

# Estação agrometeorológica usando ESP32

Brayan B. T. C. Silva, Eduardo H. M. Cruz

<sup>1</sup>Instituto Federal do Parana (IFPR) – Campus Paranavaí  
CEP 87703-536 – Paranavaí – PR – Brasil

brayanbarrosdm@gmail.com, eduardo.cruz@ifpr.edu.br

**Abstract.** *This work presents the creation of a low-cost agrometeorological station with the ESP32 microcontroller, which supports LoRa technology, offering broad connectivity, including the Internet of Things (IoT). The station includes sensors for measuring air temperature and humidity, soil temperature and humidity, light and rain sensors, all connected to the ESP32 via a prototyping board. The objective is to explore the functionalities of the microcontroller and increase the accessibility of this type of equipment, benefiting small producers and rural communities by allowing the monitoring of conditions that affect agriculture.*

**Resumo.** *Este trabalho apresenta a criação de uma estação agrometeorológica de baixo custo com o microcontrolador ESP32, que possui suporte à tecnologia LoRa, oferecendo ampla conectividade, incluindo Internet das Coisas (IoT). A estação inclui sensores para medir temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo, luminosidade e sensor de chuva, todos conectados ao ESP32 por meio de uma placa de prototipagem. O objetivo é explorar as funcionalidades do microcontrolador e aumentar a acessibilidade desse tipo de equipamento, beneficiando pequenos produtores e comunidades rurais ao permitir o monitoramento das condições que afetam a agricultura.*

## 1. Introdução

A meteorologia desempenha um papel de suma importância na sociedade contemporânea, influenciando de forma direta e significativa uma ampla gama de atividades humanas. As condições climáticas, que são o cerne da meteorologia, exercem um impacto profundo em setores cruciais, notavelmente na agricultura. Nesse contexto, a coleta precisa de dados meteorológicos se revela fundamental para a elaboração de previsões acuradas e a tomada de decisões eficientes. A agricultura, como uma das bases fundamentais da subsistência e do desenvolvimento, demanda uma compreensão profunda das variáveis climáticas que podem afetar a produção, a produtividade e a sustentabilidade dessa atividade.

A abordagem emergente da agricultura de precisão surge como um elo indispensável para aprimorar o manejo das informações relacionadas às culturas agrícolas. Ao adotar uma perspectiva mais inteligente e minuciosa na gestão dessas informações, a agricultura de precisão visa otimizar os processos de produção agrícola, visando não apenas o incremento da produtividade, mas também a sustentabilidade das práticas agrícolas. Nesse contexto, a aplicação de tecnologias inovadoras torna-se uma aliada crucial para alcançar tais objetivos.

Este trabalho concentra-se na concepção e desenvolvimento de uma estação agrometeorológica que se vale de um microcontrolador de variação ESP32 com suporte à

tecnologia LoRa (Long Range). A escolha do microcontrolador WIFI LoRa 32 - Heltec Automation justifica-se por sua versatilidade e capacidade de integração. Sua amplitude de interfaces de comunicação, englobando Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet e Rádio, possibilita uma conectividade holística, inclusive com sistemas emblemáticos como a Internet das Coisas (IoT).

A estação agrometeorológica alvo deste projeto será construída em torno de uma diversidade de sensores e dispositivos harmonizados com o microcontrolador ESP32. Esses sensores englobarão medidas cruciais como temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo, níveis de luminosidade e detecção de umidade no ambiente. A convergência desses elementos se efetuará por intermédio de uma placa de prototipagem, estabelecendo um ecossistema coeso de monitoramento.

Um aspecto marcante deste projeto reside na acessibilidade proporcionada pelo uso de microcontroladores e sensores de custo reduzido. Tal abordagem alinha-se ao propósito de democratizar o acesso a equipamentos agrometeorológicos, conferindo a pequenos produtores, comunidades locais e entusiastas do campo um meio acessível para monitorar e compreender as nuances climáticas que impactam a produção agrícola.

A iminente revolução tecnológica conhecida como Internet das Coisas (IoT) amplifica as perspectivas de inovação e aplicação em diversos setores, inclusive a agrometeorologia. A presente pesquisa não apenas abraça a potencialidade da IoT, mas também contribui para sua expansão ao introduzir um dispositivo funcional, econômico e eficaz na coleta e análise de dados agrometeorológicos.

Portanto, espera-se contribuir para o entendimento da aplicabilidade da IoT na sociedade e produzir um equipamento funcional, barato e eficaz para a coleta e análise de dados agrometeorológicos.

## **2. Plataformas de desenvolvimento**

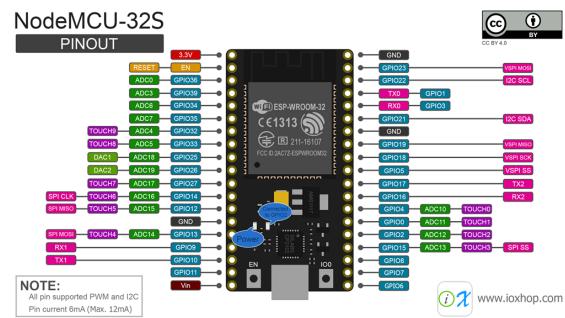
Segundo [Souza 2022], um sistema embarcado (Embedded System) é um sistema computacional, conjunto de hardware e software, projetado para executar uma tarefa específica em um sistema maior. Eles são integrados em outros produtos ou equipamentos, visando controlar ou monitorar uma determinada função, ou processo. Esses sistemas são geralmente projetados para serem simples e de baixo custo, sendo compostos por um conjunto limitado de componentes, como microcontroladores, sensores e atuadores.

### **2.1. Microcontrolador ESP32**

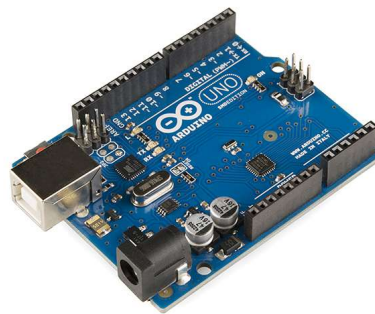
O ESP32 (Figura 1) é um dispositivo IoT (Internet das Coisas) que consiste de um microprocessador dual core Tensilica Xtensa 32-bit LX6 com suporte embutido à rede Wi-Fi, Bluetooth v4.2 e memória flash integrada. Essa arquitetura permite que ele possa ser programado de forma independente, sem a necessidade de outras placas microcontroladoras como o Arduino (Figura 2), por exemplo. Dentre as principais características deste dispositivo, podemos citar: baixo consumo de energia, alto desempenho de potência, amplificador de baixo ruído, robustez, versatilidade e confiabilidade. Além disso, o ESP-32 pode ser utilizado em ambiente industrial [Oliveira 2019].

### **2.2. Placa Wi-Fi LoRa 32**

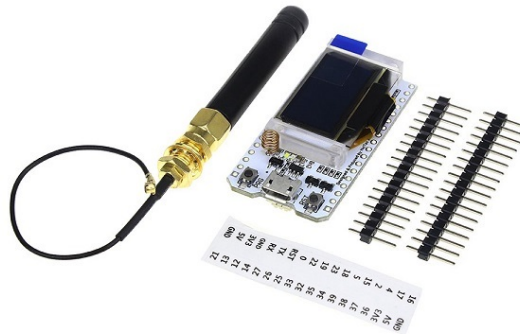
A união entre o LoRa (tecnologia de comunicação sem fio que funciona através de rádio frequência) e o ESP32 resultou na Placa Wi-Fi LoRa ESP32 (Figura 3). Esta é uma



**Figura 1. Pinagem do ESP32. [deinfo.uepg.br]**



**Figura 2. Arduino. [www.ralcomp.com.br]**



**Figura 3. Wi-Fi LoRa 32. [blogmasterwalkershop.com.br]**

plataforma completa de hardware e software voltada para prototipagem IoT, pois conta com Wi-Fi, Bluetooth e o LoRa.

De acordo com [Oliveira 2019] a Placa Wi-Fi LoRa ESP32 possui um Display OLED de 0,96" 128X64 que permite exibir em tempo real diversas informações, logo, toda depuração de informações podem ser verificadas sem o uso de uma ferramenta externa. A frequência de operação do LoRa na Placa Wi-Fi LoRa ESP32 pode ser de 433MHz, 868MHz ou 915MHz. No mercado há placas que operam somente em 433MHz,

placas que operam somente em 868MHz ou 915MHz, e placas que funcionam tanto em 868MHz quanto em 915MHz.

### 3. Trabalhos Relacionados

Este estudo apresenta os resultados de uma pesquisa bibliográfica realizada no Google Acadêmico e SciELO sobre o tema "Estação Agrometeorológica com Microcontrolador". O objetivo foi obter informações relevantes e aprofundar a compreensão sobre o assunto, destacando o uso de soluções de baixo custo e a integração com a Internet das Coisas (IoT) em Estações Agrometeorológicas. Além da análise de estudos acadêmicos, também foram avaliadas estações meteorológicas comerciais para identificar discrepâncias em relação às fontes acadêmicas e aos objetivos do projeto.

#### 3.1. Descrição dos Trabalhos Acadêmicos

O estudo conduzido por [Pereira and Cruvinel 2019] teve como objetivo desenvolver um sistema de coleta de dados agrometeorológicos. Para alcançar tal propósito, foram empregados os módulos Heltec Wi-Fi Lora 32 para transmitir dados por meio das redes sem fio Wi-Fi e LoRa, de forma similar ao presente trabalho em desenvolvimento. Os pesquisadores também adotaram sensores de temperatura, umidade, velocidade do vento e volume de chuva para viabilizar a implementação do protótipo. Nos experimentos conduzidos por [Pereira and Cruvinel 2019], os módulos de captura e recepção foram dispostos a uma distância de 30 metros, com obstáculos entre os dois módulos. Durante os testes realizados a essa distância, não foi observada perda de informação, demonstrando a eficiência e confiabilidade do sistema proposto.

O estudo conduzido por [Silva et al. 2015] teve como objetivo o desenvolvimento de uma estação meteorológica modular de código aberto. Essa estação foi projetada para coletar, registrar, armazenar, analisar e disponibilizar informações sobre diversos parâmetros atmosféricos, incluindo temperatura, umidade, pressão atmosférica, intensidade e direção do vento, e quantidade de precipitação. O primeiro protótipo dessa estação foi denominado "Meteorolog". O autor do estudo optou por utilizar a plataforma de prototipagem Arduino para a implementação do projeto. No entanto, o trabalho não enfatizou o sistema de comunicação utilizado, sugerindo que os dados coletados pela estação provavelmente foram transmitidos por meio de um cabo de conexão USB. É notável também o uso de uma ampla variedade de sensores no projeto, o que, por sua vez, contribuiu significativamente para o seu valor e funcionalidade.

O estudo realizado por [Araujo et al. 2017] teve como principal objetivo a criação de uma estação meteorológica automatizada, projetada para a coleta precisa de dados meteorológicos. Para o desenvolvimento do projeto, a equipe optou pela utilização da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino. Através dessa plataforma, diversos sensores foram interconectados para estabelecer comunicação com um sistema de supervisão e um aplicativo móvel, fazendo uso de uma rede Wi-Fi local. Este trabalho de pesquisa e desenvolvimento resultou na criação de uma estação meteorológica abrangente, equipada com sensores que incluem pluviômetro, anemômetro, barômetro, sensor de umidade do ar e sensor de temperatura do ar.

### 3.2. Descrição das Estações Comerciais

Na internet é possível encontrar muitas estações meteorológicas/agrometeorológicas genéricas. No entanto, o valor da estação utilizada como referência tem um preço de R\$105,79. Ela conta com anemômetro, pluviômetro e sensor de temperatura. Para que o usuário possa visualizar os dados é necessário que o mesmo observe a estação presencialmente já que ela não possui nenhum tipo de conectividade com qualquer dispositivo externo.

A Zowo Informática disponibiliza no mercado um instrumento de medição meteorológica notável que custa cerca de R\$579,49. O dispositivo proporciona medições precisas de velocidade e direção do vento, sensação térmica, temperatura e umidade. Além disso, oferece conectividade por rádio com um dispositivo que serve como interface para o usuário, o que elimina a necessidade de serviços de internet móvel e muito menos depender da disponibilidade de conexão de internet na área.

A estação meteorológica mais sofisticada examinada neste estudo é o Pluviômetro Autônomo FieldPRO, produzido pela marca homônima, FieldPRO. Custando cerca de R\$5900,00, é uma opção nacional devidamente validada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O pluviômetro opera digitalmente e envia dados em tempo real para o aplicativo FieldPRO, que requer uma assinatura mensal de R\$150,00, incluindo conectividade 2G, 3G ou 4G. Ele transmite informações climáticas a cada 60 minutos e possui conectividade Wi-Fi, além de sensores para temperatura, umidade, salinidade do solo e outros dados meteorológicos importantes.

### 3.3. Comparação das Estações Analisadas

Na busca por um entendimento mais aprofundado das características das estações analisadas, procedeu-se a uma análise comparativa por meio de tabelas (Tabelas 1, 2 e 3). O foco dessa análise recaiu sobre os sensores e as conectividades presentes nessas estações. O objetivo primordial foi identificar os sensores e as formas de conectividade mais frequentemente adotados, bem como aqueles menos utilizados.

Essa análise comparativa de sensores e conectividades representa uma etapa fundamental no processo de validação e aprimoramento das estações, fornecendo percepções valiosas para a otimização de futuros projetos e aperfeiçoamento das tecnologias envolvidas. Além disso, contribui para a compreensão mais profunda dos sistemas em operação e seu alinhamento com os objetivos do estudo em questão.

- Estação Acadêmica **a**: [Pereira and Cruvinel 2019]
- Estação Acadêmica **b**: [Silva et al. 2015]
- Estação Acadêmica **c**: [Araujo et al. 2017]
- Estação Comercial **d**: Estação Genérica
- Estação Comercial **e**: Estação Zowo
- Estação Comercial **f**: Estação FieldPro

## 4. Protótipo da Estação Agrometeorológica

Nesta seção, será detalhada a fase de desenvolvimento do protótipo da Estação Agrometeorológica, focando desde a escolha dos sensores, até a forma como a comunicação via LoRa funciona. Após estudar a teoria, escolher a plataforma de desenvolvimento e analisar o que já foi feito em trabalhos anteriores, estabeleceu-se os seguintes passos:

**Tabela 1. Funcionalidades do Trabalho Aqui Proposto.**

| Funcionalidade      | Estação Presente |
|---------------------|------------------|
| Anemômetro          |                  |
| Pluviômetro         |                  |
| Barômetro           |                  |
| Radiação Solar      |                  |
| Luminosidade        | X                |
| Temperatura do Ar   | X                |
| Temperatura do Solo | X                |
| Umidade do Ar       | X                |
| Umidade do Solo     | X                |
| Conectividade Rádio | X                |
| Conectividade Wi-Fi | X                |

**Tabela 2. Tabela das Estações Acadêmicas.**

| Funcionalidade      | Estação Ac. a | Estação Ac. b | Estação Ac. c |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| Anemômetro          | X             |               | X             |
| Pluviômetro         | X             |               | X             |
| Barômetro           |               | X             | X             |
| Radiação Solar      |               |               | X             |
| Luminosidade        |               | X             |               |
| Temperatura do Ar   | X             | X             | X             |
| Temperatura do Solo |               |               |               |
| Umidade do Ar       | X             | X             | X             |
| Umidade do Solo     |               |               |               |
| Conectividade Rádio | X             |               |               |
| Conectividade Wi-Fi | X             |               | X             |

**Tabela 3. Tabela das Estações Comerciais.**

| Funcionalidade      | Estação Com. d | Estação Com. e | Estação Com. f |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| Anemômetro          | X              | X              |                |
| Pluviômetro         | X              |                | X              |
| Barômetro           |                |                |                |
| Radiação Solar      |                |                |                |
| Luminosidade        |                |                |                |
| Temperatura do Ar   | X              | X              | X              |
| Temperatura do Solo |                |                | X              |
| Umidade do Ar       |                | X              | X              |
| Umidade do Solo     |                |                | X              |
| Conectividade Rádio |                | X              |                |
| Conectividade Wi-Fi |                |                | X              |

1. Escolha dos Sensores: Primeiro, dedicou-se tempo para escolher os sensores com bastante atenção, levando em conta o quão adequados eles são para as medições

agrometeorológicas que precisou-se fazer.

2. Montagem dos Circuitos: Na próxima etapa, projetou-se e montou-se os circuitos necessários para coletar e processar os dados dos sensores.
3. Programação e Comunicação LoRa: No terceiro passo, desenvolveu-se o código de software que controla a coleta de dados dos sensores e, de forma muito importante, fez-se com que os dados sejam transmitidos de forma eficaz através da tecnologia LoRa.

Esse processo, embora tenha uma estrutura definida, muitas vezes envolve ajustes à medida que identifica-se maneiras de tornar as coisas melhores durante os testes. Essa abordagem de ajuste contínuo é muito importante, especialmente em sistemas como a Estação Agrometeorológica, onde até pequenas mudanças podem afetar todo o sistema. Portanto, tanto a escolha dos sensores quanto a programação da comunicação LoRa passaram por melhorias ao longo do tempo até alcançarmos um equilíbrio satisfatório entre precisão e eficiência operacional, atendendo assim às necessidades específicas da aplicação agrometeorológica.

#### 4.1. Escolha dos Sensores

Os sensores desempenham um papel crucial neste projeto (Tabela 4). Ao selecionar os sensores, levou-se em consideração uma variedade de fatores, sendo os mais preponderantes a necessidade e a disponibilidade. Como é conhecido, o ESP32 possui um número limitado de portas de entrada, o que demandou uma análise minuciosa para otimizar sua utilização durante a construção do projeto. Além disso, como mencionado anteriormente, as estações meteorológicas/agrometeorológicas requerem sensores específicos. Quanto à disponibilidade, nem todos os sensores que almejou-se incorporar puderam ser incluídos; por exemplo, o barômetro teve de ser excluído devido a restrições de recursos.

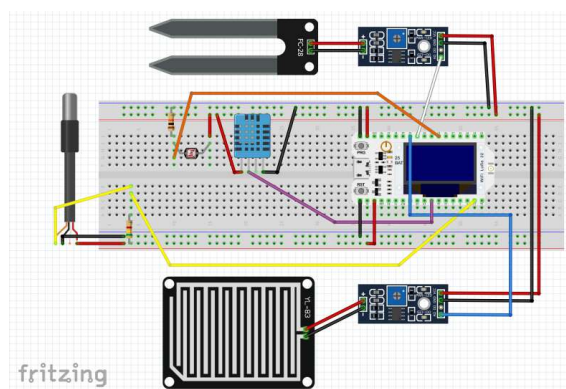
#### 4.2. Montagem dos Circuitos

A partir deste momento, a compreensão aprofundada do funcionamento teórico da estação agrometeorológica é essencial para uma exposição detalhada das etapas de produção. No projeto, foram utilizadas duas placas, ambas com circuitos independentes. No entanto, é relevante detalhar o funcionamento de apenas uma delas em relação ao seu circuito; No caso, a Placa 1 (Figura 4).

A Placa 1 é posicionada no campo e abriga todos os sensores cruciais para a coleta de dados agrometeorológicos. Esses sensores abrangem a medição da temperatura do ar, umidade do ar, temperatura do solo, umidade do solo, precipitação e intensidade de luz. Além dos sensores, a Placa 1 está equipada com uma fonte de alimentação e uma antena

**Tabela 4. Tabela dos Sensores Optados.**

| Sensor                      | Nome Específico | Valor Aproximado |
|-----------------------------|-----------------|------------------|
| Temperatura e Umidade do Ar | DHT11           | R\$12,07         |
| Temperatura da Terra        | DS18B20         | R\$16,12         |
| Umidade da Terra            | HL-69           | R\$10,7          |
| Chuva                       | Não Possui      | R\$9,88          |
| Luz                         | Não Possui      | R\$1,94          |



**Figura 4. Esquema do Circuito da Placa 1.**

de rádio para comunicação via LoRa. A principal função desta placa é coletar informações agrometeorológicas no local e transmitir esses dados para a Placa 2.

A Placa 2, situada em um ambiente de controle, assume a responsabilidade de receber os dados provenientes da Placa 1, processá-los e transmiti-los para um servidor Broker MQTT. Atuando como uma espécie de gateway, ela desempenha um papel crucial na assimilação e retransmissão dos dados. Isso significa que, assinando os tópicos adequados no servidor MQTT, é possível obter acesso aos valores inicialmente capturados pela Placa 1. Vale a pena ressaltar que não há nada além de uma antena de rádio e uma fonte de alimentação conectada a Placa 2.

### 4.3. Programação e Comunicação LoRa

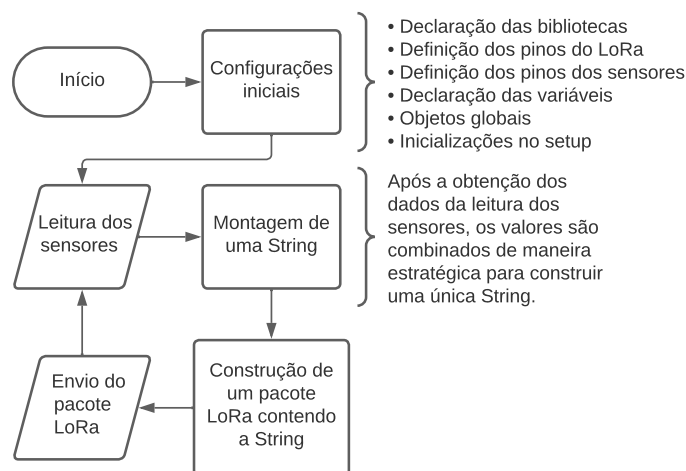
Os códigos de ambas as placas são altamente específicos e apresentam notáveis distinções. A única semelhança é a presença de linhas de código dedicadas à comunicação LoRa em ambos os códigos. No entanto, mesmo dentro do contexto da comunicação LoRa, existem diferenças essenciais, pois uma placa está encarregada apenas do envio de pacotes de dados, enquanto a outra se dedica exclusivamente à recepção desses pacotes.

Na Placa 1 (Figura 5), o código engloba configurações das portas, estabelecimento da comunicação LoRa e implementação de métodos independentes para cada tipo de dado coletado pelos sensores. Após a conclusão das configurações e a obtenção dos dados dos sensores, esses dados são compilados em uma String projetada para ser dividida na Placa 2. Esses dados são então enviados como um pacote de rádio/LoRa.

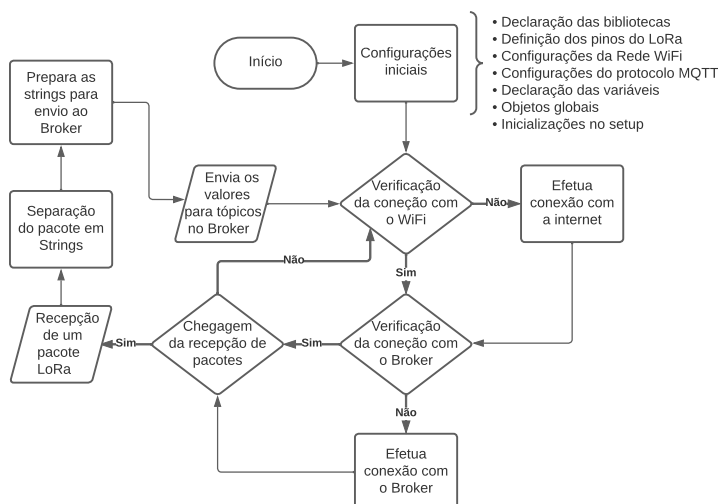
Por outro lado, o código da Placa 2 (Figura 6) é focado em configurar as portas, estabelecer a comunicação LoRa e configurar a conexão WiFi. Após receber o pacote de rádio/LoRa da Placa 1 e desmembrá-lo, os dados relativos aos sensores são enviados em tópicos distintos para um Broker MQTT.

## 5. Avaliação Experimental

Nesta seção, estão descritos os experimentos conduzidos nas imediações do IFMAKER, o Laboratório de Prototipagem do IFPR. O objetivo central desses experimentos foi avaliar o desempenho do protótipo (Figura 7) sob condições próximas à realidade e determinar a distância máxima alcançada pelas antenas de comunicação.



**Figura 5. Fluxograma do código da Placa 1.**

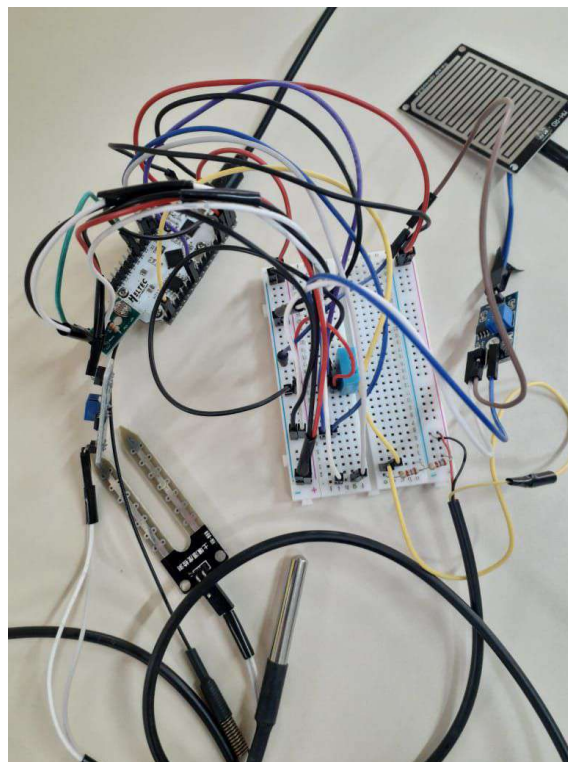


**Figura 6. Fluxograma do código da Placa 2.**

### 5.1. Metodologia

Os experimentos foram cuidadosamente planejados, com o monitoramento contínuo do protótipo em operação por um período aproximadamente 2 horas. Durante esse tempo, foram observados e avaliados os valores registrados pelos sensores. Além dos testes voltados para o desempenho do protótipo, efetuou-se um teste adicional para estimar a distância operacional da estação. Nesse teste, a Placa 1 foi movida para dois pontos distintos, **A** e **B**, no campus do IFPR, mantendo a Placa 2 (gateway) no IFMAKER. Os testes foram realizados no período da manhã do dia 25 de setembro de 2023.

A Figura 8, baseada na vista panorâmica do IFPR obtida pelo Google Maps, ilustra claramente as posições **A** e **B** mencionadas.



**Figura 7. Estação do Trabalho Aqui Proposto.**



**Figura 8. Mapa com indicação do IFMAKER e pontos A e B.**

## 5.2. Resultados

Durante os experimentos, a Placa 1 foi deliberadamente posicionada fora do laboratório, sendo exposta a condições que simulavam cenários de uso real. Os testes ao ar livre transcorreram, em geral, sem incidentes significativos, embora tenha-se identificado um desafio importante: a necessidade de uma fonte de alimentação eficiente.

**Tabela 5. Mínima e Máxima dos Valores dos Sensores.**

| Sensor               | Mínima | Máxima |
|----------------------|--------|--------|
| Temperatura do Ar    | 35.76C | 36.50C |
| Umidade do Ar        | 40.00H | 42.00H |
| Temperatura da Terra | 33.90C | 34.59C |
| Umidade da Terra     | 51.00H | 52.00H |
| Chuva                | 63%    | 64%    |
| Luz                  | 100%   | 100%   |

A Tabela 5 apresenta a mínima e máxima dos valores obtidos durante o período de testes, oferecendo uma visão consolidada do desempenho dos sensores durante a avaliação experimental.

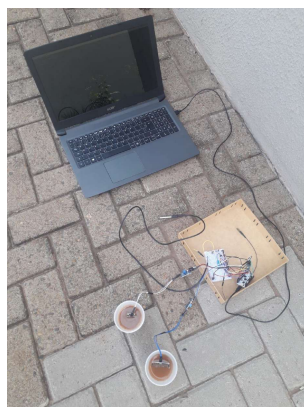
Em relação ao alcance máximo da comunicação LoRa, observou-se variações significativas dependendo do ambiente (Figura 8). No ponto **A**, onde havia uma considerável quantidade de obstáculos, como paredes de concreto entre as placas, notou-se perda de pacotes a partir de aproximadamente 60 metros. Em contrapartida, em um teste realizado no ponto **B**, com menos obstáculos, conseguiu-se atingir uma distância de quase 120 metros antes de ocorrer uma perda total de pacotes. Essas observações são fundamentais para compreender as limitações da tecnologia LoRa em diferentes condições.

## 6. Considerações

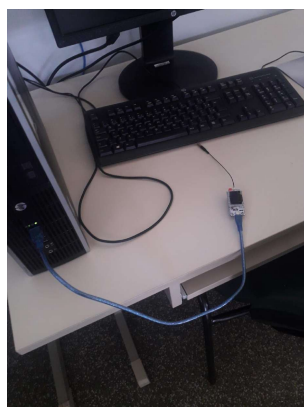
Os experimentos revelaram informações valiosas sobre o desempenho do protótipo, com resultados estáveis dos sensores (conforme mostrado na Tabela 5). No entanto, um desafio é a necessidade de uma fonte de alimentação eficiente para operações prolongadas ao ar livre.

As Placas 1 e 2 (Figuras 9 e 10) foram alimentadas diretamente durante os testes, mas essa abordagem não é prática para condições reais. Encontrar uma bateria com longa duração, facilidade de recarga e resistência ambiental é um desafio complexo devido à exposição ao sol e à umidade.

No geral, os experimentos forneceram uma base sólida para o aprimoramento contínuo do protótipo, destacando seus pontos fortes e desafios, com o objetivo de contri-



**Figura 9. Registro dos Testes - Placa 1.**



**Figura 10. Registro dos Testes - Placa 2.**

buir para a inovação neste campo em constante evolução.

## Referências

- Araújo, F. C., de Souza Mendonça, G. L., Filho, I. F. F., de Oliveira, R. F., de Melo Medeiros, A. M., de Oliveira, B. Q., and Borges, F. N. (2017). Desenvolvimento de uma estação meteorológica automática para coleta de dados climáticos via wi-fi.
- Oliveira, E. (2019). Conhecendo a placa wifi lora esp32 (433mhz / 868mhz / 915mhz). MasterWalker Shop, <https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp32/conhecendo-a-placa-wifi-lora-esp32-433mhz-868mhz-915mhz>, acessado em: Setembro de 2023.
- Pereira, M. and Cruvinel, P. (2019). Desenvolvimento de um sistema de coleta automática de dados agrícolas baseado em rede lora e no microprocessador esp32. In *Anais da X Escola Regional de Informática de Mato Grosso*, pages 43–48, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Silva, R., Leal, L., Alves, L.S., B., R.V., Alves, R.C.M., Klering, E., Pezzi, and R.P. (2015). Estações meteorológicas de código aberto: Um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37:1505–.
- Souza, F. (2022). O que são sistemas embarcados? Embarcados, <https://embarcados.com.br/o-que-sao-sistemas-embarcados/>, acessado em: Setembro de 2023.