



## Monitoramento da taxa de desempenho de módulo fotovoltaico através de microcontrolador e tecnologia LoRaWAN

### Performance ratio monitoring of photovoltaic module using microcontroller and LoRaWAN technology

Victor Hugo Rizzo Moura<sup>1</sup>, Luiz Fernando Carvalho<sup>2</sup>, Thales Eugenio Portes de Almeida<sup>3</sup>, Fernando Barreto<sup>4</sup>

#### RESUMO

Os módulos fotovoltaicos, por serem dispositivos eletrônicos, estão suscetíveis a degradação com o decorrer do tempo. O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema capaz de monitorar eficientemente a taxa de desempenho destes módulos com o objetivo de auxiliar o usuário a identificar quando um módulo fotovoltaico está operando com desempenho abaixo do esperado. O sistema foi desenvolvido em um projeto de extensão universitário envolvendo empresas e utiliza diversos sensores de baixo custo disponíveis no mercado nacional capazes de fazer a leitura da temperatura, umidade, pressão, nível de irradiância e nível de poeira do ambiente, temperatura da superfície do módulo fotovoltaico, e coordenadas GPS. Estes dados são tratados por um microcontrolador, os quais são enviados através de um módulo transmissor LoRaWAN, a qual se trata de uma tecnologia de comunicação de dados de longa distância, útil para quando se deseja transmitir dados de locais remotos onde não há fácil acesso à Internet. Por fim, os dados são exibidos para o usuário através de painéis informativos que podem ser acessados por um aparelho celular. Um protótipo, ainda incompleto, foi desenvolvido e conseguiu coletar dados iniciais promissores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia solar. ESP-IDF. ESP32. Internet das coisas.

#### ABSTRACT

Photovoltaic modules, being electronic devices, are susceptible to degradation over time. The objective of this project is to develop a system capable of efficiently monitoring the performance ratio of these modules to help the user to identify when a photovoltaic module is operating with performance below expectations. The system was developed in a university extension project involving companies and uses several low-cost sensors available on the national market capable of reading temperature, humidity, pressure, irradiance level, and dust level of the environment, surface temperature of the photovoltaic module, and GPS coordinates. This data is processed by a microcontroller, then is sent through a LoRaWAN transmitter module, which is a long-distance data communication technology, useful when data transmitting from remote locations is needed, since there is no easy access to the Internet. Lastly, the data is displayed to the user through dashboards that can be accessed via cellphone. A prototype, still incomplete, was developed and it achieved to collect promising initial data.

**KEYWORDS:** Solar energy. ESP-IDF. ESP32. Internet of things.

## INTRODUÇÃO

Um módulo fotovoltaico, por se tratar de um dispositivo eletrônico, está suscetível à degradação temporal. Este processo de degradação traz a necessidade de uma forma de monitoramento da Taxa de Desempenho (TD) do módulo fotovoltaico. A importância deste monitoramento deve-se, principalmente, a dois fatores: um é tratado por Soares e Zaia

<sup>1</sup> Bolsista da Pró-Reitoria de Relações Empresariais e Comunitárias. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: victormoura@alunos.utfpr.edu.br.

<sup>2</sup> Docente na Coordenação De Engenharia De Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: luizcarvalho@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0665079937865380.

<sup>3</sup> Docente na Coordenação De Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: thalesalmeida@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3975097763171890.

<sup>4</sup> Docente na Coordenação De Engenharia De Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: fbarreto@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1183013437890631.



(2021), os quais citam que módulos fotovoltaicos “saudáveis” devem possuir uma TD entre 75% e 85% em relação à TD de um módulo fotovoltaico ideal; o segundo é tratado por Pinho e Galdinho (2014, p. 351), os quais citam que a TD de um módulo fotovoltaico não deve apresentar uma queda superior a 0,5% por ano.

Geralmente a análise da TD é realizada a partir de informações coletadas do inversor de um painel fotovoltaico. O inversor é o aparelho responsável por converter a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos na forma de corrente contínua para corrente alternada. Tal conversão é necessária, uma vez que é a forma de energia utilizada em instalações de redes elétricas em geral. Portanto, a análise é feita ao comparar a potência da energia recebida pelo inversor, com a potência gerada pelo inversor.

Porém, conforme aponta Soares e Zaia (2021), a TD de um módulo fotovoltaico é afetada por outros fatores, mais especificamente a irradiância incidente no módulo, e sua temperatura superficial. Portanto, para um monitoramento efetivo da TD, o objetivo deste projeto é ser capaz de coletar todos os dados pertinentes para uma análise mais completa da TD, e disponibilizá-los para o usuário remotamente para que possam ser acessados, por exemplo, através de seu aparelho celular.

Essa disponibilização de dados traz um problema relacionado à uma das principais características da energia fotovoltaica, que é o fato de que esta, por vezes, é instalada em locais remotos, podendo não haver acesso à Internet. Para solucionar este problema, foi adotada a tecnologia LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*), que possui como característica a transmissão de dados a longo alcance e baixo consumo de energia.

A LoRaWAN é conhecida por ser uma solução voltada para a IoT (*Internet of Things* – Internet das Coisas) de baixo consumo de energia que fornece comunicação bidirecional com segurança de ponta-a-ponta e longo alcance de transmissão de dados (LORA ALLIANCE, 2022). Seu princípio de funcionamento é semelhante às redes móveis, onde um usuário de origem pode se comunicar com um usuário de destino desde que ambos estejam na área de cobertura de uma ou mais antenas de comunicação de dados. No Brasil há uma faixa de frequência não licenciada (915MHz) para ser usada, e a UTFPR Apucarana possui toda infraestrutura com essa tecnologia implementada, com 4 antenas espalhadas e operantes para cobrir todo o município de Apucarana.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Por conta das condições climáticas que o sistema estará submetido, decidiu-se fracioná-lo em duas partes: uma para coletar dados (denominado “sistema de coleta”), e outra para tratar e enviar os dados (denominado “sistema de gerência”). Desta forma, apenas os componentes que farão a leitura dos dados do módulo fotovoltaico ficam expostos, enquanto os demais componentes são posicionados em um local protegido destas condições.

O sistema de gerência é composto por:

- 1 ESP32 NodeMCU: microcontrolador ESP32, o qual fará o tratamento dos dados;
- 1 NEO-6M: módulo GPS para ter um controle da localização onde cada sistema está instalado;
- 1 BME280: sensor de condições climáticas capaz de fazer a leitura da temperatura, umidade e pressão ambiente, utilizado para garantir que o sistema de gerência esteja em condições favoráveis para funcionamento;



- 1 SMW-SX1262M0: módulo LoRaWAN homologado pela Anatel na faixa 915MHz o qual fará a transmissão dos dados tratados do microcontrolador para um servidor gerenciado pelo Campus Apucarana da UTFPR;
- Fonte de tensão de 12 V e 3 A: utilizada para alimentar o circuito, e com alta capacidade de corrente, pois, após testes, notou-se que o ESP32 NodeMCU e o NEO-6M causavam interferência um no outro em baixas cargas de corrente;
- 2 LM2596: regulador de tensão *step-down*, ou seja, que reduz a tensão para o nível desejado, capaz de regular a tensão de 1,5 V a 35 V, que será utilizado para regular a tensão da fonte de alimentação – um regulando para 5 V e o outro para 3,3 V – e alimentar o restante do circuito, sendo especificamente selecionado por também suportar uma corrente de até 3 A.

O sistema de coleta é composto por:

- BPW34: fotodiodo que permite passagem de corrente reversa quando possui luz incidente na área sensível à radiação, permitindo determinar o nível de irradiância;
- DS18B20: sensor de temperatura do tipo sonda, à prova d'água e com ponta metálica para fazer a leitura da temperatura superficial de um módulo fotovoltaico;
- DSM501A: sensor de material particulado, utilizado experimentalmente para verificar a possibilidade de prever acúmulos de poeira no módulo. Este sensor possui duas sensibilidades de detecção: uma com sensibilidade mínima de 1  $\mu\text{m}$ ; e outra que pode ter sua sensibilidade mínima ajustada entre 1  $\mu\text{m}$  e 2,5  $\mu\text{m}$  (SAMYOUNG S&C, 2012), sendo utilizada a sensibilidade de 2,5  $\mu\text{m}$  no projeto;
- LM324: Amplificador Operacional (ou Amp-Op) sendo um Amplificador de Transimpedância que converte o nível de corrente reversa do BPW34 em tensão;
- ADS1115: conversor analógico-digital (ADC) para fazer a leitura do sinal transmitido pelo Amplificador de Transimpedância.

Foram utilizados também diversos resistores e capacitores de diferentes valores para controlar os níveis de tensão no amplificador de transimpedância, alimentar a conexão de dados do DS18B20, e dividir a tensão de saída do DSM501A.

O circuito projetado para a leitura de irradiância foi uma adaptação de Luz et al. (2019). As modificações realizadas foram no sentido no qual o fotodiodo é direcionado e no valor da resistência de realimentação do amplificador de transimpedância. Estas modificações foram feitas conforme análise do comportamento de um fotodiodo, e o valor da resistência em relação ao *datasheet* do fotodiodo utilizado (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS, 2020).

Um fotodiodo possui o mesmo comportamento de um diodo: bloquear passagem de corrente em uma direção. Porém a natureza fotossensível do fotodiodo faz com que este deixe, propositalmente, uma pequena quantidade de corrente reversa fluir conforme aumenta a intensidade de luz incidente em sua área fotossensível (PICHORIM; NOHAMA, 2020). A inversão de seu sentido em relação ao circuito original, é para que se faça a leitura somente desta corrente reversa, e a alteração no valor da resistência de realimentação foi feita para amplificar o valor da corrente gerada, a qual, conforme o *datasheet* do componente, não deverá ser maior que 80  $\mu\text{A}$ , e para converter este valor de corrente através da Lei de Ohm ( $V = R \times i$ ), é necessário um alto valor resistivo.

A programação do microcontrolador foi feita através do ambiente de desenvolvimento ESP-IDF, que pertence à desenvolvedora de microcontroladores ESP, a

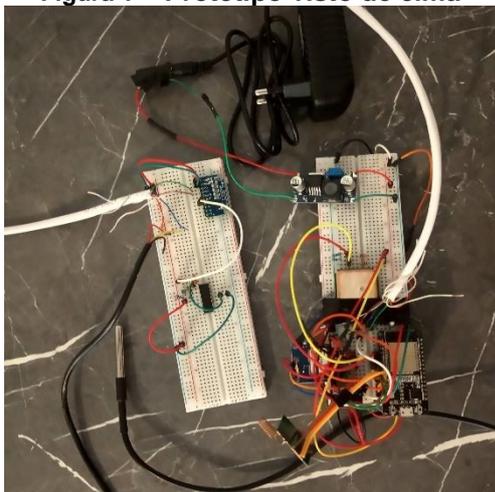
Espressif<sup>5</sup>. Esse ambiente permite um gerenciamento mais completo de diferentes funcionalidades dos microcontroladores ESP, no caso um microcontrolador ESP32 adotado neste projeto, e por este motivo este ambiente foi adotado.

Para a disponibilização dos dados monitorados ao cliente, foi utilizada a ferramenta ThingsBoard, uma vez que a mesma é utilizada para a geração de *dashboards* (painéis de informações), tem versão de uso aberto e pode ser acessada via *web*<sup>6</sup>. Essa ferramenta está instalada em um servidor no campus Apucarana da UTFPR.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

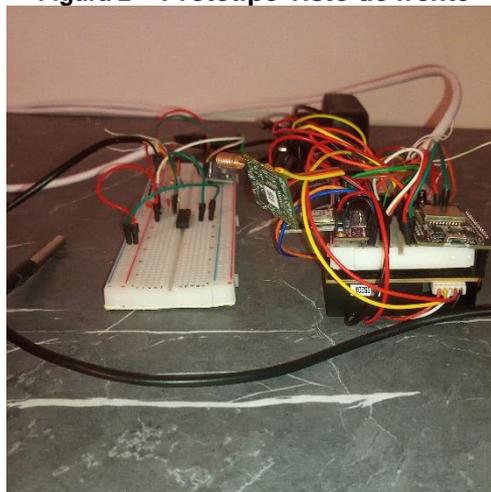
No prazo determinado para o projeto não foi possível gerar um protótipo finalizado para testes em campo, mas foi possível montar o circuito em *protoboard* (placa de ensaio) como ilustra as Figuras 1 e 2. Note que nestas figuras existem duas *protoboards*. Na da esquerda está montado o circuito do sistema de coleta, enquanto na da direita está o circuito do sistema de gerência.

Figura 1 – Protótipo visto de cima



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 2 – Protótipo visto de frente



Fonte: Autoria própria (2023).

Inicialmente observou-se que apenas o ESP32 NodeMCU não era capaz de alimentar o circuito completo devido à sua baixa capacidade de corrente, gerando interferência nos componentes: DSM501A, fazendo com que este apresentasse valores aleatórios de leitura; NEO-6M, que não conseguia se comunicar com o ESP32; e no próprio microcontrolador, que se reiniciava em intervalos esporádicos. Na tentativa de corrigir isso, foi utilizada a fonte de 12 V e os dois reguladores de tensão LM2596. Desta forma todo o circuito é alimentado externamente, o que solucionou o problema.

Após a modificação, todos os componentes funcionaram corretamente e apresentaram leituras condizentes com os dados reais preliminares, com exceção da leitura de irradiância, a qual devido à falta de testes comparativos com aparelhos calibrados, não foi possível realizar sua calibração. Portanto não foi possível determinar a precisão de seus valores. Porém, ainda foram realizados testes práticos, sendo observada uma notável variação da leitura em diferentes condições luminosas, seguindo o padrão esperado.

<sup>5</sup> <https://www.espressif.com/>

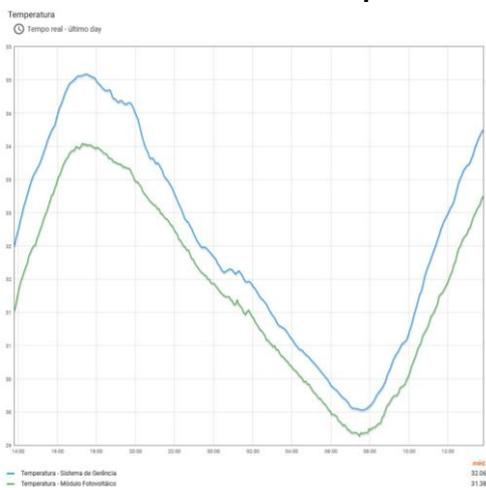
<sup>6</sup> <https://thingsboard.io/>



Os *dashboards* na plataforma ThingsBoard também foram desenvolvidas com sucesso (Gráficos 1 - 3), embora ainda em estágio pouco avançado, pois este seria um dos processos finais do projeto.

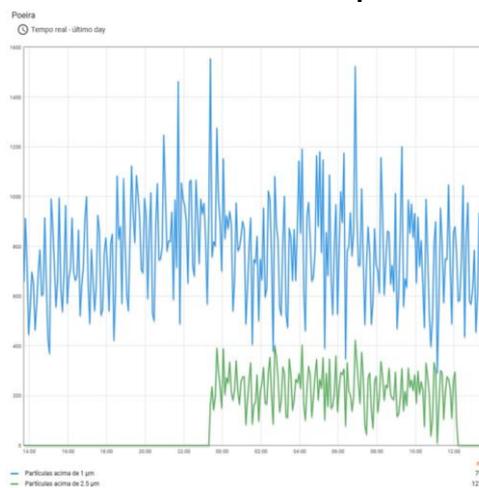
No Gráfico 1, observa-se as temperaturas, em graus Celsius, estão sendo medidas corretamente, apenas com uma pequena variação entre os sensores devido a diferenças de *hardware*. No Gráfico 2 nota-se instantes onde as leituras de partículas acima de 2,5  $\mu\text{m}$ , medidas em partes por milhão, marcam zero, causado pela perda de conexão dos conectores na *proto*board. Já no Gráfico 3, a irradiância apresentada é apenas o nível de tensão convertido pelo ADC, o qual planeja-se a calibração utilizando como referência um piranômetro industrial, portanto, sua unidade de medida não está em  $\text{W}/\text{m}^2$ , que é a unidade da irradiância.

Gráfico 1 – Medidas de temperatura



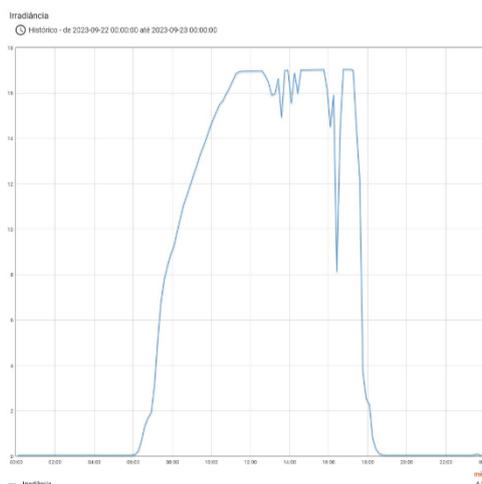
Fonte: Autoria própria (2023).

Gráfico 2 – Medidas de poeira



Fonte: Autoria própria (2023).

Gráfico 3 – Medidas de irradiância



Fonte: Autoria própria (2023).

## CONCLUSÃO



Embora não tenha sido possível finalizar completamente o projeto, foram obtidos resultados satisfatórios através da coleta dos dados dos componentes utilizados no projeto, onde o único dado inconclusivo por falta de calibração, o da irradiância, ainda apresentou o comportamento esperado.

Portanto, espera-se que o sistema desenvolvido, após a devida calibração, seja uma solução plausível para o monitoramento da taxa de desempenho de módulos fotovoltaicos, enquanto se mantém um custo muito inferior às alternativas já presentes no mercado.

### Agradecimentos

Ao meu orientador professor Dr. Fernando Barreto, pela oportunidade e pela experiência, aos demais contribuintes do projeto, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, juntamente à PROREC, pela concessão da bolsa de fomento.

### Disponibilidade de código

Devido à incompletude, e ao fato de que os autores planejam dar continuidade ao projeto, não será possível disponibilizar o código.

### Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

LORA ALLIANCE. **What is LoRaWAN specification**. Fremont: LoRa Alliance, 2022. Disponível em: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.

LUZ, C. M. A. da et al. Análise comparativa de medidores de irradiância. In: **Congresso Brasileiro de Automática-CBA**. São João del-Rei: [s.n.], 2019. v. 1, n. 1.

OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS. **BPW 34**. Ratisbona, Alemanha, 2020.

PICHORIM, S. F.; NOHAMA, P. Funcionamento e aplicabilidade do Fotodiodo na Engenharia Biomédica. **Kur'yt'yba: Revista Multidisciplinar de Educação, Ciência e Cultura**, v. 12, n. 1, 2020.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPEL – CRESESB, v. 1, p. 530, 2014.

SAMYOUNG S&C. **Dust sensor module**: P/n : Dsm501. Gyeonggi, Coreia do Sul, 2012.

SOARES, P.; ZAIA, N. **Performance ratio em usinas fotovoltaicas**: da definição à inovação. São Paulo: Portal Solar, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/opiniaio/opiniaio-tecnologia/performance-ratio-em-usinas-fotovoltaicas-da-definicao-a-inovacao>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.