

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO UTILIZANDO UM RASTREADOR SOLAR COMPARADO A UM ESTACIONÁRIO

ZAZULA, Rodrigo Moretto¹
GOMES, Isabelle Cordova²
Prado Campos, Thiago³
Gorski Da Silva, Fernando Henrique⁴
Borsato, Carlos Roberto⁵

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo testar a eficiência de dois métodos de geração de energia fotovoltaica: o convencional feito com painel fixo, e o com painel móvel que acompanha o movimento diário do sol. Para conseguir fazer os testes de eficiência, foram desenvolvidos dois protótipos microcontrolados: um que movimentou a placa durante o dia, com a possibilidade de mantê-la estacionária; e outro para medir a eficiência através de aproximadamente 130 medições diárias da intensidade da corrente elétrica gerada no painel. Para a carga do painel, foram conectadas 6 lâmpadas incandescentes de 55W com ligação em duas sequências em paralelo com de 3 lâmpadas em série cada, totalizando um conjunto de 36v com 330W de potência, muito próximo aos dados de etiqueta da placa canadian 335W monocristalina. Ao fim, concluiu-se que a placa móvel tem uma vantagem de 26% mais eficiência que o painel fixo.

Palavras-chave: Rastreador Solar. Painel Fotovoltaico. Eficiência. Corrente. Protótipo Aplicado.

ABSTRACT: This Paper aims to test the efficiency of two methods of photovoltaic power generation: the conventional one made with a fixed panel, and the one with a mobile panel that follows the daily movement of the sun. In order to carry out the efficiency tests, two microcontrolled prototypes were developed: one that moved the panel during the day, with the possibility of keeping it stationary; and another to measure efficiency through approximately 130 daily measurements of the intensity of the electrical current generated in the panel. For the panel load, 6 incandescent lamps of 55W were connected in two sequences in parallel with 3 lamps in series each, totaling a set of 36v with 330W of power, very close to the data sheet of the Canadian monocrystalline 335W panel. In the end, it was concluded that the mobile panel has an advantage of 26% more efficiency than the fixed panel.

¹ Graduando de Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Campo Real.

² Docente de Engenharia de Computação do Centro Universitário Campo Real - Mestranda em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação.

³ Docente no Centro Universitário Campo Real - Graduado em Engenharia Elétrica. Mestre em Educação Profissional e Tecnológica.

⁴ Graduado em Engenharia Elétrica. Professor no Centro Universitário do Campo Real.

⁵ Graduado em Engenharia Elétrica. Professor no Centro Universitário do Campo Real.

Keywords: Solar Tracker. Photovoltaic panel. Efficiency. Current. Applied prototype.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica, desde a sua descoberta, possibilitou a evolução da sociedade, e foi moldada até chegar à maneira que se conhece atualmente. Muitas foram as portas evolucionárias que surgiram depois dessa, até então, chamada nova tecnologia, que segundo Botelho (2008), foi fortalecida com a implantação de: motores elétricos, diminuindo a mão de obra e facilitando os processos que não existiam ou eram ineficazes, e também, a criação de máquinas para usos específicos que eram impossíveis de serem feitos com precisão, delicadeza e agilidade. A evolução na indústria foi tão fortalecida que ultrapassou suas paredes, expandindo aos lares e levando conforto ao público geral.

Devido a alta aceitação das novas tecnologias, a demanda energética está cada vez mais alta⁶, necessitando de matrizes energéticas mais rentáveis e eficientes, um exemplo são os sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica. Segundo Zilles et.al (2012), o primeiro contato para criação dos painéis fotovoltaicos que existem hoje foi no século XIX, foi quando Alexandre Edmond Becquerel, no ano de 1839 fez uma solução com elétrons de metal e expos à radiação luminosa, percebendo um aumento na sua condução de eletricidade. Zilles et. al. (2012) ainda diz que, em 1873 Willoughby Smith, através do selênio sólido, descobriu a fotocondutividade. Na mesma década, no ano de 1876 Adams e Day fizeram uma junção de selênio e platina percebendo o efeito fotovoltaico quando exposto à luz.

Segundo Zilles et. al. (2012), as datas das primeiras descobertas são bem antigas, portanto a inovação se concretizou na junção do efeito fotovoltaico em grandes quantidades na forma de painéis expostos a luz do sol, com um inversor de frequência que, transformam a energia que está sendo gerada em corrente contínua para corrente alternada, possibilitando a injeção nas redes elétricas como se conhece hoje. Zilles et. al. (2012), afirma que devido ao aumento das tecnologias no séc XX possibilitou a disseminação da indústria fotovoltaica e a popularização ocorreu de forma rápida,

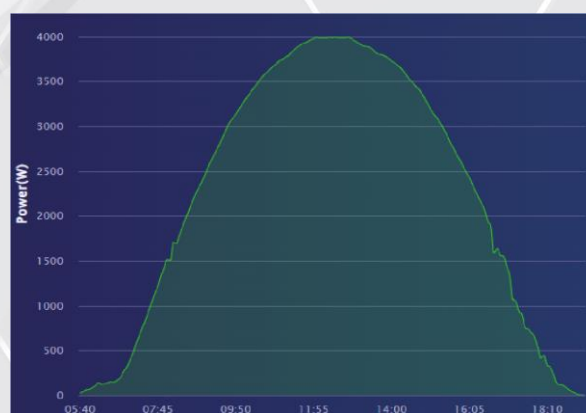
⁶ Um chuveiro elétrico que nos anos 2000, era fabricado com potência de 3000 watts (W), hoje comumente chega a um patamar médio de 7500W, tendo modelos que extrapolam esse valor.

principalmente pela introdução ter ocorrido em meios militares e aeroespaciais, o que acelerou as pesquisas e evoluções. Posteriormente a geração distribuída atingiu as grandes centrais.

Segundo Neves & Rocha (2021), o Brasil possui um grande potencial energético por vias solares, somando isso com as reservas de matérias-primas necessárias para a produção de painéis fotovoltaicos existentes no país, acaba por fazer da geração de energia fotovoltaica uma ótima opção para a economia e diversificação das matrizes energéticas.

Hoje, voltando no escrito de Zilles et. al. (2012), a energia fotovoltaica está muito presente nas indústrias e cada vez mais acessível ao cidadão comum, girando a economia e uma folga nos sistemas de geração de energia que já existiam. Segundo Swanke (2013), às vantagens desse tipo de geração de energia elétrica é o baixíssimo custo de manutenção dos equipamentos juntamente com o baixo impacto ao meio ambiente. Swanke (2013) ainda ressalta algumas desvantagens como: o alto custo dos materiais, e a inconstante forma de geração, pois atinge o pico máximo somente uma vez por dia e durante a noite permanece desligado. O gráfico 1 a seguir, representa a potência de geração durante o dia 13/11/2021 em uma planta real em um dia sem nenhuma incidência de sombras.

Gráfico 1 - potência de geração de um sistema 5KW/4,69 KWP ⁷, no dia 13/11/2021



Fonte: aplicativo SHINE PHONE monitoramento da GROWATT® (2021)

⁷ Para falar sobre potência de sistemas fotovoltaicos, primeiro se coloca potência do inversor, depois potência de painéis instalados. Neste caso, é uma planta com 5000 W de inversor e 4690W de paineis (14 painéis de 335W da BYD®). este dia em questão, gerou 29,5 KW/h.

A incidência de raios solares gera um índice chamado irradiação solar, que tem um valor diferente em cada localização, segundo Villalva (2015), o Watt-hora por metro quadrado (Wh/m²), é utilizado para medir a energia solar que incide em uma superfície plana de 1 metro quadrado no período de 1 hora, sendo essa a densidade de energia por área.

Segundo o site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), no Brasil existem vários cenários de eficiência de geração: existem lugares com baixa incidência solar como por exemplo Joinville (SC) que possui uma das menores médias do Brasil, sendo 3,64 Wh/m²; e lugares com muita incidência de sol, como Crateús (CE), que chega até 5,59 Wh/m², que ao contrário da cidade de Santa Catarina elencada, possui um dos maiores níveis de incidência do país. A insolação é um fator bem importante para determinar a quantidade de energia que será gerada. Estes dados de insolação são recolhidos através das coordenadas cedidas pelo Google maps e colocadas no site da CRESESB, que fornecem dados solares e eólicos do Brasil gratuitamente.

Ainda segundo o site da CRESESB, no Brasil os painéis solares, quando instalados na forma estacionária, possuem um ideal de orientação que é ficar voltado ao norte, Zilles et. al. (2012) reforça dizendo que a inclinação deve ser próxima à latitude do local, logo, ficando entre 20 a 25° de inclinação, porém, muitas vezes este ideal é difícil de ser alcançado devido às mais diversas formas de telhados e terrenos, portanto, deve-se calcular perdas de eficiência através de orientação e inclinação diferentes das descritas, caso isso ocorra, será preciso de mais placas para compensar a perda de geração. A equação para se calcular a potência de um sistema fotovoltaico é:

Equação 1 - equação para cálculo de potência de um gerador fotovoltaico

$$POTÊNCIA DO GERADOR = MEDIA DE CONSUMO INCIDENCIA MÉDIO SOLAR MENSAL ANUAL * 30^{(1)}$$

Fonte: adaptada de ZILLES (2012).

2. DESENVOLVIMENTO

Nas localidades onde a área de telhado é limitada e não havendo possibilidade de colocar a quantidade necessária de painéis para suprir a demanda energética, como se faz para extrair a máxima eficiência de um sistema fotovoltaico? Essa dúvida moveu essa pesquisa e hipotetizou-se que um rastreamento do sol pode ajudar na geração de energia elétrica. Rastreadores solares servem para fazer painéis solares acompanharem o movimento diário do sol, análogo a um girassol, forçando o painel a ter uma maior exposição solar diária, e uma possível maior produção energética.

Segundo Prinsloo et. al (2015), apud Freitas, (2018, p.14) a utilização de sistemas de rastreadores solares de algoritmos complexos em usinas de grande produção de energia, existem para se obter a máxima produção energética com uma menor área de exposição solar, conseqüentemente, um menor número de painéis fotovoltaicos. Segundo ele, o grande desafio desses sistemas é a arquitetura, onde muitas vezes deve ser proprietária, envolvendo estudos únicos em cada coordenada e sensores que captam e compreendem a movimentação diária do sol naquela localidade, retornando todo dia para uma posição inicial.

GARCIA et. all. (2015) fez um experimento com rastreador solar com um mecanismo próprio de análise de movimento e rotação de um painel de pequeno porte, neste caso, a eficiência foi 24,5% maior no painel móvel. Portanto, com intuito de estudar a eficiência de sistemas rastreados, se fez um rastreador solar microcontrolado para um único painel solar fotovoltaico em tamanho real para se comparar com o estudo de GARCIA et. all. (2015). A análise que será apresentada acontecerá através da média de geração de ambos os painéis capturada por um equipamento microcontrolado que também foi confeccionado para este estudo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a captação dos dados de geração, o protótipo foi dividido em duas partes: um rastreador solar e um data logger.

3.1. RASTREADOR SOLAR

Para conseguir acompanhar o movimento diário do sol, foi elaborado um cavalete em cantoneiras metálicas com um suporte para painel fotovoltaico, onde se consegue um ângulo total de rastreo de 120° de inclinação conforme a figura 1.

Figura 1 - Amplitude de inclinação total



Fonte: o Autor (2019).

Essa placa consegue movimentar-se através de um motor CC 12V alimentado por uma fonte que é ativada somente quando o movimento da placa é necessário, seja para ajustar a nova posição solar, ou retornar ao ponto inicial e aguardar o novo dia. O mecanismo de relés para reversão do motor foi elaborado com 2 relés, onde funcionam com o princípio de polos repetidos em uma chave de 3 pontas conforme a figura 4 e 5.

Figura 2 - Motor CC 12V



Fonte: o Autor (2021).

Figura 3 - Fonte 12Vcc



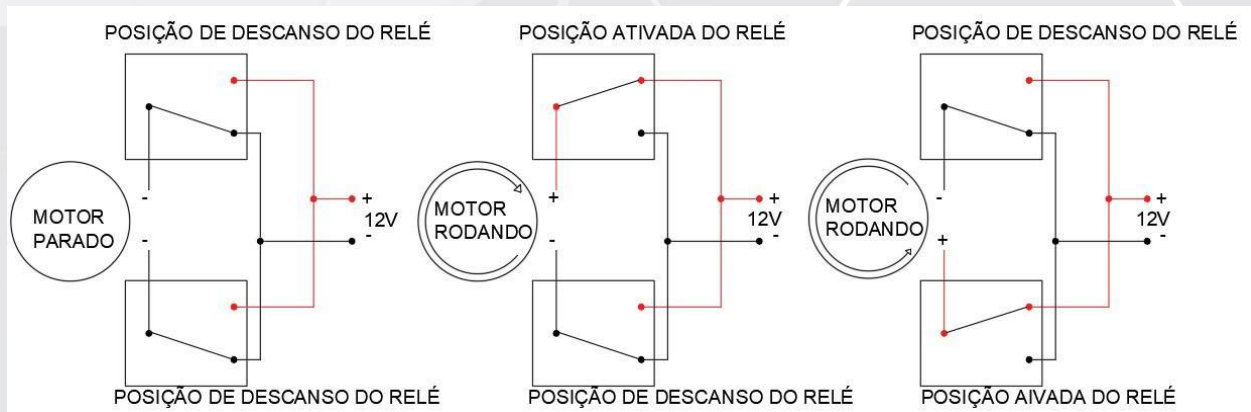
Fonte: o Autor (2021).

Figura 4 - reversão



Fonte: o Autor (2021).

Figura 5 - Esquema de relés por polos repetidos



Fonte: o Autor (2021).

Foi elaborada uma programação disposta no anexo 1, que faz com que o microcontrolador leia os valores de dois LDR (em inglês, resistor dependente de luz), e de acordo com os valores de luz refletido em cada LDR, rotaciona o painel a deixá-lo com ângulo de 90° com em relação ao sol (imagem 7).

Figura 6 - Sensor Fotoresistor LDR



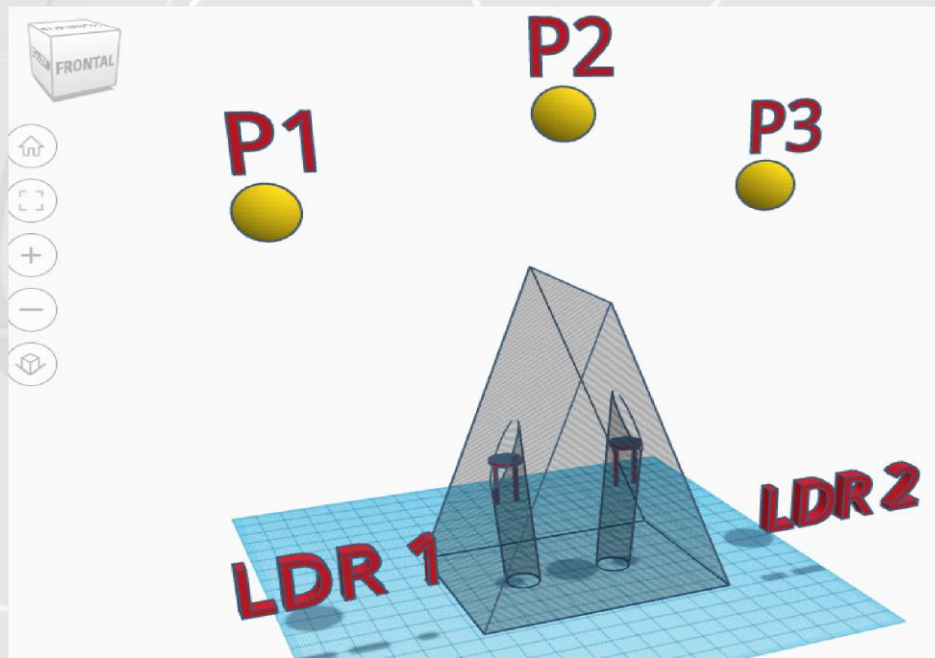
Figura 7 - placa 90° ao sol



Fonte : Adrobotica, (2021).

Os LDR foram cravados em um pedaço triangular de madeira e fixado sobre a lateral do painel fotovoltaico, fazendo os sensores se moverem juntamente com o painel fotovoltaico. Os sensores funcionam conforme a ilustração a seguir:

Figura 8 - funcionamento dos LDR



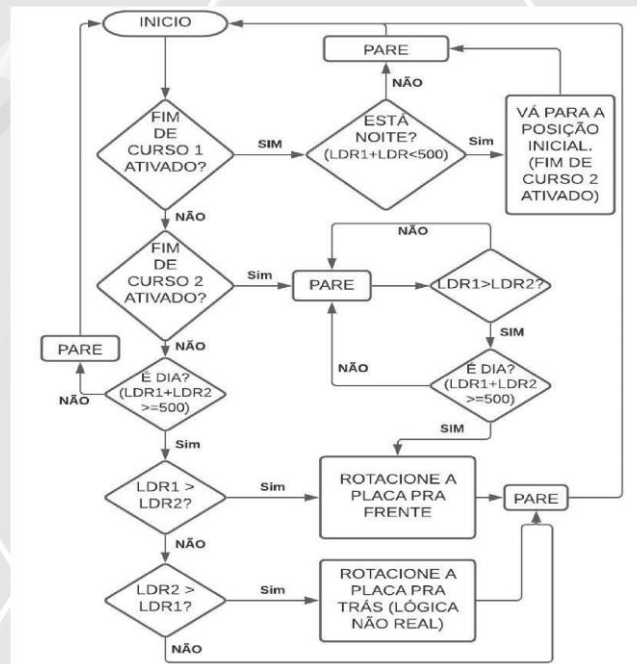
Fonte: O autor (2021) ⁸

⁸ Desenho elaborado através do site tinkercad.com

Na figura 8 o suporte de madeira foi representado como translúcido para melhor visualização do seu funcionamento. Em uma situação hipotética onde o sol se encontre na posição P1, o LDR 1 receberá a maior quantidade de raios solares, logo, retornará um valor maior para o microcontrolador, o qual através do algoritmo que será apresentado na imagem 9 e no anexo 1, fará com que o conjunto de painel e LDR rotacione sentido anti-horário, após alguns segundos, todo o conjunto estará apontando diretamente para o sol, agora representado pelo ponto P2, e como se percebe, neste momento ambos LDR estarão com aproximadamente a mesma incidência de sol. Caso o Sol estivesse na posição P3, o LDR 2 estaria com insolação maior, então a placa seria rotacionada em sentido horário, e analogamente a hipótese anterior, quando atingir ângulo de 90° de inclinação ao sol (ponto P2), iria parar e aguardar o movimento natural do sol, fazendo o ciclo se repetir todo dia.

Os fins de curso utilizados no projeto funcionam como uma chave que abre e fecha um circuito simples: quando o painel rotaciona até o fim, essa chave é acionada e manda informação verdadeira para o algoritmo, que processa e impede que a placa sofra algum dano por extrapolar seu curso natural. O diagrama a seguir mostra a lógica de programação:

Figura 9 fluxograma do rastreador solar



Fonte: o Autor (2021).

O funcionamento é através de quatro sensores, dois deles são os LDR já comentados, e dois fins de curso, que fazem a limitação do curso do painel, cada LDR retorna valores entre 0 e 1023, sendo 0 escuro absoluto, e 1023 ambiente muito bem iluminado. Durante o tempo todo de funcionamento, o processador fica comparando os valores dos sensores de luminosidade, caso algum deles representem uma diferença maior que a configurada na programação, neste caso 10, a placa deve rotacionar no sentido horário, ou anti horário, sem ultrapassar a barreira dos fins de curso. Caso o sensor de fim de curso 1 seja ativado, a placa deve parar imediatamente e aguardar a noite, que foi configurada para ser quando a soma dos dois LDR for menor de 500. Somente com a chegada da noite, a placa começará seu curso contrário, voltando à posição inicial, que é compreendida pelo acionamento do sensor de fim de curso 2. Uma vez com o sensor 2 ativado, a placa retorna ao repouso, e só inicia seus trabalhos novamente quando for dia, que nesta programação é quando os valores dos dois LDR somam mais do que 500. A Partir desse ponto, o ciclo se repete todo dia.

3.2. DATA LOGGER

Para conseguir estimar a geração que os painéis disponibilizam nas duas modalidades, foi utilizado um sistema microcontrolado conforme a figura 10, equipado de um sensor de corrente ACS 712 disposto na figura 11 que faz a leitura da corrente instantânea que circula entre o painel solar fotovoltaico e o conjunto de carga que será mostrado na figura 13.

Para armazenar os dados gerados com periodicidade, as aferições de corrente ocorreram a cada 5 minutos em um intervalo de 11 horas entre as 7:30h e 18:30h, horário em que ocorre a insolação diária. No fim dos dias de testes se obtiveram 132 medições que foram processados e gravados em um cartão de memória de 2GB, através de um módulo de cartão SD, disponível na figura 12. Abaixo seguem imagens do protótipo de aquisição de dados, com detalhes dos seus dois componentes principais para leitura e gravação de dados.

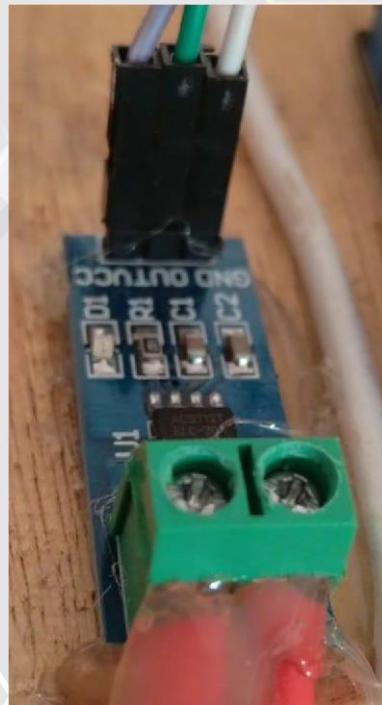
Figura 10 projeto para aquisição de dados



Fonte: o Autor (2019).

Figura 11 - sensor de

Figura 12 - módulo de cartão corrente ACS 712 de memória



Fonte: o Autor (2019).



Fonte: o Autor (2019).

O esquema elétrico de ambos protótipos está disponível nos anexos 7.3 e 7.4. Na figura 13 temos o sistema de carga para consumo de corrente gerada pelo painel fotovoltaico, composto por lâmpadas halógenas ligadas em série e paralelo conforme o diagrama.

Figura 13 - ligação das lâmpadas 12vcc 55W



Fonte: o Autor (2019).

Quando o painel era exposto ao sol de manhã, as lâmpadas não acenderam com intensidade igual a figura 13, conforme o dia ia se passando, e se aproximando ao meio dia, sua intensidade ia aumentando até chegar ao ponto da figura 13, que demonstrava o pico de geração. Com o ápice atingido, ela retornava a diminuir gradualmente a

intensidade com o passar das horas da tarde, até se apagarem por completo no fim da tarde.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para melhor compreensão dos dados que serão apresentados, é importante saber de duas considerações importantes:

1°. As medições foram realizadas em uma localidade onde, infelizmente, na melhor posição possível, possui uma sombra que se arrastava até por volta das 8:40h, como a sombra foi incidente nas duas modalidades, a interferência não foi prejudicial nos resultados. Essa sombra consegue ser percebida dentro do círculo preto presente no gráfico 3 entre as 8:30 e 9:00h AM. A figura 14 mostra o painel totalmente voltado ao leste assim que começou a pegar sol por completo em um dia de medição qualquer.

Figura 14 - Placa iniciando seu pleno funcionamento às 8:40 da manhã



Fonte: o Autor (2019)

2° Como nos testes só havia uma placa e um gerador de dados, houve a obrigação de fazer os testes das duas modalidades em dias distintos. Uma grande dificuldade foi encontrar dias com sol abundante para fazer as leituras com a potência máxima do painel evitando dados como o do gráfico 2:

Gráfico 2 - Gráfico de potência de um sistema fotovoltaico em dia com incidência de sombras



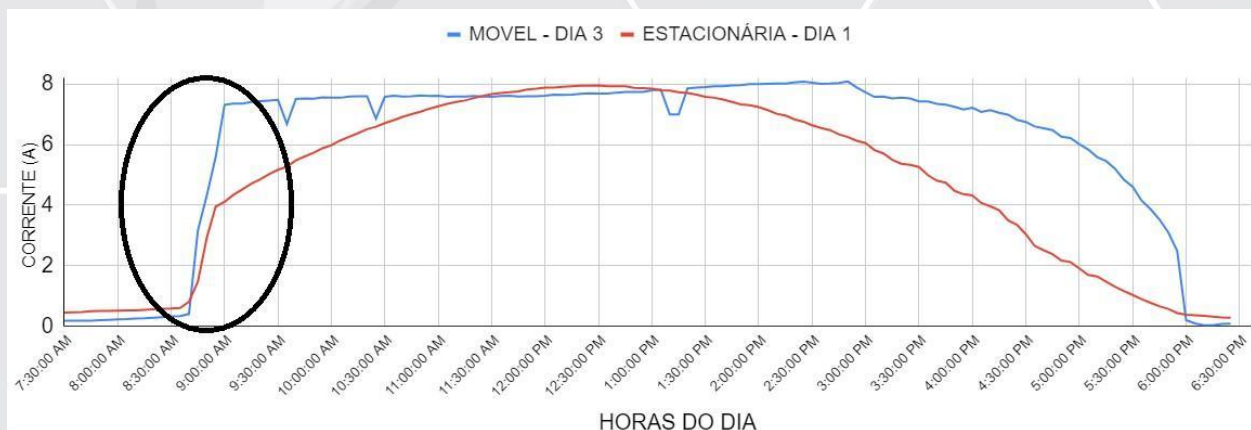
Fonte: dados de uma geração qualquer disponível ao cliente no aplicativo SHINE PHONE monitoramento da GROWATT® (2019)

Somente após uma série de tentativas nos meses de Agosto e Setembro se conseguiram dados satisfatórios.

4.1. DADOS COLETADOS

As melhores medições adquiridas foram para a placa estacionária, dia 31 de Agosto e para a placa móvel, dia 01 de setembro de 2021. Segue os dados:

Gráfico 3 - geração do dia 1 (31/08/21) e dia 3 (01/09/21), estacionária e rastreada respectivamente



Fonte: dados gerados a partir do data logger (figura 10)
O círculo preto representa a sombra do início do dia, fato aqui já comentado.

Analisando o gráfico 3, percebe-se, primeiramente que houve 3 momentos de sombras no teste do painel rastreado, essas sombras são percebidas por volta das 8:30h, 10:30h e 13:15h. Estas foram muito rápidas e superficiais, não atrapalhando significativamente a análise.

É fácil perceber que a geração do painel rastreado é muito maior que a do fixo, atingindo e mantendo seu pico máximo muito antes do seu concorrente. Com esta análise, se obteve uma corrente média da placa fixa 4,774 amperes, enquanto na móvel, tivemos uma média de 6,018 amperes. Logo, a placa móvel rastreada se mostrou 26% mais eficiente que a placa fixa nas condições do teste realizado.

As hipóteses levantadas no início foram confirmadas e lembrando GARCIA et. all. (2015), que comparou um painel pequeno fixo e rastreado, conseguiu uma vantagem de 24,5% de eficiência no painel rastreado, já no estudo aqui apresentado, foi possível notar uma eficiência aproximada de 26%, assim concordando com GARCIA et. all. (2015) que a eficiência é bem maior no painel rastreado do que no fixo.

Com isso se conclui que a eficiência de um painel móvel durante o dia é consideravelmente maior que os fixos e convencionais, desta forma, existe a possibilidade de grandes indústrias começarem a apoiar cada vez mais prática de rastreamento solar, aumentando a geração diária, sem precisar aumentar a área de instalação de painéis solares.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer das atividades do trabalho aqui apresentado, aconteceram vários empecilhos e questionamentos que dificultaram e enriqueceram a experiência. Aqui os cito:

1° Relés de contato: Os relés que aparecem na figura 4 não são feitos para ativar e desativar muitas vezes, e neste experimento, desde os primeiros testes iniciados no início de 2021, eles tiveram uma vida bem agitada. Ao seguir o sol, era possível ouvi-los ativando e desativando inúmeras vezes, isso acabava danificando os contatos internos das bobinas e fazendo-os parar de funcionar. No total, foram 5 relés queimados.. Para um futuro estudo, testar outro tipo de tecnologia, como por exemplo transistores.

2º A maneira como medir corrente também foi um desafio, no início, os testes eram feitos com curto circuitos nos polos do painel, o que provavelmente teria danificado o painel se continuasse dessa forma. Para tentar minimizar os dados desse tipo de medição, foi colocado uma contatora, a qual fazia os polos do painel entrarem em curto apenas no momento da medição de corrente, deixando o circuito aberto no restante do tempo. Esse método causou interferência na programação do projeto de aquisição de dados devido ao magnetismo que a contatora possuía ao ser acionada. Logo, não saiu da mesa de testes, a contatora deu lugar a uma lâmpada de indicação que pode ser vista na figura 10. A partir disso surgiu uma das maiores dificuldades: como fazer uma leitura constante da corrente com uma carga que possa ter uma corrente variada sem precisar ser interrompida a cada medição? Após estudos e sugestões dos professores optou-se pela utilização de lâmpadas halógenas em circuito fechado o tempo todo.

3º Se o rastreador solar é tão vantajoso, por que não é utilizado amplamente no Brasil? A verdade é que, segundo as notícias do site canal solar sobre rastreadores solares, é um ramo que está em ascensão e as tecnologias estão evoluindo para isso se tornar uma opção viável e segura para o investidor. No Brasil já existem usinas rastreadas e funcionando, todas sofrem com o peso de ser propulsoras: ventos fortes são uma ameaça aos rolamentos e fixação dos painéis, pois os suportes são rotativos e centralizados ao painel. O preço tanto do produto quanto da manutenção ainda é elevado, fazendo com que não seja tão viável e ocorra mais problemas no processo. Desta forma, aguardamos novidades para uma ampla aplicação no ramo.

4º Esse estudo não levou em consideração os custos de energia que os próprios protótipos utilizam! Isso aconteceu devido ao fato que iria precisar de um medidor de energia o qual não estava dentro do orçamento e nem dos planos iniciais, além disso, levaria mais tempo para essa análise rodar e ela ficaria muito inexata devido ao fato de que se desconhece o valor real de produção desse protótipo em quantidade. Ou seja, os painéis solares geram 26% mais energia, porém, uma porcentagem desse valor vai ficar retida na própria usina para rotacionar os painéis. Para trabalhos futuros essa análise pode ser considerada

6. BIBLIOGRAFIA

ADROBÓTICA, Foto do LDR disponível no site de compras : acessado em 19/11/2021, disponível em : <https://www.adrobotica.com/produto/fotoresistor-sensor-de-luz-ldr-5mm/>

BOTELHO, Adriano. **O fordismo à produção flexível: o espaço da indústria num contexto de mudanças das estratégias de acumulação do capital.** Editora Annablume 2008. 170p

GARCIA, T; DIAZ, O. AGUDELO, C; **Performance of solar PV tracking system on tropic regions.** In: ESCOBAR, W,F Florez-, BREBBIA, C.A, CHEJNE, F. MONDRAGON, F. (orgs.) **ENERGY AND SUSTAINABILITY VI** . Editora WITpress, 2015. Colombia. p. 197-208.

NEVES, Filipe Gabriel Gama Rodrigues; ROCHA, Carlos Frederico Duarte. **A Evolução da Energia Solar na Matriz Elétrica Brasileira: Perspectivas de Implementação e Impacto Positivo na Sustentabilidade.** Livro digital, Editora Appris, 2021. 123p

PRINSLOO, Gerro; DOBSON, Robert Thomas. **Solar Tracking: High precision solar position algorithms, programs, software and source-code for computing the solar vector, solar coordinates & sun angles in Microprocessor, PLC, Arduino, PIC and PC-based sun tracking devices or dynamic sun following hardware.** 2015 Book Edition, p.542, DOI: 10.13140/RG.2.1.4265.6329/1, apud FREITAS, Gilberto de Andrade. **Eficiência energética de um painel fotovoltaico com rastreador solar baseado em sensores LDR comparado a um painel em ângulo fixo.** 2018

SCHWANKE, Cibele. Ambiente: **Tecnologias: Série Tekne.** Rio Grande do Sul, Bookman Editora, 2013

VILLALVA, Marcelo Gradella. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, Sistemas isolados e conectados à rede.** Saraiva Educação SA. 2ª EDIÇÃO, 2015 .

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDOS, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA,** Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2012.