

# Uma abordagem IoT para monitorar uma área de geração de energia fotovoltaica

Victor Eduardo Requia

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

**Abstract.** *This article describes the implementation of a monitoring prototype employing the Internet of Things (IoT) in an area designated for the installation of photovoltaic panels. Monitoring of temperature and ultraviolet radiation index was conducted, both of which have a direct connection to the performance of energy production by photovoltaic panels. As a communication technology, the choice was made to utilize LoRa (Long Range), enabling long-distance radiofrequency communication with low energy consumption. Additionally, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protocol, coupled with the 802.11 standard, was employed for message transmission between the microcontroller and the MQTT Broker server. Furthermore, a web interface was developed for data visualization.*

**Keywords:** *Internet of Things, photovoltaic energy, monitoring, MQTT.*

**Resumo.** *Este artigo descreve a implementação de um protótipo de monitoramento empregando a Internet das Coisas (IoT) em uma região destinada à instalação de placas fotovoltaicas. Foi realizado o monitoramento de temperatura e índice de radiação ultravioleta, os quais têm uma conexão direta com o desempenho na produção energética das placas fotovoltaicas. Como tecnologia de comunicação, optou-se pelo emprego da tecnologia LoRa (Long Range), que viabilizou a comunicação via radiofrequência a longa distância e com baixo consumo energético. Foram utilizados o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) em conjunto com o padrão 802.11 para a transmissão das mensagens entre microcontrolador, servidor MQTT Broker e usuário interessado nas informações. Também foi desenvolvida uma interface Web para visualização dos dados.*

**Palavras-chaves** - *Internet das Coisas, energia fotovoltaica, monitoramento, MQTT.*

## 1. Introdução

De acordo com [Romero and Reis 2012], a energia não se encontra disponível de maneira direta na natureza, sendo obtida por meio de transformações de recursos naturais, seu consumo de forma adequada, manifesta-se como um dos requisitos essenciais para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável.

Desta maneira, de acordo com [Wu et al. 2011], o processo de eficiência energética está condicionado à integração de novas tecnologias, como, por exemplo, as Tecnologias da Informação (TIC), sendo que a Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia promissora neste ambiente. A IoT oferece uma forma de conectar e integrar diversos

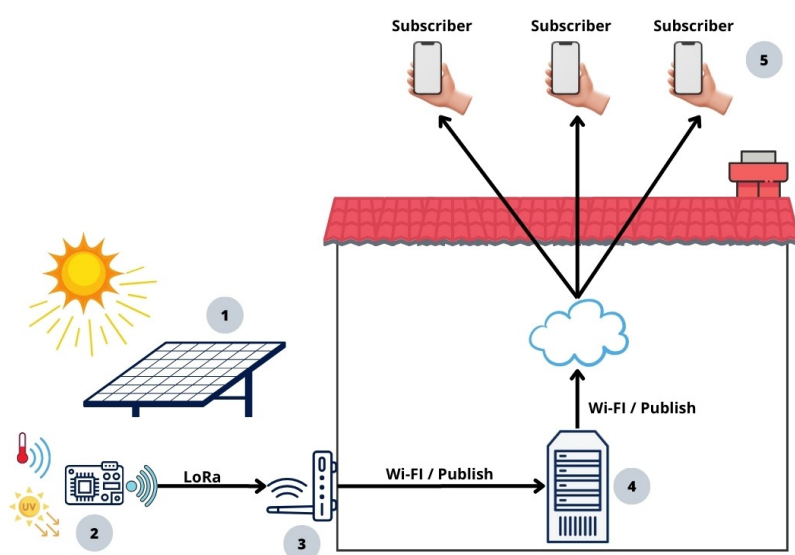
dispositivos físicos e sistemas de maneira inteligente e pode ser adaptada para diversas aplicações. Através da IoT, é possível coletar dados em tempo real até mesmo em regiões isoladas, otimizar o uso de recursos e automatizar processos para aumentar a eficiência energética. Os dispositivos IoT podem monitorar e gerenciar o consumo de energia, identificar padrões de uso e recomendar ajustes para reduzir o desperdício. Além disso, a IoT permite desenvolver infraestruturas que podem adaptar seu comportamento conforme as necessidades energéticas, contribuindo para um modelo de desenvolvimento mais sustentável.

Neste trabalho, foi realizado a implementação de um protótipo para monitoramento remoto de dados de temperatura e índice de radiação ultravioleta em uma região de instalação de painéis fotovoltaicos. Para atingir esse objetivo, a IoT foi empregada, com tecnologias e protocolos que possibilitam comunicação mais leve para dispositivos restritos como os empregados em IoT.

A adoção do monitoramento de sistemas fotovoltaicos se justifica, pois, no contexto brasileiro, as condições ambientais são altamente propícias para a exploração de energias renováveis, especialmente da energia solar (NASCIMENTO, 2004). No entanto, apesar deste cenário favorável, a adoção dessas fontes como principais geradoras de energia ainda é limitada (NASCIMENTO, 2004). Isso porque, a transição para fontes de energia mais eficientes requer incentivos fiscais, regulamentações tarifárias (GOLDTHAU, 2016), e o uso de tecnologias que possam prover informações sobre os ativos alimentados pelas energias renováveis, por exemplo, painéis fotovoltaicos.

Na Figura 1, apresenta-se um exemplo de cenário de aplicação da plataforma IoT para monitoramento de regiões de painéis fotovoltaicos.

**Figura 1. Exemplo de cenário de aplicação.**



Próprio Autor.

Conforme representado na Figura 2, o painel fotovoltaico (representado pelo Número 1 na figura) é monitorado por sensores de temperatura e raio ultravioleta. Os sensores são acoplados a um microcontrolador (Número 2) com capacidade de comunicação sem fio, baixo consumo energético e longo alcance. Os dados monitorados serão utilizados para prover informações sobre as condições ambientais onde o painel está instalado.

Os dados são transmitidos para um gateway (Número 3) instalado perto do servidor Broker MQTT (Número 4). Este servidor Broker MQTT é o responsável pelo rebebeimento das mensagens enviadas pelo gateway e o envio dessas mensagens para os usuários interessados e inscritos no tópico para recebimento destes dados (Número 5). Para receber e assinar os tópicos de interesse, foi desenvolvida uma plataforma para esse monitoramento.

## 2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção, são apresentados e comparados os trabalhos da literatura que possuem relação com a proposta deste trabalho. Na pesquisa realizada, o foco da investigação foi nos trabalhos que utilizam a IoT para o monitoramento de painéis fotovoltaicos.

No trabalho de [Hamied et al. 2023], foi desenvolvido um sistema de monitoramento para um sistema fotovoltaico *off-grid*. Este sistema foi instalado em uma região situada no deserto do Saara visando alimentar uma pequena estufa. O cenário da região do deserto, foi escolhido porque estas áreas são fortemente influenciadas por tempestades de areia, ocasionando um impacto negativo nas plantas fotovoltaicas instaladas. Outro desafio relatado pelos autores é a alta temperatura, que prejudica o desempenho dos painéis solares, podendo chegar a até 55 graus Celsius no verão. Como contribuição do trabalho, os autores destacam que os estudos anteriores focavam apenas em monitorar os dados e não em diagnosticar e enviar alerta de falhas para os usuários. A IoT foi empregada para monitorar dados como corrente elétrica, tensão, radiação solar e temperatura das placas solares. Além disso, foi desenvolvida um sistema *Web* para visualização dos dados e um algoritmo para emitir alerta via serviço de mensagens (do inglês *Short Message Service* — SMS). Para obter os dados de corrente elétrica, foi utilizado um sensor ACS712, com capacidade máxima para 30 Amperes. O microcontrolador utilizado foi o Arduino Mega, equipado com módulo ESP8266 para transmitir os dados processados via 802.11 ao computador com o sistema *Web* de monitoramento. Para enviar os dados por SMS foi utilizado um módulo SIM8001.

No trabalho de [Paredes Parra et al. 2019], foi proposto um sistema de monitoramento utilizando a tecnologia LoRaWAN para painéis fotovoltaicos. O objetivo do sistema é cobrir longas distâncias com o mínimo consumo de energia. Para obter os dados de temperatura do ambiente, o sensor utilizado foi o DHT22.

Para monitorar a temperatura dos painéis solares, foi utilizado o sensor DS18S20. Este sensor foi escolhido por ser uma solução de baixo custo, fornecendo medições de temperatura em graus Celsius. Como microcontrolador, foi utilizado um Arduino Nano e como estação base, foi utilizado um Raspberry Pi. A comunicação LoRa operava na frequência de 868 MHz entre os dispositivos. O módulo transceptor usado foi o RFM95W e o HOPE RFM95W. Para testar a cobertura máxima do sistema, um *gateway* (TM RG186 *Series LoRa-enabled gateway*) foi instalado. O dispositivo foi configurado para transmitir os dados em uma potência de transmissão de 14 dBm, no *Spreading Factors* (SF) SF12 e 38 bytes por pacote de dados. O alcance máximo obtido pelo sistema foi de 15 km. Foi contatado também, que o SF e o tamanho do pacote, afetam diretamente o recebimento dos dados pelo *gateway*, podendo alterar até 10% a quantidade de pacotes recebidos e que, uma das limitações do uso do LoRaWAN, é o ciclo de trabalho restrito a 1% do tempo.

O experimento foi realizado em um sistema de energia solar fotovoltaica (potência

de 5 kW) conectada à rede elétrica e localizada em um campus universitário (sudeste da Espanha). A partir da análise dos dados, os autores afirmam que aspectos como, a distância entre a fonte e o destino e problemas de propagação têm uma clara influência no processo de recepção de dados.

No trabalho de [Xu et al. 2023], os autores relatam que existe um aumento na instalação de sistemas de produção de energia fotovoltaica em ambientes com condições severas e em áreas isoladas, porém, isso torna a manutenção desses sistemas mais demorada e desafiadora. Diante disso, os autores destacaram a necessidade de um monitoramento contínuo e preciso dos transformadores de distribuição presentes em usinas fotovoltaicas.

A principal contribuição é um sistema de monitoramento baseado em IoT para transformadores em redes fotovoltaicas de distribuição energética. Os transformadores são muito influenciados por eletricidade, calor e componentes mecânicos, podendo encurtar a vida útil ou gerar falhas graves. Para uma maior precisão dos dados coletados, foram utilizados sensores de fibra óptica para capturar dados de temperatura, vibração e descargas parciais nos transformadores. Para a transmissão de dados foi utilizada a tecnologia de comunicação LoRa com o módulo E22400T22D, com objetivo de monitorar áreas isoladas de instalação dos transformadores. Os dados coletados foram analisados através do método *Multi-Class Support Vector Machine* (SVM) com parâmetros de frequência de tempo.

O gateway utilizado foi o E90-DTU (400SL22-4G) fabricado pela EBYTE [EBYTE 2023]. Ele disponibiliza tanto conexão via LoraWAN, quanto com a rede 4G. Os dados coletados e transmitidos pela rede LoRa podem ser retransmitidos para a rede 4G. Os dados foram enviados para a plataforma ThingCloud [ThingCloud 2023] e podem ser acessados de qualquer dispositivo com acesso à Internet.

Os autores em [Samal et al. 2022] investigaram como, poeira, umidade, calor e vento podem afetar o desempenho de placas fotovoltaicas policristalina (do inglês *Polycrystalline*). Os dados monitorados, são enviados para a nuvem, utilizando o *software* ThingSpeak. Foi utilizado um módulo Wi-Fi ESP8266 para a transmissão 802.11 em um Arduino Uno R3 como microcontrolador.

O estudo conclui que a deposição de poeira pode influenciar significativamente o desempenho da célula fotovoltaica, provocando uma redução na geração de energia em até 15%. O artigo recomenda a instalação de uma lâmina de limpador na superfície do painel fotovoltaico e um soprador de ar em um dos cantos superiores do painel fotovoltaico para minimizar a perda de energia devido à poeira. Foi constatado que a umidade não tem um efeito negativo expressivo na geração de eletricidade, apenas pode facilitar a disposição da poeira e reduzir a vida útil do painel a longo prazo. O vento também não é um fator que pode afetar significativamente o desempenho da placa fotovoltaica. Também foi constatado que, se o calor do ambiente for superior a 25 graus Celsius, a corrente elétrica aumenta lentamente, mas a tensão diminui rapidamente (a cada 1 grau de aumento, a tensão diminui de 0,35% até 0,5%). Portanto, isso tem um efeito significativo na tensão de saída do painel fotovoltaico. Além disso, expor células fotovoltaicas em alta temperatura, pode diminuir a vida útil da célula solar.

## 2.1. Comparação dos Trabalhos Relacionados

A Tabela 1 mostra a comparação dos trabalhos relacionados. A comparação mostra que cada um dos sistemas apresentados possui suas particularidades em termos de aplicação, tecnologia de comunicação, sensores utilizados, variáveis monitoradas e dispositivos. O trabalho de [Hamied et al. 2023] utilizou a tecnologia 802.11 para transmissão dos dados, enquanto [Paredes Parra et al. 2019] opta pela tecnologia LoRa, sendo mais adequada para longas distâncias.

**Tabela 1. Comparação dos trabalhos relacionados.**

Autor	Tecnologia de Comunicação	Variáveis Monitoradas	Cenário	Sensores e Dispositivos
HAMIED et al. (2023)	802.11	Corrente, tensão, radiação solar e temperatura do ambiente	Estufa no Deserto	Sensor ACS712, Módulo Wi-Fi ESP8266, Arduino Mega e Módulo SIM8001
PARRA et al. (2019)	LoRa	Corrente, tensão, radiação solar e temperatura do ambiente	Sistema fotovoltaico de 5 kW em um campus universitário	Arduino Nano, Raspberry PI, DHT22, DS18S20, RFM95W e HOPE RFM95W
XU et al. (2023)	LoRa, 4G	Temperatura, vibração e descargas parciais	Transformadores de sistemas fotovoltaicos	STM32, E22-400T22D, E90-DTU, sensores de fibra óptica
SAMAL et al. (2022)	802.11	Temperatura, corrente e tensão elétrica	Monitoramento de placas fotovoltaicas policristalinas em Odisha, no leste da Índia.	Wi-Fi ESP8266, Arduino Uno R3

Próprio autor.

O cenário de aplicação também varia entre os trabalhos como, deserto e campus universitário. Isso mostra a versatilidade e a adaptabilidade da tecnologia IoT e dos sistemas fotovoltaicos, que podem ser aplicados em diversos ambientes e situações.

Os principais dados monitorados dos painéis fotovoltaicos, conforme a pesquisa realizada, incluem dados de corrente elétrica, tensão elétrica, radiação solar e temperatura do ambiente.

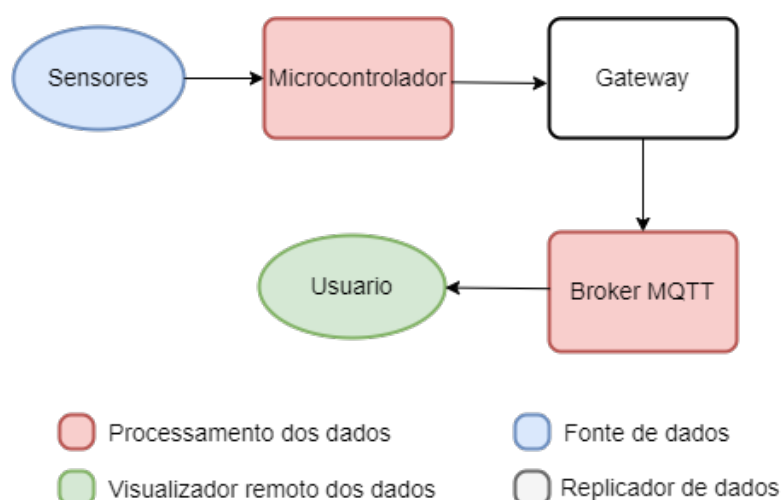
## 3. Abordagem Proposta

Nesta seção, será apresentada a proposta do sistema IoT para o monitoramento da região de painéis fotovoltaicos. Será descrita a modelagem, interações e funcionamento dos componentes do sistema proposto.

O Fluxograma da Figura 2 apresenta o fluxo de execução do sistema. Com relação ao monitoramento da região de instalação do sistema fotovoltaico, o fluxo começa com

os sensores de temperatura e radiação solar que captam sinais analógicos do ambiente e os enviam para o microcontrolador. Este, por sua vez, recebe as informações dos sensores, converte esses sinais analógicos em digitais e os transmite, utilizando o módulo de comunicação LPWAN LoRa para o gateway via radiofrequência. O gateway, equipado com o módulo de comunicação LPWAN LoRa, recebe os dados do microcontrolador e os publica no formato de um tópico no Broker MQTT. O broker MQTT por sua vez, encaminha a mensagem recebida pelo gateway para todos os assinantes do tópico em questão.

**Figura 2. Fluxo do sistema.**



Próprio Autor.

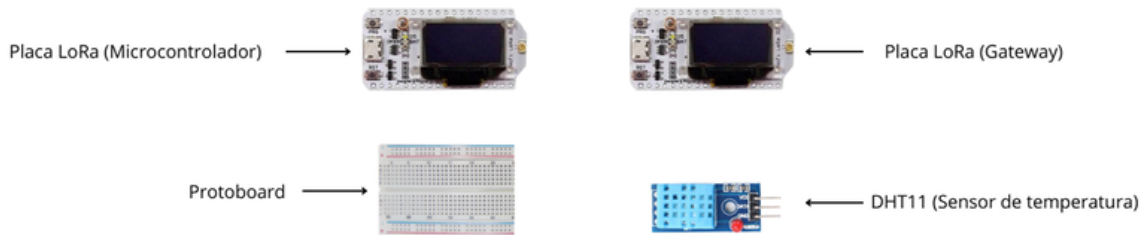
### 3.1. Componentes de Hardware

Para este protótipo de monitoramento, utilizou-se como hardware, dois microcontroladores do tipo ESP32 LoRa (v3) da marca Heltec, equipados com tecnologia LPWAN LoRa e 802.11, e um sensor de temperatura DHT11. Como sensor de radiação ultravioleta, foi utilizado o sensor UV UVM-30A. Na Figura 3, apresentam-se os componentes de hardware utilizados. Um dos microcontroladores foi configurado como dispositivo final responsável pela coleta de dados de temperatura, processamento, conversão para sinais digitais e envio desses dados via radiofrequência (915 MHz) com a tecnologia LoRa para o gateway. Outro microcontrolador foi configurado com a função de gateway, recebendo as informações do dispositivo final. O sensor DHT11 pode detectar temperatura na faixa de 0 até 50° graus Celsius, funcionando na tensão contínua de 3 até 5,5 e corrente de 0,5 até 2,5 miliampere. O servidor Broker MQTT é um computador com sistema operacional Windows 10, processador Intel Core i7-7700k, 8 Gigabytes de memória principal e 223 Gigabytes de armazenamento interno. O sensor de radiação ultravioleta, pode detectar raios UV com tamanho de onda entre 200-370nm. Sua tensão de operação entre 3-5V.

### 3.2. Protocolos e Tecnologias de Comunicação

A tecnologia LoRa utilizada neste trabalho, é uma tecnologia LPWAN que oferece conectividade de longo alcance e baixo consumo de energia. Suas especificações são desenvolvidas e mantidas pela LoRa Alliance, uma associação aberta composta por membros colaboradores [Chochul and Sevcik 2020]. O que permite o envio de dados a longa distância

**Figura 3. Componentes de *hardware* do protótipo.**



Próprio autor.

em redes LoRaWAN, é a tecnologia LoRa (*Long Range*) [Chochul and Sevcik 2020], que atua na camada física, modularizando os sinais na frequência de rede ISM abaixo de 1 GHz, usando uma técnica de espectro de espalhamento proprietária [Mekki et al. 2019]. O alcance de transmissão pode atingir 5 km em áreas urbanas e 20 km em áreas rurais [Chochul and Sevcik 2020]. A vantagem de adotar LoRaWAN no desenvolvimento do sistema é que ela é uma tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo energético e com possibilidade de criação de uma rede privada, podendo enviar uma quantidade ilimitada de mensagens, podendo conter até 243 bytes cada mensagem.

O protocolo MQTT, utilizado nesse trabalho, foi proposto pela IBM [IBM 2023] e teve a primeira aplicação destinada ao monitoramento de oleodutos, cujo objetivo era desenvolver um protocolo leve com economia de banda e baixo consumo de energia e processamento. O protocolo MQTT foi projetado para a troca eficiente de dados em tempo real entre sensores e dispositivos móveis. Tem como princípio minimizar a largura de banda da rede e os requisitos de recursos do dispositivo, garantindo uma entrega confiável. Pode transmitir dados em redes de baixa largura de banda ou não confiáveis com um consumo de energia muito baixo [IBM 2023]. Também opera sobre o TCP, porém foram desenvolvidos funcionalidades na camada de aplicação do protocolo para minimizar os efeitos do TCP. Com relação a esse aspecto, adicionou-se ao MQTT o oferecimento de três tipos de qualidade de serviço (do inglês *Quality of Service* — QoS) para a entrega das mensagens: [Soni and Makwana 2017]

- QoS 0 - No máximo uma vez (*At most once*): Este é o nível mais básico de QoS. A mensagem é entregue no máximo uma vez, e a entrega não é confirmada. É o modo mais rápido, pois não há necessidade de confirmação ou armazenamento da mensagem. Pode haver situações em que a mensagem não é entregue, por exemplo, devido a falhas de conexão. Pode ser usado em aplicações como monitoramento de temperatura ou umidade, nas quais, a perda de uma ou duas leituras pode ser aceitável, pois novas leituras são geradas frequentemente.
- QoS 1 - Pelo menos uma vez (*At least once*): O MQTT garante que a mensagem será entregue ao receptor pelo menos uma vez. Se o publicador não receber uma confirmação de entrega, ele tentará enviar a mensagem novamente. É mais confiável que o QoS 0, mas pode haver redundância de mensagens no assinante. Pode ser usado em sistemas de alerta ou notificação na qual, é importante garantir que a mensagem seja recebida, mesmo que isso possa resultar em notificações duplicadas ocasionalmente.
- QoS 2 - Exatamente uma vez (*Exactly once*): Este é o nível mais alto de QoS e garante que a mensagem seja entregue exatamente uma vez ao receptor. Implementa

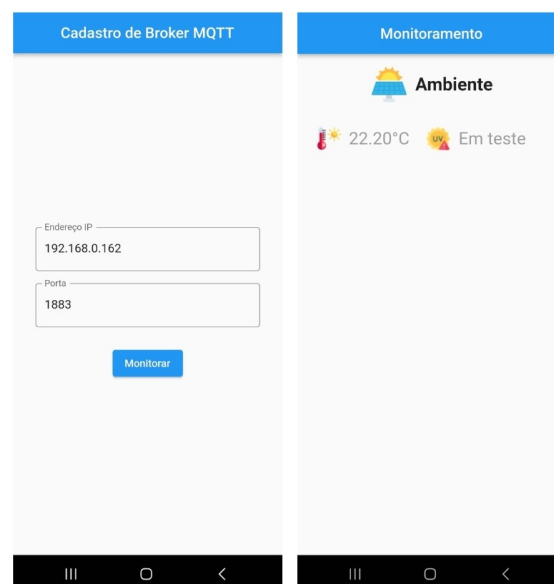
um mecanismo de estabelecimento da conexão de quatro etapas para garantir que mensagens perdidas sejam retransmitidas. É o modo mais confiável, mas também o mais lento devido ao processo de confirmação envolvido. Pode ser utilizado para transmitir dados médicos, como leituras de dispositivos médicos ou prescrições.

Para o trabalho, no protocolo MQTT, foi utilizado a qualidade de serviço 0, por ser aceitável perde de leituras pois elas são geradas frequentemente (a cada 1 minutos) e mesmo que algumas mensagens são perdidas, a temperatura e índice de radiação ultravioleta não são alterados bruscamente durante um curto período de tempo. Além disso, o tópico de assinatura para os usuários interessados é /temperatura para inscrição de informações relacionadas a temperatura e /radicao para informações relacionadas a radiação ultravioleta. Também foi configurada uma rede privada LoRaWAN para transmissão dos dados entre microcontrolador e gateway a longa distância e via radio-frequência.

#### 4. Resultados

Para esse protótipo, foi desenvolvida uma plataforma Web IoT na linguagem Dart com o framework Flutter. Na Figura 4 é ilustrada a tela de cadastro do Broker, na qual, deverá preencher os dados para comunicação com o Broker MQTT no servidor de gerenciamento. Após a conexão com o Broker, o usuário será direcionado para a tela de monitoramento dos dados. No momento, apenas a informação de temperatura está sendo apresentada.

**Figura 4. Interface de monitoramento.**



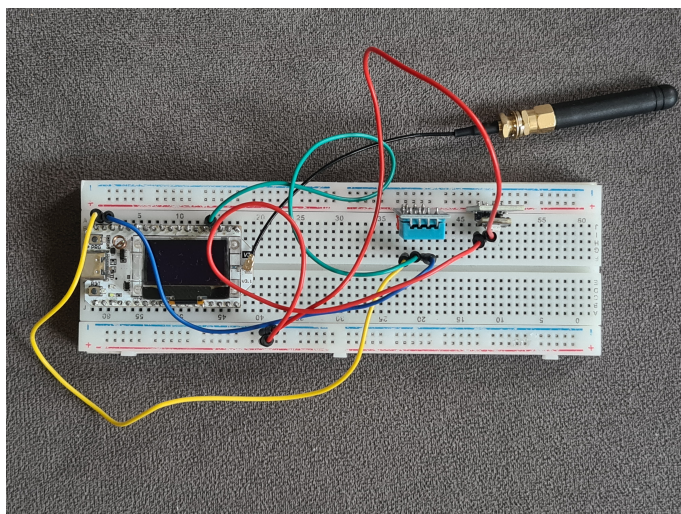
Próprio autor.

A figura 5 mostra a disposição dos componente de *hardware* na protoboard.

O gráfico da Figura 6 apresenta os resultados do monitoramento da temperatura ao longo do tempo. O experimento teve duração de 1 hora, com leituras realizadas a cada 1 minuto pelo sensor DHT11. Nos primeiros 5 minutos, a temperatura registrada foi a de um ambiente interno de uma residência. Após 5 minutos, um sistema de ar-condicionado



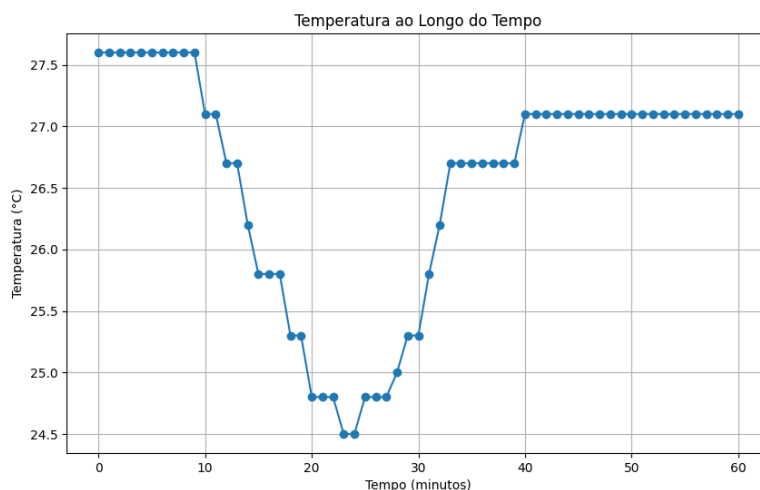
**Figura 5. Disposição dos componentes de *hardware*.**



Próprio autor.

foi acionado e a temperatura foi ajustada para 24 graus Celsius durante 20 minutos. Após esse período, a temperatura foi estabilizada de acordo com o ambiente.

**Figura 6. Monitoramento de temperatura.**



Próprio autor.

## 5. Conclusão

Neste artigo, apresentou-se a descrição para implementação de um sistema de monitoramento de temperatura e índice de radiação em uma região de instalação de placas fotovoltaicas. Foram vistos também, protocolos e tecnologias de comunicação em IoT para desenvolver o projeto com base nas necessidades deste tipo de monitoramento. As necessidades foram vistas com o estudo da literatura com foco em trabalhos relacionados a integração de tecnologias de IoT para o monitoramento de painéis fotovoltaicos.

A motivação para o trabalho, deu-se da lacuna existente entre a capacidade de geração de energia fotovoltaica e sua gestão eficaz por meio de tecnologias emergentes como plataformas de monitoramento IoT. Os objetivos foram delineados para abordar essa lacuna, com foco no desenvolvimento de uma plataforma IoT, capaz de monitorar painéis fotovoltaicos de forma inteligente, além de integrar informações relevantes a respeito de servidores Web.

A IoT, os protocolos e tecnologias utilizadas, foram essenciais para suprir as necessidades e funcionamento do sistema de forma eficiente tanto em energia como no alcance e na leveza das mensagens entre os dispositivos.

Este trabalho pode ser visto como uma alternativa eficiente para monitoramento remoto de aplicações que possuem necessidades ou características semelhantes à deste trabalho, como: Monitoramento de áreas de agricultura, na qual, pode ser acionado um atuador para irrigação caso a temperatura esteja muito alta ou um atuador para cobrir uma área da planarização caso a radiação esteja alta e em praias, para monitorar as condições de temperatura e radiação ultravioleta e emitir um alerta aos banhistas sobre eventuais condições prejudiciais a saúde em relação aos dados monitorados.

## Referências

- Chochul, M. and Sevcik, P. (2020). A survey of low power wide area network technologies. In *2020 18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, pages 69–73. IEEE.
- EBYTE (2023). <https://www.ebyte.com/>.
- Hamied, A., Mellit, A., Benghane, M., and Boubaker, S. (2023). Iot-based low-cost photovoltaic monitoring for a greenhouse farm in an arid region. *Energies*, 16(9):3860.
- IBM (2023). Message queuing telemetry transport (mqtt). <https://www.ibm.com/docs/en/mq/9.1?topic=protocols-mqtt>. Acesso em: 5 nov. 2023.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., and Meyer, F. (2019). A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. *ICT Express*, 5(1):1–7.
- Paredes Parra, J. M., García-Sánchez, A. J., Mateo-Aroca, A., and Molina-García, (2019). An alternative internet-of-things solution based on lora for pv power plants: Data monitoring and management. *Energies*, 12(5).
- Romero, M. d. A. and Reis, L. B. d. (2012). *Eficiência Energética em Edifícios*.
- Samal, K. B., Pati, S., Sharma, R., and Lenka, L. R. (2022). A low cost monitoring system for pv panel based on iot. In *2022 IEEE India Council International Subsections Conference (INDISCON)*, pages 1–5.
- Soni, D. and Makwana, A. (2017). A survey on mqtt: a protocol of internet of things (iot). In *International Conference on Telecommunication, Power Analysis and Computing Techniques (ICTPACT-2017)*, pages 173–177.
- ThingCloud (2023). Thingcloud. <http://thethings.io/>.
- Wu, G., Talwar, S., Johnsson, K., Himayat, N., and Johnson, K. D. (2011). M2m: From mobile to embedded internet. *IEEE Communications Magazine*, 49(4):36–43.

Xu, H., Ma, K., Shen, B., Yang, A., Zhou, Y., Li, J., Han, C., and Mu, H. (2023). Research on an iot-based smart monitoring system for distribution transformers in solar pv plants. In *2023 IEEE 6th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*, pages 2377–2381.