

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

FRANCIELY DE OLIVEIRA HARACEMIV SOPELSA

**COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA GERADA POR UM SEGUIDOR
SOLAR CONTROLADO POR MICROCONTROLADOR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

FRANCIELY DE OLIVEIRA HARACEMIV SOPELSA

**COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA GERADA POR UM SEGUIDOR
SOLAR CONTROLADO POR MICROCONTROLADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Engenharia Elétrica, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dra. Cristhiane Gonçalves

Co-Orientador: Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos

PONTA GROSSA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Departamento de Eletrônica
Engenharia Elétrica



TERMO DE APROVAÇÃO

COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA GERADA POR UM SEGUIDOR SOLAR CONTROLADO POR MICROCONTROLADOR

por

FRANCIELY DE OLIVEIRA HARACEMIV SOPELSA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado(a) em 10 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.(a) Dra. Cristhiane Gonçalves
Prof.(a) Orientadora

Prof.(a) Dra. Fernanda Cristina Corrêa
Membro titular

Prof. Msc. Edison Luiz Salgado Silva
Membro titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Sérgio Okida
Coordenador do Curso

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma participaram e me apoiaram durante estes anos de aprendizado, sem o apoio de vocês tudo seria mais difícil.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pelo dom da vida, por me dar forças e saúde para enfrentar mais este desafio.

Agradeço também à Nossa Senhora, que nos momentos de angústia nunca me deixou sozinha!

Ao meu esposo Robson Sopelsa por todo o apoio e incentivo durante todos esses anos, por nunca ter deixado eu desistir deste sonho, sem você com certeza tudo seria mais difícil.

Aos meus Pais Júlia e Severo por terem me ensinado os valores da vida e por acreditarem em meus sonhos.

À minha tia Maria que sempre me apoiou durante esta jornada.

Aos meus Orientadores Cristhiane e Max que aceitaram este desafio e que sempre estão dispostos a ajudar.

Aos meus Professores que durante toda esta jornada participaram da minha formação passando seus conhecimentos para o nosso crescimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos e colegas da Universidade que compartilharam os momentos felizes e tensos da vida acadêmica.

Por fim, todos que de alguma maneira estiveram presentes em minha vida ajudando ou torcendo para que este sonho se realizasse.

Sabemos o que somos, mas não
sabemos o que poderemos ser.

(William Shakespeare)

RESUMO

SOPELSA, Franciely de Oliveira Haracemiv. **Comparação da potência gerada por um seguidor solar controlado por microcontrolador**. 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Com o crescente uso de energia elétrica no mundo a preocupação com novas fontes para a geração que sejam cada vez menos poluentes e mais eficientes vem aumentando, seguindo este princípio o presente estudo analisa aumentar a eficiência dos sistemas de produção de energia com painéis fotovoltaicos, utilizando um sistema de seguidor solar que leva em consideração a melhor incidência da radiação. Para analisar a sua eficiência, será comparado o modelo tradicional em que o painel é fixo na estrutura com o modelo proposto que, utilizará uma estrutura com um eixo móvel através de um microservo motor controlado por microcontrolador.

Palavras-chave: Seguidor solar. Sistema fotovoltaico. Microcontrolador.

ABSTRACT

SOPELSA, Franciely de Oliveira Haracemiv. **Comparison of power generated by solar follower controlled by microcontroller..** 2019. 49 p. Final Coursework (Bachelor's Degree in Electrical Engineer) – Federal Technological University of Parana. Ponta Grossa, 2019.

With the increasing use of electricity in the world, the concern about new sources for generation that are less polluting and more efficient has been increasing. Following this principle the present study analyzes to increase the efficiency of photovoltaic panels energy production systems using a solar follower system that takes into account the best incidence of radiation. To analyze its efficiency, the traditional model in which the panel is fixed in the structure will be compared with the proposed model which will use a structure with a movable axis through a microcontroller controlled stepper motor.

Keywords: Solar Follower. Photovoltaic System. Microcontroller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esfera Celeste.....	18
Figura 2 - Relações geométricas entre um ponto na superfície horizontal e a irradiação solar incidente.	19
Figura 3 - Seguidor solar de um eixo horizontal.....	22
Figura 4 – Painel Solar.....	23
Figura 5 – Placa Solar Utilizada	25
Figura 6 – Arduino Uno	26
Figura 7 – Ambiente de Programação do Arduino	26
Figura 8 – Sistema de Seguidor Solar com 45 °.....	28
Figura 9 – Sistema de Seguidor Solar com 30 °.....	28
Figura 10 – Sistema de Seguidor Solar com 15 °.....	29
Figura 11 – Sistema de Seguidor Solar com 0 °.....	29
Figura 12 - Circuito Completo.....	31
Figura 13 - Sistema Completo com Eixo Fixo (Sistema Convencional)	32
Figura 14 - Sistema Completo com Eixo Móvel (Sistema de Seguidor Solar).....	32
Figura 15 - Sistema Físico.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tensão Gerada com Sistema de Eixo Fixo	37
Tabela 2 – Tensão Gerada com Seguidor Solar	37
Tabela 3 - Corrente do Sistema de Eixo Fixo.....	38
Tabela 4 - Corrente do Sistema de Seguidor Solar.....	38
Tabela 5 – Potência Gerada em Sistema de Eixo Fixo	38
Tabela 6 - Potência Gerada em Seguidor Solar.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS.

LISTA DE SIGLAS

USB *Universal Serial Bus*

IDE *Integrated Development Environment*

CRESESB Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.2	PROBLEMA E HIPÓTESE	14
1.3	OBJETIVO GERAL.....	14
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.5	JUSTIFICATIVA.....	14
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	16
2.1.1	Energia Hidráulica	16
2.1.2	Energia Térmica	17
2.1.3	Energia Eólica	17
2.1.4	Energia Solar.....	17
2.2	INCIDÊNCIA SOLAR SOBRE A TERRA.....	18
2.3	EFEITO FOTOVOLTAICO.....	20
2.4	SEGUIDOR SOLAR	21
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	PAINEL SOLAR.....	23
3.2	SISTEMA EMBARCADO.....	25
3.2.1	Programação	27
3.3	SIMULAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO	27
3.4	PROTÓTIPO	30
3.5	FUNCIONAMENTO	33
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS.....	41
	ANEXOS	
	ANEXO A – CÓDIGO IMPLEMENTADO PARA MOVIMENTAÇÃO DOS EIXOS	
	DO PROTÓTIPO.....	45

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica atualmente se torna indispensável para a sociedade, além do uso residencial e industrial, também é crescente a sua utilização em automóveis, e o uso de recursos sustentáveis é cada vez mais discutido na geração de energia, devido à preocupação com o meio ambiente nas questões de poluição e custo de produção. Uma das fontes de energia sustentáveis é a energia solar, que utilizam painéis fotovoltaicos que captam os raios solares e os transformam em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

Segundo Peraza (2013) a intensidade de radiação solar que incide sobre uma célula solar influencia na sua eficiência. Logo, para que a eficiência do sistema fotovoltaico seja ampliada, deve-se manter as células com um ângulo em que a incidência da luz solar seja máxima.

Para obter esse ângulo de inclinação para que a incidência da luz sempre seja a mais eficiente, foi proposto um sistema de suporte com inclinação variável de um eixo, este controlado por um sistema microcontrolado que faz a movimentação do micro servo motor de acordo com os cálculos da trajetória solar.

O microcontrolador utilizado para o protótipo foi o Arduino UNO, que possui a função de controlar o movimento dos eixos do sistema através do controle do micro servo motor e do motor de passo.

O presente estudo irá analisar a produção de energia elétrica através da comparação entre o sistema convencional de eixo fixo com o sistema proposto de eixo variável controlado por microcontrolador.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Para o presente estudo será feita a comparação da potência gerada entre dois sistemas que utilizam como fonte de energia a fotovoltaica, um deles é o modelo tradicional comumente utilizado em instalações residenciais, que possui eixo fixo, e o outro modelo a ser comparado é o que possui um sistema com eixo variável que utiliza micro servo motor, controlado por um microcontrolador, neste caso será utilizado o Arduino Uno.

1.2 PROBLEMA E HIPÓTESE

Analisar o rendimento de dois tipos de sistemas fotovoltaicos, o que possui o sistema de eixo móvel controlado por um micro servo motor e o sistema de eixo fixo. Através dos testes realizados com os dois tipos de sistema, realizar os cálculos das potências geradas, buscando um aumento na faixa entre vinte e cinquenta por cento de energia gerada no sistema de eixo móvel quando comparado ao sistema tradicional de eixo fixo.

1.3 OBJETIVO GERAL

Apresentar novas soluções para o crescimento do fornecimento das energias renováveis, realizar a comparação entre dois tipos de sistemas solares, o convencional com eixo fixo e o sistema proposto com eixo variável.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Através da análise do objetivo geral, o objetivo específico é demonstrar que:

- o uso do sistema proposto de um seguidor solar controlado por microcontrolador é mais viável para a produção de energia elétrica;
- apresentar o desenvolvimento do sistema proposto;
- realizar as considerações através dos cálculos obtidos com o experimento;
- realizar a simulação do protótipo via software *SolidWorks*;
- implementar o software utilizando a plataforma do *Arduino Uno*.

1.5 JUSTIFICATIVA

Com a evolução da tecnologia e o consumo de energia elétrica ao redor do mundo, a busca por sistemas de geração de energia mais eficientes e menos poluentes se torna imprescindível. Estudar a eficiência energética de sistemas fotovoltaicos é um campo vasto e de extrema importância na área de Engenharia Elétrica, porque através do aumento dos estudos sobre o impacto no meio ambiente sobre as formas de melhorar a produção de energia elétrica, é desta maneira em

que a sociedade vai tomando consciência da importância de se produzir energia de maneira sustentável e eficiente.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. No capítulo 2 tem-se todo o estudo das referências bibliográficas, assim como sua história. Nos capítulos 3 e 4 é abordada a metodologia utilizada bem como foi realizada a criação do protótipo. No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo em questão abordaremos um pouco sobre a história da criação dos painéis fotovoltaicos, do estudo sobre a radiação solar, da importância da energia sustentável e da preocupação com o meio ambiente.

2.1 FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA

Existem várias maneiras de se produzir a energia elétrica, algumas causam grandes problemas para o meio ambiente e outras menos poluentes estão sendo cada vez mais procuradas como meio de evitar o problema da poluição no mundo. A seguir é mostrado o funcionamento de alguns tipos de geração de energia e seu impacto ao meio ambiente.

2.1.1 Energia Hidráulica

Atualmente a fonte de energia elétrica mais utilizada no Brasil é a hidráulica devido a abundância de recursos hídricos no país, mas apesar desta fonte de energia ser considerada limpa, devemos analisar vários fatores importantes que impactam nesta forma de geração. Um dos principais fatores que impactam neste tipo de produção de energia é a falta de chuvas na região onde estão instaladas as hidrelétricas, já que para a produção necessita-se de uma grande vazão de água e, com o período de estiagem é necessário utilizar outras formas de produção de energia para atender a demanda.

Outro fator a ser considerado para o uso de produção de energia elétrica através de hidrelétricas é seu grande impacto ambiental na construção, onde um vasto ecossistema acaba sendo submerso sobre as águas que tocam as turbinas (OLIVEIRA; ZHOURI, 2007).

2.1.2 Energia Térmica

Além da energia hidráulica, outras fontes de energia são utilizadas, como a energia termoelétrica, que apesar de não ter um impacto ambiental tão grande em sua construção, acaba poluindo o meio ambiente através da queima de combustíveis e acaba produzindo o dióxido de carbono (CO₂), gás que causa o efeito estufa, problema esse que causa o aumento da temperatura do planeta, possuindo grande impacto no clima mundial (BAJAY; BADANHAN, 2002).

Também são utilizadas outras fontes para queima para a geração de energia como o gás natural, carvão, biomassa entre outros. A energia nuclear também se enquadra como termoelétrica, mas seu processo é um pouco diferente dos demais onde é feita a queima dos elementos. Ela funciona basicamente pela fissão dos átomos de urânio, que gera calor, movendo assim as turbinas através da formação de vapor. Apesar de ser uma forma menos poluente de geração de energia, o risco de contaminação do meio ambiente pode se tornar grande quando descartados os materiais de maneira incorreta ou por algum tipo de acidente na usina.

2.1.3 Energia Eólica

Esta maneira de geração de energia é uma das mais sustentáveis, pois causa pouco impacto ambiental em sua construção, podendo ser construídas grandes usinas eólicas no meio de plantações e criações de animais. A energia eólica aproveita o vento como fonte de geração de energia elétrica através do movimento dos aerogeradores, que basicamente transforma a energia coletada do vento através da movimentação das hélices, com este movimento é acionada a turbina, gerando assim a energia elétrica (CASTRO, 2007).

2.1.4 Energia Solar

Uma das maneiras de geração de energia elétrica sustentáveis e que não poluem o meio ambiente, aproveita a luz solar que é uma fonte inesgotável de energia através dos painéis fotovoltaicos, que transformam a radiação solar em

energia elétrica através da movimentação de elétrons em seu material semiconductor. É uma fonte de energia que não necessita de grandes usinas ou construções para poder utilizá-la e pode ser instalada nos telhados das casas, sendo uma maneira viável para a população (FARIA et al., 2016).

Existem outras fontes de geração de energia que aproveitam os recursos da natureza, por exemplo, a marítima e a geotérmica.

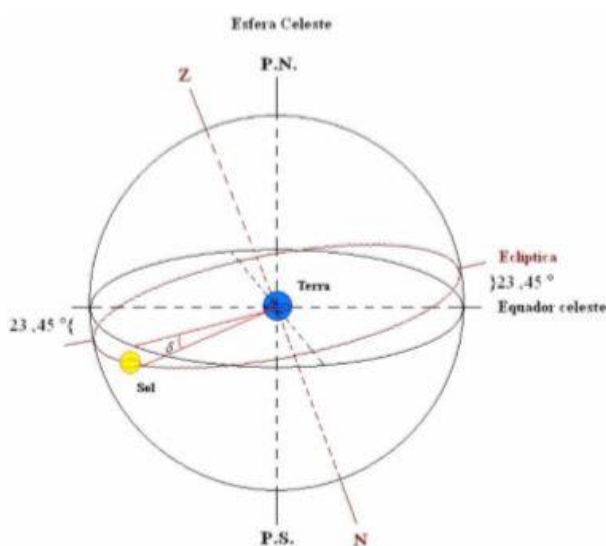
2.2 INCIDÊNCIA SOLAR SOBRE A TERRA

Os estudos sobre a incidência solar sobre a superfície da Terra são de extrema importância para o presente trabalho. Primeiramente devemos analisar os movimentos que relacionam a Terra com o Sol.

Para que se possa calcular a trajetória solar em busca da melhor incidência da radiação, é necessário que se conheça as relações de ângulos formados entre a posição aparente do Sol no céu e as coordenadas na superfície terrestre, de acordo com Iqbal (1983).

Para Mendoza (2013) considerando a Terra como um ponto fixo no centro de uma grande esfera imaginária, que é denominada Esfera Celeste. O Sol percorre a órbita eclíptica uma vez ao ano e a Esfera Celeste gira uma vez ao dia ao redor da Terra, que pode ser observada na Figura 1:

Figura 1- Esfera Celeste

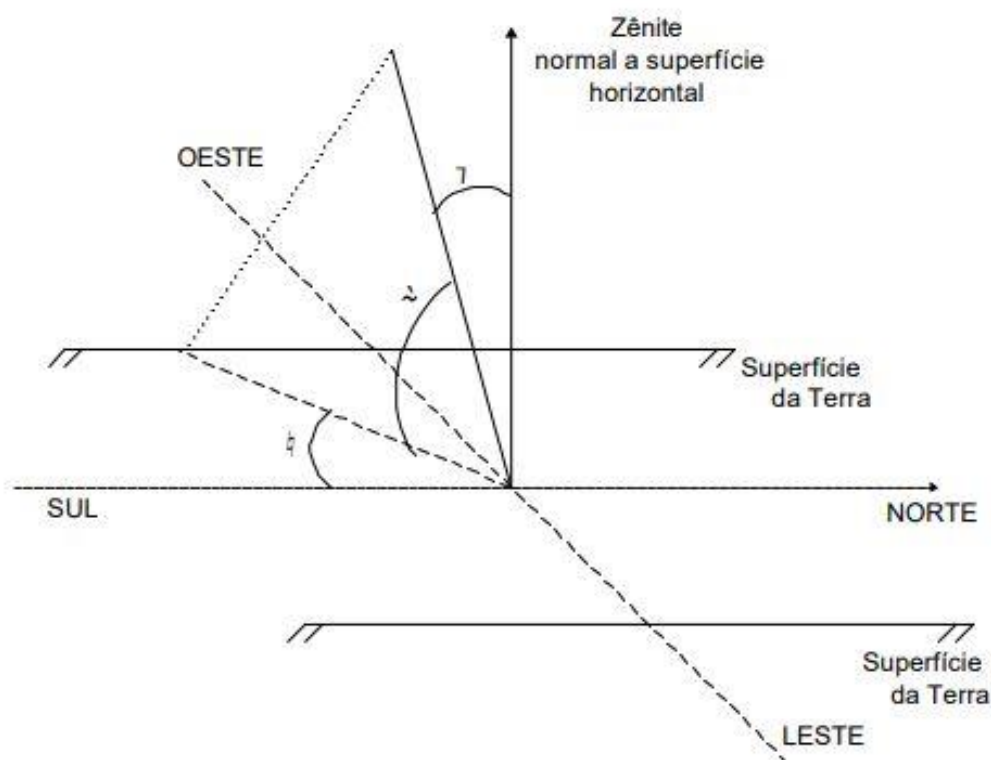


Fonte: (Oliveira, 2008)

De acordo com a Figura 1, pode-se observar a declinação solar (δ) que é o ângulo formado pelo equador celeste com a reta que passa pelo centro do Sol e da Terra, este ângulo varia entre $-23,45^\circ$ e $+23,45^\circ$ (Cassares, 2016).

Para os cálculos da irradiação solar deve-se considerar também a latitude(φ), que varia de 90° até -90° , que é a localização angular norte-sul a partir da linha do equador. O ângulo formado pelo feixe de radiação solar incidente sobre uma superfície com a vertical é denominado ângulo de zênite (Θ_z) e o ângulo horário (ω) que é a variação do ângulo do sol de acordo com a rotação da Terra, varia 15° por hora de leste a oeste (Ferronato e Severo, 2018), a figura 2 ilustra os ângulos citados acima:

Figura 2 - Relações geométricas entre um ponto na superfície horizontal e a irradiação solar incidente.



Fonte: (Guimarães, 2003).

O ângulo de zênite pode ser escrito de acordo com a equação 1:

$$\cos\theta_z = \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta \quad (1)$$

Como a declinação solar é importante para se obter a melhor incidência da radiação, ela pode ser determinada através da equação de Spencer (Iqbal, 1983), dada pela equação 2:

$$\delta = \left(\frac{180}{\pi}\right) \cdot (0,006918 - 0,399912 \cdot \cos B + 0,070257 \cdot \sin B - 0,006758 \cos 2B + 0,000907 \sin 2B - 0,002697 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B) \quad (2)$$

E B é dada pela equação 3:

$$B = (n - 1) \cdot \frac{360}{365} \quad (3)$$

Onde:

n varia de 1 a 365, que equivale aos dias do ano.

De acordo com (GUIMARAES, 2003):

A partir da análise dos movimentos de translação e rotação da Terra é possível concluir que um plano recebe os raios do Sol com ângulos de incidência diferentes, segundo a hora do dia e a época do ano, e que eles se modificam com a orientação e a inclinação do plano.

2.3 EFEITO FOTOVOLTAICO

A energia fotovoltaica consiste basicamente na conversão de luz em eletricidade. O efeito fotovoltaico foi relatado por Edmond Becquerel em 1839, e pode ser descrito como a diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz (CRESESB,2008).

O efeito fotovoltaico ocorre em semicondutores, que possuem elétrons em sua camada de valência e também possuem a camada de condução, que é definida

assim por não obter elétrons nesta camada, exceto quando há incidência de radiação no material.

O material mais utilizado para a fabricação de células fotovoltaicas é o silício, ele possui quatro elétrons na camada de valência, que se ligam aos átomos vizinhos, formando assim uma rede cristalina. O fósforo é um elemento denominado dopante n, por ser um doador de elétrons. O Boro é denominado de dopante p, por ser um aceitador de elétrons. E a partir da introdução de átomos de boro em uma metade do silício puro e átomos de fósforo em outra, forma-se a junção pn, na qual elétrons livres do lado n são capturados por lacunas do lado p, e no equilíbrio uma barreira é formada impedindo a passagem de novos elétrons. O efeito fotovoltaico ocorre quando fótons incidem sobre a junção pn e, resultam em uma diferença de potencial através do deslocamento de cargas (Faricelli, 2008).

2.4 SEGUIDOR SOLAR

Com o aumento da preocupação com a geração de energia limpa e sustentável, o uso de energia solar através da utilização de painéis fotovoltaicos está crescendo ao redor do mundo. Para um aumento na eficiência deste tipo de energia são utilizados os seguidores solares, que são dispositivos que buscam o melhor aproveitamento da radiação solar sobre as células fotovoltaicas.

Segundo (BAZZO e PEREIRA, 2006), temos algumas maneiras de analisar um problema e, uma das formas para resolve-lo é a analogia, onde buscamos situações análogas encontradas na natureza como fonte de inspiração para novas tecnologias. Seguindo este princípio, buscou-se observar o movimento das plantas que possuem a característica do heliotropismo, por exemplo o girassol. Estas plantas fazem a trajetória de leste a oeste durante o dia para o maior aproveitamento da luz solar, assim, elas conseguem realizar a fotossíntese de maneira mais eficiente. Fazendo uma analogia com estas plantas, foi pensado em buscar a máxima eficiência para a produção de energia solar através do movimento da trajetória do sol.

Um seguidor solar é criado para que haja melhor aproveitamento da radiação solar sobre as células fotovoltaicas. É um dispositivo que se movimenta de maneira

a deixar o ângulo do painel fotovoltaico perpendicular ao ângulo de incidência solar. Os seguidores solares podem ser divididos de acordo com o modo de operação e, podem ser classificados em:

Seguidores solares de um eixo, que podem ter configuração com eixo horizontal, seguidor polar e eixo vertical. A seguir temos um exemplo de seguidor de um eixo horizontal, o qual possui movimentação apenas no eixo central.

Figura 3 - Seguidor solar de um eixo horizontal



Fonte: (Rodriguez, Almeida, et al, 2014)

Seguidores solares de dois eixos, que podem ter as características polar/equatorial ou azimutal/elevação. Este tipo de sistema possui um eixo que se movimenta de leste a oeste

Eles também podem ser classificados de acordo com o tipo de controle, e são divididos em seguidor passivo, onde não possuem circuito eletrônico ou motor e, são movidos a partir de fluídos que devido a diferença de temperatura fazem a estrutura se mover de acordo com o Sol ou com tiras bi metálicas e seguidores microcontrolados, que utilizam microprocessadores e motores elétricos para realizar o movimento.

3 METODOLOGIA

Até o momento foram discutidos os princípios básicos para o melhor entendimento do projeto em questão, como as maneiras de geração de energia elétrica afetam a sociedade e o meio ambiente em que vivemos, quais as maneiras mais eficientes de geração elétrica e como é o princípio da transformação da incidência dos raios do sol em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

Para o presente estudo foi elaborado um protótipo para a análise dos dados, foi realizada a simulação do sistema via software *SolidWorks*, e feita a implementação na prática para a obtenção dos resultados reais. A seguir são descritos os materiais utilizados e a forma de construção e análise dos dados.

3.1 PAINEL SOLAR

O painel solar é o principal componente do presente estudo, pois é através dele que obtemos a transformação da energia solar em energia elétrica. A figura 4 representa uma imagem que exemplifica como é a configuração básica de um painel solar.

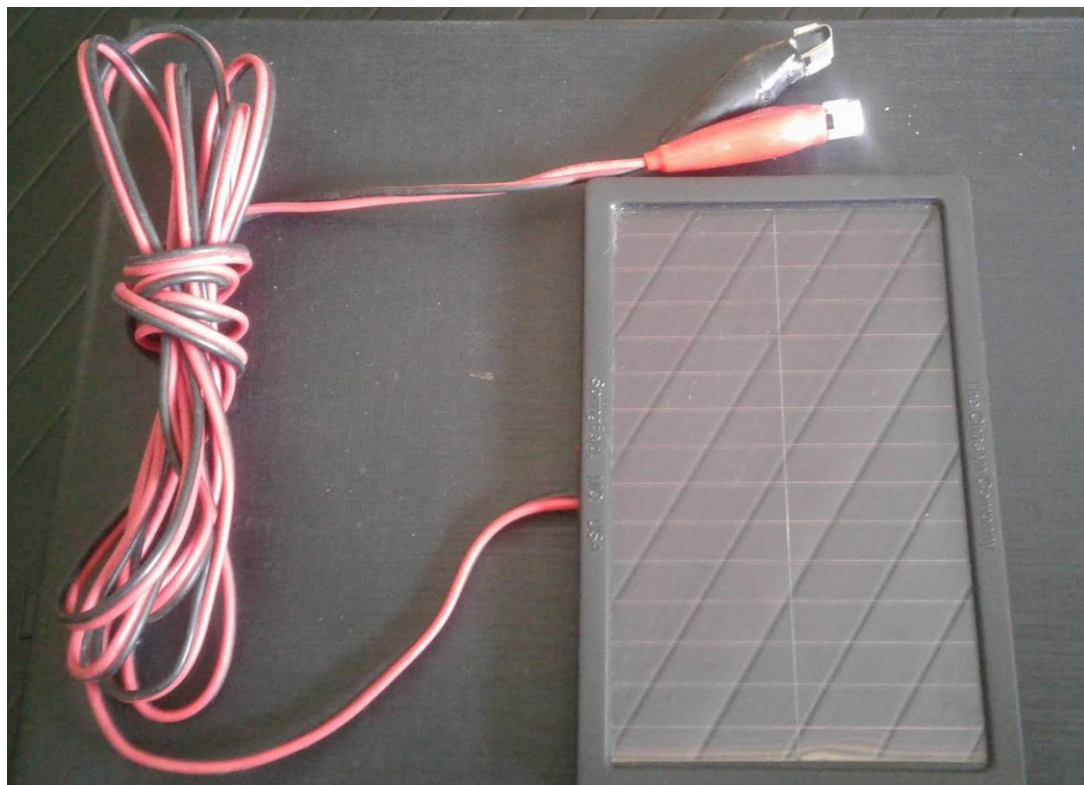
Figura 4 – Painel Solar



Fonte: Portal Solar

- A moldura de alumínio serve para segurar o vidro e dar acabamento ao painel;
- O vidro possui uma espessura que varia de 2mm a 4mm para a proteção mecânica do painel contra intempéries e possui a função de proteção da camada das células fotovoltaicas. Ele deve possuir um baixo índice de refletividade para que a eficiência da placa seja maior;
- A película encapsulante possui a função de junção entre as camadas do painel solar, ela é utilizada antes e depois das camadas das células fotovoltaicas. O material mais utilizado para a confecção da película encapsulante é o EVA (Etileno Acetato de Vinila);
- A célula fotovoltaica é o principal componente do painel solar, é nela em que acontece a transformação da energia solar em energia elétrica. Elas são confeccionadas com silício, boro e fósforo;
- O backsheet tem a função de isolamento do painel solar contra umidade e o ar e fica embaixo das outras camadas recebendo o nome de fundo protetor; geralmente é feito com material plástico, mas em alguns modelos podemos encontrar ele feito com vidro e;
- A caixa de junção é o lugar em que são feitas eletricamente as conexões das placas, onde são ligados os cabos que irão para a parte externa do painel. Geralmente é feito de material plástico bem isolado.

Para o presente estudo foi utilizado uma placa solar do modelo EZ RED SC12A, conforme figura 5.

Figura 5 – Placa Solar Utilizada

Fonte: Aatoria Própria

3.2 SISTEMA EMBARCADO

Para a movimentação dos eixos do sistema, foi preciso utilizar um sistema de microcontrolador, para realizar o movimento de rotação tanto do painel solar, quanto da luminária que faz o movimento do sol para considerarmos situações iguais nos testes. O microcontrolador escolhido foi o Arduino Uno, que possui uma placa baseada no ATmega328P da Microchip, sendo uma placa que conta com 14 pinos que podem ser usadas como entradas ou saídas digitais e, mais 6 pinos que podem ser usados também como entradas ou saídas analógicas.

A figura 6 demonstra a placa que fora utilizada para o experimento.

Figura 6 – Arduino Uno



Fonte: Autoria Própria

O Arduino é um microcontrolador que possui um sistema robusto, com uma plataforma de programação do próprio Arduino, que se chama IDE. Nesta plataforma pode ser utilizada a linguagem em C, onde é possível programar, compilar, executar e verificar se está tudo certo com a programação. A figura 7 mostra o ambiente de programação da plataforma do Arduino.

Figura 7 – Ambiente de Programação do Arduino

```

Sensor_de_Corrente | Arduino 1.8.2
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
Carregar
Sensor_de_Corrente
int sensorPin =A0;

int sensorValue_aux = 0;
float sensorValue = 0;
float currentValue = 0;
float voltsporUnidade = 0.004887586; // 5%1023

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sensorPin, INPUT);
}

void loop() {

  for(int i=100; i>0; i--){
    sensorValue_aux = (analogRead(sensorPin) -511); // le o sensor na pino analogico A0 e ajusta o valor lido ja que a saida do sensor é (1023)vcc/2 para corrente =0
    sensorValue += pow(sensorValue_aux,2); // somam os quadrados das leituras.
  }

  sensorValue = (sqrt(sensorValue/ 100)) * voltsporUnidade; // finaliza o calculo da média quadratica e ajusta o valor lido para volts
  currentValue = (sensorValue/0.120); // calcula a corrente considerando a sensibilidade do sensor (185 mV por amper)

  // mostra o resultado no terminal
  Serial.print(currentValue,3);
  Serial.print(" A \n" );

  sensorValue =0;
  
```

Arduino/Genuino Uno em COM5

Fonte: Autoria Própria

3.2.1 Programação

Para realizar a implementação do software foi utilizada a plataforma IDE (Integrated Development Environment) que significa “Ambiente de Desenvolvimento Integrado”, que é a própria plataforma do Arduino e que aceita as linguagens de programação em Java, C e C++. A linguagem de programação escolhida foi em C. A programação controla o movimento do micro servo motor que realiza o movimento do painel solar, o acionamento do motor de passo que faz o movimento da luminária imitando o sol, e dos botões de reset do sistema e início de ciclo.

O código que fora implementado encontra-se no Anexo A deste estudo.

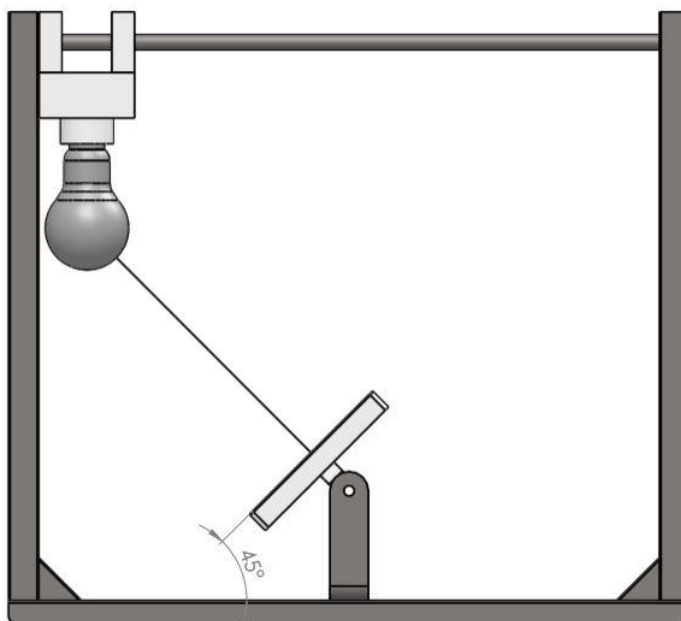
3.3 SIMULAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

O objetivo do presente estudo é buscar a maior eficiência dos painéis solares captando a maior quantidade possível de radiação solar.

Para iniciar o protótipo foi feita a simulação do projeto via software *SolidWorks*, sendo que o sistema conta com dois eixos móveis; um dos eixos é o de rotação para a fixação do painel solar, o qual o movimento inicia em 45° e vai até 0° para captar a melhor incidência solar. Para que não haja alteração na quantidade de luz solar para realizar a comparação entre os dois sistemas, a radiação solar com uma lâmpada para que os dados sejam mais precisos.

O próximo eixo é o que contém a lâmpada que irá simular a radiação solar; ele se movimenta em um eixo com uma barra roscada, o motor de passo faz o eixo que contém a lâmpada girar, assim ela vai se deslocando imitando a trajetória solar. As figuras 8, 9, 10 e 11 ilustram o sistema proposto.

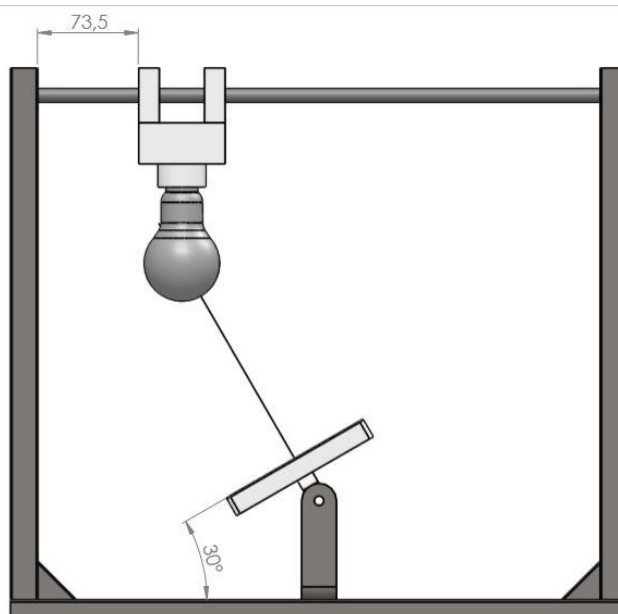
Figura 8 – Sistema de Seguidor Solar com 45 °



Fonte: Autoria Própria

A figura 9 mostra o sistema de seguidor solar com um passo de 73,5 mm no eixo 1 e com uma angulação de 30° no eixo 2.

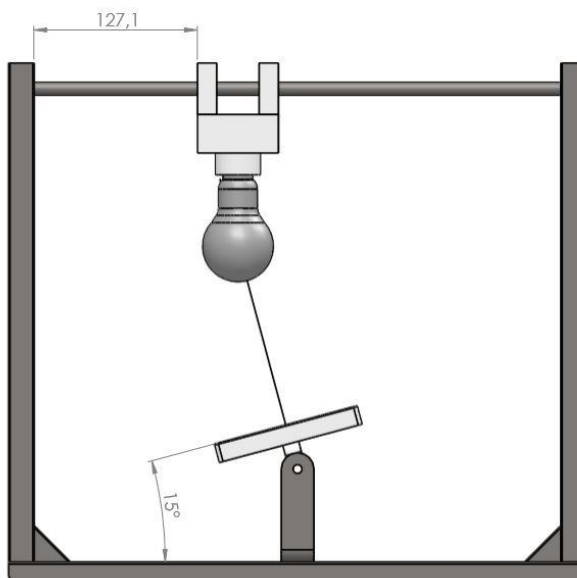
Figura 9 – Sistema de Seguidor Solar com 30 °



Fonte: Autoria Própria

A figura 10 mostra o sistema de seguidor solar com um passo de 127,1mm no eixo 1 e com uma angulação de 15° no eixo 2.

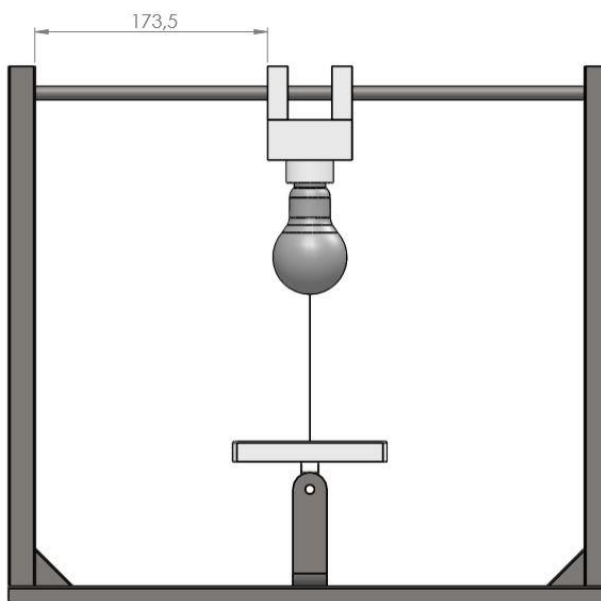
Figura 10 – Sistema de Seguidor Solar com 15 °



Fonte: Autoria Própria

A figura 11 mostra o sistema de seguidor solar com um passo de 173,5mm no eixo 1 e com uma angulação de 0° no eixo 2.

Figura 11 – Sistema de Seguidor Solar com 0 °



Fonte: Autoria Própria

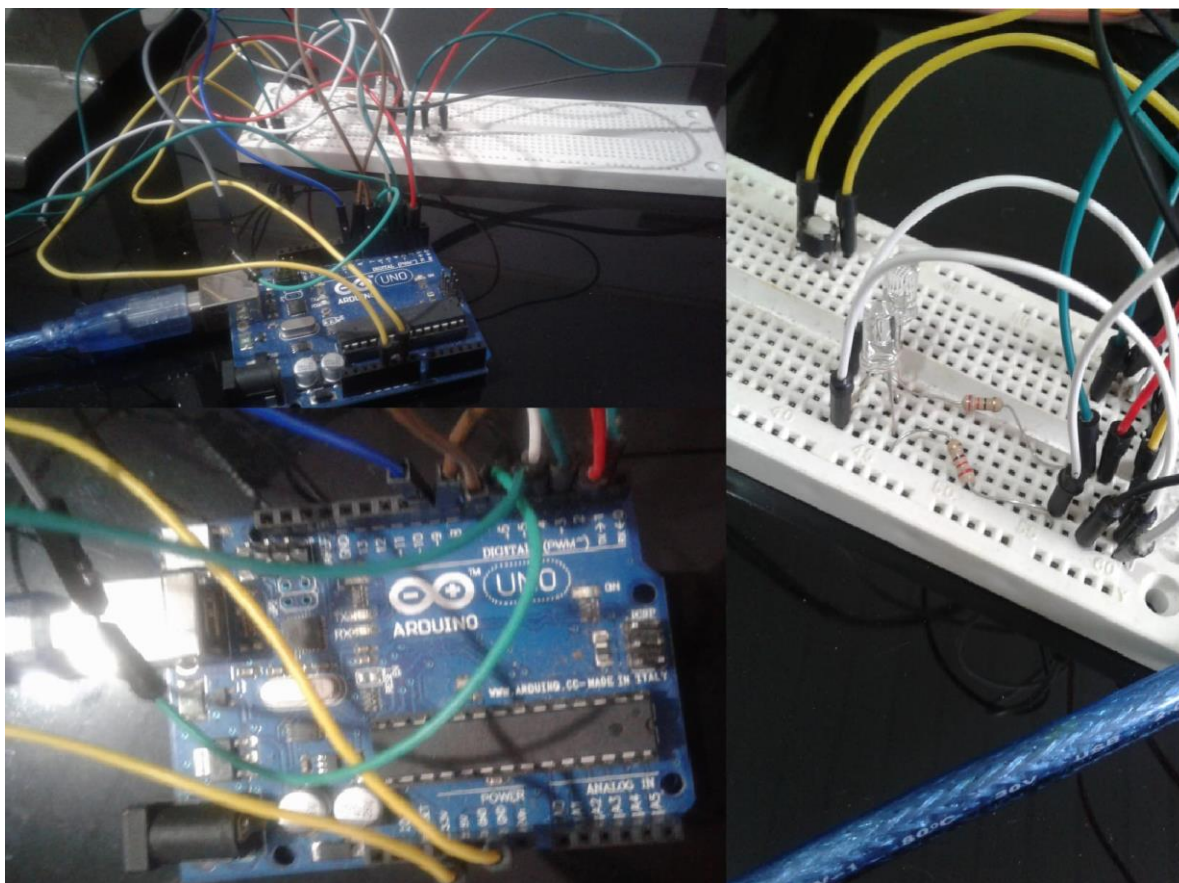
3.4 PROTÓTIPO

Após a elaboração do protótipo via software *SolidWorks*, foi realizada a implementação dos componentes do sistema na prática, os materiais utilizados para a montagem do sistema foram:

- 1 Protoboard;
- 1 Arduino Uno;
- 2 Resistores de 220 ohms;
- 2 Leds;
- 2 Botões;
- 1 Fonte de Alimentação Externa;
- 1 Micro Servo Motor;
- 1 Motor de Passo;
- 1 Drive ULN2003;
- 1 Resistor de 500 ohms;
- Jumpers;
- 1 Fonte de Alimentação;
- 1 Suporte Metálico;
- 1 Multímetro;
- 1 Painel Solar;
- 1 Lâmpada;
- 1 Cabo USB Arduino.

O circuito completo é apresentado na Figura 12.

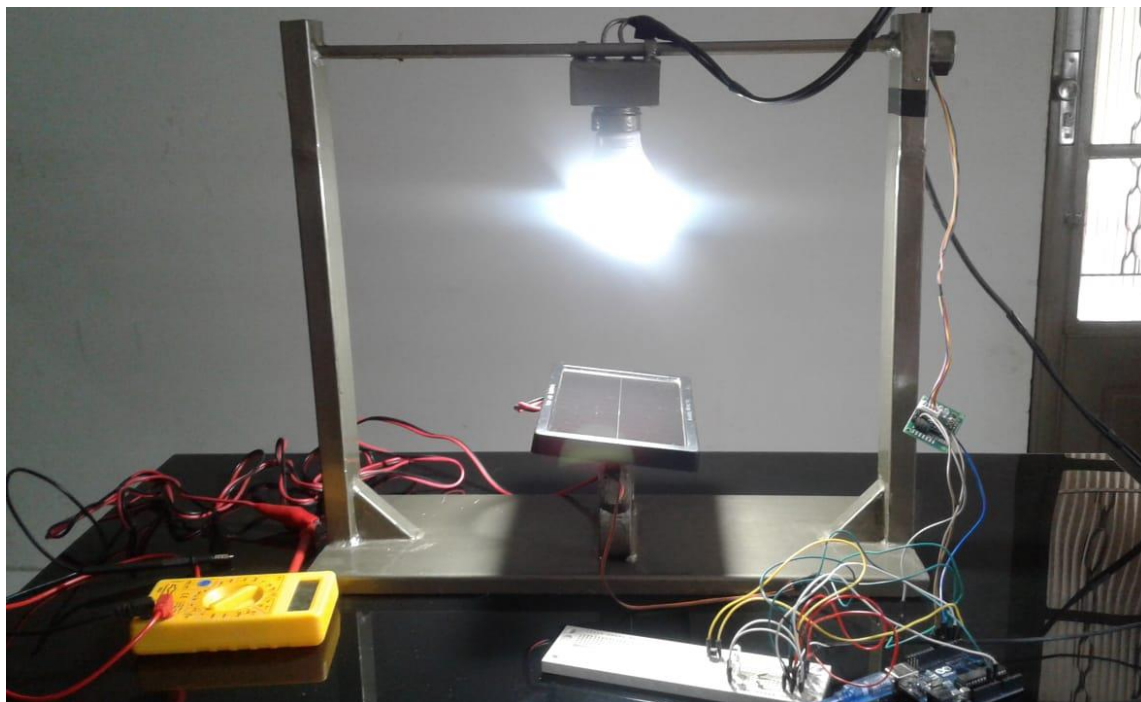
Figura 12 - Circuito Completo



Fonte: Autoria Própria

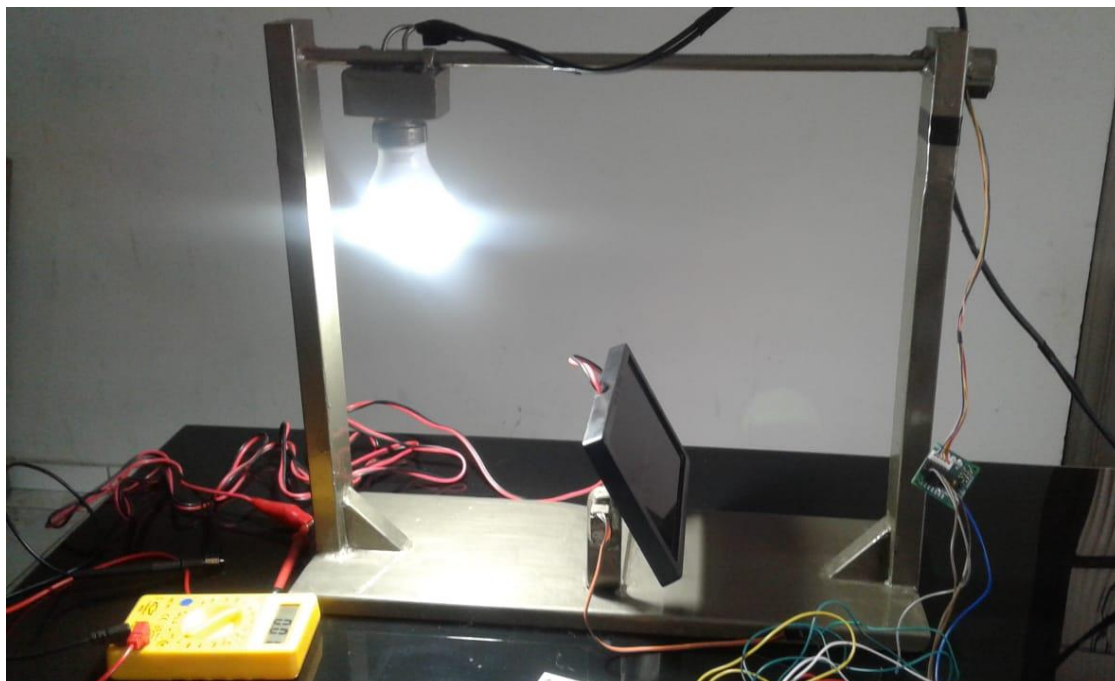
O sistema final com o circuito montado no suporte metálico, com os motores e o painel solar é apresentado nas figuras 13 e 14.

Figura 13 - Sistema Completo com Eixo Fixo (Sistema Convencional)



Fonte: Autoria Própria

Figura 14 - Sistema Completo com Eixo Móvel (Sistema de Seguidor Solar)

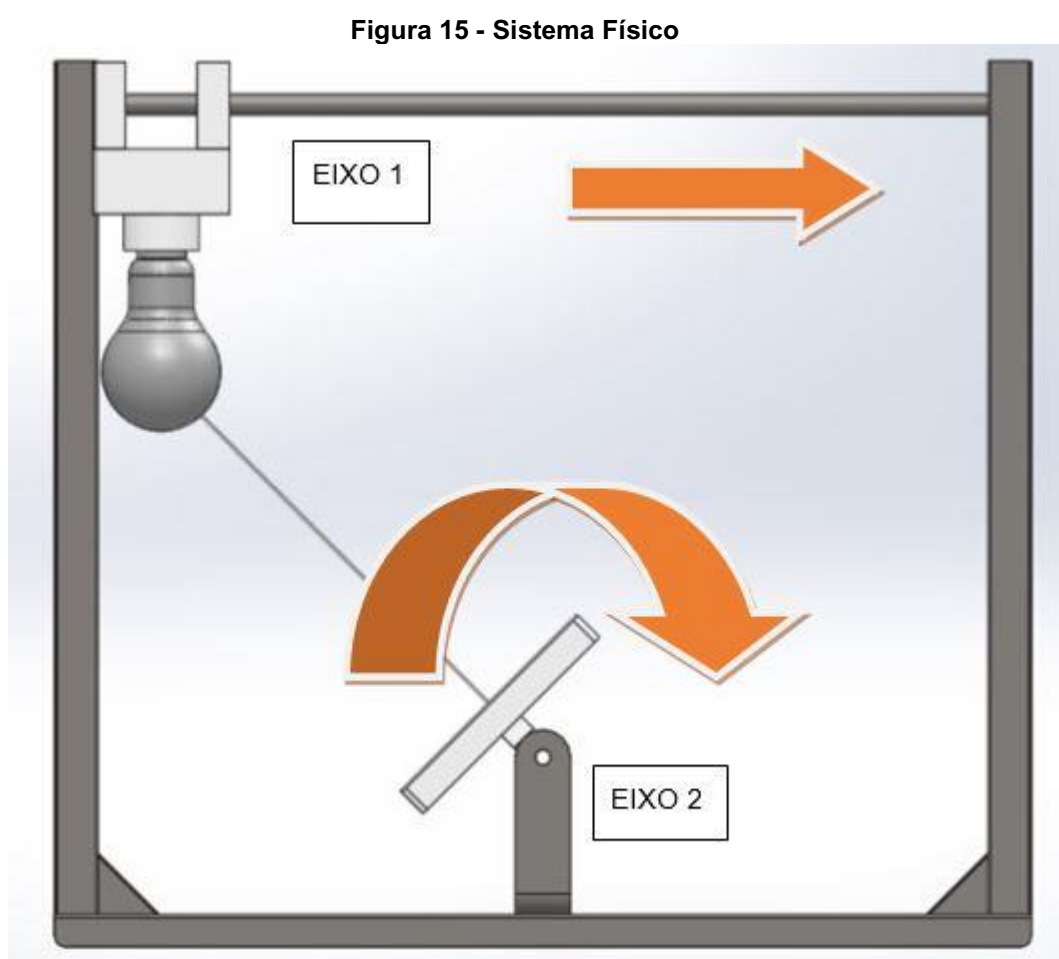


Fonte: Autoria Própria

3.5 FUNCIONAMENTO

Para uma melhor descrição do funcionamento do sistema, o protótipo foi separado em 2 partes, a parte em que corresponde ao programa realizado no Arduino e a parte que corresponde à parte física do protótipo.

Analisando primeiramente a parte física do protótipo, ele funciona de acordo com a figura 15.



Fonte: Autoria Própria

O eixo 1 é o que contém a lâmpada que realiza o movimento que imita a trajetória solar. Para o presente estudo vamos considerar a iluminação da lâmpada para que não ocorram diferenças nas posições e nas condições climáticas. O eixo 1 contém um “carrinho” que se move ao longo de uma barra roscada, assim considera-se o movimento de leste a oeste que o sol realiza ao longo do dia.

O movimento do eixo 1 é realizado nos dois experimentos, pois ele realiza a função do sol. O eixo 2 é movimentado de acordo com a programação. Para a movimentação do eixo 1 foi utilizado um motor de passo e para a movimentação do eixo 2 foi utilizado um micro servo motor. O ângulo dos painéis foi determinado através de uma régua transferidor.

Para o movimento do eixo 2 utilizou-se um micro servo motor, sendo que este eixo faz a movimentação do painel solar. Ele realiza um movimento de acordo com a trajetória solar, o eixo 2 faz um movimento que acompanha o movimento do eixo 1 quando é utilizado o sistema de seguidor solar. Quando é realizado o teste de sistema fixo o eixo 2 fica parado na mesma posição.

Analisando a parte que corresponde ao software, definimos as variáveis do sistema, que são:

- Motor de passo para o controle do eixo 1;
- Microservo motor para o controle do eixo 2;
- Led 1 que possui a função de mostrar se o motor 1 está acionado;
- Led 2 que possui a função de mostrar se o motor 2 está acionado;
- Botão 1 que realiza o reset do eixo 1;
- Botão 2 que realiza o reset do eixo 2.

Primeiramente foram incluídas as bibliotecas para controle do micro servo motor e para o motor de passo e após este procedimento foram definidos os parâmetros do sistema, como, passos por revolução do motor de passo, rotação do micro servo motor e os pinos do *Arduino* utilizados como entradas e saídas.

Quando o botão do motor do eixo 1 é acionado o motor inicia seu movimento, o Led 1 correspondente ao movimento irá se acender e ficará ligado durante o funcionamento do motor. Quando ele chegar a uma valor pré-definido de seus passos, o motor do eixo 2 irá iniciar o seu movimento que varia em graus, e também possui seu valor pré-definido de acordo com o tipo de sistema; se é o sistema de

eixo variável ou o de eixo fixo, ele deve variar de acordo com o movimento do eixo 1. O Led 2 é acionado quando o motor do eixo 2 é ativado.

Quando os motores terminam os seus movimentos, seus respectivos Leds desligam automaticamente. Ao término dos movimentos, quando o “carrinho” e o painel chegam aos seus respectivos fins de curso, é só apertar o botão para reiniciar o processo.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Para a comparação entre os dois sistemas, o que possui o eixo fixo e o eixo variável primeiramente foi realizado o teste com o sistema de eixo fixo. Neste caso foi movimentado apenas o eixo da lâmpada e o eixo do painel solar fica fixo.

Para o cálculo da potência de cada sistema, utilizou-se a Lei de Ohm, em um circuito puramente resistivo. Como o painel solar gera energia em corrente contínua, podemos utilizar a seguinte equação 4 para a obtenção da corrente:

$$V=R \times I \quad (4)$$

Onde:

V= Tensão;

R= Resistência e

I= Corrente.

Como o sol possui uma variação de 15 graus a cada hora de leste a oeste, configurou-se o controlador para realizar esta variação de 15 graus a cada hora no eixo da lâmpada e manteve-se o painel solar na mesma posição inicial sem nenhuma variação. Foram criadas as tabelas com os valores de tensão obtidos a cada hora para o cálculo da corrente obtida.

Com os valores de corrente encontrados pode-se calcular a potência de geração em cada posição em que o sol se encontra através da equação originária da Lei de Ohm descrita a seguir:

$$P=U \times I \quad (5)$$

Onde:

P= Potência elétrica (Watts);

U= Tensão (Volts) e

I= Corrente (Ampéres).

Realizando os cálculos através da equação 5, encontra-se o valor da potência elétrica gerada pelo painel solar.

A tabela 1 nos traz os valores encontrados de tensão através do sistema de eixo fixo.

Tabela 1 – Tensão Gerada com Sistema de Eixo Fixo

Posição	Percurso Solar (milímetros)	Angulação Painel (graus)	Tensão (volts)
1	0	45	7,46
2	73,5	45	8,88
3	127,1	45	8,05
4	173,5	45	6,91
5	219,9	45	6,62
6	273,5	45	6,02
7	347	45	5,98

Fonte: Autoria Própria

A tabela 2 traz os valores de tensão obtidos através do sistema de seguidor solar.

Tabela 2 – Tensão Gerada com Seguidor Solar

Posição	Percurso Solar (milímetros)	Angulação Painel (graus)	Tensão (volts)
1	0	-45	7,45
2	73,5	-30	9,83
3	127,1	-15	10,93
4	173,5	0	12,23
5	219,9	15	11,52
6	273,5	30	10,43
7	347	45	8,87

Fonte: Autoria Própria

Utilizando um resistor genérico de 500 ohms, é possível encontrar a corrente que passa neste circuito, através da equação 4, os valores encontrados estão nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Corrente do Sistema de Eixo Fixo

Posição	Tensão (volts)	Resistência (Ohms)	Corrente (Ampéres)
1	7,46	500	0,01492
2	8,88	500	0,01776
3	8,05	500	0,01610
4	6,91	500	0,01382
5	6,62	500	0,01324
6	6,02	500	0,01204
7	5,98	500	0,01196

Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 - Corrente do Sistema de Seguidor Solar

Posição	Tensão (volts)	Resistência (Ohms)	Corrente (Ampéres)
1	7,45	500	0,01490
2	9,83	500	0,01966
3	10,93	500	0,02186
4	12,23	500	0,02446
5	11,52	500	0,02304
6	10,43	500	0,02086
7	8,87	500	0,01774

Fonte: Autoria Própria

Através da equação 5 foram obtidos os valores das potências geradas por cada sistema, seus valores obtidos se encontram nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Potência Gerada em Sistema de Eixo Fixo

Posição	Tensão (volts)	Corrente (Ampéres)	Potência (Watts)
1	7,46	0,01492	0,1113032
2	8,88	0,01776	0,1577088
3	8,05	0,01610	0,1296050
4	6,91	0,01382	0,0954962
5	6,62	0,01324	0,0876488
6	6,02	0,01204	0,0724808
7	5,98	0,01196	0,0715208

Fonte: Autoria Própria

Tabela 6 - Potência Gerada em Seguidor Solar

Posição	Tensão (volts)	Corrente (Ampéres)	Potência (watts)
1	7,45	0,01490	0,111005
2	9,83	0,01966	0,1932578
3	10,93	0,02186	0,2389298
4	12,23	0,02446	0,2991458
5	11,52	0,02304	0,2654208
6	10,43	0,02086	0,2175698
7	8,87	0,01774	0,1573538

Fonte: Autoria Própria

Para o presente estudo foi considerado uma geração de energia de 7 horas diárias, as tabelas 5 e 6 mostram as médias de consumo por hora e ao se realizar o cálculo da média de energia gerada por hora para o sistema de eixo fixo teremos a produção de 0,103680 Watts/hora.

Considerando o sistema de seguidor solar, foi obtida uma média de geração de energia de 0,211811 Watts/hora.

Considerando os valores gerados pelo protótipo houve um aumento de 104% na geração de energia elétrica através do seguidor solar, que significa um aumento satisfatório de produção de energia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração do protótipo buscou a comprovação que o sistema de seguidor solar é mais eficiente na geração de energia elétrica, pelos dados apresentados a partir dos experimentos alcançamos um resultado satisfatório que resulta em um grande aumento da eficiência energética. Se considerarmos esta porcentagem de energia que é gerada a mais, em grandes usinas fotovoltaicas, teremos muitas vantagens tanto em geração de energia, quanto em diminuição dos impactos ambientais causados pelas outras formas de geração de energia.

Com o presente estudo foi possível observar a importância de pensarmos em maneiras mais eficientes e menos poluentes para a geração de energia elétrica, as nossas necessidades vem mudando de acordo com a tecnologia, e tudo isso depende da produção de energia, logo a importância de mudarmos nossa mentalidade e buscarmos as melhores soluções que fiquem cada vez mais eficientes e com valores acessíveis de produção.

Para trabalhos futuros a sugestão é de criar um protótipo em um tamanho maior e que seja realizado os testes diretamente à luz solar, pois na prática a área do painel solar irá ser maior e a incidência solar também deverá ser maior devido a distância do sol com o painel solar e também pelo maior tamanho do sol com relação à lâmpada utilizada no protótipo.

Outra sugestão é criar um protótipo em que o motor se movimente a partir da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

OLIVEIRA, Maurício M. **Análise do Desempenho de um Gerador Fotovoltaico com Seguidor Solar Azimutal**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008. Citado na página 18.

PERAZA, Danielle Goulart. **Estudo de Viabilidade da Instalação de Usinas Solares Fotovoltaicas no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013. Citado na página 13.

IQBAL, Muhammad. **An Introduction to Solar Radiation**. New York: USA: Academic Press, 1983. Citado nas páginas 18 e 20.

CRESESB, Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: 2008. Citado na página 20.

FERRONATO, Régis. SEVERO, Tiago Cassol. **Análise do Rendimento de um Módulo Fotovoltaico com Suporte de Inclinação Variável**. Bento Gonçalves, 2018. Citado na página 19.

FARICELLI, Christian de Freitas. **Seguidor Solar para Sistemas Fotovoltaicos**. São Paulo, 2008. Citado na página 21.

CASSARES, Maurício Andrés Rodríguez. **Avaliação Operacional de Sistemas Fotovoltaicos com Seguimento Solar: Sistemas com e sem Concentração**.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016. Citado na página 19.

GUIMARÃES, Ana Paula Cardoso. **Estimativa de Parâmetros da Camada Atmosférica para Cálculo da Irradiação Solar Incidente na Superfície Terrestre.** Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003. Citado nas páginas 19 e 20.

MENDOZA, J. E. **Elementos de astronomia observacional: La esfera celeste.** Puebla, México: Instituto Nacional de Astrofísica óptica y Electrónica, 2013. Citado na página 18.

RODRIGUEZ, M. A. et al. **Protótipo de Seguidor solar de eixo horizontal para sistemas fotovoltaicos.** V Congresso Brasileiro de Energia Solar. Recife, Brasil: [s.n.]. 2014. Citado na página 22.

BAJAY, S. V.; BADANHAN, L. F. **Energia no brasil: Os próximos dez anos.** Departamento Nacional de Política Energética–DNPE, Secretaria de Energia–SEM Ministério das Minas e Energia–MME, Brasília, 2002. Citado na página 17.

CASTRO, R. M.; RENOVAVEIS, E.; DESCENTRALIZADA, P. **Introdução `a energia eólica.** Energias Renováveis e Produção Descentralizada, 2007. Citado na página 17.

OLIVEIRA, R.; ZHOURI, A. **Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas.** Ambiente & sociedade, SciELO Brasil, v. 10, n. 2, p. 119–135, 2007. Citado na página 16.

FARIA, V. I. G. L. de et al. **Energia solar fotovoltaica**. Anais dos Ateliers Técnico-Científicos Doctum 2015, v. 3, n. 1, 2016. Citado na página 18.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Ed. Da UFSC. Florianópolis, 2006. Citado na página 21.

PORTAL SOLAR. **Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico – Placas Fotovoltaicas**. 2019. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>. Citado na página 23.

ANEXOS

ANEXO A – CÓDIGO IMPLEMENTADO PARA MOVIMENTAÇÃO DOS EIXOS DO PROTÓTIPO

```
#include <Servo.h> // Carrega a biblioteca para servo motor
```

```
#include <Stepper.h> // Carrega a biblioteca para motor de passo
```

```
const int stepsPerRevolution = 2048; // Número de passos por revolução
```

```
const int pinoBotaoA = 1; //Pino digital utilizado pelo push button para controle da placa variável
```

```
const int pinoBotaoB = 2; //Pino digital utilizado pelo push button para controle da placa fixa
```

```
int pos = 0; // Variável para armazenar a posição do servo
```

```
Servo servo; // Cria um objeto servo
```

```
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 6, 7, 8, 9); // Define os pinos de 6 a 9 para controlar o motor de passo
```

```
void setup()
```

```
{  
  
myStepper.setSpeed(10); // Ajusta a rotação inicial do motor de passo para 10 RPM  
  
servo.attach(5); // Define o pino 5 para controlar o servo motor  
  
pinMode(pinoBotaoA, INPUT_PULLUP); //Define o pino como entrada / "_PULLUP"  
é para ativar o resistor interno do arduino para garantir que não exista flutuação  
entre 0 (LOW) E 1 (HIGH)  
  
pinMode(pinoBotaoB, INPUT_PULLUP); //Define o pino como entrada / "_PULLUP"  
é para ativar o resistor interno do arduino para garantir que não exista flutuação  
entre 0 (LOW) E 1 (HIGH)  
  
pinMode(3, OUTPUT); // Define o pino 3 como saída para acender LED da  
programação de placa variável  
  
pinMode(4, OUTPUT); // Define o pino 4 como saída para acender LED da  
programação de placa fixa  
  
}  
  
void loop()  
  
{  
  
if(digitalRead(pinoBotaoA) == LOW)  
  
{
```

```
for(pos = 0; pos < 180; pos += 15) // Vai de 0 grau a 180 em passo de 15 graus

{

digitalWrite(3, HIGH); // Liga o LED verde

servo.write(pos); // Comanda o servo motor a ir para a posição da variavel "pos"

myStepper.step(-225*stepsPerRevolution); // Comanda o motor de passo a fazer 1
revolução

}

delay(5000); // Aguarda 5s para para o programa iniciar o retorno a posição inicial

for(pos = 180; pos>=0; pos-=15) // Vai de 180 graus ate 0 em passo de 15 graus

{

myStepper.step(225*stepsPerRevolution); // Comanda o motor de passo a fazer -1
revolução

servo.write(pos); // Comanda o servo motor a ir para a posição da variavel "pos"

}
```

```
digitalWrite(3, LOW); //Desliga o LED verde
```

```
}
```

```
if(digitalRead(pinoBotaoB) == LOW)
```

```
{
```

```
digitalWrite(4, HIGH); // Liga o LED vermelho
```

```
servo.write(30); // Comanda o servo motor a ir para a posição 30 graus
```

```
myStepper.step(-225*stepsPerRevolution); // Comanda o motor de passo a fazer 10  
revoluções
```

```
servo.write(pos); // Comanda o servo motor a ir para a posição da variavel "pos"
```

```
myStepper.step(225*stepsPerRevolution); // Comanda o motor de passo a fazer -10  
revoluções
```

```
digitalWrite(4, LOW); //Desliga o LED vermelho
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
servo.write(0); // Comanda o servo motor a ir para a posição 0 graus
```


}

}