

SISTEMA FOTOVOLTAICO COM SEGUIDOR SOLAR
PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH SOLAR TRACKER

Bruno Fernandes – brunofrnands@outlook.com

Daniel Moreira Amorim – danielmoreira23@hotmail.com

Mateus Calixto de Oliveira – mateus.calixto1111@gmail.com

Victor Hugo Messiano – hugomessiano@gmail.com

Etec Profª Anna de Oliveira Ferraz – Araraquara – São Paulo – Brasil

Profº MSc. Edgar Bergo Coroa – edgar.coroa@etec.sp.gov.br

Profº Donizeti Roberto Pereira - donizete.pereira@etec.sp.gov.br

Etec Profª Anna de Oliveira Ferraz – Araraquara – São Paulo – Brasil

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso aborda o estudo e a aplicação de sistemas fotovoltaicos com seguidor solar (*tracker*), tecnologia que tem se destacado como uma das principais inovações no setor de energia solar. O crescente uso da energia fotovoltaica no Brasil e no mundo exige soluções capazes de maximizar a eficiência dos módulos, reduzindo custos por quilowatt-hora gerado e otimizando o aproveitamento da radiação solar disponível. Nesse contexto, o rastreador solar surge como alternativa eficaz para ampliar a produção energética em comparação aos sistemas fixos tradicionais. O seguidor solar consiste em um dispositivo mecânico e eletrônico capaz de ajustar continuamente a posição dos painéis ao longo do dia, acompanhando a trajetória do sol. Esse movimento reduz o ângulo de incidência da radiação direta sobre os módulos, aumentando a captação de energia. Estudos demonstram que o uso de *trackers* pode elevar a geração entre 25% e 45%, dependendo da localização geográfica e das condições climáticas, com ganhos ainda mais expressivos em horários de baixa insolação e durante o verão. Apesar do custo inicial mais elevado e da necessidade de manutenção preventiva devido às partes móveis, o investimento tende a ser compensado pela maior produção de energia e pela possibilidade de reduzir a quantidade de módulos necessários em uma instalação. Além disso, a aplicação de seguidores é especialmente indicada em usinas solares de médio e grande porte, onde o aumento da eficiência energética representa significativa redução no custo final da eletricidade. Assim, o presente trabalho analisa as vantagens, limitações e perspectivas do uso de sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar como solução tecnológica para maior eficiência e sustentabilidade na matriz energética.

Palavras-chave: Energia solar. Sistema fotovoltaico. Seguidor solar. Eficiência. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This Final Paper addresses the study and application of photovoltaic systems with solar trackers, a technology that has emerged as one of the main innovations in the solar energy sector. The growing adoption of photovoltaic generation in Brazil and worldwide requires solutions that maximize module efficiency, reduce the cost per kilowatt-hour, and optimize the use of available solar radiation. In this context, solar tracking systems arise as an effective alternative to increase energy production when compared to conventional fixed installations. A solar tracker is a mechanical and electronic device capable of continuously adjusting the position of the panels throughout the day, following the sun's path. This movement reduces the angle of incidence of direct radiation on the modules, thus increasing energy capture. Studies indicate that trackers can raise generation levels by 25% to 45%, depending on geographic location and climatic conditions, with even greater gains during periods of lower solar incidence and in summer months. Although trackers require a higher initial investment and preventive maintenance due to moving parts, this cost is often compensated by the significant increase in energy generation and the reduction in the number of modules required in a project. Moreover, their application is particularly advantageous in medium and large-scale solar plants, where efficiency improvements translate directly into lower electricity costs. Therefore, this study analyzes the advantages, limitations, and prospects of photovoltaic systems with solar tracking, highlighting their role as a technological solution for greater efficiency and sustainability in the energy matrix.

Keywords: *Solar energy. Photovoltaic system. Solar tracker. Efficiency. Sustainability.*

1. INTRODUÇÃO

É comum ter dúvida sobre sistemas fotovoltaico, qual demanda e carga necessitam, o que compensa ou gera mais energia e sistemas *off-grid* (sem ligação convencional a rede elétrica). E nesse artigo foi apresentado uma tecnologia que vem crescendo conhecida como rastreador solar ou *tracker* solar.

Sendo assim, para começar a produzir energia limpa e renovável, foi reunido através desse estudo todas as informações e as possibilidades que variam de acordo com a necessidade de uma residência, estabelecimento comercial ou indústria.

Embora haja amplo debate no Brasil sobre os avanços tecnológicos, a diminuição de custos e os incentivos à energia solar fotovoltaica, essa alternativa energética ainda não é acessível para grande parte da população. Mesmo com o elevado potencial do país para a produção de energia solar, os estímulos para sua adoção permanecem limitados, especialmente se considerados os benefícios, como a redução dos impactos ambientais e a economia nas contas de eletricidade.

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diversos fatores ainda impedem a popularização dos Sistemas Fotovoltaicos (Fig.1), incluindo questões tecnológicas, políticas, econômicas e culturais, fazendo com que essa fonte de energia não seja uma prioridade de investimento entre as opções atuais, tanto pelo governo quanto pela sociedade brasileira. Diante disso, torna-se essencial promover mudanças nesse cenário, permitindo que as próximas gerações usufruam dos benefícios de fontes de energia limpas e sustentáveis, contribuindo para a preservação do meio ambiente. (FRANCO, 2013).

Figura 1 - Sistema Fotovoltaico



Fonte: Petronoticias.com.br, (2025).

Atualmente, a energia fotovoltaica ainda não atingiu plena maturidade no mercado brasileiro, e a população provavelmente precisará aguardar várias décadas antes de ter acesso generalizado a essa fonte de energia.

Conforme Maurício et al. (2014), ao avaliar a adoção de seguidores solares, é

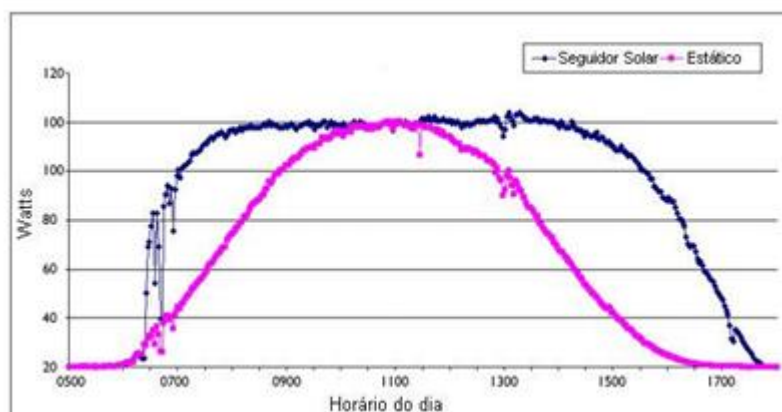
Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

necessário considerar o local de instalação, a disponibilidade de radiação solar e os custos e a acessibilidade dos equipamentos. No Brasil, os fatores mais determinantes para o uso desses dispositivos são justamente o custo e a disponibilidade, devido à escassez de fornecedores nacionais e à dependência de importações. Existe capacidade técnica no país para desenvolver esse tipo de equipamento sem depender da importação de estruturas, componentes e até tecnologias de produtos já estabelecidos no mercado internacional.

Historicamente, a adoção e substituição das fontes de energia ocorreram de maneira cíclica, não em função do esgotamento das fontes existentes, mas pelo surgimento de novas alternativas que ofereciam benefícios econômicos, ambientais e técnicos, proporcionando maior eficiência na conversão de energia, além de facilitar o uso e o transporte. A energia hidráulica, por exemplo, tem sido utilizada há mais de 2.000 anos e permaneceu como a única fonte estacionária significativa na Europa até o século XII.

A utilização do sistema com seguidor contém enormes ganhos de geração ao sistema convencional, sendo melhor aproveitado apesar do custo elevado no começo por causa da tecnologia (FARICELLI, 2008).

Figura 2 - Sistemas Fotovoltaico com seguidor em comparação.



Fonte: solartrax.com, (2006).

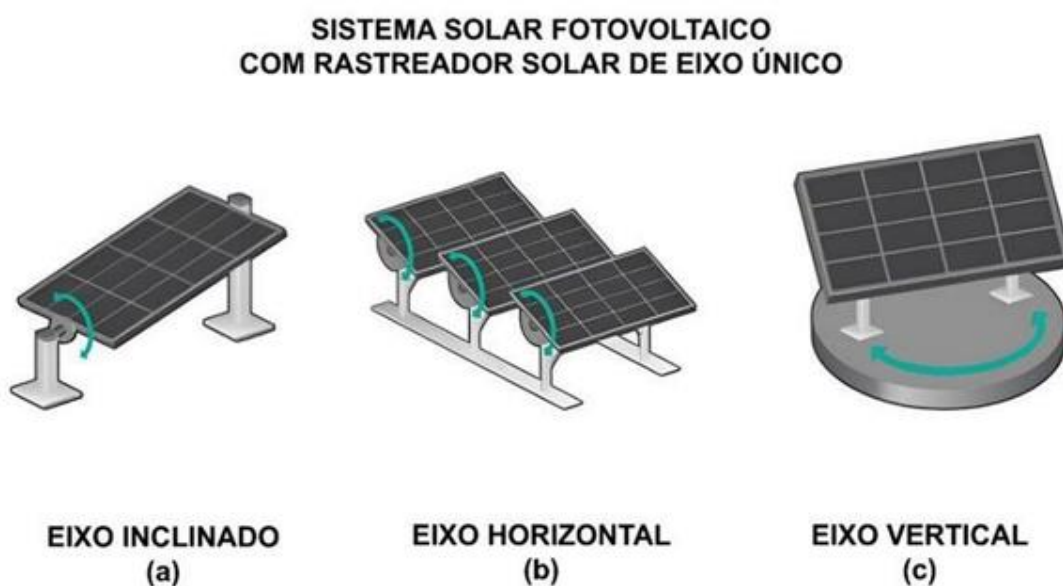
A utilização da energia solar tem se consolidado como uma fonte limpa e renovável, capaz de reduzir impactos ambientais e gerar economia. Essa tendência faz com que sua aplicação cresça constantemente e tenha grande potencial de se tornar essencial no cenário energético mundial. Geralmente, a captação ocorre por meio de painéis fixos, mas para ampliar a eficiência surgem os sistemas rastreadores, que ajustam a posição das placas de

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

acordo com o movimento do sol. Dessa forma, as células fotovoltaicas recebem maior incidência de radiação, o que resulta em um aumento significativo na produção de eletricidade.

Conforme Ademir Nacazone (2023), as futuras gerações tendem a terem painéis tanto moveis quanto fixos, sendo utilizado de maneira mais ampla sua geração e buscando mais tecnologias para melhores aproveitamento da incidência solar nas placas e com a tecnologia de rastreador solar vem se consolidando, as gerações tendem a esse processo de automatização.

Figura 3 - Sistemas Fotovoltaico com diferentes seguidores.



Fonte: researchgate.net, (2020).

O sol constitui uma fonte de energia limpa e renovável. Sua utilização pela humanidade tem aumentado continuamente por meio de diferentes métodos de aproveitamento da energia solar, incluindo coletores solares, secadores, estufas, fornos de alta temperatura com concentradores ópticos, sistemas de conversão fotovoltaica, bombeamento e dessalinização de água, além de refrigeração, entre outras aplicações desenvolvidas por pesquisadores. A instalação de sistemas fotovoltaicos, tanto autônomos quanto conectados à rede elétrica, tem se expandido em todos os continentes, com destaque para a Europa, que se sobressai na implementação de grandes centrais de geração solar.

Maurício Madeira (2008) fala que para se ter um bom aproveitamento da energia, é

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

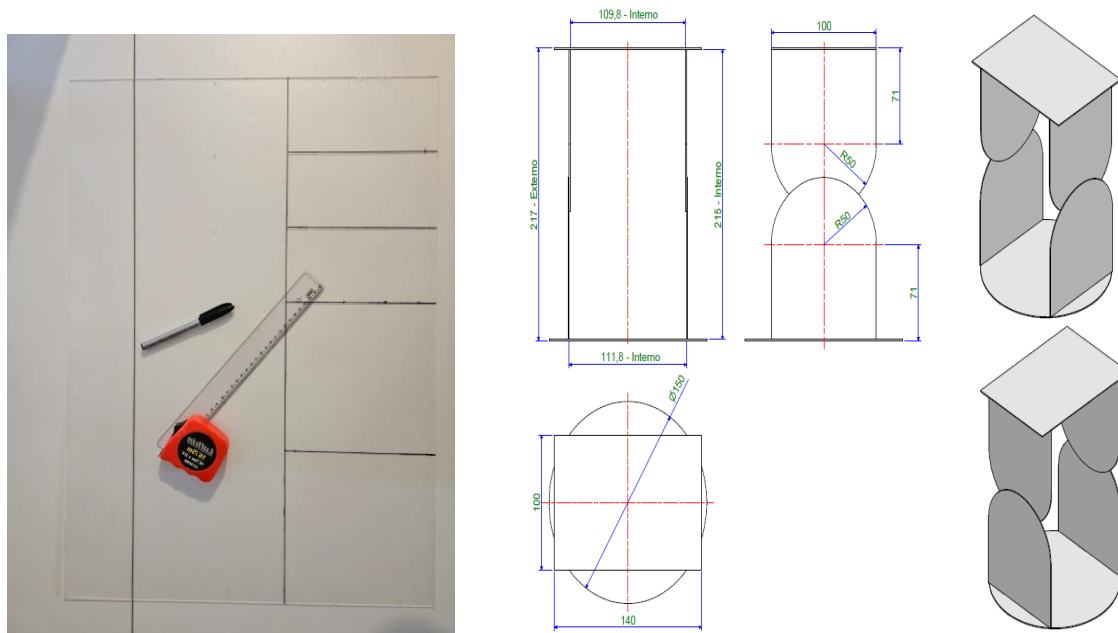
necessário entender um pouco sobre a angulação de sistema, que o investimento é alto no começo, mas que rende muito mais que qualquer sistema fixo e suas manutenções podem ser feitas pelo próprio proprietário, ou terceirizando, mas ainda sim a geração a mais acaba compensando os custos.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A construção do protótipo do sistema fotovoltaico com seguidor solar foi realizada em etapas sequenciais, visando garantir a precisão na montagem e o correto funcionamento do conjunto. A metodologia adotada dividiu o processo em fases de construção da estrutura, integração dos componentes eletromecânicos e realização de testes de validação.

Inicialmente, procedeu-se ao dimensionamento e corte das placas de acrílico que compõem a base e a estrutura de suporte do painel solar. As peças foram cortadas nas dimensões especificadas no projeto (Fig.4) e, em seguida, submetidas a um processo de lixamento manual para garantir o acabamento adequado das arestas e a segurança no manuseio.

Figura 4 – Projeto e traçagem no acrílico,



Fonte: Autores, (2025).

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

A segunda etapa consistiu na união das peças de acrílico. Utilizou-se uma cola específica para acrílico (S320), que promove a fusão química das partes, assegurando uma ligação estruturalmente resistente e durável. A montagem foi realizada com o auxílio de esquadros para garantir o alinhamento preciso dos componentes.

Figura 5 - Sistema Fotovoltaico



Fonte: Autores, (2025).

A terceira fase, foram realizadas as furações na base e nas arestas laterais da estrutura. Esses furos foram projetados para a fixação do sistema de movimentação, incluindo o servo motor, e para a passagem dos cabos elétricos. A precisão nesta fase foi fundamental para o correto acoplamento do sistema motor, que é responsável pelo movimento de seguimento solar do painel (Fig.6).

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

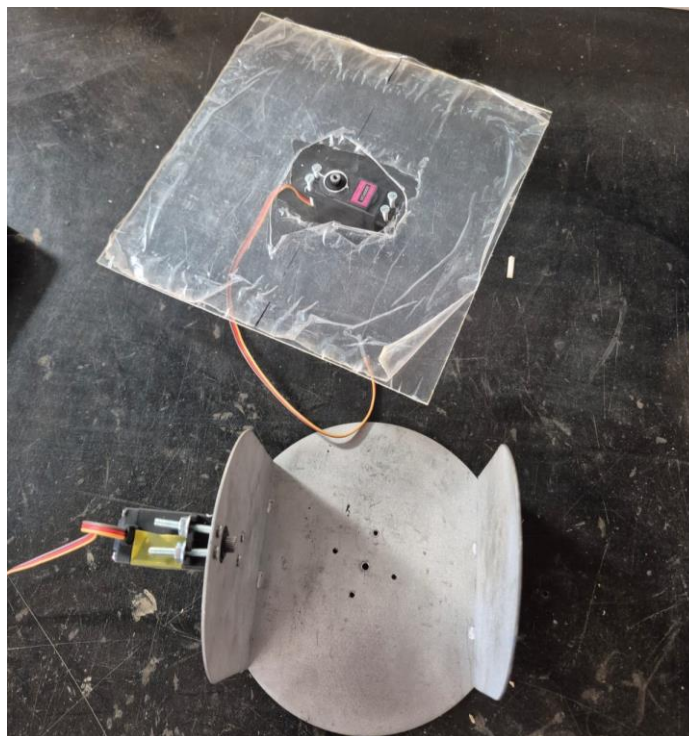
Figura 6 - Sistema Fotovoltaico



Fonte: Autores, (2025).

A quarta fase envolveu a integração do sistema motor. Os servos motores foram acoplados à estrutura de suporte do painel, e seu eixo foi conectado de forma a permitir o movimento de rotação da base e Leste-Oeste, conforme o projeto (Fig.7).

Figura 7 - Sistema Fotovoltaico



Fonte: Autores, (2025).

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

Na sequência, realizou-se a montagem dos componentes eletrônicos. O painel fotovoltaico foi fixado na plataforma móvel. O circuito de controle, composto pelo microcontrolador ESP32 e pelos sensores de luminosidade (LDRs), foi conectado ao servo motor e à fonte de alimentação. Os LDRs foram posicionados estrategicamente nas extremidades da placa para detectar a direção de maior incidência de luz solar (Fig.8).

Figura 8 - Sistema Fotovoltaico

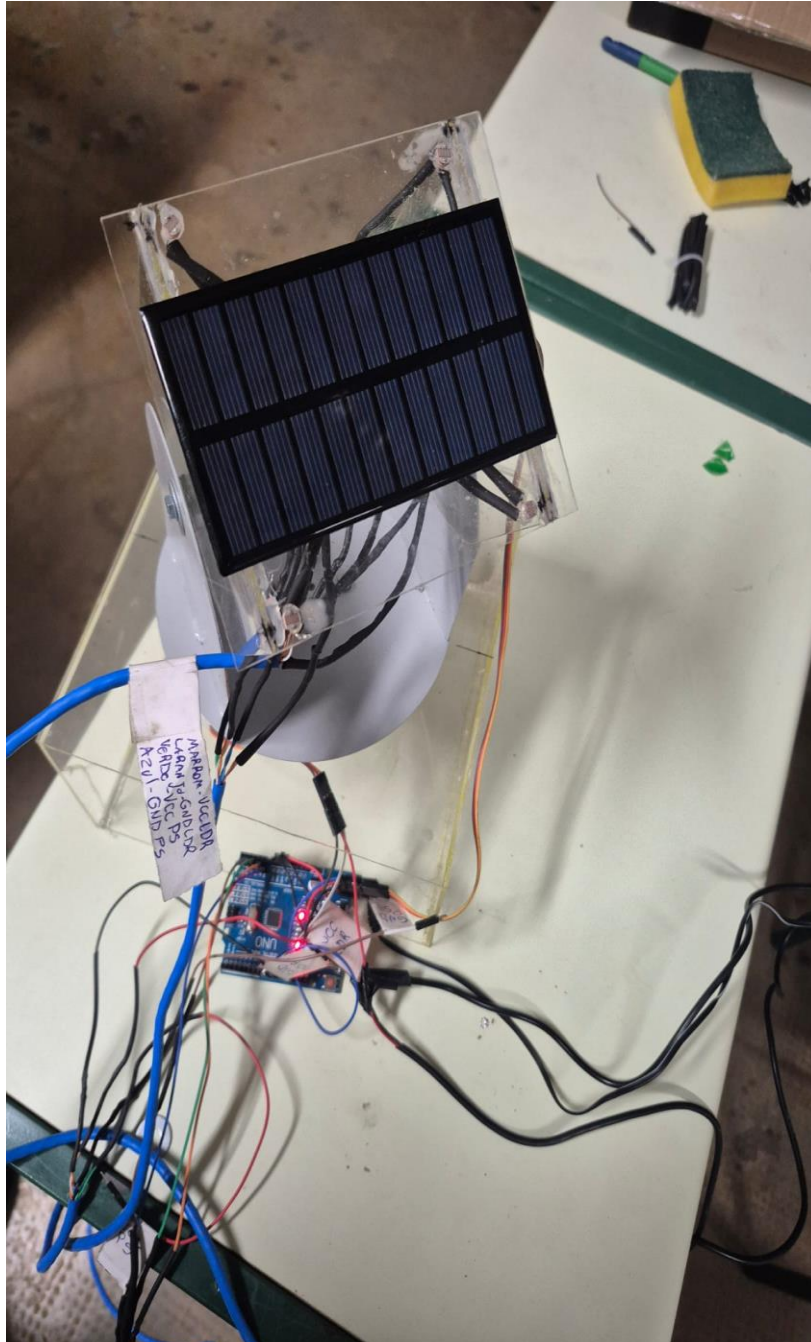


Fonte: Autores, (2025).

Finalmente, o protótipo foi submetido a testes gerais de funcionamento. Verificou-se a resposta do sistema à variação de luminosidade, a precisão do movimento do servo motor e a capacidade de geração de energia do painel fotovoltaico em diferentes ângulos de incidência solar. Os testes foram realizados tanto com fontes de luz artificial em ambiente controlado quanto sob luz solar direta para validar a eficácia do seguidor solar.

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

Figura 9 - Sistema Fotovoltaico



Fonte: Autores, (2025).

Foi utilizado inteligência artificial para a programação base, nós orientando para um norte e foi ajustado conforme necessidade de utilização, sendo necessário horas de testes e ajustes com luzes artificiais, flash e própria incidência solar, abaixo toda a parte logica e de programação.

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

```
#include <Servo.h>

// ===== Pinos =====
const int PIN_SERVO_H = 9; // servo
horizontal (base, azimuth)
const int PIN_SERVO_V = 10; // servo
vertical (topo, elevação)
// Organização dos LDRs
const int LDR_NW = A0; // Esquerda
Superior (NW - NorthWest)
const int LDR_SW = A1; // Esquerda
Inferior (SW - SouthWest)
const int LDR_NE = A2; // Direita
Superior (NE - NorthEast)
const int LDR_SE = A3; // Direita Inferior
(SE - SouthEast)
// ===== Limites dos Servos =====
int servoh = 42;
const int H_LIMIT_LOW = 45;
const int H_LIMIT_HIGH = 270;
int servov = 65;
const int V_LIMIT_LOW = 45;
const int V_LIMIT_HIGH = 90;
// ===== Parâmetros de Controle
=====
const int N_AVG = 17;
const int DIV_PROP_H = 20;
const int STEP_MAX_H = 3;
const int DIV_PROP_V = 20;
const int STEP_MAX_V = 2;
const int dtme = 20;
// ===== Variáveis de Filtro =====
int avg_NW = 0, avg_SW = 0, avg_NE =
0, avg_SE = 0;
Servo servoH, servoV;
int clamp(int x, int lo, int hi) {
  if (x < lo) return lo;
  if (x > hi) return hi;
  return x;
}
int ema(int prev, int sample) {
  return prev + (sample - prev) / N_AVG;
}
void moveHorizontal(int dh) {
  int step = dh / DIV_PROP_H;
  step = clamp(step, -STEP_MAX_H,
STEP_MAX_H);
```

```
servoh = clamp(servoh - step,
H_LIMIT_LOW, H_LIMIT_HIGH);
servoH.write(servoh);
}
void moveVertical(int dv) {
  int step = dv / DIV_PROP_V;
  step = clamp(step, -STEP_MAX_V,
STEP_MAX_V);
  servov = clamp(servov + step,
V_LIMIT_LOW, V_LIMIT_HIGH);
  servoV.write(servov);
}
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  servoH.attach(PIN_SERVO_H);
  servoV.attach(PIN_SERVO_V);
  servoh = (H_LIMIT_HIGH +
H_LIMIT_LOW) / 2;
  servov = (V_LIMIT_HIGH +
V_LIMIT_LOW) / 2;
  servoH.write(servoh);
  servoV.write(servov);
  delay(500);
  // Carrega o filtro com valores iniciais dos
LDRs
  avg_NW = analogRead(LDR_NW);
  avg_SW = analogRead(LDR_SW);
  avg_NE = analogRead(LDR_NE);
  avg_SE = analogRead(LDR_SE);
  Serial.println("Rastreador Solar Dual-
Axis - LDRs ajustados por quadrante");
}
void loop() {
  // Leituras individuais de cada quadrante
  int ldr_nw = analogRead(LDR_NW);
  int ldr_sw = analogRead(LDR_SW);
  int ldr_ne = analogRead(LDR_NE);
  int ldr_se = analogRead(LDR_SE);
  avg_NW = ema(avg_NW, ldr_nw);
  avg_SW = ema(avg_SW, ldr_sw);
  avg_NE = ema(avg_NE, ldr_ne);
  avg_SE = ema(avg_SE, ldr_se);
  // Médias para direções (superior, inferior,
esquerda, direita)
  int mediaSuperior = (avg_NW + avg_NE)
/ 2;
  int mediaInferior = (avg_SW + avg_SE) /
```

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

```
2;  
int mediaEsquerda = (avg_NW +  
avg_SW) / 2;  
int mediaDireita = (avg_NE + avg_SE) /  
2;  
// Erros: diferença de luz entre regiões  
(ajuste sinal conforme montagem do  
painel)  
int dvert = mediaSuperior -  
mediaInferior; // + --> subir painel  
int dhoriz = mediaEsquerda -  
mediaDireita; // + --> girar para esquerda  
moveVertical(dvert);  
moveHorizontal(dhoriz);  
// Debug Serial  
Serial.print("NW:");  
Serial.print(avg_NW);  
Serial.print(" SW:");  
Serial.print(avg_SW);  
Serial.print(" NE:");  
Serial.print(avg_NE);  
Serial.print(" SE:"); Serial.print(avg_SE);  
Serial.print(" | dV:"); Serial.print(dvert);  
Serial.print(" dH:"); Serial.print(dhoriz);  
Serial.print(" | H:"); Serial.print(servoh);  
Serial.print(" V:"); Serial.print(servov);  
Serial.println();  
  
delay(dtime);  
}
```

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

3.1. Tabela de Custos

A tabela apresentada a seguir contém os custos dos principais materiais utilizados para a reforma e manutenção do Sistema fotovoltaico. Cada item foi listado com a sua quantidade necessária e o valor correspondente. Através dessa tabela, pode-se entender melhor como os custos dos materiais afetam o custo total do serviço e como cada item contribui para a produção de um trabalho de qualidade (Tab. 1).

Tabela 1 – Custos do desenvolvimento do protótipo

Componentes	Quantidade	Valor
Painel Solar 6v 1w	1	R\$ 24,90
Cabo Dupont	120	R\$ 16,56
Servo 360	1	R\$ 34,18
Servo 180	1	R\$ 22,78
SPE32	1	R\$ 18,11
Resistor 1k	4	R\$ 6,00
Sensor LDR	4	R\$ 12,77
Cola S320	1	R\$ 42,93
Placa Acrilica 50x70x2mm	1	R\$ 68,74
Placa reguladora de ten- são	1	R\$ 27,98
Bateria Recarregável	1	R\$ 20,38
Chapa inox 1mm	1	R\$ -
Total		R\$ 295,33

Fonte: Autores, (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a montagem e os testes do protótipo, os resultados obtidos demonstraram a eficácia do sistema de seguidor solar em comparação a um sistema fotovoltaico com estrutura fixa. A análise concentrou-se na medição da tensão e da corrente geradas pelo painel em ambas as configurações (fixa e com rastreamento) ao longo de um dia de ensaio.

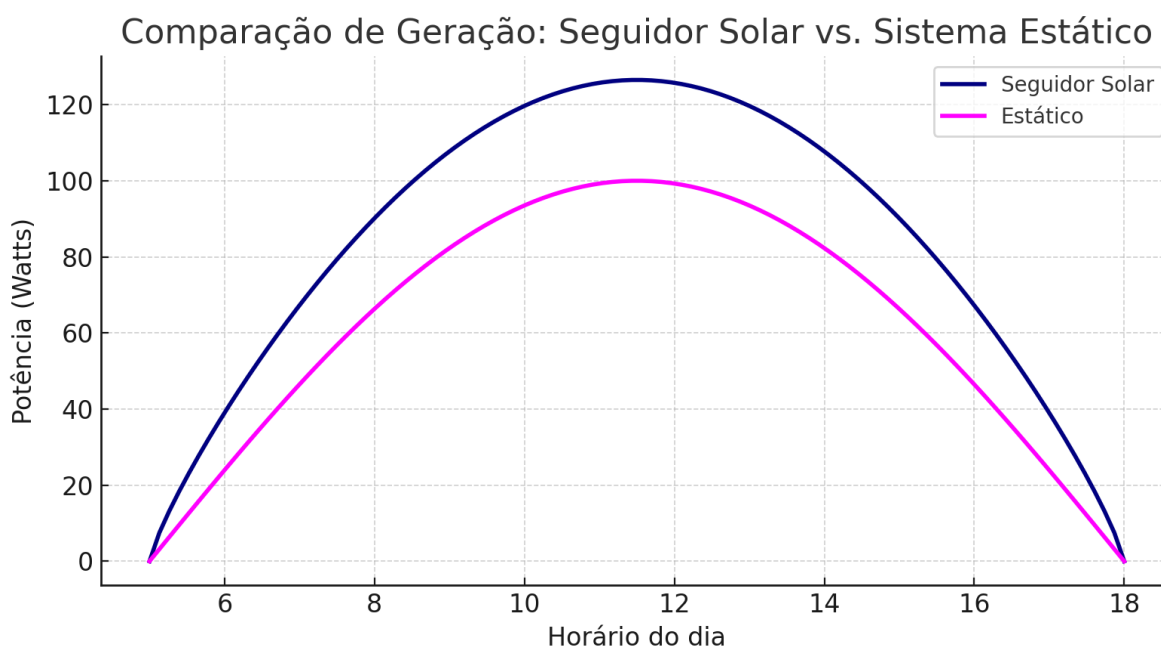
Para a coleta de dados, o protótipo foi posicionado em uma área externa com incidência solar direta. Realizaram-se medições em intervalos regulares, registrando a produção de energia. Os dados coletados permitiram a construção de um gráfico comparativo de

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

desempenho.

Observou-se que o sistema com seguidor solar apresentou um aumento significativo na geração de energia, principalmente nos períodos da manhã e do final da tarde. Nesses horários, o ângulo de incidência solar em um painel fixo é desfavorável, enquanto o seguidor solar ajusta o painel para uma posição perpendicular aos raios solares, maximizando a captação. A análise quantitativa revelou um ganho de eficiência energética médio de aproximadamente 35% ao longo do dia, valor que está de acordo com a literatura técnica, que aponta ganhos entre 25% e 45%.

Figura 10 – Nosso estudo em comparação



Fonte: Autores, (2025).

O desempenho superior do seguidor solar é explicado pela otimização do ângulo de incidência. Conforme a trajetória do sol muda, o sistema de controle, baseado nos sensores LDR, ajusta continuamente a posição do painel, garantindo que ele receba a máxima irradiância possível. Em contraste, o sistema fixo só atinge sua máxima eficiência quando o sol está em sua posição de pico (meio-dia solar), tendo sua performance reduzida nos demais horários.

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a análise de um protótipo de sistema fotovoltaico equipado com um seguidor solar de eixo único. O projeto foi concluído com sucesso, atingindo o objetivo principal de construir um dispositivo funcional capaz de otimizar a captação de energia solar através do rastreamento da posição do sol.

Os resultados obtidos nos testes práticos confirmaram a hipótese de que o uso de um seguidor solar aumenta significativamente a eficiência de um painel fotovoltaico em comparação com uma estrutura fixa. O ganho de performance observado valida a importância dessa tecnologia para o setor de energia solar, contribuindo para tornar a geração fotovoltaica mais competitiva e eficiente. A construção do protótipo também proporcionou um valioso aprendizado prático nas áreas de mecânica, eletrônica e programação.

Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de um seguidor de dois eixos para quantificar o ganho adicional de eficiência. Recomenda-se também a integração de um sistema de aquisição de dados automatizado para monitorar a geração de energia por longos períodos e em diferentes condições climáticas. Outra possibilidade seria o estudo de materiais alternativos para a estrutura, visando reduzir o custo e o peso do sistema, e o aprimoramento do algoritmo de controle para otimizar o consumo de energia do próprio motor. Nessa automatização futura podem ser utilizadas outras placas, como Arduino, outros modelos de ESP 32, Delta CLP, depende muita da familiarização do componente.

REFERÊNCIAS

ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR (CBENS). **Estudos sobre sistemas de rastreamento solar e eficiência fotovoltaica**. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2181/2168>. Acesso em: ago. 2025.

FARICELLI, Christian de Freitas. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de um sistema de rastreamento solar aplicado a painéis fotovoltaicos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/22e309a0-fefc-41f0-9dca-26b0d47ebdb/CHRISTIAN%20DE%20FREITAS%20FARICELLI%20PME08.pdf>. Acesso em: set. 2025.

Etec "Profª Anna de Oliveira Ferraz"

FRANCO, Maria de Fátima. **Análise de eficiência em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/14737>
. Acesso em: nov. 2025.

MAURÍCIO, Arthur de Almeida. **Análise de eficiência de sistemas fotovoltaicos com rastreador solar**. Belo Horizonte: Solenerg Energia Solar, 2013. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/wp-content/uploads/2013/02/TCC-Arthur.pdf>
. Acesso em: set. 2025.

PETRONOTÍCIAS. **Sistemas fotovoltaicos: funcionamento e aplicações no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://petronoticias.com.br/>
. Acesso em: nov. 2025.

RESEARCHGATE. **Comparativo entre diferentes sistemas fotovoltaicos com seguidores solares**. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/>
. Acesso em: set. 2025.

SOLARTRAX. **Sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar: desempenho e eficiência**. 2006. Disponível em: <https://www.solartrax.com/>
. Acesso em: set. 2025.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Engenharia Mecânica: **Sistemas fotovoltaicos**. São Paulo: USP, 2008. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art_TCC_040_2008.pdf
Acesso em: nov. 2025.