente um módulo fotovoltaico é constituído por cerca de 33 a 36 células ligadas em série [10].

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela

atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa [9].

2.1.1 Rastreador Solar

Para melhorar o rendimento da energia produzida por painéis fotovoltaicos, com a finalidade de atrair incentivos e diminuir o custo relacionado a produção de energia, uma das possibilidades é a inserção de um sistema capaz de seguir o sol durante o dia, dispositivo conhecido como seguidor solar, que tem como objetivo aumentar a absorção da energia proveniente do sol [11], fazendo com que os raios solares sempre incidam perpendicularmente ao plano do painel, otimizando a potência elétrica produzida pelo módulo, já que o desempenho de um sistema de geração de energia elétrica está diretamente relacionada com a temperatura e radiação incidente sobre o coletor do painel [12], pois, o movimento diário do sol prejudica a captação de radiação por dispositivos estáticos [13].

Artigos técnicos dão conta de que através do rastreamento solar, particularmente no verão, a eficiência dos painéis pode atingir valores acima de 50% enquanto em outras épocas do ano como o outono, valores maiores que 20% são atingidos, dependendo da tecnologia usada [14].

O desenvolvimento de um sistema rastreador necessita de considerações em relação à variação da radiação, que é diretamente relacionada a posição geográfica. Mas o princípio básico de um seguidor solar é permitir que o ângulo de incidência dos raios solares sejam sempre perpendiculares ao plano do módulo. Isso permite um melhor aproveitamento da energia solar incidente [15] [16].

2.1.2 Movimento solar

O ponto a ser analisado é a localização do sol durante o dia. Ela pode ser descrita em termos da altitude β e o ângulo azimutal ϕ_s , como apresentado na Figura 4 [17]. O azimute é o ângulo da projeção do sol com o norte, enquanto a altitude solar é o ângulo que o sol faz com o plano horizontal.

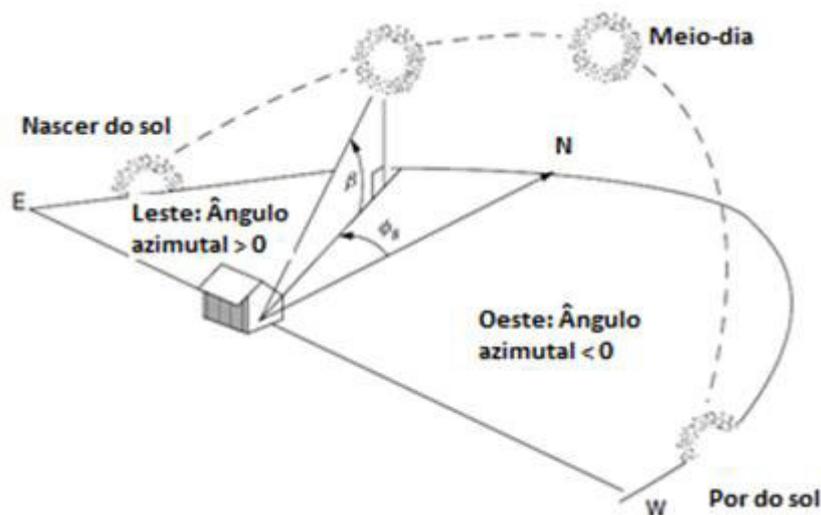


Figura 4 - A posição do sol pode ser descrita pelo ângulo de altitude β e o seu ângulo azimutal ϕ_s [17].

Durante a manhã o ângulo do azimute é positivo, quando o sol se encontra no leste, e negativo durante as tardes, quando o sol se encontra no oeste, estes ângulos são importantes para a construção do seguidor.

2.1.3 Tipos de Seguidores Solares

Os seguidores solares que se classificam quanto ao número de eixos rotativos, o tipo de estrutura para a sustentação do painel fotovoltaico e o tipo de controle para o seu movimento [18], na Figura 5 é apresentada as classificações de seguidores solares quanto ao número de eixos rotativos:

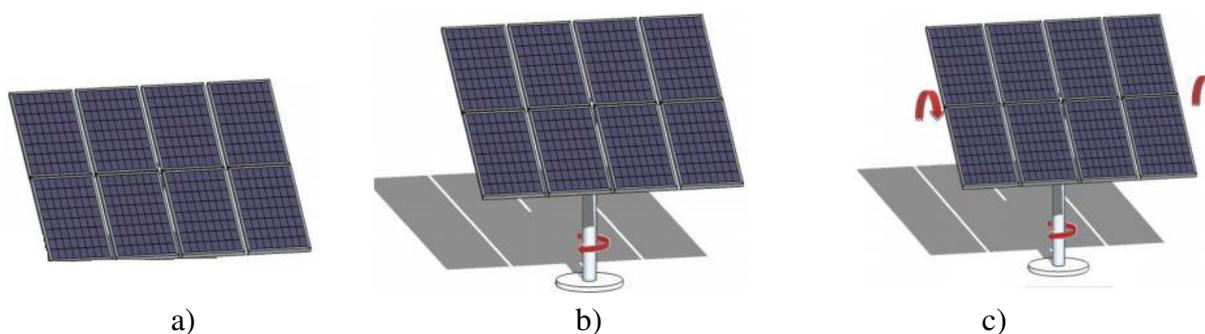


Figura 5 - Classificação de painéis solares quanto ao número de eixos rotativos: a) painel estático – 0 eixos, painel movido unidirecionalmente – 1 eixo, c) painel movido bidirecionalmente - 2 eixos [18].

As diferenças quanto a utilização de cada um dos casos anteriores são dadas pelo tipo de mecânica e controle, custo, precisão e área de terreno ocupada. Essas características são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos seguidores solares [18].

TIPO/CARACTERÍSTICAS	MECÂNICA E CONTROLE	CUSTO	PRECISÃO	ÁREA DE TERRENO OCUPADO
PAINEL ESTÁTICO	Nenhum	Nenhum	Baixa	Baixa
1 EIXO	Simple	Baixo	Médio	Baixa
2 EIXOS	Complexo	Alto	Alto	Alta

Na Figura 6 é apresentado um estudo comparativo sobre o ganho de captação de radiação para painéis fixos e moveis em um e dois eixos, em todos os casos este ganho foi positivo [19].

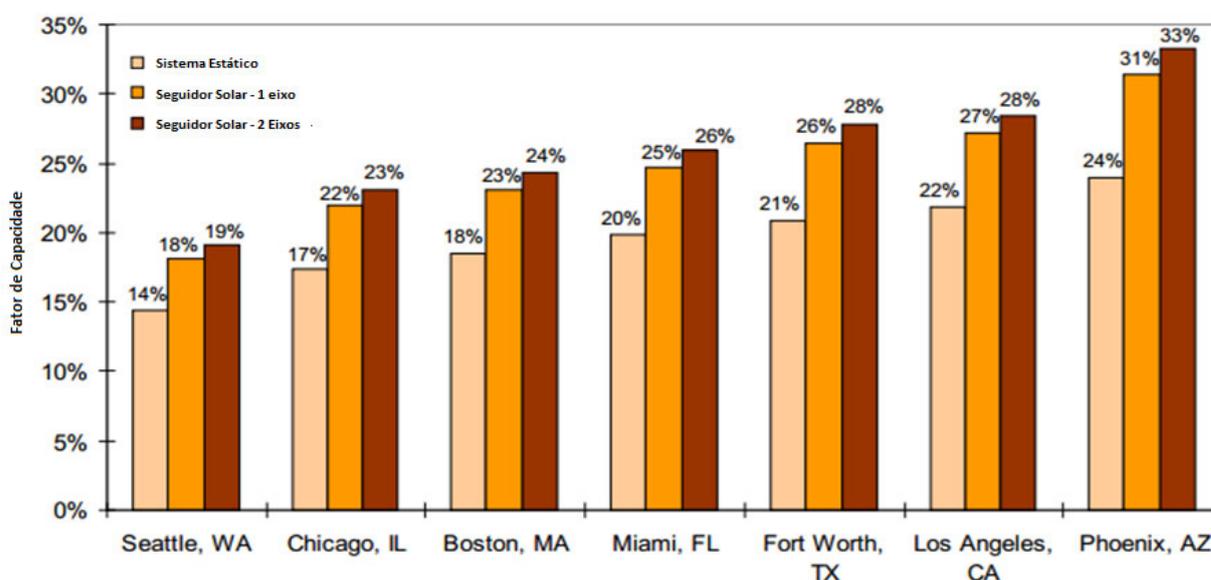


Figura 6 - Fator de capacidade de radiação solar captada por sistemas estáticos e seguidores solares [19].

2.2 Microcontroladores

Um microcontrolador é um computador diferente do computador de mesa em relação ao tamanho e em relação ao número de programas diferentes que podem ser executados, mas ambos possuem várias características em comum, dentre elas se pode citar: uma CPU que executa programas; memória RAM onde se pode armazenar variáveis e alguns dispositivos de

entrada e saída para interagir com as pessoas [20]. Um esquema geral é apresentado na Figura 7.

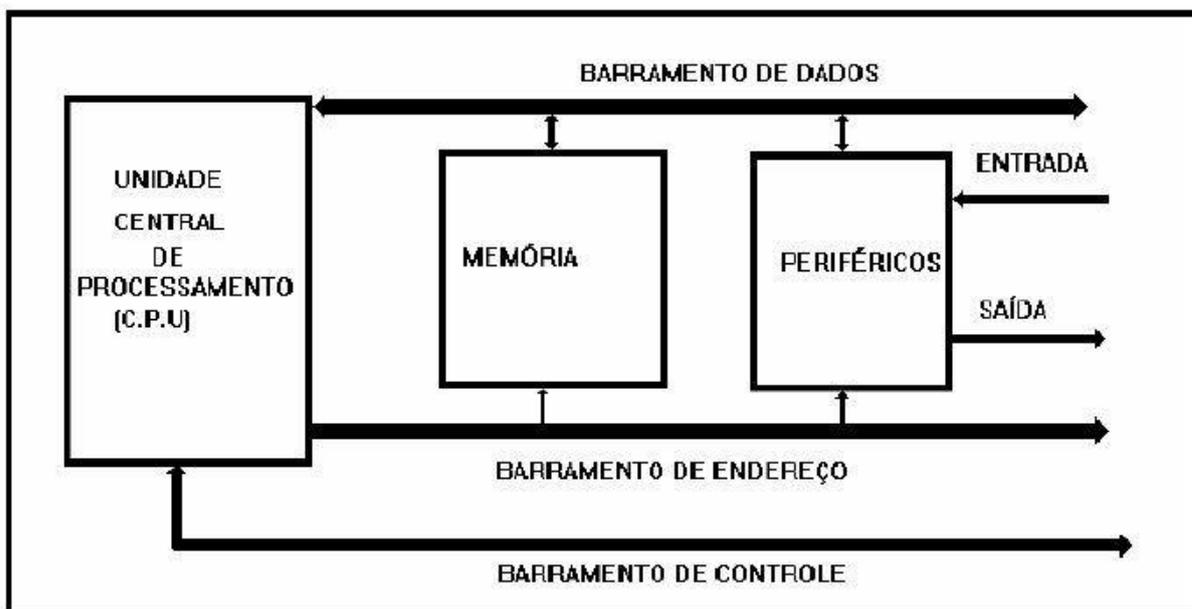


Figura 7 – Arquitetura de um computador [20].

Os Microcontroladores se originaram na universidade de Harvard como um projeto do Departamento de Defesa. A arquitetura Harvard foi primeiramente adotada pela *General Instruments* para uso como interface controladora de periféricos [21] e são providos de memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída, temporizadores, contadores, comunicação serial, PWM, ADCs, comunicação USB, interrupções, etc [22].

Os programas internos dos microcontroladores são produzidos através de outros programas, utilizando linguagens de programação conhecidas, tais como *Assembly* e *C*, que, posteriormente são compilados e seus arquivos gerados inseridos nos circuitos integrados através de dispositivos denominados “gravadores” [20].

2.2.1 Microcontrolador PIC 18F4550

O PIC 18F4550 da *microchip* apresenta 32 Kbytes de memória flash para armazenamento de memória de programa, 256 bytes de memória de dados EEPROM, 35 pinos configuráveis como entrada ou saídas digitais, em um total de 40 pinos, frequência de operação máxima de 48 MHz e periféricos avançados de comunicação serial e porta de comunicação USB [23]. O esquema geral desse componente está apresentado na Figura 8:

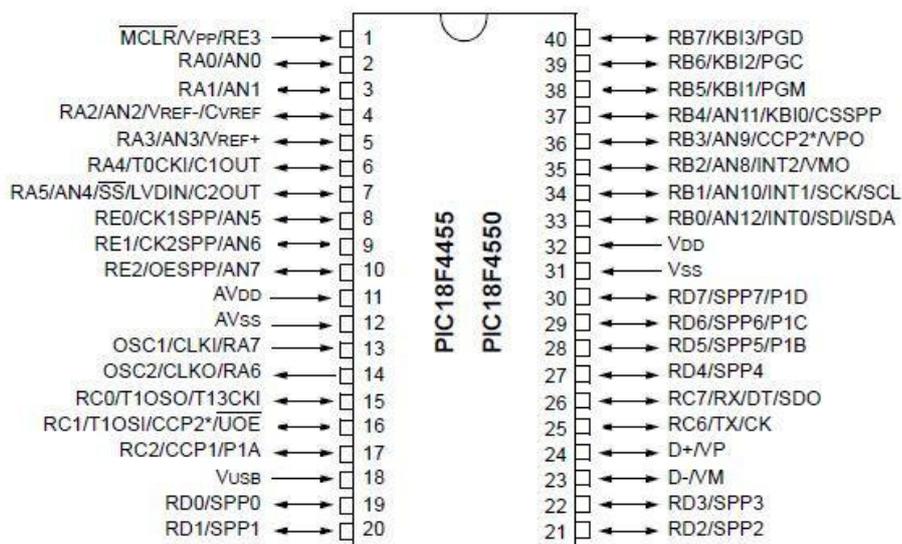


Figura 8 – Pinos do PIC 18F4550 [23].

2.3 Relé

Um relé é um interruptor acionado eletricamente. A movimentação física deste "interruptor" ocorre quando a corrente elétrica percorre as espiras da bobina do relé, criando assim um campo magnético, que por sua vez atrai a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos [24].

Para que ocorra a mudança no estado do contato é necessário que a tensão aplicada na bobina do relé seja pelo menos igual ao que indica o fabricante, pois, tensões menores não geram a corrente necessária para que seja criado o campo magnético suficiente para atrair a chave.

O estado de repouso pode ser normalmente fechado (NF) ou normalmente aberto (NA), a depender da função do relé no circuito. Quando a bobina recebe a corrente elétrica, a armadura movimenta-se em direção ao núcleo, atraída pelo campo magnético gerado, movimentando mecanicamente o contato ou contatos ligados a esta armadura. No instante em que a força magnética gerada pela circulação de corrente na bobina se torna maior que a força das molas, o contato é atraído fisicamente, sai do estado de repouso e muda a condição do circuito para aberto (se for normalmente fechado) ou fechado (se for normalmente aberto). Quando a circulação de corrente através da bobina cessa, a bobina é deserneizada e o contato volta ao estado de repouso por força da mola [24]. Na Figura 9 é mostrado um exemplo de ligação do

relé da Metaltex que é acionado com tensão de 12v e se encontra com a chave na posição normalmente fechada:

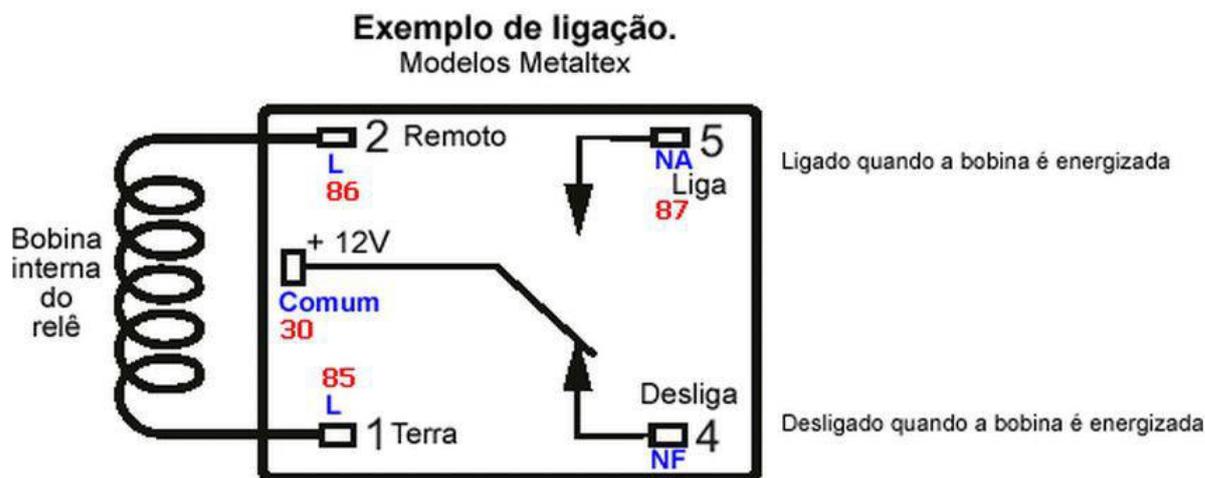


Figura 9 – Exemplo de Relé [25].

2.4 Transistor BC547

O transistor BC547 pertence aos transistores bipolares do tipo NPN e funciona como uma chave de liga e desliga. Estes transistores deixam passar uma corrente entre dois terminais, chamados coletor e emissor, quando se faz passar uma corrente muito menor por um terminal chamado base. A corrente que passa entre o coletor e emissor é de 110 a 800 vezes maior que a corrente que chega na base. Este número é dado pelo fabricante e tem o nome de h_{fe} [26].

Para garantir que o dispositivo não seja queimado é necessário a inserção de uma resistência entre a fonte de tensão e o pino de base do transistor, pois, a base e o emissor desse dispositivo funcionam como um diodo, fazendo com que ocorra uma queda de tensão de aproximadamente 0,6V. Para que o restante da tensão não seja aplicada direto ao emissor, podendo este estar ligado direto ao terra, se faz necessário a aplicação do resistor, acumulando toda essa tensão e fazendo com que a corrente de base diminua [26].

Na Figura 10 está apresentado o transistor, demonstrando os seus pinos por 1, 2 e 3, ou seja, emissor (E), base (B) e coletor (C) respectivamente.

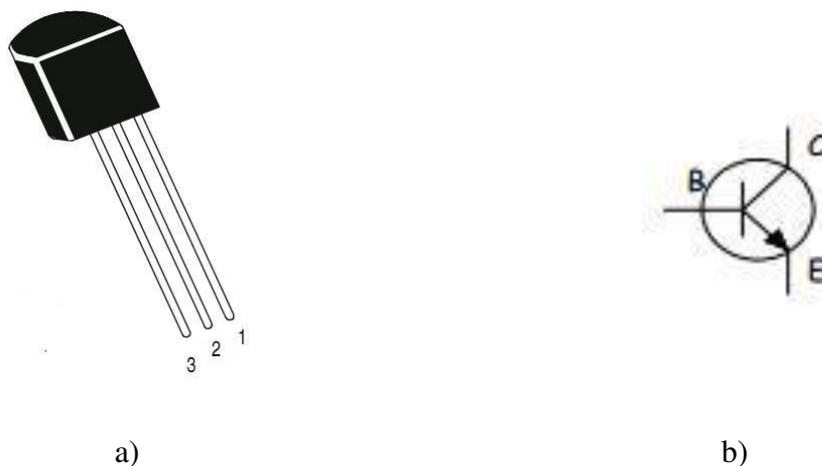


Figura 10 – BC547 a) Representação do transistor real. b) Simbologia adotada do transistor.

2.5 Motor de passo

Os motores de passos são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas [27]. O rotor é acionado em pequenos movimentos angulares, o que chamamos de “passos”. Os passos ocorrem quando sinais elétricos são aplicados em uma determinada sequência nas bobinas do motor, fazendo com que o motor gire em um sentido e no sentido contrário se a ordem da aplicação dos pulsos elétricos também serem invertidas.

A velocidade que o rotor gira é dado pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados [28].

2.5.1 Motor de passo a relutância variável

As máquinas a relutância variável são as mais simples das máquinas. Apresentam um estator com enrolamentos de excitação e um rotor magnético com saliências. Os condutores do rotor não são necessário porque o conjugado é produzido pela tendência do rotor a se alinhar com a onda de fluxo produzida pelo estator [29]. É apresentado na Figura 11 um motor de passo a relutância variável com 4 bobinas:

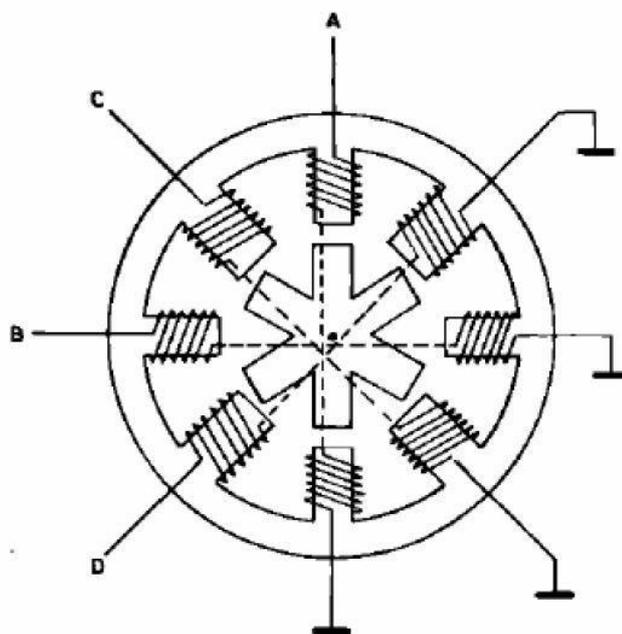


Figura 11 – Motor de passo a relutância variável [30].

3 Metodologia

A metodologia utilizada para alcançar o objetivo deste projeto é dividida em três partes fundamentais. A primeira é a demonstração das equações utilizadas para o cálculo dos valores de potência teóricos produzidos pelos painéis em função da data e das condições de instalação das mesmas. A segunda parte será apresentado o protótipo construído e para finalizar será demonstrados as condições experimentais nas quais foram realizada os testes.

3.1 Equações

A produção de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos é possível com a presença da radiação solar, por esta razão se faz necessário saber em qual horário o sol nasce e em qual horário ele se põe, evitando assim o desperdício de energia na utilização do sistema de controle. Essas situações são dadas por Eq.(3) e Eq.(4), onde δ é o ângulo de declinação solar, L a latitude do local onde o dispositivo está sendo instalado, n o número do dia no ano, H_{SR} uma variável auxiliar, $H_{nascente}$ horário em que o sol nascerá e H_{poente} horário no qual o sol irá se pôr [17]:

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \quad (1)$$

$$H_{SR} = \cos^{-1} [-\text{tg}(L) \text{tg}(\delta)] \quad (2)$$

$$H_{nascente} = 12 - \frac{H_{SR}}{15} \quad (3)$$

$$H_{poente} = 12 + \frac{H_{SR}}{15} \quad (4)$$

É apresentado a seguir as equações que calculam o máximo valor teórico de radiação absorvida pelo painel em cada um dos três casos, são eles: para o painel estático e sustentado por um seguidor solar de 1 eixo e 2 eixos. Esses valores são importantes e é apresentado na interface gráfica em função do valor de potência produzida. Os painéis fotovoltaicos produzem o valor nominal de potência do painel a cada 1000 W/m² de radiação absorvida.

3.1.1 Sistema estático

Como os sistemas estáticos não acompanham o sol durante o seu movimento diário, em maior parte do tempo eles não captam o máximo da radiação disponível pelo sol, já que para um mesmo nível de radiação, o raio solar incidirá em uma área superior neste painel do que em painéis móveis, ou seja, a potência elétrica será menor. A radiação máxima captada para um dia qualquer é dado por Eq.(16) [17]:

$$m = \frac{1}{\text{sen}(\beta)} \quad (5)$$

$$A = 1160 + 75 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (6)$$

$$k = 0,174 + 0,035 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (7)$$

$$I_b = A e^{-km} \quad (8)$$

$$\theta = \cos^{-1} [\cos(\beta) \cos(\phi_s - \phi_c) \text{sen}(e) + \text{sen}(\beta) \cos(e)] \quad (9)$$

$$I_{bc} = I_b \cos(\theta) \quad (10)$$

$$C = 0,095 + 0,04 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (11)$$

$$I_{dh} = C I_b \quad (12)$$

$$I_{bh} = I_b \text{sen}(\theta) \quad (13)$$

$$I_{dc} = I_{dh} \left[\frac{1 + \cos(e)}{2} \right] \quad (14)$$

$$I_{rc} = \rho I_b (C + \text{sen}(\beta)) \left[\frac{1 - \cos(e)}{2} \right] \quad (15)$$

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc} \quad (16)$$

Onde m é a relação de massa de ar, A a insolação extraterrestre aparente, k a profundidade ótica da atmosfera, I_b a insolação incidente sobre a superfície extraterrestre, β o ângulo de altitude solar, θ o ângulo de incidência, ϕ_s o ângulo azimutal solar, ϕ_c o ângulo

azimutal do coletor, e o ângulo de inclinação do coletor, I_{bc} a insolação incidente diretamente sobre o coletor, C o fator de difusão do céu, I_{dh} a componente difusa de insolação sobre uma superfície horizontal, I_{bh} a componente direta incidente sobre uma superfície horizontal, I_{dc} a insolação refletida pelo solo, ρ a refletância do solo, I_{rc} a insolação difusa na atmosfera e I_c a radiação absorvida pelo painel fotovoltaico.

3.1.2 Sistema sustentado por um seguidor solar movido em um eixo

Para os sistemas movidos em um eixo, como o desenvolvido neste trabalho, as equações são simplificadas e a radiação absorvida pelo painel fotovoltaico é dada pela Eq. (20) [17]:

$$I_{bc} = I_b \cos(\delta) \quad (17)$$

$$I_{dc} = CI_b \left[\frac{1 + \cos(90 - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (18)$$

$$I_{rc} = \rho(I_{bh} + I_{dh}) \left[\frac{1 - \cos(90 - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (19)$$

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc} \quad (20)$$

3.1.3 Sistema sustentado por um seguidor solar movido em dois eixos

As equações para os painéis fotovoltaicos movidos nos dois eixos também são simplificadas, tal situação não foi utilizada na prática, mas esses resultados teóricos são apresentadas na interface para efeito de comparação. A radiação máxima teórica absorvida por painéis movidos nos dois sentidos é dada pela Eq. (24) [17]:

$$I_{bc} = I_b \quad (21)$$

$$I_{dc} = CI_b \left[\frac{1 + \cos(90 - \beta)}{2} \right] \quad (22)$$

$$I_{rc} = \rho(I_{bh} + I_{dh}) \left[\frac{1 - \cos(90 - \beta)}{2} \right] \quad (23)$$

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc} \quad (24)$$

3.2 Protótipo

O protótipo foi construído fundamentado em baixo custo e na simplicidade. Ele é movido por um eixo e permite o ajuste manual da inclinação do painel. A base é de ferro, adicionado a um rolamento para reduzir a força do motor de passo necessária para mover a estrutura. O restante do dispositivo, que fica sobre uma estrutura de madeira, é feita de alumínio, leve e capaz de suportar o painel solar. Logo acima do rolamento existe uma engrenagem semelhante ao que pode ser encontrado em uma máquina de lavar roupa [31]. Este equipamento faz contato com o motor através de uma outra roda menor que a primeira ligada a uma correia. Todo esse conjunto é colocado dentro de uma embalagem de plástico coberta por papel alumínio, protegendo o dispositivo da chuva e não deixando que os raios solares atinjam o circuito de controle, que também é colocado dentro dessa mesma vasilha. A Figura 12 exhibe a estrutura desenvolvida, na Tabela 2 é possível ver as características do motor de passo a relutância variável.



Figura 12 – Estrutura desenvolvida.

Tabela 2 – Características do motor de passo utilizado.

MOTOR DE PASSO	
Tensão	9 V
Corrente	1,2 A
Bobinas	4
Passo	1,8°

3.2.1 Acionamento e estratégia de controle

Para o acionamento do motor de passo é utilizado um microcontrolador PIC 18F4550, que tem o objetivo de acionar um dos quatro relés a cada 80 segundos, para assim alimentar uma das bobinas do motor durante 5 segundos, fazendo com que o motor gire um passo à frente

e, conseqüentemente, o painel gire $0,33^\circ$. Essa diferença de deslocamento angular entre o motor e painel se deve a proporção da medida dos raios dos rolamentos ser igual a 5,42. O circuito de acionamento onde estão o microcontrolador e os relés está apresentado na Figura 13:



Figura 13 – Circuito de acionamento.

3.2.2 Aquisição de dados e montagem

Para a leitura dos valores de corrente, que estão sobre cada painel, é utilizado um módulo medidor sensor de corrente Acs712 Arduino Pic Id891, que a cada 1A de corrente que passa entre seus pinos incrementa 185 mV em sua saída. Este sinal é capturado por um dos pinos do microcontrolador para a conversão A/D e enviado para o computador via USB. O envio dos valores de tensão também são realizadas pelo microcontrolador, o sinal de tensão é capturado pelo microcontrolador após passar por um circuito de divisão de tensão.

Para monitorar a posição que se encontra o painel móvel foi colocado um potenciômetro em sua base, que tem a finalidade de variar a tensão de saída a cada deslocamento do painel, tensão que também é lida pelo PIC e enviado ao computador, após algumas operações matemáticas onde se calcula a posição do painel (P) em função da tensão de saída do potenciômetro (v), que é dada pela Eq. (25):

$$P(^{\circ}) = 70,3125t(v) - 111,0937 \quad (25)$$



Figura 14 – Sensores. a) Sensor de posição. b) Sensor de corrente.

Especificados todos os materiais utilizados no protótipo para medição e controle é apresentado na Figura 15 uma ilustração geral das ligações:

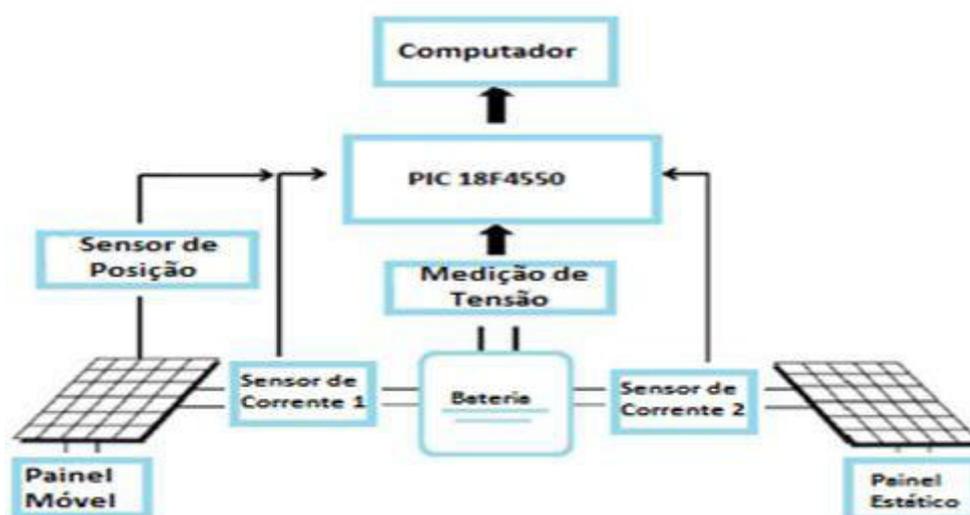


Figura 15 – Montagem.

3.2.3 Sistema de monitoramento

Para facilitar o monitoramento do desempenho do painel móvel e fixo foi construído uma interface gráfica no *guide/MatLab*, como apresentado na Figura 16. Nessa interface é possível observar a hora em que o sistema foi ligado e quantos dados já foram captados da conexão USB. Logo abaixo é apresentado onde se deve colocar os dados de entrada do processo, primeiro é realizado a escolha de qual porta foi criada, quando foi realizada a conexão USB e os dados referentes a instalação do protótipo, são elas: a latitude (L), ângulo azimutal do coletor (ϕ_c), a inclinação do painel solar (e), a refletância do solo (ρ) e para finalizar a potência nominal do painel que é utilizado no teste, com a inserção dos dados realizada basta apertar o botão *Start*

que o sistema de controle inicia o seu trabalho, então a interface mostra os dados práticos por meio gráfico e os valores instantâneos, além de mostrar a potência teórica que o painel estaria produzindo considerando as Eq. (1) a Eq. (24) e potência nominal do painel utilizado.

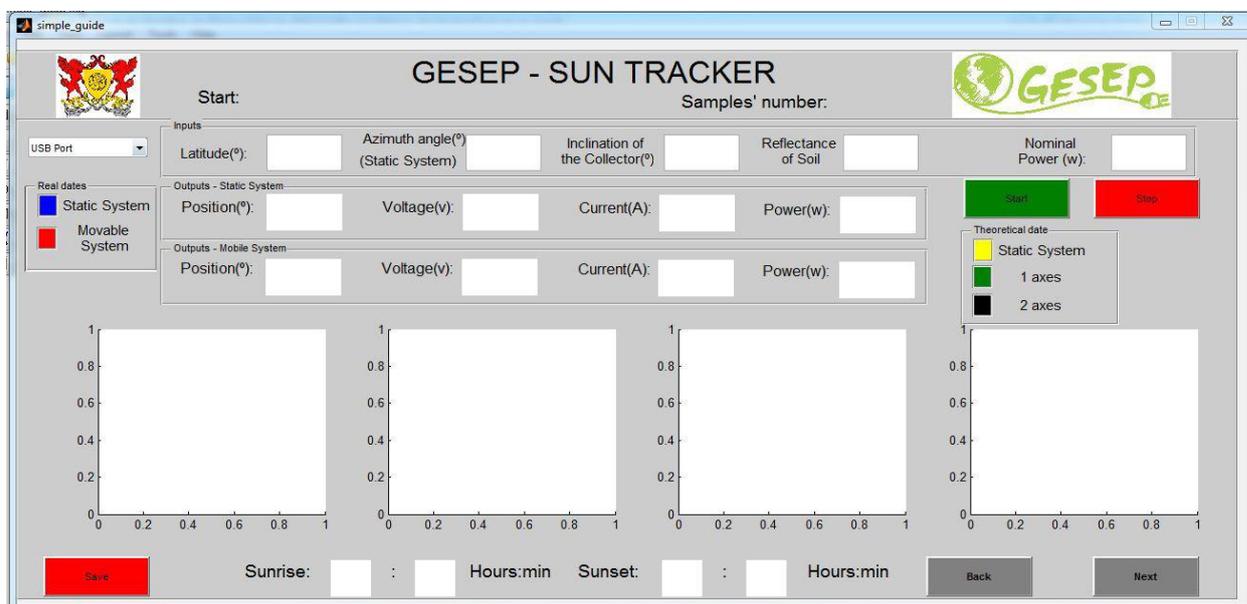


Figura 16 – Interface Gráfica.

É possível nesta interface salvar todos os dados em .xls (formato do excel) após selecionar o botão *Save*, fazer com que o motor realize um passo à frente manualmente ao clicar em *Next* ou para trás selecionando o botão *Back*, além de poder parar o funcionamento clicando em *Stop* e retornando o seu trabalho clicando novamente em *Start*.

3.2.4 Características dos Painéis

Os painéis utilizados são da ESTRELA SOLAR com potência nominal de 10 W para uma radiação solar incidente de 1000 W / m² e 25 ° C. Eles pesam cerca de 1,5 kg, e as suas dimensões são de 350 mm de altura, 295 mm de largura e 18 mm de espessura. Outras características estão apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Características dos painéis solares.

PARÂMETROS	VALOR
Potência máxima	10 W
Tensão de máxima potência	18 v
Corrente de máxima potência	0,56 A
Tensão de circuito aberto	22,7 v
Corrente de curto circuito	0,6 A

3.3 Condições experimentais

Antes de iniciar a coleta de dados, os painéis foram definidos com a inclinação de 25° para o norte geográfico, onde a latitude é de $-20,45^\circ$. Os dados para a comparação entre o painel fixo e o sistema de rastreamento foi coletado no dia 10 de dezembro de 2013, dia em que o tempo se apresentava parcialmente nublado, na cidade de Viçosa - MG.

4 Resultados e discussões

Os dados válidos (No anexo 1 é apresentado dois outros resultados considerados inválidos) foram capturados entre às 07:30 e 17:00 do dia 10 de dezembro de 2013, durante este tempo o sol apresentou instantes onde estava coberto por nuvens e momentos de céu aberto sem que houvesse o sombreamento nos painéis. A instalação do sistema está exibida na Figura 17, nela é possível observar que o painel móvel está direcionado para um sentido diferente do painel estático, orientada para o sentido do nascer do sol.



Figura 17 – Instalação do Protótipo.

O computador se encontrava na sala do piso inferior, evitando a exposição ao sol durante o dia, onde era possível receber os dados e monitora-los instantaneamente. Na Figura 18 está apresentado o que estava sendo exibido na interface gráfica no horário próximo das 12:30 horas.

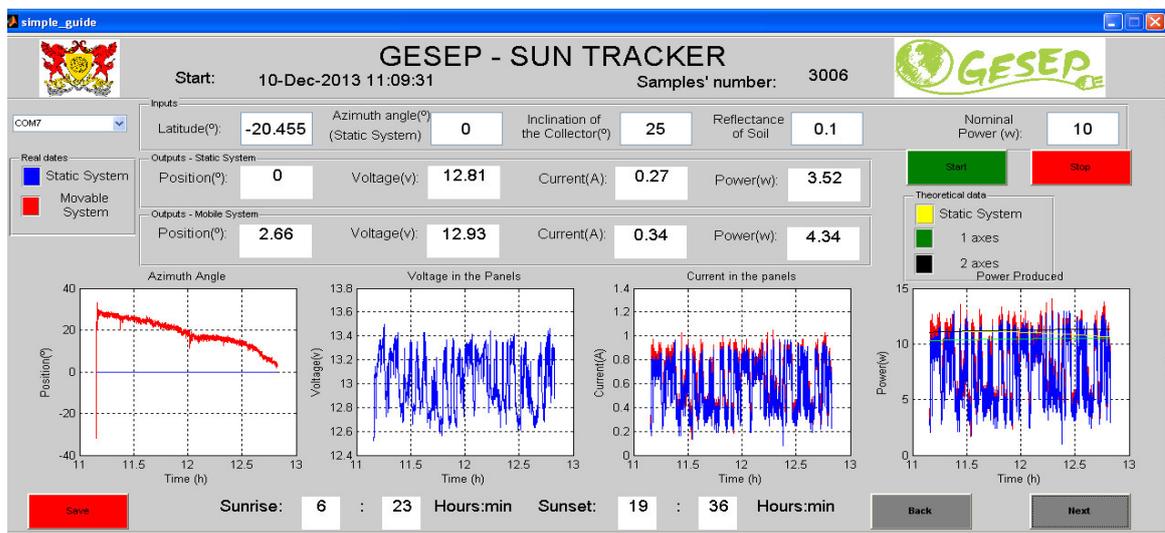


Figura 18 – Dados apresentados na Interface Gráfica.

Para que fosse possível identificar a localização dos painéis, as posições foram medidas e o resultado final está apresentada na Figura 19:

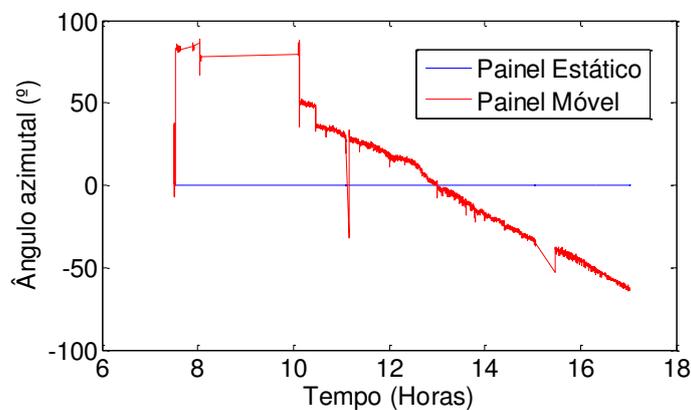


Figura 19 – Posição dos Painéis.

Como esperado a posição do painel estático não variou, diferente do painel móvel que após ser ajustado a sua posição inicial ele apresentava o ângulo de azimuth igual a $81,01^\circ$ e posição final igual a $-63,32^\circ$.

É possível perceber que a partir das oito horas não houve variação da posição do painel móvel medido, isso ocorreu devido à perda de conexão do USB entre o microcontrolador e o computador, o que foi resolucionado próximo as 10 horas.

Para que fosse possível calcular a potência produzida pelos painéis, primeiramente os valores de tensão de ambas as placas foram medidas e estão apresentados na Figura 20, como elas estavam em paralelo com a bateria, a tensão medida era a mesma para os módulos e bateria.

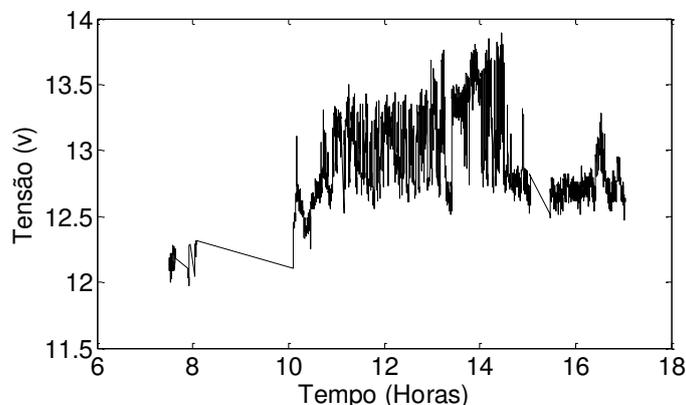


Figura 20 – Tensões dos painéis e bateria.

As tensões fornecidas pelos painéis se mantiveram sempre próximo aos 13V, ou seja, eles trabalharam com as tensões diferentes do valor de tensão de máxima potência fornecida pelo fabricante, como apresentado na Tabela 3.

A variação das correntes nos painéis estão apresentadas na Figura 21:

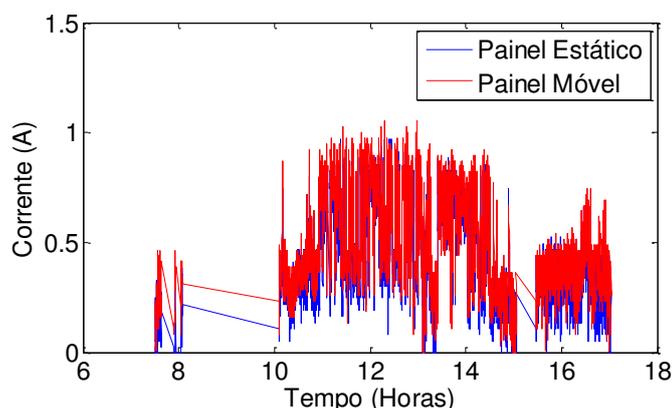


Figura 21 – Corrente produzida pelos painéis.

Na Figura 21 é possível notar que próximo ao meio-dia foi o período que houve maiores níveis de corrente produzidas, chegando a ultrapassar em alguns instantes o valor de corrente de curto-circuito dos painéis, que pode ser explicado pelos níveis de radiação e temperatura que nesse momento podem ter ultrapassado os valores nominais fornecidos pelo fabricante, conseqüentemente, o mesmo ocorre com o nível de potência produzida pelos painéis, como está exibido na Figura 22:

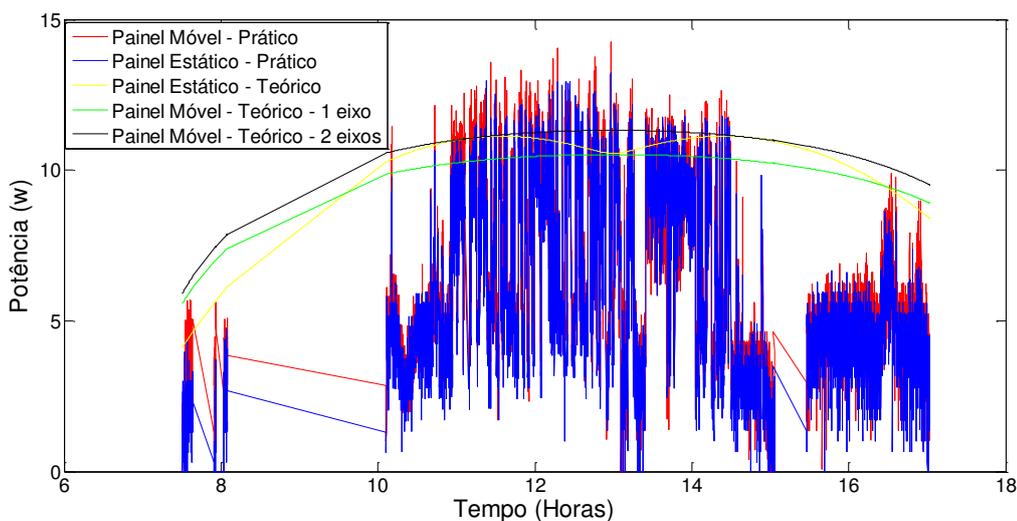


Figura 22 – Potência produzida pelos painéis na prática e na teoria.

É possível perceber na Figura 22 que a variação de radiação capturada pelos painéis durante o dia na prática não é uniforme como na teoria. Isso se deve, principalmente, pelo sombreamento ocasionado pelas nuvens. Na Figura 23 é apresentado a dinâmica da potência produzida pelos painéis entre 12 e 13 horas.

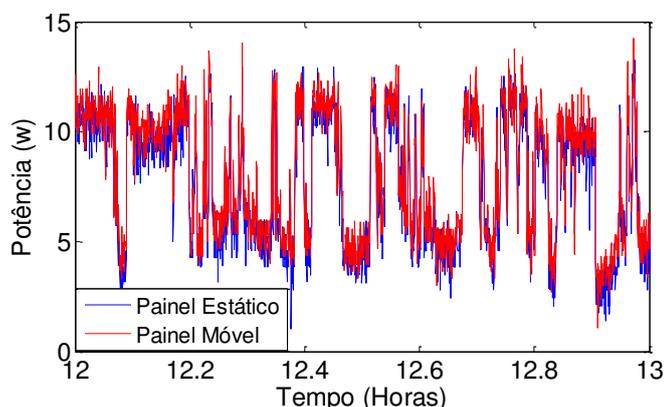


Figura 23 – Potência produzida pelos painéis na prática entre 12 e 13 horas.

Nos instantes em que ocorreram sombreamento dos painéis pelas nuvens houve queda no valor de potência produzida pelos módulos.

Na Tabela 4 estão exibidos os valores médios de corrente e potência produzidos para este dia:

Tabela 4 – Valores médios encontrados.

PARÂMETROS	VALOR MÉDIO	UNIDADE
Corrente - Painel Estático	0,44	A
Corrente - Painel Móvel	0,49	A
Potência - Painel Estático	5,79	W
Potência - Painel Móvel	6,39	W

Nota-se na Tabela 4 que a corrente e potência média para o painel móvel foram 10,36% superior ao que foi produzido pelo painel estático.

5 *Conclusões*

Pode-se concluir com este trabalho que a utilização de um seguidor solar unidirecional, mesmo em um dia parcialmente nublado, aumenta a potência média produzida por um painel fotovoltaico quando comparado com um painel estático. No dia em estudo o ganho chegou a 10,36%.

Foi possível construir uma interface gráfica onde todos os dados relacionados com o processo são apresentados, facilitando o monitoramento por parte do interessado em saber como as variáveis estão se comportando instantaneamente.

Algumas melhorias podem ser feitas no sistema, como exemplo, a inserção de um transmissor de dados sem fio, para que um receptor possa enviar os dados ao computador, podendo então deixar o computador a uma distância mais elevada do sistema. Além disso é importante que mais dados sejam coletados, ou seja, em dias e estações diferentes, para que se possa fazer um estudo sobre o ganho de energia produzida em diferentes fases do ano.

6 Referências Bibliográficas

- [1] C. d. p. d. e. elétrica(CEPEL), “Energia Solar Princípios e Aplicações,” Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro, 2006.
- [2] E. P. I. A. -. EPIA, “Global Market Outlook For Photovoltaics,” 2013-2017.
- [3] uol, “Site da Folha de São Paulo,” uol, 18 11 2013. [Online]. Available: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2013/11/1373072-estreante-fonte-solar-nao-atrai-interesse-em-leilao-de-energia.shtml>. [Acesso em 26 11 2013].
- [4] E. Campos, “Construção de um caracterizador de painéis solares utilizado um conversor boost,” Viçosa-MG, 2013.
- [5] J. Quiggin, “The end of the nuclear renaissance,” 2012.
- [6] ANEEL, “Agência Nacional de Energia Elétrica,” ANEEL, 2013. [Online]. [Acesso em 06 07 2013].
- [7] ANEEL, “NR 482,” 2012.
- [8] R. Sustentabilidade. [Online]. Available: <http://revistasustentabilidade.com.br/entr-em-vigor-norma-que-permite-produzir-energia-e-vender-excedente/>. [Acesso em 26 11 2013].
- [9] A. Guimarães, “Manual para Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos,” Ed. Especial, Rio de Janeiro, 2004.
- [10] J. I. L. Seguel, “Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia utilizando técnica MPPT e controle digital,” Dissertação de Mestrado Apresentado na Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG., Belo Horizonte-MG, 2009.
- [11] S. Hurley e W. Armstrong, “Investigating the Effectiveness of Maximum Power Point Tracking for a Solar System,” Power Electronics Specialists, 2005.
- [12] D. Lehman e B. Nguyen, “A Reconfigurable Solar Photovoltaic Array Under Shadow Conditions,” Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008.
- [13] H. Dong, S. W. Zhi-Chao, X. Huan, Fang-Pei e L. Gui-Li, “Research and design on a robust sun-tracker,” International Conference on Sustainable Power, 2009.
- [14] T. K. L. TUDORACHE, “Design of a Solar Tracker System for PV Power Plants.,” Acta Polytechnica Hungarica., 2010.
- [15] J. Ko, J. Choi, S. Kang, M. Jang, J. Back, D. Chung e D.-H. Kim, “A novel tracking system development of photovoltaic for low radiation,” Telecommunications Energy Conference, 2009.
- [16] M. NEVES, C. C. RODRIGUES e F. M. EMANUEL, “Módulo fotovoltaico com seguimento da posição solar,” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- [17] G. M. MASTERS, “Renewable and Efficient Electric Power Systems,” John Wiley & Sons, 2004.
- [18] A. M. M. e Z. R. Pinto, “Descrição de seguidores solares e sua aplicação em centras fotovoltaicas conectadas à rede,” III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém-PA, 2010.
- [19] N. R. E. L. -. NREL. [Online]. Available: <http://www.nrel.gov>.
- [20] J. E. A. Dias, “Eletrônica, Instrumentação e Telemetria do Veículo UFVbaja,” UFV, Viçosa-MG, 2010.
- [21] Apostila de Microprocessadores., [Online]. Available: www.1-3com.com.

- [22] D. J. Souza, “Desbravando o PIC,” Érica, 2004.
- [23] Microchip, “18F4550 datasheet”.
- [24] A. Antônio e G. Fernandes, “Curso de PIC,” UFV, Viçosa-MG, 2010.
- [25] [Online]. Available: <http://autosom.net/artigos/rele.htm>. [Acesso em 02 12 2013].
- [26] [Online]. Available:
http://www.centelhas.com.br/biblioteca/transistores_como_chaves.pdf. [Acesso em 2013 12 02].
- [27] G. C. Bertoli, “Sistemas Fotovoltaicos de Geração de Energia: Comparação de Desempenho entre um Sistema com Rastreamento Solar e um Sistema Estático,” Bauru, 2012.
- [28] F. G. Brites e V. P. Santos, “Motor de Passo,” PET-TELE/UFF, 2012.
- [29] A. FITZGERALD e e. all., “Máquinas Elétricas,” 6, São Paulo, 2006.
- [30] SGS-Thomson, “The L297 Stepper motor controller.,” SGS-THOMSON Microelectronics, 1995.
- [31] G. A. G. Ribeiro, “PROJECT AND BUILD OF A SUN-TRACKER,” UFV, Viçosa-MG, 2012.

7 Anexo 1

7.1 Resultados Inválidos

Foram obtidos outros resultados que foram considerados inválidos. O primeiro resultado inválido foi obtido no dia 29/11/2013, dia em que o tempo se apresentava nublado, e o segundo resultado no dia 05/12/2013, quando o tempo se apresentava parcialmente nublado, com presença de chuvas em algumas fases do dia.

7.1.1 Resultados do primeiro dia

Devido a queda na conexão do USB, que nessa data ainda era um problema constante, houve momentos em que os dados não foram coletados pelo computador, como é possível notar na Figura 24:

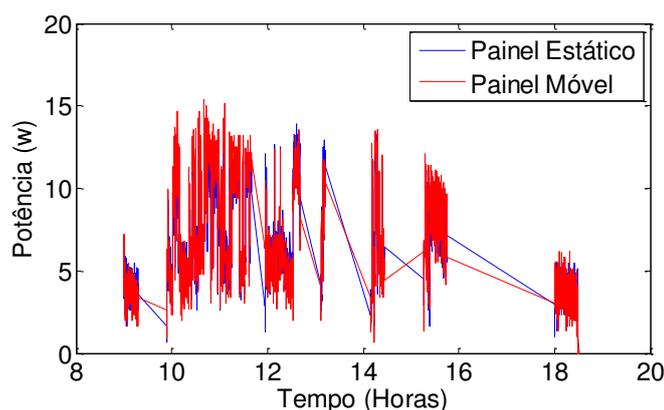


Figura 24 – Potência produzida pelos painéis no primeiro dia inválido.

Neste dia o painel estático produziu energia com potência média de 6,81w e o painel móvel de 6,96w, ganho de 2,2% segundo os dados obtidos.

7.1.2 Resultados do segundo dia

Resolucionado o problema da conexão USB, que ocorria devido ao faiscamento da chave do relé, com a inserção de diodos em anti-paralelo com as bobinas do motor, novamente foram feitas novas coletas de dados. Neste segundo dia os dados não foram considerados válidos, pois, devido a falta de carga na bateria do computador, mais uma vez os dados deixaram de ser coletados em momentos importantes do dia, onde a radiação se apresenta em níveis bem elevados, além de chover em alguns instantes do dia, como está exibido na Figura 25:

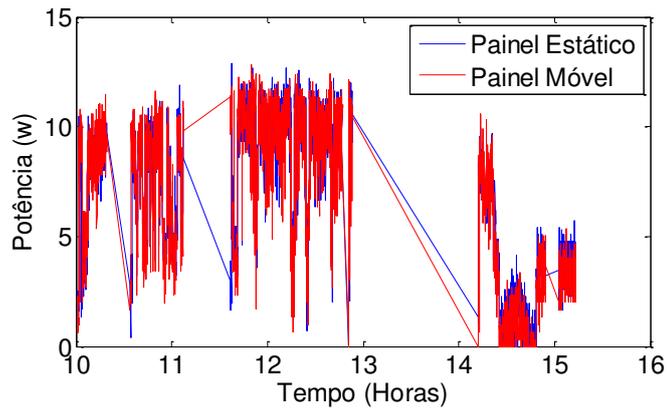


Figura 25 – Potência produzida pelos painéis no segundo dia inválido.

O painel estático teve como potência de energia produzida o valor médio de 6,81W e o painel móvel o valor médio de 6,94 W, apresentando o ganho médio igual a 1,9%. O baixo rendimento se deve as condições de tempo não favoráveis, como exemplo está apresentado na Figura 26 como a produção de energia caiu de 8 para aproximadamente 2 W com a presença de chuva próximo às 14:30 horas daquele dia:

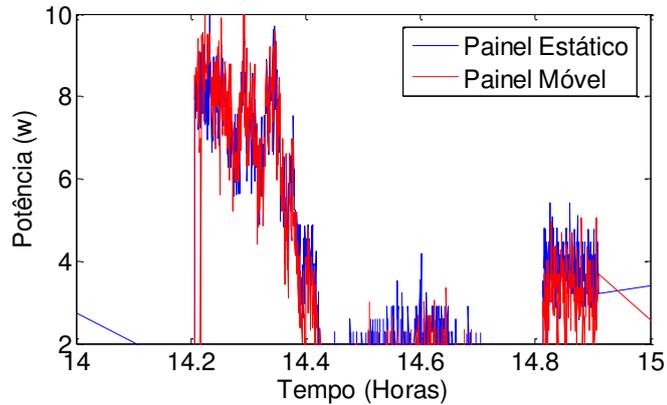


Figura 26 – Potência produzida pelos painéis no segundo dia inválido entre às 14 e 15 horas.