

# Otimização de um Sistema Fotovoltaico Visando Aumentar a Eficiência na Captação de Energia Solar num Sistema Residencial

## *Optimization of a Photovoltaic System Aiming to Increase the Efficiency in the Capture of Solar Energy in a Residential System*

Rodrigo Marcelino Miranda<sup>1</sup>, Daniel de Oliveira<sup>2</sup>, Rodrigo Fazani Esteves Sanches<sup>3</sup>

**Resumo:** A geração de energia é um tema amplamente discutido mundialmente. Principalmente, devido aos seus índices de rendimento, poluição, viabilidade monetária e/ou estrutural. Com a revolução industrial e as práticas de produção em massa, os governos tendem a procurar e incentivar o uso de novas tecnologias sustentáveis para que os efeitos do advento tecnológico não sejam um empecilho para o desenvolvimento social e econômico. Às fontes de energia estão em constante evolução, onde, a energia fotovoltaica é alvo de discussões e estudos acerca da sua viabilidade econômica e sua utilização para a sociedade. O funcionamento de uma placa fotovoltaica baseia-se na obtenção e conversão de energia solar em energia elétrica visando sempre o maior rendimento. A efetividade destes equipamentos sofreu positiva alteração nos últimos anos, com o surgimento dos sistemas seguidores solares. Tais sistemas são baseados nos estudos da posição solares e incidência solar em determinados ângulos, como alternativa para suprir a deficiência energética encontrada no uso de módulos fotovoltaicos fixos, instaladas em casas, edifícios etc. Assim, este trabalho visa à produção e automatização do processo de geração de energia solar fazendo-se o uso de placas fotovoltaicas e microcontroladores, replicando então o conceito de sistema seguidor.

**Palavras-chave:** Geração de energia. Energia solar. Placa fotovoltaica.

**Abstract:** *Power generation is a widely discussed topic worldwide. Primarily because of their yield rates, pollution, monetary viability and / or structural. With the industrial revolution and mass*

*production practices, governments tend to seek and encourage the use of new sustainable technologies for the effects of technological advent are not an impediment to social and economic development. Energy sources are in constant evolution, where photovoltaic energy is the subject of discussions and studies about its economic viability and its use for society. The operation of a photovoltaic board is based on obtaining and converting solar energy into electrical energy, always seeking the highest yield. The effectiveness of these equipment has undergone positive changes in recent years, with the emergence of solar tracker systems. Such systems are based on studies of the solar position and solar incidence at certain angles, as an alternative to supply the energy deficiency found in the use of fixed photovoltaic modules, installed in houses, buildings, etc. Thus, this work aims at the production and automation of the solar energy generation process using photovoltaic panels and microcontrollers, thus replicating the concept of follower system.*

**Keywords:** *Power generation. Solar energy. Photovoltaic board.*

### I. INTRODUÇÃO

A geração de energia sempre foi um ponto amplamente discutido no âmbito mundial, devido aos seus índices de rendimento, poluição e até mesmo viabilidade monetária e/ou estrutural. Devido ao advento da revolução industrial e de práticas de produção em massa, os governos tendem a procurar e até mesmo, incentivar o uso de novas tecnologias sustentáveis e amigas do meio ambiente

<sup>1</sup>Acadêmico do curso de Engenharia elétrica, Centro Universitário ENIAC. E-mail: 800262013@eniac.edu.br

<sup>2</sup>Professor Doutor dos cursos de Engenharia, Centro Universitário ENIAC. E-mail: daniel.oliveira@eniac.edu.br

<sup>3</sup>Professor Doutor dos cursos de Engenharia, Centro Universitário ENIAC. E-mail: rodrigo.fazani@eniac.edu.br

para que os efeitos do advento tecnológico não sejam um empecilho para o desenvolvimento social e econômico (SANTOS; MACIEL, 2011).

As fontes de energia estão em constante evolução, podendo citar dentre algumas destas, a energia fotovoltaica, que vem sendo alvo de discussões e estudos acerca da sua viabilidade econômica (RIBEIRO et al., 2017) e de sua utilização para a sociedade como um todo, com isso se dando através da instalação de fontes de energia solar em postes e/ou em locais que sirvam para prover uma redução de gastos e impactos ao meio ambiente.

O funcionamento de uma placa fotovoltaica baseia-se na obtenção e conversão de energia solar em energia elétrica (DC ou AC com uso de inversores), visando sempre o maior rendimento, mesmo que o máximo rendimento disponível atualmente ronde os 15% (SILVA, 2008). Porém a efetividade deste equipamento sofreu alterações nos últimos anos, com o surgimento dos sistemas seguidores solares, inferindo positivamente assim o avanço gradativo da geração de energia. Tais sistemas são baseados nos estudos das posições solares, ou seja, da incidência solar em determinados ângulos (TRUJILLO, 2015) e através de sua programação e estudo e aplicação de fórmulas matemáticas para automatizar este processo de obtenção de energia (DUARTE *et al.*, 2015), surge então saída para a deficiência energética encontrada no uso de módulos fotovoltaicos fixos, instaladas em casas, edifícios etc.

Com tais considerações em mente, este trabalho visa à produção e automatização do processo de geração de energia solar fazendo-se o uso de placas fotovoltaicas e um sistema de automação, replicando então o conceito de sistema seguidor.

## II. OBJETIVOS

**Objetivo geral:** Otimização de um sistema fotovoltaico visando aumentar a eficiência na captação de energia solar num sistema residencial.

**Objetivos específicos:** Integração do sistema fotovoltaico em um sistema automático. Aprimorar e estudar a geração de energia do sistema seguidor e sua eficiência. E comparar eficiência energética de modelos passivos e ativos.

## III. METODOLOGIA

**Células fotovoltaicas** - A célula fotovoltaica é o local onde ocorre a transformação da radiação solar em corrente elétrica, este fenômeno denomina-se “efeito fotovoltaico”, foi realizado pela primeira vez pelo pesquisador e físico francês Alexander E. Becquerel em 1839. (SANTOS; MACIEL, 2011)

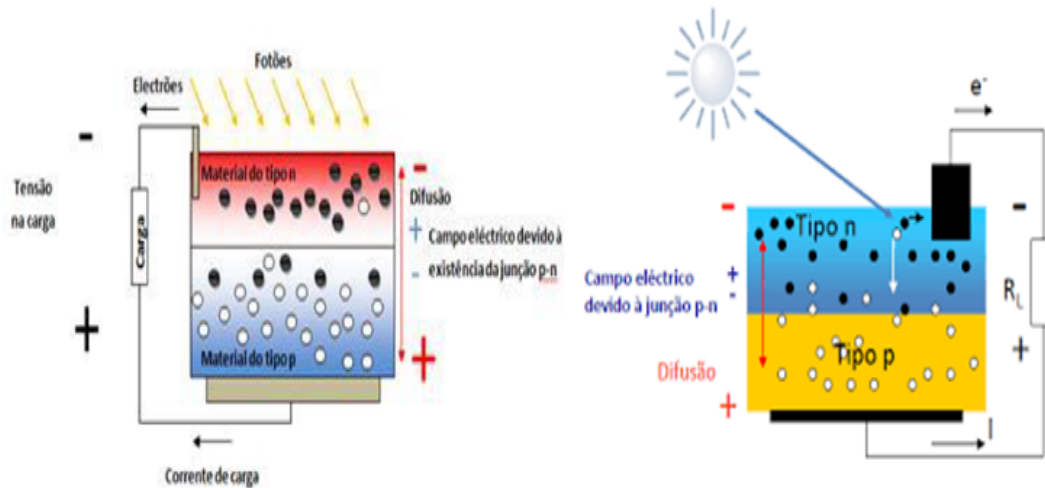
A conversão ocorre através de uma reação fotoquímica que transita no interior das células. Para ilustrarmos como este fenômeno é realizado é necessário o conhecimento prévio de que a luz é composta por minúsculas partículas denominadas fótons (JUSTE, 2008). Uma grande gama de células e placas fotovoltaicas são constituídas de materiais semicondutores, que são um conjunto de elementos que alternam periodicamente conduzindo ou isolando elétrons livres, por exemplo, o silício, germânio dentre outros com características cristalinas (CRESESB, 2014). É necessário advertir que estes dispositivos não atuam como baterias, ou seja, não armazenam energia apenas as transformam.

A absorção dos fótons pela célula viabiliza a movimentação de elétrons para as partes mais internas e assim com cargas negativas agrupadas é gerada a eletricidade.

A junção das células forma os painéis ou módulos fotovoltaicos, assim como ilustrado na Figura 2.

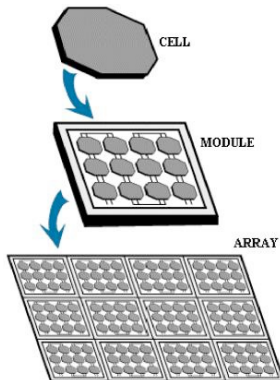
**Servo motor** - Um servo motor é um atuador linear ou rotativo que fornece controle em malha fechada operando com o sistema de feedback de posição para controlar a velocidade e a posição final do motor. Internamente, um servo motor combina um motor, circuito de realimentação, controlador e outro circuito eletrônico (MAKER, 2016).

Figura 1 – Efeito Fotovoltaico



Fonte: Autor, 2021

Figura 2 – Constituição de um painel solar



Fonte: FEUP, 2015.

O sinal de feedback representa a localização da carga, é obtido usando um sensor de posição que corresponde a um potenciômetro que produz a tensão correspondente ao ângulo do eixo do motor por meio de engrenagens. Em seguida, o valor da tensão de realimentação é aplicado na entrada do amplificador de erro (comparador). O comparador reduz a relação de entradas, à posição atual do motor (obtida pelo potenciômetro) com a posição desejada do motor (obtida pelo conversor de) e produz o erro em uma tensão positiva ou negativa. Esta tensão é aplicada à armadura do motor e, caso esta relação seja positiva, esta será energizada.

Enquanto existir um erro, o motor girará até que o erro se torne zero. Se o erro for negativo, a tensão da armadura reverte e, portanto, a armadura gira na direção oposta.

**Arduino** - É um dispositivo eletrônico de código aberto baseado em hardware e software de simples aprendizado e elaboração de projetos. Utiliza linguagem de programação específica e o Software Arduino (IDE), baseado em processamento, foi desenvolvido no Ivrea Interaction Design Institute como uma ferramenta para prototipagem rápida, destinada inicialmente a estudantes sem formação em eletrônica e programação e que com a propagação da facilidade de criação e manutenção de projetos passou a ser usada em diversos projetos mais complexos como, por exemplo: aplicativos IoT, wearable, impressão 3D e ambientes incorporados. (ARDUINO, 2018).

É uma placa microcontrolada inspirada no ATMEGA328P, basicamente ele possui todos os componentes e especificações necessárias para realizar inúmeros trabalhos eletrônicos; basta conectá-lo a um computador via cabo USB (Universal Serial Bus), ligá-lo a um adaptador AC/DC ou uma bateria para alimentar seus circuitos (ARDUINO, 2021).

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do projeto foi dividido em duas frentes de ação: Desenvolver projeto de aquisição de dados conectado ao Microsoft Excel,

implementação do projeto com movimento temporizado da placa solar.

A montagem do protótipo mecânico teve como base a criação de uma estrutura virtual 3D, utilizando o software SolidWorks, visando uma melhor representação e entendimento das medidas, baseando-se sempre em uma proporção real para as dimensões de a placa solar fotovoltaica utilizada.

**Projetos de controle** - O projeto de controle, lógica de programação, foi baseado no uso da linguagem C, visando a fácil interpretação e utilidade. O foco primordial visou a aquisição de dados, utilizando variáveis de controle, entre elas: corrente, tensão e potência.

A aquisição de dados foi o alvo da primeira parte de desenvolvimento do protótipo, buscando aquisição de valores para que houvesse uma comparação de rendimento entre as demais formas que pensei para que o projeto se desenrolasse. O programa base, utilizando a interface IDE Arduino e o software de eletrônica Protheus, realizou a conexão entre uma placa virtual de teste e a lógica de programação desenvolvida para obter as informações que a placa solar fotovoltaica gera, pensando na segurança e aperfeiçoamento do projeto, o circuito compreende um valor máximo saída de 4 Volts para uma entrada analógica, que foi utilizada para a leitura de tensão que a placa fornece.

A obtenção de dados foi utilizada para que houvesse um controle e análise de rendimento da placa, obtendo sua tensão e corrente para que internamente o microcontrolador escolhido realizasse os cálculos necessários para evidenciar a potência a ser gerada durante o intervalo de tempo de estudo.

O uso do Protheus como software de teste, facilita o entendimento e o desenvolvimento de um circuito virtual espelhado nas configurações da placa real, recriando condições específicas, como a variação da geração de potência durante o dia e a reação do microcontrolador para com esses dados (ARDUINO, 2018).

Para que houvesse uma contextualização dos dados obtidos pelo projeto de controle e o usuário que está analisando os dados, a integração entre os softwares de programação e o Microsoft Excel, deu-

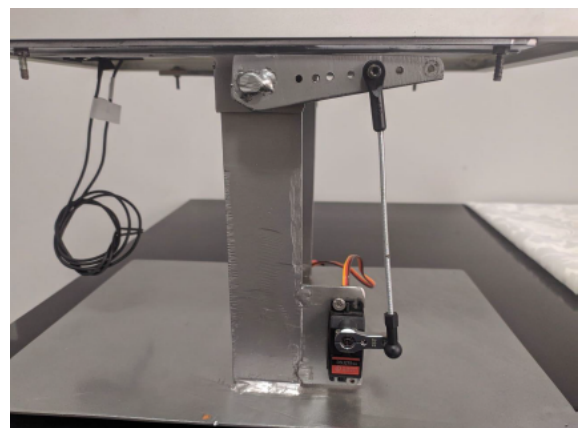
se pela necessidade de mostrar os dados de forma simples e informativa, gerando um arquivo de texto, “txt”, onde fica evidenciado valores como: data e hora de aquisição, ordem numérica do valor obtido pelo programa e as variáveis tensão, corrente e potência.

A partir desses resultados, gráficos informativos são gerados mostrando a geração de potência média durante o ensaio realizado. A conexão feita entre os softwares e o programa Microsoft Excel, foi baseado em um programa retirado do blog pessoal de “Roberto Valgolio”, incrementando o programa de aquisição de dados desenvolvidos pelo grupo com as funções de conectividade entre programas (VALGOLIO, 2019).

O movimento progressivo temporizado foi escolhido baseado da divisão do horário de insolação de um dia comum, fazendo com que, hipoteticamente, em nove ou dez horas de iluminação, a angulação que o motor se movimentará, faça com que a eficiência da placa solar aumente, acompanhando o movimento solar para gerar mais energia, energia dissipada por um resistor de carga, usado para dissipar a energia obtida.

A transferência de movimento do servo motor para o protótipo deu-se pelo uso de conectores chamados de “Ball-links”, que usualmente são usados para aeromodelos, sendo eficazes na transferência de potência e movimento para evitar folgas na ligação que será realizada, conforme Figura 3.

Figura 3 – Sistema de movimentação



Fonte: Autor, 2021

O servo motor utilizado no protótipo, alimentado com uma fonte externa com capacidade de geração de cinco volts e dois amperes, tem a função de transmitir o movimento angular para a placa solar, sendo estipulado no programa o tempo em que ele se movimentará e a angulação respectiva, mantendo então um movimento sincronizado entre o motor e a placa fotovoltaica, não foram utilizados sensores de posição nem de raios ultravioletas. Os dados obtidos pelo seguidor solar são armazenados em uma planilha Excel, contabilizando os dados obtidos pela placa com um índice crescente, mostrando a tensão, corrente, potência e comparações entre os menores e maiores valores obtidos durante a aquisição de dados. O “LCD” mostra os valores em tempo real para quem está observando o funcionamento do protótipo.

## V. RESULTADOS

Após a estruturação e montagem do sistema, a placa fotovoltaica foi colocada em um local alto e aberta com alta incidência solar, propício para o início na realização dos testes e análises de funcionamento.

A posição ideal para a instalação de módulos fotovoltaicos localizados no hemisfério Sul no Brasil é voltada para o norte geográfico, com o ângulo de inclinação igual ao da Latitude do local

em que se encontra. Como a realização dos testes foi feita na cidade de Arujá, o sistema foi colocado à um ângulo de inclinação de 23° para o norte.

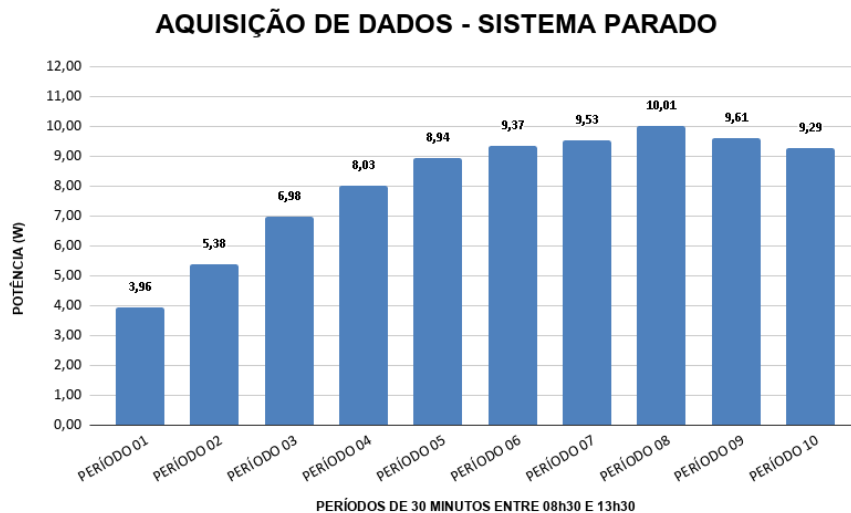
Os testes foram realizados em duas fases, sendo a primeira com o sistema parado (passivo) e a segunda com o sistema em movimento (ativo). Nas duas tabelas utilizadas para melhor entendimento do assunto possuem barras com Watts (w) como unidade de medida. Tanto a primeira quanto a segunda fase foram realizadas durante um período de 4 dias, por 5 horas diárias (08h30 às 13h30).

O programa foi desenvolvido para fazer aquisições da potência gerada a cada 5 segundos tal potência foi verificada através de cálculos matemáticos referentes ao resistor de carga, este valor é enviado para o banco de dados, além de ser mostrado no display LCD, no total foram realizadas 3600 aquisições por dia totalizando aproximadamente 20.000 aquisições.

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos os dados foram separados calculando-se a média entre períodos de 30 minutos.

A primeira fase de testes foi realizada entre os dias 20/04/2021 e 23/04/2021, e a partir das aquisições feitas neste período foi possível exemplificar os dados obtidos através do gráfico referente à Figura 4.

Figura 4 – Aquisição de dados sistema parado



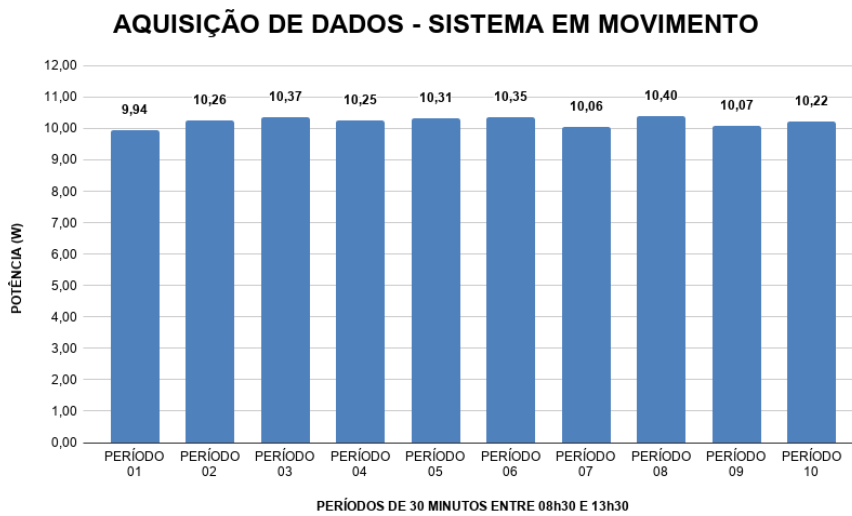
Fonte: Autor, 2021

A segunda fase de testes foi realizada entre os dias 25/04/2021 e 28/04/2021, no entanto, para esta fase foi utilizado um servo motor que faz a placa fotovoltaica se movimentar de acordo com o tempo. De acordo com o segundo programa desenvolvido, a angulação total que o servo percorre é de 140°, cada grau é incrementado a cada 2 minutos e 15 segundos. Os resultados dos dados adquiridos são exemplificados através do gráfico referente à Figura 5.

As temperaturas obtidas durante a fase de testes variaram de 13° graus de mínima até 31° graus de máxima tendo em média um valor aproximado de 22° graus com umidade relativa de 60% e vento de 15 km/h, e assim assegurando a confiabilidade do projeto.

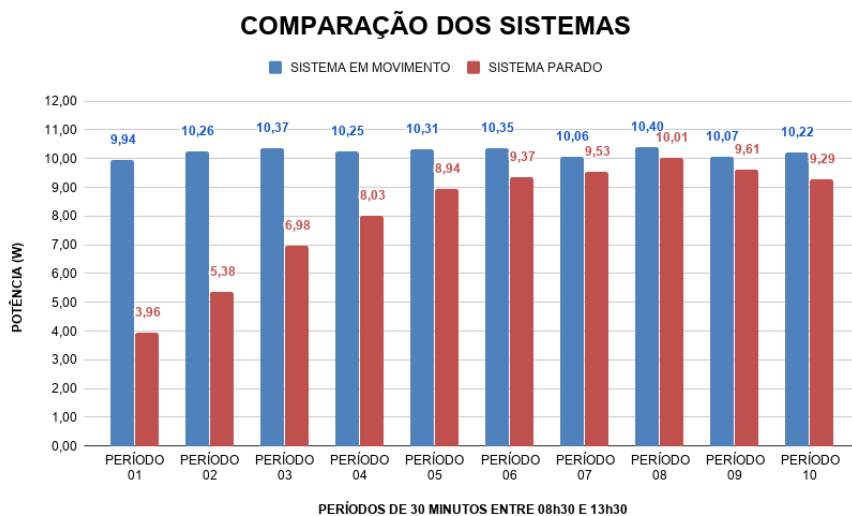
Com base nos dois gráficos apresentados foi possível gerar um novo gráfico comparando os dados das duas fases de testes. O resultado do gráfico comparativo está exemplificado através da Figura 6.

Figura 5 – Dados referentes ao segundo Experimento



Fonte: Autor, 2021

Figura 6 – Comparação dos sistemas



Fonte: Autor, 2021

A partir dos dados apresentados nos gráficos foi possível medir o aumento da geração de energia de um sistema para o outro em cada um dos períodos

com níveis de irradiação solar aproximadamente semelhante, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo percentual

Períodos de 30 minutos	Aquisição de dados entre 08h30 e 13h30		Aumento da Geração (%)
	Sistema Parado (W/h)	Sistema em Movimento (W/h)	
Período 01	3,95	9,94	151,65
Período 02	5,37	10,25	90,88
Período 03	6,97	10,36	48,64
Período 04	8,02	10,24	27,68
Período 05	8,93	10,31	15,45
Período 06	9,37	10,34	10,35
Período 07	9,52	10,06	5,67
Período 08	10	10,39	3,90
Período 09	9,61	10,06	4,68
Período 10	9,29	10,21	9,90

Fonte: Autor, 2021

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa acerca de energias renováveis e eficientes possibilitou o desenvolvimento do “Seguidor solar”, baseando-se na necessidade de geração de energia limpa e sustentável, o incentivo a pesquisa e desenvolvimento de projetos que melhoram a atual eficiência da geração de energia, surge como uma solução para tais empecilhos, tanto como econômicos ou ambientais.

O estudo e aquisição de dados obtidos pelo protótipo comprovam um aumento significativo na geração de energia elétrica de até 150% em determinados períodos por meio do controle de movimento da placa solar, esse modelo de obtenção de dados, baseou-se em mais de 3600 valores de potência momentânea que o protótipo gerou durante o intervalo de tempo dos testes, calculando-se a geração média de energia por períodos e então comparando os valores obtidos entre os métodos de aquisição estipulados pelo trabalho. Essa mudança de eficiência foi realizada pelo simples movimento angular temporizado, que possibilitou aumentar a área de incidência dos raios solares sobre o protótipo.

A comparação entre os valores encontrados, mostrado na Tabela 1 exemplifica os valores obtidos anteriormente ao uso do movimento temporizado e após a adição da movimentação, também encontrados na Tabela 1 onde foram demonstrados

os ganhos percentuais, como por exemplo, no período 01 onde as potências obtidas foram significativamente diferentes e expressivas e no período 08 onde as potências se tornaram próximas. Comprovando a eficiência do sistema com movimento.

Foi demonstrado que o projeto, estruturado com intuito de melhorar a eficiência da geração de energia fotovoltaica, foi atingido com sucesso.

## VII. REFERÊNCIAS

ARDUINO. **What is Arduino?** (2018). Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 17 de Fevereiro 2021.

ARDUINO. **Arduino Uno Rev3.** Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 17 de Fevereiro 2021

DUARTE, D.; DA SILVA, F.; NETO, J. Sistema seguidor solar microcontrolado. **Revista Principia**, v.1, n. 27, pp. 123-127, 2015.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0.** 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acessado em 16 de Março de 2021.

JUSTE, F. **Estudo sobre células fotovoltaicas, funcionamento, aplicação e pesquisas de desenvolvimento.** Monografia. 2008. Universidade

Federal de Uberlândia. Acessado em: 15 de março de 2021.

MAKER Labs Eletronics, 2016. Disponível em: <<https://www.makerlab-electronics.com/>>. Acessado em: 16 de Março de 2021.

RIBEIRO, R et al. Proposição de uma metodologia para análise de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica. **Revista Principia**, v.1, n. 34, pp. 84-92, 2017.

SANTOS, F.; MACIEL, F. **Utilização de energia Fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia**. Universidade do Porto. Faculdade de

Engenharia 2011. Acessado em: 9 de Fevereiro de 2021.

TRUJILLO, G. A. M. Características energéticas de una placa fotovoltaica, por variación de ángulo de inclinación, frente a la radiación solar en Ecuador. **Revista Científica Yachana**. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1234/yach.v0i0.149>

VALGOLIO, R. **Arduino-Excel**. (2019). Disponível em: <http://www.robtovalgolio.com/sistemi-programmi/arduino-excel/arduino-excel-download> >. Acessado em: 22 de fevereiro de 2021.