



10º Encontro de Ensino Pesquisa e Extensão

Patrocínio, MG, outubro de 2023

DIRECIONADOR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Matheus Chagas de Melo; Artur de Almeida Rios; Halyne Silva Borges
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Campus Patrocínio

Modalidade: Pesquisa

Formato: Artigo Completo

Resumo:

O projeto em questão visa melhorar a eficiência da geração de energia solar por meio do direcionamento de placas solares. O sistema é composto por quatro placas solares da Canadian Solar, cada uma com uma potência de 355 watts, e um micro inversor Hoymiles de 1200 watts. O cerne do projeto é um sistema de rastreamento desenvolvido especificamente para maximizar a captação solar. Este sistema incorpora um painel de controle que abriga toda a lógica e comandos necessários para o direcionamento das placas. Durante um período de oito meses, o projeto foi monitorado e para avaliar sua eficácia em comparação com um sistema de mesma potência e características, mas sem o direcionamento das placas solares. Durante o projeto foi visto como se deve calcular a inclinações de um painel solar, qual a direção apontar para melhor eficiência, e como um sistema seguidor solar impacta positivamente na geração de energia. Foi alcançado uma eficiência de aproximadamente 32% do sistema com o seguidor solar em relação ao sistema que não possui movimentações. Por fim, pode-se concluir que em sistemas onde buscasse melhorar a eficiência de geração, e alcançar uma quantidade de energia solar gerada o direcionador solar pode ser aplicado para esse fim.

Palavras-chave: Eficiência; Energia Solar; Sustentabilidade.

Introdução

As placas solares são dispositivos tecnológicos projetados para capturar a energia solar e convertê-la em energia elétrica. A energia solar, proveniente da luz solar, é uma das fontes mais promissoras para a obtenção de energia hoje em dia, por ser considerada limpa (GREEN, 2018).

O Brasil experimentou um aumento significativo na capacidade de geração de energia elétrica em 2022. Com um acréscimo de 8.243,26 megawatts (MW), essa expansão é a segunda maior registrada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) desde sua criação, perdendo apenas para o ano de 2016, quando houve um aumento de 9.528 MW. A capacidade de geração fiscalizada total atingida pelo Brasil até o final de 2022 foi de 189.126,6 MW, o que indica um mercado de energia elétrica em constante crescimento e desenvolvimento (ANEEL, 2023).

Até 17 de janeiro de 2023, já foram colocados em operação 847,4 MW desse aumento de capacidade, o que demonstra o compromisso do país em fortalecer sua infraestrutura de energia elétrica para atender às crescentes demandas da população e da indústria (ANEEL, 2023). Os painéis solares fotovoltaicos consistem em múltiplas células fotovoltaicas conectadas em série ou em paralelo para aumentar a tensão e a corrente elétrica produzida. A energia elétrica gerada pelos painéis solares fotovoltaicos pode ser utilizada diretamente pelos consumidores ou armazenada em baterias para uso posterior. É fato que as células fotovoltaicas presentes nos painéis solares não conseguem absorver a luz solar com eficiência máxima durante todo o dia. Isso ocorre porque ao nascer e ao pôr do sol, a luz solar incide em um ângulo mais oblíquo em relação à superfície das placas solares, o que reduz a eficiência de absorção da energia solar pelas células fotovoltaicas (GREEN, 2018).

Com o objetivo de melhorar a eficiência da energia proveniente de fontes renováveis, será estudada uma maneira de direcionar a energia solar e aumentar a eficiência da conversão de energia solar em energia elétrica. No nosso estudo usaremos um microcontrolador, e segundo Mazidi e Naimi (2017), são considerados uma das áreas mais relevantes no campo da eletrônica. Isso se deve à sua capacidade de integrar em um único chip um microprocessador, periféricos de entrada e saída, bem como memória (MAZIDI, NAIMI, 2017).

Metodologia

Inicialmente foi analisado como fazer uma estrutura metálica com flexibilidade de movimentos fazendo deslocamentos de 45° para ambos os lados, movimentando ao todo um ângulo de 90°. Essa estrutura projetada para sustentar 4 placas solares e em sua parte inferior e fixar o microinversor, foi criada com duas estruturas com tamanhos diferentes com o intuito de manter a inclinação desejável nas placas. Toda a parte estrutural superior e inferior, Figura 1(a) e Figura 1(b).

Figura 1(a): Estrutura inferior



Figura 1(b): Estrutura superior



Fonte: Próprio Autor (2023)

Tabela 1: Ângulo de inclinações dos módulos

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação
0 a 10°	= 10°
11 a 20°	= Latitude
21 a 30°	Latitude + 5°
31 a 40°	Latitude + 10°
41°	Latitude + 15°

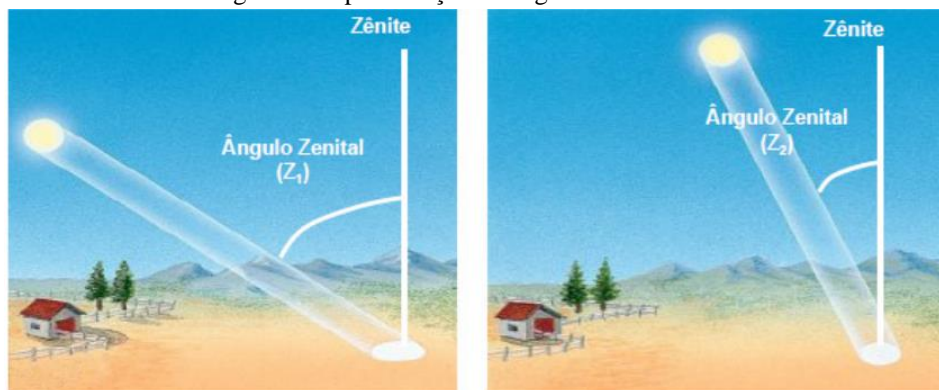
Fonte: USP (2021)

A inclinação de maior eficiência é a que se aproxima da latitude do local, porém, não é recomendável que utilizasse inclinações menores que de 10° por problemas de sedimentação de poeiras e resíduos. Através da latitude geográfica podemos definir qual a melhor inclinação para os módulos solares como podemos ver na tabela 01. Na região onde está sendo realizado o projeto, possui uma latitude de 18°59'9" portanto, o ângulo de inclinação das nossas placas é de aproximadamente 20° (ENERGIA, 2019).

Ao projetarmos a estrutura, foi estudado em qual o ângulo que iria ficar os módulos, com o intuito de manter a maior eficiência possível do sistema. Com isso utilizamos o cálculo do ângulo Zênite, Figura 2. Também utilizou o ângulo azimutal, ele é uma consideração importante ao instalar painéis solares, pois afeta diretamente o desempenho e a eficiência do sistema de energia solar. Esse ângulo azimutal refere-se à direção em que os painéis solares estão orientados horizontalmente em relação ao norte geográfico. A direção do nosso sistema solar ficou com 30° de ângulo de azimute, ou seja, a direção dos nossos módulos estão para 330° NO (Noroeste). O cálculo é feito como referência usando o norte geográfico (SEGUIDOR, 2012).

$$\hat{\text{Ângulo Azimute}} = 360^\circ - 330^\circ = 30 \text{ graus}$$

Figura 2: Representação de ângulo de Zênite solar



Fonte: (UFPEL, 2012)

Dados regionais de cada sistema

O sistema solar com o seguidor solar possui os seguintes dados:

Ângulo azimutal = 30° ; inclinação dos Painéis = 20° e elevação = 930m.

Para fazer a análise qualitativa do nosso sistema iremos usar outro projeto com os módulos e microinversores iguais, com a mesma potência instalada e na mesma região. O sistema em comparação foi instalado pelos mesmos fornecedores e instaladores do nosso sistema e para buscarmos os dados de geração solar foi pedido a autorização e licença para uso dos dados de seu sistema. Foi com grande êxito a liberação dos dados do sistema solar e contribuição para nosso estudo. O sistema solar em comparação possui os seguintes dados regionais:

Ângulo azimutal = 0° ; inclinação dos Painéis = 20° e Elevação = 980m.

Foi efetuado um estudo também em toda a região, como pode-se ver na Figura 3 abrangendo uma área de 100.95 km² e perímetro de 40.37 km.

Figura 3: Área de 100.95km²



Fonte: Global Solar (2023)

Como pode-se notar nas figuras 4(a) e 4(b) seguir, a área que ambos os sistemas solares estão instalados possuem elevações médias de 964 m. Pode-se ver também que a potência fotovoltaica, irradiação direta e outros dados da área são aproximadamente iguais.

Figura 4(a) Estatísticas do terreno.		Figura 4(b) Estatísticas do terreno	
Elevação do terreno			
Média	964 m	Potência fotovoltaica específica	PVOUT 4.51 – 4.55
Máximo	1064 m	Irradiação direta normal	DNI 4.92 – 4.99
Percentil 90	1004 m	Irradiação horizontal global	GHI 5.31 – 5.33
Percentil 75	982 m	Irradiação horizontal difusa	DIF 2.05 – 2.07
Percentil 50 (Mediana)	964 m	Irradiação inclinada global	GTI 5.68 – 5.71
Percentil 25	943 m		

Fonte: Global Solar (2023)

Funcionamento do seguidor solar

As placas solares foram instaladas sobre a estrutura e logo iniciou-se o seu funcionamento como pode-se ver a seguir na figura 5.

Figura 5: Placas instaladas



Fonte: Próprio Autor (2023)

O sistema possui um quadro de comandos com alguns dispositivos para fazer o seu funcionamento, são esses: contatores, relés, microcontrolador Esp8266, fonte de alimentação de vários níveis de tensão. Os contatores são responsáveis por fazer o fechamento dos contatos e assim fazer a movimentação das placas, que por sua vez recebe o comando elétrico dos relés. A fonte de alimentação permite a distribuição de vários níveis de tensão para nosso quadro, e por fim, o microcontrolador é onde toda a lógica foi feita e está armazenada, figura 6.. O ESP8266 foi desenvolvido pela Espressif Systems®, uma empresa com sede em Xangai, China. Ele foi concebido como uma solução para facilitar a integração do WiFi com microcontroladores já existentes, proporcionando uma ponte eficiente entre esses dispositivos e as redes sem fio para isso (RIOS, 2019).

Figura 6: Quadro de comandos



Fonte: Próprio Autor (2023)

A movimentação das placas solares é crucial para maximizar a eficiência da captação de energia solar. Para atender essa necessidade, foi optado por usar um motor de 12 Volts, o mesmo tipo encontrado em automóveis para o limpador de para-brisa. A escolha desse motor se deve às suas características que permitem movimentos em sentido anti-horário e horário, mostrado nas figuras 7(a) e 7(b).

Figura 7(a): Motor 12 Volts



Figura 7(b): Motor 12 Volts com rosca



Fonte: Próprio Autor (2023)

Foi acoplada uma barra de rosca ao eixo do motor, como ´poder ser visto na figura 7(b), sendo esta utilizada para rotacionar o eixo e fazer a movimentação da barra. A porca foi fixada na estrutura metálica e, quando a barra é rotaciona por meio do motor. É possível fazer esse movimento na estrutura de subir e descer, e conseqüentemente, nas placas solares.

Figura 8(a): Placas movimento inicial



Figura 8(b): Placas movimento final



Fonte: Próprio Autor (2023)

Pode-se notar através da figura 8(a), que quando o sistema está sem nenhum movimento antes das 10h00. Desta forma, as placas ficam apontadas para SE (Sudeste) e quando está no fim da tarde, as placas estão apontando para o NO (Noroeste), a partir das 14h30, como mostrado na figura 8(b).

Programação e lógica

Foi criada uma linha de programação dedicada ao microcontrolador ESP8266. Apesar de pertencer à mesma família que modelos como o ESP-32 e o MKR 1000, o ESP8266 possui características que encaixaram com as necessidades do projeto. A escolha por esse microcontrolador foi feita ao necessitarmos de um sistema conectado à rede Wi-fi, sendo assim, o Esp8266 tendo certas características, foi uma ótima escolha para seguir o projeto adiante (RIOS, 2019).

A seguir é mostrada a parte do código desenvolvido em nosso microcontrolado para a movimentação do seguidor solar, Figura 9. Temos inicialmente as definições e inclusões dos parâmetros e bibliotecas, algo importante para o funcionamento do seguidor solar é usar a biblioteca “<WidgetRTC.h>”, que permite fazer a sincronização do relógio em tempo real (RTC).

Figura 9: Acionamentos baseados no RTC (Real time Clock)

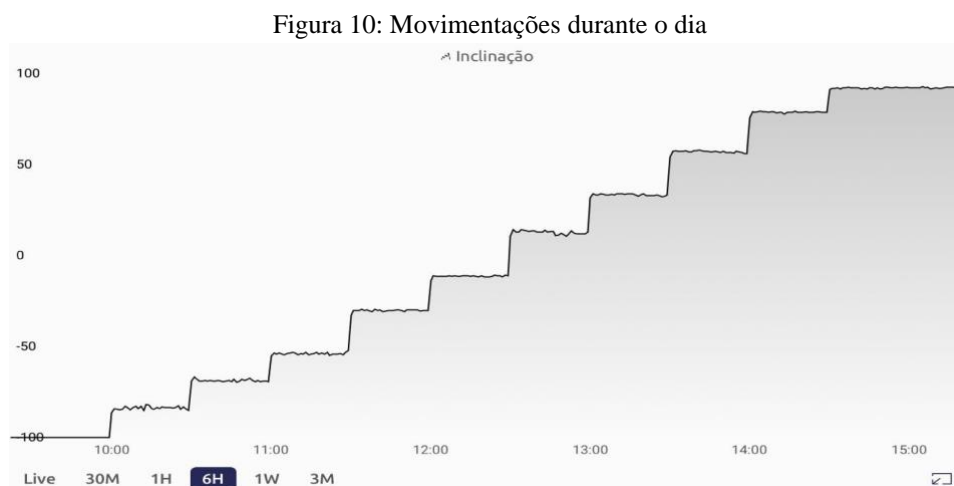
```

Seguidor_solar.ino
106 void loop()
107 > //inicia Loop...
114 //Logica de acionamento Baseado em RTC e pulso temporizado
115
116 //Movimento inicial sai da posição central (0% de inclinação) e vai pra
117 if (horas == 5 && minutos == 00 && segundos == 0 )
118 if (horas == 5 && minutos == minuto_mov_inicial_2 && segundos == 0 )
119 // Movimento 1
120 if (horas == 10 && minutos == 00 && segundos == 0 )
121 if (horas == 10 && minutos == 00 && segundos == temp_movimento )
122 // Movimento 2
    
```

Fonte: Próprio: Auto (2023)

O primeiro movimento leva em consideração que a placa está plana, ou seja, na posição 0, e assim a movimentar para que ela receba a irradiação da manhã. Às 10h00, temos o movimento inicial que o direcionador vai fazer durante todo o dia, através da Figura 10 podemos ver as movimentações através da plataforma Blynk.

Por meio de um potenciômetro instalado na estrutura conseguiu-se gerar esse gráfico de movimentações. O sistema está se movimentando 10 vezes ao longo do dia a cada 30 minutos, iniciando às 10 horas da manhã e fazendo o seu último movimento às 14h30 da tarde.



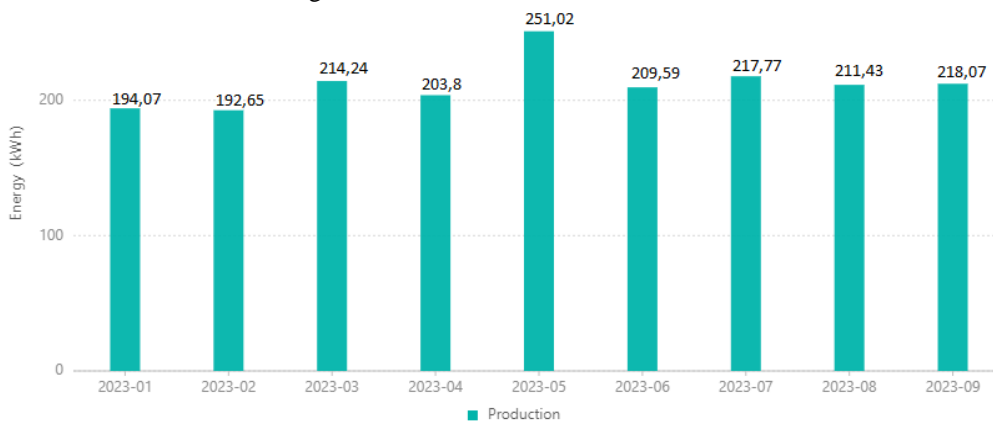
Fonte: Próprio Autor (2023)

Ao final do dia, após fazer todas as movimentações necessárias, às 21h42 volta-se para a posição plana, iniciando assim, o processo novamente. É de extrema importância que os módulos estejam na posição 0 após as movimentações diárias, pois assim reduz o risco a danos por ações externas, como o vento. Para a segurança do sistema também foram instalados sensores de fim de curso.

Resultados

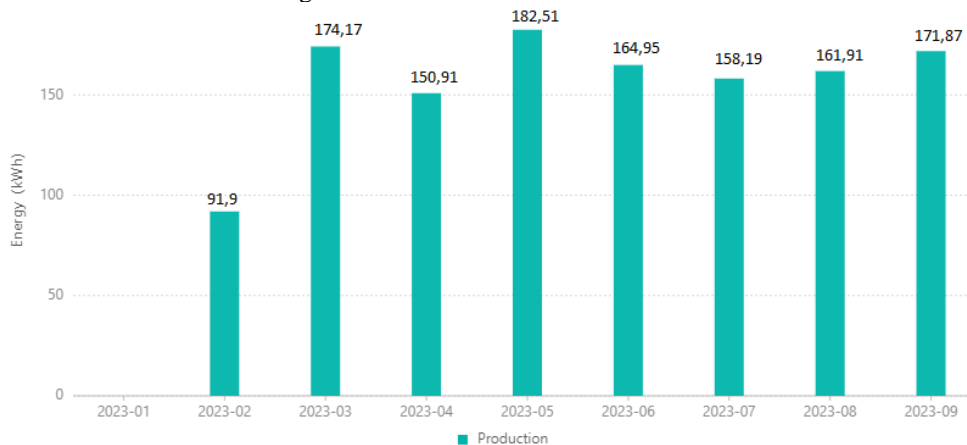
Durante os 8 meses de estudo o sistema mostrou uma grande eficiência. Todos os meses o sistema de seguidor solar se sobressai em números de geração de energia. Para a melhor demonstração, foi feito a comparação de geração de energia por ambos os sistemas de mesma carga instalada. Foi observado que sistema que não possui o seguidor, possui histórico de geração a partir de 13 de fevereiro de 2023. Sendo assim, para fazer a comparação correta e por fim, obter a média entre os dois sistemas, foi feito a análise de maneira proporcional com os dias gradados.

Figura 11: Sistema com direcionador solar



Fonte: S-Miles Cloud (2023)

Figura 12: Sistema sem direcionador solar



Fonte: S-Miles Cloud (2023)

Podemos ver nas figuras 11 e figura 12 a quantidade de Kilowatts hora produzidos durante os meses, é notório como a quantidade gerada no sistema com o direcionador foi mais eficiente. Na figura 12 temos o mês de fevereiro com uma quantidade menor de Kilowatts gerado pois a medição começou no meio do mês, a comparação e cálculos efetuados foram feitos proporcionais aos dias gerados como mostra a figura 14.

No dia 25/07/2023 houve um problema no eixo do motor, sendo o responsável pelos movimentos placas. Por isso, o sistema permaneceu o dia todo parado com as placas na posição 0, até que o problema fosse solucionado. Ao fim do dia, pode-se observar que a quantidade de geração daquele dia caiu, figura 13(a), ficando equivalente ao sistema que estava sem o direcionador figura 13(b). O sistema que estava com defeito no direcionador ao fim do dia gerou 4,82KW/h, já o sistema que não tem o seguidor solar gerou 4,56KW/h nesse mesmo dia.

Figura 13(a): Sistema com direcionador (com defeito)

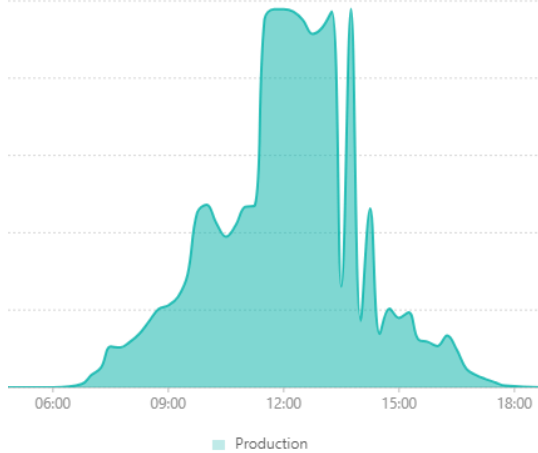
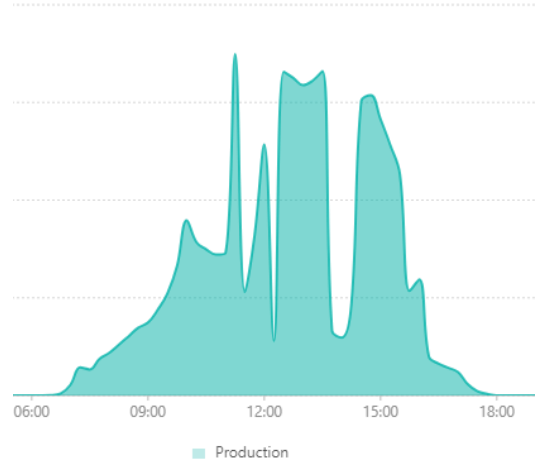


Figura 13(b): Sistema sem direcionador



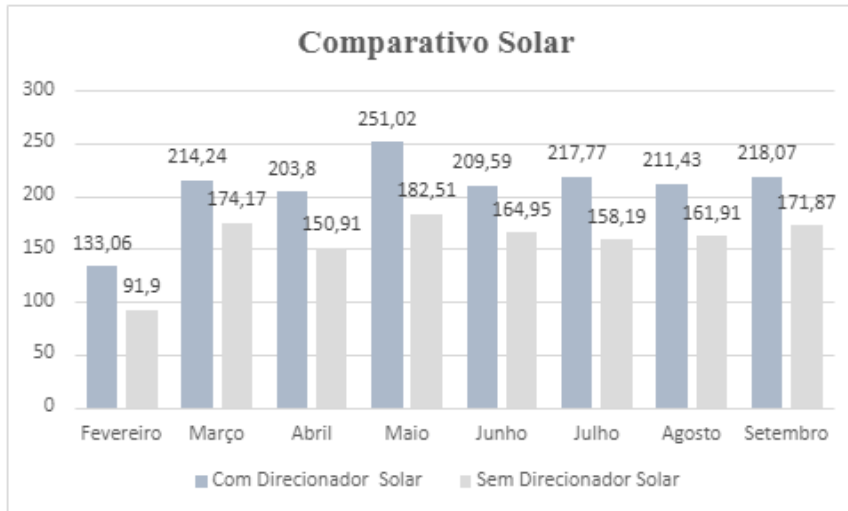
Fonte: S-Miles Cloud (2023)

Os dois sistemas foram analisados durante 8 meses e para ver em percentual qual a mudança houve foram feitos alguns cálculos, sendo considerados os meses de fevereiro e setembro. Inicialmente foi somado quantos KWh foram gerados, em seguida dividido pela quantidade de meses de ambos os sistemas, resultando assim na média de produção. Após obter essa média foi subtraído a média do sistema com direcionador com o sistema sem o direcionador para assim achar a diferença entre eles. Por fim, foi pego essa diferença e dividida na média de geração do sistema sem o direcionador e multiplicado por 100 para achar o valor percentual.

Percentual de Eficiência

Foi obtido um percentual de aproximadamente 32% de eficiência, a média dos dois sistemas foram usadas para assim saber qual a diferença entre eles. Por fim descobriu-se a quantidade de melhoria teve com o sistema que estava com o direcionador de painéis fotovoltaicos. Com isso pôde-se ver o quanto o projeto contribuiu para a sustentabilidade e aproveitar essa energia renovável que temos com maior eficiência.

Figura 14: Gráfico sintetizado dos dois sistemas solares



Fonte: Próprio Autor (2023)

Conclusão

A análise dos módulos solares feita no período de oito meses entre um sistema com direcionamento e outro sem direcionamento revelou uma melhoria relevante na eficiência da geração solar. Durante esse período, ficou evidente que o sistema com um seguidor solar teve um desempenho significativamente superior em termos de geração de energia, nos meses de fevereiro a setembro, figura 14. Essa melhoria se traduz em um aumento de aproximadamente 32,04% na quantidade de energia gerada pelo sistema com o seguidor solar em comparação com o sistema sem ele.

É importante notar que, quando o direcionador solar não estava em funcionamento no dia 25/07/2023 a quantidade de energia gerada pelos dois sistemas era aproximadamente igual, o que destaca ainda mais o impacto positivo que o direcionador solar teve nos módulos solares. Essa eficiência aprimorada na produção de energia não apenas resulta em economias significativas, mas também contribui para a sustentabilidade, promovendo um melhor aproveitamento da energia renovável.

Por fim, os resultados desta análise indicam claramente que a implementação de um sistema de direcionamento solar teve um impacto notável na eficiência da geração de energia solar, resultando em um aumento substancial na quantidade de energia produzida e, por consequência, promovendo um uso mais eficaz de fontes de energia renovável. Essa melhoria não apenas beneficia financeiramente o sistema, mas também contribui para a preservação do meio ambiente e a promoção da energia limpa e sustentável.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **ANEEL sinaliza novo recorde para expansão da geração em 2023**, 20 jan. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-sinaliza-novo-recorde-para-expansao-da-geracao-em-2023>. Acesso em: 14 set. 2023.

BLYNK , **Blynk**. 17 maio 2022. Disponível em: <https://blynk.cloud/dashboard/user-profile>. Acesso em: 19 out. 2022.

AQUILES, José. **Energia Solar Fotovoltaica.**, 7 mar. 2019. Disponível em: <https://paineira.usp.br/sisea/wp-content/uploads/2019/03/Energia-Solar-Fotovoltaica-pme3561.pdf>. Acesso em: 5 set. 2023.

EMBARCADOS, **Entrada analógica com MicroPython no ESP8266**. [S. l.], 10 ago. 2022. Disponível em <https://encurtador.com.br/yIQU2>. Acesso em: 25 set. 2023.

GREEN, M. A. et al. **Tabelas de eficiência de células solares** (versão 51). Progresso na energia fotovoltaica: investigação e aplicações, v. 26, n. 1, p. 3-12, 2018

NREL, Laboratório nacional de energias renováveis. **Recurso Solar Fotovoltaico**, Disponível em: <https://www.nrel.gov/gis/solar.html>. Acessado em 18 de fevereiro de 2023

SOLAR, Canal solar, **Os módulos devem ser orientados sempre para o Norte?** 14 abr. 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/os-modulos-fv-devem-ser-orientados-sempre-para-o-norte/>. Acesso em: 25 set. 2023.)

UNICEUB, Centro universitário de Brasília. **Seguidor solar de um único eixo inclinado**, 10 dez. 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/187129685.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

RIOS, Artur de Almeida. **Aplicação de internet das coisas no monitoramento de corrente, tensão e temperatura em motor de indução trifásico**, 2019, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade federal de Uberlândia, 2019.

S-MILES Cloud. **s-miles cloud**, 11 set. 2023. Disponível em: <https://global.hoymiles.com/platform/login?form=logout-ice=1>. Acesso em: 27 set. 2023.

UFPEL, Universidade Federal de Pelotas. **Radiação Solar**. Disponível em: Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (ufpel.edu.br).pdf. Acesso em: 14 jul. 2023.