

## DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO GANHO ENERGÉTICO LÍQUIDO DE UM RASTREADOR SOLAR DE EIXO ÚNICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA

Marco Damasceno de Sousa (IFPB) E-mail: [marco.sousa@ifpb.edu.br](mailto:marco.sousa@ifpb.edu.br)  
William Germano de Abreu (IFPB) E-mail: [william.germano@academico.ifpb.edu.br](mailto:william.germano@academico.ifpb.edu.br)  
José Leles Soares Alves (IFPB) E-mail: [jose.leles@academico.ifpb.edu.br](mailto:jose.leles@academico.ifpb.edu.br)

**Resumo:** Nos últimos anos, os sistemas de geração fotovoltaica têm ganhado importante destaque na matriz elétrica brasileira. Nesses sistemas, a conversão de energia é feita por módulos que são instalados em estruturas fixas, com inclinação determinada em função da latitude do local. Apesar do constante crescimento da energia solar fotovoltaica, a principal barreira dos módulos solares é a baixa eficiência de conversão. Nesse sentido, como alternativa para aumentar a eficiência dos módulos, podem-se utilizar sistemas de rastreamento solar, que são mecanismos automatizados capazes de acompanhar a trajetória do Sol ao longo do dia, desta forma, este trabalho avalia o desempenho de dois módulos fotovoltaicos de mesma potência submetidos às mesmas condições climáticas, sendo um dos módulos instalado de forma convencional (fixo) e o outro instalado em um rastreador solar de eixo único. Os módulos são conectados a um microinversor *on grid* da marca Hoymiles, o qual injeta a potência gerada de ambos os módulos na rede elétrica local. O objetivo da pesquisa é analisar o ganho líquido do rastreador solar em comparação com o sistema fixo, para isso, o sistema é equipado com um wattímetro digital que contabiliza o consumo energético do sistema de controle e atuador. Para avaliação dos resultados, três dias, com condições climáticas diferentes, foram escolhidos: um dia ensolarado; um dia parcialmente nublado, ou seja, com passagens esporádicas de nuvens; e um dia totalmente nublado. O rastreador solar apresentou ganho líquido de 22,81% e 10,64% para os dias ensolarados e parcialmente nublados respectivamente. Porém, apresentou um desempenho inferior para o dia totalmente nublado. O ganho líquido médio do rastreador solar para o período total de análise (do dia 15 de julho ao dia 04 de agosto de 2021) foi de 17,94%.

**Palavras Chaves:** Rastreador solar, módulos fotovoltaicos, análise de ganho energético.

## DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF THE NET ENERGY GAIN OF A SINGLE AXIS SOLAR TRACKER CONNECTED TO THE ELECTRICAL GRID

**Abstract:** In recent years, photovoltaic generation systems have gained important prominence in the Brazilian energy matrix. In these systems, energy conversion is carried out by modules that are installed in fixed structures with an angle varying according to the latitude of its location. Despite the constant growth of solar photovoltaic energy, the main impairment for solar modules is the low conversion efficiency. In this respect, solar tracking systems - which are automated mechanisms capable of following the path of the Sun throughout the day - can be used as an alternative to increase the efficiency of the modules. This work evaluates the performance of two equivalent photovoltaic modules under the same climatic conditions, one of them installed in a conventional way (fixed) and the other installed in a single-axis solar tracker. The modules were connected to a Hoymiles on-grid microinverter, which injects the power generated from both modules into the local electrical grid. The objective of the research is to analyze the net gain of the solar tracker compared to the fixed system. For this, the system is equipped with a digital wattmeter that measures the energy consumption of the control system and actuator. To evaluate the results, three days under different weather conditions were chosen: a sunny day; a partially cloudy day, that is, with sporadic passages of clouds; and a completely cloudy day. The solar tracker showed a net gain of 22.81% and 10.64% for sunny and partially cloudy days, respectively. However, it presented an inferior performance for the totally cloudy day. The average net gain of the solar tracker for the total period of analysis (from July 15th to August 4th, 2021) was 17.94%.

**Keywords:** Solar tracker, photovoltaic modules, energy gain analysis.

## 1. Introdução

A energia solar tem ganhado força em todo o mundo nos últimos anos pelo seu potencial de geração de energia elétrica. Essa tendência tem crescido devido à percepção da alta dependência dos combustíveis fósseis e do grande impacto ambiental causado por essas fontes. De acordo com a *International Energy Agency: IEA* (apud EPE, [2021?]), em 2019, 81,1% da matriz energética mundial era composta por fontes não renováveis, montantes estes representados pela soma do carvão, petróleo e do gás natural. Nesse contexto, as energias renováveis aparecem como um caminho para minimizar os efeitos negativos ao meio ambiente causados por fontes não renováveis, desta forma, muitos processos alternativos estão contribuindo para a redução desses impactos, como é o caso da energia solar fotovoltaica (REZENDE, 2019).

Apesar de toda a evolução e significativa tendência mundial, a grande barreira dos sistemas fotovoltaicos é a baixa eficiência dos módulos comerciais. Para aumentar o desempenho e consequentemente a produção energética dos módulos solares, pode-se utilizar rastreadores solares para acompanhar a trajetória do sol, assim, mantém-se a máxima radiação possível sob os módulos para uma determinada hora do dia e localização geográfica (NETO et al, 2017).

Estudos e soluções estão sendo desenvolvidos e testados para um melhor aproveitamento da energia fotovoltaica utilizando rastreadores solares (NSENGIYUMVA, et al 2018). Os rastreadores solares podem ser classificados como ativos ou passivos, os ativos utilizam sensores, atuadores e todo um aparato eletrônico para o acompanhamento do sol, já os passivos não utilizam energia externa para movimentação dos módulos, uma vez que não existe um atuador elétrico e um controle eletrônico de posicionamento, pois utilizam as características de expansão de gases para movimentação dos módulos solares (NSENGIYUMVA, et al 2018). Os rastreadores solares também podem ser classificados como: de um eixo ou de dois eixos; controle em malha aberta ou em malha fechada; estratégia de controle cronológica ou por sensores (VERMA, et al 2020).

Este trabalho visa analisar o ganho líquido de energia de um rastreador solar de eixo único em comparação com um sistema convencional (fixo), levando em consideração a condição climática de dias específicos: dia ensolarado, dia parcialmente nublado e dia totalmente nublado. Na seção 2, é explanado as variáveis que influenciam na eficiência dos módulos solares. Na seção 3, tem-se o entendimento da metodologia utilizada no presente trabalho, ressaltando o papel de cada componente utilizado, bem como a técnica usada para o rastreamento do Sol. Na seção 4, é apresentado os resultados por meio de gráficos. Na seção 5, tem-se as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Eficiência dos módulos e rastreador solar

A potência pelos módulos solares não é uma potência constante e, basicamente, os fatores que influenciam na produção energética são: a irradiância solar, o ângulo de incidência dos raios solares em relação ao plano do módulo e a temperatura dos módulos. Para fins de comparação entre diferentes fabricantes, os módulos fotovoltaicos são testados em ambientes controlados, conhecidos como teste padrão STC (*Standard Testing Condition*), esse ensaio utiliza parâmetros e condições ideais de laboratório, como: intensidade de radiação solar igual a 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura do módulo de 25

°C e massa de ar de 1,5(AM), esses dados podem ser visualizados nos próprios módulos ou nas folhas de informações técnicas (BALFOUR, 2016).

A eficiência dos módulos pode ser calculada utilizando um modelo simplificado, levando em consideração sua potência nominal (em STC) e sua área. Desta forma, pode-se calcular a eficiência  $\eta$  por meio da razão entre a potência fornecida do módulo  $P_{out}(W)$ , a potência de irradiância  $G$  solar dada por uma constante de  $1000W/m^2$  e a área do módulo solar em metros quadrados  $A(m^2)$ . A fórmula para o cálculo da eficiência pode ser observada na equação (1). (SOTERIS, 2016).

$$\eta = \frac{P_{out}}{G \cdot A} \cdot 100 \quad (1)$$

A eficiência dos módulos também é influenciada pela temperatura de trabalho. Nos sistemas fotovoltaicos convencionais, parte da radiação que chega aos painéis solares é convertida em eletricidade, enquanto outra fração é convertida em calor, aumentando a temperatura da célula e, conseqüentemente, diminuindo sua eficiência (SOTERIS, 2016).

Técnicas para resfriamento dos módulos estão sendo aperfeiçoadas para minimizar o problema da temperatura, como é o caso da tecnologia híbrida PVT (*Photovoltaic-Thermal*), a qual realiza o arrefecimento da célula fotovoltaica por meio da tecnologia híbrida fotovoltaica e térmica. A tecnologia PVT utiliza uma espécie de trocador de calor na parte traseira do módulo solar, permitindo converter de forma simultânea a energia solar em eletricidade e calor, melhorando assim o desempenho do módulo e ainda permitindo a produção de energia térmica como forma de cogeração (VIEIRA, *et al* 2019).

Sabe-se ainda que a performance dos módulos solares também é influenciada pela variação do ângulo de incidência dos raios solares na face dos módulos, desta forma, utilizando sistemas capazes de manter a face dos módulos perpendicular aos raios do Sol, é possível aumentar o desempenho dos módulos (VERMA *et al*, 2020) e (AWASTHI *et al*, 2020). Estudos apontam ganhos de geração quando sistemas *tracker* (rastreador solar) são utilizados. Lazaroiu, obteve resultados de ganho líquido com o rastreador solar que variam entre 12 e 20% em um período de 30 dias. Na pesquisa, o consumo energético do atuador foi estimado (LAZAROIU *et al*, 2015).

Frosi, utilizando dois módulos de 250W conectados à rede elétrica (*on grid*), alcançou ganho bruto de 36% em comparação com o módulo fixo em um dia totalmente ensolarado e 24,18% para dias nublados, esse experimento fora realizado com um seguidor solar de 2 eixos (FROSI *et al*, 2018). Moreira, comparou o desempenho de rastreamento solar utilizando um módulo fixo e um rastreador de um eixo, obtendo ganhos de 33,5% (MOREIRA, *et al* 2018). Já Berwagner realizou uma comparação entre um rastreador solar de eixo único e um sistema fixo, ambos conectados à rede elétrica por meio de um microinversor. No experimento o mesmo obteve um ganho de 27,03% a mais na produção energética para um dia ensolarado (BERWANGER, 2019). Júnior, utilizou um protótipo em escala reduzida de rastreador solar, o qual permitiu fazer uma comparação de eficiência entre o rastreador e um sistema convencional (módulo fixo), nesse experimento, a pesquisa demonstrou resultados de eficiência na ordem de 16% para dias nublados e 19% para dias ensolarados (JÚNIOR *et al*, 2020).

### 3. Sistema desenvolvido

Para realizar a comparação do sistema convencional (módulo fixo) com o sistema de rastreamento solar, dois módulos fotovoltaicos foram utilizados na pesquisa, ambos do mesmo fabricante e com a mesma potência de pico (280Wp). Para comportá-los, foi necessário projetar uma estrutura mecânica, na qual os módulos foram instalados na mesma altura e na mesma orientação, fixando um módulo e deixando o outro móvel (seguidor solar).

O módulo móvel pode ser rotacionado em um eixo por meio de um atuador elétrico linear, o qual permite a movimentação do módulo no sentido Leste/Oeste com 270° graus de liberdade. A estrutura também foi projetada para ter uma leve inclinação de 6° graus em direção ao sentido Norte, essa inclinação é referente a latitude do local onde os testes foram realizados (cidade de Cajazeiras, Paraíba, Brasil).

Os módulos solares foram ligadas em um microinversor *on grid* da marca Hoymiles, modelo MI-1200, o inversor permite a injeção da energia gerada pelos módulos na rede elétrica local. É importante destacar que o microinversor utilizado trabalha com suas entradas de forma independente, tendo cada uma delas um MPPT (*maximum power point tracking*), garantindo a geração máxima de energia de cada módulo fotovoltaico (HOYMILES, 2020).

Além dos componentes supracitados, foi utilizado um aparelho de comunicação de dados da marca Hoymiles (DTU-W100), esse componente é responsável por transmitir os dados de geração de ambas as placas para um servidor na nuvem a cada 15 minutos. Os dados podem ser acessados a qualquer momento e fornecem informações como: temperatura do inversor, potência instantânea de cada módulo, energia gerada de cada módulo, corrente elétrica e tensão elétrica. Na figura 01, é possível observar o sistema desenvolvido com destaques para alguns de seus componentes: DTU-W100 (A), Wattímetro digital (B) e Microinversor (C).

Para efeito de cálculo do ganho líquido de energia produzida pelo rastreador solar em comparação com a placa fixa, foi instalado um wattímetro digital da marca peacefair, modelo pzem-061 para contabilizar o gasto energético do sistema de controle e atuador. Levando em consideração que o sistema de controle do rastreador solar ficou sempre ativo durante o dia e a noite, a energia consumida foi registrada considerando períodos de 24 horas. O cálculo de porcentagem do ganho líquido pode ser calculado por meio da equação abaixo (2).

$$G.l(\%) = \left[ \frac{(PM - CCA)}{PF} - 1 \right] \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

- *PM* - Produção de energia da placa móvel (kwh);
- *CCA* - Consumo de energia do sistema de controle e atuador em 24 horas (kwh);
- *PF* - Produção de energia da placa fixa (kwh);
- *G.l(%)* - Ganho líquido em porcentagem.

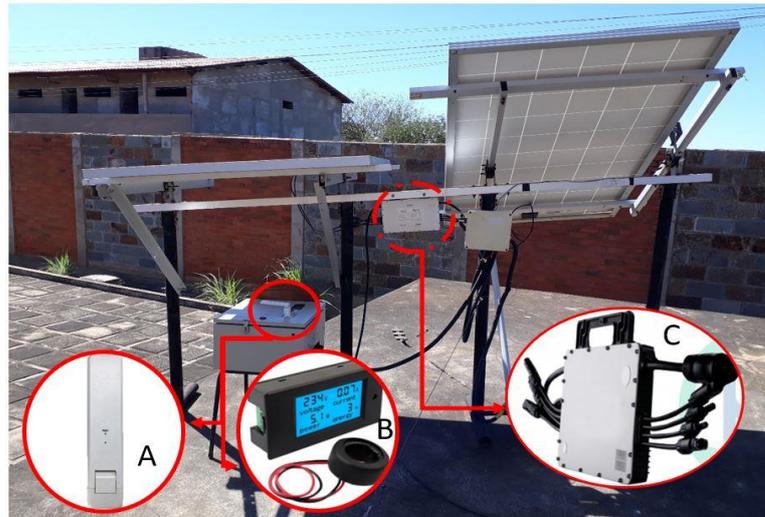


Figura 01 : Plataforma de testes desenvolvida.  
Fonte : Próprio Autor.

### 3.1 Sistema de controle e estratégia de rastreamento

Utilizando elementos fotossensíveis juntamente com o uso de um colimador, de uma placa inclinada ou de uma placa de sombreamento, é possível verificar o alinhamento dos módulos com os raios solares (NASCIMENTO, 2015).

Para detecção da posição solar, dois sensores LDR (*Light Dependent Resistor*) foram utilizados, que funcionam por meio de um sistema de barreira central para referências de direção por sombreamento. Na figura 02, pode-se visualizar uma imagem dos sensores LDRs instalados em direções opostas da barreira física.

Os sensores foram fixados no mesmo eixo que o módulo móvel, de forma que, ao decorrer do dia, à medida que o Sol faz seu percurso no sentido de Leste para Oeste, uma sombra é gerada no sensor Leste, fazendo com que esse sensor envie para o sistema de controle um sinal analógico diferente do sensor Oeste. Nessas condições, o sistema de controle “detecta” que existe uma condição de desequilíbrio de luminosidade entre os sensores, é nesse momento que o sistema aciona o atuador no sentido de Leste para Oeste até que os valores analógicos de ambos os sensores sejam iguais, ou seja, fiquem em equilíbrio.



Figura 02 : Sensor instalado no seguidor solar.  
Fonte: Próprio autor.

A lógica de controle foi programada para realizar verificações nos sensores a cada 12 minutos, tempo suficiente para que o Sol se movimente e gere sombra entre os LDRs. A condição de verificação dos sensores a cada 12 minutos foi implementada para que o atuador não fosse acionado a todo instante, evitando desgastes e maior consumo de energia.

Ainda como estratégia de otimização do consumo de energia, o sistema de controle foi programado de forma a ser ativado, automaticamente, entre as 9 horas da manhã e as 15 horas da tarde, horários estes em que o rastreador solar faz seu primeiro e último movimento respectivamente. Fora dessa faixa de horários, a fonte de alimentação do atuador é desligada automaticamente por meio de um relé, mantendo o sistema de alimentação em modo de hibernação, para isso, foi utilizado um relógio de tempo real que fornece para o microcontrolador referências de horas, minutos e segundos - RTC (*Real Time Clock*). Ao final do dia, às 18 horas, o sistema é ligado automaticamente apenas para que o atuador possa retornar o módulo para a posição inicial (posição Leste), ficando pronto para o próximo ciclo de trabalho no dia seguinte. Logo após essa rotina, a alimentação é desligada mantendo o sistema em hibernação novamente.

#### 4 Análise e resultados

Para avaliar o ganho energético do seguidor solar em comparação com o módulo fixo, ambos os módulos foram operados simultaneamente. Os dados de energia produzida por cada módulo foram adquiridos do servidor da Hoymiles do dia 15/julho ao dia 04/agosto de 2021, totalizando 20 dias de geração. A cada 24h o sistema de controle e atuador consome 77Wh para operar.

Com base nas condições do clima e dos resultados, três dias específicos foram escolhidos para a análise, sendo esses dias classificados em: dia ensolarado; dia parcialmente nublado, ou seja, com passagens esporádicas de nuvens; e dia totalmente nublado. Nos tópicos a seguir, os resultados serão apresentados de forma individual para cada um desses dias.

#### 4.1 Dia ensolarado

Para o dia ensolarado, o rastreador solar se comportou como o esperado, seguindo toda a trajetória do Sol ao longo do dia. O módulo do seguidor solar produziu 1870Wh, enquanto o módulo do sistema fixo produziu 1460Wh (vide figura 03, gráfico da direita). Considerando o consumo de energia do sistema de controle (77Wh) e aplicando a equação (2), o desempenho do seguidor solar apresentou ganho líquido de 22,81% face ao módulo fixo.

Analisando o gráfico da esquerda, figura 03, nota-se que o seguidor solar teve maior destaque nas primeiras e nas últimas horas do dia, períodos em que houve maior diferença de geração entre os módulos. Observa-se ainda que o rastreador solar não apresentou grande relevância face ao módulo fixo entre os horários de 10:45h até 13:15h, pois é nesse intervalo que o módulo móvel se manteve mais próximo do módulo fixo em termos de ângulo e perpendicularidade com os raios do Sol.

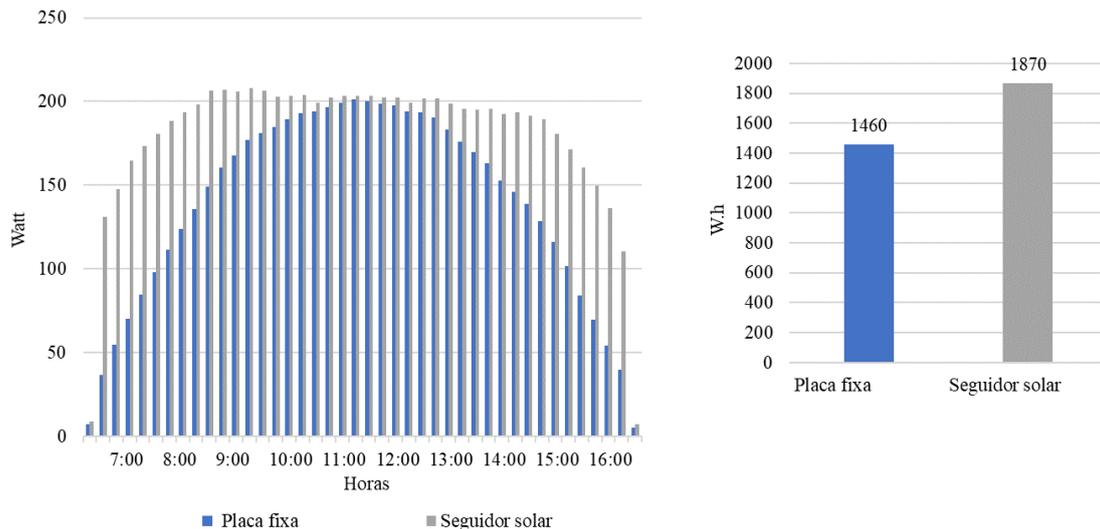


Figura 03 : No gráfico da esquerda tem-se a potência dos módulos ao longo do dia 19/07/2021. No gráfico da direita tem-se a energia produzida por ambos os módulos.

Fonte: Servidor da Hoymiles, dados da pesquisa.

#### 4.2 Dia parcialmente nublado

No gráfico de geração da figura 04, gráfico da esquerda, é possível observar que em determinadas horas do dia, a potência de ambos os módulos solares reduziu, mantendo-se abaixo de 100W. Isso aconteceu por conta da passagem de nuvens, fato que ocorreu para esse dia nas primeiras horas e durante os horários de 10h, 12:45h, de 13:15h até 13:45h e por fim, 15:45h.

O módulo fixo produziu 1250Wh, enquanto o módulo do seguidor solar produziu 1460Wh (vide figura 04, gráfico da direita). Considerando o consumo energético do sistema (77Wh) e aplicando a equação (2), o seguidor solar apresentou um ganho líquido de 10,64% em comparação com o módulo fixo. Essa redução do desempenho foi devido à condição climática daquele dia, uma vez que as nuvens bloquearam, em

certos momentos do dia, a radiação direta sobre os módulos.

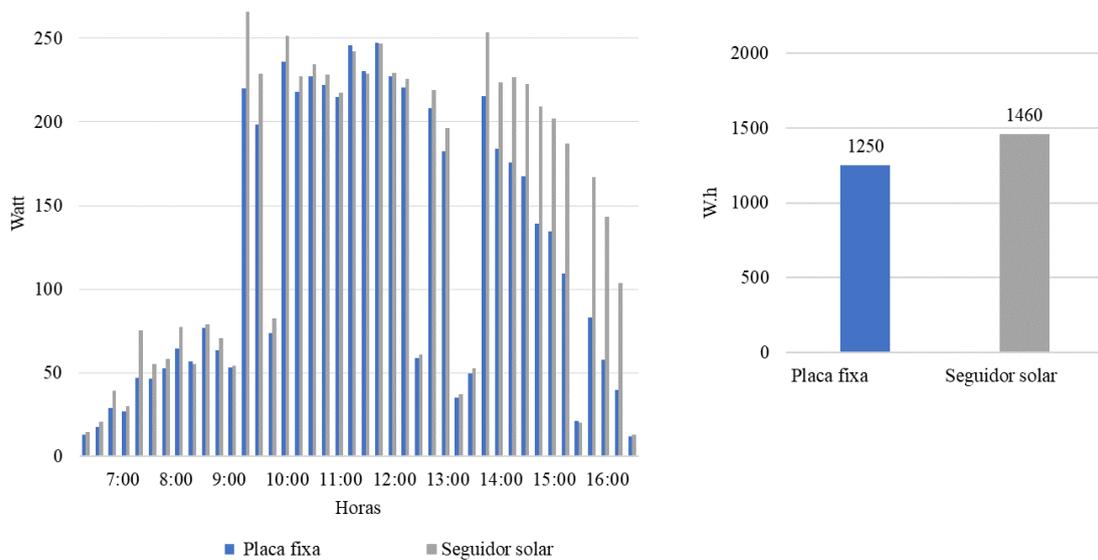


Figura 04: No gráfico da esquerda tem-se a potência dos módulos ao longo do dia 22/07/2021. No gráfico da direita tem-se a energia produzida por ambos os módulos.

Fonte: Servidor da Hoymiles, dados da pesquisa.

### 4.3 Dia totalmente nublado

Para o dia totalmente nublado, foram observados pequenos atrasos na correção de posição do seguidor solar em relação aos raios do Sol. Isso ocorreu devido à falta de diferenças significativas nas leituras analógicas dos sensores, condição esta que faz com que o sistema de controle não tome nenhuma ação, ou seja, apenas mantenha o seguidor parado. Notou-se ainda que, quando o clima está totalmente nublado, ambos os módulos desenvolvem praticamente a mesma potência, estando o seguidor alinhado ou não com os raios do Sol. Isso ocorre devido à radiação difusa causada pelas nuvens, que faz com que a energia luminosa se disperse uniformemente em todas as direções.

Para esse dia, o módulo fixo produziu 547Wh, enquanto o módulo do seguidor solar produziu 576Wh (vide figura 05, gráfico da direita). Apesar do seguidor solar ter produzido um pouco mais de energia do que o módulo fixo, considerando o consumo energético do sistema de controle e aplicando a equação (2), nota-se que o desempenho do seguidor solar em comparação com o módulo fixo foi negativo, apresentando um ganho líquido de -8,78%.

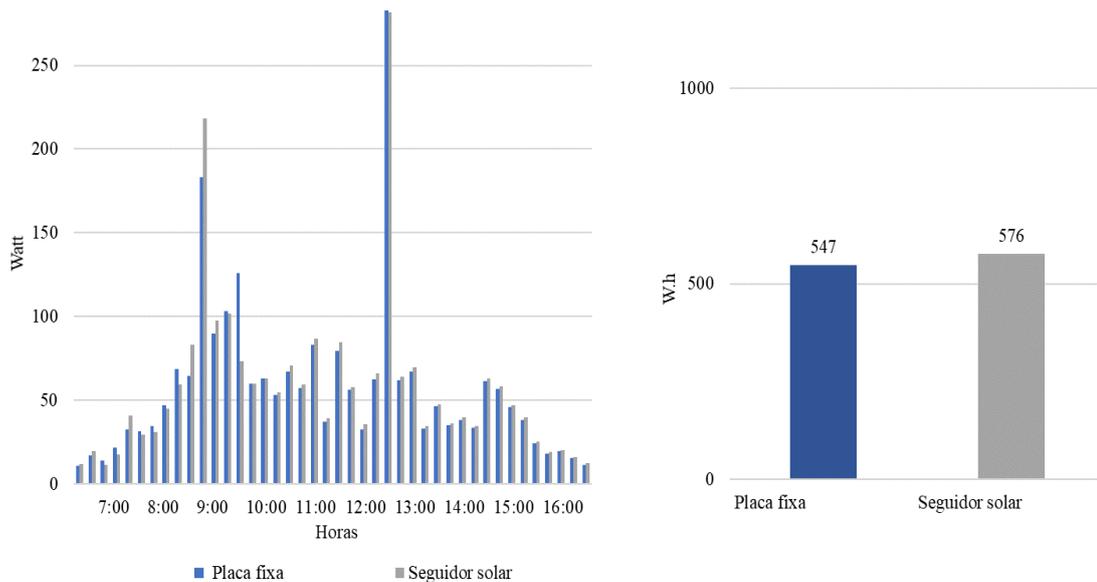


Figura 05 : No gráfico da esquerda tem-se a potência dos módulos ao longo do dia 01/08/2021. No gráfico da direita tem-se a energia produzida por ambos os módulos.  
 Fonte: Servidor da Hoymiles, dados da pesquisa.

Do dia 15/julho ao dia 04/agosto de 2021, o módulo fixo produziu 25.424Wh, enquanto o módulo do seguidor solar produziu 31.526Wh. Levando em conta o consumo energético total de todo o período de 20 dias (1540Wh), e aplicando a equação (2), o seguidor solar apresentou um ganho líquido médio de 17,94% . Para o dia 31/07, não foi possível registrar a produção de energia devido à falta de internet na localidade dos ensaios, sendo esse dia desconsiderado para efeito de cálculos. Na figura 06, pode-se visualizar o registro de geração de ambos os módulos em ordem cronológica.

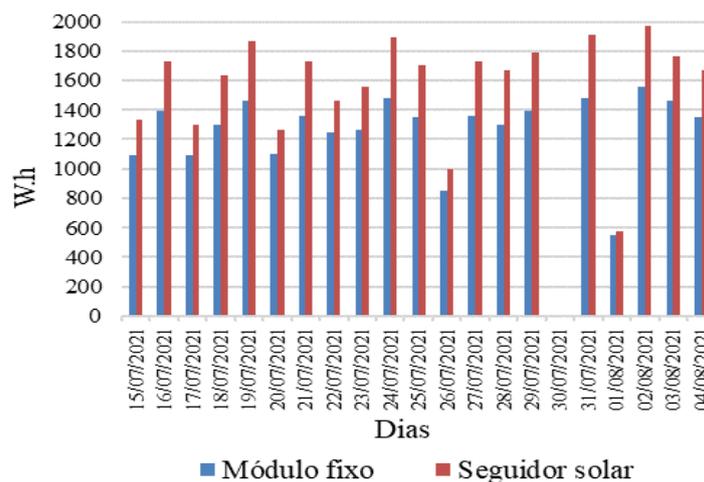


Figura 06 : Registro de produção energética em Wh de ambos os módulos do dia 15/julho à 04/agosto de 2021. Fonte: Servidor da Hoymiles, dados da pesquisa.

### 5 Conclusão/Considerações

A pesquisa mostrou resultados consistentes e realistas, pois a metodologia utilizada levou em consideração o gasto energético do atuador e sistema de controle. Além disso,

os módulos foram conectados à rede elétrica por meio de um inversor *on-grid*, o que representa a realidade da maioria das instalações fotovoltaicas.

Considerando que o ganho líquido médio do rastreador solar foi de 17,94% para os 20 dias de colheita de dados, pode-se afirmar que os resultados estão em linha aos trabalhos de Lazarouiu e o de Júnior. Lazarouiu utilizou um rastreador solar de um eixo e estimou o consumo do atuador, atingindo ganhos da ordem de 12 a 20% em um período de 30 dias. Em sua pesquisa o mesmo utilizou sistema *off-grid* para armazenamento da energia. De forma semelhante, Júnior utilizou dois módulos de silício de 25W, obtendo resultados que variam entre 16 e 19% para dias nublados e ensolarados, respectivamente.

Berwagner utilizou metodologia bastante semelhante ao presente trabalho, o mesmo afirma que o consumo do atuador que utilizou representou 5% (440Wh) da energia adicional gerada, no entanto, o mesmo não deixa claro se a medição do consumo fora realizada 24h por dia. Fazendo a mesma comparação, o presente trabalho teve um consumo do atuador e sistema de controle de aproximadamente 25% da energia adicional gerada. Apesar de Frosi não ter levado em consideração o consumo energético do atuador, seus resultados mostraram, assim como o presente trabalho, que os rastreadores solares têm um melhor desempenho para dias ensolarados.

Com a pesquisa, foi possível constatar que o seguidor solar apresenta diferentes desempenhos em função da condição climática, sendo o melhor aproveitamento em dias totalmente ensolarados e em dias parcialmente nublados, porém, não apresenta significativo ganho para dias totalmente nublados.

Além disso, é fato que o maior aproveitamento energético por parte do seguidor solar ocorre nas primeiras e nas últimas horas do dia, pois são nesses horários em que há uma maior diferença em termos de ângulo entre o módulo fixo e o módulo do seguidor solar.

Com relação ao gasto energético do sistema de controle e atuador, utilizou-se um atuador elétrico superdimensionado, o que pôde ter contribuído para um maior consumo energético do sistema de rastreamento. Também não foram considerados os atritos mecânicos no rastreador solar, o que também pôde ter contribuído para um maior consumo. Portanto, pesquisas devem ser conduzidas com intuito de diminuir o gasto energético e, conseqüentemente, aumentar o desempenho do seguidor solar.

Por fim, é importante salientar que a pesquisa foi realizada em um período em que a maioria dos dias que foram realizados os ensaios tiveram condições de tempo ensolarados e parcialmente nublados. Para um melhor entendimento do ganho energético do seguidor solar em comparação a um módulo fixo, sugerem-se períodos mais longos de coleta de dados, por exemplo, 365 dias, passando por todas as estações do ano.

---

**Referências**

**AWASTHI, A. ; SHUKLA, A. K. ; MANOHAR, M. et al.** *Review on sun tracking technology in solar PV system. Energy Reports Volume 6, November 2020, Pages 392-405.* Disponível em : <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719304780>>

**BALFOUR, J. ; SHAW, M. ; NASH, N.B.** *Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos. 1 Ed. Rio de Janeiro, LTC – Livros técnicos e científicos. 2016. ISBN 978-85-216-3123-1*

**BERWAGNER, D.** *DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM RASTREADOR SOLAR DE UM EIXO INSTALADO EM UMA PROPRIEDADE RURAL CONECTADO À REDE. Dissertação de Mestrado. Pós graduação em engenharia de energia na agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Ano 2019.*

Disponível em : <

<https://www5.unioeste.br/portaunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao.Diego.Berwanger.pdf>>

**FROSI, F. ; CHESINI, D. ; GABE, I. J. et al.** *Análise comparativa da produção de energia de um seguidor solar de dois eixos para a região de farroupilhas - RS. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.*

Disponível em : < <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/161/161> >

**LAZAROIU, G. C.; LONGO, M. ; ROSCIA, M. et al.** *Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. Energy Conversion and Management Volume 92, 1 March 2015, Pages 143-148 .* Disponível em : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890414010851>>

**EPE .** *Matriz energética e elétrica. Empresa de Pesquisa Energética. [2021?]:*

Disponível em : <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>

**MOREIRA, L. O. ; SILVA, A. J. D ; GOMES, N. D. et al.** *Estudo comparativo de técnicas de rastreamento solar para geração de energia solar fotovoltaica. Brazilian Applied Science Review. v. 3, n. 3, p. 1551-1563, mai./jun. 2019. DOI:*

*10.34115/basrv3n3-005.* Disponível em : <

[file:///C:/Users/Marco/Downloads/Estudo\\_comparativo\\_de\\_tecnicas\\_de\\_rastreamento\\_sol.pdf](file:///C:/Users/Marco/Downloads/Estudo_comparativo_de_tecnicas_de_rastreamento_sol.pdf)>

**NETO, A. H. et al.;** *organização José Roberto Simões Moreira. Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. 1. Ed. - Rio de Janeiro, 2017. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.*

**NASCIMENTO, B. A. M.** *Algoritmo de posicionamento e backtracking para seguidor solar. dissertação de mestrado, julho 2015.* Disponível em :

<<file:///C:/Users/Marco/Downloads/Tese%20Bruno%20Nascimento.pdf>>

**NSENGIYUMVA, W ; CHEN, S. G ; HU, L ; CHEN, X.** *Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review. Renewable and Sustainable.*

*Energy Reviews*. 2018, 81, 250-279. Disponível em : <  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310183#s0035>>

**JÚNIOR, A. C. L. ; SILVA, L. A. ; SANTO, M. S. et al.** *Rastreador solar e comparação de eficiência na geração fotovoltaica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 08, Vol. 13, pp. 44-62. Agosto de 2020. ISSN: 2448-0959*, Disponível em : <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/rastreador-solar>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/rastreador-solar

**REZENDE, J. O.** *A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável. Editora Atena, 2019. DOI 10.22533/at.ed.003190309*. Disponível em : <<https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/09/E-book-A-Importancia-da-Energia-Solar-para-o-Desenvolvimento-Sustentavel-2.pdf>>

**SOTERIS, A.K.** *Engenharia de energia solar, processos e sistemas. 2 Ed. Rio de Janeiro, Elsevier. 2016. ISBN 978-85-352-8004-3*.

**VERMA, D. D. ; PANDAY, M. ; GOUR, A.** *A Review Paper on Solar Tracking System for Photovoltaic Power Plant. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)ISSN: 2278-0181*<http://www.ijert.orgIJERTV9IS020103> (This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.)Vol. 9 Issue 02, February-2020. Disponível em : <[https://www.researchgate.net/publication/341872696\\_A\\_Review\\_Paper\\_on\\_Solar\\_Tracking\\_System\\_for\\_Photovoltaic\\_Power\\_Plant](https://www.researchgate.net/publication/341872696_A_Review_Paper_on_Solar_Tracking_System_for_Photovoltaic_Power_Plant)>

**VIEIRA . R.G , GUERRA. M.I.S, OLIVEIRA. I.C.** *Uma Revisão sobre a tecnologia solar híbrida fotovoltaica e térmica no Brasil e no mundo. Revista de Engenharia e Tecnologia, v.11 n., p. 181-205. Setembro 2019*. Disponível em: <<https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/13587>>

**HOYMILES.** *Micro-inversor, Manual do usuário. Versão 2.0, Junho de 2020*. Disponível em : <[https://genyx.com.br/novo-site/wp-content/uploads/2021/04/MI-1000\\_\\_1200\\_-1500\\_User-Manual.pdf](https://genyx.com.br/novo-site/wp-content/uploads/2021/04/MI-1000__1200_-1500_User-Manual.pdf)>

**HOYMILES. DTU-100.** *Manual do usuário. REVI.0All . Disponível em : <<https://microinversor.com.br/repositorio/hoymiles/Manual-DTU-W100.pt.pdf>>*