SISTEMA PARA ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC PANEL GENERATION ESTIMATION

Daniel César Oliveira Formiga, Guilherme de Araújo Feitosa, Guilherme Luna de Castro, Guilherme Rodrigues da Silva, Nathalia dos Santos Silva, Andrea Cristina dos Santos, Alexandre Shozo Onuki

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica
E-mail para contato: ns171023@alunos.unisanta.br

RESUMO – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema para a estimativa e o monitoramento da geração de energia de placas fotovoltaicas em instalações residenciais, considerando fatores como radiação solar e ângulo de inclinação. O protótipo proposto integra motores de passo, circuito de acionamento, microcontrolador ESP32, fazendo o ajuste dinâmico da inclinação do módulo e a coleta de dados. O sistema realiza a leitura de variáveis relacionadas à geração de energia e as armazena em um banco de dados, assim, permitindo a comparação entre os resultados reais e os estimados para uma análise de desempenho. O projeto também visa fornecer uma ferramenta para maior controle e planejamento energético, contribuindo para a segurança operacional frente à crescente inserção da geração distribuída no sistema elétrico brasileiro. A pesquisa se diferencia dos estudos anteriores ao focar no monitoramento da geração considerando as configurações diversas, tornando a solução mais adaptável a diferentes cenários e instalação e operação.

Palavras-chave**:** Energia Solar Fotovoltaica; Estimativa de Geração; Monitoramento; Geração Distribuída; Ângulo de inclinação.

ABSTRACT – This work presents the development of a system for the estimation and monitoring of energy generation from photovoltaic panels in residential installations, considering factors such as solar radiation and inclination angle. The proposed prototype integrates stepper motors, a drive circuit, and an ESP32 microcontroller, performing dynamic adjustment of the module's inclination and data collection. The system reads variables related to energy generation and stores them in a database, thus allowing the comparison between real and estimated results for a performance analysis. The project aims to provide a tool for greater control and energy planning, contributing to operational safety in the face of the growing integration of distributed generation into the Brazilian electrical system. The research differs from previous studies by focusing on

monitoring generation while considering diverse configurations, making the solution more adaptable to different installation and operational scenarios.

Keywords**:** Photovoltaic Solar Energy; Generation Estimation; Monitoring; Distributed Generation; Tilt Angle.

1 INTRODUÇÃO

A transição para fontes de energia sustentáveis tem se consolidado como uma prioridade global, impulsionada pela necessidade de mitigar os impactos ambientais e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Neste cenário, o Brasil se destaca por possuir uma matriz energética com elevada participação de fontes renováveis, que representam 49,1% do total. Dentre essas fontes, a energia solar fotovoltaica tem apresentado uma expansão notável, correspondendo a 22,2% de toda a matriz elétrica brasileira, vale destacar que tal crescimento é particularmente expressivo na geração distribuída, na qual o segmento residencial responde pela maior parcela do montante, com 79,68% dos sistemas.

Contudo, essa crescente inserção de fontes intermitentes na rede elétrica impõe desafios técnicos significativos. O sistema elétrico brasileiro foi originalmente projetado com base em um fluxo de potência unidirecional, predominantemente de grandes centrais hidrelétricas, o que moldou seus esquemas de proteção. A natureza dinâmica das unidades de geração distribuída, que alternam entre o consumo e a geração, provoca variações no fluxo de potência, podendo resultar em sobrecargas, perdas elétricas e, principalmente, em oscilações de tensões que afetam a qualidade da energia e a estabilidade da rede. A infraestrutura atual tem enfrentado dificuldades com as sobretensões geradas pela alta concentração de geração distribuída. A eficiência de um sistema fotovoltaico, por sua vez, está diretamente atrelada a fatores como radiação solar, temperatura e o ângulo de inclinação dos módulos.

A ausência de sistemas que realizem uma estimativa precisa da geração de energia compromete não apenas o dimensionamento adequado das instalações, mas também a segurança operacional da rede. Em resposta a essa demanda, estudos têm explorado soluções de monitoramento. Um exemplo relevante é o trabalho de Melo (2021), que propôs um sistema de baixo custo baseado em Internet das Coisas (IoT) para o monitoramento em tempo real de variáveis elétricas e meteorológicas em sistemas de micro e minigeração fotovoltaica. Embora tal estudo apresente similaridades, a presente pesquisa avança ao focar na estimativa da geração,

considerando especificamente os diferentes ângulos de inclinação dos módulos, buscando uma solução mais adaptável aos diversos cenários de instalação e operação.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema para estimativa de geração de placas fotovoltaicas, que possibilite o monitoramento contínuo da produção de energia em instalações residenciais, realizando a leitura e o armazenamento de dados sob diversas configurações. Para alcançar este propósito, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um equipamento capaz de monitorar a geração de energia em placas fotovoltaicas, considerando a radiação solar, o ângulo de inclinação e as dimensões do módulo;
- Criar um aplicativo dedicado ao armazenamento dos dados coletados pelo equipamento;
- Implementar uma Interface Homem-Máquina (IHM) para a visualização dos dados obtidos;
- Realizar levantamento da precisão das estimativas de geração realizadas pelo sistema desenvolvido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida para fins experimentais, visando validar um sistema para a estimativa de geração fotovoltaica. A metodologia adotada abrangeu o projeto e a construção de um protótipo de base móvel para o posicionamento preciso de um módulo fotovoltaico, o desenvolvimento do sistema de controle para acionamento e coleta de dados e a realização de testes funcionais. O objetivo é criar um sistema capaz de monitorar e estimar a geração de energia em placas fotovoltaicas, considerando as variáveis que impactam se. Os procedimentos foram delineados de forma a garantir a aplicação da pesquisa.

A seguir, a metodologia adotada para a elaboração e o desenvolvimento do sistema de monitoramento das leituras de estimativa e o armazenamento de dados na geração de energia em placas fotovoltaicas.

2.1 Desenvolvimento do Sistema para a Estimativa de Geração de Placa Fotovoltaicas em Função das Condições Climáticas

Nesta fase foi realizado o desenvolvimento de um dispositivo físico projetado para realizar a leitura de variáveis cruciais para a geração de energia fotovoltaica, como a radiação solar e o ângulo de inclinação do módulo. Este protótipo será responsável por coletar dados em tempo real, considerando as condições climáticas locais, e armazená-los em um banco de dados. A finalidade desta etapa é obter resultados diretos sobre a eficácia do sistema fotovoltaico em condições reais de operação, vale destacar que o protótipo empregou componentes estruturais, eletromecânicos e eletrônicos, conforme o conteúdo apresentado abaixo:

- Estrutura da Base Móvel: A base responsável pelo movimento de rotação horizontal foi confeccionada com discos de MDF cortados em CNC. O mecanismo é composto por um disco inferior fixo, um disco superior móvel e um anel giratório com roldanas plásticas, que serve como rolamento para uma rotação de baixo atrito;
- Sistema de Acionamento: O posicionamento do módulo é realizado por dois motores de passo modelo 17HS4401S Nema 17 Bipolar. Um motor controla o movimento de rotação horizontal da base e o outro, o movimento de elevação (inclinação) do painel. Estes motores foram escolhidos por seu controle angular preciso de 1.8° por passo e torque de retenção de 43 Ncm. O acionamento de cada motor é realizado por um driver A4988;
- Mecanismo de Elevação e Suportes: O sistema de inclinação do painel foi construído com suportes de acrílico transparente cortados a laser, que fixam tanto o módulo fotovoltaico quanto o motor de passo de elevação, garantindo alinhamento e estabilidade ao eixo de rotação;
- Sistema de Controle: A unidade central de processamento é um microcontrolador ESP32. Este componente foi selecionado por seu alto desempenho, processador dual-core e, crucialmente, por suas capacidades de conectividade Wi-Fi e Bluetooth integradas, permitindo o envio de dados para um banco de dados em nuvem e o controle remoto do sistema;

- Módulo de Sensoriamento Fotovoltaico: Foi utilizada uma Placa Solar Fotovoltaica de 165 x 220 mm, fabricada em ETFE e com capacidade de geração de aproximadamente 5 W (5V/1A);
- Sensor de Corrente e Tensão: Para a medição precisa da energia gerada pelo painel, foi integrado um sensor INA219. Este módulo é capaz de medir a tensão e a corrente elétrica com alta resolução, permitindo o cálculo em tempo real da potência gerada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de validar os resultados funcionais dos subsistemas de controle e acionamento mecânico, demonstrando a correta implementação dos procedimentos descritos na metodologia. Em seguida, a seção de discussão interpreta esses achados, avaliando o desempenho do protótipo e a importância desses resultados preliminares para as etapas subsequentes de testes de campo e coleta de dados de geração de energia.

3.1 Desenvolvimento do protótipo para Estimativa de Geração de Placa Fotovoltaica em Função das Condições Climáticas

Esta seção detalha o processo de criação e as características do protótipo desenvolvido para a estimativa da geração de energia fotovoltaica, considerando as condições climáticas. Abrangendo à descrição da estrutura física, a montagem mecânica e a integração dos componentes eletrônicos.

A busca por métodos mais eficientes de captação de energia solar tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pela necessidade de fontes renováveis e sustentáveis de energia. Nesse contexto, a correta angulação e orientação dos painéis solares desempenham um papel fundamental para maximizar a eficiência de conversão da radiação solar em energia elétrica.

Com o intuito de aferir com precisão o potencial de geração fotovoltaica em diferentes condições de posicionamento, foi desenvolvido um protótipo capaz de monitorar e quantificar a energia produzida pelo painel solar em ângulos ideais de incidência, vale lembrar que o objetivo central deste projeto é analisar de forma sistemática o desempenho do painel em condições reais de operação, possibilitando a comparação entre diferentes posições e o

alinhamento automático em relação à trajetória do sol. Dessa forma, busca-se obter dados confiáveis que subsidiem estudos sobre otimização de sistemas de rastreamento solar, contribuindo para o aprimoramento da eficiência energética em aplicações práticas.

a) Definição da Estrutura do Protótipo

A estrutura física do protótipo foi projetada para permitir o rastreamento da irradiação solar em dois eixos: azimutal (horizontal) e de elevação (vertical). O sistema é constituído por uma base circular de MDF, que serve de alicerce para toda a montagem. Sobre essa base, um disco giratório, também de MDF, é responsável pelo controle do eixo horizontal, sendo acionado por um motor de passo NEMA 17. Para otimizar o desempenho e reduzir a carga sobre este motor, uma roldana de rodízio de mesmo diâmetro foi integrada ao disco. Fixada a esse conjunto giratório, encontra-se uma armação em hastes de acrílico que atua como suporte principal para a placa solar. O controle do eixo vertical é efetuado por um segundo motor de passo NEMA 17, diretamente acoplado a este suporte de acrílico.

O comando de ambos os motores é gerenciado por drivers A4988, que interpretam os sinais enviados pelo microcontrolador ESP32. Para o monitoramento da eficiência do sistema, foi incorporado um sensor INA219, que possibilita a medição precisa da corrente gerada pela placa solar.

As dimensões dos principais componentes são detalhadas a seguir e na figura 01, foram apresentadas as peças em questão.

- Base: 25,3 cm de diâmetro e 6 cm de altura;
- Estrutura de Acrílico: 9,4 cm x 26 cm, com 12,4 cm de altura;
- Disco de MDF: 18,5 cm de diâmetro;
- Roldana de Rodízio: 18,5 cm de diâmetro.

Figura 1: Montagem do Protótipo



Considerando que se trata de um protótipo destinado à validação de conceitos em ambiente controlado, sua operação requer exposição à luz solar para viabilizar os testes de geração fotovoltaica. Todavia, devido à sua construção com materiais como o MDF e componentes eletrônicos expostos, o protótipo é vulnerável a intempéries, devendo ser mantido em condições secas e protegido de chuva ou umidade excessiva.

b) Montagem Mecânica

A montagem mecânica do protótipo foi executada de maneira sequencial e controlada, assegurando o alinhamento preciso dos componentes estruturais e a integridade do conjunto.

O processo iniciou-se com a fixação da base circular em MDF, que confere sustentação a toda a estrutura e garante estabilidade durante a operação. Subsequentemente, instalou-se o disco de MDF com roldana de rodízio, acoplado ao centro da base. Este componente tem a função de reduzir o atrito e, consequentemente, o esforço do motor responsável pelo movimento do eixo horizontal, o que proporciona maior suavidade à rotação do conjunto e diminui as cargas aplicadas ao sistema de acionamento. Sobre o disco, foi montada a estrutura de acrílico, projetada para suportar a placa fotovoltaica e o motor de controle do eixo vertical. Os motores de passo NEMA 17 foram posicionados lateralmente e acoplados com precisão aos eixos de rotação, garantindo o controle independente dos movimentos horizontal e vertical. Os drivers A4988 e o microcontrolador ESP32 foram fixados na parte inferior da base, com a fiação devidamente organizada para evitar interferências nos movimentos do sistema. A seleção de

materiais leves e resistentes, como MDF e acrílico, resultou em uma estrutura mecanicamente equilibrada e de fácil manutenção.

Ao final da montagem, o protótipo apresentou uma montagem precisa e organizada, rigidez estrutural adequada e funcionamento estável. O resultado (figura 02) evidencia a integração eficiente entre os componentes estruturais e eletromecânicos, confirmando a viabilidade da solução proposta para a pesquisa.

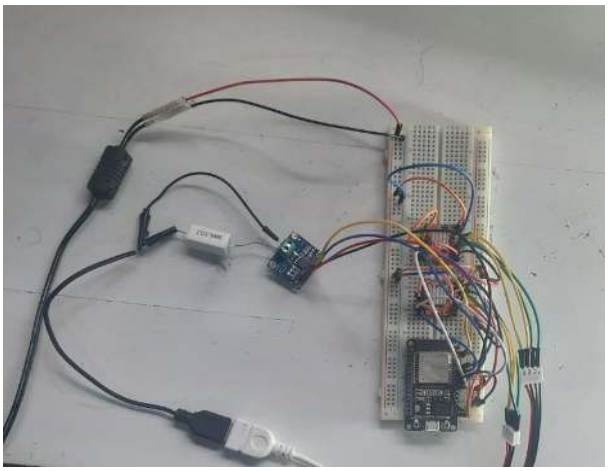
Figura 2: Protótipo montado



c) Montagem do Circuito Eletrônico

O circuito foi montado por meio de interligações diretas entre o microcontrolador ESP32, os drivers A4988 e os motores de passo, com o sensor INA219 posicionado em série com a saída do módulo fotovoltaico, conforme a figura 3. A lógica de controle do protótipo é gerenciada pelo ESP32, que envia os sinais de comando aos dois drivers de motor. Estes, por sua vez, atuam como interface de potência para o acionamento dos motores NEMA 17. O monitoramento da performance do sistema é realizado pelo sensor, integrado ao circuito com o propósito de medir com precisão a corrente gerada pelo painel fotovoltaico. Tal arranjo permite que o sistema realize medições instantâneas e transmita os dados para armazenamento, garantindo assim a confiabilidade e a integridade das informações coletadas.

Figura 3: Componentes do Circuito Eletrônico



3.2 Desenvolvimento do Software de Controle

O núcleo operacional do protótipo é governado por um firmware desenvolvido integralmente em linguagem C++ para a plataforma do microcontrolador ESP32. A concepção do software foi orientada para duas funcionalidades críticas e simultâneas: o controle preciso do posicionamento do painel fotovoltaico e a aquisição contínua dos dados de geração de energia.

Para a gestão do sistema de acionamento, o software envia sinais de comando diretamente aos drivers A4988, que, por sua vez, gerenciam os dois motores de passo NEMA 17. Essa arquitetura de controle permite o posicionamento biaxial do módulo, ajustando com exatidão tanto o eixo azimutal (rotação horizontal) quanto o de elevação (inclinação vertical). Dessa forma, o firmware garante que o painel seja orientado com precisão para diferentes ângulos de incidência solar, uma função essencial para a análise de desempenho proposta neste estudo.

Paralelamente ao comando dos motores, o software estabelece interface com o sensor de corrente e tensão INA219. Foram implementadas rotinas para realizar leituras em tempo real dos parâmetros elétricos na saída do módulo fotovoltaico. Os dados de tensão e corrente coletados são processados diretamente pelo microcontrolador para o cálculo da potência instantânea gerada. Utilizando as capacidades de nativas do ESP32, o firmware foi projetado para transmitir essas informações para um banco de dados em nuvem, assegurando o

armazenamento confiável para posterior análise e comparação com as estimativas do sistema virtual

Paralelamente ao comando dos motores, o software estabelece interface com o sensor de corrente e tensão INA219. Foram implementadas rotinas para realizar leituras em tempo real dos parâmetros elétricos na saída do módulo fotovoltaico. Os dados de tensão e corrente coletados são processados diretamente pelo microcontrolador para o cálculo da potência instantânea gerada. Utilizando a interface serial e o software PLX-DAQ integrado ao Microsoft Excel, o firmware foi projetado para transmitir em tempo real os dados coletados pelo sistema diretamente para uma planilha. Dessa forma, garante-se o registro confiável das medições, possibilitando a análise posterior e a comparação com os valores estimados pelo sistema virtual.

3.3 Procedimentos de Teste do Sistema Integrado em Campo

Esta seção detalha os procedimentos de teste do sistema integrado em campo. A abordagem abrange desde as considerações sobre as condições em que o ensaio foi conduzido e a metodologia de medição sequencial utilizada para avaliar o protótipo, até a análise final dos resultados, que demonstram o desempenho do sistema sob a influência de condições meteorológicas variáveis.

a) Considerações Sobre o Ensaio

Com o objetivo de validar os resultados, realizou-se um ensaio de campo no dia 12 de outubro de 2025, na cidade de Praia Grande. O experimento foi conduzido sob condições climáticas adversas, com sol entre nuvens, fatores que influenciaram diretamente as medições. A análise cronológica dos dados de irradiação, obtidos em diferentes posições, revela a dinâmica precisa da evolução das condições meteorológicas durante o teste.

O ensaio foi iniciado às 16:20, e o sistema demonstrou sua capacidade em condições reais ao gerar uma corrente inicial de 43,6 mA.

O primeiro registro detalhado, correspondente à Posição 7 (Eixo Horizontal 15°, Vertical 20°), no intervalo entre 16:20:16 e 16:21:20, documenta um cenário de elevada instabilidade. O gráfico exibe flutuações de alta frequência, com a irradiação oscilando rapidamente entre

valores de aproximadamente 875 W/m² e picos de 1000 W/m². Este comportamento é característico da passagem de nuvens rápidas e fragmentadas, que comprometeram a constância. Posteriormente, entre 16:23:28 e 16:24:32, as medições na Posição 3 (Eixo Horizontal 0°, Vertical 0°) indicam uma melhoria notável nas condições. Este período representou um intervalo de maior intensidade, no qual a irradiação atingiu os níveis mais altos do ensaio, mantendo-se consistentemente acima de 1250 W/m² e alcançando picos de até 1400 W/m².

A fase final do ensaio, documentada na Posição 24 (Eixo Horizontal 45°, Vertical -20°) a partir das 16:26:55, evidencia um declínio acentuado e definitivo das condições meteorológicas. O gráfico exibe um breve aumento na irradiação, que atinge um pico de 900 W/m², seguido por uma queda abrupta e substancial por volta de 16:27:01. Após essa redução, a irradiação se estabelece em um patamar baixo e instável, em torno de 450 W/ m². Esta queda drástica é consistente com a formação de uma cobertura de nuvens densa, que precedeu o início da precipitação. Foi nesse contexto de baixa insolação que se observou o decréscimo da corrente ao seu valor mínimo de 2,8 mA, o que culminou no encerramento do experimento.

b) Metodologia Adotada no Ensaio

Para a avaliação do desempenho do sistema em condições de campo, adotou-se uma metodologia de medição sequencial em três posições angulares distintas. A quantificação da irradiação solar incidente foi realizada por meio de um medidor de energia solar portátil, modelo ICEL SP-2000, ilustrado na figura 4. Em cada etapa, o sensor do equipamento foi posicionado adjacente à superfície do protótipo, garantindo que as medições de irradiação fossem representativas da energia efetivamente recebida pelo sistema.

O procedimento metodológico foi estruturado da seguinte forma:

- Posição 7 (P7): Inicialmente, o sistema foi posicionado com um ângulo horizontal de 15° e vertical de 20°. Nesta configuração, foram efetuados os registros de irradiação e corrente para avaliar o desempenho em uma orientação angular intermediária.

- Posição 3 (P3): Subsequentemente, o sistema foi ajustado para a posição de referência, com ângulos horizontal e vertical de 0°. Esta configuração foi utilizada para aferir o desempenho do sistema sob as condições de máxima exposição solar disponíveis durante o teste.
- Posição 24 (P24): Na fase final do experimento, o sistema foi orientado a um ângulo horizontal de 45° e vertical de -20°. O objetivo desta etapa foi avaliar a resposta do protótipo em uma orientação angular extrema e sob as condições meteorológicas em deterioração, que precederam a interrupção do ensaio.

Em cada posição, os dados foram coletados continuamente, permitindo a análise da estabilidade e da magnitude da energia incidente em correlação com a corrente gerada.

Figura 4: Medidor de Energia Solar Portátil, modelo ICEL SP-2000



c) Resultados Obtidos em Campo

Os resultados do ensaio de campo refletem a performance do sistema sob condições de irradiação solar reais e variáveis, conforme detalhado nos gráficos das Figuras 5, 6 e 7, correspondentes a cada posição angular avaliada. A análise cronológica dos dados revela uma significativa flutuação nas condições meteorológicas ao longo do experimento.

Figura 5: Registro do teste de campo – Posição 7

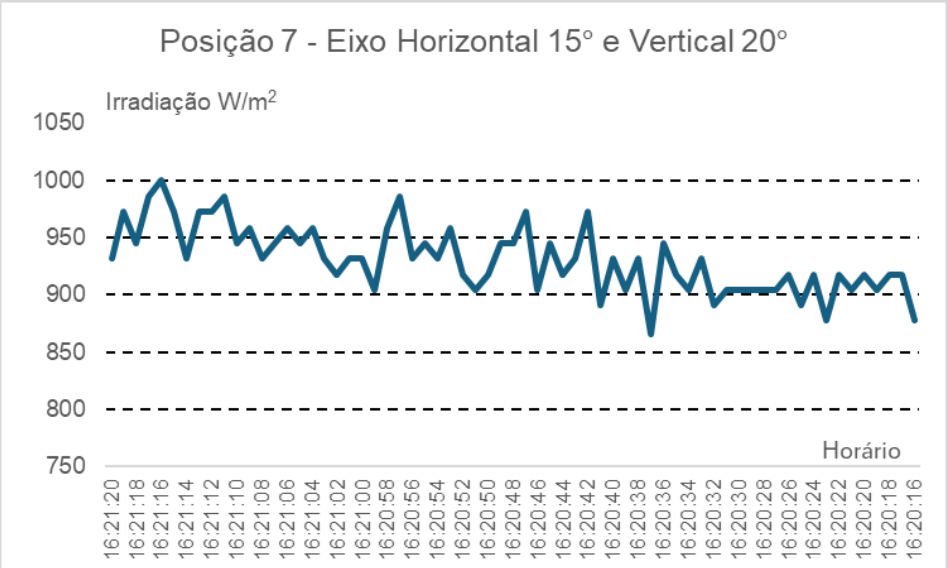


Figura 6: Registro do teste de campo – Posição 3

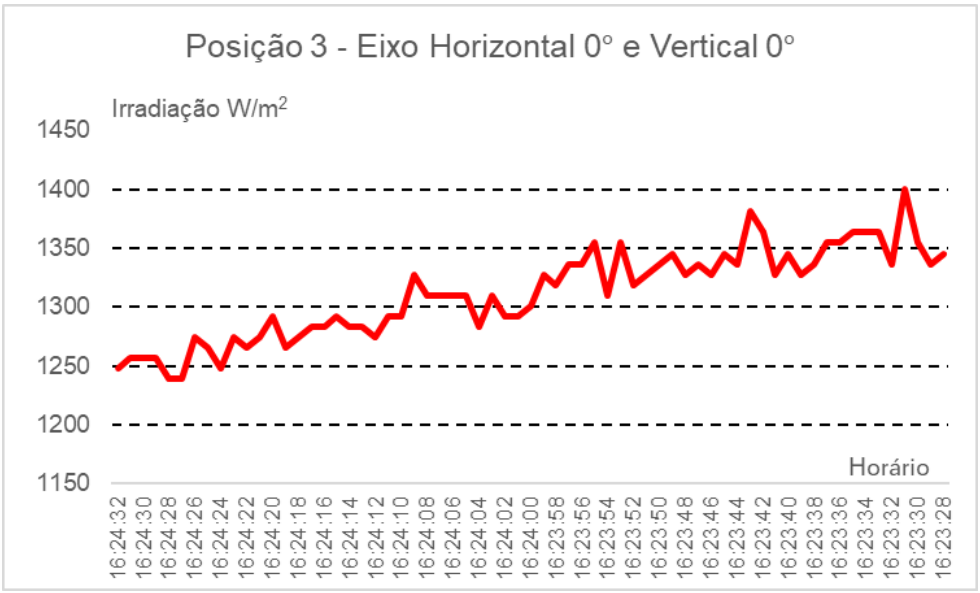
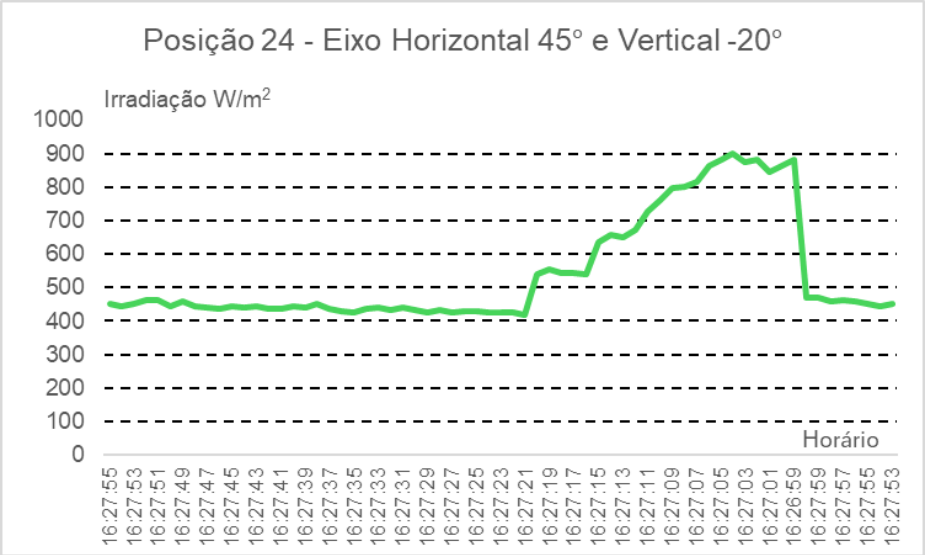


Figura 7: Registro do teste de campo – Posição 24



d) Avaliação dos Resultados Obtidos em Campo

Para a análise de desempenho em cada posição, os valores de corrente e tensão foram registrados sistematicamente em intervalos de 60 segundos. A adoção desta janela de medição permitiu a coleta de múltiplas amostras em um curto período, gerando uma base de dados densa e robusta, essencial para uma avaliação confiável e representativa do comportamento do sistema.

4 CONCLUSÃO

Este estudo alcançou êxito no desenvolvimento e validação de um protótipo funcional para a estimativa e o monitoramento da geração de energia fotovoltaica, cumprindo os objetivos propostos. A integração bem-sucedida do microcontrolador ESP32, dos motores de passo e do sensor INA219 viabilizou a construção de um sistema biaxial para o posicionamento preciso do módulo e a aquisição de dados em tempo real. Os testes de campo, conduzidos sob condições climáticas adversas, demonstraram a eficácia do sistema em registrar as variações de irradiação solar e sua consequente resposta na geração de corrente. Os valores de irradiação variaram de um pico de 1400 W/m² (Posição 3) a um mínimo de 450 W/m² (Posição 24), correspondendo a correntes de 43,6 mA a 2,8 mA. Tais resultados confirmam a viabilidade do equipamento como uma ferramenta para a análise de desempenho em diferentes configurações angulares,

contribuindo para o dimensionamento mais preciso e a segurança operacional de sistemas de geração distribuída. Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação da Interface Homem-Máquina (IHM) e do aplicativo dedicado para visualização e armazenamento de dados em nuvem, bem como a realização de ensaios de longa duração para aprimorar a precisão das estimativas. Agradecemos à Universidade Santa Cecília pelo apoio e fomento à pesquisa.

5 REFERÊNCIAS

ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Panorama da geração distribuída no Brasil. Brasília: ANEEL/ABSOLAR, 2025. Disponível em: https://www.aneel.gov.br. Acesso em: 16 abr. 2025, 20:20min

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Matriz energética e elétrica. Portal EPE. Brasília: [s.d.]. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 23 mar. 2025, 20h:30min.

GARCIA, Douglas A. A.; DUZZI JR., Francisco Elio. Aspectos de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. O Setor Elétrico, São Paulo, n. 73, p. 62–67, abr. 2012. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/04/Ed73_fasc_distribuicao_cap1.pdf. Acesso em: 17 abr. 2025, 12h:30min.

HANDSON TECHNOLOGY. 17HS4401S. Stepper Motor – Data Specs. Disponível em: https://www.handsontec.com. Acesso em: 16 jun. 2025, 20:30 min.

PORTAL SOLAR. Energia solar no Brasil. [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html. Acesso em: 23 mar. 2025, 20h:32min.

PÉREZ MARTÍNEZ, James Guillermo; VÁSQUEZ LARRAHONDO, José Luis. Desarrollo de un Prototipo de Sistema de Control de Seguimiento Solar para Celdas Fotovoltaicas. Popayán – Cauca: Universidad Unicomfacauca, 2023. Disponível em: https://repositorio.unicomfacauca.edu.co/jspui/bitstream/3000/343/1/IM%2021%202023.pdf. Acesso em: 16 jun. 2025, 20:35 min.

SILVA, Bruno Takasume Nita da; CHRUN, Ivan Rossato. Impactos gerados pela conexão de unidades de geração distribuída nas redes de distribuição de energia elétrica. Journal of Exact Sciences – JES, v. 43, n. 2, p. 05–15, out./dez. 2024. Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20241109_174242.pdf. Acesso em: 17 abr. 2025, 07:25 min.