

ESTUDO COMPARATIVO DO SISTEMA DE OBTENÇÃO FIXO COM O SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

COMPARATIVE STUDY OF THE FIXED OBTAINING SYSTEM WITH THE SOLAR TRACKING SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION

Ricardo de Jesus Silva¹, Ariani Martins Caponi Lima², Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes³, Ivandro José de Freitas Rocha⁴

¹Academico de Engenharia Mecânica/FACEG ^{2 3} Professoras do curso de Engenharia Mecânica/FACEG

⁴Orientador e Professor do curso de Engenharia Mecânica /FACEG E-mail: ivandro.rocha@evangelicagoianesia.edu.br

Resumo: O trabalho tem como tema a otimização da geração de energia solar, onde o objetivo é realizar uma análise de dois sistemas que utilizam placas fotovoltaicas, um dos modelos foi projetado no modelo tradicional utilizando padrões de ângulo e orientação da placa com base no banco de dados da CRESESB, e simultaneamente um segundo modelo foi automatizado com o auxílio a plataforma de prototipagem Arduino, fazendo a utilização de servos motores que permitem uma movimentação tanto verticalmente quanto horizontalmente permitindo que o sistema sempre busque a posição com maior incidência dos raios solares. A análise dos dados foi realizada através da coleta dos valores de tensão e corrente geradas em ambos os protótipos, com base nesses valores foi calculada a potência gerada dos sistemas em função do tempo de utilização. A partir dos resultados obtidos nos testes, pode-se verificar que houve um aumento no rendimento do sistema fotovoltaico automatizado em comparação com o sistema fixo, validando assim sua utilização.

Palavras-chaves: Energia Solar, Algoritmo, Arduino, Placa Fotovoltaica.

Abstract: The work has as its theme the optimization of solar energy generation, analyzing the two systems that use photovoltaic plates. one of the prototypes was designed in the traditional model using plate angle and orientation patterns based on the CRESESB database, and simultaneously a second prototype that was automated with Arduino platform using servo motors to movement in vertical and horizontal directions, allowing the system to the best position in relation to the incidence of sunlight. Data analysis was performed by collecting the voltage and current values generated in both prototypes. Based on these values, the generated power of the systems was calculated as a function of the time of use. From the results obtained in the tests, it can be verified that there was an increase in the yield of the automated photovoltaic system compared to the fixed system, thus validating its use.

Keywords: Solar Energy, Algorithm, Arduino, Photovoltaic board.

INTRODUÇÃO

O setor energético causa impactos ambientais em todo seu processo de desenvolvimento, desde a captura dos recursos naturais até a parte de processamento industrial e por fim em sua utilização por uma enorme variedade de consumidores. No ponto de vista global os principais problemas ambientais estão ligados a geração de energia¹.

O sol é a grande fonte primária de energia do planeta Terra. Sob sua influência estão os movimentos dos ventos, marés, ciclos da água, fotossíntese das plantas e mesmo a existência dos combustíveis fósseis². A energia fotovoltaica, energia solar convertida para energia elétrica, sofreu um grande avanço devido ao baixo impacto ambiental a facilidade de instalação e flexibilidade de utilização. Outro grande motivo foi baixa no custo, que vinha sendo um grande obstáculo para sua utilização há décadas.

De acordo com Vian³ a grande expansão também se deve a intensas pesquisas motivadas pelos governos afim de buscar a utilização de energias limpas, e também na melhoria de rendimento e confiabilidade dos módulos

fotovoltaicos. Tanto para um sistema de grande ou pequeno porte, a energia solar vem ganhando espaço, sendo uma fonte primária de energia, o que traz uma enorme contribuição para a matriz energética brasileira.

A energia fotovoltaica vem despertando grande interesse pelo governo brasileiro, não só pelos aspectos já citados, mais também em função das características geográficas, climáticas e facilidade de encontrar terrenos para abrigar instalações geradoras dessa natureza, sem que haja prejuízo ambiental e na produção agrícola³.

Segundo Philippi e Reis⁴ os recursos naturais devem ser usados de tal forma que supram as necessidades atuais sem comprometer a disponibilidade deles para as gerações futuras, este é o conceito mais simples e difundido de sustentabilidade. O objetivo desse estudo visa aumentar a eficiência de um sistema de energia fotovoltaico fixo, devido seu rendimento em alguns momentos do dia não garantir um rendimento satisfatório, para isso será projetado um sistema com rastreamento solar buscando obter uma maior eficiência da captação de energia solar disponível.

MATÉRIAS E MÉTODOS

O desenvolvimento do sistema e a construção do modelo foram realizadas no Centro Tecnológico da Faculdade Evangélica de Goianésia (Figura 1), situada no município de Goianésia.



Figura 1. Faculdade Evangélica de Goianésia.

O município de Goianésia está localizado na região do Vale do São Patrício aos 15°19'1" de latitude sul e 49°7'1" de longitude oeste, distante de Goiânia (capital do Estado) 176 quilômetros, de Anápolis 140 quilômetros e de Brasília (capital federal) aproximadamente 208 quilômetros.

Foram projetados dois modelos de sistemas para captação da energia solar com a utilização de painéis fotovoltaicos (Figura 2). Um sistema foi projetado buscando informações de orientação e inclinação da nossa região para montagem do sistema fotovoltaico fixo. Também, foi projetado um sistema automatizado, utilizando a plataforma prototipagem Arduino, com o auxílio de servos motores para movimentação tanto verticalmente como horizontalmente da placa fotovoltaica e sensores LDR para definir a direção que há mais incidência de luz.

O circuito eletrônico (Figura 3) foi projetado inicialmente na plataforma online Tinkercad. Para a realização dos testes das ligações e funcionamento de todos os componentes do projeto, foi criado o algoritmo inicial associado ao circuito eletrônico para testar a interação dos sensores LDR com os servos motores.

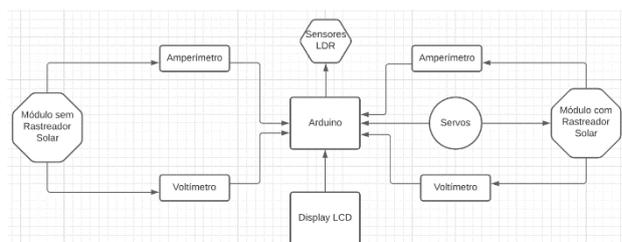


Figura 2. Fluxograma do Projeto feito na plataforma Lucidchart.

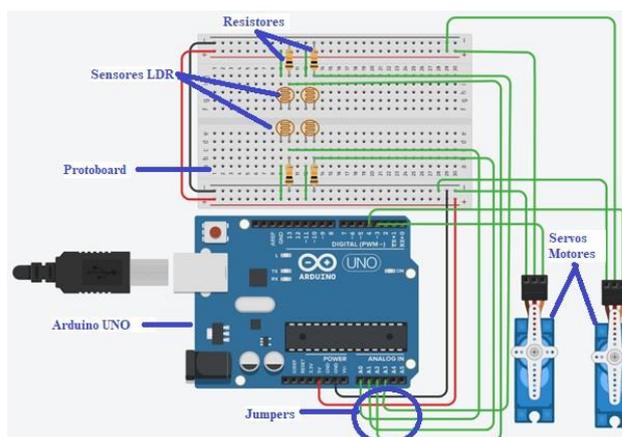


Figura 3. Circuito eletrônico feito no tinkercad para teste do modelo.

Na configuração dos servos motores foi declarado o ângulo inicial de ambos os servos, a fim de que os mesmos estivessem voltados para a direção do nascer do sol buscando a maior obtenção de raios solares quando o sistema se inicializasse, e foram definidos também os ângulos limites de movimentação tanto para o servo horizontal quanto para o servo vertical (Figura 4).

```
//Definindo os Servos

Servo ServoHorizontal;
int servoh = 0;
int servohLimitHigh = 160;
int servohLimitLow = 20;

Servo ServoVertical;
int servov = 0;
int servovLimitHigh = 160;
int servovLimitLow = 20;
```

Figura 4. Configuração dos Servos Motores.

Foram declarados os 4 sensores de luminosidade, e programado para que o Arduino recebesse esses valores

(Figura 5) e retornasse na tela de execução do Arduino para ser efetuado a verificação do funcionamento dos mesmos. O comando `analogRead` lê o valor de luminosidade captado pelo LDR.

```
//capturando os valores analógicos de cada LDR
int L1 = analogRead(ldr1);
int L2 = analogRead(ldr2);
int L3 = analogRead(ldr3);
int L4 = analogRead(ldr4);
```

Figura 5. Código para ler o sinal fornecido pelos LDR.

Para o modelo conseguir se localizar na melhor posição para a obtenção dos raios solares durante sua operação, foram utilizados 4 sensores LDR, que foram separados por abas para o desenvolvimento de sombras, como é demonstrado na Figura 6, sendo assim possível verificar a quantidade da captação de luz em cada direção. Foram definidas as médias da luminosidade captada pelos LDR da parte horizontal superior e inferior (Figura 7) para o posicionamento do servo vertical, e a média vertical esquerda e direita para movimentação do servo horizontal.

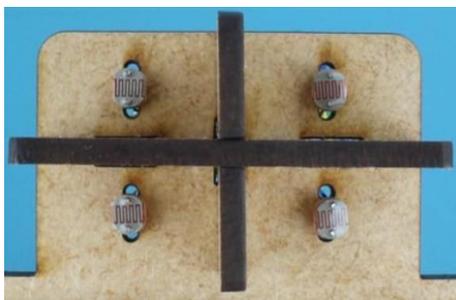
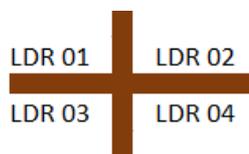


Figura 6. Local de instalação dos LDR com abas de sombreamento.



LDR 01 + LDR 02 = MÉDIA SUPERIOR
LDR 03 + LDR 04 = MÉDIA INFERIOR
LDR 01 + LDR 03 = MÉDIA VERTICAL ESQUERDA
LDR 02 + LDR 04 = MÉDIA VERTICAL DIREITA

Figura 7. Definição das variáveis de média para funcionamento do rastreador solar.

Para a movimentação dos servos foi criado uma função que com base nos valores de luminosidade incidida nos LDR, provocasse a movimentação dos servos se movimentem até que os valores de luminosidade se igualassem. Tudo isso foi feito com base nas médias (Figura 8) diminuindo ou aumentando os ângulos, se mantendo dentro dos limites de ângulo estabelecidos na configuração dos servos.

```
if (MediaSuperior < MediaInferior)
{
  servov++;
  if (servov > servovLimitHigh)
  {
    servov = servovLimitHigh;
  }
  ServoVertical.write(servov);
  delay(50);
}
else if (MediaInferior < MediaSuperior)
{
  servov--;
  if (servov < servovLimitLow)
  {
    servov = servovLimitLow;
  }
  ServoVertical.write(servov);
  delay(50);
}
else
{
  ServoVertical.write(servov);
}
```

Figura 8. Função para movimentação do servo vertical.

A ligação dos sensores de tensão e corrente foi feita em série com a placa solar. A Figura 9 demonstra como foram feitas as conexões elétricas dos componentes, o fio na cor preta representa o GND (terra), já o fio na cor vermelha representa o fio positivo (VCC) no circuito.

Devido ao sistema fotovoltaico trabalhar com uma corrente contínua, foi necessária a instalação de uma carga para consumir a potência gerada pelos modelos. Foi feita a aquisição de 2 lâmpadas led de 12V para consumir a energia gerada.

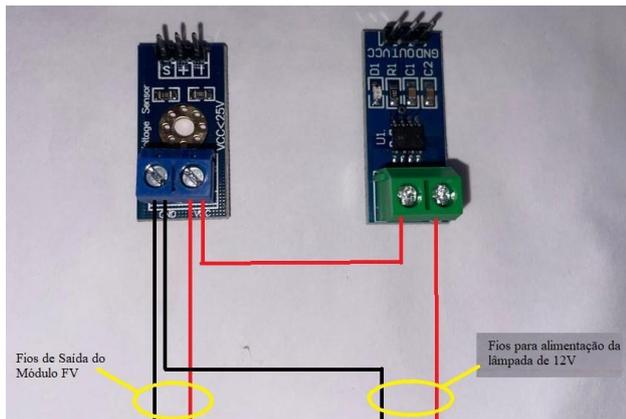


Figura 9. Conexão Elétrica dos Sensores de tensão e corrente.

Com base em informações adquiridas no site da CRESESB chegamos à definição da direção e do ângulo com maior aproveitamento anual que seria utilizado no sistema fixo (Figura 10). A orientação definida foi para o Norte devido nossa localização estar abaixo da linha do equador, e foi determinada a inclinação de 18° , devido a sua média de geração anual ser a melhor possível.

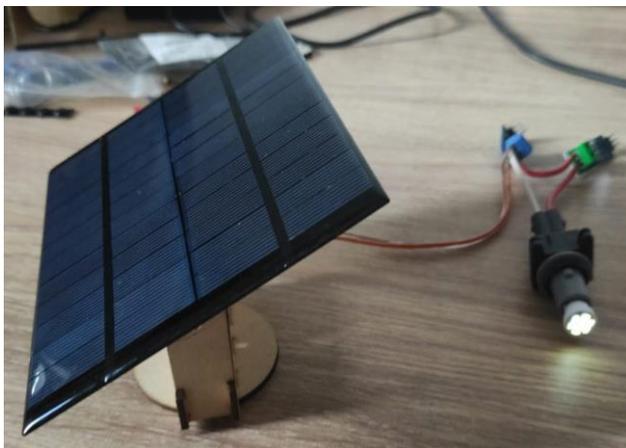


Figura 10. Modelo de obtenção fixo.

Todas as conexões do projeto foram feitas com a utilização de uma protoboard, que facilitou a conexão entre todos os componentes para a execução de testes no processo de montagem. A placa Arduino utilizada foi a Mega ADK, devido ao seu processador possuir uma maior taxa de processamento e também devido a sua maior disponibilidade de portas, visto que o projeto utiliza uma grande quantidade de componentes.

Foram instalados 2 servos motores para se obter a movimentação do modelo em dois eixos, tanto verticalmente como horizontalmente. Os valores coletados de luminosidade pelos LDR são enviados para a placa Arduino, que retorna o comando para os dois servos motores, que modulam o sistema fazendo com que o modelo com rastreamento (Figura 11) sempre busque a posição com maior captação de luz.

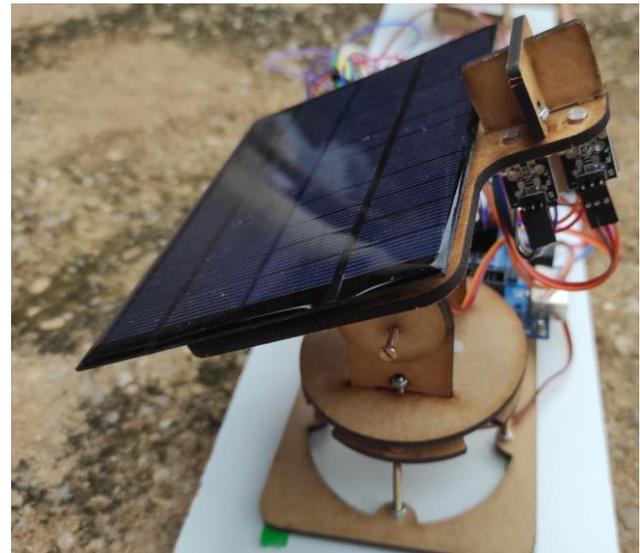


Figura 11. Modelo com seguidor.

Devido os módulos solares (Figura 12) não gerarem a quantidade necessária de energia para o funcionamento do Arduino e dos servos motores, foi utilizado uma fonte de 12V para manter energizado o Arduino e seus componentes.

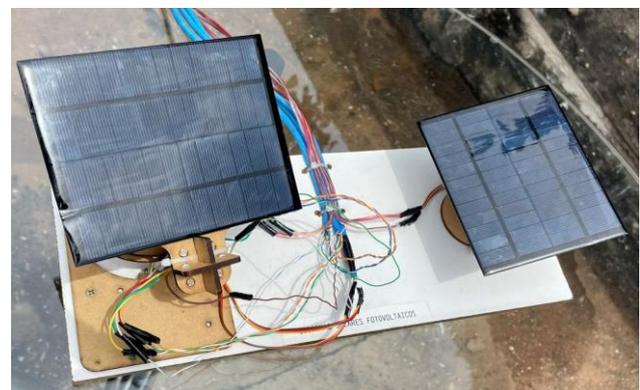


Figura 12. Sistemas fotovoltaicos.

A central de controle (Figura 13) foi montada separada dos sistemas fotovoltaicos, deixando o Arduino fora de riscos decorrentes do sol e da chuva, e assim facilitar a operação do sistema possibilitando uma maior quantidade de horas seguidas de testes.

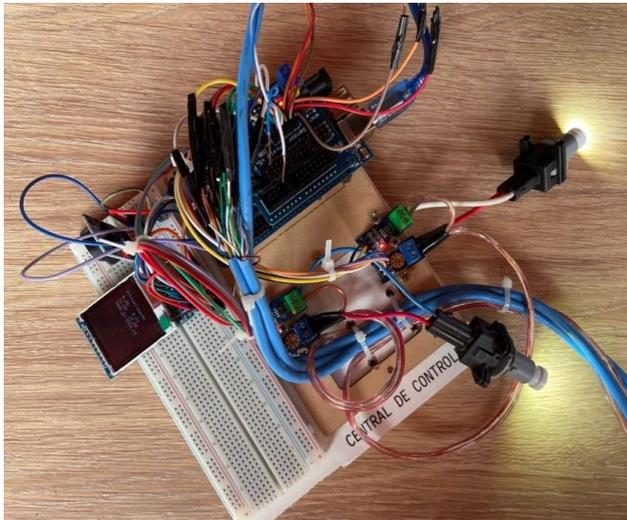


Figura 13. Central de Controle.

A metodologia para o cálculo da energia gerada por cada sistema foi feita com base nos valores fornecidos pelos sensores de tensão instalados em cada sistema, os sensores Acs712 ficaram encarregados de registrar a corrente.

Para o cálculo da potência gerada em cada placa solar foi feita a coleta das leituras de tensão e de corrente em ambos os modelos simultaneamente, e então efetuado o cálculo por meio da Equação 1:

$$I = \sigma T^4 = 6,33 \times 10^7 \text{ W/m}^2 \quad (1)$$

em que: I = Irradiação; $\sigma = 5,670400 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \times \text{K}^4$ como a constante de Stefan – Boltzmann; T = Temperatura.

O display LCD (Figura 14) foi configurado para exibir os valores de tensão, corrente e o somatório das potências calculadas a cada segundo, para a obtenção dos

valores de geração em Watts/hora de ambos os sistemas em tempo real.



Figura 14. Display com as informações de tensão e corrente.

Para o registro dos dados gerados pelo sistema, optou-se por registrar a temperatura ambiente, tensão, corrente, valores LDR's, posição dos servos e a potência calculada. As potências de ambos sistemas foram registradas a cada segundo, formando o somatório das mesmas em cada hora de operação, fornecendo a totalização das potências de hora em hora.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram feitos os testes de todos os componentes de ambos os modelos, verificando se havia algum componente com falha em sua operação. Foram realizados vários testes do algoritmo associado aos componentes e assim observar se a medição das potências e do rastreamento solar estariam funcionando normalmente.

Para a obtenção de dados sobre a irradiação solar da cidade de Goianésia-GO), foi feita uma busca no banco de dados da CRESESB⁵ (Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), o Quadro 1 contém as médias da irradiação solar mensal diária em kWh/m² de todos os meses do ano.

Na Figura 15 é possível observar que a taxa de irradiação varia durante o ano todo, fazendo com que a orientação dos módulos solares sempre fique para o Norte, devido a nossa região se encontrar abaixo da linha do

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,35	5,59	5,19	5,16	4,94	4,70	4,86	5,70	5,58	5,51	5,19	5,36	5,26	1,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	15° N	4,98	5,38	5,24	5,54	5,64	5,55	5,66	6,33	5,78	5,38	4,87	4,93	5,44	1,46
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	18° N	4,88	5,30	5,22	5,58	5,74	5,68	5,79	6,42	5,78	5,32	4,78	4,82	5,44	1,64
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	6° N	5,23	5,54	5,24	5,34	5,25	6,07	5,22	5,99	5,69	5,49	5,09	5,21	5,36	,92

Quadro 1. Irradiação solar diária média mensal - estação Goianésia – Município Goianésia, GO-BRASIL⁵

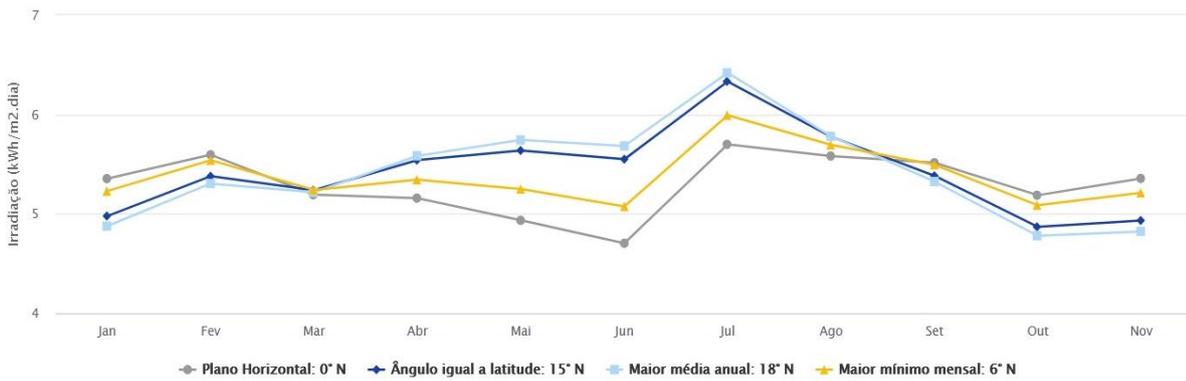


Figura 15. Irradiação Solar no Plano Inclinado - estação Goianesia – Município Goianésia, GO-BRASIL⁵

equador.

Os testes de captação iniciaram no dia 04 de fevereiro de 2022 às 05:00, os resultados da geração de energia são apresentados na Figura 16. A geração de energia se iniciou às 06h, se manteve igual em ambos os sistemas até às 07h. A partir desse horário o sistema com seguidor se beneficiou da posição voltada para o nascer do Sol para melhorar sua eficiência comparado com o sistema fixo. O sistema com seguidor seguiu com uma maior geração de energia até às 12h, quando os dois sistemas mantiveram os mesmos níveis de geração novamente. Ficou perceptível que houve uma diferença considerável entre os sistemas a partir das 16h, quando o sistema com seguidor começa a se privilegiar da movimentação e assim aumentar a eficiência em sua geração. A geração de energia teve fim às 19h e o modelo seguiu em funcionamento até as 20h, as temperaturas mínimas e máximas registradas durante o dia foram de 21,5 °C e de 38,5 °C.

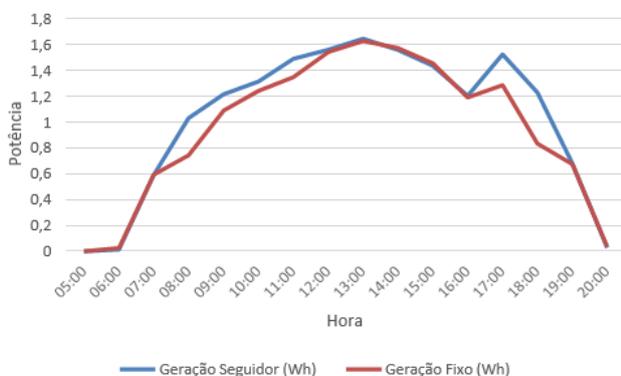


Figura 16. Geração de Energia dia 04/02 em função do tempo pelos sistemas.

Medição	Módulo rastreador	Módulo fixo
Média da Potência Dia (Wh)	1,27	1,17
Ganho em Potência (%)	8,54%	
Potência Total Dia (W)	16,56	15,27

Tabela 1. Tabela de Geração em (Wh) dos sistemas no dia 04/02.

O fator temperatura e o baixo fluxo de ar tem uma influência negativa sobre a tensão e no rendimento dos painéis solares, acredita-se que os dados publicados da geração de energia em dias com temperaturas elevadas, são insuficientes para apoiar o uso de temperaturas ambientes para determinação do real desempenho dos sistemas⁶.

Dados capturados no dia 05 de fevereiro (Figura 17), a geração foi satisfatória na parte da manhã e após as 12h a geração sofre uma queda considerável, este dia foi o de menor geração em comparação com os outros dias de teste, as temperaturas mínimas e máximas registradas durante o dia foram de 23,75 °C e de 33,8 °C.

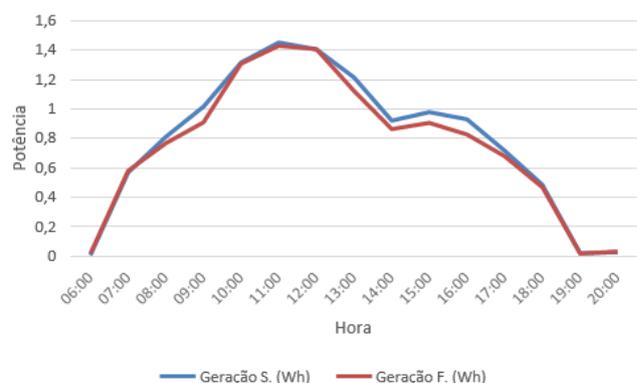


Figura 17. Geração de Energia dia 05/02 em função do tempo pelos sistemas.

Medição	Módulo rastreador	Módulo fixo
Média da Potência Dia (Wh)	0,99	0,94
Ganho em Potência (%)	4,8	
Potência Total Dia (W)	11,89	11,36

Tabela 2. Tabela de geração em (Wh) dos sistemas no dia 05/02.

Foram iniciados os testes do dia 06/02/2022 às 05:00 novamente, seguindo os mesmos procedimentos utilizados nos primeiros dias de teste. A Figura 18 de geração seguiu o mesmo padrão dos dias anteriores, com a geração se iniciando as 06h. O rendimento do dia foi superior ao calculado ao dia 05/02, chegando ao rendimento de 7,54% comparado com o sistema fixo. As temperaturas do dia 06, mínima 23,25 °C e máximo de 30,25 °C.

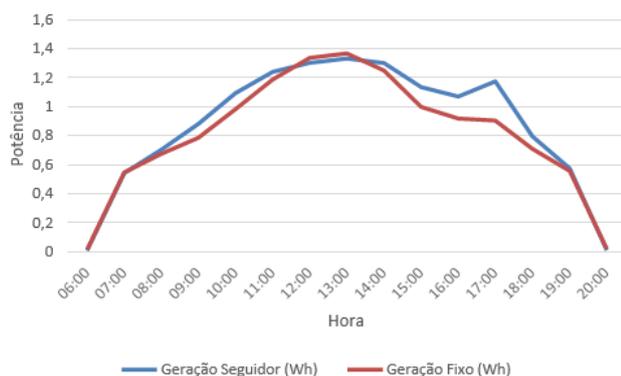


Figura 18. Geração de Energia dia 06/02 em função do tempo pelos sistemas.

Medição	Módulo rastreador	Módulo Fixo
Média da Potência Dia (Wh)	1,01	0,94
Ganho em Potência (%)	7,54	
Potência Total Dia (W)	13,18	12,27

Tabela 3. Tabela de geração em (Wh) dos sistemas no dia 06/02.

Pode ser observado na Tabela 4 que o modelo com rastreamento no período em que foi realizado os testes pouco utilizou a movimentação horizontal. A utilização em dois eixos talvez seria mais viável se projetada para objetos em movimento, como carros ou navios.

Sistema Fotovoltaico	Média Geração Diária (W)	Geração Mês (W)
Fixo	12,96	388,98
Seguidor	13,87	416,28

Tabela 4. Tabela de estimativa de geração média nos dias de teste.

Estimando uma média dos dias de análise, o sistema fotovoltaico com seguidor ganharia uma vantagem teoricamente de 6,96 % de eficiência, comparado com o sistema fixo, totalizando no mês uma diferença de 27,3 W de potência. Caso os mesmos valores fossem comparados com uma placa fotovoltaica de 400 W, a diferença seria de 5,4 kW/mês. Garantindo uma economia de 5 reais, considerando o preço do kW de 0,925 reais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A estrutura mecânica montada do sistema fotovoltaico fixo, embora seja simples foi projetada seguindo a orientação e ângulos que forneceriam a melhor eficiência durante o ano e funcionou de acordo com os critérios adotados na elaboração do projeto.

O que pôde ser concluído mediante a observação do funcionamento do sistema fotovoltaico com rastreamento, é que mesmo com um baixo custo de montagem tanto na parte estrutural quanto na eletrônica, foi possível um funcionamento adequado mesmo em dias nublados onde ocorria apenas radiação difusa, oferecendo bons resultados na sua geração de energia. Foi feito o acompanhamento durante o dia, e sempre que existia um valor significativo de radiação direta o sistema fez o acompanhamento do sol de acordo com o esperado, e se mantinha imóvel quando existia apenas a radiação difusa igualando sua geração com o sistema fixo, obtendo percas mínimas no seu desempenho.

Foi realizado a captação dos dados de geração e funcionamento de todos os dispositivos durante todo o período de testes, optamos por registrar os valores das potências geradas a cada segundo, fechando o somatório a cada hora para mensurar a geração mais próxima do real de cada sistema.

Após todos os testes realizados, já com todos os dados de geração de ambos os modelos foi constatado uma melhor eficiência do modelo com rastreamento comparado com o sistema fixo tradicional, com essa estimativa de rendimento girando em torno de 6%, vale ressaltar que o sistema fixo foi montado seguindo as melhores condições possíveis de inclinação e orientação para sua eficiência, o que levando em consideração com uma residência normal, tais parâmetros nem sempre serão possíveis.

Para trabalhos futuros e cabíveis testes com um sistema de movimentação em apenas 1 eixo, verificando a eficiência do mesmo comparado com um sistema de movimentação em dois eixos, verificando se o investimento é viável, buscar fazer os testes por longos períodos de tempo afim de melhorar a qualidade dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. **REIS, L. B.** dos, Geração de energia elétrica. 3 ed. São Paulo: Manole, 2017.
2. **NETO, R. M. B.; CARVALHO, P.**, Geração de Energia Elétrica – Fundamentos. 1 ed. São Paulo: Érica, 2012.
3. **VIAN, Â.**, Energia Solar. 1 ed. São Paulo: Blücher, 2021.
4. **PHILIPPI, A; REIS, L. B.**, Energia e Sustentabilidade. 1 ed. São Paulo: Manole, 2016.
5. **POTENCIAL SOLAR, CRESESB**, 2014. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_20304>. Acesso em: 05, fev. 2022.
6. **BALFOUR, J.**, Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos. 1 ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016.