
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PLACAS SOLARES COM O USO DE BASES AUTOMATIZADAS – CURSOS DE ENGENHARIAS – UNISOCIESC/ CAMPUS JOINVILLE

CALIXTO, Otávio da Cunha ¹
STEUERNAGEL, Thais Brancher ²
ANDRADE, Solange Alves da Costa ³
FILHO, Carlos Roberto da Silva ⁴

RESUMO

O abrangente mercado de energias limpas e sustentáveis com o passar dos anos vem resultando na motivação dos consumidores de energia elétrica para procurar diferentes tecnologias em busca de satisfação das necessidades energéticas juntamente com uma redução de custos e danos ao meio ambiente. Desse modo, este projeto tem como objetivo incentivar a utilização da energia solar além de oferecer uma forma com que se possa obter uma versatilidade maior do sistema fotovoltaico e aproveitá-lo de forma mais rentável.

Palavras-chave: Energia Solar; Base Automatizada; Eficiência Energética.

ABSTRACT

The comprehensive market for clean and sustainable energy over the years has resulted in the motivation of electricity consumers to look for different technologies in pursuit of satisfying energy needs, together with a reduction in costs and damage to the environment. Thus, this project aims to encourage the use of solar energy in addition to offering a way to obtain greater versatility from the photovoltaic system and use it more profitably

Keywords: Solar energy; Automated Base; Energy Efficiency.

¹ Otávio da Cunha Calixto do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC, otaviocalixto1999@gmail.com, ² Thais Brancher Steuernagel do Curso Universitário de Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNISOCIESC thaisbrancher3@gmail.com, ³ Professor coordenador: Carlos Roberto da Silva Filho: Mestre, Centro Universitário UNISOCIESC, carlos.silva@unisociesc.com,) ⁴ Professor orientador: Solange Alves: Mestre, Centro Universitário UNISOCIESC, solange@unisociesc.com.br.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética consiste em se obter um melhor aproveitamento usando menos energia, logo, fazer mais com menos e utilizar a energia de modo mais racional. Aplicado à energia solar, a eficiência energética é o próprio uso dessa fonte renovável de energia, porque a residência ou empresa já está contribuindo na diminuição do uso da energia proveniente de termelétricas e hidrelétricas.

Atualmente os sistemas fotovoltaicos têm se transformado em uma realidade mais acessível. Este fato ocorre devido ao preço dos módulos fotovoltaicos que vem definindo com o avanço tecnológico e ascensão do mercado consumidor já que se torna uma energia alternativa bastante procurada pelos consumidores.

A eletricidade é uma das formas de energia que mais oferece vantagens, pois além de estar presente na vida de quase todos, auxilia em diferentes afazeres diários desde o acender de uma lâmpada até o funcionamento de aparelhos médicos. Desempenha um papel tão importante que a vida seria quase inviável sem sua existência, referindo-se a uma forma de energia atípica já que pode ser facilmente transportada e transformada em outros tipos de energia.

Um exemplo disto seria a transformação de energia elétrica em energia mecânica para o funcionamento de um motor ou a transformação em energia térmica para o aquecimento da água de um chuveiro elétrico. Esses exemplos ilustram sua flexibilidade (CERVELIN e CAVALIN, 2008).

O uso da radiação solar como fonte de energia vem aumentando nos últimos 20 anos por motivos econômicos e também pela crise petrolífera de 1973, na época em que os Estados Unidos e Europa criaram tecnologias alternativas de geração de energia. A energia solar fotovoltaica tem manifestado uma grande evolução desde o início de sua história e é nos dias de hoje a fonte de energia renovável que mais cresce no mundo. (CRESESB, 2004).

A geração fotovoltaica é a terceira fonte de energia renovável mais usufruída pelos países no mundo, mantendo-se atrás das energias hidráulica e eólica, porém, representa menos de 1% da energia total produzida no Brasil. Composta de materiais semicondutores como o silício para gerar eletricidade através dos raios solares, a tecnologia fotovoltaica vem recebendo várias melhorias, oportunizando o aumento da

capacidade de fornecimento de energia elétrica tornando-se uma fonte de energia renovável bastante viável e com pouca manutenção.

Sendo assim este estudo segue com o intuito de maximizar a eficiência de sistemas fotovoltaicos, bem como em seu posicionamento, contribuindo com benefícios ambientais proporcionados pela tecnologia fotovoltaica e incentivos legais existentes para aquisição da tecnologia, com intuito de desenvolver um protótipo piloto eficaz, capaz de incentivar o uso da energia sustentável explorando sua maior rentabilidade. Tendo como objetivos específicos:

- a) Modelagem 3D do protótipo do projeto;
- b) Desenvolvimento do projeto elétrico e eletrônico;
- c) Desenvolver um conjunto mecânico para o protótipo base automatizado;
- d) Desenvolver uma linguagem de programação para o protótipo base automatizada;
- e) Desenvolver a montagem do protótipo e testar o funcionamento;
- f) Levantamento da demanda energética anual de acordo com a placa a ser utilizada;
- g) Comparativo entre o posicionamento tradicional das placas solares em relação às placas com uso da base automatizada;
- i) Resultados e discussões.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta etapa do projeto serão abordados os principais fundamentos teóricos fundamentais para o desenvolvimento proposto.

2.1 PLACAS SOLARES

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão da radiação solar em eletricidade. Isto ocorre através de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico, este efeito é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor (IMHOFF,2007).

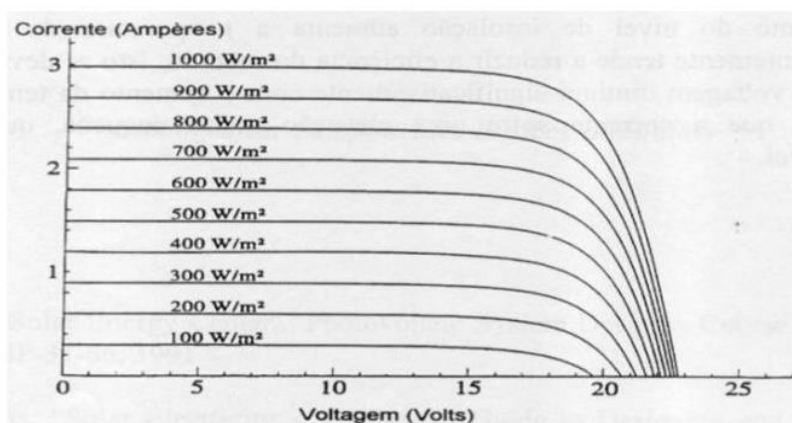
Esse fato aponta que o sol é uma fonte inesgotável de energia e possui um enorme potencial de utilização em diversas formas de energia. Existem determinados tipos de semicondutores, e são eles:

- Célula de silício monocristalino: Esse tipo de célula é a mais comum nas placas solares e apresenta uma maior eficiência devido sua fabricação ser feita através do processo Czochralski que faz com que haja uma maior condutividade no cristal.
- Célula de silício policristalino: Estas possuem menor custo em relação às células de silício monocristalino, porém possuem um rendimento menor devido sua forma de fundição ser feita através de grandes blocos de silício.
- Célula de silício amorfo: É muito propício esse tipo de célula quando se pensa em baixo custo. Porém apresenta algumas desvantagens, dentre elas baixo rendimento e degradação nos primeiros meses de operação (CRESESB, 2014).

Contudo apresentam suas vantagens, necessitam de baixo consumo energético para produção em comparação às células cristalinas, podem ser fabricadas células com áreas grandes e tem aparência estética mais agradável (CRESESB, 2014).

Abaixo na Figura 1, uma representação do gráfico corrente e tensão causada pela variação da intensidade da luz na placa solar.

Figura 1 - Efeito da variação de intensidade luminosa.



Fonte: CRESESB (2021).

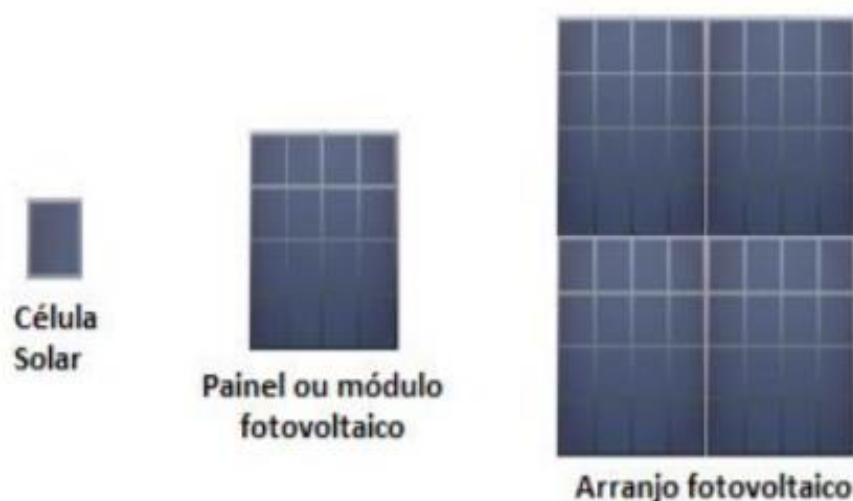
2.2 MÓDULOS E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Um módulo ou painel solar pode ter de 36 a 72 células, este número pode variar conforme a necessidade de tensão e corrente (CASTRO, 2008 p. 19). Existem

algumas condições que afetam as características elétricas dos módulos, são elas, a intensidade luminosa e a temperatura das células.

A intensidade luminosa faz com que a corrente dos módulos aumente linearmente com o aumento da luminosidade, entretanto a temperatura das células tem efeito contrário, quanto maior for a temperatura menor será a eficiência do módulo (CRESESB, 2014). Segue na Figura 2 abaixo, a representação do agrupamento de células fotovoltaicas até a formação da matriz solar.

Figura 2 - Célula, módulo e painel solar



Fonte: Portal Solar (2021).

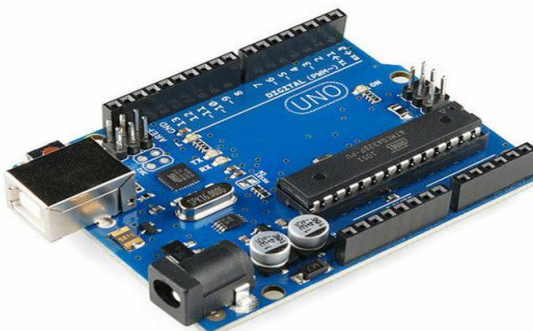
2.3 MICROCONTROLADOR ARDUINO

Os microcontroladores estão presentes em diversos equipamentos que envolvem a eletrônica, por terem tamanho reduzido, baixo consumo de energia, excelente desempenho e ótimo custo benefício. São placas que possuem um microprocessador para analisar as instruções pré-definidas e executar tarefas, memória para armazenar os dados, pinos de entrada e saída (MONK, 2013, p. 1).

Seu objetivo principal é de comunicar o microcontrolador com os sensores ou atuadores, além de temporizadores, comunicação serial, e resistores. Por se tratar de uma plataforma muito fácil de ser utilizada em projetos e por conter uma grande comunidade de usuários se torna um dos tipos de microcontroladores mais usados e

estudados. Abaixo na Figura 3, o modelo de microprocessador Arduino UNO R3 utilizado para realização do protótipo.

Figura 3 – Arduino UNO R3.



Fonte: Arduino (2021).

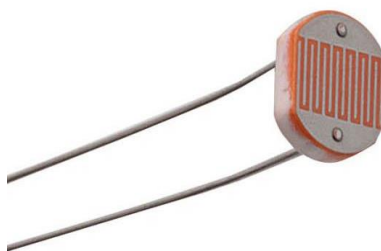
2.4 SENSOR DE LUMINOSIDADE

Os sensores de luminosidade ou sensores LDR (*Light Dependent Resistor*), são responsáveis por captar a quantidade de luz presente no ambiente, assim este sensor realizará a função de determinar qual posição tem a maior quantidade de luz sobre a placa solar FILIPEFLOP (2021).

Segundo UFRJ (2020) é composto de um material semicondutor, o sulfeto de cádmio ou o sulfeto de 26 chumbo, que possuem a propriedade de alterar sua resistência elétrica com a incidência da luz.

Conectado a uma porta analógica, dois sensores de luminosidade vão medir a diferença da incidência da luz, que através do código de programação que irá calcular a diferença dos sinais analógicos, assim acionando os motores através do Arduino para movimentação do dispositivo. Segue a Figura 4, o sensor utilizado para realização do projeto.

Figura 4 – Sensor de Luminosidade.



Fonte: Arduino (2021).

2.5 RESISTORES

Segundo Braga e Newton (2005, p.13) “Os resistores têm por finalidade apresentar uma resistência elétrica, ou seja, uma oposição à passagem de uma corrente. A medida da resistência é feita em uma unidade denominada “ohm (Ω)”.

Os resistores tiveram um papel fundamental para o controle de sensibilidade dos sensores de luz no protótipo, devido sua resistência ôhmica, o Arduino consegue detectar a diferença de potencial entre o sensor LDR e resistor conseguindo medir a intensidade da luz de forma precisa e garantindo a segurança dos sensores de luz de uma possível sobrecarga.

2.6 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

De acordo com Prudente (2011, p. 29) “A fonte de alimentação é utilizada para converter uma tensão alternada de rede (geralmente 220 V) em uma tensão contínua (geralmente 12/24 V)”. A fonte é indispensável para alimentar aparelhos eletrônicos, ela deve apresentar características elétricas de acordo com os aparelhos alimentados, tornando-se indispensável na bancada de trabalho de qualquer pessoa que desejar projetar qualquer tipo de montagem.

No projeto foi utilizada a fonte a fim de energizar toda a parte elétrica, para alimentação do Arduino, do motor e sensores. Abaixo, a fonte de alimentação do projeto conforme a Figura 6.

Figura 6 – Fonte de tensão 5 V.



Fonte: RoboCore (2021).

2.7 MOTOR CC

Segundo Lorenzetti (1998, p.15) “Quando o motor é ligado à rede, o campo girante formado no estator induz no rotor corrente num sentido tal que a interação entre os campos tende a girar o rotor no sentido de campo girante”.

No protótipo foi utilizado um motor CC (corrente contínua) para movimentação angular, foi utilizado um motor com um conjunto mecânico de engrenagem. Segue abaixo a Figura 8 com modelo do motor utilizado.

Figura 8 – Motor CC.



Fonte: RoboCore (2021).

2.8 ALUMÍNIOS E SUAS LIGAS.

De acordo com Callister (2008, p. 258) “O alumínio e suas ligas são caracterizados por uma densidade relativamente baixa, condutividade elétrica e térmica elevadas, e uma resistência à corrosão em alguns ambientes comuns”.

Segundo Ashby e H. Jones (2007, p. 8) “O alumínio é mais leve do que a maioria dos outros metais, também é a escolha óbvia para transporte: aeronaves, trens de alta velocidade e até mesmo carros”.

Foi decidido utilizar o alumínio para confeccionar os suportes do protótipo devido sua baixa densidade, e alta resistência contra corrosão que é fundamental devido longo período a exposição ao ambiente.

2.9 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO.

Elementos de fixação são componentes fundamentais para êxito na utilização de componentes mecânicos, uma vez que, sua função é basicamente conseguir unir peças e componentes entre si, podendo ser eles pinos, parafusos, arruelas, porcas, chavetas e diversos outros com diferentes características para atender distintos tipos de materiais e formas (CALLISTER, 2008 p.206).

Os elementos de fixação utilizados para unir e fixar os conjuntos mecânicos do protótipo, foram utilizados parafusos, porcas e arruelas, no qual garantiu o funcionamento das partes móveis.

3 DESENVOLVIMENTO

Nesta etapa serão mostrados todos os resultados adquiridos no desenvolvimento do protótipo.

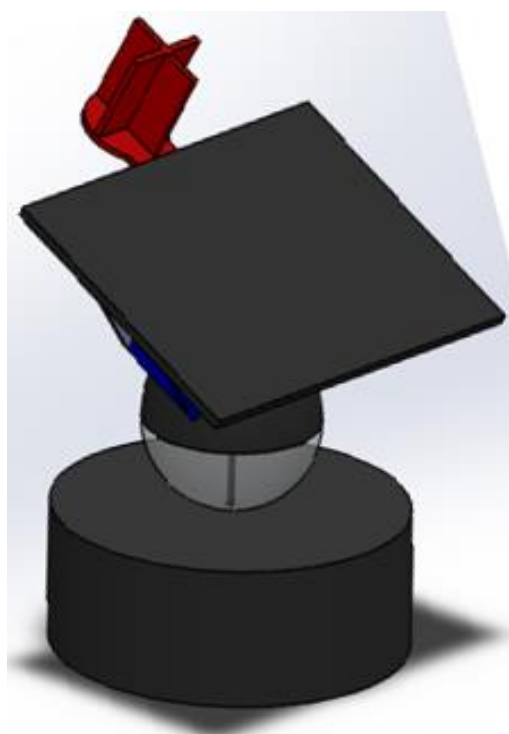
3.1 MODELAGEM 3D DO PROTÓTIPO DO PROJETO

Para realizar a modelagem 3D do projeto foi utilizado o software SolidWorks, no qual possui diversas ferramentas de construção e simulação de componentes

mecânicos e elétricos, no qual reduz os riscos de falhas no projeto, garantindo um melhor funcionamento do dispositivo em relação a qualidade e segurança do projeto.

Para a construção do projeto, devido a grande quantidade de tipos de fixadores tradicionais para placas solares, o projeto foi criado com a ideia de adaptar aos trilhos de fixação padrão, um tipo de suporte móvel no qual faz a movimentação das placas solares. Segue abaixo na Figura 10 modelagem 3D da base utilizando o software SolidWorks.

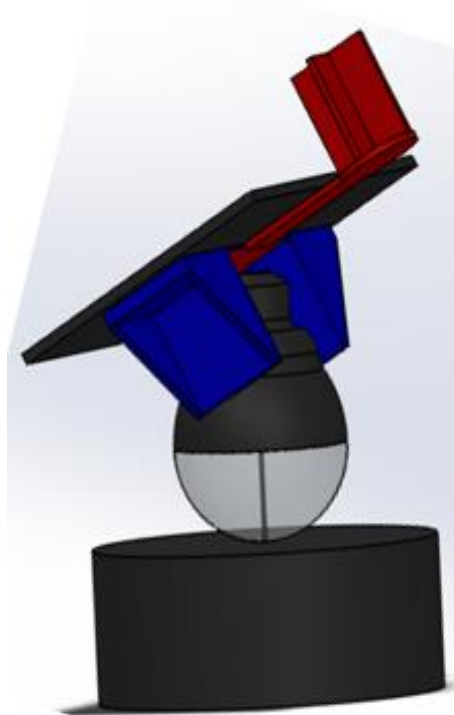
Figura 10 – Modelo 3D do protótipo.



Fonte: Os autores (2021).

A base necessita ser o mais leve possível, para não influenciar no dispositivo de fixação que a placa possui, e não interferir no peso de todo o módulo sobre o local que foi instalado. Sendo assim foi projetado para utilizar material em alumínio garantindo leveza, rigidez, e reduzindo o risco de oxidação. Na figura 11 abaixo, segue modelagem 3D da base automatizada de outra perspectiva.

Figura 11 – Base Automatizada



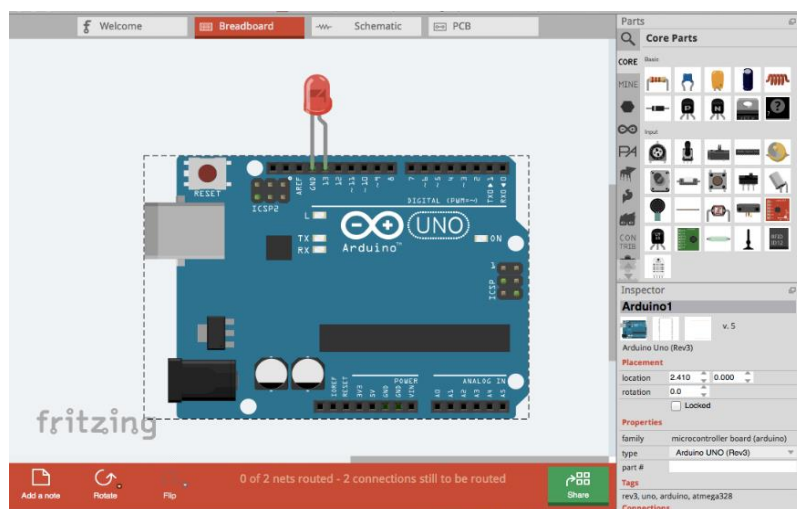
Fonte: Os autores (2021).

Para realizar a movimentação do eixo que rotaciona a base, foi utilizado um motor acoplado a um conjunto mecânico de engrenagem, no qual o motor gira no sentido horário e anti-horário, realizando a movimentação da base, para o movimento angular foi acoplado outro motor junto com um conjunto mecânico, sendo possível alterar o grau de inclinação e declinação da placa solar, contudo a base permite que a placa se movimente em qualquer direção garantindo a melhor posição para exposição solar.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ELÉTRICO E ELETRÔNICO

Para realização do esquema elétrico foi utilizado o software Fritzing, no qual possui a disponibilidade de diversas ferramentas e componentes eletrônicos para criação de diferentes tipos de projetos para diversas aplicações. Abaixo na Figura 12 o software utilizado para o projeto e algumas de suas ferramentas.

Figura 12 – Layout do software Fritzing.

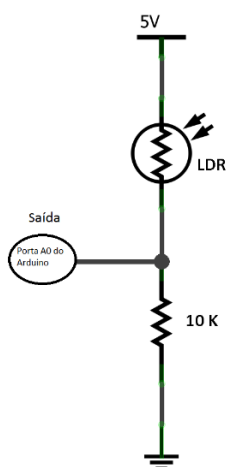


Fonte: Os Autores (2021).

O software teve importante utilização para reduzir ao máximo o número de componentes para o projeto, com fim de diminuir o custo e otimizar o espaço para desenvolvimento na placa evitando componentes desnecessários.

O microcontrolador utilizado para o projeto foi o Arduino uno, devido sua grande disponibilidade no mercado e baixo custo, o mesmo atende a quantidade de portas de entrada e saída disponíveis para a realização do projeto. Abaixo, na Figura 13, é possível observar a ligação dos sensores juntamente com os resistores para receber os sinais de entrada.

Figura 13 – Ligação dos sensores do protótipo.

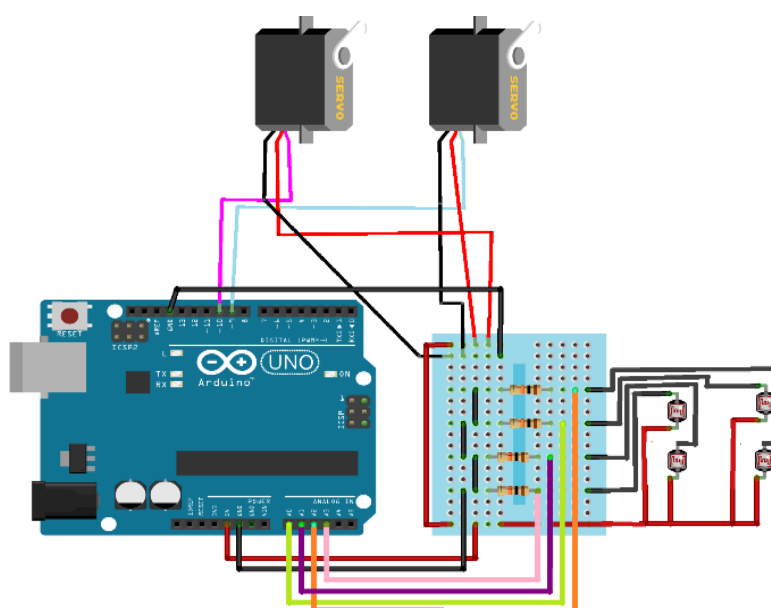


Fonte: Os autores (2021).

Foram ligados nas portas de entrada os sensores receptores de luz, potenciômetros de ajuste de velocidade dos motores e sensibilidade dos sensores, no qual o Arduino recebe sinais digitais e analógicos, faz a leitura do código de programação, e executa nas portas de saída realizando as funções determinadas.

Nas portas de saídas foram ligados os motores que irão realizar a movimentação da base. Segue abaixo na Figura 14 o esquema de ligação de todos os componentes utilizados no protótipo.

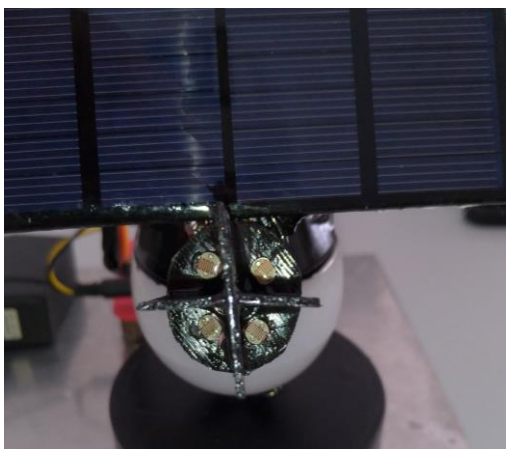
Figura 14 – Ligação elétrica do protótipo.



Fonte: Os autores (2021).

Concluído o esquema elétrico e eletrônico foi realizado a confecção de uma placa de circuito para montagem dos componentes eletrônicos, após soldar os componentes, foi realizado testes em todas as trilhas com o multímetro para averiguar se não possui mal contato entre os componentes. Segue em abaixo na Figura 15, a confecção do circuito dos sensores receptores de luz.

Figura 15 - Placa de circuito dos sensores LDRs.



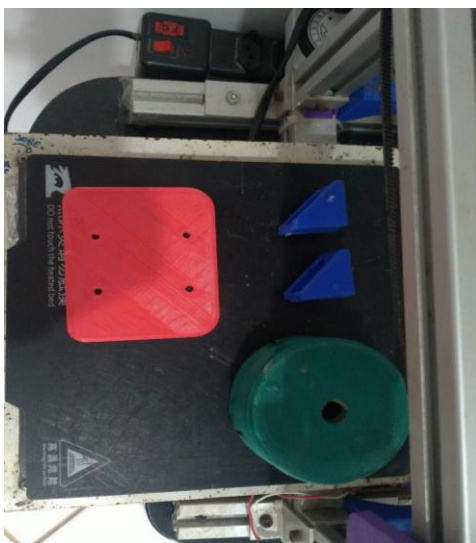
Fonte: Os autores (2021).

Concluído a montagem da placa de circuito, foi realizada a medição dos quatro sensores e analisada a variação da resistência do componente de acordo com a intensidade de luz direta aplicada no mesmo, no qual os resultados alcançados foram gratificantes, concluindo assim esta etapa do projeto.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO MECÂNICO PARA PROTÓTIPO BASE AUTOMATIZADA

Concluído o modelamento 3D do protótipo foi realizada a impressão das partes mecânicas para construir a estrutura, devido ao software utilizado para projetar possuir recursos de simulação de partes móveis, não houve nenhum equívoco para realizar montagem do mesmo, o tempo total de impressão das peças foram aproximadamente 23 horas e 21 minutos utilizando polímero PLA, após a impressão foi realizado a montagem acoplando todos os elementos mecânicos fundamentais para o funcionamento do mesmo. Abaixo na Figura 16, as peças responsáveis para o desenvolvimento mecânico do protótipo após a impressão das mesmas.

Figura 16 – Peças após a conclusão da impressão.



Fonte: Os autores (2021).

Para a construção deste protótipo, foram utilizados vários tipos de ferramentas, como: furadeira de bancada utilizada para fazer as furações, serra de metal, que foi utilizada para cortar os perfis de alumínio, limas, que foram necessárias para remover rebarbas indesejadas, chaves de fenda que eram necessárias para o aperto dos elementos de fixação do protótipo. Segue abaixo a Figura 17 imagens do conjunto mecânico desenvolvido.

Figura 17 – Conjunto mecânico.



Fonte: Os autores (2021).

Concluído a montagem de todas as peças com êxito, realizado a movimentação dos eixos individualmente e ajustado o curso de movimentação máxima e mínima para evitar colisões da própria estrutura, finalizando com êxito a montagem mecânica do protótipo base solar automatizada.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO BASE AUTOMATIZADA

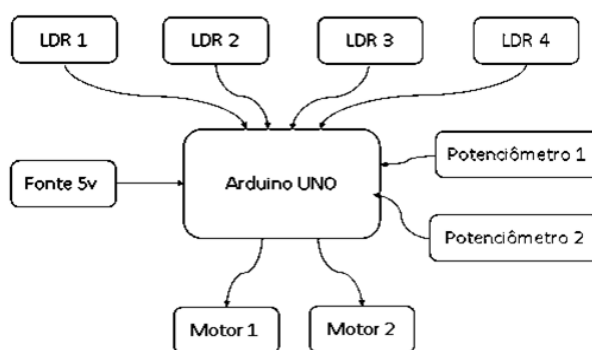
Os códigos de programação também podem ser usados para criar programas que controlam o comportamento de uma máquina em qualquer aplicação, como um meio de comunicação entre homem e máquina ou apresentar algoritmos com precisão.

Segue nos anexos a linguagem desenvolvida para o protótipo.

Para realização do projeto, foi decidido utilizar o Arduino devido ser uma plataforma de fácil acesso e atualmente compatível com diversos componentes e dispositivos eletrônicos. contudo, o mesmo possui um microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++, graças a isso, essa tecnologia vem se desenvolvendo e participando de diversos projetos dos mais variados tipos.

Para realização do código foi criado inicialmente um fluxograma utilizado para representar graficamente os periféricos que irão ser ligados nas portas de entradas e saídas, facilitando a compreensão do processo a partir do desenho de cada um de seus estágios. Abaixo na Figura 18 o fluxograma desenvolvido durante o processo.

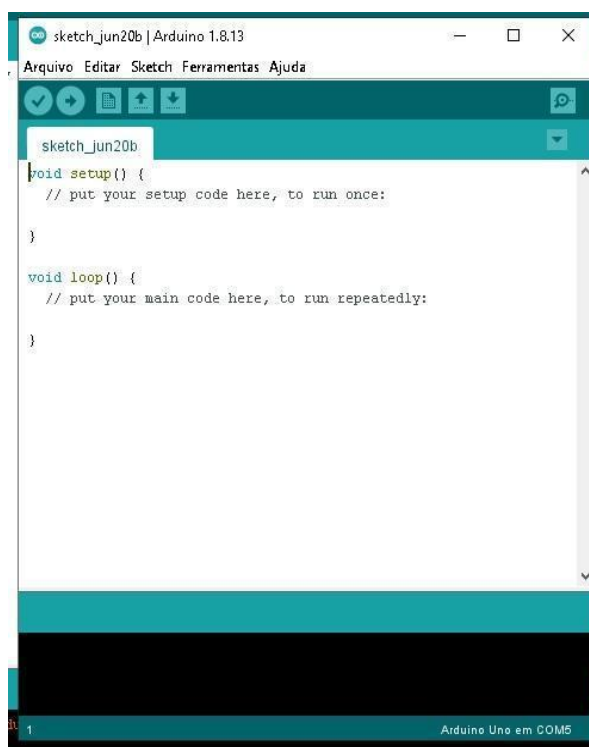
Figura 18 – Fluxograma dos sinais de entrada e saída.



Fonte: Os Autores (2021).

O código de programação inicia-se com a determinação das variáveis de entrada, configurando o modo dos pinos (INPUT ou OUTPUT) e inicializar bibliotecas na função setup, no qual esta por sua vez, será executada apenas uma vez, após a placa ser alimentada ou acontecer um reset. Abaixo na Figura 19 o software Arduino IDE que pode ser encontrado no site do fabricante sem custo algum.

Figura 19 - Software Arduino IDE.



Fonte: Os Autores (2021).

Serão ligados nas portas de entradas os sensores que por sua vez irão enviar os sinais para o microcontrolador, que é responsável por realizar uma varredura no sistema e executar os comandos nas portas de saída realizando o movimento da placa.

Após o setup, o próximo passo é a determinação da função loop, que faz precisamente a repetição consecutiva do código de programação enquanto a placa estiver ligada, no qual foi criado um algoritmo que faz com que se calcule a diferença do sinal analógico dos sensores LDR que por sua vez, altera sua resistência conforme a intensidade da luz do sol, após variáveis calcularem a diferença de valor, o mesmo

executa nas porta de saída a alimentação dos motores, no qual irá direcionar os sensores até que o mesmo obtenham os mesmos valores.

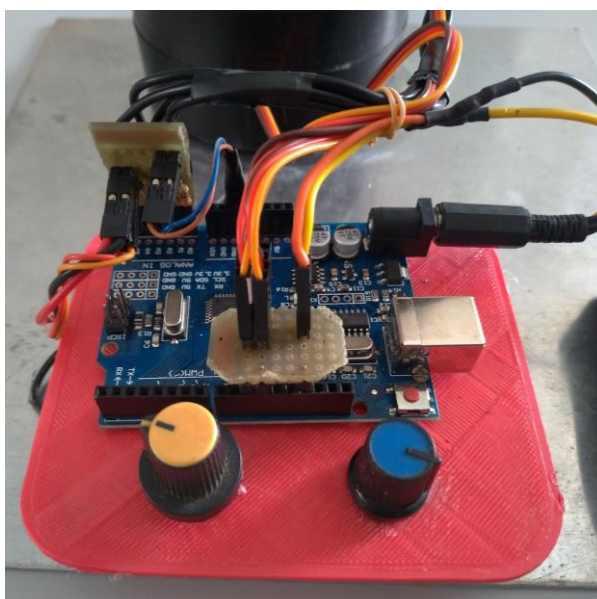
Quando os valores estiverem iguais, o Arduino interrompe os sinais que estão alimentando o motor, concluindo assim que a base está posicionada na direção da maior incidência de luz solar, garantindo a melhor eficiência do painel.

Durante o período no qual a placa está sem incidência da luz solar, a base volta a sua posição inicial aguardando a resposta dos sensores para continuar seu funcionamento, foi determinado que a posição inicial deve ser na mesma direção do nascer do sol, pois este é o ponto inicial da captação, sendo o pôr do sol o final.

3.5 DESENVOLVER A MONTAGEM DO PROTOTIPO E TESTAR O FUNCIONAMENTO

Após o êxito em todas as etapas planejadas do projeto, foi desenvolvida a montagem dos componentes elétricos e mecânicos em conjunto. Realizados medições com o auxílio de um multímetro para conferir os sinais de entrada e saída, garantindo o correto dimensionamento dos componentes a fim de minimizar danos no protótipo e diminuir o custo com recompras devido a danos. Abaixo na Figura 20, é possível observar a ligação dos componentes no Arduino.

Figura 20 – Montagem do Arduino e seus periféricos.



Fonte: Os autores (2021).

Em seguida da finalização da montagem, foi conectado o Arduino ao notebook, com o software Arduino IDE, compilado o código para gravar dentro do microprocessador e após a compilação, foram feitos testes de movimentação para verificar todo o curso dos eixos e conferido se não possuía nenhuma interferência amplitude mecânica.

Utilizando uma luminária para simular a luminosidade do sol foi possível realizar então, o ajuste da sensibilidade dos sensores LDR e a velocidade dos motores para a movimentação ser realizada de forma gradual.

Contudo, após primeiros testes de funcionamento, existiram algumas dificuldades devido ao dimensionamento do motor, o mesmo não estava atendendo as expectativas de desempenho pois o peso da placa foi superior à sua capacidade, logo, foi decidido realizar a substituição para um motor mais potente, o qual funcionou corretamente. Segue abaixo, na Figura 21, o motor fixado à base e os sensores de luminosidade fixados ao painel solar.

Figura 21 – Montagem dos motores e sensores LDRs.



Fonte: Os autores (2021).

Após a instalação dos novos motores, tivemos dificuldades para confecção do suporte dos sensores, no qual não ficavam bem posicionados em relação com o

alinhamento da placa, produzindo oscilações nas entradas analógicas. Após atualização do projeto do suporte corrigindo o alinhamento, o protótipo funcionou corretamente, obtendo um resultado satisfatório. Segue abaixo, Figura 22 com a montagem final do protótipo.

Figura 22 – Montagem final do protótipo.



Fonte: Os autores (2021)

Realizados ajustes no suporte, os sensores apresentaram uma melhora significativa, no qual o mesmo funcionou de acordo com o objetivo proposto, alcançando um resultado satisfatório, realizado os testes e o protótipo funcionou corretamente, seguindo sempre onde possua maior incidência de luz direta, posicionando a placa solar e aumentando sua eficiência na geração de energia.

3.6 LEVANTAMENTO DA DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL DE ACORDO COM A PLACA UTILIZADA

Este levantamento tem como objetivo encontrar a quantidade de placas a serem instaladas para o cliente de acordo com sua necessidade, para isso utilizamos o seguinte cálculo:

$$\text{Energia Geração} = \text{Potência Total Dos Painéis} \times \text{Tempo De Exposição} \quad (1)$$

Porém devido a perda nos painéis e cabos é necessário adicionar uma variável de rendimento para minimizar os erros, sendo assim nossa equação passa a ser da seguinte forma:

$$Potência\ Total\ Dos\ Painéis = \frac{Energia\ de\ geração}{Tempo\ De\ Exposição \times N\ rendimento} \quad (2)$$

Para o levantamento da demanda energética anual da placa é necessário reunir algumas informações referente ao consumo diário do proprietário, como por exemplo, analisar o histórico de consumo dos últimos 12 meses e ver qual tipo de ligação possui, de acordo com a concessionária, o tipo de ligação influencia no pagamento mínimo da fatura na conta de luz.

Conforme o cálculo, se obteve o valor médio de gasto mensal de 658 KWh, devido a taxa mínima a ser paga, como o proprietário possui ligação bifásica é necessário subtrair da demanda média mensal sendo 608 KWh o valor que o proprietário deve gerar com os painéis solares, sendo assim para fórmula é necessário realizar a conversão para uso diário da seguinte forma:

$$\frac{608\ KWh}{mês} = \frac{608\ KWh}{30\ dias} = \frac{20,26\ KWh}{Dia} \quad (3)$$

Em seguida é necessário calcular o tempo de exposição solar da placa, para isso utiliza-se um gráfico de irradiação solar para obter o dado Hora Sol Pico (HPS), utilizando a curva amarela para calcular como retângulo e obter um valor fixo de tempo de exposição, esses dados foram coletados através do site do CRESESB SunData, no qual é necessário colocar as coordenadas da sua cidade para se obter os dados. As coordenadas foram adquiridas através do Google Maps, e ao colocar as coordenadas no CRESESB é necessário localizar o gráfico de plano horizontal e coletar o valor da média diária anual de irradiação, no qual Fortaleza possui 5,56 h por dia e aplicar na fórmula.

$$Potência\ Total\ dos\ painéis = \frac{20,26\ KWh/Dia}{5,56\ h \times Rendimento} \quad (4)$$

Para se calcular o rendimento é preciso levar em conta algumas perdas sofridas durante o processo de captação e transformação da energia, com isso os dados de perdas são calculados da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \text{Perda por Temperatura (aquecimento): } & (7,0\% \text{ a } 18\%) = (100\% - 11,5\%) = (0,885) \\
 \text{Incompatibilidade elétrica: } & (1\% \text{ a } 2\%) = (100\% - 1,5\%) = (0,985) \\
 \text{Acúmulo de sujeira: } & (1\% \text{ a } 8\%) = (100\% - 2\%) = (0,980) \\
 \text{Cabos CC= } & (0,5\% \text{ a } 1\%) = (100\% - 1\%) = (0,990) \\
 \text{Cabos CA = } & (0,5\% \text{ a } 1\%) = (100\% - 1\%) = (0,990) \\
 \text{Inversor = } & (2,5\% \text{ a } 5\%) = (100\% - 4\%) = (0,960)
 \end{aligned} \tag{5}$$

Sendo assim, o rendimento total é de 80%, gerando a equação final abaixo.

$$KWp = \frac{20,26 \text{ KWh/Dia}}{5,56 \text{ h} \times 0,8} = 4,55 \text{ KWp}$$

Como resultado o proprietário depende de uma potência de 4,55 KWp diário para suprir sua necessidade energética. Assim é realizado o cálculo da quantidade de painéis conforme a potência desejada, painéis residenciais normalmente utilizam placas de 250W a 280W, para nosso cálculo foi decidido utilizar uma placa de 265 W, no qual temos uma equação para definir quantos painéis utilizar.

$$\text{Quantidade de painéis} = \frac{\text{Potência total do painel}}{\text{Potência Da placa solar}} \tag{6}$$

Onde substituindo obtemos:

$$\text{Quantidade de painéis} = \frac{4,55 \text{ KWp}}{265 \text{ W}} = 17,16 \text{ painéis}$$

Assim concluímos que o proprietário possui uma necessidade de instalar 17 placas solares de 265 W para suprir sua demanda energética anual.

3.7 COMPARATIVO ENTRE O POSICIONAMENTO TRADICIONAL DAS PLACAS SOLARES EM RELAÇÃO ÀS PLACAS COM USO DA BASE AUTOMATIZADA

Para realizar a comparação entre os dois posicionamentos, foram utilizadas duas placas solares de mesmo modelo, porém uma é utilizada na base solar automatizada, outra será fixada em um suporte no qual irá simular o posicionamento convencional das placas solares.

Contudo é preciso saber o grau de inclinação no qual a placa é fixada, o valor de ângulo é obtido através do site da Cresesb (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), no qual é necessário indicar as coordenadas longitudinais e latitudinais do local em que a placa será colocada e o mesmo informa qual o grau de inclinação na placa. Com os valores obtidos das coordenadas, são inseridos os valores no site do Cresesb e encontrado o valor de latitude aplicado na fórmula abaixo para saber o grau de inclinação, no qual foi encontrado o valor de 15,669 graus de inclinação para instalação da placa solar com fixação convencional.

$$Inclinação = Latitude\left(\frac{Latitude}{3}\right) \quad (1)$$

Obtido os valores necessários para confecção do suporte para fixar a placa solar semelhante ao modo como é utilizada convencionalmente. Segue abaixo na Figura 23 a montagem do suporte da placa convencional.

Figura 23 – Placa solar com base convencional.



Fonte: Os autores (2021).

Para possibilitar a realização do comparativo entre os dados das duas placas, foram colocadas ambas lado a lado para receberem a mesma incidência solar, para medir a diferença de potência gerada entre as duas, foi utilizado um circuito eletrônico com base em um divisor de tensão e os valores de tensão gerados pelos painéis fotovoltaicos são processados pelo controlador Arduino UNO sem danificar o microcontrolador caso aconteça alguma sobrecarga no circuito. Segue abaixo na Figura 24 as duas bases fixadas durante o comparativo.

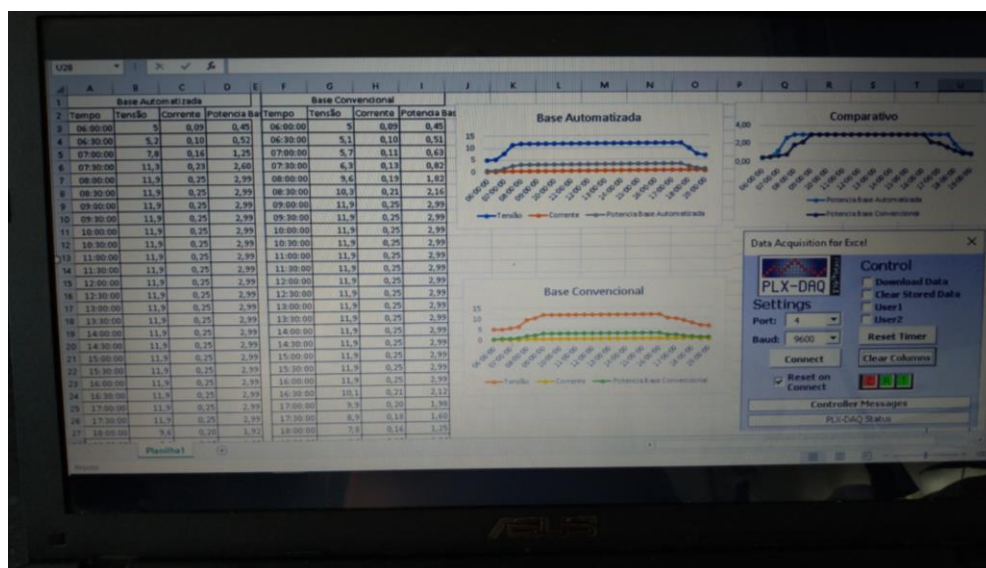
Figura 24 - Comparativo entre as placas solares.



Fonte: Os autores (2021).

Utilizando o software PLX-DAQ, o controlador transmite informações em tempo real para um computador conectado ao sistema através da comunicação USB, o software recebe os dados e adiciona na tabela do Excel, no qual é gerado um gráfico das grandezas elétricas, com isso conseguimos calcular a diferença do rendimento entre as placas. Abaixo na Figura 25 o software utilizado para realizar a comparação dos modelos de fixação dos painéis.

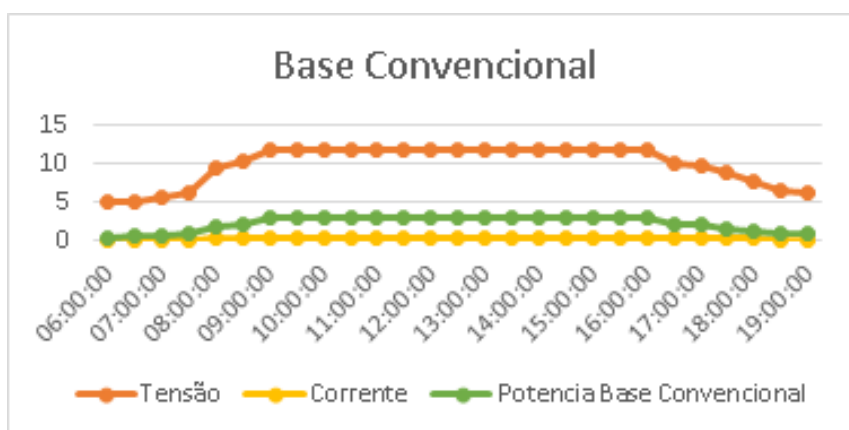
Figura 25 – Software PLX-DAQ.



Fonte: Os autores (2021).

Com base nos dados coletados foi feito a relação comparando a área do gráfico conforme a potência gerada pelas placas solares, assim pode-se observar que o sistema com fixação das placas solares convencionais gerou uma potência constante de 3W durante um período de insolação de 08:33:00 horas conforme mostra a Figura 26 abaixo.

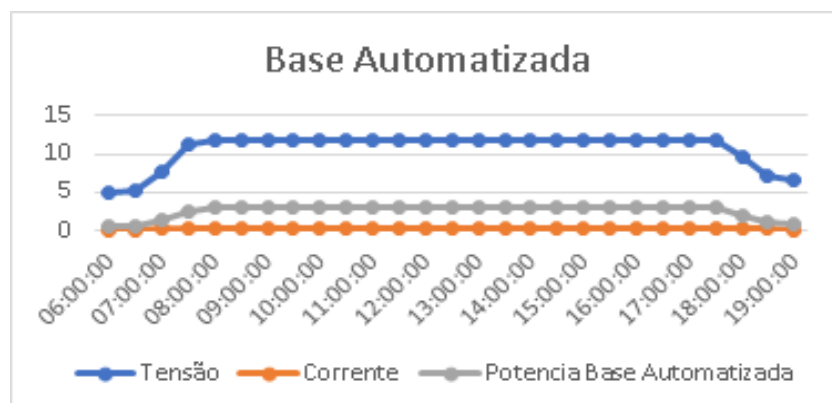
Figura 26 – Comparativo entre a fixação das placas.



Fonte: Os autores (2021).

Obtidos os valores do protótipo base solar automatizada foi feito a relação da área do gráfico conforme a potência gerada pelas placas solares, assim pode-se observar que o sistema automatizado gerou uma potência constante de 3W durante um período de insolação de 10:14:00 horas conforme mostra a Figura 27 abaixo.

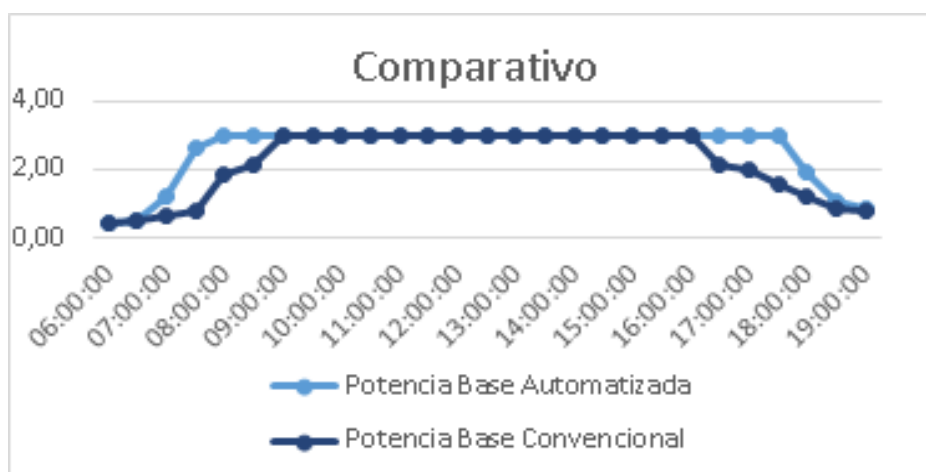
Figura 27 – Comparativo entre a fixação das placas.



Fonte: Os autores (2021).

Com os dados de ambas as placas, foi possível realizar o comparativo entre os gráficos e observado que houve um ganho de energia gerada com o protótipo nas primeiras e últimas horas do dia, realizando um comparativo, a placa solar acoplada a base automatizada obteve um ganho de 12% a mais de exposição de luz solar em relação a placa solar com fixação convencional. Abaixo na Figura 28 o gráfico dos dois tipos de posicionamento das placas.

Figura 28 – Comparativo entre a fixação das placas.



Fonte: Os autores (2021).

Analisando os dados adquiridos, o protótipo base solar automatizada apresentou uma boa vantagem em relação ao sistema fixo, quando analisada a energia produzida por ambos os sistemas. Em dias de céu limpo, com grande aproveitamento da irradiância incidente sobre os módulos, o ganho do sistema móvel em relação ao fixo chegou a

aproximadamente 13%, concluindo assim a eficiência do protótipo em relação aos meios convencionais atualmente existentes no mercado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante os testes diários, a placa solar com suporte convencional gerou 3W de potência durante 08:33:00 horas do dia totalizando aproximadamente 22,30W por dia, já a placa solar com o protótipo base solar automatizada gerou 3W de potência constante durante 10:14:00 horas totalizando aproximadamente 26,08 W de potência. Comparando as potências de ambas as placas, o protótipo conseguiu aumentar a geração de energia solar 16,44% de energia gerada a partir das placas fotovoltaicas.

O sistema segue o Sol ao longo do dia sempre que existir uma presença significativa de radiação direta, e permanece parado quando há uma predominância da radiação difusa. Como foi comentado, as paradas do sistema não provocam perdas significativas na irradiação coletada, o que pôde ser confirmado através das medidas realizadas.

Os ganhos na irradiação diária variaram de acordo com os valores de irradiação registrados. Em dias muito nublados, o ganho em energia do rastreador torna-se baixo, e em dia com céu limpo, o ganho torna-se mais aproveitável.

Apesar do conhecido aumento de energia imposto por seguidores solares, estes valores podem variar de região a região dependendo de vários fatores como a latitude do local, temperatura, incidência solar, dias nublados, entre outros fatores. Por isso, a análise de um seguidor solar para uma abrangência local se torna interessante do ponto de vista de rendimento, devido a variação climática presentes na região.

Apesar do período analisado ter sido um período com condições climáticas bastante instáveis, ainda assim, o ganho médio do sistema automatizado em relação ao sistema convencional foi de aproximadamente 17%, tornando os resultados obtidos satisfatórios e de acordo com o esperado.

CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo projetar, construir, estudar e analisar a eficiência de um protótipo de base solar automatizada em relação a um sistema fixo convencional.

Após a montagem prática foi analisada a média dos valores de tensão, corrente e potência obtidos durante os dias de estudo, levando-se em consideração dois tipos de ensaio – um com o protótipo base solar automatizada de dois eixos e outro com um sistema de fixação convencional de placas solares. Com os testes de ensaio o rastreador de dois eixos apresentou um resultado com aumento de aproximadamente 16 % em relação a placa convencional, assim, constatou-se que o modelo construído foi ao encontro do seu propósito, mesmo levando em conta sua estrutura física não tão robusta.

Durante o desenvolvimento do projeto alguns obstáculos foram encontrados. Um dos mais relevantes diz respeito à confecção do suporte do sensor devido sombreamento que resultou ser um fator preponderante para a diminuição dos efeitos do rastreamento do Sol. Isto ocorre porque a haste divisora dos sensores não estava com o tamanho suficiente para os sensores captarem a luz do sol dificultando o processamento do Arduino para acionamento dos motores.

Ao desenvolver este protótipo diversos conceitos fundamentais para a execução do mesmo, como: Geometria Solar, a busca por soluções alternativas que se adequem a um orçamento mais modesto. Além disso, este trabalho cumpriu seu dever de aplicar em uma situação real conhecimentos adquiridos durante a graduação, visto o uso de programação, dimensionamento de componentes e construção de circuitos eletroeletrônicos.

Assim concluímos que o projeto foi ao encontro da tendência mundial de foco na construção de inovações que aumentem a produtividade das fontes renováveis de energia e incentive o mercado de energia limpa em busca do desenvolvimento energético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHBY, M. F. JONES, David R. H. **Engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BRAGA, Newton C. **Circuitos e soluções: projetos**. 5 ed. São Paulo: Saber, 2005.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2008.

CUNHA, Lauro Salles; CRAVENCO, Marcelo Padovani. **Manual prático do mecânico**. São Paulo: Hemus, 2006.

ENERGIA TOTAL, **Como funciona o painel solar fotovoltaico e o que é feito?** Disponível em
<<https://www.energiatotal.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico-e-do-que-sao-feitos>>. Acesso em 20 mai. 2021.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 4 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda. 2008.

FOWLER, Richard J. **Fundamentos de eletricidade: volume 1: corrente contínua e magnetismo**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

KONDRASOVAS, Demétrio; LEHMAN FILHO, Semin; SIANGA, Ariovaldo. **Elementos de máquinas e dispositivos**. São Paulo: SENAI, 1996.

MINHA CASA SOLAR, **Painel Solar**. Disponível em <<https://www.minhacasasolar.com.br/painel-solar>>. Acesso em 16 mai. 2021.

MONK, Simon. **Programação com Arduino**. 1 ed. São Paulo: Bookman Companhia Ltda, 2013.

MUNDO DA ELÉTRICA, **Placa Solares o que são e como funcionam**. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/placas-solares-o-que-sao-e-como-funcionam/>>. Acesso em 12 mai. 2021.

PARETO, Luis. **Elementos de máquinas: formulário técnico**. São Paulo: Hemus, 2003.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PORTAL SOLAR, **Como funciona o Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html/>>. Acesso em 20 mai. 2021.

SILVA, José Maria da; SILVEIRA, Emerson Sena. **Apresentação de trabalhos acadêmicos: normas e técnicas**. 8 ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

SILVA, Luiz da Silva. **Iluminação: Simplificando o projeto**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna. 2009.

SILVA, Mauri Luiz. **Led: a luz dos novos projetos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2012.