



**LUCAS MATHEUS PAULUS LEISMANN**

**PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO METEOROLÓGICO PARA PEQUENAS  
PROPRIEDADES AGRÍCOLAS**

**Três de Maio  
2024**

**LUCAS MATHEUS PAULUS LEISMANN**

**PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO METEOROLÓGICO PARA PEQUENAS  
PROPRIEDADES AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade Três de Maio –  
Setrem para obtenção do grau de Bacharel  
em Engenharia de Computação.

Orientador:

Prof. Dr. Adriano Jose Vogel

**Três de Maio**

**2024**

## RESUMO

A agricultura vem se tornando cada vez mais avançada com novas tecnologias surgindo como sistemas automatizados para auxiliar no campo e com grandes evoluções em todos os setores, tornando-se um mercado muito aberto para novas tecnologias. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de estação meteorológica, que realiza a coleta de informações de alguns sensores, envia para uma central em um ponto específico, que fica responsável por enviar os dados para um banco de dados, que pode ser acessado por uma dashboard pelo cliente. A abordagem utilizada foi a quantitativa, tendo como objetivo a obtenção de dados dos sensores, além dos dados de latência e perda de pacotes durante a comunicação com ambas as antenas. Aplicaram-se as técnicas de coleta mediante dois microcontroladores, pelas quais os dados são gerados, enviados para a antena receptora que em seguida envia os dados para um servidor com um banco de dados em Influx, capaz de receber os dados em tempo real e salvar o momento de sua coleta, assim enviando para uma dashboard no Grafana, onde são exibidos em gráficos os resultados coletados. O trabalho conta com uma fundamentação teórica baseada em pesquisas bibliográficas, artigos e análises de mercado. Os testes do trabalho tiveram resultados muito bons, trazendo uma taxa de tempo de resposta baixa, cerca de apenas 97ms e com dados como a umidade relativa do ar, a temperatura no local e indicando se está ou não chovendo no ponto em que o dispositivo foi instalado. O dispositivo consegue enviar os dados de maneira ininterrupta para o banco de dados.

**Palavras-chave:** Agricultura, Tecnologia, Meteorologia.

## ABSTRACT

*Agriculture is becoming increasingly technologically advanced in all sectors, making it a very open market for new technologies. This work aims to develop a prototype weather station that collects information from a number of sensors and sends it to a central station at a specific point. The data is then transmitted to a database, which can be accessed via a dashboard by the client. The approach used is quantitative, to obtaining data from the sensors, as well as latency and packet loss data during communication with both antennas. The collection techniques were applied using two antennas, through which the data is generated, and sent to the receiving antenna, which then sends the data to a server with an Influx database, capable of receiving the data in real-time and saving the moment of its collection, thus sending it to a dashboard in Grafana, where the collected results are displayed in graphs. The work has a theoretical foundation based on research, articles, and market analysis. The tests conducted in this work yielded excellent results, showing a low response time of approximately 97ms. The data collected included relative air humidity, local temperature, and an indication of whether it is raining at the installation site. The device is capable of transmitting data continuously to the database without interruptions.*

**Key words:** *Agriculture, Technology, Meteorology.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: ESP32 Heltec LoRa V2 .....	28
Figura 2: Sensor de chuva.....	30
Figura 3: Sensor de umidade.....	31
Figura 4: Sensor de temperatura .....	32
Figura 5: Antena de comunicação via rádio .....	33
Figura 6: Exemplo de rede de computadores .....	34
Figura 7: Sistema de placas solares .....	37
Figura 8: Diagrama de execução do trabalho .....	41
Figura 9: Esquema elétrico .....	43
Figura 10: Comparação entre LPWAN e redes celulares .....	44
Figura 11: Comparação de tecnologias LPWAN em termos de IoT .....	45
Figura 12: Distância percorrida pelo pacote de dados durante a quebra do recorde mundial .....	47
Figura 13: Circuito de monitoramento.....	48
Figura 14: Sensor com os Leds ativos em solo seco e úmido .....	51
Figura 15: Protótipo de estação agro meteorológica .....	53
Figura 16: Caixa Plástica .....	59
Figura 17: Comunicação em Nuvem .....	60
Figura 18: Dados no Grafana .....	61
Figura 19: Esquema de redução de energia.....	63
Figura 20: CN 3065 .....	64
Figura 21: Esquema elétrico do CN3065.....	64
Figura 22: Ligações do Sensor de Chuva.....	66
Figura 23: Esquema de Ligação sensor NTC 10k .....	68

Figura 24: Ligação do Sensor DHT 11 .....	72
Figura 25: Comunicação Interna das Antenas .....	72
Figura 26: Informações Enviadas ao Influx.....	74
Figura 27: Dado de Intensidade de Chuva / Grafana .....	76
Figura 28: Dados de Umidade e Temperatura do Grafana .....	77
Figura 29: Antena Receptora Montada .....	78
Figura 30: Caixa Instalada .....	79
Figura 31: Sensor de Intensidade de Chuva Instalado .....	80
Figura 32: Localização do primeiro teste .....	81
Figura 33: Segundo teste.....	82
Figura 34: Dados Recebidos pelo Grafana.....	83
Figura 35: Acesso Remoto dos dados do Grafana .....	84
Figura 36: Caixa da Antena Transmissora .....	87
Figura 37: Dados Capturados em 12h de uso .....	88

## LISTA DE CÓDIGOS

Código 1: Programação do Sensor de Chuva .....	67
Código 2: Código do sensor NTC 10k .....	70
Código 3: Código do Sensor de Umidade DHT 11.....	71
Código 4: Comunicação Wi-Fi .....	73
Código 5: Criptografia da Comunicação .....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Orçamento .....	96
Quadro 2: Cronograma .....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação dos trabalhos relacionados .....	54
Tabela 2: Soluções do Mercado.....	55
Tabela 3: Consumo de energia dos protótipos.....	65
Tabela 4: Consumo do Microcontrolador .....	66
Tabela 5: Dados no banco de dados Influx.....	75
Tabela 6: Consumo de banda larga .....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G	Segunda Geração de Tecnologia Móvel
3G	Terceira Geração de Tecnologia Móvel
4G	Quarta Geração de Tecnologia Móvel
5G	Quinta Geração da Tecnologia Móvel
A	Ampère
Ah	Ampère-Hora
AM	Amplitude Modulada
AP	Agricultura de Precisão
ANA	Agência Nacional de Águas
AES	Advanced Encryption Standart
CPU	Unidade Central de Processamento
CRHB	Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FM	Frequência Modulada
GPIO	General-Purpose Input-Output
HD	Hard Disk
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol

Kb	Quilobits
KB	Quilobytes
Km	Quilômetros
LARCC	Laboratory Of Advanced Research On Cloud Computing
LED	Light Emitting Diode
LiCoO <sub>2</sub>	Lítio de Cobalto
LiFePO <sub>4</sub>	Fosfato de Ferro Lítio
Li-ion	Íons de Lítio
LiPo	Polímero de Lítio
LoRa	Long Rate
LoRaWan	Long Range Wide Area Network
LPWAN	Low Power Wide Area Network
mA	Miliamperes
MAC	Media Access Control
MHz	Megahertz
mm	Milímetros
mW	Miliwatts
PCI	Placa de Circuito Impresso
PU	Plurietano Modificado
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
Setrem	Sociedade Educacional Três de Maio
SO	Sistema Operacional
SSD	Solid State Disk
SQL	Structured Query Language
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TI	Tecnologia da Informação

USB      Universal Serial Bus

V         Volts

VM       Máquina Virtual

W         Watts

Wi-Fi     Wireless Fidelity

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1 PLANO DE ESTUDO E PESQUISA</b> .....	19
1.1 TEMA .....	19
1.1.1 <b>Delimitação do Tema</b> .....	19
1.2 OBJETIVO GERAL.....	20
1.2.1 <b>Objetivos Específicos</b> .....	20
1.3 JUSTIFICATIVA.....	20
1.4 PROBLEMA .....	22
1.5 HIPÓTESE .....	22
1.6 METODOLOGIA.....	22
1.6.1 <b>Abordagem</b> .....	22
1.6.2 <b>Procedimento</b> .....	23
1.6.2.1 Validação das Hipóteses .....	23
1.6.3 <b>Técnicas</b> .....	24
1.7 CRONOGRAMA.....	25
1.8 ORÇAMENTO .....	25
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	26
2.1 PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO METEOROLÓGICO .....	26
2.1.1 <b>Microcontroladores</b> .....	27
2.1.2 <b>Sensores</b> .....	29
2.1.2.1 Sensor de chuva.....	30
2.1.2.2 Sensor de umidade .....	30
2.1.2.3 Sensor de temperatura.....	31

2.1.3	<b>Comunicação</b> .....	32
2.1.3.1	Comunicação via ondas de rádio .....	33
2.1.3.2	Comunicação por rede .....	33
2.2	<b>METEOROLOGIA E AGRICULTURA</b> .....	34
2.2.1	<b>Agricultura de Precisão</b> .....	35
2.3	<b>LPWAN</b> .....	36
2.3.1	<b>Protocolo LoRaWan</b> .....	36
2.4	<b>SISTEMA SOLAR</b> .....	36
2.4.1	<b>Baterias de Lítio</b> .....	37
2.5	<b>SERVIDOR DE DADOS</b> .....	38
2.5.1	<b>Linguagem de Dados</b> .....	39
2.6	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....	39
2.6.1	<b>Implementação de um dispositivo para rede de sensores sem fio LoRa utilizando energia solar</b> .....	39
2.6.2	<b>Desenvolvimento de um protótipo de medidor eletrônico de energia elétrica monofásico utilizando rede LoRa</b> .....	40
2.6.3	<b>Sistema de monitoramento LoRa aplicada a uma estufa de cultivo</b> .....	41
2.6.4	<b>Desenvolvimento de uma estação de sensoriamento com conexão LoRa ponto a ponto e recarregamento de baterias por placas solares para aplicações na agricultura de precisão</b> .....	42
2.6.5	<b>Implementação de um protótipo aplicado ao monitoramento do fator de potência em sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologia LoRa</b> .....	43
2.6.6	<b>Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico</b> .....	44
2.6.7	<b>Protótipo de solução IoT para uma estação meteorológica aplicando tecnologia LoRa no ambiente agro</b> .....	45
2.6.8	<b>Solução de comunicação de baixo custo utilizando LoRa e ESP32</b> .....	46
2.6.9	<b>IoT como proposta de segurança residencial</b> .....	47
2.6.10	<b>Sistema IoT para monitoramento de porteiros utilizando LoRa e LoRaWan</b> .....	48
2.6.11	<b>Uma aplicação LoRa em um ambiente hospitalar</b> .....	49

2.6.12	<b>Sistema de Comunicação baseado na Tecnologia LoRa para Aplicações IoT</b> .....	50
2.6.13	<b>Sensoriamento de umidade do solo com sensor capacitivo e comunicação de dados sem fio baseada em tecnologia LoRa</b> .....	50
2.6.14	<b>Monitoramento de sensores de umidade de solo com Internet das Coisas (IoT) aplicado na agricultura de precisão</b> .....	51
2.6.15	<b>Monitoramento de variáveis ambientais usando IoT para aplicações em agrometeorologia</b> .....	52
2.7	<b>COMPARAÇÃO DE TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....	53
2.8	<b>SOLUÇÕES DO MERCADO RELACIONADAS AO TRABALHO</b> .....	55
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>56</b>
3.1	<b>NORMAS RESPEITADAS</b> .....	56
3.2	<b>REQUISITOS DE IMPLEMENTAÇÃO</b> .....	57
3.2.1	<b>Microcontrolador</b> .....	57
3.2.2	<b>Energia</b> .....	58
3.2.3	<b>Rede</b> .....	60
3.2.4	<b>Banco de Dados</b> .....	60
3.2.5	<b>Resultados</b> .....	61
3.3	<b>IMPLEMENTAÇÃO</b> .....	62
3.3.1	<b>Esquema Elétrico</b> .....	62
3.3.1.1	<b>Controlador de Carga</b> .....	63
3.3.1.2	<b>Baterias</b> .....	65
3.3.2	<b>Esquema de energia</b> .....	65
3.3.3	<b>Sensor de Chuva</b> .....	66
3.3.4	<b>Sensor de Temperatura</b> .....	67
3.3.5	<b>Sensor de Umidade</b> .....	70
3.3.6	<b>Comunicação LoRa</b> .....	72
3.3.6.1	<b>Criptografia Entre As Antenas</b> .....	74
3.3.7	<b>Armazenamento Persistente Dos Dados Coletados</b> .....	75
3.3.8	<b>Grafana</b> .....	76
3.4	<b>RESULTADOS</b> .....	77
3.4.1	<b>Resultados Práticos</b> .....	77
3.4.1.1	<b>Testes Em Campo</b> .....	80

	16
3.4.2 <b>Exibição dos Dados</b> .....	82
3.5 <b>DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	85
3.5.1 <b>Análise Da Comunicação LoRa</b> .....	85
3.5.2 <b>Análise Geral do Trabalho</b> .....	86
<b>CONCLUSÃO</b> .....	89
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	93
<b>APÊNDICE A – ORÇAMENTO</b> .....	96
<b>APÊNDICE B – CRONOGRAMA</b> .....	97

## INTRODUÇÃO

A agricultura vem se tornando cada vez mais importante e relevante no mercado, tendo em vista o crescimento populacional e o aumento da demanda de consumo por alimentos e preocupações com a sustentabilidade. Ao mesmo tempo a demanda por tecnologia e inovações na área vem se tornando cada vez maior.

O clima, principalmente quando se trata da área agrícola, é o fator que mais influência em relação a ter bons resultados ou acabar tendo um desastre financeiro e econômico para muitos agricultores e fazendas. A plantação precisa passar por um controle detalhado, com a plantação em uma época exata, usufruindo de chuvas e dias de sol na medida que cada tipo de plantação necessita.

A aplicação de produtos, como calcário para preparar o terreno, inseticidas e adubos devem ser realizadas em uma condição de tempo ideal, tendo como objetivo aumentar a produção das terras e reduzir as perdas. A hora da colheita, sendo uma das mais importantes, pois determina o resultado da lavoura, também precisa ser realizada em condições climáticas ideais. Sendo assim a utilização de dispositivos relacionados a meteorologia das áreas plantadas vem sendo uma das áreas de principal interesse dentro da agricultura.

No Brasil, a agricultura é uma das atividades econômicas mais importantes. Independentemente do tipo e do tamanho da exploração agrícola, no conjunto trata-se de uma atividade altamente dependente e influenciada pelas condições climáticas. Especificamente no caso da agricultura de precisão (AP), aquela normalmente praticada em grandes extensões de terra e que utiliza intensivamente os recursos de tecnologia da informação para prover dados geográficos referentes ao solo e clima, o desenvolvimento técnico e tecnológico também se apresenta como elemento de grande importância. As mudanças nesses elementos – clima, técnica e tecnologia -

podem provocar grandes impactos econômicos, sociais e ambientais (ALCANTUD, 2017).

A tecnologia de dispositivos sem fio cresce muito nesse mercado, tendo em vista as longas distâncias de comunicações dos maquinários com as fazendas. Até mesmo leitura de sensores de solo e clima são cada vez mais necessários para um melhor tratamento do plantio na lavoura.

A comunicação de longa distância para leitura de sensores em meio a lavoura ainda é um ponto a ser explorado, pois o custo dessa tecnologia é muito alto. Algumas redes como as de 3G, 4G e 5G são capazes de operar em maiores distâncias ou até mesmo comunicações por satélite, porém o custo para utilizar essas tecnologias é muito alto.

A tecnologia que surge para suprir essa demanda é a LPWAN, capaz de trazer sistemas de comunicações em distâncias longas e com um custo de operação e consumo de energia extremamente baixos se comparados as demais. A capacidade de envio de dados é limitada, porém em aplicações como comunicações de sensores ela se mostra muito eficiente.

Este trabalho propõe a aplicação dessa tecnologia em campo para a validação da sua capacidade de operação em longas distâncias e de sua capacidade de trabalhar consumindo pouca energia, capaz de se manter alimentada através apenas de energia solar e baterias e enviando sempre os dados necessários para a leitura de certos sensores.

## **1 PLANO DE ESTUDO E PESQUISA**

### **1.1 TEMA**

Protótipo de monitoramento meteorológico para pequenas propriedades agrícolas.

#### **1.1.1 Delimitação do Tema**

Desenvolvimento de um protótipo de monitoramento meteorológico para áreas agrícolas, que colete e armazene a leitura dos dados em pontos determinados da propriedade rural. O sistema realiza avaliações periódicas do ambiente, fornecendo informações das condições locais em diferentes momentos do dia ao usuário final.

O protótipo foi desenvolvido usando a placa ESP32 Heltec LoRa v2 para a coleta e o processamento de dados dos sensores. Os dados foram enviados para um servidor de dados estruturado em Influx.

A comunicação dos pontos de coleta de dados foi realizada por meio de antenas, enviando os dados de cada ponto a um microcontrolador central. Cada ponto de leitura de dados foi alimentado por um sistema de bateria e placas solares.

O protótipo foi validado em uma propriedade agrícola, situada no interior de Nova Candelária - RS.

O Trabalho de Conclusão de curso (TCC) foi desenvolvido pelo acadêmico do nono semestre Lucas Matheus Paulus Leismann, do curso de Bacharelado em Engenharia de Computação, da Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM) no período de fevereiro a dezembro de 2024.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Criar um protótipo de uma estação meteorológico com alimentação solar, com a possibilidade de acessar seus dados remotamente.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

1. Fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema proposto;
2. Desenvolver um protótipo de medição meteorológica utilizando comunicação em LoRa;
3. Utilizar um sistema de energia solar para manter a carga das baterias e manter o protótipo em funcionamento;
4. Organizar as informações em um banco de dados;
5. Desenvolver um meio de acesso mobile aos dados;
6. Realizar testes para validar o protótipo desenvolvido;
7. Avaliar a usabilidade do protótipo ao ser utilizado por agricultores de pequeno porte;
8. Apresentar e documentar os resultados obtidos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Impulsionada pela crescente demanda por sensores e medições em diversas culturas e colheitas, a agricultura está emergindo como uma das áreas mais avançadas tecnologicamente em todos os mercados. As condições climáticas também vêm sendo alvo de grande evolução tecnológica e cada vez mais é possível obter informações sobre o clima em uma lavoura.

Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (2021), O crescimento da produção agropecuária nacional é impulsionado por

diversos fatores, sendo os principais o mercado interno, a demanda internacional através das exportações e os ganhos de produtividade. Para sustentar esse crescimento, é necessário um conjunto de esforços em infraestrutura, incluindo investimentos em logística, áreas portuárias, rodoviárias e de comunicação. O investimento contínuo em pesquisa também é essencial para impulsionar a inovação e aprimorar as práticas agrícolas no país.

No entanto, ainda há dificuldades em identificar as condições climáticas em locais extremos de uma área de terra, onde é mais difícil de conseguir comunicação com os equipamentos de medição. A solução mais comum utilizada é a de sistema com envio de dados por via de satélites, que acabam gerando um alto custo na implantação.

Com o intuito de reduzir custos e conseguir obter dados de distâncias maiores, este trabalho propõe uma abordagem de utilização de um sistema baseado em LoRa, capaz de enviar pacotes de dados a distâncias superiores a dois quilômetros.

Segundo Oliveira, Conceição e Neto (2018, p. 1) destacam que “A proposta do LoRa é possibilitar uma tecnologia de comunicação sem fio que atenda as premissas do *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) a um baixo custo de implementação e viabilizar por intermédio de um padrão de comunicação denominado *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) a interligação de diversos dispositivos separados por uma longa distância sem a necessidades de complexos sistemas transmissores e receptores”.

Outra premissa é que manter um sistema energizado em um local remoto é de grande dificuldade, mesmo com a tecnologia disponibilizada atualmente. A distância para esses lugares remotos torna inviável o transporte de energia ou dados através de cabos, logo tornando a melhor opção o uso de um sistema de alimentação solar.

O presente estudo propõe a integração de diversos sistemas, incluindo uma bancada de baterias de pequena escala para garantir a operacionalidade contínua do sistema, juntamente com um sistema solar para manter as baterias carregadas em todos os momentos. Outra solução seria a utilização de equipamentos que consumem o mínimo de energia possível, para fins de se manter mais tempo operante em caso de qualquer evento climático que possa prejudicar a geração de energia solar ou mesmo de eventuais problemas com alguma bateria.

O trabalho buscou trazer o uso da tecnologia LoRa para a comunicação de longa distância em áreas rurais, que pode ser utilizado tanto com dados sobre

condições climáticas como na utilização de outros sensores e dispositivos, sem gerar um custo alto de infraestrutura.

#### 1.4 PROBLEMA

Como garantir a eficiente coleta e visualizações de dados climáticos em áreas rurais remotas utilizando um dispositivo alimentado por energia solar e minimizar as interrupções na comunicação?

#### 1.5 HIPÓTESE

1. O custo de implementação da tecnologia LPWAN é muito menor do que o custo como as tecnologias GPRS, 3G e 4G;
2. A comunicação entre as antenas será rápida e com um máximo de 10% de perda de dados entre elas;
3. A utilização de energia solar com baterias pode manter um sistema com LPWAN funcionando de maneira contínua, sem a necessidade de manutenções frequentes.

#### 1.6 METODOLOGIA

Segundo Lovato (2013), a metodologia significa um caminho que leva a uma meta e para isso traz um amplo sistema de procedimentos ou caminhos que se objetivam a trazer mais conhecimento ao trabalho. Uma pesquisa científica é um conjunto de procedimentos que trazem uma abordagem e dentro de cada procedimento existem métodos de ação utilizados para a descrição do trabalho.

##### 1.6.1 Abordagem

De acordo com Lovato (2013), a abordagem pode ser definida em dois aspectos muito importantes do trabalho, sendo a descrição da parte mais lógica, de

raciocínio do trabalho e segundo referente a parte de números e estatísticas relacionadas ao trabalho.

Na dedução, parte-se de um ente abstrato, que pode ser uma teoria, uma lei geral, ou mesmo uma hipótese temporariamente aceita como verdade e, a partir desse ponto, numa sequência finita de sentenças busca-se predizer um resultado.” (AUDI, 1995). O trabalho apresenta a abordagem dedutiva, no qual são analisados outros trabalhos e trabalhos feitos para encontrar melhores maneiras de executar o trabalho.

O trabalho trouxe uma abordagem quantitativa, no qual o objetivo é a obtenção de dados e estatísticas, como de temperatura e umidade nas áreas analisadas. Foram coletados os dados relacionados ao clima atual na lavoura do cliente e são enviados ao usuário, que pode acessar esses dados via um acesso direto ao servidor dos dados, tendo em vista que algumas atividades têm melhor rendimento com o clima apropriado como a colheita em dia com uma umidade relativa do ar mais alta.

### **1.6.2 Procedimento**

Neste tópico são apontados os métodos de procedimentos e quais deles são utilizados na realização deste TCC, incluindo métodos de pesquisa, métodos comparativos e estudo de casos.

A pesquisa bibliográfica, segundo Lovato (2013), visa buscar referências de outros autores que realizaram trabalhos com o mesmo tema ou que tenham quaisquer adições de conhecimento a serem agregadas ao trabalho realizado. As informações foram coletadas por meio de pesquisas bibliográficas, buscando informações de trabalhos já realizados. O trabalho também utiliza do método comparativo com outros produtos presentes no mercado, visando aproveitar dos mesmos para definir melhorias e diferenciais em relação ao protótipo.

#### **1.6.2.1 Validação das Hipóteses**

No desenvolvimento do trabalho foram levantadas três hipóteses. A primeira afirma que “O custo de operação da tecnologia LPWAN é muito menor do que o custo como as tecnologias GPRS, 3G e 4G”. Essa hipótese pode ser validada através da comparação com os produtos relacionados que possuem essas tecnologias e tem um custo muito maior que o do orçamento do trabalho. Além de que placas de prototipação com um módulo GPRS consome muito mais energia e não tem tanto

alcance em algumas áreas rurais, além de que a tecnologia LoRa pode ser utilizada para uma conexão de ponto a ponto podendo levar os dados da lavoura para uma central, a qual não precisa de um custo fixo como as tecnologias de redes móveis como a 3G e 4G.

Para a validação da hipótese: “A comunicação entre as antenas será rápida e com um máximo de 10% de perda de dados entre elas”, é essencial realizar uma comparação dos dados enviados pelos equipamentos para garantir a precisão e a veracidade das informações contidas. Na comparação entre os dados recebidos pode ser observado a falta de algum tipo de dado, a frequência com que os dados são obtidos e mesmo a precisão das informações recebidas.

Para a validação da terceira hipótese: “A utilização de energia solar com baterias pode manter um sistema com LPWAN funcionando de maneira contínua, sem a necessidade de manutenções frequentes.”, essa hipótese pode ser validada verificando se mesmo com adversas condições climáticas, como em dias chuvosos, que não haverá carga no sistema solar, o sistema continua enviando as informações para o banco.

### 1.6.3 Técnicas

O trabalho foi realizado com dois microcontroladores, um deles realizando a leitura dos dados dos sensores e enviando para uma estação com um microcontrolador principal, que envia os dados a um servidor, que armazena esses dados em um banco de dados em Influx. Os pontos que enviam os dados são equipados com sensores de umidade, temperatura e chuva.

Todos os pontos foram alimentados através de energia solar, acoplado a um sistema de bateria para períodos sem sol.

Os dados coletados pelos microcontroladores foram processados por uma placa ESP 32 Heltec LoRa V2, tendo em vista uma maior necessidade de processamento para realizar a leitura dos dados e armazená-los no *Laboratory of Advanced Research on Cloud Computing* (LARCC).

O banco de dados foi feito em um servidor no mesmo, com uma *Virtual Machine* (VM) sendo disponibilizada dentro do servidor para a aplicação deste.

## 1.7 CRONOGRAMA

O trabalho foi desenvolvido entre os meses de fevereiro e dezembro de 2024. O quadro 1 apresenta o momento em que cada parte do trabalho foi desenvolvida.

## 1.8 ORÇAMENTO

O protótipo realizado teve alguns custos com materiais e equipamentos para o seu desenvolvimento, o quadro 2 apresenta os valores gastos com trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas discussões e informações sobre os assuntos abordados no trabalho, embasando a parte teórica para o melhor entendimento.

### 2.1 PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO METEOROLÓGICO

Centrais meteorológicas desempenham papéis cruciais no mundo por várias razões, como a previsão do tempo. A meteorologia é algo crucial na vida de todas as pessoas e cada vez mais se busca aumentar a qualidade e a certeza nas medições climáticas.

O mercado agro é um dos mais afetados por situações climáticas adversas, como chuvas, secas e tempestades que afetam diretamente no desempenho da produção dos agricultores.

Segundo Soares (2015), nos últimos anos, o agronegócio tem se destacado positivamente em vários aspectos, especialmente diante da situação econômica desafiadora que o Brasil enfrenta. O país ocupa uma posição de destaque no cenário mundial de produtos agrícolas devido ao seu vasto território, à grande diversidade de produtos agrícolas e à estrutura e organização diversificada da produção rural. Esse cenário apresenta tanto desafios quanto oportunidades para garantir a competitividade do agronegócio e o bem-estar das comunidades rurais.

Desde a sementeira até a colheita, os tratamentos culturais (aplicação de defensivos, irrigações, movimento de máquinas agrícolas etc.) são condicionados pelas condições ambientais. Logo, a tomada de decisões e o

planejamento de operações cotidianas dependem do conhecimento das condições meteorológicas prevalentes. O acompanhamento diário dessas condições e a utilização da previsão do tempo constitui-se em ferramenta fundamental para a operacionalização das atividades agrícolas. A esse monitoramento diário das condições ambientais existentes e à elaboração de informes específicos denomina-se de Agrometeorologia Operacional. Essa é uma atividade em que se procura estabelecer harmonia entre as condições reinantes, a previsão meteorológica, e as atividades necessárias para bom desempenho econômico. Essa é uma maneira prática de se reduzir o impacto agroambiental imposto pela exploração desenfreada dos recursos naturais, na tentativa de se prover alimentos, energia, e fibras para uma população crescente. Resumindo, a Agrometeorologia tem sua principal aplicação no planejamento e na tomada de decisões numa propriedade agrícola, seja na produção animal ou vegetal, sendo ferramenta indispensável àqueles envolvidos no processo produtivo rural (Pereira, Angelocci, & Sentelhas., 2007)

As regiões que alcançaram altos níveis de produção agrícola conseguiram isso através da adoção de novas tecnologias e da expansão das terras aráveis, tornando-se mais eficientes e atingindo o crescimento econômico esperado.

De acordo com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (CRHB) da Agência Nacional de Águas (ANA), a atividade agrícola é responsável pelo consumo de 72% dos recursos hídricos do país.

Serão utilizados microcontroladores, para a programação e execução das tarefas, sensores para trazer dados até os microcontroladores e alguns meios de comunicação, que serão descritos nesta seção.

### **2.1.1 Microcontroladores**

Microcontroladores são computadores embarcados em um único circuito integrado possuindo processador e memória, além de periféricos para a ligação de sistemas externos para a comunicação com o circuito.

A utilização de um microcontrolador em circuitos eletrônicos traz a vantagem de reduzir a complexidade da Placa de Circuito Impresso (PCI), aumentando a confiabilidade e facilitando a manutenção e o gerenciamento interno dos dispositivos eletrônicos (OLIVEIRA, 2012). Como o microcontrolador realiza as funções gravadas

em sua memória do tipo Flash, ele se torna facilmente ajustável às tarefas que precisa executar (NICOLOSI, 2009).

Neste trabalho utilizou-se a placa ESP32 Heltec LoRa v2, que é uma placa de desenvolvimento versátil que integra conectividade sem fio de longo alcance com o protocolo LoRa (Long Range) e um microcontrolador poderoso baseado no ESP32, que oferece conectividade Wi-Fi e Bluetooth. Essa placa se destaca em trabalhos de Internet das Coisas (IoT) por sua combinação de comunicação de baixa potência e longo alcance, essencial para aplicações em áreas remotas, como a agricultura de precisão.

A Heltec LoRa v2 é equipada com um microcontrolador ESP32, que possui um processador dual-core de 32 bits com clock de até 240 MHz e 520 KB de RAM, o que garante capacidade de processamento para uma ampla gama de tarefas. Além disso, conta com conectividade Wi-Fi 802.11 b/g/n e Bluetooth 4.2, possibilitando tanto a comunicação de curto alcance via redes locais quanto a conectividade de longo alcance através do módulo LoRa.

**Figura 1: ESP32 Heltec LoRa V2**



**Fonte: [www.casadarobotica.com.br](http://www.casadarobotica.com.br)**

O diferencial dessa placa está no seu módulo LoRa SX1276, que permite a transmissão de dados a distâncias de até 10 Km, utilizando bandas de frequência

como 868 MHz ou 915 MHz, amplamente utilizadas em redes LPWAN. A tecnologia LoRa é ideal para aplicações que requerem transmissão de dados em longas distâncias com baixo consumo de energia, tornando-a uma escolha eficiente para a coleta de dados de sensores espalhados por grandes extensões agrícolas.

A placa também inclui um display OLED de 0.96 polegadas, que facilita o monitoramento e a visualização de informações em tempo real durante o desenvolvimento, sem a necessidade de módulos externos. Além disso, possui várias portas GPIO, SPI, I2C e ADC, que permitem a conexão com diversos sensores, incluindo sensores climáticos e de solo, essenciais para o monitoramento de dados agrícolas.

A utilização da ESP32 Heltec LoRa v2 no monitoramento de dados agrícolas em áreas rurais é uma escolha estratégica devido à sua versatilidade e eficiência energética. Suas características de hardware e conectividade tornam a placa adequada para ambientes de IoT, onde a comunicação de longa distância, o baixo consumo de energia e a robustez do sistema são essenciais.

### **2.1.2 Sensores**

Um sensor é definido como um dispositivo que responde a estímulos físicos ou químicos, convertendo-os em outra grandeza física com o objetivo de obter medições ou realizar monitoramentos (Balbinot & Brusamarello, 2011). Nos últimos anos, o monitoramento de diversas variáveis ambientais, como temperatura, umidade, pressão e radiação, tem sido amplamente explorado na agricultura.

Gomes (2021) destaca que "a precisão e a durabilidade dos sensores eletrônicos são fundamentais para garantir que os dados climáticos e de solo sejam confiáveis, permitindo uma gestão agrícola mais eficiente".

A utilização de sensores de baixo custo, juntamente com a facilidade de integração com sistemas informatizados e conectados à internet, possibilita a coleta eficiente de dados. Essa abordagem auxilia no planejamento do cultivo agrícola, permitindo a maximização da produção com o mínimo de recursos (Monteiro, 2009).

Sensores são dispositivos utilizados para a leitura de eventos e mudanças no ambiente, podendo ser de várias maneiras diferentes, podendo enviar sinais ópticos ou elétricos como pulsos de 0 e 1.

Os sensores realizam a leitura com base em princípios físicos ou químicos, sendo capazes de realizar leituras como de intensidade de chuva, temperatura e umidade. A conversão dos dados dos sensores transforma energia como calor ou luz em energia, gerando uma saída de 0 ou 1, ou em caso de sensores analógicos, de mudanças na própria resistência que causa alterações nas suas métricas.

#### 2.1.2.1 Sensor de chuva

Sensores de chuva são utilizações tanto para detectar a presença quanto a intensidade de chuvas na sua área de leitura. Pode ser muito útil em aplicações para sistemas de irrigações como em sistema de limpeza de para-brisa automatizados e centrais meteorológicas.

Os sensores funcionam com uma superfície condutiva, onde os pingos de chuvas caem e fecham os contatos sobre os circuitos elétricos e geram sinais que são enviados pelo sensor para o dispositivo que está tratando esses dados.

**Figura 2: Sensor de chuva**



Fonte: [www.blogdarobotica.com](http://www.blogdarobotica.com)

#### 2.1.2.2 Sensor de umidade

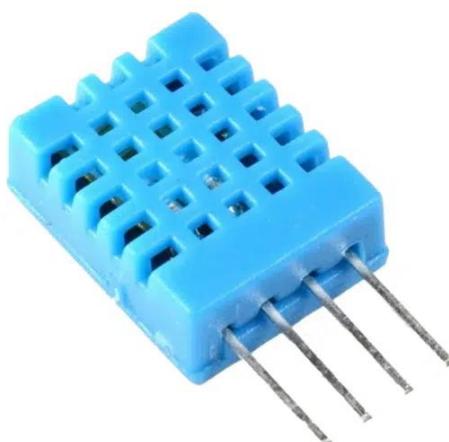
Sensores de umidade realizam a leitura dos dados de vapor d'água presente no ar, podendo realizar a leitura pela capacitância de materiais dielétricos, na

resistência de um material ou mesmo na variação de condutividade térmica do ar, podendo assim realizar a leitura do nível da umidade presente no ar.

O sensor de umidade escolhido é o DHT11, que possui uma capacidade de medir a umidade relativa do ar entre 20% e 90%, dando uma precisão alta dentro desses limites. Além disso também pode servir como um medidor de temperatura, porém como o dispositivo não foi projetado para o uso externo, essa medição de temperatura vai servir apenas como uma redundância para o sensor principal de temperatura.

O sensor demora cerca de 1 segundo para realizar a leitura da umidade, enviando assim um sinal de 8 bits para a placa, referente ao dado obtido.

**Figura 3: Sensor de umidade**



**Fonte: [www.makerhero.com](http://www.makerhero.com)**

### 2.1.2.3 Sensor de temperatura

Esses sensores são utilizados para a leitura da variação de temperatura de certo local, podendo ser utilizados para a leitura de temperatura de uma área ou de um equipamento tendo assim uma grande abrangência de utilidades no mercado.

Podem ser sensores conhecidos como termistores, que realizam a leitura conforme a resistência de semicondutores ou mesmo utilizando platina como material de leitura, pois a resistência da mesma varia conforme temperatura na qual ela se encontra.

O sensor utilizado foi o DS18B20, muito utilizado em automações que precisam de mais assertividade e precisão em seus dados. Ele é um sensor digital que possui um ajuste na sua resolução, entre 9 e 12 bits, permitindo uma entrega de informações mais rápidas ou mais precisas.

O sensor é resistente a água, o que permite a sua instalação em ambientes expostos ao clima, podendo pegar chuva e sol sem danificar o seu funcionamento. Ele possui uma faixa de medição entre  $-55^{\circ}\text{C}$  e  $+125^{\circ}\text{C}$ , com uma precisão de cerca de  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 4: Sensor de temperatura**



Fonte: [www.tienda.starware.com.ar](http://www.tienda.starware.com.ar)

### 2.1.3 Comunicação

Os dispositivos eletrônicos possuem várias maneiras de se comunicar com outros, sendo através de uma conexão cabeada, muito utilizada para a sensores e dispositivos diretamente relacionados ao funcionamento de um produto ou mesmo conexões por ondas de rádio.

Essas ondas de rádio são capazes de transmitir dados sem a necessidade de cabos. Essa conexão se limita por estar exposta a interferência no sinal tendo assim uma menor capacidade de envio de dados.

A comunicação mais complexa é a pôr rede, que envolve a necessidade de conectar o dispositivo na internet, mas podendo assim torná-lo acessível de praticamente qualquer local com acesso à internet.

#### 2.1.3.1 Comunicação via ondas de rádio

A comunicação via rádio utiliza ondas eletromagnéticas para transmitir dados sem a necessidade de cabos. É uma comunicação com muitas aplicações que podem ser desde controles remotos até sistemas de comunicação por rede.

As ondas podem variar dependendo da sua amplitude, sua frequência e a fase da onda. Isso explica a diferença entre os sinais de rádio com sinal de Amplitude Modulada (AM) e Frequência Modulada (FM), onde variam os sinais em certas sintonias.

**Figura 5: Antena de comunicação via rádio**



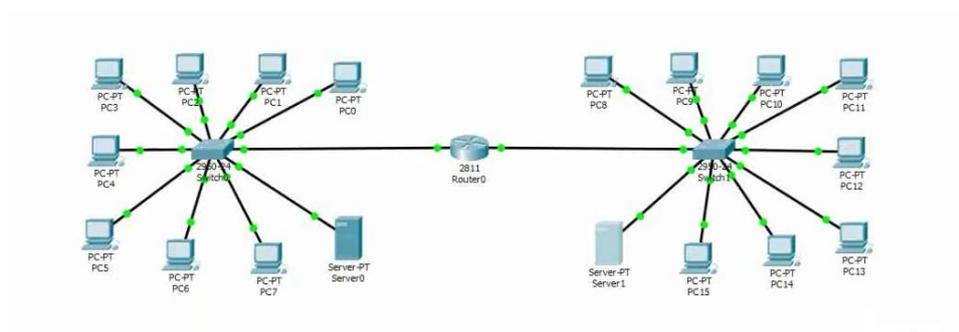
Fonte: [mercadoanicuns.blogspot.com](http://mercadoanicuns.blogspot.com)

#### 2.1.3.2 Comunicação por rede

A comunicação via rede de internet funciona através da transmissão de dados entre dispositivos conectados em uma rede. Basicamente existe um host responsável por identificar e conectar todos os dispositivos. O mesmo pode ser identificado nos dispositivos como o *Gateway*, que seria a saída de comunicação com a Internet.

Os dispositivos em uma rede podem ser conectados de várias maneiras, sendo a mais comum através de Wi-Fi ou por cabos *ethernet*, que podem variar na sua taxa de transmissão de dados dependendo da categoria do cabo.

**Figura 6: Exemplo de rede de computadores**



Fonte: [pactek.blogspot.com](http://pactek.blogspot.com)

## 2.2 METEOROLOGIA E AGRICULTURA

O clima desempenha um grande papel dentro do agronegócio, sendo um dos fatores que mais influenciam no desempenho das safras e colheitas. As condições climáticas podem ser cruciais, pois afetam diretamente em todas as etapas de uma produção, tanto voltada a área agrícola, quanto agropecuária.

O equilíbrio entre temperatura, chuvas e umidade é essencial para uma boa produção. As mudanças climáticas dos últimos anos vêm se tornando um dos problemas mais sérios a serem resolvidos. A falta de chuvas vem sendo resolvida pela instalação de sistemas de irrigação em lavouras para suprir a demanda por chuva que cultura como principalmente o milho e o soja, sofrem por alterações enormes na sua produção.

Embora a falta de chuvas pode gerar uma enorme perda, o excesso de chuvas pode causar outro problema grande na cultura, pois inviabiliza o processo de amadurecimento e colheita.

Diante desses problemas o setor agrícola vem buscando soluções no inovadoras para melhorar o desempenho e minimizar as perdas em relação as condições climáticas. Uma dessas soluções é a agricultura de precisão, que alinhada com sensores meteorológicos busca trazer mais informações e dados aos agricultores, para que possam tomar decisões de maneira mais rápida em relação a sua plantação.

### **2.2.1 Agricultura de Precisão**

A agricultura está diretamente ligada a meteorologia, e a crescente mudança repentina do clima pode vir a prejudicar muito o setor. Climas extremos como geada e tempestades, secas prolongadas e granizo podem gerar uma variabilidade muito grande no desempenho desse setor.

A agricultura de precisão visa utilizar tecnologias para monitorar o clima e conseguir minimizar essas perdas, como automatizando a irrigação em períodos de seca e realizando a aplicação de insumos no tempo certo. Isso tudo é viabilizado por meio de sensores climáticos, GPS (Sistema de Posicionamento Global), drones e tecnologias de comunicação como a LPWAN, que possibilita a automação da frota de equipamentos agrícolas.

Segundo (QUEIRÓS, Leonardo Ribeiro; LUCHIARI JUNIOR, Arioaldo; CAMARGO NETO, João; et al., 2012), as tecnologias da AP tem se beneficiado dessa conectividade, em especial conectividades por meio de redes sem fio, e da computação ubíqua, nas quais sensores, redes de sensores, atuadores e sistemas de controle podem coletar dados, processá-los, realizar atuação e encaminhar informações para um computador servidor na sede da fazenda ou diretamente para algum serviço de nuvem disponível, conforme abordado na seção 'Computação em Nuvem', de forma autônoma e em tempo real.

Tecnologias como a LPWAN vem desempenhando um grande papel no desenvolvimento da agricultura de precisão, pois possibilita a comunicação de dispositivos através de longas distâncias e sem a necessidade de se comunicar com uma torre principal e consumindo uma quantia muito baixa de energia.

## 2.3 LPWAN

*Low Power Wide Area Network* ou LPWAN é um tipo de rede projetada para a comunicação de longo alcance com baixas taxas da transmissão de dados entre os dispositivos, como sensores ou atuadores que consomem pouca energia.

As LPWANs são muito utilizadas para aplicações onde se requerem uma utilização com pouca energia e um envio de dados através de uma distância muito longa, tendo um custo muito inferior ao de comunicações de redes celulares, por exemplo.

A taxa de transmissão de dados é muito mais limitada se comparada a uma rede Wi-Fi, porém é capaz de alcançar distâncias muito maiores.

### 2.3.1 Protocolo LoRaWan

A LPWAN é dividida em protocolos, sendo a utilizada nesse trabalho a LoRaWan, sendo essa a mais indicada para aplicações de baixo custo que necessitam de uma grande distância de comunicação. A distância da comunicação desse protocolo pode chegar em até 10 Km.

A especificação LoRaWAN é um protocolo de rede de longo alcance que emprega a tecnologia LoRa para possibilitar comunicação bidirecional entre dispositivos. Este protocolo suporta criptografia de ponta a ponta, oferece serviços de mobilidade e localização, garantindo segurança e flexibilidade na comunicação (CENTENARO, 2016).

Segundo (LAVRIC & POPA, 2017), LoRa é um tipo de modulação para transmissão de dados que faz parte da camada física da tecnologia de comunicação sem fio.

## 2.4 SISTEMA SOLAR

A energia solar vem crescendo muito no setor de produção de energia elétrica, principalmente pelo fato de ser possível de ser produzida de maneira sustentável e tendo a possibilidade de ser instalada em qualquer lugar com acesso a luz solar.

**Figura 7: Sistema de placas solares**

Fonte: [ciclovivo.com.br](http://ciclovivo.com.br)

Painéis solares ou painéis fotovoltaicos são capazes de converter energia solar em eletricidade. Elas são compostas por células principalmente feitas de silício, que é um material semicondutor abundante e muito eficiente na conversão de energia solar em eletricidade.

Existem vários tipos de silício, sendo eles o monocristalino, que possui uma alta eficiência, uma longa vida útil, porém acaba tendo um custo mais alto no mercado. Existe o policristalino, que possui uma menor eficiência que o monocristalino, porém possuindo uma acessibilidade melhor no mercado. E por fim existe o silício amorfo, que é utilizado na produção de filmes fino, sendo ele flexível e de menos eficiência.

#### **2.4.1 Baterias de Lítio**

As baterias de lítio são uma das tecnologias de armazenamento de energia mais eficientes e populares do mercado, pois possuem a capacidade de armazenar uma alta quantidade de energia além de possuir uma longa vida útil e eficiência. No mercado elas podem ser encontradas em todos os tipos de equipamentos como celulares, notebooks e outros equipamentos eletrônicos que possam ser utilizados sem a necessidade de energia elétrica.

As baterias de lítio funcionam com um ânodo e um cátodo, onde os íons são armazenados e se movem durante a carga e descarga. Durante a carga os íons entram pelo cátodo e se movem para o ânodo enquanto os elétrons fluem pelo circuito

interno, armazenando energia. Durante a descarga o processo inverso ocorre, fazendo os íons irem do ânodo para o cátodo, liberando os elétrons.

Existem vários tipos de baterias, sendo as de íons de lítio (Li-ion), muito comuns em celulares, laptops e câmeras. Baterias de polímero de lítio (LiPo), utilizadas em drones, bateria de fosfato de ferro lítio (LiFePO<sub>4</sub>), muito utilizadas em veículos elétricos pela sua alta segurança e longa vida útil e as baterias de lítio de cobalto (LiCoO<sub>2</sub>), que são baterias de maior instabilidade térmica e alta capacidade de energia.

## 2.5 SERVIDOR DE DADOS

Um servidor de dado serve para armazenar informações, tanto como arquivos de uma empresa, como aplicações de algum programa ou ferramenta e até mesmo dados como de sensores e qualquer tipo de informação digital. Esses servidores desempenham um papel extremamente importante na área de Tecnologia da Informação (TI) armazenando uma ampla gama de informações e aplicações do setor.

Seu *hardware* é composto por uma Unidade Central de Processamento (CPU), que realiza o processo dos dados, que antes de chegarem a ele passam pela memória RAM, onde são armazenados antes de serem processados. Os dados são armazenados na memória não-volátil do servidor, pois ficam armazenados de uma maneira temporária.

Os servidores operam através de um Sistema Operacional (SO) que é responsável por gerenciar os dados, identificar a ordem de prioridade dos processos que serão executados tendo assim uma influência direta no desempenho dos equipamentos.

Elmasri e Navathe (2011) descrevem um banco de dados como uma coleção de dados relacionados, o que implica que uma coleção de dados é composta por vários itens separados que são fatos conhecidos, registrados e com significado implícito.

Date (2003) define um banco de dados como uma coleção de dados persistentes utilizados pelos sistemas de aplicação de uma organização, onde "organização" pode se referir a qualquer entidade comercial, científica, técnica ou autônoma.

ORACLE (2022) caracteriza um banco de dados como uma coleção organizada de informações estruturadas, geralmente armazenadas eletronicamente em um sistema de computador.

Servidores são pilares essenciais na infraestrutura de TI, oferecendo soluções robustas para gerenciamento de dados e aplicações.

### **2.5.1 Linguagem de Dados**

A linguagem Structured Query Language (SQL), é uma linguagem padrão utilizada para gerenciar e manipular dados em um banco.

Ela trabalha com várias funções e comandos, que executam funções que permitem a criação de novos bancos, a inserção de dados e manipulação deles.

Ela é utilizada principalmente em aplicações que visam o armazenamento de dados de maneira prática e eficaz. O SQL é uma ferramenta essencial para os profissionais de TI trabalharem com servidores de dados.

## **2.6 TRABALHOS RELACIONADOS**

Nesta seção são apresentados os trabalhos relacionados. Cada trabalho é apresentado com os principais objetivos em sua execução, os seus resultados, as tecnologias que foram utilizadas e as conclusões que foram tiradas, visando uma análise comparativa com este trabalho.

### **2.6.1 Implementação de um dispositivo para rede de sensores sem fio LoRa utilizando energia solar**

Este trabalho se objetiva a desenvolver um dispositivo para trabalhar com uma central de comunicação com dispositivos sem fio, de forma que este dispositivo opere em conjunto com outros sistemas em busca de tornar o processo da agricultura mais eficiente e econômico.

O trabalho visa solucionar problemas com a implementação de sensores sem fio em sistemas de monitoramento, com foco na eficiência energética e na utilização de fontes de energia renováveis, como a energia solar.

O trabalho foi iniciado definindo os requisitos do sistema. Definindo o protocolo de transmissão de dados. Após definir o protocolo de comunicação, será possível escolher o melhor transmissor, considerando a distância máxima de transmissão, frequências suportadas e seu consumo no modo de transmissão e no modo de economia de energia. Após definir os requisitos, é necessário a definição de métodos de testes.

De acordo com Pereira (2019), o protocolo LoRa se mostrou como o mais adequado para o trabalho, possuindo um alto alcance de comunicação, baixo consumo e uma arquitetura de rede simples.

O trabalho apresentou o processo de implementação de um dispositivo utilizando tecnologias em ascensão na área de sistemas embarcados, como LoRaWAN energia solar. Um dos fatores que mais influenciou no processo seletivo de componentes foi consumo de energia, desde que o componente desempenhe seu papel de modo que cumpra os requisitos do sistema.

O trabalho de Pereira (2019) utilizou sistema de energia solar para alimentar o sistema assim como esse trabalho, porém não utilizando um sistema de baterias para manter o sistema ativo enquanto a energia solar não for capaz de produzir energia suficiente para alimentar os equipamentos.

### **2.6.2 Desenvolvimento de um protótipo de medidor eletrônico de energia elétrica monofásico utilizando rede LoRa**

Paula (2021), em seu estudo busca apresentar automatizar o processo de leitura manual do consumo de energia elétrica. Como proposta ela traz medidores eletrônicos para realizar a leitura em tempo real do consumo de energia de edifícios residenciais e empresas.

Segundo Paula (2021), no que diz respeito à tecnologia, um dispositivo LoRa consegue oferecer ótima relação entre potência de transmissão, sensibilidade do receptor em longas distâncias, baixo custo do hardware e uma baixa taxa de inconsistência na leitura das informações transmitidas.

A implementação da rede LoRa em um novo modelo de medidor eletrônico e seu respectivo mostrador digital representa um avanço significativo na tecnologia aplicada ao trabalho. Atualmente, muitos medidores eletrônicos não possuem ambas as tecnologias integradas.

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o SolidWorks para a criação do desenho do protótipo, do funcionamento de suas peças e conjuntos. Foi utilizado o Proteus VSM para criar o circuito eletrônico do protótipo além claro da tecnologia LoRa para a comunicação via rádio do equipamento.

O estudo encontrou um bom resultado na eficácia de leitura dos dados de consumo de energia, montagem mecânica satisfatória e um bom desempenho na utilização da tecnologia de comunicação via LoRa.

Como o trabalho foi baseado na leitura de um sistema de energia elétrica, não há a necessidade da aplicação de baterias ou de um sistema solar para manter o equipamento ligado, pois quando não houver presença de energia elétrica ele não será útil sendo que suas leituras ficarão sempre zeradas.

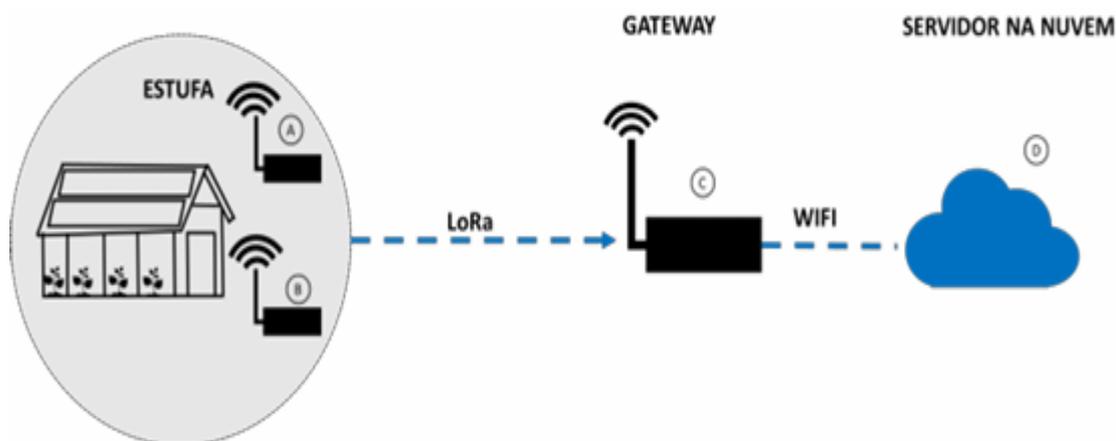
### **2.6.3 Sistema de monitoramento LoRa aplicada a uma estufa de cultivo**

Trento (2023) busca em seu estudo aplicar a tecnologia LoRaWAN para monitorar e transmitir os dados de variáveis físicas essenciais ao gerenciamento de uma estufa de plantio a uma plataforma na nuvem, sendo a estufa instalada em locais onde grande eficiência energia.

De acordo com este trabalho, a arquitetura LoRaWAN foi criado pela LoRa Alliance, é um protocolo de Controle de Acesso ao Meio, do inglês: Media Access Control (MAC) estabelecido sobre o nível físico LoRa. Sendo criada para melhorar a latência e custo acessível, segurança e baixo consumo energético.

O trabalho teve como finalidade associar a comunicação LoRa e LoRaWAN para transmitir os dados coletados do protótipo, sendo de sensores de temperatura, umidade e luminosidade a um serviço em nuvem em tempo real, mesmo com a coleta sendo realizada em pontos há longas distâncias.

**Figura 8: Diagrama de execução do trabalho**



Fonte: Trento, Alan Vinicius (2023).

Segundo estudo de Trento (2023), é viável a aplicação dessa tecnologia para o monitoramento de sensores em áreas rurais, visto que sua capacidade de envio de dados é rápida e estável. Além de funcionar perfeitamente comunicando com um servidor em nuvem.

#### **2.6.4 Desenvolvimento de uma estação de sensoriamento com conexão LoRa ponto a ponto e recarregamento de baterias por placas solares para aplicações na agricultura de precisão**

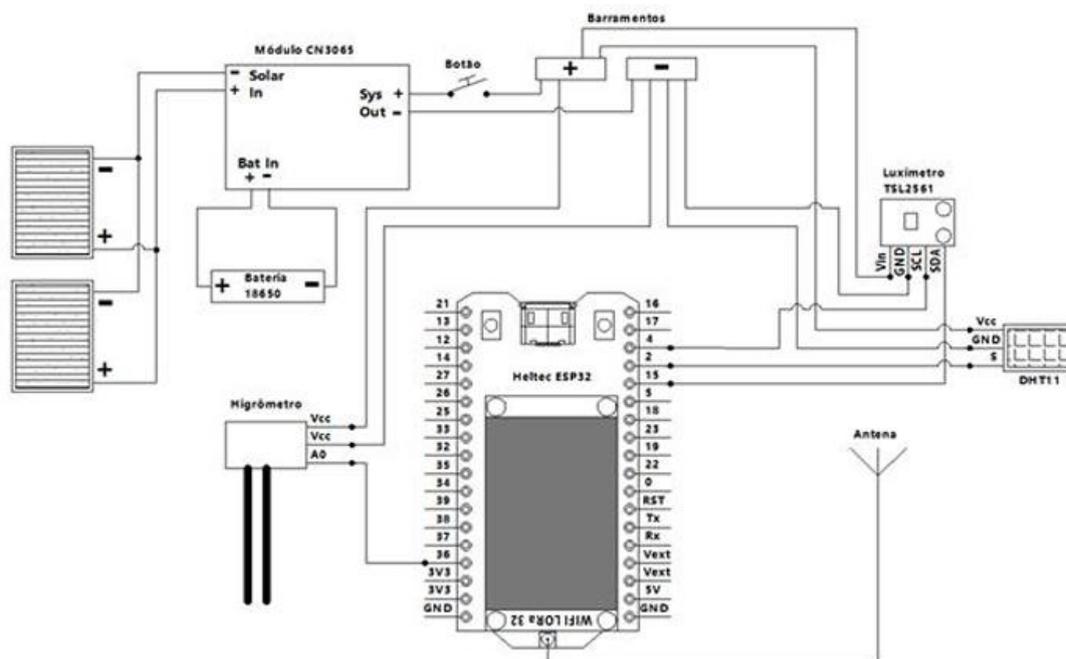
O trabalho de Santos (2022) busca estudar como desenvolver uma estação de leitura de dados como temperatura, umidade do solo e ar e mantê-la alimentada através de energia solar e por baterias, senso instalada em locais remotos.

A tecnologia LoRa gera uma praticidade e facilidade de implementação, pois é capaz de enviar dados a longas distâncias em tempo real. A tecnologia de ponto a ponto LoRa vem sendo cada vez mais adotada pelo mercado.

A energia fotovoltaica é definida pela energia convertida das radiações solares em eletricidade. Sendo uma fonte de energia abundante e de extremo fácil acesso em qualquer lugar, se torna muito fácil a utilização dela para aplicação em equipamentos colocados em locais remotos.

A utilização das placas solares diretamente nos equipamentos não é uma prática viável pois elas sofrem grandes oscilações em operação, por isso são adicionadas baterias ao protótipo. As baterias conseguem ser carregadas pelas placas solares e enviar uma energia estável para os equipamentos.

Figura 9: Esquema elétrico



Fonte: Santos, Daniel Bueno dos (2022).

Os testes do protótipo deram um ótimo resultado, informando que por causa do baixo consumo energético dos equipamentos e da grande energia gerada pelas placas solares, o equipamento não apresentou problemas, além de que a bateria foi capaz de manter o equipamento funcionando sem interrupções.

### 2.6.5 Implementação de um protótipo aplicado ao monitoramento do fator de potência em sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologia LoRa

No trabalho elaborado por Guglielmin (2023), a geração de energia solar é algo em que se deve ter grande atenção, pois gerando mais que o suficiente de energia para o seu consumo, a energia retornará para a concessionária, gerando tributos.

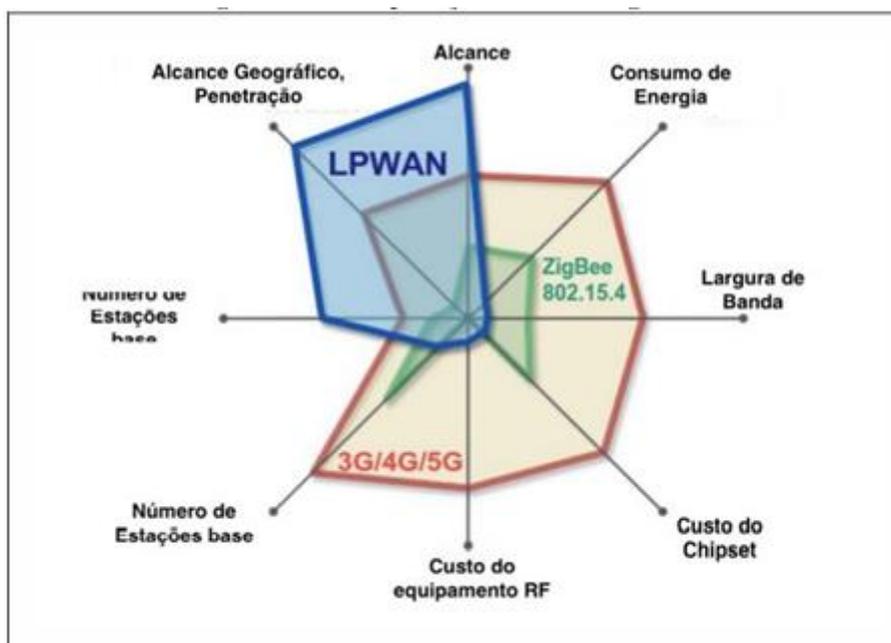
Utilizando a *Internet of Things (IoT)*, que tem a capacidade de comunicar vários dispositivos eletrônicos entre si dentro de uma rede é realizado um sistema no qual os sensores de medições de potência das placas solares consigam armazenar os valores produzidos e serem acessados de maneira prática.

A tecnologia que se aplica para conectar os sensores dos IoT é a LoRaWAN, que se destaca pela capacidade de transmitir dados a longas distâncias sem

oscilações e interferências nos dados enviados. Essa tecnologia vem sendo muito associada a IoT graças a sua conectividade e qualidade de sinal.

A tecnologia *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* é conhecida pelo seu longo alcance e baixíssimo consumo de energia, sendo capaz de cobrir quilômetros de área com seu sinal.

**Figura 10: Comparação entre LPWAN e redes celulares**



**Fonte: Guglielmin, Mateus Martini (2023).**

A imagem ilustra como as tecnologias de redes de celulares apresentam um alto custo para implementação e um baixo alcance de envio de dados. Como os dados necessários para esse tipo de comunicação são leves, não há necessidade de uma grande largura de banda, sendo mais viável a utilização de LPWAN.

### **2.6.6 Estudo em detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico**

O trabalho elaborado por Caballero (2020), aborda as várias tecnologias utilizadas para a comunicação sem fio em dispositivos IoT. Sendo elas a Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT e LTE-M, que competem nesse mercado de automação.

Para um mercado que se torna cada vez mais aberto a novas tecnologias e com a necessidade de automação em todos os processos possíveis nasceram vários protocolos de comunicação. Havendo protocolos como o ZigBee, que tem um baixo

consumo de energia e um baixo alcance. O Wi-Fi, que necessita de mais energia e possui um alcance consideravelmente melhor, além do GPRS/5G/LTE, que consome muita energia e possui um alcance muito grande.

Porém mesmo com essas tecnologias no mercado, nenhuma foi capaz de solucionar o problema de comunicação de sensores, que consuma pouca energia e tenha uma conectividade boa. Assim nasce a LPWAN, sendo uma tecnologia que é capaz de transmitir dados a longas distâncias e com baixo consumo.

**Figura 11: Comparação de tecnologias LPWAN em termos de IoT**

	Sigfox	LoRa	LTE-M	NB-IoT
QoS	Media	Media	Alta	Muito Alta
Bateria	20 anos	15 anos	10 anos	10 anos
Latencia	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Escalabilidade	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Classificação	Alta	Media	Baixa	Baixa
Implantação	Medio	Alta	Baixa	Baixa
Custo	Baixo	Baixo	Alto	Alto

**Fonte: Caballero, Silvia Hernandez (2020).**

A figura acima demonstra como as principais tecnologias LPWAN se comparam, tendo seus principais diferenciais no custo para implementação e em sua escalabilidade.

O estudo de Caballero (2020) concluiu que caso a aplicação necessite de uma menor latência e os dados a serem transmitidos sejam sensíveis e precisam ser obtidos em tempo real, a melhor tecnologia a ser utilizada são as LTE-M e a NB-IoT, porém com um custo muito maior.

### **2.6.7 Protótipo de solução IoT para uma estação meteorológica aplicando tecnologia LoRa no ambiente agro**

O estudo de Germano (2022), se objetiva em analisar tecnologias de comunicação para o ambiente agrícola, focando seu estudo na tecnologia LoRa. Para aplicar seu estudo foi criada uma estação meteorológica com foco no baixo custo.

O trabalho coletou dados de condições atmosféricas e sobre o desenvolvimento de plantas em algumas áreas rurais. Sua pesquisa focou principalmente em dados de

clima, plantas e solo. Tendo em vista melhorar os resultados produzidos em uma safra na lavoura utilizada para seu estudo.

A rede de sensores sem fio (RSSF) consiste na utilização da comunicação sem fio para obter e processar dados de uma região de interesse. A configuração da frequência de comunicação dos sensores pode ser configurada em alguns modos diferentes sendo elas:

- Comunicação periódica: Sendo enviados com intervalos de tempo pré-definidos, podendo ter seu intervalo em horas ou até mesmo dia;
- Coleta contínua: Os dados são enviados de maneira contínua;
- Coleta reativa: Os dados são coletados quando houver alguma alteração na medição ou quando solicitado;
- Coleta em Real-Time: Os dados são coletados e enviados imediatamente para o cliente.

A tecnologia de comunicação LPWAN foi utilizada para a comunicação dos sensores, por ter uma capacidade de envio de dados baixa, porém suficiente e um alcance de sinal muito alto.

Ao final do estudo de Germano (2022), foi possível observar que o consumo de energia da placa LoRa durante o envio de sinal foi de 198mA, durante a leitura dos dados dos sensores e em operação normal houve um consumo de 50mA e durante o *Deep Sleep*, a placa operou sobre uma corrente de 6mA.

Em alguns testes enviando o sinal através de distâncias grandes como 5.12 quilômetros, houve algumas perdas de pacotes no envio dos dados. Nos testes com menores distâncias o dispositivo respondeu perfeitamente.

### **2.6.8 Solução de comunicação de baixo custo utilizando LoRa e ESP32**

O objetivo da pesquisa de Dias (2023), foi avaliar a capacidade de comunicação de dispositivos LoRa, o alcance total de envio de dados em sua conexão para estabelecer suas possíveis aplicações.

A maior distância de comunicação utilizando um sistema LoRa foi quebrado em 2020. A tecnologia utilizada foi a LoRaWAN The Things Network, que teve um alcance total de 832 quilômetros, consumindo apenas 25mW de energia. O recorde foi possível graças a utilização de balões em alta altitude, assim não havendo obstáculos para sua comunicação.

Figura 12: Distância percorrida pelo pacote de dados durante a quebra do recorde mundial



Fonte: Dias, Rodrigo Nunes, 2023.

Durante os testes do estudo de Dias (2023), o alcance máximo que o dispositivo conseguiu alcançar foram 800 quilômetros, com prédios e construções obstruindo o envio dos dados. Mesmo com um custo muito baixo dos equipamentos, é possível construir uma rede de comunicação LoRa para pequenas soluções e IoTs.

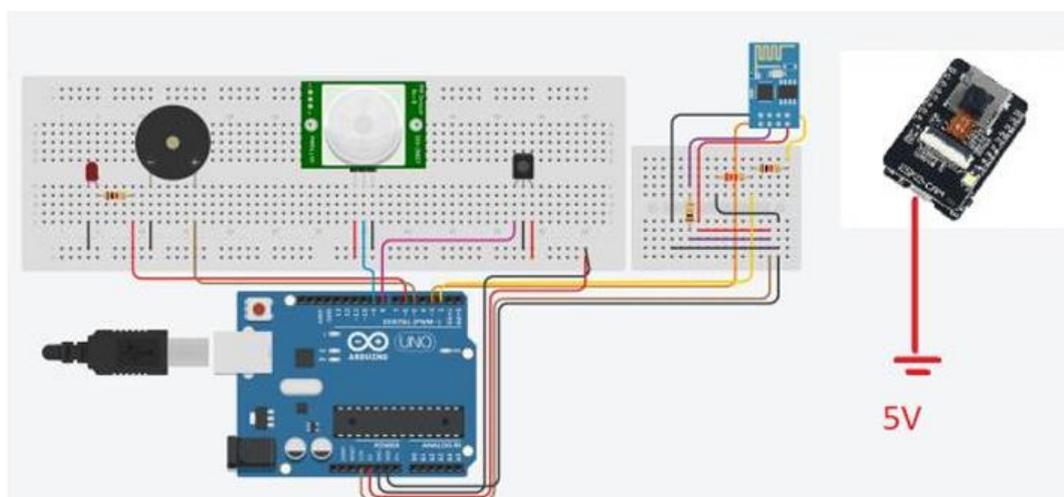
### 2.6.9 IoT como proposta de segurança residencial

O objetivo do trabalho de Dutra (2022) é criar um sistema de segurança residencial utilizando tecnologias acessíveis, como microcontroladores Arduino e o aplicativo Blynk, para monitorar e proteger propriedades contra crimes, como invasões e arrombamentos. O sistema proposto conta com módulos de câmera, sensores de movimento e de campo magnético para detectar entradas não autorizadas na residência, além de um alarme para alertar os moradores ou autoridades em caso de violação.

A montagem do sistema envolve quatro etapas principais: configurar o Arduino, configurar os módulos, configurar a ESP32-CAM e integrá-los ao aplicativo Blynk. Após conectar e configurar os dispositivos na rede, é necessário ajustar o aplicativo Blynk para mostrar as informações recebidas corretamente. O sensor PIR HC-SR501 é fácil de ligar, com um pino para enviar dados ao Arduino e dois para energia. Para

que o computador reconheça a ESP32-CAM-MB como dispositivo USB, é preciso instalar o driver do chipset embutido. Com isso, o Arduino IDE poderá reconhecer e programar o dispositivo.

**Figura 13: Circuito de monitoramento**



**Fonte: Dutra, Lucas Athayde, 2022.**

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de segurança residencial que informasse o usuário em tempo real sobre o status dos sensores e suas alterações, além de fornecer um streaming de vídeo pela rede, utilizando um Arduino e módulos pela sua praticidade e facilidade de uso. O sensor HC-SR501 é simples e útil, e apesar de problemas de sensibilidade, cumpriu sua função.

### **2.6.10 Sistema IoT para monitoramento de porteiros utilizando LoRa e LoRaWAN**

O objetivo do trabalho de Goulart (2018) é apresentar uma solução que utiliza comunicação sem fio LoRa e o protocolo LoRaWAN para monitorar o estado (aberto/fechado) de porteiros em uma fazenda, disponibilizando esses dados em uma aplicação web.

Para fornecer os dados ao usuário, foi criado um dashboard que apresenta um gráfico com o número de acionamentos diários por dispositivo e informações como status (online/offline), estado (aberto/fechado), versão do firmware do sensor e data de instalação do sensor.

Durante o desenvolvimento, foram realizados vários testes de comunicação LoRa, com ótimos resultados, possibilitando comunicação entre o dispositivo e o gateway a mais de 800 metros em ambiente urbano.

A tecnologia LoRa e o protocolo LoRaWAN oferecem excelentes alternativas para comunicação sem fio, permitindo a criação de redes escaláveis de dispositivos com baixo custo e baixo consumo de energia. Além disso, a integração com o Azure IoT Hub e a serialização de dados com Protobuf simplificaram o desenvolvimento do trabalho, eliminando problemas relacionados à padronização da comunicação.

### **2.6.11 Uma aplicação LoRa em um ambiente hospitalar**

O estudo de Ribeiro (2019) propõe e implementar uma solução IoT para um problema identificado pelo setor de Engenharia Clínica de um hospital em Florianópolis.

O trabalho iniciou com estudos sobre os componentes disponíveis no mercado nacional para definir os hardwares a serem utilizados. A preferência por componentes nacionais foi motivada pela necessidade de rápida implementação em um trabalho de curto prazo e pelo custo-benefício razoável em comparação com importações.

Os hardwares foram selecionados conforme a ordem de desenvolvimento do trabalho, começando pelos End Devices, passando pelo gateway, até chegar ao Network Server.

O dispositivo selecionado foi o Wi-Fi LoRa 32 V2, fabricado pela Heltec, que possui transceiver LoRa integrado, além de funcionalidades de Wi-Fi, Bluetooth, display OLED e antena específica para a frequência de 915 MHz.

A solução baseada em IoT com uma rede LoRaWAN em um ambiente hospitalar permite o monitoramento remoto da temperatura em câmeras de vacina e ambientes críticos, auxiliando a Engenharia Clínica na tomada de decisões rápidas e confiáveis. Foram realizados experimentos bem-sucedidos para aferir temperaturas e testar os limites de alcance da rede. A tecnologia LoRaWAN demonstrou ser viável e adaptável para outras necessidades de monitoramento, destacando a importância de pesquisas sobre normas regulamentadoras para sua utilização em ambientes hospitalares.

### **2.6.12 Sistema de Comunicação baseado na Tecnologia LoRa para Aplicações IoT**

O objetivo do trabalho de Branco (2020) incide sobre o estudo da aplicação da tecnologia Long Rate (LoRa) a um sistema de *healthcare* utilizando uma estrutura IoT. O trabalho também busca qual tecnologia de LoRa se adequa melhor a qualquer tipo de aplicação em um trabalho de IoTs.

A tecnologia LoRa se mostrou muito eficiente nessa aplicação pois ele tem capacidade de se comunicar através de longas distâncias e sendo utilizado em um ambiente fechado ele consegue se comunicar praticamente sem problemas de interferências ou perda de dados durante a transmissão.

A sua capacidade de transporte de dados ainda é muito baixa e o estudo aponta que a sua utilização não é de grande utilidade em aplicações que necessitam de transmissão de dados em massa, com um tráfego de muitos dados ou mesmo aplicações críticas. Em aplicações com uma necessidade baixa de transmissão de dados, ele se mostra muito eficaz pois é capaz de transmitir dados por longas distâncias com poucas perdas de pacotes.

O trabalho de Branco (2020) não foi aplicando um sistema de controle de sensores como é a ideia deste trabalho, porém seu estudo foi de grande auxílio para melhor compreender como funciona a transmissão de sinal através de ondas de rádio na comunicação dos sistemas LoRa.

### **2.6.13 Sensoriamento de umidade do solo com sensor capacitivo e comunicação de dados sem fio baseada em tecnologia LoRa**

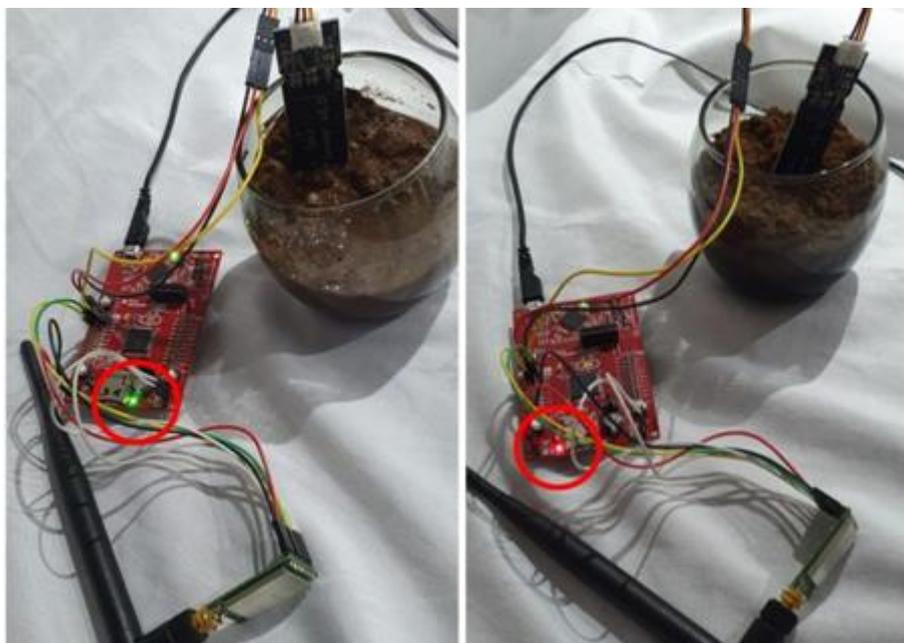
O estudo de Bertonha e Duarte (2021) segue a ideia de utilizar a tecnologia LoRa para verificar a distância a necessidade de ativação de um sistema de irrigação através de sensores conectados as placas, comunicando com uma central.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados sensores capacitivos de umidade de solo, que trabalha alterando sua capacitância proporcionalmente ao nível de umidade presente no solo naquele momento possibilitando a medição do nível de umidade presente no solo naquele momento.

O sistema realiza a leitura dos dados e envia para o sistema LoRa, que comunica com outro sistema que realiza o acionamento de LEDs verdes para indicar

uma boa quantia de umidade e LEDs vermelhos indicando a necessidade de acionar o sistema de irrigação.

**Figura 14: Sensor com os Leds ativos em solo seco e úmido**



**Fonte: Bertonha e Duarte (2021).**

O trabalho utiliza um sistema de comunicação LoRa para o envio de dados assim como o meu, tendo como principal diferença que este trabalho aplica o sistema na prática e o trabalho de Bertonha e Duarte (2021) trata-se apenas de um estudo, sem a aplicação em uma lavoura.

#### **2.6.14 Monitoramento de sensores de umidade de solo com Internet das Coisas (IoT) aplicado na agricultura de precisão**

O estudo de Dias (2019) tem como objetivo desenvolver um mecanismo que permita a agricultores e proprietários de grandes plantações monitorar parâmetros cruciais, como a quantidade de água no solo, a temperatura e a umidade ambiente. A finalidade é otimizar a safra, reduzindo o desperdício de água e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

Para realizar esse monitoramento, foi utilizado um microcontrolador ao qual foram conectados dois sensores: um para medir a temperatura e a umidade ambiente e outro para medir a umidade do solo. A fim de garantir que a visualização desses dados seja de fácil entendimento, desenvolveu-se um aplicativo que agrega todas as

informações coletadas pelos sensores. Esses dados são manipulados e publicados de maneira a facilitar sua leitura e interpretação.

O trabalho utilizou o Node-RED para criar uma *dashboard* dos dados recolhidos dos sensores, como umidade do ar, umidade do sol e temperatura, além de outras informações a fim de criar uma tabela para visualizar os resultados do trabalho durante sua execução.

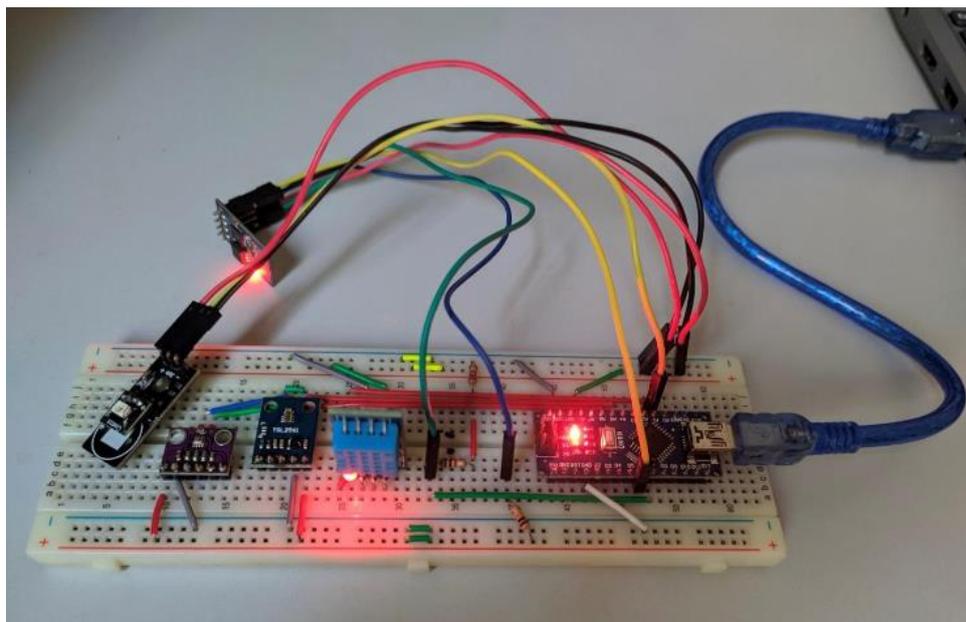
O trabalho de Dias (2019), foi de muita ajuda no estudo e execução deste trabalho pois apresenta o programa Node-RED que é capaz de criar tabelas e *dashboards* dos dados recebidos pelos sensores e auxiliar no armazenamento dos dados em um sistema de banco de dados.

### **2.6.15 Monitoramento de variáveis ambientais usando IoT para aplicações em agrometeorologia**

O objetivo principal do trabalho de Silva (2020) é utilizar sensores de baixo custo para o monitoramento de variáveis ambientais e promover a aquisição online dos dados por meio da Internet das Coisas (IoT). O sistema de medição será integrado à rede de internet, disponibilizando as informações coletadas através de uma plataforma *web*.

O protótipo desenvolvido foi alimentado por duas fontes distintas: uma de 5V e 1A para o Arduino NANO, semelhante aos carregadores de smartphones, e outra de 3,3V e 1A, adaptada a partir de uma fonte de 5V e 1A, para os sensores e o módulo de comunicação WiFi. Alguns sensores e módulos de comunicação WiFi necessitam de uma tensão de 3,3V para operar, e o ESP8266/ESP-01 frequentemente exige correntes mais altas. Por essa razão, a alimentação foi separada do Arduino para garantir o funcionamento adequado de todos os componentes.

Para a realização dos testes e coleta de dados, o sistema foi instalado em um ambiente ao ar livre. Os sensores de luminosidade e radiação ultravioleta foram posicionados a 180° em relação ao solo. A alimentação foi fornecida por uma extensão elétrica conectada às fontes de alimentação. Além disso, verificou-se a disponibilidade do sinal da rede de internet sem fio (WiFi) no local do experimento, garantindo a conexão necessária para o envio dos dados à plataforma de aquisição online.

**Figura 15: Protótipo de estação agro meteorológica**

Fonte: Silva (2020).

O trabalho de Silva (2020) utilizou sensores parecidos com os utilizados nesse trabalho, tendo algumas diferenças em sua aplicação e não utilizando um sistema de comunicação em LoRa. Sua aplicação é muito parecida, sendo mais voltada para umas aplicações locais, onde não há necessidade de se comunicar em longas distâncias com o equipamento.

## 2.7 COMPARAÇÃO DE TRABALHOS RELACIONADOS

O protótipo foi pensado a fim de resolver alguns problemas existentes já em vários outros protótipos e trabalhos relacionados, como por exemplo a falta da utilização de um sistema solar para a alimentação do protótipo. Alguns trabalhos possuem um sistema solar, porém não tem uma comunicação salvando esses dados em um banco.

A tabela a seguir faz uma comparação entre os trabalhos relacionados a este, a fim de se obter uma maior clareza na observação das tecnologias utilizadas em ambos os trabalhos.

Tabela 1: Comparação dos trabalhos relacionados

Referência	Área	Objetivo	Tecnologia	Placas Solar / Baterias	Baterias
Implementação de um dispositivo para rede de sensores sem fio LoRa utilizando energia solar - Pereira (2019)	Automação Agrícola	Projetar uma automação com comunicação sem fio alimentando com energia solar	LoRaWAN	Sim	Não
Desenvolvimento de um protótipo de medidor eletrônico de energia elétrica monofásico utilizando rede LoRa - Paula (2021)	Automação Elétrica / Residencial	Seu objetivo é trazer dados sobre a leitura do consumo de energia em prédios residenciais e empresas	LoRaWAN	Não	Não
Sistema de monitoramento LoRa aplicada a uma estufa de cultivo - Trento (2023)	Automação Agrícola	Gerenciar uma estufa de plantio e transmitir os dados dos sensores a um servidor em nuvem	LoRaWAN	Não	Não
Desenvolvimento de uma estação de sensoriamento com conexão LoRa ponto a ponto e recarregamento de baterias por placas solares para aplicações na agricultura de precisão - Santos (2022)	Automação Agrícola	Desenvolver uma estação que realiza a leitura de dados com temperatura, umidade do solo e ar	LoRaWAN	Sim	Sim
Implementação de um protótipo aplicado ao monitoramento do fator de potência em sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologia LoRa - Guglielmin (2023)	Automação Elétrica / Residencial	Realizar a medição da produção de placas solares.	LoRaWAN	Sim	Não
<i>Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico - Caballero (2020)</i>	Comparação com outras tecnologias	Comparar as tecnologias LPWAN, buscando qual se adequa melhor a todos os tipos de aplicações	Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT e LTE-M	Não	Não
Protótipo de solução IoT para uma estação meteorológica aplicando tecnologia LoRa no ambiente agro - Germano (2022)	Automação Agrícola	Projetar uma estação meteorológica com foco no baixo custo dos equipamentos	LoRaWAN	Não	Não
Solução de comunicação de baixo custo utilizando LoRa e ESP32 - Dias (2023)	Comparação com outras tecnologias	Avaliar a capacidade de comunicação de dispositivos LoRa	*LoRaWAN The Things Network	Não	Não
IoT como proposta de segurança residencial - Dutra (2022)	Segurança Residencial	Criar um sistema de segurança residencial utilizando tecnologias acessíveis e de baixo custo	LoRaWAN	Não	Não
Sistema IoT para monitoramento de porteiros utilizando LoRa e LoRaWAN - Goulart (2018)	Automação Agrícola	Criar um sistema que monitora o estado de aberto/fechado de porteiros de uma fazenda	LoRaWAN	Não	Não
Uma aplicação LoRa em um ambiente hospitalar - Ribeiro (2019)	Automação Hospitalar	Implementar um monitoramento remoto da temperatura em câmeras de vacina e ambientes críticos	LoRaWAN	Não	Não
Sistema de Comunicação baseado na Tecnologia LoRa para Aplicações IoT - Branco (2020)	Automação Hospitalar	Aplicação da tecnologia Long Rate (LoRa) a um sistema de healthcare utilizando uma estrutura IoT	LoRaWAN	Não	Não
Sensoriamento de umidade do solo com sensor capacitivo e comunicação de dados sem fio baseada em tecnologia LoRa - Bertonha e Duarte (2021)	Automação Agrícola	Utilizar a tecnologia LoRa para verificar a distância a necessidade de ativação de um sistema de irrigação	LoRaWAN	Não	Não
Monitoramento de sensores de umidade de solo com Internet das Coisas (IoT) aplicado na agricultura de precisão - Dias (2019)	Automação Agrícola	Desenvolver um mecanismo que monitore parâmetros, como a temperatura e a umidade ambiente	LoRaWAN e Node-RED	Não	Não
Monitoramento de variáveis ambientais usando IoT para aplicações em agrometeorologia - Silva (2020)	Automação Agrícola	Utilizar sensores de baixo custo para o monitoramento de variáveis ambientais	ThingSpeak	Não	Não

## 2.8 SOLUÇÕES DO MERCADO RELACIONADAS AO TRABALHO

Nesta seção são apresentadas algumas soluções do mercado com relação ao trabalho desenvolvido neste trabalho. O objetivo é trazer comparações de produtos finalizados do mercado com este protótipo afim de mostrar diferenças e tecnologias diferentes utilizadas, além de comparação de custos entre os equipamentos.

Foram encontrados poucos produtos que entregam uma solução de baixo custo no mercado, principalmente pensando no sentido de instalações agrícolas. A maioria das estações já comercializadas tem em vista a aplicação para setores ambientais e de coleta de dados em larga escala.

O principal diferencial deste trabalho com os produtos encontrados no mercado foi a de que este protótipo pode trabalhar de maneira remota, sendo instalado em um local mais longe da central, pois tem a capacidade de se alimentar através de energia Solar. O sistema de baterias também torna o protótipo mais estável, reduzindo problemas de comunicação por falta de energia no equipamento.

As soluções encontradas nos mercados possuem um alto custo, pois são aplicações de grande escala, visando a sua utilização em cenários industriais. Para agricultores de pequeno porte existe uma grande dificuldade em se encontrar produtos adequados para a sua instalação em lavouras mais afastadas.

**Tabela 2: Soluções do Mercado**

<b>Empresa / Produto</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Conectividade</b>	<b>Custo</b>
Ambient Weather / WS-2902	Foco em obter resultados de medições meteorológicas e enviar os resultados a um dispositivo online	Wi-Fi e Assistente de Voz	R\$ 3.799,00
SPECTRUM Technologies Inc. / WatchDog 3240	Utilizar dados meteorológicos específicos do campo para aplicações de fungicidas de calendário, gestão de nutrientes e atividades de campo	Bluetooth, Modem / Rádio, Wi-Fi	R\$ 6.455,04
SPECTRUM Technologies Inc. / WatchDog 3250	Realizar leituras de dados meteorológicos e enviar os dados através de um sistema em nuvem	Bluetooth, Modem / Rádio, Wi-Fi	R\$ 8.606,72
AO Eletronics / AO-900-10	Estação meteorológica ultrassônica capaz de realizar suas medições com uma estrutura compacta e eficaz	RS485 / RS232 / SDI-12	R\$ 15.361,96
Delta-T Services / WS-GP1	De maneira prática, acompanhar dados de eventos meteorológicos em uma lavoura ou aplicação	GPRS	R\$ 22.994,02
Delta-T Services / WS-GP2	Estação climática para pesquisas ambientais de grande porte	GPRS	R\$ 38.563,19

### **3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentados os resultados do trabalho, apresentando a programação e montagem dos protótipos, os resultados da comunicação como informações obtidas, estabilidade da conexão e variações na comunicação em diferentes situações climáticas.

Além disso esse capítulo traz informações sobre todos os equipamentos utilizados, os esquemas elétricos utilizado na construção dos protótipos e normativas respeitadas durante a execução dele.

#### **3.1 NORMAS RESPEITADAS**

As normas técnicas foram criadas para padronizar as instalações, tanto de rede, elétrica entre outras. As normas servem principalmente para melhorar a qualidade da instalação, aumentar a segurança dos equipamentos instalados e garantir uma boa funcionalidade dos equipamentos instalados, assim como garantir uma manutenção mais fácil e assertiva.

Algumas normas de rede foram seguidas na execução desse trabalho, pois como o protótipo utilizou uma conexão Wi-Fi para comunicar com o servidor e sendo assim segue principalmente a normativa IEEE 802.11, que é uma normativa internacional referente a especificações de redes locais, sendo a base da tecnologia Wi-Fi.

Foi respeitada também a normativa IEE 802.15.4, que se refere a padronização específica das camadas físicas de uma rede. Também é uma padronização das redes

sem fio de baixa taxa de transmissão de dados, sendo a principal normativa utilizada com o protocolo LoRaWAN.

No Brasil, a Anatel regula todos os tipos de comunicação sem fio, por isso deve ser seguidos alguns parâmetros para trabalhar com dispositivos que utilizam de comunicação sem fio de longo alcance.

A Anatel permite a utilização de vários canais de transmissão dentro da faixa de 915MHz a 928MHz, para evitar interferências em outras redes de transmissão de dados, que operam em frequências maiores. Essa frequência foi autorizada por ter a capacidade de transmitir dados em longas distâncias e não sofrer tanto com interferências, sendo muito útil para a aplicação em dispositivos de comunicação de ponta a ponta, ou dispositivos que se comunicam diretamente.

## 3.2 REQUISITOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção será descrito os requisitos para a execução do trabalho, assim como o porquê de cada ferramenta e dispositivo utilizado ser escolhido para a execução dele.

### 3.2.1 Microcontrolador

O trabalho foi realizado utilizando tanto sensores analógicos, que enviam dados mais sensíveis, como sensores digitais. O sensor de temperatura é um exemplo de sensor analógico, onde tem sua resistência diretamente relacionada a temperatura na qual ele se encontra. Os sensores de chuva enviam os dados relacionados a resistência na placa para uma placa intermediária, que transforma os dados em analógicos e envia para o microcontrolador.

O objetivo do trabalho é instalar um protótipo em um local afastado, é necessário ter um modo de comunicar com um local que haja conexão com a rede de internet. Assim foi necessário a utilização da tecnologia LoRaWAN, que é capaz de transmitir dados a distâncias de até 10 Km, e com um custo baixo.

Por esses motivos foi escolhido o microcontrolador ESP 32 Heltec LoRa V2, que possui funções integradas ao Wi-Fi, podendo assim se comunicar pela rede e comunicar com a outra antena por meio de sua tecnologia LoRa, realizando assim a coleta dos dados dos sensores na lavoura.

### 3.2.2 Energia

Como o dispositivo foi instalado em um ponto afastado e sem acesso a alimentação por energia elétrica ou qualquer fonte de energia estável, foi necessário a utilização de um sistema de placas solares, capazes de gerar até 24 W de potência para manter o sistema operando com tranquilidade. Pensando também nos momentos em que a energia solar não pode ser utilizada, com em dias chuvosos ou a noite, foi utilizado também um sistema de baterias, que armazenam a energia das placas e mantem o sistema ligado quando não há energia solar.

Como os microcontroladores, os sensores e a bateria operam em uma tensão de 5V, a tensão que vem das placas solares precisou ser adaptada. Por isso foi utilizado um sistema de redução de tensão, estabilizando saída da energia das placas a 5V, com uma corrente máxima de 2A, que é o suficiente para manter o sistema operando e as baterias carregadas rapidamente.

Como em momentos de clima nublado ou chuva leve ainda há a incidência de raios solares, a placa pode variar a tensão em que envia a energia para o equipamento, por isso foi utilizado um redutor que consegue coletar a energia que vem da placa com um mínimo de 8V sendo gerados por ela.

Para realizar a questão do direcionamento da energia para o sistema e o acionamento das baterias, foi necessário a utilização de um controlador de carga, para alternar a energia quem vem das placas e a energia que vem das baterias, mantendo o protótipo sempre ligado.

Os equipamentos precisavam ser instalados em um local completamente vedado, pois iriam ser colocados em um local completamente exposto a chuva e sol, podendo assim ter os seus componentes mais sensíveis danificados. Por esse motivo foi utilizado uma caixa plástica com vedação de borracha na tampa para a instalação dos dispositivos. A caixa precisa ter um tamanho suficiente para ser instalado todos os equipamentos na parte interior, além dos sensores e da placa solar na parte externa.

**Figura 16: Caixa Plástica**

Fonte: [www.marutsu.co.jp](http://www.marutsu.co.jp)

Por esse motivo foi escolhida a uma caixa plástica 145mm por 130mm, com 70mm de profundidade, sendo instalado uma placa solar na sua parte de cima, a placa de intensidade de chuva instalada ao lado da caixa e acima dela o sensor de temperatura.

A caixa é totalmente isolada por borrachas na tampa, para evitar a entrada de água, que poderia vir a danificar os equipamentos dentro dela, além de um sistema de vedação no próprio parafuso, que não entra em contato direto com o interior da caixa.

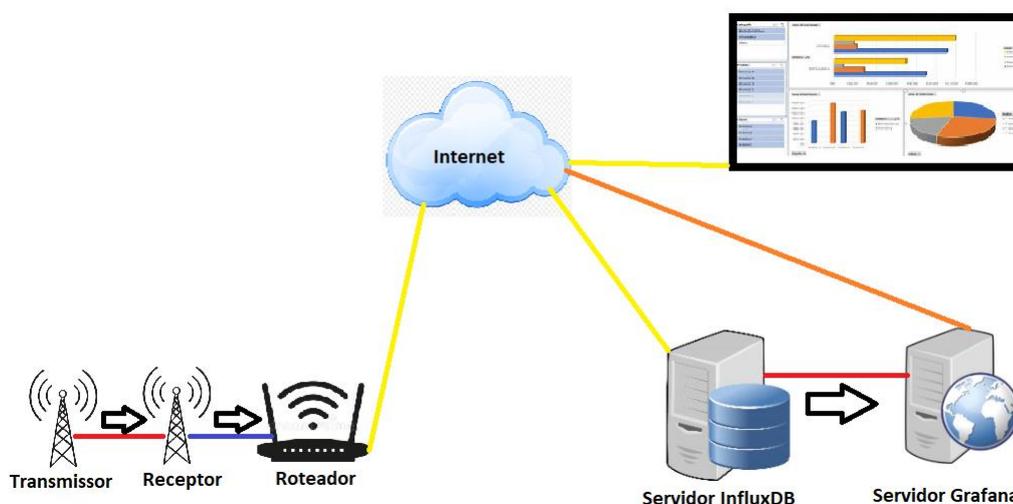
### 3.2.3 Rede

A comunicação entre os microcontroladores e o servidor do LARCC é realizada através de uma rede de internet, que é fornecida por um roteador *wireless* que conecta o microcontrolador a rede.

Para se estabelecer uma conexão entre o microcontrolador e o servidor, no qual os dados são armazenados e processados, é necessário instalar o InfluxDB, que atua como o banco de dados do trabalho. Após essa configuração é direcionado uma porta da VM para uma porta de comunicação externa, atrelada ao IP externo do servidor.

O microcontrolador envia os dados para esse IP, direcionando para a porta específica que armazena os dados no banco. Também é necessário realizar essa instalação e configuração de direcionamento de porta para o Grafana, que recebe os dados do banco e gera *dashboards* com os resultados obtidos.

Figura 17: Comunicação em Nuvem



### 3.2.4 Banco de Dados

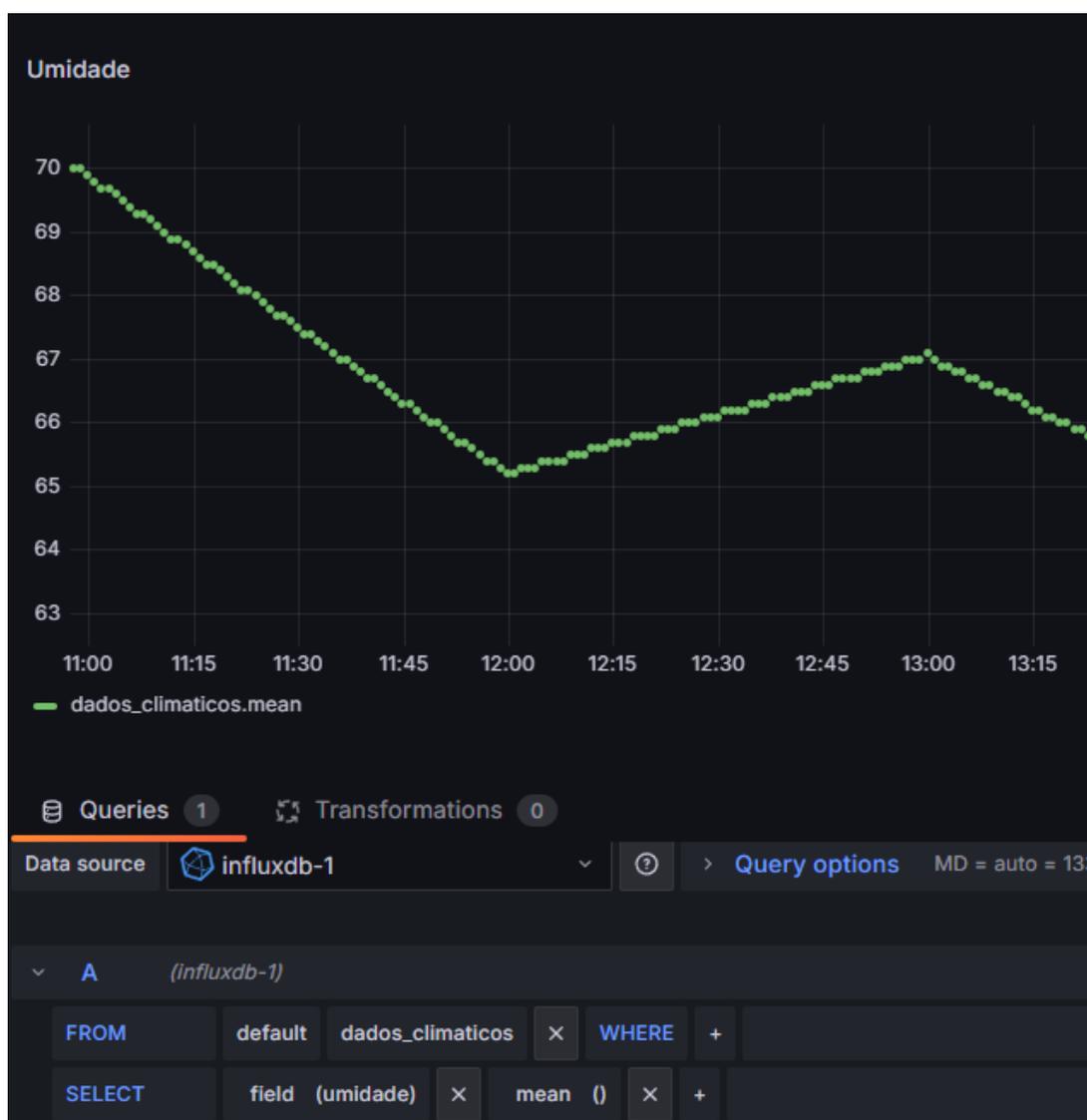
Foi utilizado como banco de dados uma VM dentro do servidor do LARCC, localizado na SETREM, pois foi possível a utilização dele sem nenhum custo e com poder de processamento suficiente para processar o trabalho.

Dentro dessa VM foi instalado o InfluxDB, que é um banco de dados voltado para aplicações IoT, pois ele tem um carimbo de data e hora em que os dados foram enviados pelo microcontrolador e recebidos pelo banco.

Assim como o trabalho se objetiva a trazer os resultados mais atuais possíveis para o cliente realizar um tratamento de seus dados, esse foi o banco ideal para a aplicação deste trabalho.

Além disso também foi instalado nessa mesma VM o Grafana, que serve para coletar os dados do banco e criar dashboards do resultado dos dados e ser informados imediatamente, conforme a figura 18.

Figura 18: Dados no Grafana



### 3.2.5 Resultados

Com isso, foi estruturado um trabalho que realiza a leitura tanto de sensores analógicos quanto de sensores digitais, além de ter uma fonte de alimentação própria utilizando de suas placas solares e de um sistema de baterias. Além disso também na

parte de hardware, utilizou-se uma tecnologia de comunicação sem fio para realizar o envio dos dados coletado através dos sensores e enviar para um microcontrolador em um local com acesso ao Wi-Fi.

Também foi estruturado uma comunicação por rede bem complexa, pela qual se sai com os dados através de uma rede Wi-Fi, e se direciona os dados através de um IP externo do servidor do LARCC e uma porta direcionando os dados diretamente para o banco de dados.

O banco de dados realiza a leitura dos dados, carimba todos os dados com marca e hora e envia para o Grafana, que mostra os dados para o cliente final através de uma dashboard.

### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção é mostrado como é executado a esquematização, montagem e programação do trabalho, além de descrever como cada componente funciona e como foi projetado para operar de forma eficiente.

#### 3.3.1 Esquema Elétrico

Foi utilizado um sistema de alimentação solar, utilizando uma placa com capacidade de geração de 12V de tensão em uma corrente média de 2A, totalizando 24W de potência no sistema. O cálculo é realizado conforme a equação abaixo.

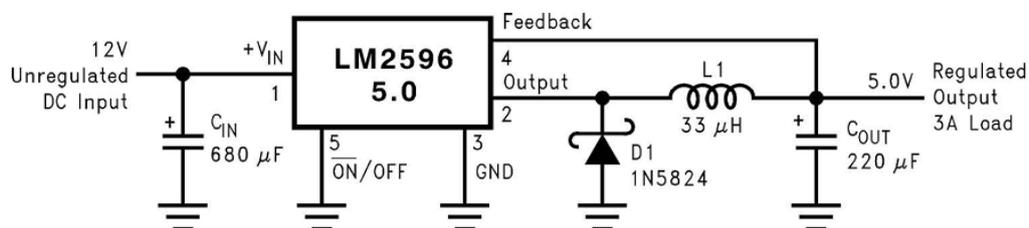
$$V * A = W$$

Com base na potência gerada pela placa em caso de exposição total ao sol, foi utilizado um sistema de redução de energia, pois a tensão em que o microcontrolador e as baterias operam é de 5V, assim foi feito um esquema para reduzir essa energia e estabilizar em 5V. Segue abaixo o esquema elétrico utilizado.

Com a tensão reduzida para 5V, o esquema elétrico reduz a potência máxima a 10W, pois a corrente suportada pelos componentes é limitada em 2A. Para alimentar o sistema e manter uma reserva de energia em caso de momentos em que o dispositivo fique sem alimentação solar, foi adicionado uma bateria ao esquema, mas

para manter tudo isso funcionando precisou-se adicionar um controlador para gerenciar a energia da placa com as baterias.

**Figura 19: Esquema de redução de energia**



Fonte: [www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf)

### 3.3.1.1 Controlador de Carga

Foi utilizado um controlador de carga CN3065, que é um circuito integrado projetado para gerenciar o carregamento de baterias de Li-ion ou Li-Po, a partir de um sistema de energia solar. Ele opera com um transistor MOSFET que é responsável por regular a tensão que entra nas baterias, eliminando a necessidade de diodos de bloqueio ou resistores.

Suas características principais são a faixa de tensão aceita de 4,4V a 6V, com um sistema de proteção em caso de surtos de tensão. A corrente máxima que o sistema suporta é de 1A. A tensão de operação das baterias deve ser estabilizada em 4.2V.

A figura 20 mostra como o controlador é construído, ele possui três portas para conectores Mini Jst Ph de 2 vias, para interligar a entrada de energia, a saída para as baterias e o circuito com a placa.

O CN3065 troca automaticamente a corrente com base na capacidade da saída da fonte de energia, enviando somente quanto o sistema ligado nela precisa, evitando assim problemas de sobrecarga nos equipamentos.

Figura 20: CN 3065

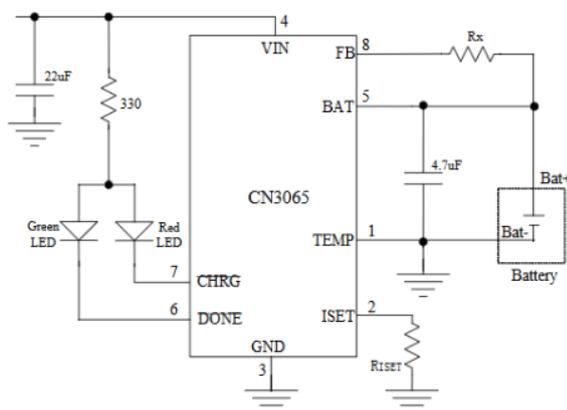


Fonte: [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com)

Ele também faz a troca automática da energia que alimenta o circuito, trocando para a energia das baterias sempre que a energia solar não for o suficiente para manter o sistema operante.

Na figura 21 segue o exemplo do circuito elétrico utilizado neste trabalho, operando com uma bateria de 4.2V e uma entrada de 5V, onde o VIN é a entrada do regulador de tensão e o Bat+ e Bat- são os polos da bateria. O controlador possui dois leds, o vermelho para informar que estão carregando as baterias e o verde para indicar que a carga das baterias está cheia.

Figura 21: Esquema elétrico do CN3065



Fonte: [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com)

### 3.3.1.2 Baterias

As baterias utilizadas possuem são feitas de Li-ion, tendo uma tensão de operação de 4.2V e com uma capacidade máxima de carga de 8800mAh ou 8,8Ah. Pela necessidade de mais carga para uma durabilidade maior do sistema ligado, pois em alguns momentos o sistema poderia chegar a ficar sem energia solar por vários dias foi utilizado duas células, ligadas em paralelo para aumentar a carga máxima delas.

Com a soma das duas baterias, o sistema chegou a 17,6Ah, podendo manter o sistema ligado por muito mais tempo, caso as baterias se manterem completamente carregadas quando forem utilizadas.

### 3.3.2 Esquema de energia

A soma total de consumo de energia de operação dos sensores e da placa chegou a um consumo de 1075mW, considerando a placa ligada e enviando dados, mas em modo *stand-by* o consumo de energia muda para 160mW.

Com a carga das baterias chegando a um total de 17600mAh o sistema tem a capacidade de se manter operante por 62 horas de operação em caso de envio constante, mas como a placa envia um sinal a cada 10 minutos, com um tempo de cerca de 95ms de envio e confirmação de envio.

**Tabela 3: Consumo de energia dos protótipos**

	Tensão de Operação (V)	Corrente Máx (mA)	Potência (mW)
DHT 11 (Umidade)	5	1	5
MH RD (Chuva)	5	15	75
NTC 10K (Temperatura)	5	1	5
ESP 32 (STAND-BY)	5	15	75
ESP 32 TRANSMITINDO	5	200	1000

Em modo *stand-by* o protótipo tem a capacidade de se manter ligado por 420 horas, mas com a alteração de a cada 10 minutos uma alteração de consumo, a duração da bateria vai ser afetada de maneira imperceptível.

A base para o cálculo dessas informações foi coletada nos *datasheets* dos dispositivos, e calculado a operação da antena que envia os dados dos sensores, a antena com recebe os dados tem uma corrente de operação diferente, pois não

precisa manter os sensores alimentados, porém precisa manter uma comunicação Wi-Fi operando o tempo inteiro, sem a possibilidade de entrar em modo de *stand-by*.

A tabela abaixo demonstra o consumo de energia das operações realizadas pelo microcontrolador, em caso de comunicação Wi-Fi, modo *stand-by* ou comunicação via LoRa.

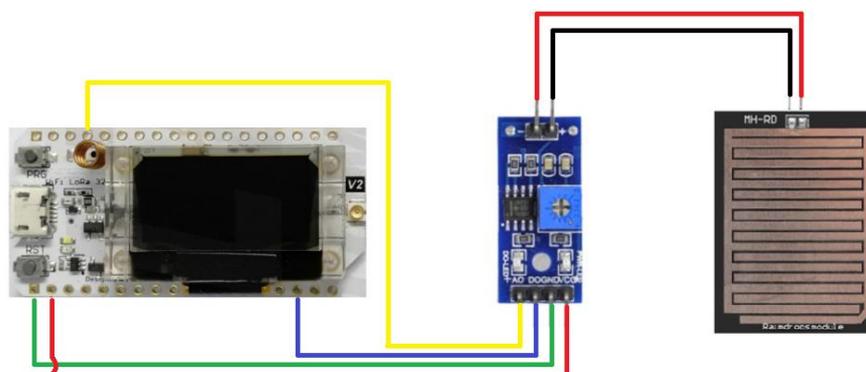
**Tabela 4: Consumo do Microcontrolador**

Tecnologia	Corrente Máx (mA)
Wi-Fi	150
LoRa RX	90
LoRa TX	200
Stand-By	15

### 3.3.3 Sensor de Chuva

O sensor de chuva foi configurado para gerar quatro tipos de informações diferentes, sendo elas sem chuva, chuva fraca, chuva moderada e chuva forte, dependendo da intensidade da resistência que era inserida sobre a placa.

**Figura 22: Ligações do Sensor de Chuva**



**Fonte: Leismann (2024).**

Os sensores de chuva necessitam de um módulo antes dele para converter a resistência das suas trilhas em sinais analógicos. O módulo também possui uma funcionalidade de converter em sinal digital e enviar para a placa, indicando a presença ou não de água, porém não foi utilizada.

A leitura própria do sensor analógico foi de maior utilidade pois era possível detectar se havia ou não a presença de água apenas por ele.

### Código 1: Programação do Sensor de Chuva

```

void loop() {
  // Leitura analógica do sensor de chuva
  int valorAnalogicoChuva = analogRead(PINO_SENSOR_CHUVA_ANALOGICO);

  // Determina a intensidade da chuva com base no valor analógico
  String intensidadeChuva;
  if (valorAnalogicoChuva < 500) {
    intensidadeChuva = "Chuva Forte";
  } else if (valorAnalogicoChuva < 700) {
    intensidadeChuva = "Chuva Moderada";
  } else if (valorAnalogicoChuva < 900) {
    intensidadeChuva = "Chuva Fraca";
  } else {
    intensidadeChuva = "Sem Chuva";
  }

  // Exibe o valor analógico e a intensidade da chuva no monitor serial
  Serial.print("Valor Analogico (Chuva): ");
  Serial.println(valorAnalogicoChuva);
  Serial.print("Intensidade da Chuva: ");
  Serial.println(intensidadeChuva);

  delay(600000); // Atraso de 10 minutos entre as leituras
}

```

O sensor realiza a leitura, em caso de uma resistência maior na placa, ela indica a intensidade de Chuva forte, diminuindo conforme a resistência da placa se altera. Foi definido um atraso de 10 minutos entre as leituras, para não enviar dados desnecessários e acabar consumindo mais energia que é preciso.

#### 3.3.4 Sensor de Temperatura

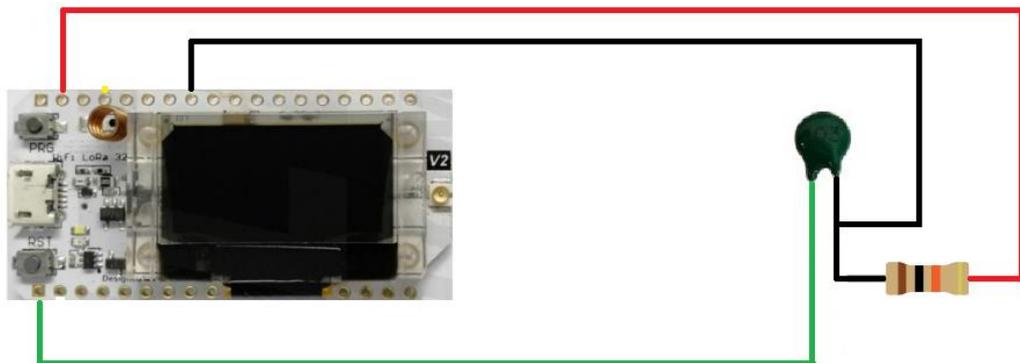
O sensor de temperatura basicamente atua como um termistor, ou seja, um resistor que conforme diminui sua resistência, aumenta o calor informado, tendo um cálculo não-linear para o seu funcionamento. Para a realização de seu cálculo utiliza-se a equação de Steinhart-Hart

$$\frac{1}{T} = C_1 + C_2 \ln(R) + C_4(\ln(R))^3$$

O sensor NTC 10k possui uma resistência nominal de 10kΩ a 25°C, por isso se faz a ligação do sensor diretamente com um resistor de 10k para estabilizar sua resistência para começar a realizar a medição.

Para medir a tensão através do ESP é necessário utilizar um divisor de tensão, colocando um resistor de 10kΩ entre o e o ponto de leitura do sensor. Como a leitura é analógica, o sensor também deve estar ligado a uma saída analógica do ESP, no qual foi utilizada porta 34.

**Figura 23: Esquema de Ligação sensor NTC 10k**



Para realizar a leitura do sensor analógico é necessário utilizar um cálculo dentro do próprio código, calculando primeiro o calor analógico em uma tensão, utilizando a seguinte fórmula.

$$V_{out} = \frac{adc \times V_s}{adcMax}$$

Onde temos as seguintes informações em cada variável utilizada para o cálculo da tensão:

$V_{out}$  = Tensão do ponto de medida do resistor;

$V_s$  = Tensão de referência, na qual foi utilizada a tensão de 3.3V;

adcMax = O valor máximo do ADC, que seria de 4095 para 12 bits de leitura.

Com o valor de  $V_{out}$ , é possível calcular a resistência do sensor, através da seguinte fórmula:

$$R_t = \frac{R_1 \times V_{out}}{V_s - V_{out}}$$

Com os valores da resistência encontrado, é possível realizar a equação de Steinhart-Hart para calcular a temperatura:

$$T = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{R_t}{R_0}\right)}$$

Temos para essa equação a seguintes informações sobre cada variável calculada:

$T$  = Temperatura em Kelvin;

$T_0$  = Temperatura de referência a 25°C, ou seja, 298,15 K;

$\beta$  = É o coeficiente Beta do NTC, de 3950 podendo variar com o termistor utilizado;

$R_t$  = É a resistência do NTC calculada;

$R_0$  = É a resistência nominal do NTC, ou seja, 10kΩ.

Após ter calculada a temperatura em graus Kelvin, é necessário realizar a conversão para graus Celsius, subtraindo do valor 273,15.

Essas contas são realizadas e processadas pelo ESP através do código 2, onde na parte superior do código foram inseridas as informações para o microcontrolador utilizar como base para o cálculo de sua temperatura. Com a temperatura calculada em graus Celsius, o microcontrolador continua com a programação de realizar a leitura a cada 10 minutos, quando os dados são enviados para a outra antena.

**Código 2: Código do sensor NTC 10k**

```

int PinoNTC = 34;          // Pino analógico conectado ao NTC
double Vs = 3.3;          // Tensão de referência do ESP32
double R1 = 10000;        // Resistor fixo de 10kΩ em série com o NTC
double Beta = 3950;       // Coeficiente Beta do NTC
double To = 298.15;       // Temperatura de referência em Kelvin (25°C)
double Ro = 10000;        // Resistência do NTC a 25°C
double adcMax = 4095.0;   // Resolução máxima do ADC do ESP32

void setup() {
  Serial.begin(115200); // Inicializa o monitor serial
}

void loop() {
  // Leitura do valor analógico do NTC
  double adc = analogRead(PinoNTC);

  // Conversão da leitura para tensão
  double Vout = adc * Vs / adcMax;

  // Cálculo da resistência do NTC
  double Rt = R1 * Vout / (Vs - Vout);

  // Cálculo da temperatura em Kelvin usando Steinhart-Hart
  double T = 1 / (1 / To + log(Rt / Ro) / Beta);

  // Conversão de Kelvin para Celsius
  double Tc = T - 273.15;

  // Exibe a temperatura em Celsius
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(Tc);
  Serial.println(" °C");

  delay(600000); // Atraso de 10 minutos entre as leituras
}

```

**3.3.5 Sensor de Umidade**

O sensor de umidade utilizado foi o DHT 11, que é um sensor utilizado principalmente para medir a umidade relativa do ar e a temperatura, porém com uma precisão bem inferior ao NTC 10k.

O sensor foi utilizado apenas como medidor de umidade, pois já havia um sensor melhor para realizar a medição da temperatura, sendo assim a sua leitura de temperatura foi ignorada no processo.

O sensor de umidade nada mais é que um capacitor que possui duas placas de eletrodos, um material dielétrico bem sensível que conforme a umidade aumenta, altera a capacitância do sensor. Essa variação da capacitância gera um sinal digital de 8 bits que envia os dados para um pino de leitura digital do microcontrolador.

A leitura do sensor é limitada entre 20% e 90% de umidade relativa, com uma precisão de cerca de 5%.

O código utilizado para realizar a leitura do sensor é bem simples e de fácil manipulação.

### Código 3: Código do Sensor de Umidade DHT 11

```
#include <DHT.h>

#define PINO_DHT 19      // Pino onde o DHT11 está conectado
#define TIPO_DHT DHT11  // Tipo do sensor (DHT11)

DHT dht(PINO_DHT, TIPO_DHT);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
  Serial.println("Iniciando leitura do sensor DHT11 (Apenas Umidade)...");
}

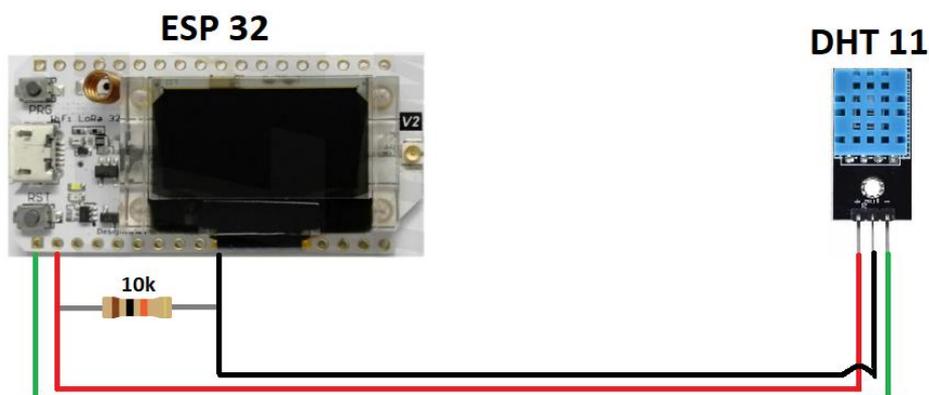
void loop() {
  // Leitura da umidade
  float umidade = dht.readHumidity();

  // Verifica se houve erro na leitura da umidade
  if (isnan(umidade)) {
    Serial.println("Falha ao ler o sensor DHT11!");
  } else {
    Serial.print("Umidade: ");
    Serial.print(umidade);
    Serial.println(" %");
  }

  delay(600000); // Atraso de 2 segundos entre as leituras
}
```

O sensor foi ligado no ESP através do pino 19, que recebe os sinais digitais enviados pelo sensor.

Figura 24: Ligação do Sensor DHT 11



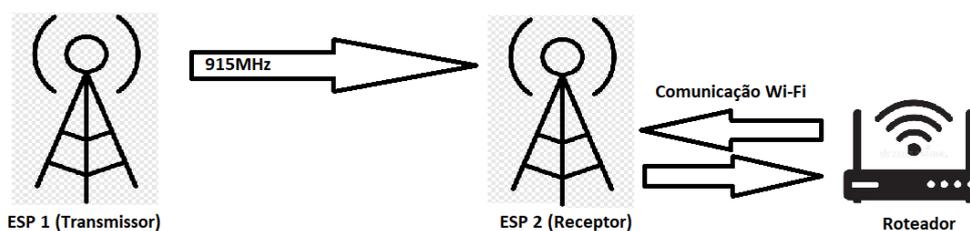
### 3.3.6 Comunicação LoRa

Os transmissores LoRa, comunicando entre si, utilizam a frequência de 915 MHz, e para estabelecer uma comunicação única entre elas foi utilizada uma criptografia do canal de comunicação, com uma chave de criptografia de 128 bits.

Com essa criptografia o microcontrolador que realiza as leituras e envia os dados utiliza mais processamento, porém não chega a afetar o desempenho energético geral do dispositivo pois não realiza muitas comunicações, cerca de 6 envios por hora.

A antena receptora está conectada diretamente ao Wi-Fi e com esse módulo ligado o seu consumo de energia é bem maior em comparação ao da antena transmissora. Na tabela 3 e 4 é possível ver o consumo em modo de *stand-by* do microcontrolador, porém com uma comunicação Wi-Fi estabelecida, o dispositivo não pode entrar em *stand-by* sem se desconectar da rede, tendo assim um gasto muito maior de energia. Por isso foi adicionada uma fonte externa além da energia solar a esse ponto.

Figura 25: Comunicação Interna das Antenas



Essa antena estava instalada em um ponto de fácil acesso para receber energia elétrica para recarga das suas baterias, por já estar mais próxima a um roteador que também se utiliza desse tipo de energia.

#### Código 4: Comunicação Wi-Fi

```
// Função de configuração
void setup() {
  // Inicializa a comunicação serial para monitorar o progresso
  Serial.begin(115200);

  // Tenta conectar-se ao Wi-Fi
  Serial.print("Conectando-se a ");
  Serial.println(ssid);
  display.clearBuffer();
  display.drawStr(0, 10, "Conectando WiFi...");
  display.sendBuffer();

  // Inicia a conexão Wi-Fi
  WiFi.begin(ssid, password);

  // Espera até que a conexão seja estabelecida
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.print(".");
    display.drawStr(0, 20, ".");
    display.sendBuffer();
  }

  // Se conectado, imprime o endereço IP
  Serial.println("");
  Serial.println("Conectado ao Wi-Fi");
  Serial.print("Endereço IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
```

Pelo Wi-Fi, o ESP comunicava-se diretamente com o servidor do LARCC, através de um IP fixo referente ao servidor, e uma porta direcionada ao InfluxDB, instalado na VM dentro do servidor do LARCC.

Na saída serial do microcontrolador é possível observar-se como os dados são recebidos pela outra antena e preparados para o envio ao banco.

**Figura 26: Informações Enviadas ao Influx**

```
Conectando ao WiFi....  
WiFi conectado!  
IP: 192.168.0.113  
Antena Sincronizada!  
Dados Recebidos:  
Dados montados para o InfluxDB:  
dados_climaticos temperatura=23.80,umidade=82.20,intensidade_chuva="ausente"  
Dados enviados com sucesso ao InfluxDB.  
Dados Recebidos:  
Dados montados para o InfluxDB:  
dados_climaticos temperatura=23.70,umidade=82.20,intensidade_chuva="ausente"  
Dados enviados com sucesso ao InfluxDB.  
Dados Recebidos:
```

O microcontrolador, após formatar os dados no modelo de tabela criado no Influx, envia os mesmos para a VM e repetem essa operação a cada 10 minutos. Com o microcontrolador entrando em modo *stand-by*, a comunicação entre as antenas é interrompida, pois as duas antenas estão ociosas. Quando a antena transmissora inicia e realiza a leitura dos dados, a antena receptora também inicia a comunicação e se prepara para receber os dados.

A antena receptora não chega a desconectar do sistema Wi-Fi quando entra em modo *stand-by*, pois aumentaria o consumo de processamento e o gasto energético caso fosse ficar se reconectando com o roteador.

### 3.3.6.1 Criptografia Entre As Antenas

O AES (Advanced Encryption Standart) é um algoritmo de criptografia utilizado em dispositivos eletrônicos para criptografar e enviar dados com mais segurança, sendo através da rede ou entre comunicações de ponto a ponto.

No trabalho foi utilizada essa criptografia para estabilizar a comunicação e ter uma diminuição da interferência de outros transmissores que se comunicavam através de LoRa, com a antena receptora podendo ler esses dados e acabar gerando erros nos dados enviados ao banco de dados.

Foi estabelecida uma chave de 128 bits ou 16 bytes de comunicação, com ela sendo utilizada na transmissão e na recepção dos dados através do código abaixo.

### Código 5: Criptografia da Comunicação

```
// === Monta a Mensagem ===
String mensagem = "Umidade=" + String(umidade) + "&Temperatura=" + String(temperaturaNTC) + "&Chuva=" + intensidadeChuva;

// === Criptografa a Mensagem ===
char mensagemCriptografada[128];
aeslib.encrypt((byte*)mensagem.c_str(), mensagem.length(), (byte*)mensagemCriptografada, aesKey, 128, aes_iv);

// === Envia a Mensagem Criptografada via LoRa ===
LoRa.beginPacket();
LoRa.write((uint8_t*)mensagemCriptografada, strlen(mensagemCriptografada));
LoRa.endPacket();
```

Com a comunicação criptografada apenas os dispositivos que possuem a chave de criptografia podem realizar a leitura e o envio de dados dentro da comunicação estabelecida.

#### 3.3.7 Armazenamento Persistente Dos Dados Coletados

O InfluxDB é muito utilizado para aplicações com IoT por sua capacidade de gravar dados de maneira mais rápida e com um carimbo de tempo, para aplicações que necessitem dessas informações.

O banco foi dividido em quatro campos, para poder enviar os dados para o Grafana e gerar os gráficos.

Tabela 5: Dados no banco de dados Influx

Campo	Tipo de dado	Descrição
Temperatura	Float	Temperatura em graus Celsius
Umidade	Float	Umidade relativa do ar em %
Intensidade_chuva	String	Nível de chuva: Ausente, fraca, moderada e forte
Time	Timestamp	Data e hora da leitura

Como os dados de Leitura dos sensores de temperatura e umidade geram valores numéricos, foi utilizado o tipo float para armazenar os dados. A intensidade da

chuva foi definida em quatro formatos, podendo indicar a ausência da chuva, e três níveis de intensidade.

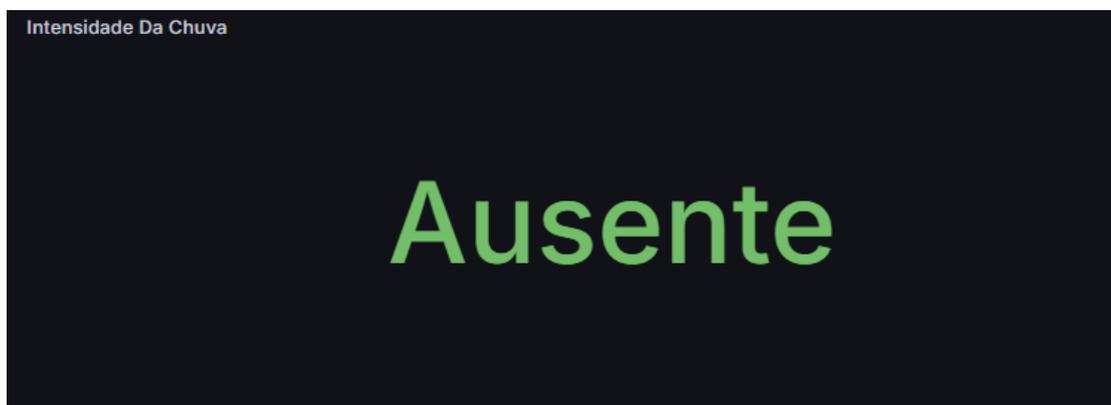
O horário em que foi enviado os dados também é extremamente útil para essa aplicação pois é responsável por identificar o momento das leituras, e para o dashboard é melhor para manter sempre a última leitura sendo impressa na tela.

### 3.3.8 Grafana

Os dados serão exibidos através do Grafana, aplicação essa que foi instalada no servidor do LARCC. O Grafana é muito utilizado para realizar a leitura de sensores e demais dispositivos mobile no intuito de gerar dashboards intuitivas para analisar os dados recebidos através de um microcontrolador.

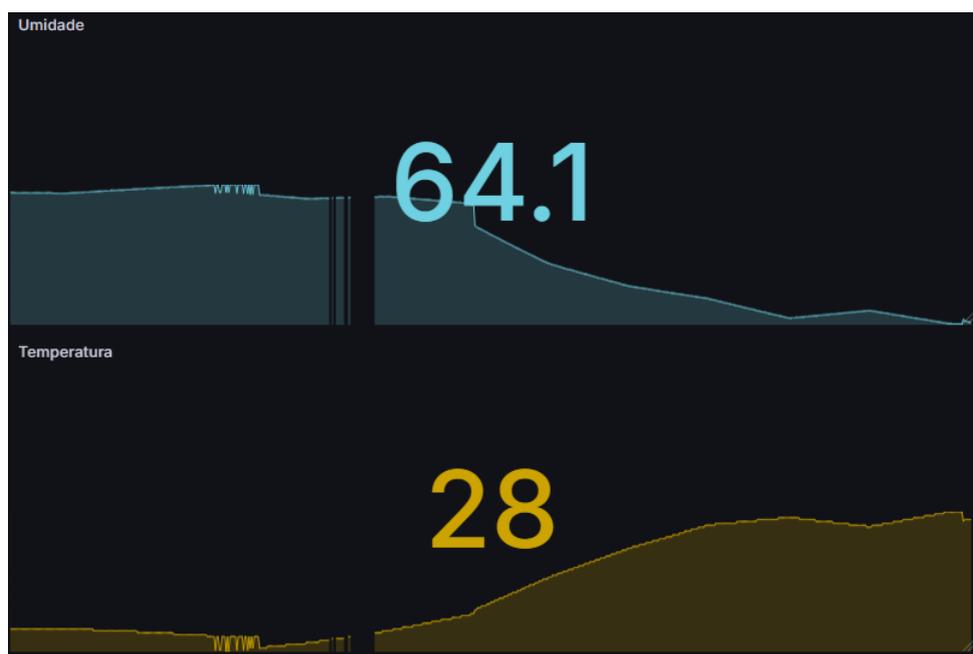
Conectado ao banco do Influx, as leituras são geradas instantaneamente, além de serem atualizados e exibidos quando a última atualização chega ao Grafana.

**Figura 27: Dado de Intensidade de Chuva / Grafana**



Os dados recebidos da placa que realiza a leitura da intensidade da chuva, envia os dados em String, exibindo assim somente como está no atual momento a situação da lavoura. No caso da imagem acima o local não estava sobre a incidência de chuva. Ela também gera as mensagens de “Fraca”, “Moderada” e “Forte” para momentos com chuva, regulando assim a intensidade dela.

As leituras dos demais sensores são recebidos como float, ou seja, dados numéricos, que podem chegar a receber duas casas após a vírgula, pois trabalham com valores mais precisos. A temperatura é medida em graus Celsius, enquanto a umidade relativa do ar é calculada em porcentagem.

**Figura 28: Dados de Umidade e Temperatura do Grafana**

Os dados podem ser exibidos tanto como em forma de gráfico como em forma de valor, mostrando o último valor recebido na medição. A sua aplicação depende da finalidade pela qual o cliente final vai querer os dados. Se quiser uma leitura de como estava o ambiente nos últimos dias ou horas, ou se quer uma leitura mais instantânea do ponto de leitura.

### 3.4 RESULTADOS

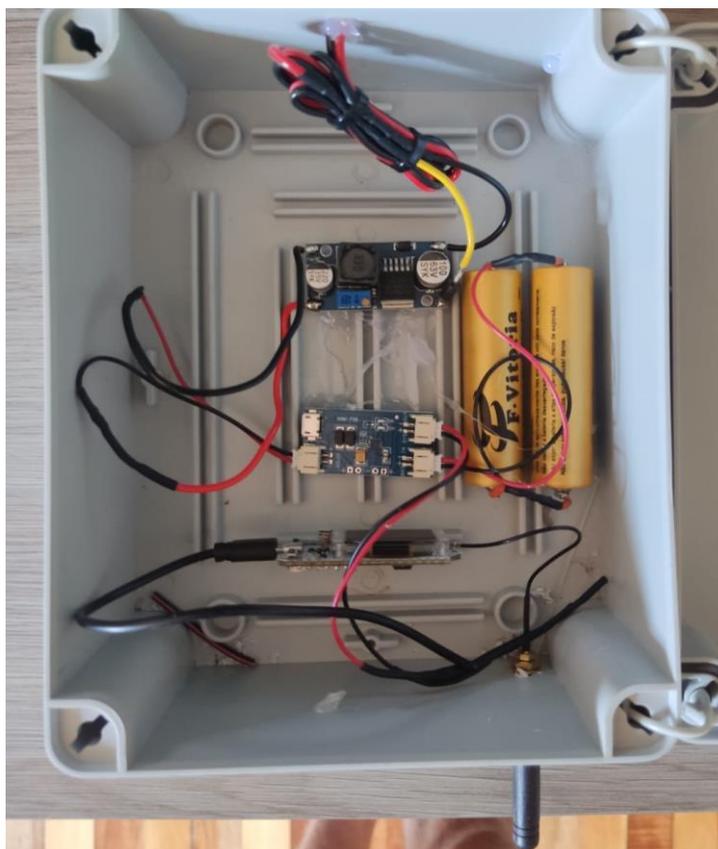
Nesta seção serão mostrados os resultados do desenvolvimento do protótipo, desde a parte de montagem do protótipo, os resultados dos códigos e o resultado, dos dados sendo recebidos através do Grafana e do Influx

#### 3.4.1 Resultados Práticos

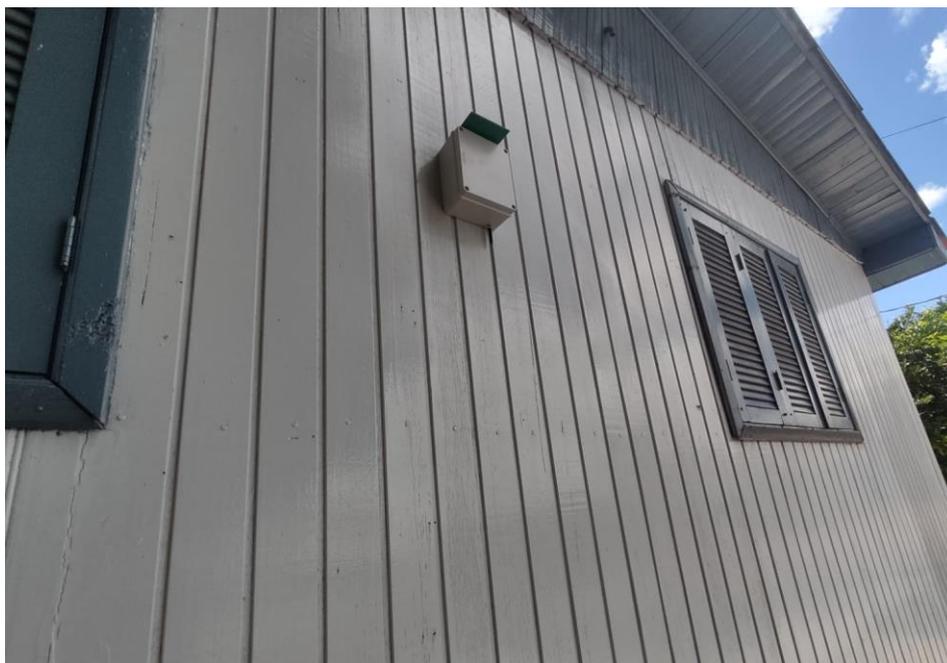
Os sistemas foram instalados em duas caixas, uma com o sistema de coleta de dados, com todos os sensores adaptados e instalados na caixa, e outro apenas com a parte de energia solar, baterias e a antena do microcontrolador para realizar a recepção dos dados e enviar por uma conexão Wi-Fi.

Os furos para a passagem, tanto da antena, como dos sensores que ficam na parte externa da caixa expostos ao tempo foram vedados, para que não haja nenhum perigo em relação a entrada de água ou umidade dentro da caixa, que poderiam ocasionar em problemas como a corrosão ou oxidação das placas, podendo danificar os equipamentos ou até mesmo gerar dados imprecisos nas medições dos sensores utilizados.

**Figura 29: Antena Receptora Montada**



Para realizar a ligação do ESP dentro da caixa, foi utilizado um cabo Micro USB, parecido com o utilizado para a programação do microcontrolador, porém com apenas os fios de energia. Ele foi cortado e feito as ligações para ligar o dispositivo na placa controladora, que realiza o controle da energia que entra das placas solares, a alimentação e carga das baterias, além de garantir que o microcontrolador sempre esteja sendo alimentado.

**Figura 30: Caixa Instalada**

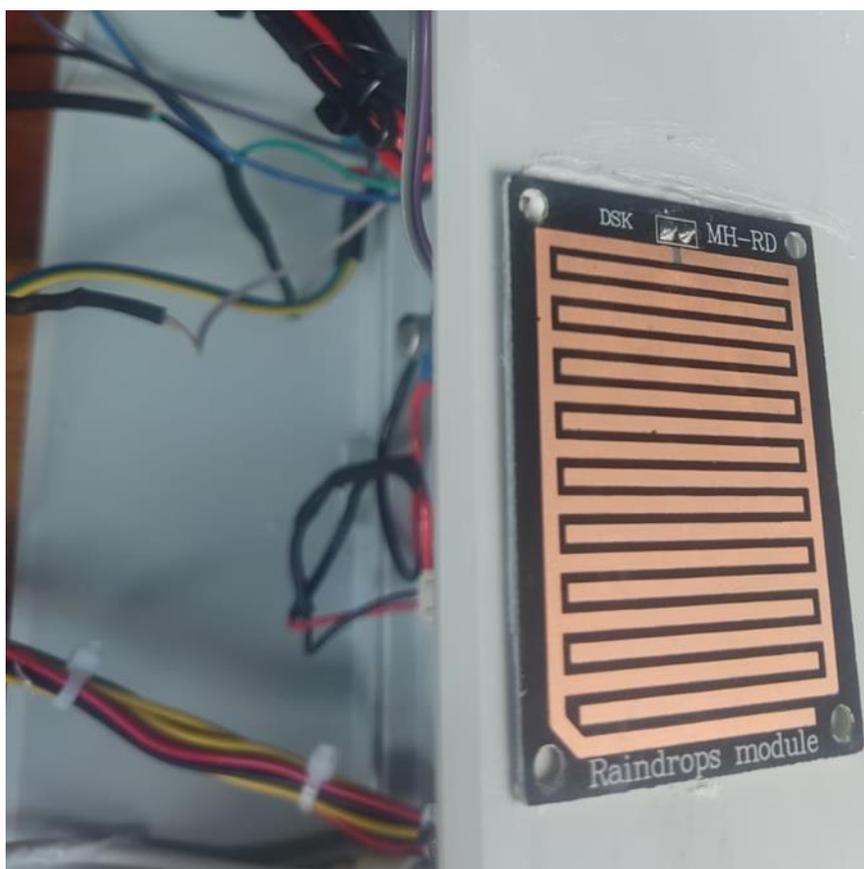
A caixa tem espaço suficiente para colocar todos os dispositivos necessários para o seu funcionamento. Na figura acima é possível observar a presença das placas solares, alimentando o redutor de carga, que estabiliza a tensão de saída da placa solar em 5V.

O Redutor funciona recebendo tensão de corrente contínua superior a 8V, tendo um limite de 30V, e tendo uma saída estável de 5V, que alimenta o controlador de carga. O controlador também trabalha com uma baixa flexibilidade de tensão, podendo ser de no mínimo 4.4V e chegando ao máximo a 6V, mas o redutor envia a energia estabilizada em 5V.

O microcontrolador também trabalha na faixa dos 5V, então esse sistema de ligação consegue trabalhar de maneira automática, sem a necessidade de manutenções ou de acionamentos manuais após a configuração e montagem do protótipo.

Na figura 31 é possível observar a instalação do sensor de chuva na parte exterior da caixa, sendo o mesmo colocado na vertical para que não ocorra de ficar água parada em cima do sensor, podendo criar falsas medições referente a chuva no local.

**Figura 31: Sensor de Intensidade de Chuva Instalado**



O sensor foi isolado e colado com Poliuretano modificado (PU) branco, para que não entre água dentro da caixa pelo buraco por onde foi passado os cabos de alimentação e coleta de dados do sensor.

#### 3.4.1.1 Testes Em Campo

Para verificar se as antenas realmente conseguem realizar a comunicação entre os pontos escolhidos para instalar a central meteorológica, foi feito um teste enviando um ping da antena principal para este e recebendo uma resposta com o tempo de resposta e quantos ping ele já havia recebido. Dessa maneira sendo capaz de se calcular o tempo de resposta do dispositivo e se há uma comunicação estável entre as antenas no ponto a ponto.

Foi estabelecido para teste uma comunicação entre os dispositivos, na distância de 1m, na qual foi obtido o valor de 97ms de tempo de resposta entre as antenas. Utilizando esse valor como base, o protótipo foi testado em vários locais

diferentes a fim de se obter mais dados referente a quanto as interferências do local afeta na comunicação.

O primeiro teste sendo realizado através da comunicação das antenas foi realizado com o receptor de dados instalado na propriedade de Astor Antônio Leismann, situado na localidade de Lajeado Pardinho, Nova Candelária – RS, servindo como uma sede para a instalação da central. No local foi disponibilizado a utilização do seu Wi-Fi para a comunicação dos dispositivos com o servidor do banco de dados.

O protótipo sendo instalado dentro do case com a antena embaixo dela, para evitar entrar em contato direto com sol e chuva, a caixa não interfere na comunicação dos dispositivos, pois o tempo de resposta se manteve o mesmo com ou sem o protótipo instalado na caixa.

A primeira antena também foi instalada na lavoura de Astor Antônio Leismann, sendo instalado na localização conforme a figura 17:

**Figura 32: Localização do primeiro teste**



**Fonte: [maps.google.com.br](https://maps.google.com.br)**

O primeiro teste foi realizado a uma distância de 270 metros do local da antena receptora e não houve mudança no tempo de resposta do sinal, se mantendo em 97ms. Não havia obstáculos entre as duas antenas, não havendo assim interferência na comunicação.

O segundo teste foi realizado na lavoura de Claudinei Auth, situado na localidade de Sanga Bela, interior de Nova Candelária – RS, sendo instalado em um local alto, tendo uma vista com arvores servindo de obstáculos e uma distância consideravelmente maior.

**Figura 33: Segundo teste**



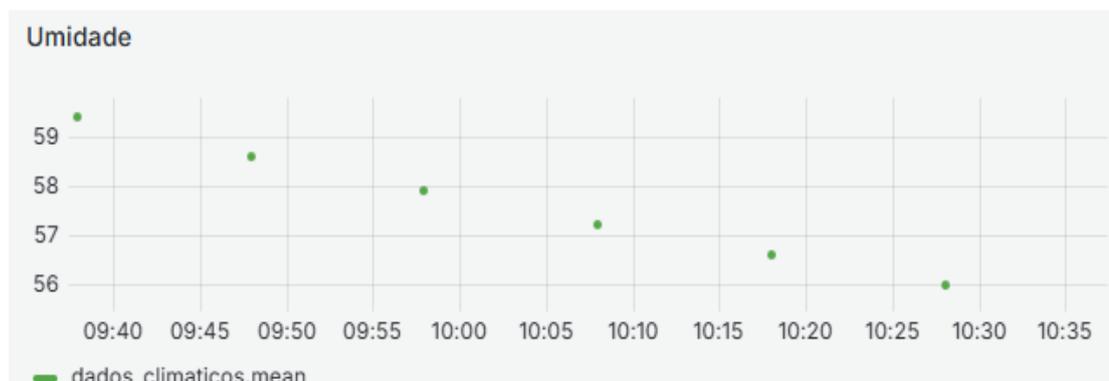
Fonte [maps.google.com.br](https://maps.google.com.br)

Conforme a figura acima, o segundo teste teve uma distância de 1,03 km de distância, mesmo tendo sido instalado em um lugar mais alto, o dispositivo teve alguns obstáculos para a comunicação direta com a antena principal.

### 3.4.2 Exibição dos Dados

O Influx cria automaticamente a tabela conforme os dados são recebidos, por isso é necessário já na configuração de envio dos dados no microcontrolador, definir a qual tabela e banco os dados vão ser enviados, para armazenar os dados da maneira correta.

O Grafana é conectado diretamente ao Influx, através de uma porta direcionada dentro da própria VM para a comunicação entre eles. Através dessa porta o Grafana consegue realizar a leitura das tabelas do Influx, e exibir através de gráficos e até mesmo os valores mais atuais diretamente na tela, para uma fácil visualização do cliente.

**Figura 34: Dados Recebidos pelo Grafana**

Os dados podem ser acessados de qualquer lugar, contanto que esteja conectado à internet e consiga realizar o acesso diretamente ao IP do LARCC, utilizando a porta direcionada para a comunicação com o Grafana. O InfluxDB possui direcionamento de portas somente para a comunicação com o microcontrolador e o Grafana, sem mais necessidades de acesso direto aos seus dados.

O Grafana possui uma porta de comunicação para acessos externos, os quais precisam ser feitos através do endereço IP do servidor do LARCC. No LARCC há um direcionamento de portas, que direciona o acesso diretamente para as aplicações desejadas.

A comunicação interna entre o Grafana e o InfluxDB não tem a necessidade de utilizar portas externas, pois além de estarem no mesmo servidor, estão instaladas dentro da mesma VM, facilitando e agilizando a comunicação entre ambos.

O seu acesso também pode ser realizado através de um celular, utilizando o IP externo e a porta direcionada à VM, que facilita ao cliente o acesso à visualização de seus dados, tornando a aplicação do trabalho algo prático para a utilização dos clientes.

Figura 35: Acesso Remoto dos dados do Grafana



### 3.5 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção abordaremos uma discussão sobre os resultados obtidos, com a validação do trabalho e o resultado dos dados, conforme declarado nas hipóteses e conforme o problema levantado no capítulo 1.

Todos os dados foram coletados nas propriedades de Astor Antônio Leismann e Claudinei Auth que disponibilizaram suas lavouras e pontos estratégicos para realizar os testes e as leituras sobre as quais esse trabalho se baseou.

#### 3.5.1 Análise Da Comunicação LoRa

A comunicação LoRa realizada neste trabalho foi feita de ponto a ponto, tendo uma comunicação direta entre as duas antenas. A tecnologia LoRaWAN se limita bastante na capacidade de envio de dados, suportando até 256 KB/s de largura de banda para o envio de dados. Além disso foi implementado uma criptografia de 16 bytes por pacote, que aumenta minimamente o consumo, porém não é o suficiente para causar alguma perda significativa.

Os dados transmitidos são de baixo consumo de banda larga, pois pode chegar a um máximo de 51 bytes, fora a criptografia. Abaixo a tabela realiza a comparação do tamanho de bytes que cada sensor pode chegar a enviar, sendo um valor máximo a ser calculado.

**Tabela 6: Consumo de banda larga**

Dado	Tamanho Máx (Bytes)
Umidade	13
Temperatura	20
Chuva	18
Criptografia	16
<b>Total</b>	<b>67</b>

A criptografia mantém seus 16 bytes de forma contínua, porém os demais sensores podem obter variações no tamanho de seus pacotes. O máximo de cada sensor está na tabela acima, tendo o sensor de umidade que envia apenas valores com uma casa após a vírgula, sendo limitado a 13 bytes.

O sensor de chuva envia uma String sendo limitada as opções programadas, tendo um limite máximo de 18 bytes e o sensor de temperatura que trabalha com

valores mais específicos, utilizando duas casas após a vírgula é o que mais consome banda larga no envio de seus dados, podendo chegar a envio de até 20 bytes.

O tempo de comunicação obtido nos primeiros testes realizados foi de 97ms de resposta entre o sinal enviado e recebido de volta das antenas. O ESP realiza a leitura e entra em modo de *Stand-by* e a cada 10 minutos ele inicia e realiza uma nova leitura e envio de dados para a outra antena.

### **3.5.2 Análise Geral do Trabalho**

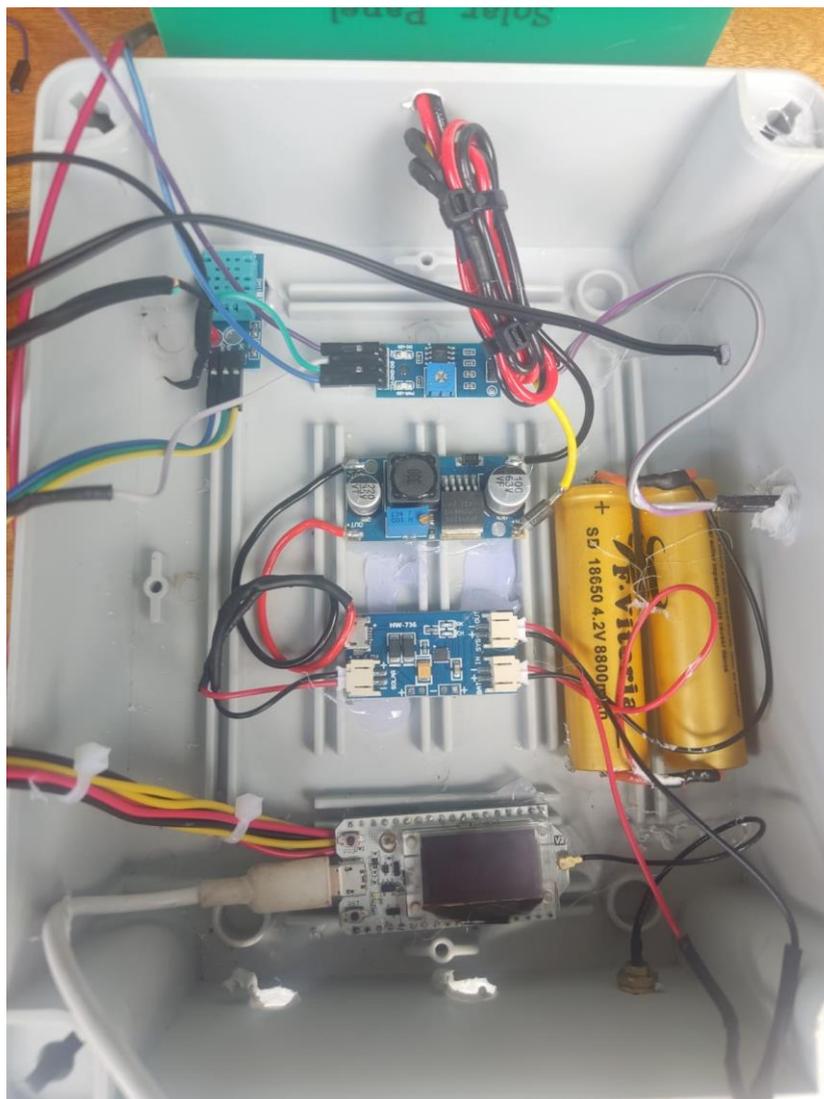
Após obter os resultados, é possível analisar e determinar se o objetivo do trabalho foi concluído, tendo em vista que sua ideia era de criar um protótipo de uma estação meteorológico com alimentação solar, com a possibilidade de acessar seus dados remotamente.

Tendo esse objetivo estipulado, o trabalho foi realizado utilizando um sistema de energia solar para a alimentação dele, além de realizar as leituras de temperatura, umidade e intensidade de chuva.

O protótipo foi instalado em uma caixa plástica, garantindo assim a integridade dos equipamentos, pois como as peças eram sensíveis a água e a condições extremas, o fato dele se manter operante e realizando as leituras durante o trabalho comprova a resistência e viabilidade da utilização desse tipo de caixa. Além disso, os furos por onde os fios passavam para os sensores foram todos isolados utilizando Poliuretano modificado (PU).

A energia combinada entre as baterias e a alimentação solar foi suficiente para manter o sistema operante durante do período de testes, mostrando que é uma aplicação totalmente viável para esse tipo de trabalho. As baterias carregam mais lentamente em dias mais nublados, sendo mais difícil manter o sistema operante por muito tempo sem a presença de sol.

Como é possível observar na figura 36, todas as conexões do microcontrolador foram realizadas na parte de baixo, com os fios sendo soldados diretamente nos bornes de contato para que não haja problemas de falha de algum tipo de envio de dados ou de conexão do dispositivo com os sensores.

**Figura 36: Caixa da Antena Transmissora**

Os sensores utilizados cumpriram suas funções, tendo o sensor de temperatura realizado sua função com muita precisão, pois é um sensor analógico e como trabalha diretamente com a própria resistência, ele pode ser utilizado para trabalhos maiores, que necessitem de sensores mais confiáveis e precisos.

O sensor de intensidade de chuva sofre por algumas dificuldades durante suas leituras, pois mesmo sem chuva, ele acaba detectando uma chuva de intensidade fraca quando o clima está levemente úmido e nublado, pois acaba acumulando água em sua superfície.

Para resolver esse problema o sensor foi instalado na vertical, ao lado da caixa, fazendo assim nenhuma água ficar acumulada nele, melhorando sua precisão, porém foi deixada uma margem maior na sua resistência, para mesmo que estiver fazendo

uma leitura de até 5% de precipitação de chuva, não marcar como uma chuva, para ter um resultado mais coerente.

O trabalho cumpriu o cronograma para a sua execução, tendo em vista os prazos para cada tarefa sendo realizadas todas com sucesso. Durante o período inicial dos testes, antes de ser avaliado a necessidade de um redutor para intermediar a energia da placa solar para o controlador, foi queimado um controlador de carga no processo. Após isso não houve mais nenhum equipamento ou material danificado.

Os dados são acessados através do Grafana e podem ser acessados de qualquer lugar que possua acesso à internet. Além disso os dados são de fácil visualização pois a *dashboard* é muito simples, indicando as informações de maneira muito clara.

**Figura 37: Dados Capturados em 12h de uso**



O protótipo, após ser instalado na propriedade, teve uma taxa de perda de pacotes de 8,57%, tendo em vistas o primeiro teste com 210 medições enviadas entre os dois dispositivos, e 192 recebidas, tendo 18 medições perdidas, isso é possível observar pelo gráfico de recebimento dos dados no Grafana.

O trabalho conseguiu trazer os dados de maneira fácil e rápida para acessar mesmo via um dispositivo móvel, apenas utilizando o link do Grafana, no qual é possível criar vários acessos para os usuários. Com isso se tornou um trabalho muito útil para o público-alvo, no caso os produtores rurais, de utilizar o sistema como uma ferramenta para identificar o clima em suas lavouras.

## CONCLUSÃO

O objetivo principal desse trabalho foi de criar uma central meteorológica, capaz de se manter ligada de maneira autônoma, sem a necessidade de energia elétrica ou qualquer interação com ela para ela se manter operante. Sua comunicação utiliza a tecnologia LoRaWAN para comunicar sensores instalados remotamente em uma lavoura e comunicá-los com um servidor de banco de dados para armazenar estes dados.

A utilização de um sistema de alimentação através de placas solares também foi algo desafiador a ser desenvolvido, pois a energia recebida possuía uma tensão muito maiores que a operação dos demais componentes do trabalho. Após ser escolhido um dispositivo que reduzia a tensão e ligado o mesmo em um controlador que conseguia armazenar a energia dessas placas em uma bateria e alimentar o sistema de maneira ininterrupta, essa fase foi finalizada com sucesso.

Após conseguir ligar os equipamentos foi necessário realizar a leitura dos sensores, que demandou apenas a programação dos microcontroladores e a leitura dos dados recebidos, além de enviar os dados de uma antena para outra, a fim de se ter os resultados em ambos os dispositivos. A comunicação dos dispositivos foi estabelecida utilizando uma chave de criptografia que possibilitou a comunicação apenas das duas antenas, sem dando uma segurança maior na comunicação, fazendo assim o dispositivo aumentar a segurança de seus dados.

Para resolver o problema do trabalho, foi instalado um sistema de duas antenas, aonde uma delas realiza a captura dos sensores e envia através da tecnologia LoRaWAN as informações para a outra antena. A antena receptora envia os dados pela rede de internet para o servidor onde os dados são armazenados, trazendo assim uma confiabilidade no armazenamento desses dados.

Em relação a primeira hipótese, que levantava a questão de que o protótipo deveria ter um custo menor que os dispositivos encontrados no mercado foi comprovada com o orçamento do trabalho chegando no valor de R\$ 636,00, e o menor orçamento de uma central de meteorologia, Ambient Weather WS 2902, possui um custo de mercado de cerca de R\$ 3799,00. Isso contando que essa central é a mais simples e não oferece sistema de alimentação solar nem conectividade em longas distâncias, tendo que ser instalada próxima a propriedade do cliente.

A segunda hipótese que limitada a perda de pacotes em 10% também foi concluída com sucesso tendo que o sistema só gerava perda de pacotes quando ambas as antenas não se comunicavam normalmente, principalmente em dias de chuva. Foram feitos testes em ambas as condições climáticas e o dispositivo apenas obteve uma perda de pacotes quando a comunicação estava sobre a incidência de raios e trovões, que causavam grandes interferências na comunicação.

A terceira e última hipótese foi comprovada mantendo o sistema ligado durante todo o período de teste, não chegando a haver quedas da comunicação por falta de energia. O sistema manteve a comunicação estável durante todo o tempo do teste, utilizando claro, baterias novas com pouco tempo de uso. O tempo de desgaste dessas baterias podem acabar causando uma mudança no tempo de duração delas, porém isso se resolve com uma manutenção rápida e prática trocando as baterias das antenas.

O protótipo utilizou diversos sensores, desde tecnologias analógica como o sensor de temperatura e o sensor de umidade, como tecnologias digitais como o sensor de intensidade de chuva. Sendo com isso podendo ser atrelado a matérias como Análise de Circuitos Digitais, Circuitos Digitais e Processamento Digital de Sinais. Segurança da Informação também foi uma matéria que teve aproveitamento dentro do trabalho utilizando uma criptografia para comunicar os dados entre as antenas.

Além disso foi bastante utilizado tecnologias móveis, tendo em vista que uma das principais comunicações do trabalho foi realizada através da tecnologia LoRaWAN, caracterizada dentro das tecnologias móveis LPWAN.

O trabalho também teve aproveitamento de matérias como cálculo e física, para programar principalmente o sensor de temperatura, que teve um cálculo complexo para realizar a medição através dele. Matérias como Computação Ubíqua e Pervasiva

também foram aproveitadas mantendo o dispositivo operante sem a necessidade de alguém operando o protótipo.

Por fim, as matérias de Redes e Sistemas Distribuídos e Banco de Dados foram utilizadas na comunicação de alto nível do trabalho, utilizando um servidor com VMs para o armazenamento dos dados, em um banco, e o acesso e manipulação desses dados.

O trabalho foi realizado com foco em se aprofundar em todas as áreas possíveis de conhecimento para realização desse trabalho, mantendo uma delimitação e objetivo definidos, para não abrir demais o trabalho para muitas adaptações, já que o trabalho utiliza tecnologias muito modulares, ou seja, capazes de ter muitas adaptações e melhorias que podem acabar fugindo do foco.

Contudo pode-se concluir que com a utilização desse protótipo para a leitura das informações do local há um grande ganho e vantagens para os agricultores que precisam de informações precisas de sua lavoura. A utilização desse sistema se prova muito mais barato e eficiente em diversas situações e eventos climáticos adversos, mantendo uma comunicação estável mesmo em dias de chuva.

Visto que o protótipo conseguiu atingir seu objetivo e realizar a leitura e conexão de maneira estável, tendo um valor baixo em relação a outros dispositivos de mercado, o trabalho foi realizado com sucesso.

O trabalho foi realizado com o propósito de atender a um baixo custo para viabilizar sua produção, tendo em vista que já havia outros dispositivos concorrentes no mercado. Com isso é possível concluir que há algumas melhorias e adaptações para projetos futuros que seriam muito úteis se fossem adicionadas ao dispositivo.

Uma adaptação de mais sensores, como o próprio sensor de velocidade de vento, um sensor de chuva capaz de não apenas informar o estado da chuva agora, mas também de realizar uma leitura de quanto já choveu em um período.

Para ter métricas mais precisas de várias áreas de uma lavoura, seria possível colocar um microcontrolador mais poderoso no sentido de processamento, com uma antena LoRa mais potente capaz de realizar uma comunicação com diversas antenas e conseguir identificar o ponto em que cada uma está instalada.

Outra melhoria possível é a de adicionar um chip agregado a tecnologia GSM, para monitorar o posicionamento geográfico da antena, assim podendo ter métricas ainda mais precisas para serem entregues ao cliente final.

Para ter resultados mais diversificados, seria interessante adicionar métricas para verificar quanto a chuva presente no local pode interferir no resultado da lavoura, além de trazer métricas de quanto choveu em cada um dos locais da lavoura, tendo um histórico de como foi o resultado da produção e da chuva, para ter um melhor resultado no impacto que a chuva ou a falta dela podem causar no campo.

Contudo, o trabalho foi desenvolvido com um custo competitivo no mercado e cumprindo todos os objetivos propostos na elaboração do trabalho, tendo assim alcançado todos os objetivos e tendo sido realizado com sucesso.

## REFERÊNCIAS

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BERTONHA, A. J.; DUARTE, L. F. **Sensoriamento de umidade do solo com sensor capacitivo e comunicação de dados sem fio baseada em tecnologia LoRa**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava.

BRANCO, F. P. **Sistema de comunicação baseado na tecnologia LoRa para aplicações IoT**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

CABALLERO, S. H. **Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico**. 2020. Dissertação (Mestrado em Redes de Computadores) – Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona.

CENTENARO, M. et al. **Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios**. *IEEE Wireless Communications*, 2016.

DATE, C. J. **Introdução a sistemas de banco de dados**. 8. ed. Tradução de D. Vieira. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2003.

DIAS, B. G. et al. **Monitoramento de sensores de umidade de solo com Internet das Coisas (IoT) aplicado na agricultura de precisão**. São Caetano do Sul: Escola de Engenharia Mauá, 2019.

DIAS, R. N. **Solução de comunicação de baixo custo utilizando LoRa e ESP32**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

DUTRA, L. A. **IoT como proposta de segurança residencial**. Brasília: Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, 2022.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de banco de dados**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

FILHO, R. S.; CUNHA, J. P. **Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção**. Revista Engenharia Agrícola, Goiás, 2015.

GERMANO, S. B. **Protótipo de solução IoT para uma estação meteorológica aplicando tecnologia LoRa no ambiente agro**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Instituto Federal de Goiás, Itumbiara.

GUGLIELMIN, M. M. **Implementação de um protótipo aplicado ao monitoramento do fator de potência em sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologia LoRa**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.

LAVRIC, A.; POPA, V. **LoRaWAN experimental data transmission tests using star topology and Chirp Spread Spectrum modulation**. In: *International Symposium on Signals, Circuits and Systems*. IEEE, 2017.

LOVATO, A. **Metodologia de pesquisa**. 1. ed. Três de Maio: SETREM, 2013.

MONTEIRO, J. E. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009.

NICOLOSI, D. E. **Microcontrolador 8051 – Detalhado**. São Paulo: Saraiva, 2009.

OLIVEIRA, B. B. **Aplicabilidade dos microcontroladores em inovações tecnológicas**. In: VII CONNEPI – Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. S.I., 2012.

OLIVEIRA, L. D. **Revisão sistemática da literatura sobre aplicações das tecnologias LoRa e LoRaWAN**. São Paulo: UNIFESP, 2018. Disponível em: [https://sol.sbc.org.br/index.php/sbesc\\_estendido/article/view/11002/10873](https://sol.sbc.org.br/index.php/sbesc_estendido/article/view/11002/10873). Acesso em: 7 maio 2024.

ORACLE. **O que é um banco de dados?** Disponível em: <https://www.oracle.com/br/database/what-is-database/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

PAULA, R. L. **Desenvolvimento de protótipo de medidor eletrônico de energia elétrica monofásico utilizando rede LoRa**. 2021. Trabalho de Conclusão

de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Belém.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: USP, 2007.

PEREIRA, E. A. **Implementação de um dispositivo para rede de sensores sem fio LoRa utilizando energia solar**. Quixadá: UFC, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49730/1/2019\\_tcc\\_eapereira.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49730/1/2019_tcc_eapereira.pdf). Acesso em: 7 maio 2024.

QUEIRÓS, L. R.; LUCHIARI JUNIOR, A.; CAMARGO NETO, J. et al. **Análise das possibilidades e tendências do uso das tecnologias da informação e comunicação em agricultura de precisão**. In: *Embrapa*. 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1003480/1/Cap7.pdf>.

RIBEIRO, J. M. **Uma aplicação da tecnologia LoRa em um ambiente hospitalar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, D. B. **Desenvolvimento de uma estação de sensoriamento com conexão LoRa ponto a ponto e recarregamento de baterias por placas solares para aplicações na agricultura de precisão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

SILVA, C. D. et al. **Monitoramento de variáveis ambientais usando IoT para aplicações em agrometeorologia**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção.

TRENTO, A. V. **Sistema de monitoramento LoRa aplicado a uma estufa de cultivo**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.

## APÊNDICE A – ORÇAMENTO

No quadro 1 é apresentado o orçamento estimado do trabalho durante sua elaboração e execução.

**Quadro 1: Orçamento**

<b>Produto</b>	<b>Custo</b>
Cabeamento	R\$ 50,00
Esp-32 com LoRa	R\$ 56,00
Baterias	R\$ 60,00
Placas Solares	R\$ 190,00
Termostato	R\$ 120,00
Sensor de chuva	R\$ 90,00
Sensor de umidade	R\$ 70,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 636,00</b>

