

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DAVI BEVILAQUA HEINZ

**SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR MICROCONTROLADO PARA
OBTENÇÃO DA MÁXIMA RADIAÇÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**Alegrete
2016**

DAVI BEVILAQUA HEINZ

**SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR MICROCONTROLADO PARA
OBTENÇÃO DA MÁXIMA RADIAÇÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Guarienti
Pozzebon

**Alegrete
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

H623s Heinz, Davi Bevilaqua

Sistema de rastreamento solar microcontrolado para obtenção da máxima radiação em sistemas fotovoltaicos / Davi Bevilaqua Heinz.

41 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2016.

"Orientação: Giovani Guarienti Pozzebon".

1. Rastreamento Solar. I. Título.

DAVI BEVILAQUA HEINZ

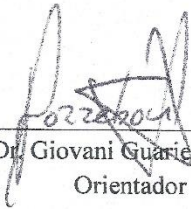
**SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR MICROCONTROLADO PARA OBTENÇÃO DA MÁXIMA
RADIÇÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistema Elétrico de Potência

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 7 de dezembro de 2016.


Banca examinadora:



Prof. Dr. Giovanni Guarienti Pozzebon
Orientador



Prof. Ma. Natalia Braun Chagas
UNIPAMPA



Prof. Dr. Sidinei Ghissoni
UNIPAMPA

Dedico este trabalho a todas
pessoas que me apoiaram de alguma
forma para a realização do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a toda minha família, um agradecimento especial a minha mãe Sirlei Bevilaqua que dentre todos seus ensinamentos e o suporte, fez eu tomar gosto pela engenharia me levando desde criança as suas obras, ao meu irmão Breno Bevilaqua Heinz por ser um grande companheiro e me ajudar nessa caminhada da graduação, à minha vó Maria Bolzan por tantas noites rezando por mim e a minha segunda mãe Beatriz da Silva por sempre me aconselhar sabiamente.

À minha esposa Janaina Kominkiewicz Heinz, pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis, em acreditar e aguentar o mau humor dos últimos meses.

Ao meu sogro Stefano Kominkiewicz e a minha sogra Celeste Barreto Kominkiewicz por me apoiarem e ao Claudio Irineu Schmitt também pelo apoio quando precisei.

Aos colegas que me acompanharam durante a graduação que viraram meus amigos para a vida toda, principalmente o Arian Fagundes e o Alex Itczak os quais dividi a casa nos últimos anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Giovani Guarienti Pozzebon pela atenção, sabedoria, paciência e os ensinamentos aos quais me passou no decorrer do tempo em que convivemos.

Agradecer a banca avaliadora Prof. Ma. Natalia Braun Chaguas e o Prof. Dr. Sidinei Ghissoni pelas correções e sugestões acrescentadas durante a apresentação da prévia do trabalho.

Aos servidores do laboratório de eletrotécnica do campus e ao seu Ubirajara Mafaldo o qual me emprestou sua oficina para utilizar o maquinário necessário para a construção da estrutura do protótipo.

E a Deus, pois o homem tendo fé consegue alcançar seus objetivos.

“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo minha última e mais elevada descoberta”.

Isaac Newton

RESUMO

Para tornar-se competitiva, a energia fotovoltaica deve ter os seus custos reduzidos e utilizar sistemas fotovoltaicos de maior eficiência. O alto custo da produção de energia fotovoltaica quando comparado a outros métodos de geração inviabiliza a sua aplicação mesmo que essa tenha tido um crescimento de 74% entre 2010 e 2012. Os métodos para uma maior eficiência dos sistemas fotovoltaicos, como por exemplo a busca do ponto de máxima potência e o rastreamento solar, são soluções que vêm sendo estudadas e garantem um ganho de eficiência e este último apresenta um ganho ainda maior comparado à uma placa fixa. Dessa forma este trabalho apresenta um projeto de um rastreador solar de dois eixos que controla o azimute e a elevação de um do painel fotovoltaico, utilizando sensores de radiação compostos de quatro fotoresistores. O controle de dois servos motores que atuam nos eixos vertical e horizontal é feito por um microcontrolador ARDUINO programado em linguagem C. Visando o baixo custo, pequeno consumo de energia e praticidade o projeto foi implementado em escala reduzida, utilizando uma placa solar de 5 Wp (watt-pico). Após a construção do protótipo comparou-se o potencial de geração do sistema de rastreamento proposto com o de um sistema fixo.

Palavras Chave: energia fotovoltaica - rastreador solar - arduino

ABSTRACT

To become competitive, photovoltaic energy must have its costs reduced and use photovoltaic systems of greater efficiency. The high cost of producing photovoltaic energy when compared to other generation methods makes it impossible to apply it even if it has grown by 74% between 2010 and 2012. The methods for greater efficiency of photovoltaic systems, such as the search for Point of maximum power and the solar tracking, are solutions that are being studied and guarantee a gain of efficiency and the latter presents an even greater gain compared to a fixed plate. Thus, this work presents a project of a two-axis solar tracker that controls the azimuth and elevation of one of the photovoltaic panel, using radiation sensors composed of four photoresistors. The control of two motors servo that work on the vertical and horizontal axes is done by an ARDUINO microcontroller programmed in C language. Aiming at the low cost, small power consumption and practicality the project was implemented in small scale using a solar plate of 5 Wp (Watt-peak). After the construction of the prototype, the potential of generation of the proposed tracking system with that of a fixed system was compared.

Keywords: photovoltaic energy - solar tracker - arduino

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estações do ano e movimento da Terra em torno do Sol.....	15
Figura 2- Média anual de insolação em horas.....	16
Figura 3- Variação da altura solar ao longo do ano.....	17
Figura 4- Ângulo de incidência dos raios solares verão e inverno.....	17
Figura 5- Célula fotovoltaica em um local sem a presença de luz.....	18
Figura 6 - Célula fotovoltaica em presença da luz.....	19
Figura 7- Efeito fotovoltaico para o fornecimento de eletricidade.....	19
Figura 8- Sistema de eixo único.....	20
Figura 9- Sistema de eixo duplo.	20
Figura 10- Sensor LDR.....	21
Figura 11- Sensor LDR gráfico Lux x Resistencia.....	21
Figura 12- Servo Motor.....	22
Figura 13- Arduino Mega 2560.....	23
Figura 14- Fluxograma do projeto.....	24
Figura 15- Fluxograma do algoritmo.....	24
Figura 16- Conjunto de sensores.....	26
Figura 17- SG90 TowerPro.....	27
Figura 18- Placa KOMAES KM(P)5.....	27
Figura 19- Simulação Proteus.....	28
Figura 20- Diagrama Elétrico.....	28
Figura 21 - Software Radasol 2.....	29
Figura 22 – Gráficos Radasol 2.....	30
Figura 23 – Software iSolergo sistema fixo.....	30
Figura 24 – Software iSolergo sistema fixo.....	31
Figura 25 – Gráfico fixo x móvel.....	33
Figura 26 – Sistema fotovoltaico fixo.....	34
Figura 27 – Sistema fotovoltaico móvel.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados sistema fixo.....	31
Tabela 2 – Dados sistema móvel.....	31
Tabela 3 – Custos dos sistemas.....	32

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

Wp - Watt Pico

MW – Megawatt

kWh – Quilowatt hora

φ - Latitude

λ - Longitude

P(t) - Potência em relação ao tempo

n – Rendimento

A – Área

m² - Metro quadrado

R(s) – Radiação solar incidente

MHz – Megahertz

V – Volts

KB – Kbyte

mA - Miliampere

K Ω - kilohms

mm – Milímetro

Vcc – Tensão de corrente continua

Kg.cm – Quilo grama por centímetro

K – Quilo

A - Ampere

Ω - Ohms

I – Corrente

P – Potência

SUMUARIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Radiação Solar	16
2.2	Células fotovoltaicas	19
2.3	Rastreamento Solar	20
2.4	LDR – Resistor Dependente de Luz	22
2.5	Servo Motor	22
2.6	Microcontroladores	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	Sistema de Sensores	27
3.2	Sistema Motor	27
3.3	Microcontrolador	28
3.4	Placa Fotovoltaica	28
3.5	Simulações em softwares	29
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	33
5	CONCLUSÃO	36
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
7	APÊNDICE	38

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de energia solar têm emergido como uma fonte viável de energia renovável nas últimas décadas sendo amplamente utilizado em indústrias e residências nos últimos anos. Tais sistemas são baseados em um coletor solar, concebido para recolher a energia do sol e convertê-lo em qualquer energia elétrica ou energia térmica.

Edmund Bequerel, físico francês realizando um experimento no século XIX em 1839 utilizando dois eletrodos metálicos mergulhados em um eletrólito, acabou percebendo uma pequena diferença do potencial elétrico quando exposto a luz.

Muitos estudos foram realizados ao longo dos anos desde esta descoberta, até chegarmos ao uso do elemento químico silício que hoje utilizamos na produção dos painéis solares (VALLÊRA).

Willoughby Smith descobriu o efeito fotovoltaico em sólidos com o selênio em 1873, a produção da primeira célula fotovoltaica utilizando esse elemento surgiu quatro anos após com os cientistas W. G. Adams e R.E. Day. Albert Einstein publicou um artigo sobre o efeito fotovoltaico em 1904, foi explicando o efeito fotovoltaico que Einstein ganhou seu primeiro Prêmio Nobel, em 1923 (VALLÊRA).

A primeira célula de silício foi produzida em 1954 nos Calvin Fuller, um químico dos Laboratórios Bell nos Estados Unidos, desenvolvendo um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades elétricas, a célula tinha apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência.

No ano seguinte começou no mesmo país a produção de elementos solares fotovoltaicos para aplicação espacial, com o passar dos anos esta indústria foi se aprimorando e as placas tornaram-se mais eficientes.

Com a crise petrolífera de 1973 levou os governos a investir em programas de estudo para reduzir o custo de produção das células solares. Algumas das tecnologias financiadas por estes programas fora de suma importância para a evolução da construção de células solares.

Em 1980 Israel foi o primeiro país estabelecer uma política pública de energia solar. Nesta década, a produção mundial ainda era pequena. Em 1983, por exemplo, não passava de 20 MW.

Em 1994, aconteceu a primeira Conferência Mundial Fotovoltaica, no Hawai e o Século XX terminou com pouco mais de 1000 MW em sistemas instalados no mundo (VALLÊRA).

Entretanto, o desenvolvimento tecnológico do fotovoltaico não parou, em 1998 foi atingida a eficiência recorde de 24,7%, com células em silício monocristalino.

Visando uma geração de energia limpa e renovável, não produzindo resíduos que prejudiquem o ambiente, o sol é uma fonte inesgotável em comparação a outros tipos de geração. As variações na intensidade da radiação durante o dia, o ângulo de inclinação do eixo da terra em relação ao sol, durante as diferentes estações do ano e a distância da terra e o sol, faz com que a energia elétrica média produzida por um

modulo solar estático, durante o ano, seja de aproximadamente 20% da capacidade instalada (CARVALHO).

Os níveis de eficiência das células disponíveis no mercado já estão praticamente estagnados, avançando pouco nos últimos anos, isto deve permanecer até que um novo processo de fabricação seja descoberto ou haja uma redução nos valores da matéria prima para baratear a produção das mesmas.

Dessa forma, é possível perceber o quanto é importante o rastreamento solar para que as células consigam maior geração durante o tempo de radiação solar e também encontrar o maior ponto de radiação quando a placa sofre um sombreamento.

Portanto, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo desenvolver um projeto de um seguidor solar de dois eixos, sendo um eixo azimute que orienta o painel no deslocamento leste - oeste e o eixo de zênite que orienta o painel em relação à altura do sol sua inclinação, visando maximizar o aproveitamento da radiação solar e consequentemente, proporcionar uma maior geração do painel.

Sistemas capazes de interagir com o ambiente através de um mecanismo e ler sinais através de sensores os microcontroladores estão em evidência em diversos segmentos, tornando este trabalho e aplicável.

Este protótipo foi desenvolvido no laboratório de eletrotécnica da Universidade Federal do Pampa em Alegrete – Rio Grande do Sul, levando em conta os conhecimentos adquiridos durante a graduação do curso de engenharia elétrica tais como instrumentação, eletrônica, utilização de microcontroladores e programação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Radiação Solar

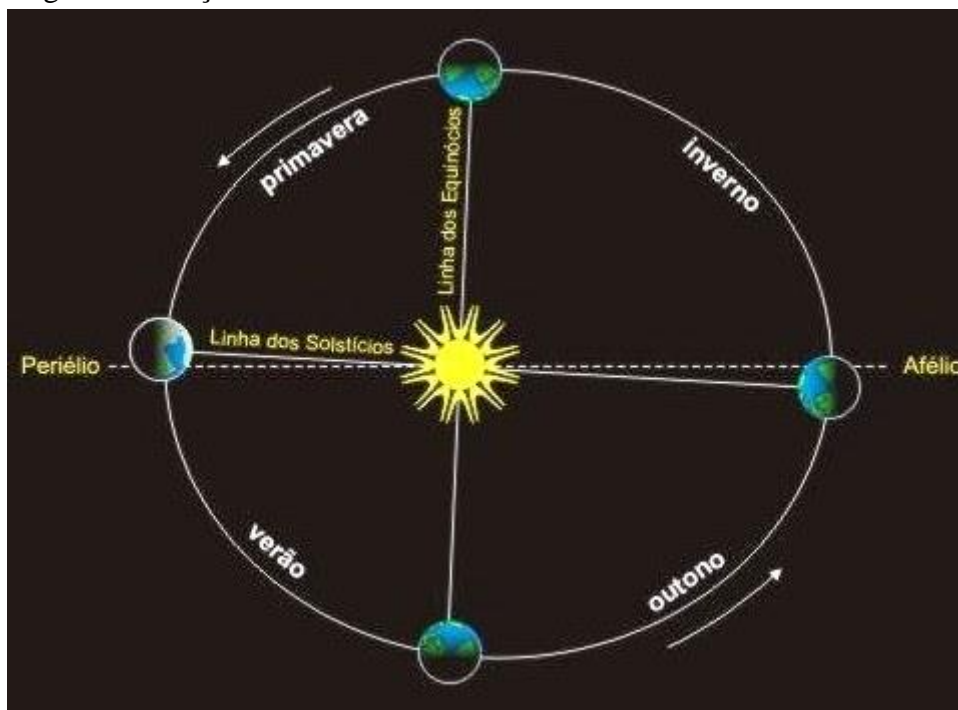
A energia elétrica é um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento da humanidade, apesar dos avanços tecnológicos, cerca de 1,3 bilhões de pessoas no mundo ainda vivem sem acesso aos benefícios da energia elétrica. (ANEEL, 2008).

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, trata-se de um valor expressivo, correspondendo a dez mil vezes o consumo mundial de energia durante o ano. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.) (CRESESB, 2006).

A região brasileira menos ensolarada, tem 40% mais radiação do que o local mais ensolarado da Alemanha, sendo a Alemanha um dos maiores produtores de energia solar fotovoltaica no mundo. (FINDER, 2011).

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo. Consequência do movimento de rotação e translação da Terra. Assim, a Terra recebe um diferente grau de intensidade de radiação a cada dia, como é demonstrado na Figura 1. (ANEEL, 2008).

Figura 3- Estações do ano e movimento da Terra em torno do Sol.

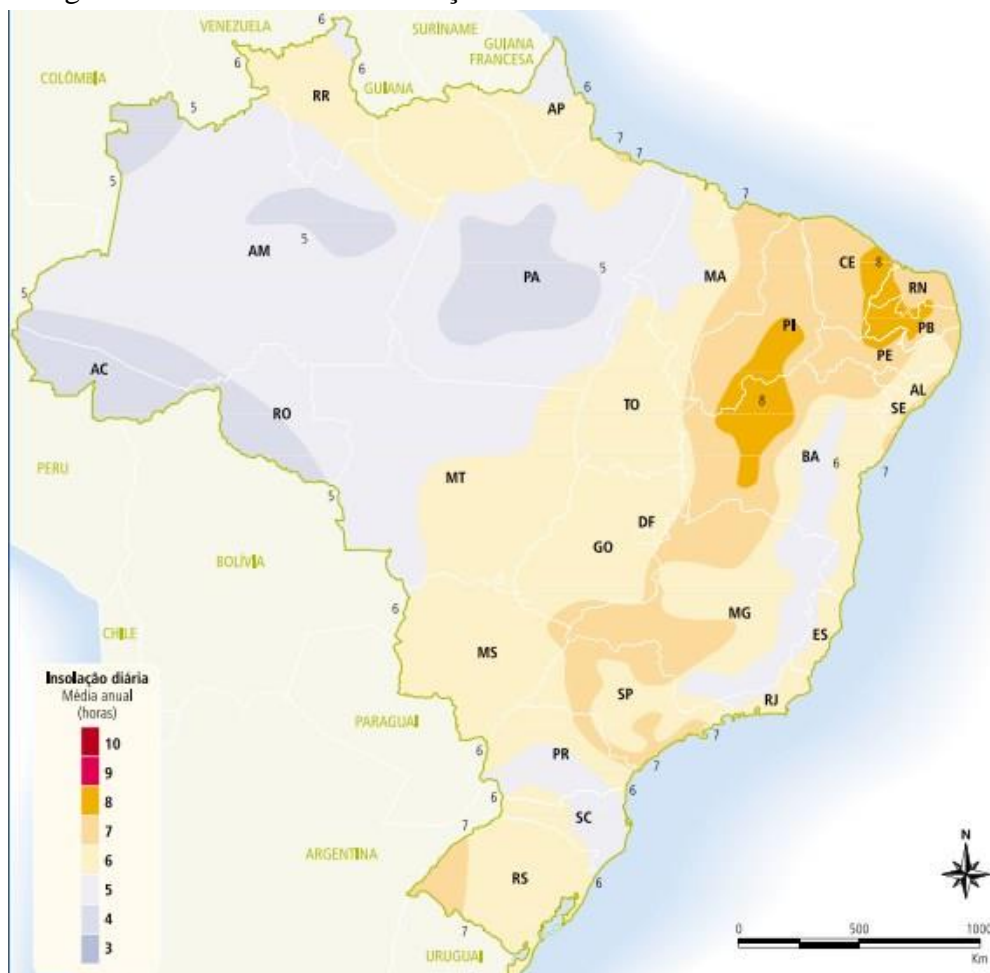


FONTE: (DECIO REIS MELO, 2010).

A duração solar varia, em algumas regiões e períodos do ano de zero a 24 horas, sendo que as variações mais intensas ocorrem nos polos e nos períodos de solstício. O traçado do caminho que a Terra percorre ao redor do Sol é elíptico.

O mapa da Figura 2 demonstra a média anual de insolação diária, segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

Figura 4- Média anual de insolação em horas.



FONTE: (CRESESB, 2014).

Na maior parte da área física do território brasileiro não são observadas grandes variações da duração solar do dia, fato esse, decorrente do país encontrar-se próximo a linha do Equador.

A maior parte da população brasileira e sua produção econômica encontram-se em áreas mais distantes da linha do Equador, centradas no eixo do Trópico de Capricórnio.

Nesses locais é aconselhado, para maximizar o aproveitamento solar, ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local. No hemisfério sul, por exemplo, o sistema de geração solar deve ser fixado com orientação para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude normal. (CRESESB, 2000).

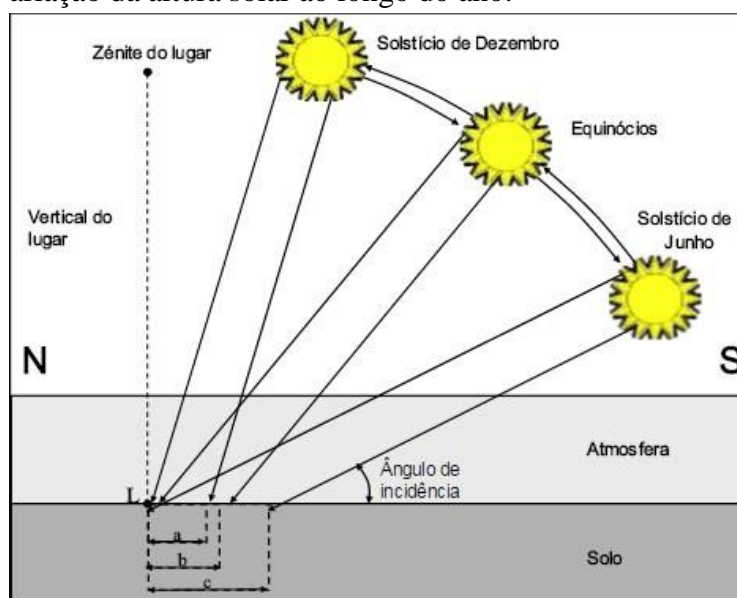
A Terra se divide em hemisférios possuindo dois eixos imaginários que são: Norte e Sul, e Leste e Oeste, sendo representados pela linha do Equador e meridiano de Greenwich.

Estes eixos determinaram a criação de dois ângulos: latitude (ϕ) e longitude (λ), os ângulos fundamentais relacionando a geometria Sol - Terra são a declinação que é a medida formada pelo plano do Sol, ao meio dia, com o plano do equador, variando entre $\pm 23,45^\circ$ o ângulo Zenital que é o ângulo formado entre a posição do Sol e a vertical do observador a altura solar que é a medida entre o horizonte e a posição do Sol acima do horizonte.

A posição do sol varia 360° no eixo azimutal (leste-oeste) diariamente 24 horas, um observador num ponto fixo, só observa 12 horas no dia, levando em consideração o efeito do horizonte este observador terá a variação de aproximadamente 150° .

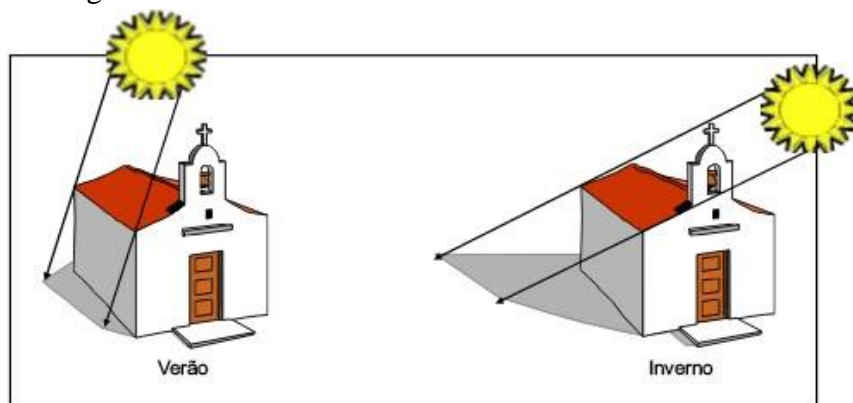
A variação no eixo de altitude (norte-sul) é de 46° ao longo do ano, tendo a posição do sol mais baixa durante o inverno e a posição mais alta durante o verão como mostra a figura 3 e figura 4.

Figura 3- Variação da altura solar ao longo do ano.



FONTE: (CIENCIAVIVA, 2016).

Figura 4- Ângulo de incidência dos raios solares verão e inverno.



FONTE: (CIENCIAVIVA, 2016)

2.2 Células fotovoltaicas

As Células fotovoltaicas realizam essa conversão sem partes móveis, ruído, poluição, radiação ou são livres de manutenção. Os painéis fotovoltaicos são feitos utilizando um material, o silício este elemento é de grande fartura no planeta terra sendo o segundo mais abundante, ele é quimicamente alterado criando uma camada de cargas positivas e uma camada de cargas negativas.

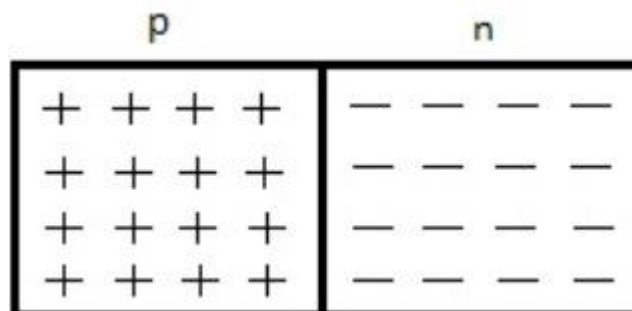
A radiação quando chega no painel fotovoltaico, um elétron é desalojado, esses elétrons são ligados ao painel através de fios, formando uma corrente elétrica. Quanto maior for a quantidade de painéis, maior será a corrente e tensão. Os painéis vendidos comercialmente, tem potências que variam de 5 watts até 300 watts, produzindo corrente contínua (CC).

A potência, em kW, produzida nos terminais do painel solar pode ser calculada, em função do tempo, pela expressão, $P(t) = \eta \times A \times R_s(t)$, em que η é o rendimento total do sistema (10 a 20%), A é a área do painel solar em m^2 e $R_s(t)$, a radiação solar incidente, em função do tempo (REIS, 2013).

O silício é encontrado em forma de argila, feldspato, granito, quartzo e areia, é tratado este elemento para obter sua forma pura. O cristal de silício puro não possui elétrons livres, portanto é mal condutor elétrico. É utilizado um processo de dopagem que adiciona outros elementos ao silício como o fósforo para obter um material com elétrons livres portadores de cargas negativas (silício tipo N) Figura 5.

Realizando a dopagem adicionando Boro ao invés de Fósforo para obter um material com falta de elétrons e com cargas positivas livres (silício tipo P) figura 5. Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P.

Figura 5- Célula fotovoltaica em um local sem a presença de luz.

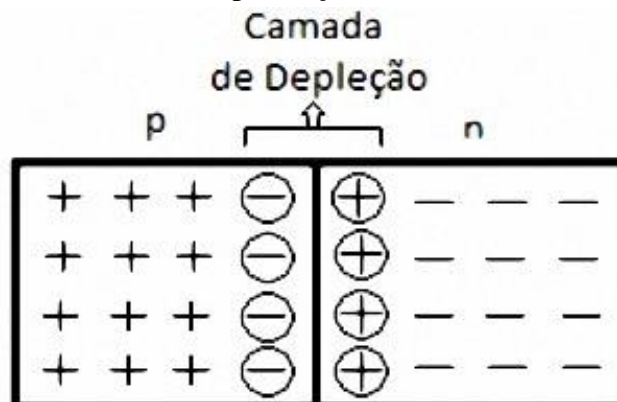


FONTE: (AUTOR, 2016).

Quando a luz do Sol incide sobre uma célula semicondutora pn, os fótons da luz absorvida movem elétrons dos átomos da célula, conforme a Figura 6.

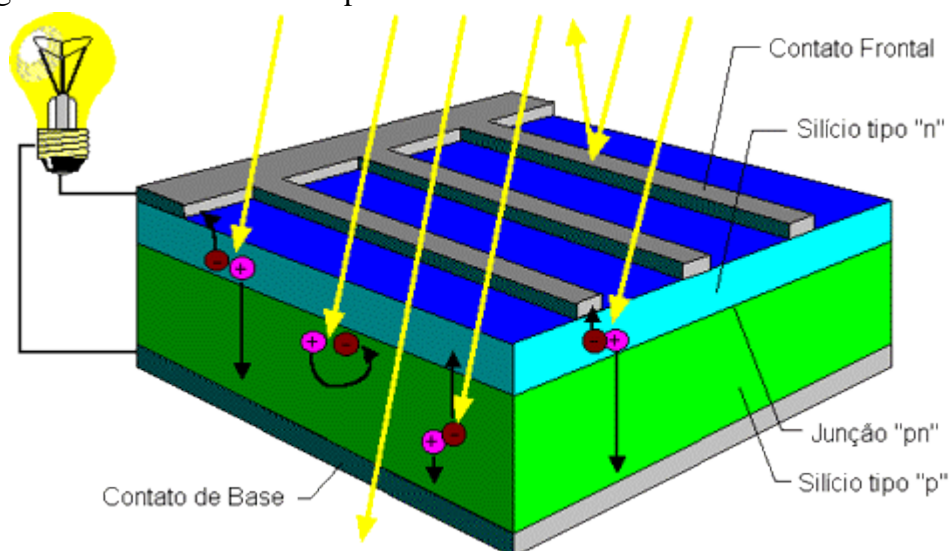
Estes elétrons livres movem-se através da estrutura cristalina do material, criando pares elétron-lacuna, isto resulta a corrente elétrica Figura 7, ocorrendo o processo físico chamado efeito fotovoltaico. (CRESESB, 1999).

Figura 6 - Célula fotovoltaica em presença da luz.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Figura 7- Efeito fotovoltaico para o fornecimento de eletricidade.



FONTE: (APARECIDO, 2013).

2.3 Rastreamento Solar

O sistema conhecido como rastreamento solar desempenha a tarefa de posicionar os painéis solares com a sua superfície sempre em posição para que aproveite a maior incidência de radiação solar. Conforme as mudanças na posição do Sol em relação à Terra durante o dia e com respeito às estações do ano, o sistema elétrico garante o reposicionamento do módulo.

Em 1975, um dos primeiros sistemas de seguimento solar automáticos foi apresentado por McFee, em que foi desenvolvido um algoritmo para calcular potência recebida total e distribuição de densidade de fluxo em um sistema de energia solar receptor central. Vários anos depois em 1980 na Conferência Internacional de sistemas fotovoltaicos em Cannes na França, Semma e Imamru apresentaram um rastreador usando um microprocessador para ajustar as posições das células de tal forma a apontar para o sol em todos os momentos.

Estudos afirmam que através do rastreamento solar, a eficiência dos painéis pode atingir valores entre 15% a 35% acima do sistema fixo (APPLEYARD, 2009).

Através de experimentos conduzidos durante a pesquisa de Elliot Larard (1998), desenvolveu uma série de sistemas dinâmicos de rastreamento do sol, utilizando sensores fotovoltaicos sensíveis à luz de pirâmide, configurados em ângulos de 45° e dois motores passo-a-passo independentes que controlam a posição da matriz fotovoltaica, foi concluído que a corrente obtida por células solares é influenciada pelos ângulos em que os raios solares incidem na superfície das células solares.

Os rastreadores se dividem em dois grupos, os passivos que dispensam o uso de motores tendo seu movimento em função da expansão/contração da fase de um gás este projeto foi desenvolvido por Clifford & Eastwood em (2004), ele é de fácil manutenção e aplicável para locais com baixa incidência de ventos, porém suas desvantagens é a construção de eixo com baixo atrito, o sistema é influenciado por ventos não funciona em dias de pouca radiação e se movimenta apenas em um eixo.

O outro grupo de rastreadores são os ativos, este que utilizaremos no projeto, são baseados em sistemas microcontrolados que não se alteram depois da implementação do algoritmo no microcontrolador sendo influenciado pelos valores lidos instantaneamente dos LDRs.

Os rastreadores ativos se dividem ainda em dois tipos o sistema de eixo único, leste-oeste ou norte-sul conforme a Figura 8.

Figura 8- Sistema de eixo único.



FONTE: (RENOVAEISMAGAZINE, 2016).

O outro é o sistema de eixo duplo utilizado em nosso projeto que permite que o painel acompanhe o movimento do sol nas quatro direções conforme a Figura 9.

Figura 9- Sistema de eixo duplo.



FONTE: (RENOVAEISMAGAZINE, 2016).

2.4 LDR – Resistor Dependente de Luz

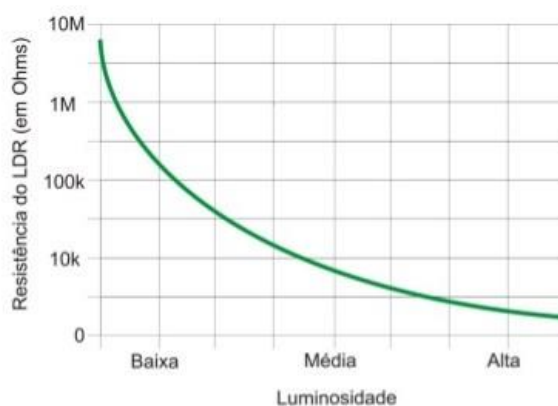
O sensor LDR Figura 10 é um componente passivo do tipo resistor variável, sua resistência varia conforme a intensidade da luz que incide sobre ele, apresentam resistência máxima na escuridão total e resistência mínima sob iluminação direta conforme a Figura 11.

Figura 10- Sensor LDR.



FONTE (PROJECTSHOPBD, 2016).

Figura 11- Sensor LDR gráfico Lux x Resistencia.



FONTE:(PROJECTSHOPBD, 2016).

Ele é constituído de células de sulfeto de cádmio que formam uma estrutura em ziguezague para maximizar a superfície sensível ele é um sensor bidirecional não contendo polo positivo e negativo, mesmo tendo uma resposta espectral excelente ele é um dispositivo lento.

2.5 Servo Motor

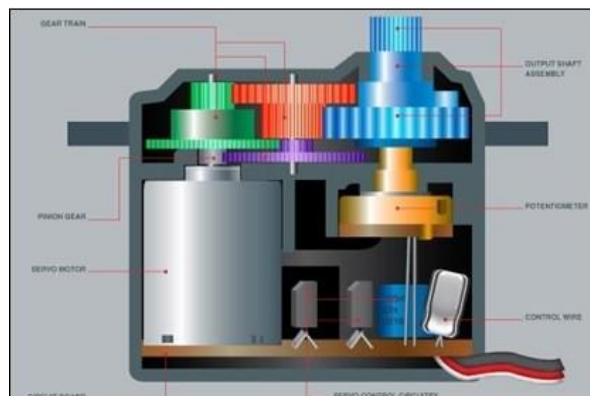
O servomotor é um componente eletromecânico, que a partir de um sinal elétrico em sua entrada, posiciona seu eixo posicionado em um determinado ângulo. Sendo pequenos e compactos, permitindo um posicionamento preciso de seu eixo, os servomotores são largamente utilizados em robótica e modelismo (SANTOS, 2007).

Um servomotor possui um sistema eletrônico de controle e um potenciômetro que está ligado ao eixo de saída conforme a Figura 12. Este potenciômetro possibilita ao

circuito de controle monitorar o ângulo do eixo do servomotor. Se o eixo estiver no ângulo correto, o motor para. Se o circuito detecta que o ângulo está incorreto, o motor é ativado até que o ângulo seja o desejado.

Nas engrenagens de um servomotor existe um limitador que atua no ângulo de giro do eixo, fazendo com que este varie de 0° a 180° (SANTOS, 2007).

Figura 12- Servo Motor.



FONTE: (SANTOS,2007).

Circuito de Controle - Responsável por receber os sinais e energia do receptor, monitorar a posição do potenciômetro e controla o motor de acordo com o sinal do receptor e a posição do potenciômetro.

Potenciômetro - Ligado ao eixo de saída do servo, monitora a posição do mesmo.

Motor - Movimenta as engrenagens e o eixo principal do servo.

Engrenagens - Reduzem a rotação do motor, e transfere mais força ao eixo principal de saída e movimentam o potenciômetro junto com o eixo.

2.6 Microcontroladores

A placa microcontrolada Arduino Mega utiliza um microprocessador ATMEGA2560 apresentado na figura 11. Contem 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação e um botão de reset. Basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou a uma fonte de alimentação e já está pronto para começar.

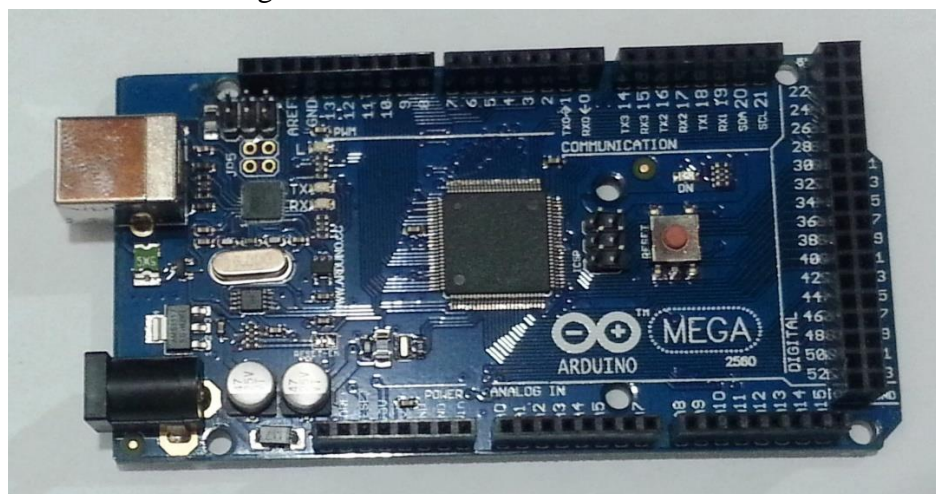
Sua alimentação externa entre 6 e 20 volts, se menos de 7 volts forem fornecidos, o pino de 5V pode fornecer menos de 5 volts assim o tornando instável. Com mais de 12V o regulador de voltagem pode superaquecer e danificar a placa, ou seja, a faixa recomendável é de 7 a 12 volts. O ATmega2560 possui 256 KB de memória flash para armazenamento de código, 8 KB de SRAM e 4 KB de EEPROM.

Cada um dos 54 pinos digitais do Mega pode ser usado como entrada ou saída, usando as funções de pinMode, digitalWrite, e digitalRead sua corrente suporta um máximo de 40 mA e possui um resistor interno de 20-50KΩ.

O Arduino Mega possui várias facilidades para se comunicar com um computador, ou com outro Arduino ou outro microcontrolador. O ATMEGA2560 fornece quatro portas de comunicação serial UARTs para TTL (5V). Um chip FTDI FT232RL direciona uma destas portas para a conexão USB e os drivers FTDI fornecem uma porta COM virtual para softwares no computador. O software do Arduino inclui um monitor serial que permite que dados simples de texto sejam enviados para a placa Arduino.

Os LEDs RX e RT piscarão enquanto dados estiverem sendo transmitidos pelo chip FTDI e pela conexão USB ao computador (mas não para comunicação serial nos pinos 0 e 1). (ARDUINO MEGA 2560, 2016, online)

Figura 13- Arduino Mega 2560.



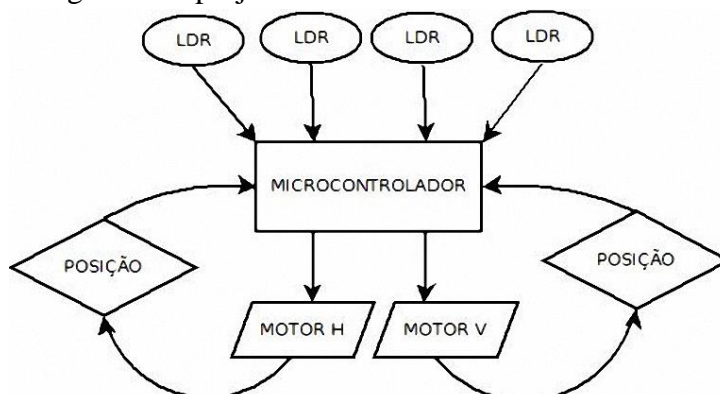
FONTE: (AUTOR, 2016).

3 METODOLOGIA

Este trabalho, visa construir um seguidor solar de baixo custo com o intuito de realizar um estudo comparativo entre um sistema fixo e um sistema móvel. Para isso, foi desenvolvido um protótipo de um painel fotovoltaico móvel programado através de um microcontrolador Arduino em linguagem C, o algoritmo será apresentado por meio de um fluxograma dividido em três partes figura 15, o mesmo está nos anexos do trabalho, o painel rastreia a radiação solar através de sensores de luz LDRs, visando aproveitar a máxima eficiência deste painel.

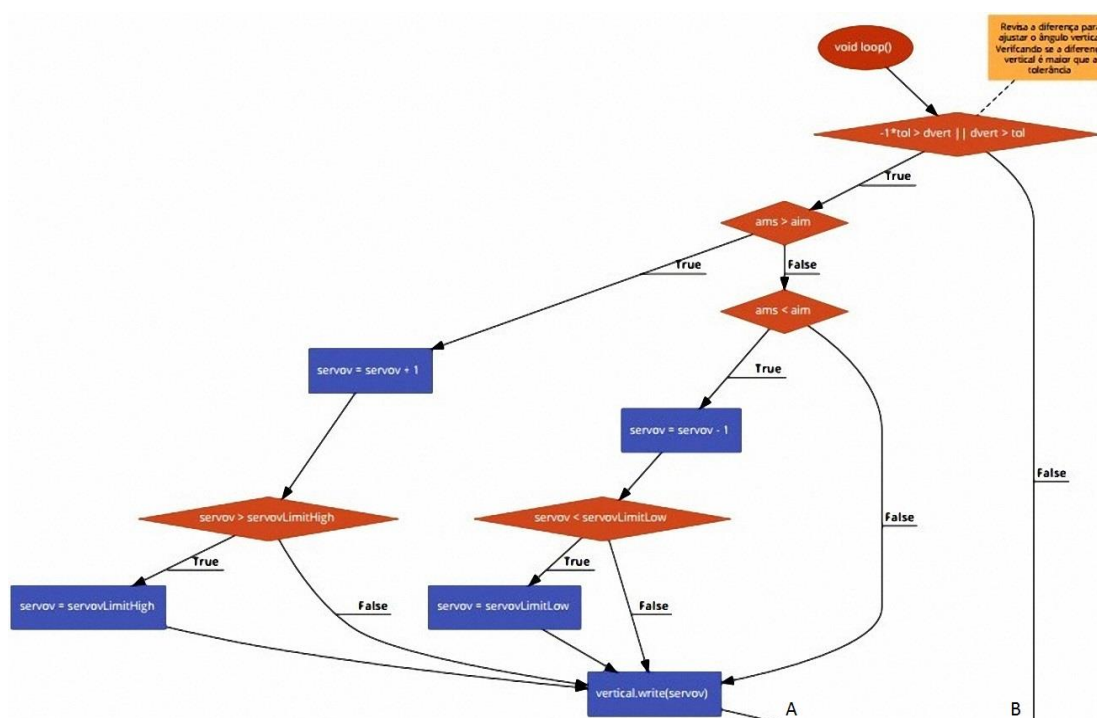
Esta pesquisa foi desenvolvida no laboratório de eletrotécnica da UNIPAMPA e os dados foram coletados no telhado de uma casa localizada na Avenida Tiaraju no município de Alegrete, Rio Grande do Sul (latitude 29° 46' S e longitude 55° 47' W).

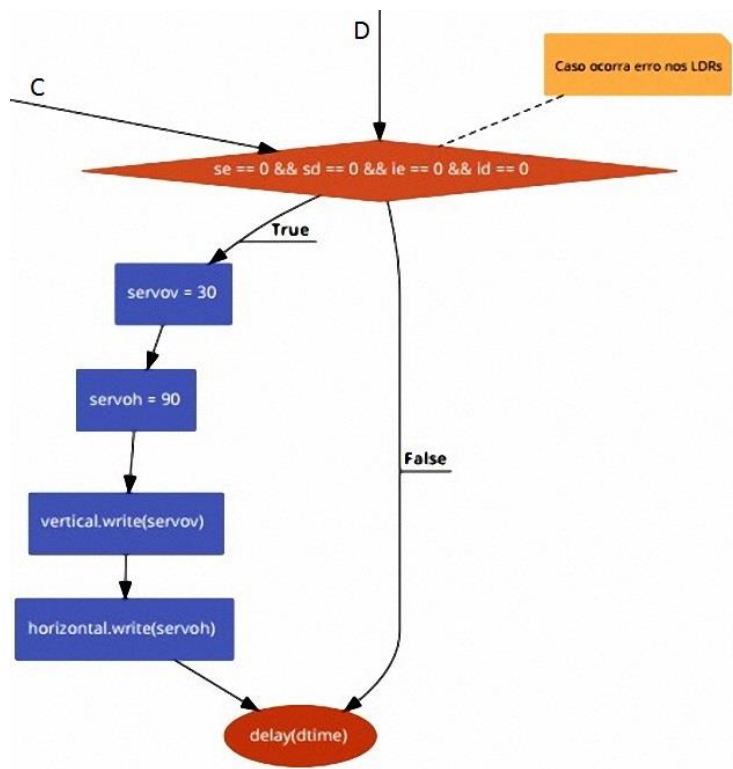
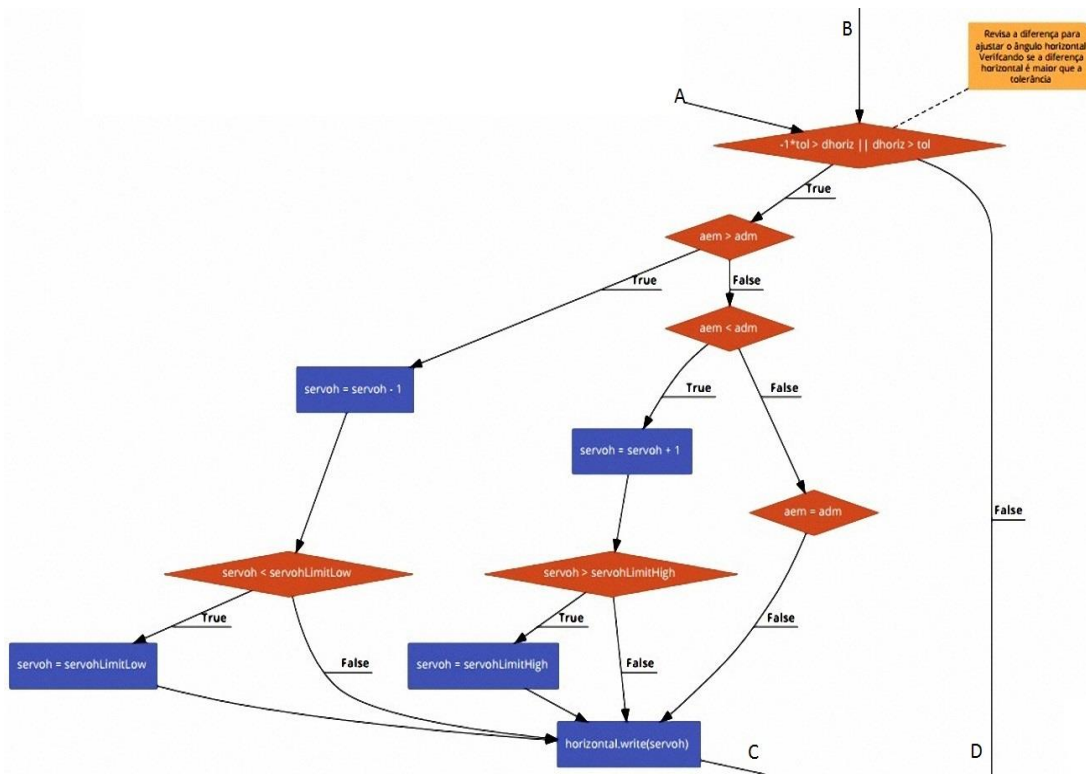
Figura 14- Fluxograma do projeto.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Figura 15- Fluxograma do algoritmo.





FONTE: (AUTOR, 2016).

3.1 Sistema de Sensores

O conjunto de sensores responsáveis por interpretar as informações de radiação solar, é constituído de 4 sensores LDR's de 20mm que enviam analogicamente o sinal para o microcontrolador. Estes sensores foram escolhidos por apresentarem um baixo custo de aquisição.

Com o propósito de identificar os melhores LDR's, considerando que eles variam seu valor, mesmo sendo aplicada a mesma luminosidade, conseqüentemente prejudicando no sistema, foi desenvolvido um algoritmo para testar os 6 LDR's adquiridos, os submetendo à mesma luminosidade.

O programa realizar cerca de 50 leituras a cada segundo de cada um dos componentes. Como resultado obtive que entre os 6 sensores testados um deles estava dando valores de leitura muito diferente dos outros, este foi descartado, o outro que estava dando maior erro em relação aos sensores que sobraram também foi para descarte, assim foi utilizado no protótipo os LDR's que apresentaram menor diferença de valor entre si.

O sistema possui dois pares de sensores, cada par corresponde por um dos eixos de movimentação. A figura 16 mostra a seguir o conjunto de sensores.

Figura 16- Conjunto de sensores.



FONTE: (AUTOR, 2016).

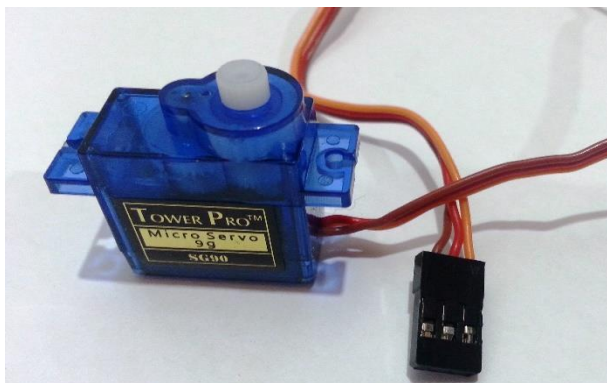
3.2 Sistema Motor

O sistema de motores é composto por dois motores de posição SG90 TowerPro como mostra a figura 17, eles são compatíveis com a plataforma Arduino não necessitando de circuitos auxiliares como um comutador eletrônico.

Cada um dos servos motores ficará responsável por movimentar um eixo, neles foram aplicados uma tensão de 5Vcc fornecida pela alimentação da placa do

microcontrolador. Com esta tensão aplicada o motor gera um torque de 1,2 Kg.cm, assim satisfazendo a força necessária para a movimentação da placa.

Figura 17- SG90 TowerPro.



FONTE: (AUTOR, 2016).

3.3 Microcontrolador

O processamento dos dados que envolvem a leitura dos valores dos sensores e atua na movimentação dos motores para o rastreador é realizado através do microcontrolador Arduino ATMEGA2560 figura 13.

3.4 Placa Fotovoltaica

A placa fotovoltaica escolhida para o projeto é da marca KOMAES, modelo KM(P)5 como mostra a figura 18, por ter potência nominal de 5W e peso de 0,95K ela satisfaz as especificações do protótipo.

Em um circuito com carga a placa tem como corrente máxima é de 0,286A e a tensão máxima é de 17,56V, já sua corrente máxima com a placa em curto é de 0,35A e a tensão em circuito aberto é de 21,52V, lembrando que as placas solares têm tolerância de potência, no caso desse modelo é de $\pm 5\%$.

Figura 18- Placa KOMAES KM(P)5.



FONTE: (AUTOR, 2016).

3.5 Simulações em softwares

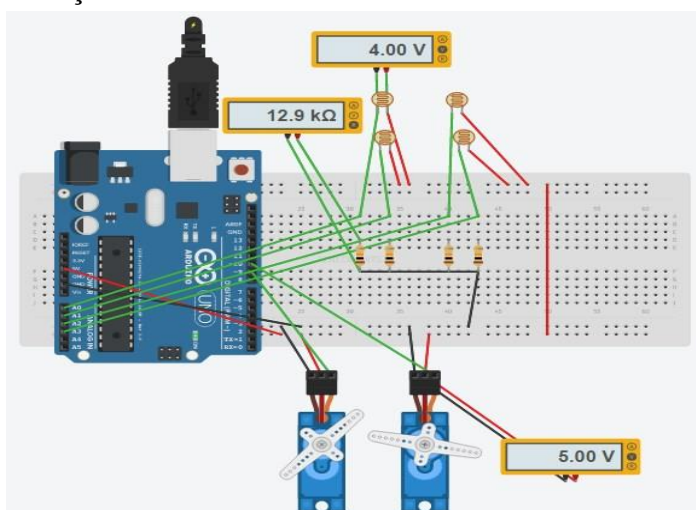
Após realizar a escolha de qual método iria ser utilizado no rastreador, sendo que o escolhido foi o de dois eixos e concluir a escolha dos materiais, deu-se início a simulação do protótipo no software Proteus figura 19, onde através da biblioteca do programa consegue-se emular o Arduino e compilar nele a programação em C feito pelo usuário apresentada anteriormente.

Todos os componentes do rastreador incluindo os LDR's e os motores também constam na biblioteca do software, assim favorecendo a simulação do circuito eletrônico.

Para escolher o valor do resistor a ser usado no circuito, foi feito testes utilizando resistores de 10Ω , 100Ω , $1K\Omega$ e $10K\Omega$ ligados aos LDR's. Analisando os valores dos sensores, o resistor de $10K\Omega$ obteve a maior faixa de valores de leitura, assim sendo o mais sensível comparado aos outros resistores.

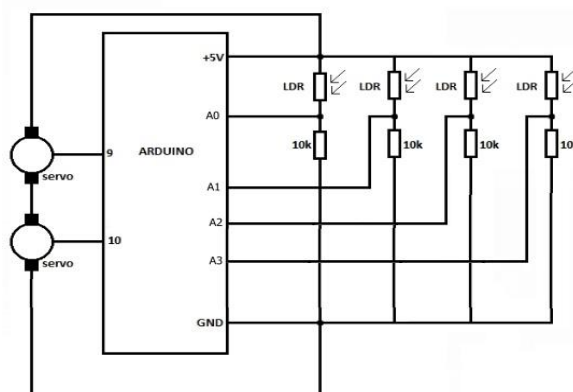
Na figura 20 é apresentado o diagrama elétrico para facilitar a visualização de como o circuito que está na protoboard da figura 19 foi montado.

Figura 19- Simulação Proteus.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Figura 20- Diagrama Elétrico.



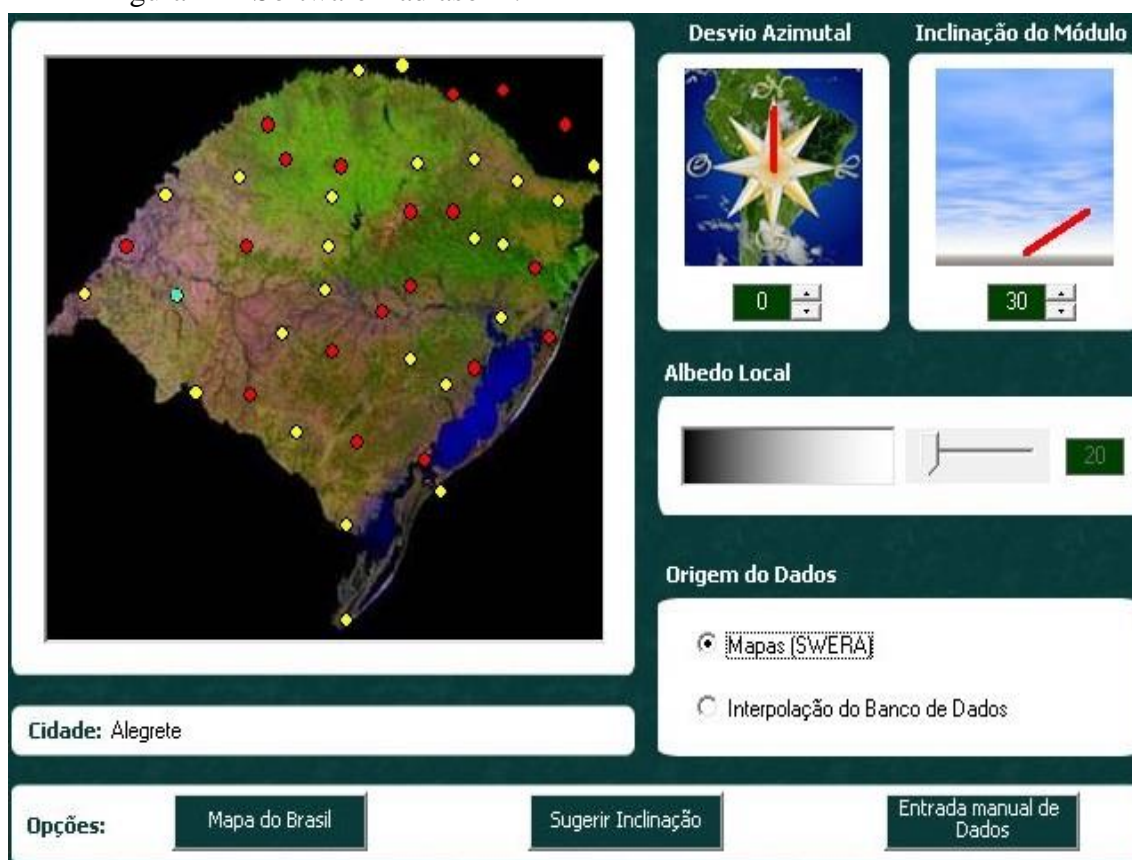
FONTE: (AUTOR, 2016).

Após a conclusão da simulação no software Proteus foi utilizado outro software chamado Radasol 2, ele foi desenvolvido no LABSOL da UFRGS disponível para download grátis, foi utilizado para definir o ângulo de inclinação e o ângulo de orientação azimutal da célula visando obter a máxima radiação solar no mês de Outubro sendo os dias 30/10 e 31/10 datas em que ocorreu a coleta dos dados.

O programa contém dados horários de irradiação global, ele divide esses dados em valores de radiação direta e difusa para cada hora ao longo de um ano e calcula a irradiação horária sobre a localidade escolhida, no nosso caso Alegrete-RS através dos dados do Atlas Solarimétrico, e do programa SWERA.

Para maior radiação no mês de outubro o ângulo de inclinação é de 30° e a orientação azimutal será voltada para o norte conforme vemos na figura 21 e na figura 22.

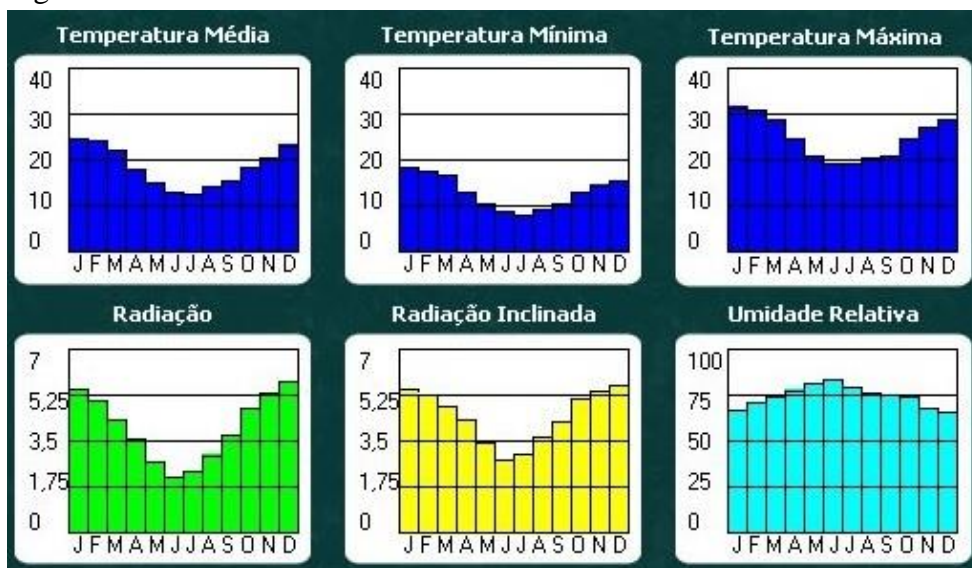
Figura 21 - Software Radasol 2.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Estes dados são de suma importância para fazer a comparação entre o sistema fixo que utilizara esses dados e o sistema móvel.

Figura 22 – Gráficos Radiasol 2.



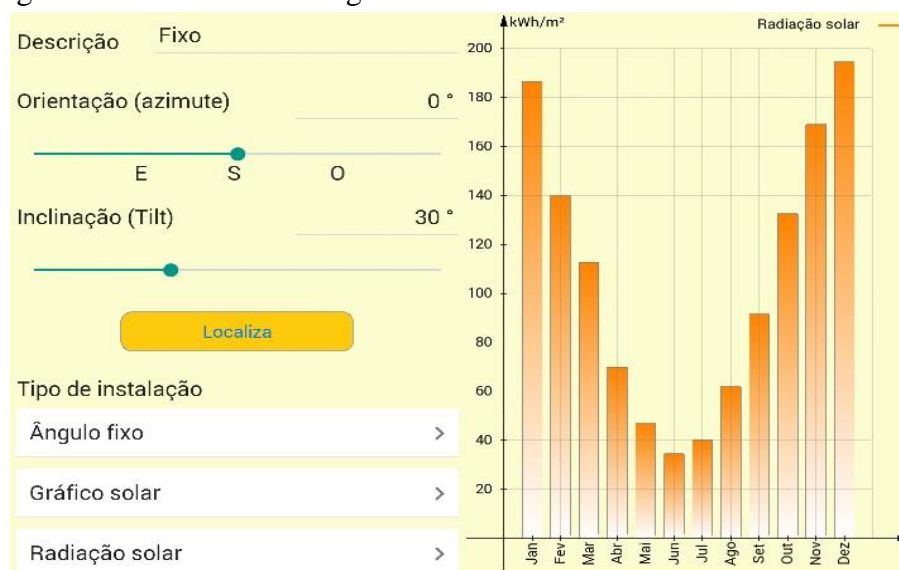
FONTE: (AUTOR, 2016).

Também foi utilizado o software iSolergo que é um aplicativo para smartphone e tablete disponível de graça, desenvolvido por uma empresa italiana que permite efetuar o projeto preliminar de um sistema fotovoltaico, com análises energéticas, configurações dos módulos fotovoltaicos, dos inversores e avaliação da rentabilidade do sistema.

São utilizados os sensores do dispositivo, para determinar automaticamente a localidade, a orientação e a inclinação dos módulos, a fim de obter uma completa avaliação energética do local, utilizando o banco de dados climáticos fornecidos.

Uma ferramenta que o programa oferece e ajudou na análise dos resultados é poder comparar um sistema fixo como mostra a figura 23 com um sistema de rastreamento de um e dois eixos, no nosso caso um de dois eixos como mostra a figura 24.

Figura 23 – Software iSolergo sistema fixo.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Figura 24 – Software iSolergo sistema móvel.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Observando as simulações do software iSolergo, preliminarmente conseguimos concluir, que o rastreador solar de dois eixos consegue um ganho de eficiência em todos os meses do ano em relação ao sistema fixo simulado, sendo esse ganho maior nos meses de inverno devido a posição do sol em relação a terra.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados foram coletados nos dias 30 e 31 de outubro através de um multímetro digital, de hora em hora, com o circuito da placa sem carga, ou seja, circuito aberto, sendo o sistema fixo com o ângulo de inclinação de 30° e a orientação azimutal será voltada para o norte foi o primeiro a ser testado no dia 30, apresentando um dia de céu limpo sem nuvens onde a temperatura máxima segundo dados meteorológicos foi de 29°.

Tabela 1 – Dados sistema fixo.

FIXO			
HORA	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	P=V x I (W)
06:00	0	0	0
07:00	2	0,06	0,12
08:00	12	0,21	2,52
09:00	19,9	0,29	5,771
10:00	19,7	0,31	6,107
11:00	19,6	0,33	6,468
12:00	19,7	0,34	6,698
13:00	19,6	0,35	6,86
14:00	19,8	0,34	6,732
15:00	19,9	0,28	5,572
16:00	19,8	0,25	4,95
17:00	19,2	0,18	3,456
18:00	18,8	0,12	2,256
19:00	13	0,08	1,04
19:30	0	0	0

FONTE: (AUTOR, 2016).

Após obter os dados do sistema fixo, no dia 31 de outubro foram coletados os dados do sistema móvel desenvolvido no presente trabalho, o dia foi de céu limpo sem nuvens onde a temperatura máxima segundo dados meteorológicos foi de 32°.

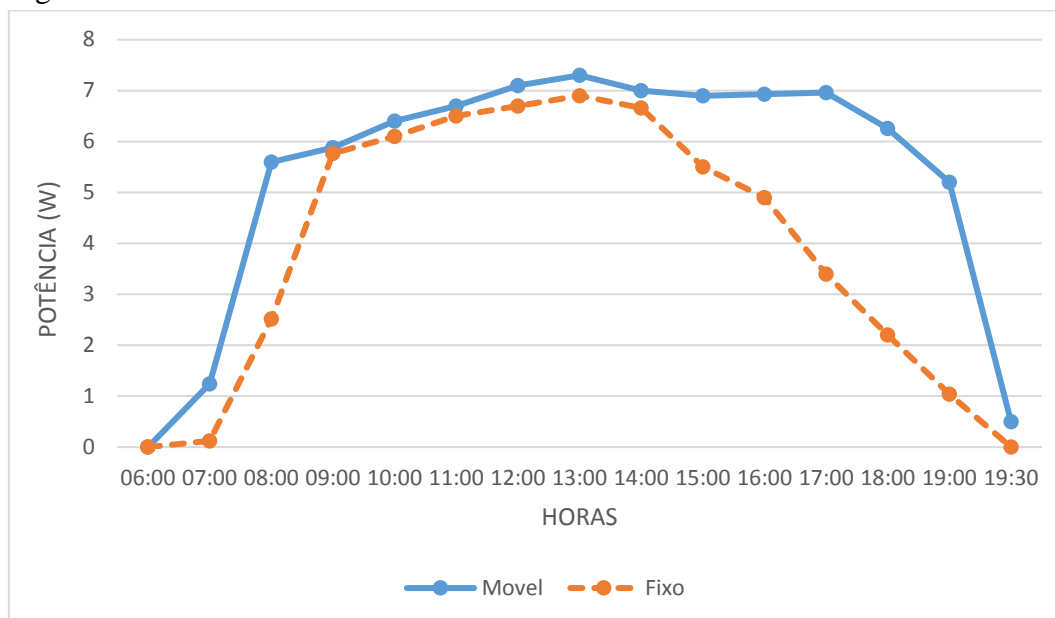
Tabela 2 – Dados sistema móvel.

MOVEL			
HORA	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	P= V x I (W)
06:00	0	0	0
07:00	15,5	0,08	1,24
08:00	21,1	0,27	5,697
09:00	20,3	0,29	5,887
10:00	20,2	0,32	6,464
11:00	19,7	0,34	6,698
12:00	19,9	0,36	7,164
13:00	19,8	0,37	7,326
14:00	19,6	0,36	7,056
15:00	19,7	0,35	6,895
16:00	19,8	0,35	6,93
17:00	19,9	0,35	6,965
18:00	20,2	0,31	6,262
19:00	18,9	0,28	5,292
19:30	8	0,06	0,48

FONTE: (AUTOR, 2016).

Nas tabelas 1 e 2 foram apresentados os valores coletados, sendo eles de tensão e corrente, logo após se aplica a fórmula da potência para obter o valor que a célula está gerando. Para visualizarmos melhor a diferença de um sistema para o outro foi desenvolvido um gráfico figura 25 que compara os dos dados das tabelas.

Figura 25 – Gráfico fixo x móvel.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Analisando os dados obtidos percebe-se a diferença entre os dois sistemas, sendo que apresentam uma maior diferença nas primeiras e nas últimas horas de radiação solar durante o dia. Nas horas intermediárias ainda consegue-se um ganho do sistema móvel para o fixo mas não é tão significativo considerando a potência em questão. Para instalações de grandes potências, esta diferença pode ser relevante.

Somando as potências dos dois sistemas nos diferentes dias, obtemos que o fixo gerou 58,55W durante o dia, sendo que o sistema móvel obteve 80,35W de geração durante o dia, isso nos dá um aumento de 37% de eficiência concluindo que o sistema funciona.

Tabela 3 – Custos dos sistemas.

	Fixo	Móvel
Placa Fotovoltaica	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Arduino	R\$ -	R\$ 85,00
Motores	R\$ -	R\$ 24,00
LDR's	R\$ -	R\$ 12,00
Componentes	R\$ -	R\$ 5,00
Estrutura	R\$ 37,75	R\$ 37,75
TOTAL	R\$ 107,75	R\$ 233,75

FONTE: (AUTOR, 2016).

Apesar de o sistema móvel ter custado R\$ 126 a mais que o sistema fixo isso resultando numa diferença de 17% entre um e o outro, o sistema se paga por ter tido grande aumento de rendimento.

A seguir observam-se os dois sistemas em funcionamento, as fotos foram nos mesmos dias às 18 horas, por ser um horário que tem grande influência na posição do sol em relação ao sistema.

Figura 26 – Sistema fotovoltaico fixo.



FONTE: (AUTOR, 2016).

Figura 27 – Sistema fotovoltaico móvel.



FONTE: (AUTOR, 2016).

5 CONCLUSÃO

Analisando os sistemas para as condições geográficas de Alegrete – RS, sendo um dos sistemas constituído de uma célula fixa e o outro com a célula utilizando um sistema de rastreador solar de dois eixos programado em C e sendo processado com a plataforma Arduino, foram obtidos os resultados que levaram às seguintes conclusões.

O sistema de rastreamento satisfaz os objetivos propostos, não apresentando problemas durante a coleta de dados, o sistema apresentou um ganho na energia gerada pela célula fotovoltaica nas condições de céu limpo sem nebulosidade.

Observou-se que a geração das células é influenciada em relação ao ângulo e a posição que a radiação solar incide na mesma, também pode-se concluir que o aumento da temperatura no painel influencia na sua geração.

Para as coordenadas da cidade de Alegrete–RS, utilizando o rastreador desenvolvido no presente trabalho conseguimos obter um rendimento de 37% a mais em relação à placa instalada fixa conforme os dados apresentados nas tabelas.

Caso ocorra algum defeito no sistema de sensores que é fundamental para o funcionamento do rastreador, o microcontrolador enviará um sinal aos motores para retornar a placa para posição fixa.

Concluindo que cada estudo relacionado ao rastreador solar é influenciado pela localização a qual o mesmo é aplicado além do modelo a ser implementado, sabe-se que as localizações mais afastadas da linha do Equador apresentam resultados menores, devido a maior difusão da radiação solar, assim fica difícil fazer a comparação com outro trabalho, também devesse levar em conta as condições climáticas e os efeitos dos dias e noites mais longos ocorrentes nas regiões mais próximas aos polos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, “**Atlas de Energia Elétrica do Brasil**”, 3ª edição, Brasília, 2008.

APARECIDO, S. V. J, “**Energia solar fotovoltaica – teoria física**”, Faculdade de Engenharia de Bauru, 2013.

APPLEYARD, D. “**Solar trackers: Facing the Sun**”, Londres, 2009.

ARDUINO, << www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560 >>, acesso outubro 2016.

CARVALHO, D. R., “**An Economical, Two Axes Solar Tracking System for Implementation in Brazil**”, California Institute of Technology, 2013.

CIENCIAVIVA, << www.cienciaviva.pt/ >>, acesso em novembro de 2016.

CRESESB, CEPEL “**Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**”, Rio de Janeiro, 1999.

CRESESB, CEPEL “**Atlas Solarimétrico do Brasil**”, Rio de Janeiro, 2000.

CRESESB, CEPEL “**Energia Solar Princípios e Aplicações**”, Rio de Janeiro 2006.

FINDER, “**White Paper: O mundo sustentável das Energias Renováveis**, São Paulo, 2011.

PROJECTSHOPBD, << www.projectshopbd.com/product/ldr/ >>, acesso outubro de 2016.

RENOVAVEISMAGAZINE, << www.renovaveismagazine.pt/ >>, acesso em novembro de 2016.

REIS, F. “**Development of photovoltaic systems with concentration**”, Universidade de Lisboa, 2013.

SANTOS, “**Servomotores**”, Porto Alegre, 2007.

VALLÊRA, M. A., “**Meio século de energia fotovoltaica**”, Universidade de Lisboa, 2006.

7 APÊNDICE

Apêndice A – Código da programação

```
#include <Servo.h> // Inclui a biblioteca dos servos motores

Servo horizontal; // Configurações Motor horizontal
int servoh = 180;

int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 0;

Servo vertical; // Configurações motor vertical
int servov = 30;
int servovLimitHigh = 80;
int servovLimitLow = 15;
int ldrse = 0; // Atribuindo os sensores LDR's
int ldrsd = 1;
int ldrie = 2;
int ldrid = 3;

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Define a taxa de dados em bits por segundo baud para a transmissão de dados em série
  horizontal.attach(9); // A biblioteca suporta os servos motores em apenas dois pinos digitais: 9 e 10
  vertical.attach(10);
  horizontal.write(180); // Grava dados binários para a porta serial, estes dados são enviados como um byte ou
  // uma série de bytes
  vertical.write(30); // Envia um byte com o valor 30
  delay(3000);
}

void loop()
{
  int se = analogRead(ldrse); // Lendo Sinal Analógico ldr superior esquerdo
  int sd = analogRead(ldrsd); // Lendo Sinal Analógico ldr superior direito
  int ie = analogRead(ldrie); // Lendo Sinal Analógico ldr inferior esquerdo
  int id = analogRead(ldrid); // Lendo Sinal Analógico ldr inferior direito

  int dtime = 10;
  int tol = 40;

  int ams = (se + sd) / 2; // Valor superior máximo
  int aim = (ie + id) / 2; // Valor inferior máximo
  int aem = (se + ie) / 2; // Valor esquerdo máximo
  int adm = (sd + id) / 2; // Valor direito máximo

  int dvert = ams - aim; // Diferença entre superior e inferior
  int dhoriz = aem - adm; // Diferença entre esquerdo e direito

  Serial.print(ams); // Imprimi os valores de posição no serial
  Serial.print(" ");
  Serial.print(aim);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(aem);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(adm);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(dtime);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(tol);
  Serial.println(" ");
}
```

```

// Revisa a diferença para ajustar o ângulo vertical
// Verificando se a diferença vertical é maior que a tolerância
if (-1*tol > dvert || dvert > tol)
{
  if (ams > aim)
  {
    servov = servov + 1;

    if (servov > servovLimitHigh)
    {
      servov = servovLimitHigh;
    }
  }
  else if (ams < aim)
  {
    servov = servov - 1;
    if (servov < servovLimitLow)
    {
      servov = servovLimitLow;
    }
  }

  vertical.write(servov);
}

// Revisa a diferença para ajustar o ângulo horizontal
// Verificando se a diferença horizontal é maior que a tolerância
if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol)
{
  if (aem > adm)
  {
    servoh = servoh - 1;

    if (servoh < servohLimitLow)
    {
      servoh = servohLimitLow;
    }
  }
  else if (aem < adm)
  {
    servoh = servoh + 1;

    if (servoh > servohLimitHigh)
    {
      servoh = servohLimitHigh;
    }
  }
  else if (aem == adm)
  {
  }

  horizontal.write(servoh);
}

// Caso ocorra erro nos LDRs
if (se == 0 && sd == 0 && ie == 0 && id == 0)
{
  servov = 30;
  servoh = 90;
  vertical.write(servov);
  horizontal.write(servoh);
}

delay(dtime);

```

Apêndice B – Imagens protótipo



FONTE: (AUTOR, 2016).



FONTE: (AUTOR, 2016).



FONTE: (AUTOR, 2016).



FONTE: (AUTOR, 2016).