

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA HORTA AUTOMATIZADA COM INTERNET DAS COISAS

Lucas Bacich Martins <sup>1</sup>, Alessandra Dutra Coelho <sup>2</sup>, Wânderson de Oliveira Assis <sup>2</sup>,  
Fernando de Almeida Martins <sup>2,3</sup>, Rogério Cassares Pires <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>2</sup> Professor(a) do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>3</sup> Engenheiro do Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

**Resumo.** *A horta automatizada consiste em um plantio de hortaliças instalado no IMT que integra diversas tecnologias com o objetivo de monitorar as diversas variáveis do sistema e controlar o tempo de irrigação. Nesse trabalho a proposta é realizar um estudo visando a futura implementação do sistema de geração de energia fotovoltaica para alimentar todo o sistema da horta automatizada. Foram desenvolvidos circuitos eletrônicos para monitoramento de sensores inseridos no sistema de alimentação fotovoltaica com a visualização dessas informações por meio de dashboards aplicando conceitos de Internet das Coisas.*

## Introdução

Nos dias atuais, a busca por fontes de energia sustentáveis tem se tornado uma prioridade global, impulsionada pela crescente consciência ambiental e a necessidade premente de mitigar os impactos adversos das práticas energéticas convencionais. Nesse contexto, a energia solar emerge como uma solução vital, destacando-se por sua abundância, capacidade de renovação e baixo impacto ambiental. A capacidade de transformar a radiação solar em eletricidade oferece uma alternativa promissora para atender as crescentes demandas energéticas globais de maneira ecologicamente sustentável.

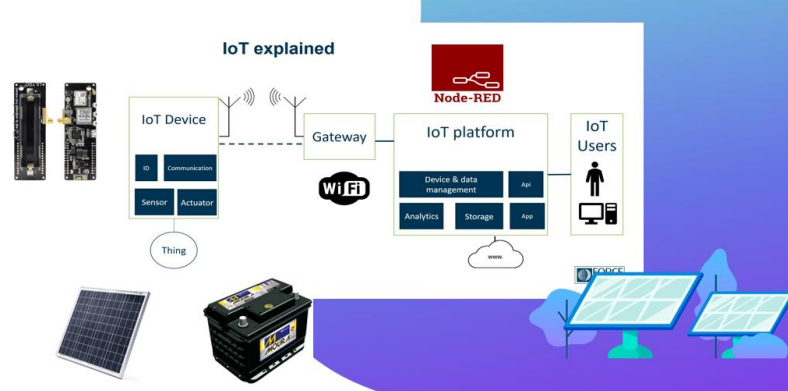
Além disso, a integração da Internet das Coisas (IoT) nesse cenário proporciona um novo horizonte de oportunidades para aprimorar a eficiência e a gestão dos sistemas de energia solar. Na medida em que as tecnologias relacionadas com o IoT permitem a interconexão de objetos, lugares e ambientes, formam uma rede global de dispositivos que compartilham dados (Koreschhoff et al, 2013). A IoT oferece a capacidade de monitorar, controlar e otimizar remotamente os componentes de uma instalação solar, promovendo um uso mais inteligente e eficaz da energia gerada. Esta interconectividade abre caminho para a criação de sistemas adaptativos e autônomos, capazes de se ajustar dinamicamente às condições ambientais e às variações na demanda de energia.

Esta abordagem não apenas representa um avanço tecnológico significativo, mas também se destaca por sua acessibilidade e viabilidade econômica. A aplicação da energia solar em conjunto com a IoT não se restringe a regiões geográficas específicas, oferecendo uma solução flexível e econômica que pode ser implementada em qualquer lugar do mundo.

Nesse contexto este artigo explora a sinergia entre a energia solar e a IoT, com enfoque na futura implementação de um sistema de alimentação com energia fotovoltaica para uma aplicação de horta automatizada no Instituto Mauá de Tecnologia. Em um trabalho anterior (Souza, 2022), foi realizado um estudo inicial referente ao escopo deste trabalho sendo uma contribuição importante para o direcionamento do projeto proposto.

A figura 1 representa a configuração IoT do projeto. As coisas, ou “things” que serão monitoradas serão as baterias e os painéis fotovoltaicos. O “IoT Device” do projeto será o microcontrolador ESP-32; o “Gateway” será a internet via Wi-Fi; a “IoT platform” será a plataforma Node-RED e, por fim, o usuário será quem se beneficiará deste monitoramento. Todos os componentes serão explicados com mais detalhes abaixo.

Figura 1 - Diagrama do monitoramento IoT . Reprodução: *Nordic IoT Centre/alterado*.



## Materiais e Métodos

Para a realização deste projeto foram utilizados os seguintes dispositivos.

- **Hardware**

### **ESP-32**

O microcontrolador escolhido para o projeto foi o TTGO T-Beam V1.1, que possui módulo Bluetooth, WiFi, GPS e LoRa, sendo os 3 últimos de extrema importância para o projeto para futuras aplicações em lugares remotos. Por ora, será utilizado apenas o módulo WiFi para testes controlados no Campus.

### **ADS1115**

Um conversor analógico-digital de 16 bits fabricado pela Texas Instruments, destaca-se por sua alta precisão na conversão de sinais analógicos para digitais. Com quatro canais de entrada diferenciais ou dois canais únicos, oferece versatilidade na medição simultânea de múltiplos sinais. Utilizando a interface I2C, facilita a integração com microcontroladores, e sua resolução de 16 bits, aliada a um amplificador programável, permite uma gama flexível de aplicações. Com opções de faixa de medição ajustável, baixo consumo de energia e desempenho confiável, o ADS1115 é especialmente vantajoso em aplicações que demandam alta precisão em uma faixa de voltagem mais limitada, como em ambientes eletrônicos alimentados com 3,3V. Comparativamente, sua resolução fina de aproximadamente 50 microvolts por divisão supera a entrada analógica do ESP32, proporcionando leituras mais detalhadas e precisas em cenários sensíveis à exatidão.

### **Painel Fotovoltaico**

KRIPT KRPF-10P foi o modelo fornecido pela faculdade para testes, tendo disponíveis 9 destes para uso. Eles geram até 10W de potência, 22,1V de tensão em circuito aberto e possuem uma eficiência total de 10%, sendo um painel solar “custo-benefício”, não recomendado para aplicações de grande porte.

### **Baterias Automotivas**

A bateria utilizada nos testes foi a MOURA 60GD, com uma tensão nominal de 12V e 60Ah. Esta será o suficiente para manter a potência na rede elétrica por um longo período enquanto o painel fotovoltaico não estiver operando.

- **Softwares**

### **Arduino IDE**

Para a parte da programação que seria injetada no ESP32, foi utilizada a plataforma *Arduino IDE*, com sua linguagem de programação baseada em C++. Nela, foi desenvolvido

um código que faz a conexão entre o ADS1115 e o ESP32 via protocolo I2C, além de conectar os dados obtidos pelo sensor com o Node-RED.

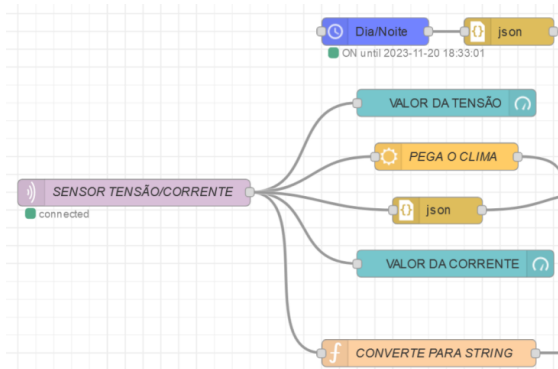
### Node-RED

Para monitorar a potência dos painéis fotovoltaicos em tempo real, foi desenvolvido um sistema de monitoramento autônomo na plataforma Node-RED, uma ferramenta desenvolvida pela empresa IBM que permite que o usuário crie códigos de uma maneira mais intuitiva e prática, apenas juntando “nós” (conhecidos na plataforma como NODES) e, assim, criando um programa em *JavaScript*.

#### Extraindo os dados

Foi criado na plataforma um sistema que recebe as informações de tensão e corrente de um módulo fotovoltaico pelo microcontrolador ESP32 via WiFi (representado pelo “nó” sensor tensão/corrente - figura 2) que serve como “disparo” (conhecido como “clock”) para que as funções à jusante funcionem. O “clock” do sistema pode ser ajustado de acordo com a necessidade de quem irá receber esses dados. Logo, se tratando de valores de potência de painéis fotovoltaicos que não se alteram em intervalos curtos de tempo, os testes foram realizados com intervalos de 15 minutos entre eles.

Figura 2 - Parte de extração de dados do código no Node-RED.

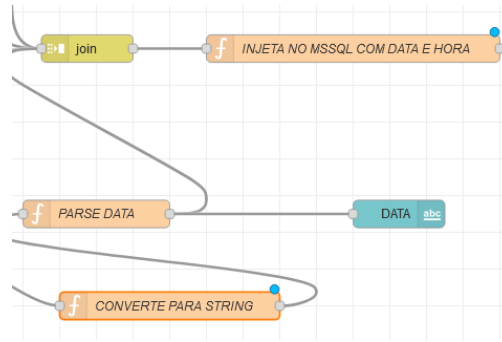


Quando o disparo é dado, os NODES *Dia/Noite* e *PEGA O CLIMA*, que são APIs de sites terceirizados, ou seja, serviços que outros sites disponibilizam gratuitamente ou via assinatura para serem usados em códigos e programas, requisitam desses sites as informações de clima, tempo e nascer/pôr do sol da latitude e longitude fornecidas. Com essas informações, é possível saber se o painel fotovoltaico está trabalhando de forma adequada à condição climática regente sobre ele.

#### Tratando os dados

Mesmo com as APIs integradas ao código, ainda não é possível obter a data e hora em que os dados foram fornecidos. Para isso, a função *PARSE DATA* (figura 3) injeta no código, de acordo com o clock, o horário em que ela foi “triggered” (ou “provocada” em tradução livre). Então, com todos os dados já obtidos, a função *join* irá juntar todas elas ao mesmo tempo para que a função *INJETA NO MSSQL COM DATA E HORA* funcione sem erros. Além disso, a função injetora no banco de dados também realiza o produto da tensão pela corrente, gerando assim a potência do módulo.

Figura 3 - As funções (nodes) para tratamento de dados.



### Banco de dados

De acordo com Blasgen (1982), “um banco de dados é um sistema de computador que gerencia grandes quantidades de dados, com foco na interface do usuário, compartilhamento, acesso simultâneo, segurança e integridade.”. Em outras palavras, Banco de Dados é onde se armazenam dados coletados por um longo período de tempo, podendo acessá-los, modificá-los e gerar estudos em cima dessas informações obtidas. No entanto, para acessar um banco de dados, é necessário o uso de ferramentas específicas.

O *MSSQL* é uma dessas ferramentas, a qual foi desenvolvida pela *Microsoft*. Esta ferramenta permite o usuário instanciar um banco de dados em sua máquina pessoal e acessá-lo de forma prática e intuitiva. Esta foi a ferramenta utilizada no projeto (figura 4). Nela, foram criadas as colunas: “id” que representa o número da amostra; “data” e “hora” que armazenam o dia e o horário da coleta da amostra; “dia” que representa o período do dia (DIA/NOITE); “clima” que apresenta o clima e o tempo do local; “tensao”, “corrente” e “potencia” que armazenam a tensão, a corrente e a potência coletadas, respectivamente.

Figura 4 - Banco de dados do MSSQL em outubro/2023.

id	data	hora	dia	clima	tensao	corrente	potencia
9	10/10/2023	15:58:33	DIA	Clouds   Nuvens Quebradas	5.06	0.14	0.71
10	10/10/2023	16:13:33	DIA	Clouds   Nuvens Quebradas	5.33	0.15	0.80
11	10/10/2023	16:28:33	DIA	Clouds   Nuvens Quebradas	6.24	0.20	1.25
12	10/10/2023	16:43:33	DIA	Clouds   Nuvens Quebradas	6.21	0.19	1.18

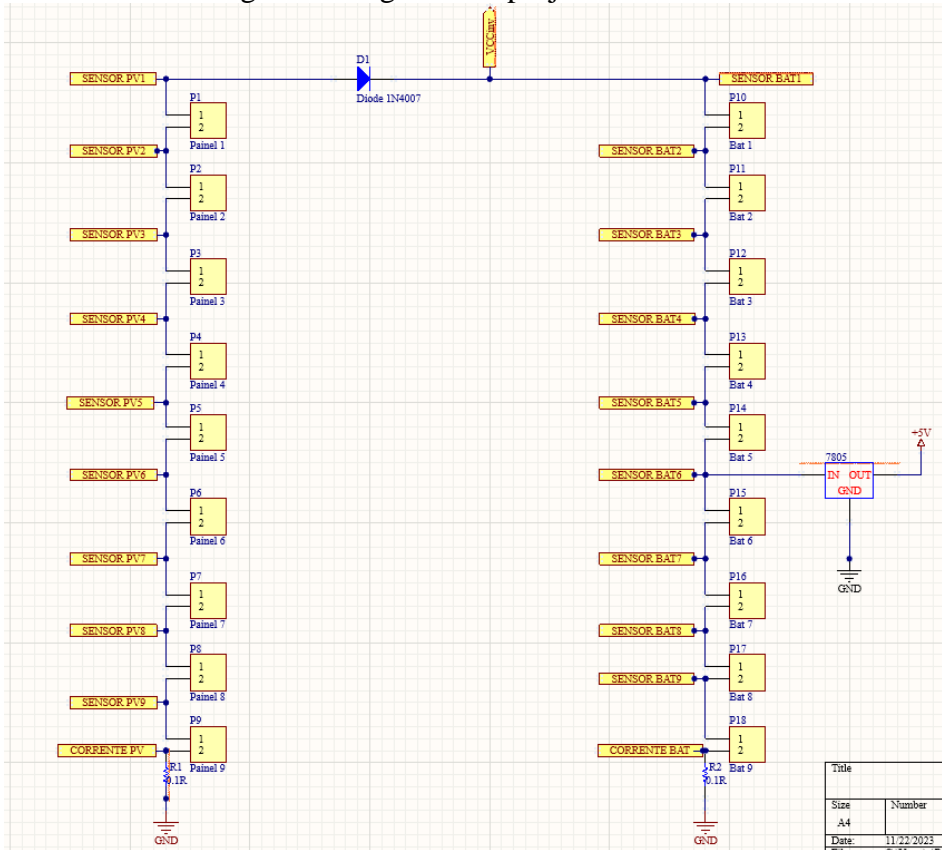
### Altium

Com o objetivo de criar um protótipo funcional para o projeto, integrando 9 baterias e 9 painéis solares monitorados individualmente, foi utilizado o programa Altium. O Altium (criado pela empresa Altium Limited) é uma avançada plataforma de design eletrônico que oferece soluções integradas para esquemáticos, layout de PCB (Placa de Circuito Impresso) e simulação, facilitando o desenvolvimento de projetos eletrônicos de alta qualidade. No programa, foi criado o protótipo da placa que seria usada para interligar todos os dispositivos eletrônicos mencionados anteriormente.

### Painéis Solares e Baterias

A figura 5 mostra o projeto das conexões das baterias e dos painéis solares na placa. Nesse caso, como explicado anteriormente, os painéis solares estarão em série, com cada polo positivo do painel e da bateria indo para um divisor resistivo que será apresentado. Cada etiqueta representa onde irão as conexões do sensor que irá monitorar cada módulo, sendo o sensor direcionado para um módulo fotovoltaico representado como “PV” (*Photovoltaic* em inglês) e direcionado para uma bateria como “BAT”.

Figura 5 - Página 1 do projeto no Altium.

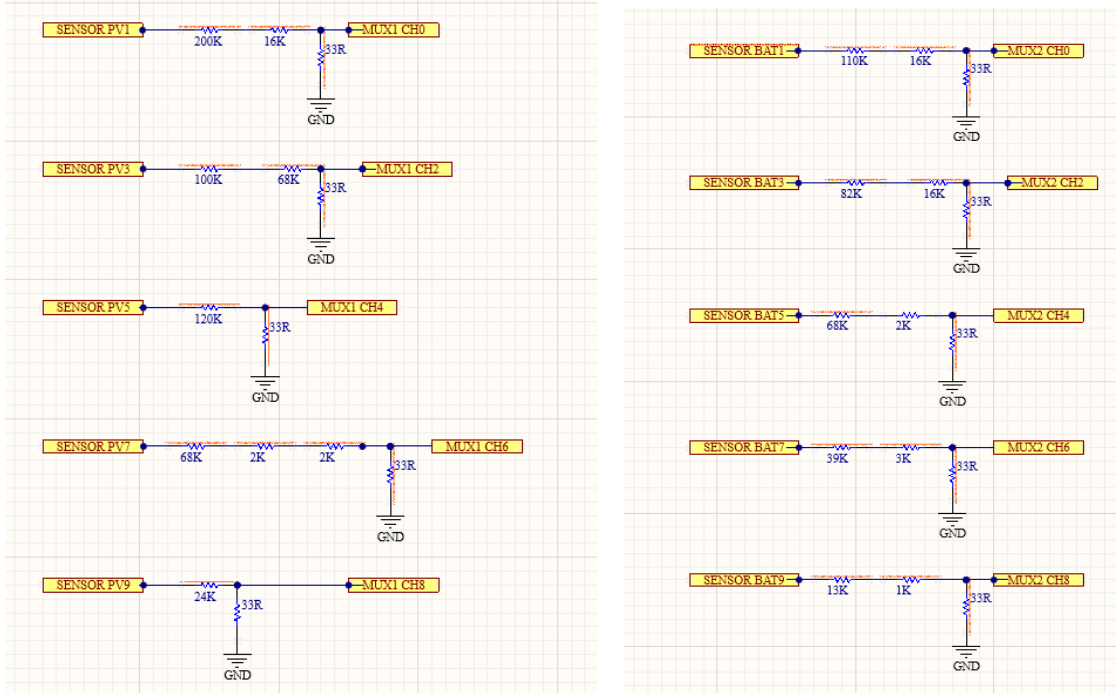


### Divisores resistivos

Como o ESP32 é sensível somente a tensões de até 3,3V, foi projetado um divisor resistivo (figura 6) para cada módulo, tanto de bateria quanto de painel solar. A máxima tensão que um módulo fotovoltaico *KRIPT KRPF-10P* pode fornecer é 22,1Vcc em circuito aberto. Porém, visando sempre o pior caso (picos de tensão indesejados), o projeto foi feito considerando 24V como tensão máxima de cada módulo. Por segurança de projeto foi considerada uma tensão de 14V para cada bateria (tensão nominal 12V).

A tensão medida pelo sensor será a tensão em cima do resistor 2 -  $V_{r_2}$ . Logo, esta tensão será proporcional a  $33\Omega$ , sendo sua máxima tensão somente 0,1375% da tensão máxima  $V_{entrada}$ . A tensão sobre  $V_{r_2}$  será transferida para um multiplexador e, posteriormente, passada para um amplificador operacional para que a precisão fique otimizada. Assim, fazendo individualmente o divisor resistivo para cada módulo e somando a tensão do módulo anterior em série (partindo do negativo até o positivo do sistema), temos um divisor resistivo completo.

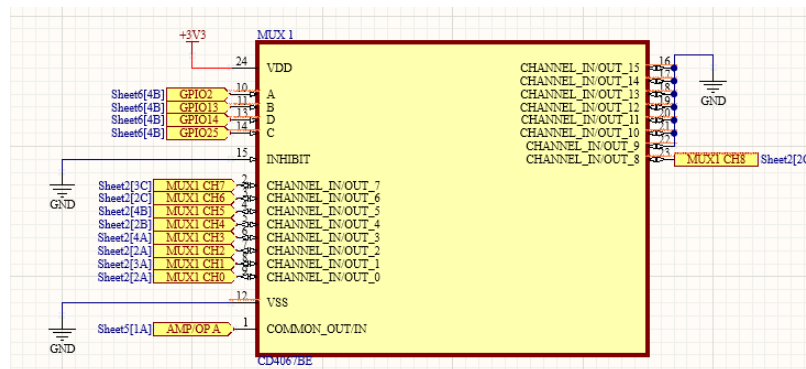
Figura 6 - Parte do divisor resistivo dos módulos fotovoltaicos e das baterias.



### Multiplexadores e Amplificadores Operacionais

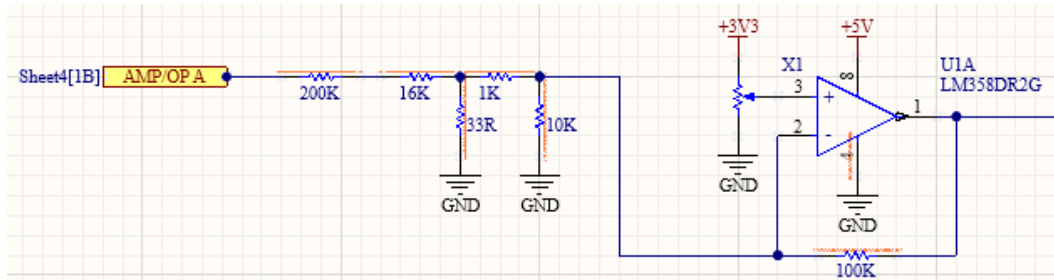
Os multiplexadores utilizados para a prototipagem foram dois CD4067BE. Os mesmos foram projetados para selecionar individualmente cada módulo fotovoltaico ou do banco de baterias, sendo possível monitorar cada um com mais precisão conforme requisitados. As entradas A, B, C e D representam chaves que serão controladas por portas GPIO do ESP32. Como haverá apenas 9 módulos fotovoltaicos e 9 baterias, os canais 9 ao 15 estarão aterrados como mostrado na figura 7.

Figura 7 - MUX dos painéis solares e banco de baterias.



Após a seleção do módulo a ser analisado, o sinal de tensão do canal selecionado pelo MUX irá para um amplificador operacional LM358DR2G. O amplificador tem como função amplificar o sinal de entrada, sendo possível definir a escala de amplificação desse sinal em sua saída com base nos resistores que compõem o seu circuito da figura 8.

Figura 8 - Amplificador operacional dos módulos fotovoltaicos.

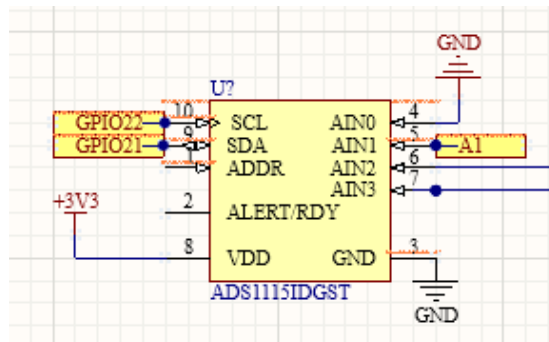


A entrada do amplificador operacional irá comparar a tensão somada dos módulos solares (ou seja, 216V) representados pelos resistores comerciais 200K $\Omega$  e 16K $\Omega$ , que servem para controle de máxima tensão, a qual será proporcional ao resistor de 33 $\Omega$ .

### ADS1115

Como dito anteriormente, o conversor ADS1115 (figura 9) possui uma precisão de 16 bits e pode ler valores de tensão até  $V_{DD}$ , sendo este o valor da tensão de alimentação do sensor. Como este será alimentado pela saída de 3,3V do ESP32, o mesmo pode ler valores somente até 3,3V. As saídas SCL e SDA são as saídas de *clock* e de *data* do sensor, respectivamente; as saídas de ADDR e ALERT/RDY não serão utilizadas no protótipo; a entrada AIN2 representa a entrada do sinal do amplificador operacional dos painéis fotovoltaicos e a saída AIN3, a entrada do sinal do amplificador operacional do banco de baterias.

Figura 9 - Sensor ADS1115 e suas conexões.



### Usando o ADS1115 como Sensor de Corrente

Para medir a corrente do lado do banco de baterias e do lado dos painéis fotovoltaicos, foi utilizado um resistor *shunt* de 0,1 $\Omega$ . Um resistor *shunt* é um componente eletrônico que permite medir a corrente em um circuito ao ser colocado em série com o sistema. Por conta de sua resistência ser baixa e conhecida, podemos calcular a corrente do circuito em que ele está apenas analisando a queda de tensão sobre ele, que será praticamente desprezível tendo em vista o sistema como um todo. Logo, ao comparar a entrada AIN0 (aterrada) com a entrada AIN1 (sinal de tensão sobre o resistor *shunt*, que virá de CORRENTE PV ou de CORRENTE BAT - figura 5), podemos calcular a corrente utilizando a lei de Ohm:

$$I_{sistema} = \frac{V_{AIN1}}{0,1\Omega}$$

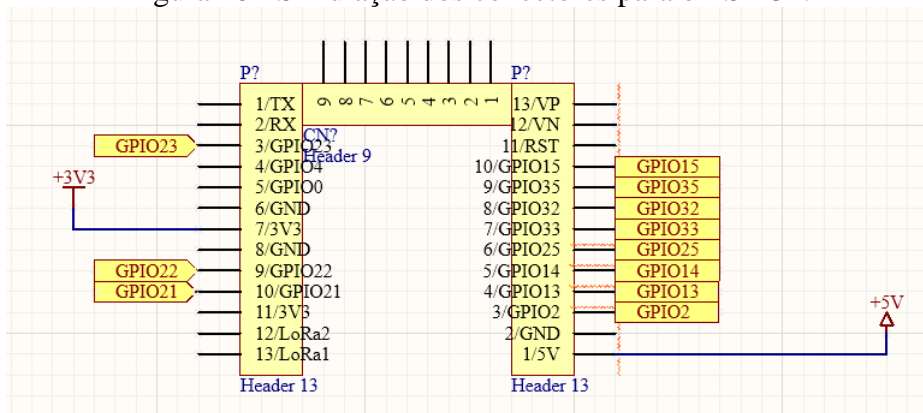
Desta maneira, como há apenas 1 porta para 2 sinais de corrente, foi necessário utilizar um transistor como chave. Logo, quando a saída GPIO23 do ESP32 for 1, a tensão selecionada para a entrada AIN0 do sensor ADS1115 será em cima do resistor *shunt* ligado ao sistema dos painéis solares; quando for 0, será em cima do resistor *shunt* ligado ao banco de baterias.

### ESP32 e Alimentações

No projeto foi realizada uma adaptação para o conector do ESP-32 TTGO T-Beam pois este não estava disponível como *template*. Sendo assim, seus conectores foram espelhados e

projetados para o encaixe correto do microcontrolador (figura 10). Todas as alimentações em 3,3V partem da fonte 3,3V do microcontrolador. As alimentações de 5V partiram da queda de tensão em cima da bateria 6, passando por um regulador de tensão CI 7805, que limita qualquer tensão em 5V.

Figura 10 - Simulação dos conectores para o ESP-32.



## Resultados e Discussões

O projeto utilizou-se da ferramenta de visualização de dados (figura 11), mais conhecida como *dashboard*, do próprio Node-RED, integrando assim todas as partes de coleta, tratamento, armazenamento e apresentação de dados em uma única plataforma.

A área de visualização de dados foi criada de maneira bem intuitiva para o usuário analisar se os dados coletados estão compatíveis com o clima e tempo atuais. Caso a tensão, a corrente e a potência estejam abaixo do esperado, os gráficos ficarão com um tom avermelhado para indicar anormalidades no painel.

Para que o usuário seja alertado o mais rápido possível sobre alguma alteração indesejada no funcionamento do painel solar, o sistema de monitoramento conta com uma API de notificação via *WhatsApp* (figuras 12 e 13), que se conecta via internet pelo próprio Node-Red e envia uma mensagem automática quando sua tensão está abaixo do desejado. Esta mensagem pode ser personalizada pelo próprio usuário; no caso do projeto, foi gerado um alerta em letras maiúsculas, escrito “AVISO! SUA TENSÃO ESTÁ BAIXA!”. A API *WhatsApp Bot* possui mensagens ilimitadas que podem ser enviadas pelo usuário até o momento (outubro/2023). Com estes alertas sendo enviados da forma mais instantânea possível conforme a variação da tensão, o usuário pode tomar a providência que for necessária a tempo de não prejudicar sua rede elétrica.



Figura 11 - Dashboard do sistema de monitoramento.

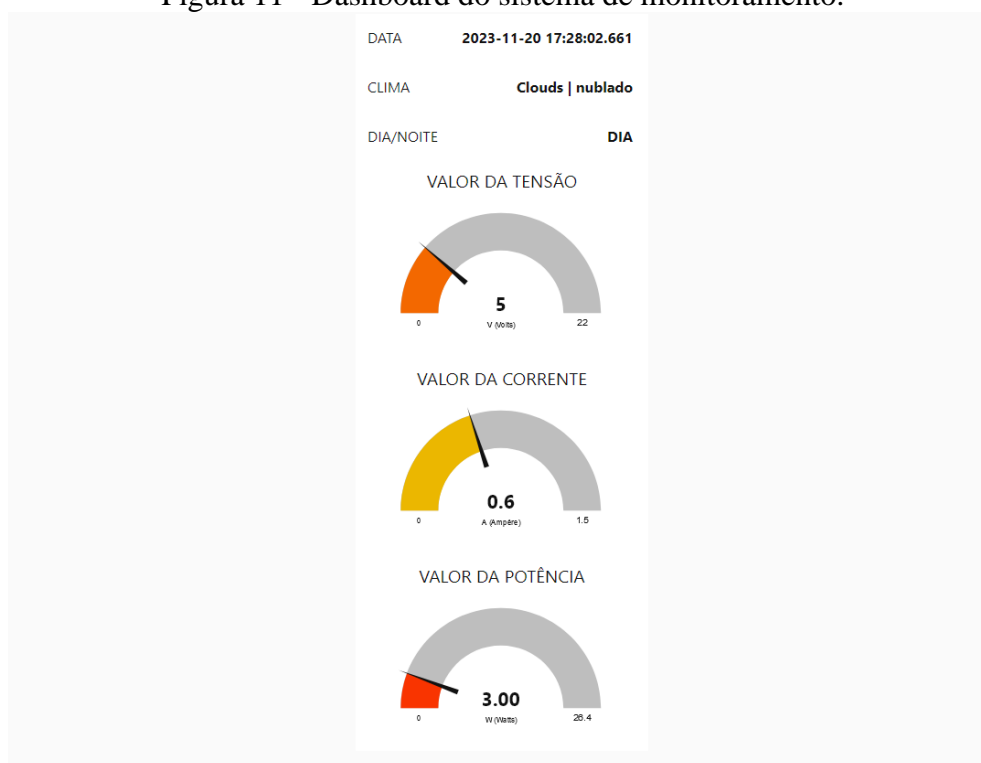
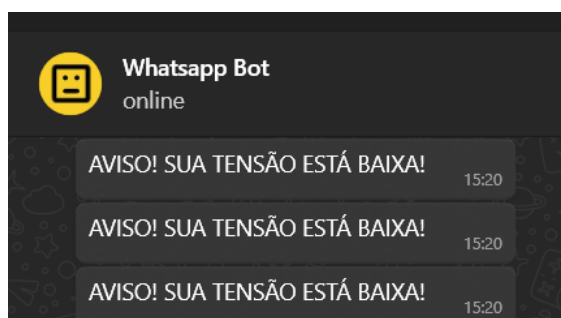


Figura 12 - Nodes dedicados a área de notificação do sistema.



Figura 13 - Exemplo de notificação do WhatsApp Bot.



## Conclusões

Em conclusão, a implementação bem-sucedida do sistema de monitoramento através do dashboard do Node-RED representa um marco significativo neste projeto. O dashboard oferece uma interface intuitiva e repleta de informações úteis, proporcionando ao usuário um controle abrangente sobre os dados do sistema de energia solar. A capacidade de visualizar e analisar em tempo real diversos parâmetros, como a produção de energia, clima e tempo, destaca a robustez e a utilidade do sistema de monitoramento desenvolvido.

Entretanto, ressalta-se que o projeto está em uma fase inicial e a placa de circuito impresso projetada ainda não foi produzida por conta do prazo apertado. Portanto, para garantir a eficácia e confiabilidade a longo prazo, é imperativo que o sistema seja submetido a testes

rigorosos no ambiente real. Esses testes futuros permitirão validar o desempenho do sistema em diferentes condições e confirmarão a viabilidade do projeto como uma solução prática e sustentável para a gestão eficiente de sistemas de energia solar. A perspectiva de realizar testes adicionais reflete o compromisso contínuo com a melhoria e o refinamento do projeto, consolidando sua posição como uma inovação promissora na integração entre energia solar e tecnologia de monitoramento avançada.

### **Referências Bibliográficas**

- Blasgen, M. (1982) Database Systems, Science 215: 869. doi:10.1126/science.215.4534.869.
- Koreshoff, T. L.; Robertson, T; Leong, T. W. (2013) Internet of things: a review of literature and products. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2541016.2541048>. Acesso em 10/05/2023.
- Souza, S. B.; Assis, W. O.; Coelho, A. D.; Martins, F. A.; Pires, R. C. (2020) Sistema de Geração de Energia Fotovoltaica para Horta Automatizada. Anais do 14. Seminário Mauá de Iniciação Científica. Disponível em: <https://maua.br/files/souza-assis-1670873713.pdf>. Acesso em 15/03/2023.