

# Monitoramento Ambiental em Videiras utilizando LoraWAN

Lucas Cazarotto Sartori<sup>1</sup>, Fernando de Cristo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar)  
Caixa Postal 169 – 98.400-000 – Frederico Westphalen – RS – Brasil

lucas.2019005678@aluno.iffar.edu.br,

fernando.cristo@iffarroupilha.edu.br

**Abstract.** *Monitoring environmental conditions (temperature and humidity) in vine growing areas in real time is a challenge, as conventional wireless communication methods become unfeasible due to the limited range. In this scenario, the LoRaWAN protocol, inserted in the context of the Internet of Things (IoT), emerges as a viable solution for data collection and analysis. To make this idea viable, we employ LoRa, Arduino/ESP32 modules and temperature and humidity sensors (DHT22), which constantly send data to a remote server, where it can be accessed via the web. In this way, it becomes possible to monitor environmental variables in real time, ensuring precise vineyard management and the prevention of fungal diseases such as downy mildew, powdery mildew, anthracnose and gray rot.*

**Resumo.** *Monitorar em tempo real as condições ambientais (temperatura e umidade) em áreas de cultivo de videiras é um desafio, pois métodos convencionais de comunicação sem fio tornam-se inviáveis pelo alcance limitado. Nesse cenário, o protocolo LoRaWAN, inserido no contexto da Internet das Coisas (IoT), surge como solução viável para coleta e análise de dados. Para viabilizar essa ideia, empregam-se módulos LoRa, Arduino/ESP32 e sensores de temperatura e umidade (DHT22), que enviam dados constantemente para um servidor remoto, onde podem ser acessados via web. Dessa forma, torna-se possível monitorar variáveis ambientais em tempo real, garantindo manejo preciso dos vinhedos e a prevenção de doenças fúngicas, como míldio, oídio, antracnose e podridão cinzenta.*

## 1. Introdução

A comunicação de longa distância para monitoramento agrícola é um tema cada vez mais relevante no contexto atual, especialmente com o avanço das tecnologias de Internet das Coisas (IoT). Este trabalho tem como foco o desenvolvimento de uma solução prática para monitoramento de videiras utilizando a tecnologia LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). LoRaWAN é uma rede de área ampla de baixa potência que permite comunicação sem fio em longas distâncias, sendo ideal para aplicações em áreas rurais. A ideia básica deste projeto é resolver o problema de monitoramento eficiente das condições ambientais das videiras em áreas extensas, onde tecnologias convencionais de comunicação sem fio não são viáveis devido à limitação de alcance. A hipótese central é que o uso de LoRaWAN pode proporcionar uma solução eficaz e de baixo custo para a coleta de dados ambientais, como temperatura e umidade, essenciais para o manejo e a produtividade das videiras.

O cultivo de videiras, apresenta desafios específicos devido às condições climáticas variáveis como problemas fúngicos, como oídio, míldio e podridão-cinzenta.

A cobertura plástica pode ajudar na prevenção dessas doenças, mas sua eficácia depende de um manejo adequado.

Este tema insere-se no contexto da agricultura de precisão, uma área que busca otimizar o uso de recursos e aprimorar a produtividade agrícola por meio do monitoramento e controle precisos de variáveis ambientais. As motivações para a escolha deste tema incluem a crescente necessidade de tecnologias sustentáveis e eficientes na agricultura, bem como o potencial do LoRaWAN para transformar a forma como os dados são coletados e utilizados no campo. O uso de LoRaWAN para o monitoramento de videiras pode contribuir significativamente para a redução do uso de defensivos agrícolas e para a melhoria da qualidade dos produtos, atendendo tanto às necessidades dos produtores quanto às expectativas dos consumidores por produtos mais saudáveis e sustentáveis.

Este trabalho teve por objetivo criar um sistema de monitoramento ambiental em tempo real, unindo um sensor de temperatura e umidade à tecnologia LoRaWAN por meio da plataforma Arduino/ESP32. Para tanto buscou-se desenvolver um sistema IoT utilizando a plataforma Arduino/ESP32 e o protocolo de comunicação LoRaWAN, com o objetivo de monitorar e analisar dados ambientais em tempo real, integrando sensores para coleta de informações sobre temperatura e umidade, transmitindo esses dados para um sistema acessível via smartphone para visualização dos dados. Este estudo teve como objetivos específicos utilizar o protocolo LoRaWAN para comunicação de longo alcance, configurar os módulos LoRa para a transmissão dos dados coletados pelos sensores e estabelecer a comunicação entre o ESP32 e os dispositivos finais. Além disso, buscou testar o sistema em um ambiente adequado, coletar e analisar os dados para avaliar a eficácia e precisão da solução proposta e ajustar e otimizar o sistema com base nos resultados obtidos, garantindo um desempenho confiável. O estudo também buscou monitorar em tempo real as condições climáticas nos vinhedos e criar uma plataforma web acessível para a visualização e análise dos dados em tempo real.

A produção de vinhos de alta qualidade depende de fatores ambientais como temperatura e umidade, que influenciam diretamente o crescimento e a saúde das uvas. Temperaturas ideais promovem o desenvolvimento adequado dos açúcares e ácidos, enquanto a umidade controlada previne doenças. Monitorar e controlar esses fatores de maneira eficiente é vital para maximizar a qualidade e reduzir perdas. No entanto, métodos tradicionais de monitoramento, muitas vezes manuais, são demorados e imprecisos nos dados. A falta de precisão e a demora na obtenção de dados podem levar a ações corretivas tardias, impactando negativamente a qualidade do vinho e aumentando os custos de produção. Soluções tecnológicas avançadas podem fornecer monitoramento contínuo e em tempo real, permitindo uma gestão mais eficiente e precisa dos vinhedos.

A justificativa para este trabalho é a necessidade de uma solução tecnológica que permita o monitoramento contínuo e em tempo real das condições ambientais dos vinhedos. Com a coleta constante de dados sobre temperatura e umidade, é possível fornecer informações precisas e atualizadas, os dados precisos sobre temperatura auxiliam na identificação de momentos críticos para intervenções. Além disso, o monitoramento constante da umidade mostra-se fundamental para prevenir doenças fúngicas.

Além disso, a integração desses dados em uma plataforma acessível pela web disponibiliza uma interface para a visualização e a análise das condições climáticas, independentemente da localização do usuário. Isso permite aos viticultores monitorar seus vinhedos em tempo real. Essa inovação democratiza o acesso à tecnologia, permitindo que até pequenos produtores usufruam dos benefícios da IoT.

## **2. Referencial Teórico**

Este referencial aborda as tecnologias e práticas modernas na agricultura, como a Agricultura de Precisão e a Internet das Coisas (IoT). Explora os sistemas de comunicação LoRa e LoRaWAN, além de descrever as ferramentas utilizadas, incluindo ESP32/Arduino, sensores e sistemas de gerenciamento de dados. Também, apresenta dados sobre a produção de videiras, as principais doenças e os métodos de cultivo, bem como, trabalhos relacionados que fundamentam este estudo.

A agricultura de precisão é uma abordagem moderna que utiliza tecnologias avançadas para otimizar a produção agrícola de forma localizada, considerando as variações específicas de cada área dentro de uma propriedade. Ao empregar ferramentas como GPS, GIS (Sistema de Informação Geográfica), sensores de solo e máquinas que aplicam insumos em taxas variáveis, essa técnica permite a coleta e análise detalhada de dados sobre o solo, clima e culturas. Isso possibilita a aplicação precisa de fertilizantes, defensivos e outros insumos exatamente onde e na quantidade necessária, aumentando a eficiência produtiva, reduzindo custos e minimizando impactos ambientais (LAMPARELLI, 2022).

Além disso, a Agricultura de Precisão (AP) se estabelece como um sistema de gerenciamento agrícola que utiliza tecnologias para considerar a variação espacial das propriedades do solo e das plantas nas lavouras, com o objetivo de otimizar o lucro, promover a sustentabilidade e proteger o ambiente (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2009).

Para Li et al. (2012, apud Solagna, 2020, p.17), a Internet das Coisas é um conceito tecnológico. O conceito básico da IoT é conectar as coisas, permitindo que essas 'coisas' se comuniquem entre si e que as pessoas também se comuniquem com elas. De maneira geral, pode ser entendido como um ambiente de objetos físicos conectados à internet por meio de sensores pequenos, criando um ecossistema de computação ubíqua voltado para facilitar o cotidiano das pessoas. Todas as definições de IoT têm em comum o foco em como computadores, sensores e objetos interagem entre si e processam informações em um contexto de hiperconectividade (MAGRANI, 2022, p. 19).

A Internet das Coisas (IoT) é um termo abrangente que engloba diversas tecnologias e serviços subjacentes, integrando-se a um ecossistema mais amplo. O paradigma IoT permite a integração de praticamente qualquer objeto à Internet, proporcionando novas formas de interação entre humanos e dispositivos, ou diretamente entre dispositivos (CENTENARO et al., 2015).

LoRa, abreviação de "Long Range" (Longo Alcance), utiliza uma técnica de modulação derivada do Chirp Spread Spectrum (CSS), que é baseada em ondas de rádio. Desenvolvida pela Semtech, LoRa é uma plataforma sem fio que oferece comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia. Operando na banda de rádio ISM (Industrial, Scientific and Medical) não licenciada, LoRa permite a transmissão de dados sem a necessidade de obter licenças específicas para frequências (SEMTECH, SEMTECH, 2015).

Para utilizar a modulação LoRa em um dispositivo final, é necessário configurar três parâmetros essenciais. O primeiro é a Largura de Banda (Bandwidth, BW), que pode ser ajustada para 125 kHz ou 250 kHz para uplink e 500 kHz para downlink. O segundo parâmetro é o Fator de Espalhamento (Spreading Factor, SF), que varia de 7 a 12, quanto maior o SF, maior o consumo de energia e o alcance do sinal. Por último, a Taxa de Codificação (Coding Rate, CR) define a quantidade de bits de redundância na mensagem, com valores de 4/5, 4/6, 4/7 e 4/8. Aumentar o CR melhora a proteção contra erros, mas também aumenta o tempo de transmissão. (PASTÓRIO, et. al, 2021).

A comunicação é bidirecional e dividida em três subclasses: A, B e C. Na Classe A, cada transmissão uplink do dispositivo final é seguida por duas pequenas janelas de recepção downlink. Comunicações downlink do servidor em qualquer outro momento terão que esperar até o próximo uplink agendado, e este sistema possui o menor consumo de energia. Dispositivos finais da Classe B permitem mais slots de recepção, abrindo janelas de recepção extras em horários agendados. Já os dispositivos finais da Classe C têm janelas de recepção quase continuamente abertas, fechando apenas quando estão transmitindo. Dispositivos finais da Classe C consomem mais energia para operar do que os da Classe A ou B, mas oferecem a menor latência para comunicação do servidor para o dispositivo final (SEMTECH, SEMTECH, 2015).

Existem diferentes frequências de transmissão LoRa para cada região do mundo. No Brasil, a norma que define as frequências permitidas é estabelecida pela ANATEL no Ato nº 14448, de 04 de dezembro de 2017. De acordo com essa norma, os dispositivos LoRa podem operar nas faixas de 902-907,5 MHz e 915-928 MHz. (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2024)

O protocolo LoRaWAN, reconhecido pela União Internacional de Telecomunicações (ITU) como um padrão LPWAN, é um protocolo de comunicação baseado nos dispositivos LoRa. Ele utiliza o espectro de rádio não licenciado na banda Industrial, Científica e Médica (ISM) para fornecer uma rede de área ampla e baixo consumo de energia. A estrutura da rede inclui dispositivos finais, gateways e servidores de rede. (UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2021).

SigFox opera em sub-GHz nas faixas de 862-876 MHz e 902-928 MHz, no Brasil utiliza a banda de 902-928 MHz. As frequências são divididas em RCs (Regiões de Cobertura), de RC1 a RC7. Diferente do LoRaWAN, SigFox não permite gateways de terceiros, sendo a infraestrutura provida por operadoras como a WND Brasil, permitindo que empresas se concentrem em seus produtos sem se preocupar com conectividade. Em 2020, o custo anual do SigFox foi de aproximadamente US\$12 por dispositivo para planos que permitem até 140 mensagens diárias (uplink) e 8 mensagens diárias (downlink) (BERTOLETI, 2020).

As ferramentas e recursos tecnológicos adotados foram selecionados para atender às demandas do projeto, cada qual desempenhando um papel fundamental na concretização dos objetivos. O Arduino Nano, ideal para projetos eletrônicos compactos. Equipado com um microcontrolador ATmega328, oferece 32 KB de memória para programas e 2 KB para tarefas temporárias, sendo programado por meio do software Arduino (ARDUINO, 2024).

Para a conectividade, o ESP 32 surge como uma solução. Ele oferece conectividade Wi-Fi e Bluetooth, podendo funcionar tanto como sistema autônomo quanto como dispositivo auxiliar (ESPRESSIF, 2024).

No quesito de medição de temperatura e umidade, o DHT22 destaca-se pela sua precisão, além de fornecer um sinal digital e exigir apenas três conexões: alimentação, dados e terra. Operando entre 3 e 5V e consumindo até 2.5mA durante a leitura, ele mede umidade de 0-100% com precisão de 2-5% e temperatura de -40 a 80°C com precisão de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (ADAFRUIT, 2024).

O gerenciamento de dados fica a cargo do MySQL, um sistema que organiza e manipula informações em tabelas, garantindo velocidade de processamento, consistência e alta disponibilidade (ORACLE, 2024).

Por fim, o PHP, uma linguagem de script de uso geral e código aberto, é executado no servidor para criar páginas que interagem com o usuário e acessam bancos de dados. Altamente extensível, permite o uso de bibliotecas e frameworks que agilizam o desenvolvimento de aplicações (PHP, 2024).

Segundo dados do IBGE, em 2023, o Brasil produziu 1.757.891 toneladas de uva, cultivadas em uma área de 77.019 hectares. Essa produção resultou em uma média de 19.396 kg por hectare e gerou um valor total de R\$ 5.308.250.000,00 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2024).

A podridão cinzenta é causada por um fungo que se espalha facilmente com alta umidade (acima de 90%) e temperaturas entre 1°C e 30°C, sendo 18°C a ideal. Esse fungo pode infectar a planta em cerca de 15 horas, principalmente na primavera (GARRIDO, GAVA, 2014).

Além da podridão cinzenta, o oídio ameaça significativamente a videira, desenvolvendo-se em torno de 25°C, com umidade relativa entre 40% a 60% e baixa luminosidade. O risco de infecção diminui quando a temperatura ultrapassa 35°C, e o oídio pode afetar a planta em 5 horas ou mais (GRIGOLETTI JÚNIOR, SÔNEGO, 1993).

A antracnose afeta as videiras em clima úmido e temperaturas entre 20 e 26°C, podendo sobreviver nos restos de planta e causar até 100% de perdas na produção de uvas em anos chuvosos. Essa doença pode infectar as videiras em um período de 12 horas ou mais (GARRIDO, GAVA, 2014; ROSSI, GARRIDO, 2021).

O míldio, principal doença da videira no Brasil, prospera entre 25 e 30°C e alta umidade. Seus esporos são dispersos pelo vento e atacam diversas partes da planta, iniciando a infecção em apenas 4 horas (GARRIDO, GAVA, 2014; ROSSI, GARRIDO, 2021).

A latada é um sistema de condução de videiras em que as plantas são sustentadas por uma estrutura elevada e horizontal, situada a cerca de 1,8 a 2 metros do solo, permitindo um crescimento vigoroso das videiras e resultando em alta produtividade, além de facilitar a movimentação dos trabalhadores. No entanto, apresenta desvantagens como altos custos de instalação e manutenção, e o risco de sombreamento excessivo que pode prejudicar a qualidade das uvas e aumentar a umidade, favorecendo doenças fúngicas. Em contrapartida, a espaldeira sustenta as videiras verticalmente, adapta-se bem à maioria das variedades, facilita a mecanização e promove melhor circulação de ar, o que reduz o risco de doenças. Embora a espaldeira resulte em menor produção, ela melhora a qualidade das uvas, evitando o sombreamento excessivo e concentrando mais energia na produção de frutos de alta qualidade (MIELE; MANDELLI, 2013).

No trabalho de Groth et al. (2017), apresentou-se uma proposta de sistema web para monitoramento e análise de dados coletados a partir de estações construídas com Arduino. O sistema é capaz de ler variáveis ambientais como temperatura e umidade, armazená-las em um banco de dados e gerenciá-las através de uma aplicação web. A proposta visa integrar sensores compatíveis com a plataforma Arduino e uma interface web para visualização em tempo real dos dados coletados, oferecendo funcionalidades para monitoramento e geração de relatórios, o que facilita a análise e o gerenciamento de dados ambientais.

O trabalho de Groth et al. (2017) utiliza Arduino e uma aplicação web para monitorar variáveis ambientais, enquanto o projeto atual emprega LoRaWAN para comunicação de longo alcance, além de um sistema web para visualização dos dados em tempo real. Groth et al. têm um foco geral no monitoramento de várias variáveis, ao passo que o projeto atual é específico para videiras, visando prevenir doenças.

O artigo " LoRaWAN IoT System for Smart Agriculture for Vine Water Status Determination" descreve o desenvolvimento e implementação de um sistema IoT utilizando LoRaWAN para monitorar o status hídrico das vinhas, com o objetivo de otimizar a gestão de recursos hídricos, especialmente em áreas remotas. O sistema envolve sensores ambientais, de planta e de solo que monitoram continuamente parâmetros como temperatura, umidade, radiação solar e conteúdo de água no solo. Esses dados são transmitidos via LoRaWAN para um servidor central e visualizados na plataforma Grafana. Os resultados demonstram a eficácia do sistema, que operou sem perdas de dados, embora tenha havido variações nas leituras de temperatura entre os sensores, indicando a necessidade de estudos adicionais. (VALENTE et al., 2022).

O projeto de Valente et al. (2022) se distingue do trabalho atual por focar na coleta de dados como temperatura, umidade e radiação solar, visando aprimorar a gestão hídrica em áreas remotas. Por outro lado, o projeto atual adota uma abordagem mais direta e completa, também utilizando LoRaWAN, mas com uma ênfase especial na precisão dos dados ambientais em tempo real, especialmente voltados para a prevenção de doenças nas videiras e otimização do manejo fitossanitário. Enquanto Valente et al. enfrentam desafios com a inconsistência dos dados, o projeto atual prioriza a confiabilidade e a facilidade de acesso às informações, desenvolvendo uma plataforma intuitiva para os vicultores, que simplifica a visualização e análise dos dados.

Buscando entender melhor o impacto climático na produção de vinhos, a Embrapa colabora com a Universidade de Rennes (França) e o CNRS (Centro Nacional de Pesquisa Científica da França), focando na Serra Gaúcha. Onze parreirais de Chardonnay no Vale dos Vinhedos têm suas temperaturas registradas a cada hora para estudar o clima local e apoiar a gestão vitícola diante das mudanças climáticas. O projeto usa sensores térmicos e estações meteorológicas para criar uma base de dados global sobre o clima nos vinhedos, visando entender melhor as relações entre o clima e a produção de vinhos, e assim melhorar a qualidade dos vinhos brasileiros (ZANELLA, 2015).

O projeto da Embrapa, Universidade de Rennes e CNRS se difere do projeto atual, pois foca na criação de uma base de dados climáticos para entender o impacto do clima na produção de vinhos, utilizando sensores térmicos e estações meteorológicas. Em contraste, o projeto atual utiliza LoRaWAN para monitorar temperatura e umidade em tempo real, visando a prevenção de doenças nas videiras e a melhoria da gestão fitossanitária, com uma abordagem mais prática e voltada para o uso direto pelos viticultores.

### **3. Discussão dos Resultados**

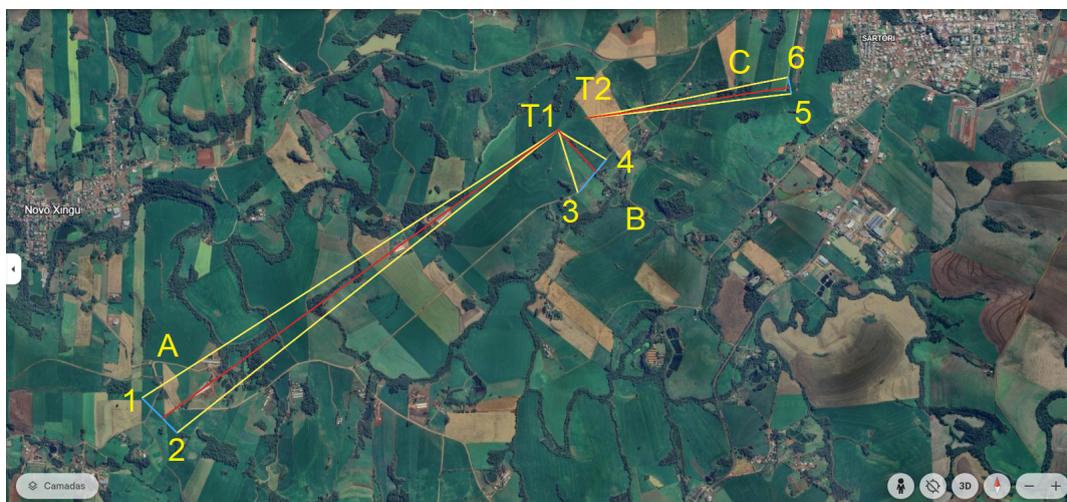
Este estudo desenvolveu e implementou um sistema de monitoramento ambiental para videiras utilizando a tecnologia LoRaWAN. O objetivo principal foi criar uma solução de baixo custo e alta eficiência para coletar dados de temperatura e umidade em uma propriedade rural, onde tecnologias convencionais de comunicação sem fio não são viáveis. Para o armazenamento e a visualização dos dados, optou-se pela plataforma da Alwaysdata (ALWAYSDATA, 2025), um provedor de serviços sediado na França, que oferece um plano gratuito de 100 MB tanto para hospedagem de sites quanto para armazenamento SQL.

Para implementar o projeto, optou-se por duas combinações diferentes de componentes, uma para o gateway e outra para os nós. No gateway foi utilizada uma protoboard como base para organizar os componentes, integrada com um módulo LoRa e um ESP32, que opera como o processador central, administrando as conexões e o processamento dos dados recebidos. Já nos nós em cada unidade foi equipada com um sensor DHT22, responsável pela medição da temperatura e da umidade do ambiente, além de um resistor de 10kΩ como pull-up para garantir o funcionamento adequado do sensor. Esses componentes foram montados em uma protoboard. Além disso, conta com um Arduino Nano para controlar os sensores e transmitir os dados coletados através de um módulo LoRa.

Para avaliar o alcance do sinal em diferentes cenários, foram definidos dois pontos de transmissão (T1 e T2) e três de recepção (A, B e C), subdivididos em A1, A2, B3, B4, C5 e C6.

Em cada direção, ilustrada na Figura 1, o transmissor era reposicionado para verificar o desempenho, permanecendo em envio contínuo de dados. Durante o processo, o receptor ligado a um notebook foi explorado nas diferentes áreas de teste, identificando o limite de recepção do sinal, como a “largura” possível da cobertura.

(linha amarela). A linha vermelha marca o ponto ideal de transmissão, pois apresenta a melhor relação sinal-ruído (SNR).



**Figura 1. Imagem de Satélite dos Locais de Teste**

Fonte: Autoria Própria.

É importante destacar que os pontos A1, A2, B3, B4, C5 e C6 representam o limite de transmissão naquele ponto em relação ao transmissor. Nessa configuração, ainda é possível receber o sinal, porém não no melhor nível de qualidade. Em contrapartida, a linha vermelha ilustrada nos testes (Figura 1) indica o ponto de melhor sinal, onde o transmissor e o receptor estão mais bem alinhados, resultando em um SNR mais alto e, portanto, maior estabilidade de recepção. Já a linha azul indica a ligação entre os pontos extremos.

Na Tabela 1 são apresentadas as distâncias entre cada par de pontos testados. Essas medidas fornecem uma visão do campo de teste utilizado para avaliar a eficácia do sinal LoRaWAN.

**Tabela 1: Distâncias entre pontos de conexão testados**

Conexão	Distância (Metros)	Conexão	Distância (Metros)	Conexão	Distância (Metros)
T1 - A1	3640	T1 - B3	485	T1 - C5	1484
T1 - A2	3587	T1 - B4	415	T1 - C6	1500
A1 - A2	356	B3 - B4	325	C5 - C6	135

Fonte: Autoria Própria.

Além dos testes de alcance, também foi realizado, em cada ponto (A, B e C), um experimento para verificar a porcentagem de pacotes recebidos corretamente. A metodologia consistiu em instalar um transmissor fixo e utilizar um receptor conectado a um notebook, posicionado estaticamente durante a coleta de dados. A cada 6 segundos um pacote era enviado, até o máximo de 200 pacotes. Ao final, descartaram-se todos os

pacotes incompletos, contabilizando apenas aqueles que continham a mensagem no formato correto. O padrão estabelecido para uma mensagem correta foi:

<PACOTE = 1, Temperatura: 26.0, Umidade: 56.4, RSSI: -110, SNR: -11.5>

Para viabilizar o procedimento, o transmissor foi mantido em transmissão contínua, e configurou-se um comando RESET que poderia ser enviado pelo receptor para reiniciar a contagem de 1 a 200 dos pacotes enviados. Dessa forma, posicionando o dispositivo em uma área com intensidade de sinal considerada boa, obteve-se uma estimativa da porcentagem de mensagens recebidas com sucesso. A Tabela 2 ilustra a porcentagem de mensagens recebidas em cada distância.

**Tabela 2: Taxa de recepção de mensagens por distância**

Distância	Mensagens Recebidas (%)
450m	99%
1,5 km	84,5%
3,5 km	93%

Fonte: Autoria Própria.

As configurações para os testes foram: SF 10, CR 4/8, banda de 125 kHz, sem utilização de ganho na antena (embora seja possível adicionar até 20 dB).

Posteriormente, foram avaliados os valores de RSSI e SNR, responsáveis por indicar a intensidade e a qualidade do sinal, respectivamente. Além disso, utilizando a Lei dos Cossenos, foi possível calcular os ângulos correspondentes a cada cenário, trazendo uma compreensão mais detalhada do posicionamento entre transmissor e receptor.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos testes realizados, incluindo tanto as medições dos pontos extremos (linha amarela) quanto os valores da "linha vermelha", que representa o melhor alinhamento possível e, conseqüentemente, o ponto de maior nível de sinal e qualidade de recepção, como visto na Figura 1. Os testes realizados, também, revelaram que a comunicação LoRaWAN exibida é direcional.

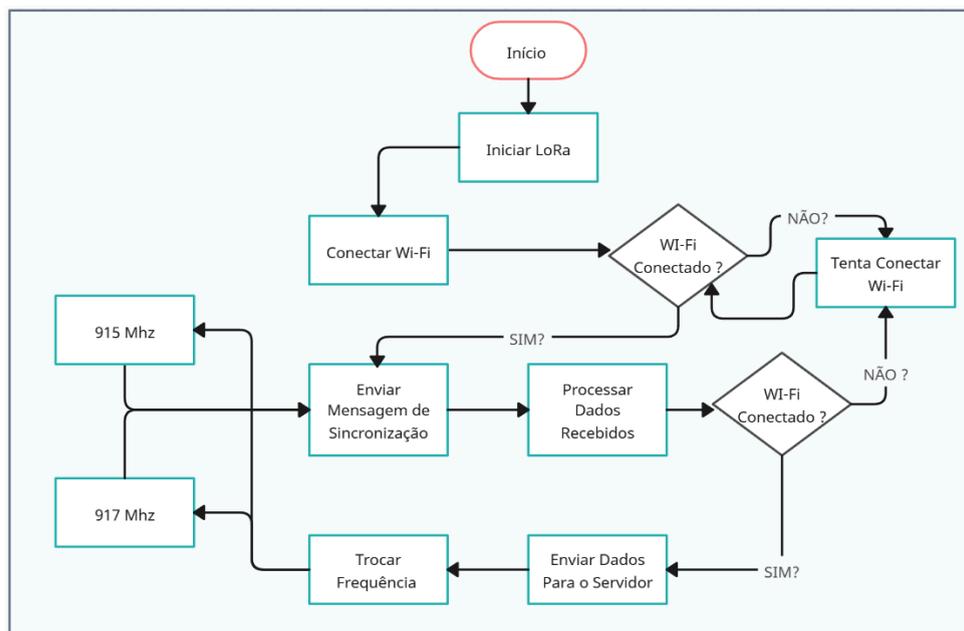
**Tabela 3. Resultados de teste de alcance para diferentes distâncias.**

Distância	Ângulo	RSSI (Melhor)	RSSI (Pior)	SNR (Melhor)	SNR (Pior)
450m	41,4°	-112 dBm	-113 dBm	-2 dB	-11,3 dB
1,5 km	4,8°	-110 dBm	-111 dBm	-10 dB	-22,5 dB
3,5 km	5,74°	-109 dBm	-109 dBm	-9 dB	-21,8 dB

Fonte: Autoria Própria.

Foram desenvolvidos dois fluxogramas a seguir para exemplificar de maneira clara o fluxo do código: um voltado para o Gateway e outro para o Nó. Ambos fluxogramas foram desenvolvidos utilizando-se a ferramenta Creately (2025).

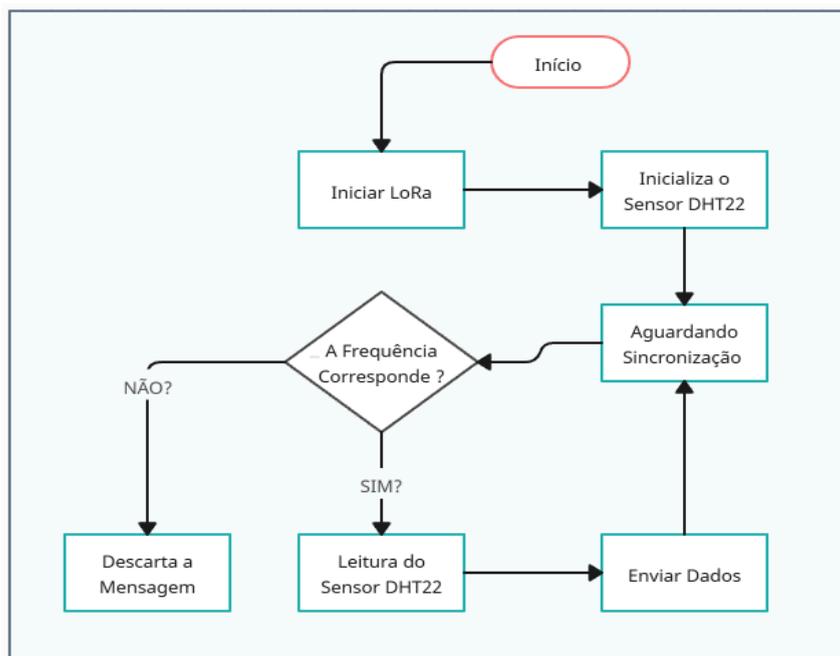
O fluxograma do Gateway (Figura 2) detalha as operações responsáveis pelo gerenciamento das comunicações entre os dispositivos finais e, também, a parte de recebimento, processamento e encaminhamento dos dados para o banco de dados.



**Figura 2. Fluxograma Gateway**

Fonte: Autoria Própria.

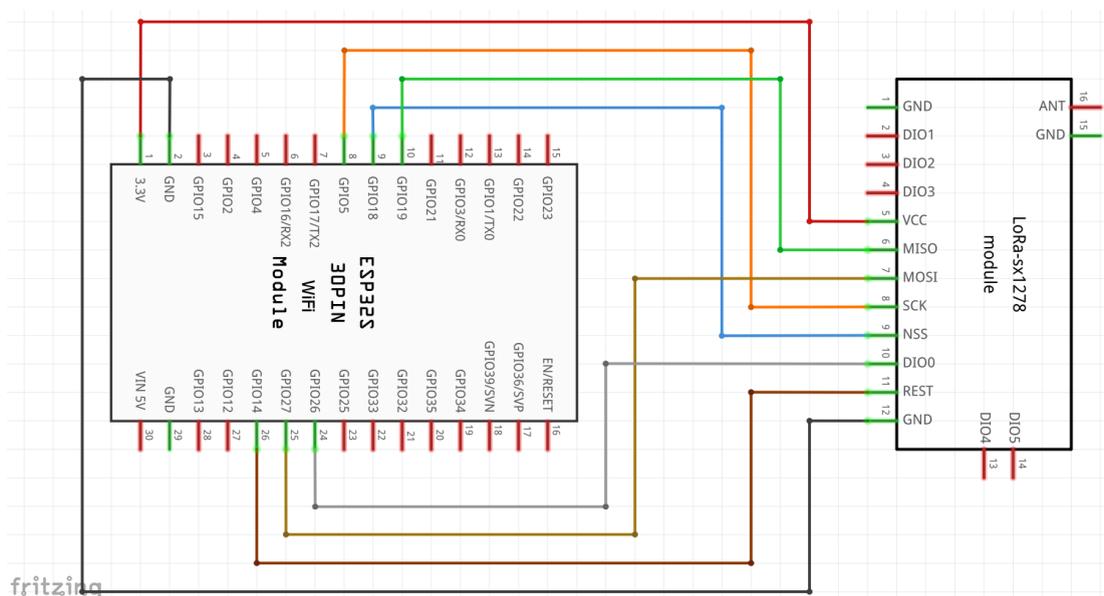
Já o fluxograma do Nó (Figura 3) ilustra as etapas envolvidas na coleta de dados dos sensores, no processamento local e na transmissão das informações para o Gateway.



**Figura 3 Fluxograma dos Nós**

Fonte: Autoria Própria.

Para exemplificar a arquitetura do sistema e facilitar a compreensão do hardware envolvido, foram desenvolvidos dois esquemas elétricos utilizando o software Fritzing em sua versão 0.9.3b (FRITZING, 2025), um para o Gateway e outro para os Nós.



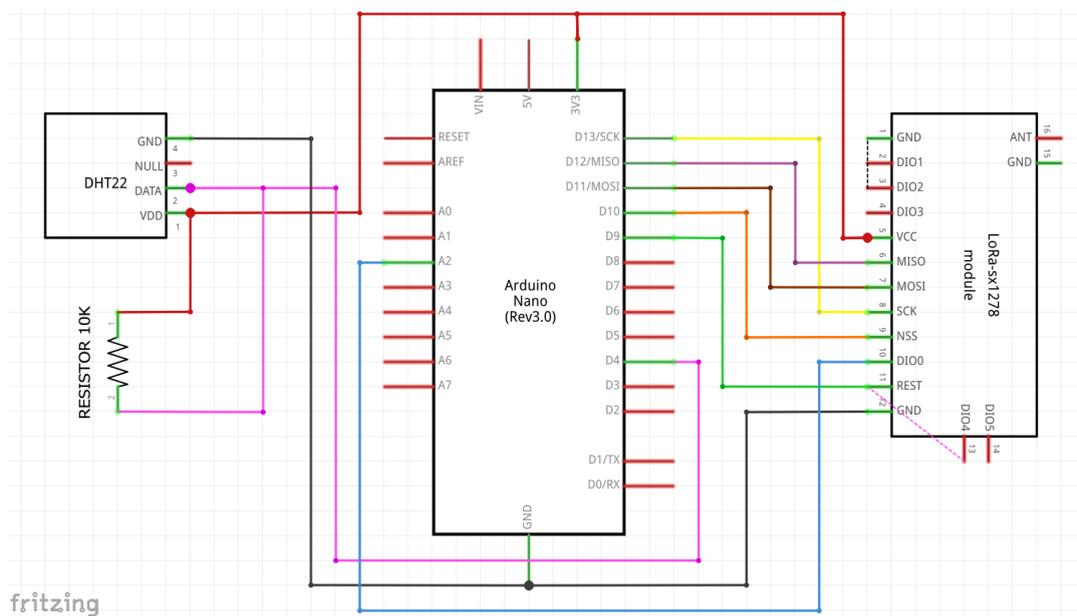
**Figura 4 Esquema Elétrico do Gateway**

Fonte: Autoria Própria.

O Gateway (Figura 4) consiste em um ESP 32 integrado a um módulo LoRa para receber dados dos nós. O barramento SPI (pinos D11, D12 e D13) permite a transmissão e recepção de dados, enquanto o pino D10 (NSS) gerencia o controle do

dispositivo na comunicação. Um sinal de interrupção (DIO0) é conectado ao pino D2, indicando eventos como a chegada de pacotes LoRa. As ligações de alimentação (VCC) e (GND) fornecem energia e por fim, a antena externa (pino ANT). A antena utilizada é do tipo direcional, que embora limite a direção de transmissão do sinal, permite a recepção e transmissão de sinais a distâncias maiores, em relação a sistemas sem antena.

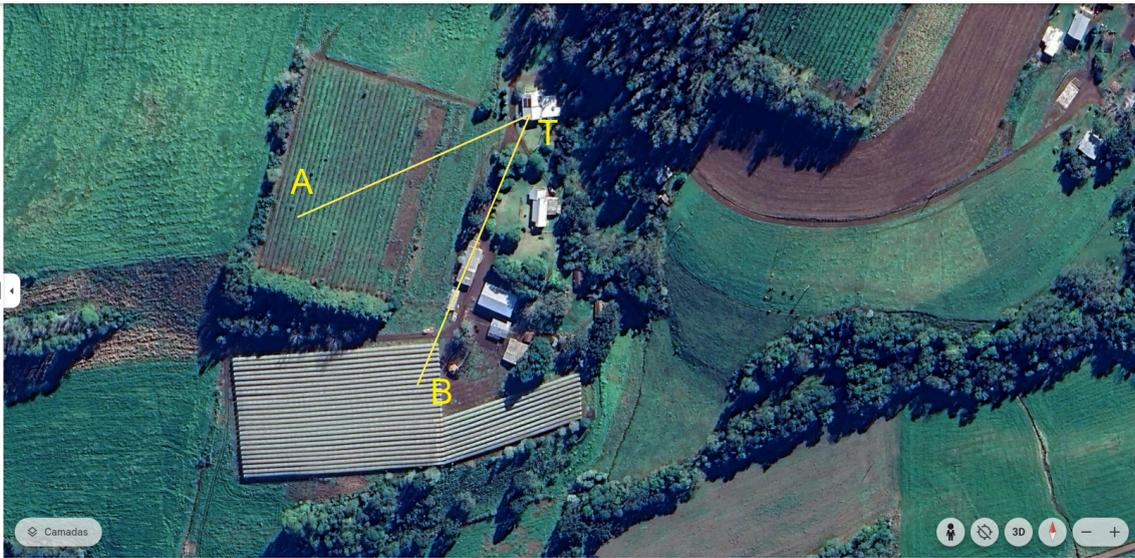
O Nó (Figura 5) consiste em um Arduino Nano, um sensor DHT22 e um módulo LoRa. O DHT22, alimentado pelo Nano (3.3 V e GND), utiliza um único pino digital para enviar leituras de temperatura e umidade. Para se comunicar com o módulo LoRa, o Arduino utiliza o barramento SPI (MOSI, MISO, SCK), enquanto o pino D10 (NSS) gerencia a comunicação, habilitando ou desabilitando o módulo na comunicação. Além disso, o pino D2 (DIO0) trata as interrupções, notificando o Arduino sobre a chegada de pacotes e outros eventos. Assim, o Arduino Nano coleta as medições do DHT22 e as transmite via LoRa. Da mesma forma, que no gateway os nós, também, contam com uma antena direcional, que permite a comunicação em distâncias maiores.



**Figura 5. Esquema Elétrico do Nó**

Fonte: Autoria Própria.

Antes de instalar os dispositivos na propriedade para a coleta dos dados, foram realizados testes de alcance, analisando os parâmetros SNR e RSSI. Com base nesses testes, foram selecionados dois locais em diferentes parreirais para a instalação dos dispositivos finais (Figura 6).



**Figura 6. Local de Instalação dos Dispositivos**

Fonte: Autoria Própria.

Com os pontos e distâncias definidos, os nós estão a 115,5 metros entre si e formam um ângulo de aproximadamente  $43,7^\circ$ , em relação ao gateway.

**Tabela 4. Dados dos pontos de instalação**

Ponto	Dispositivo	Distância para o Gateway (T)	RSSI (Local de Instalação)	SNR (Local de Instalação)	Pacotes Enviados (%)
A	1	145m	-98 dBm	9.0 dB	69.17
B	2	160m	-105 dBm	0.0 dB	60.83

Com base nos testes preliminares realizados, a configuração SF 10, CR 4/8 e banda de 125 kHz apresentou bons resultados, sendo assim adotada para a implementação. A execução em campo ocorreu ao longo de 10 dias, de 27 de dezembro de 2024 a 5 de janeiro de 2025, utilizando o sistema de cultivo de uva do tipo latada. Durante esse período, foi programado o envio de um dado por hora, totalizando 24 dados diários e 240 pacotes ao todo. Para a alimentação dos dispositivos, utilizou-se um pack com 4 pilhas. A classe de comunicação escolhida foi C. A Tabela 4 ilustra os detalhes dos pontos de instalação.

A Figura 7, mostra o dispositivo nó 1 funcionando em seu local de instalação.



**Figura 7. Dispositivo N° 1**

Fonte: Autoria Própria.

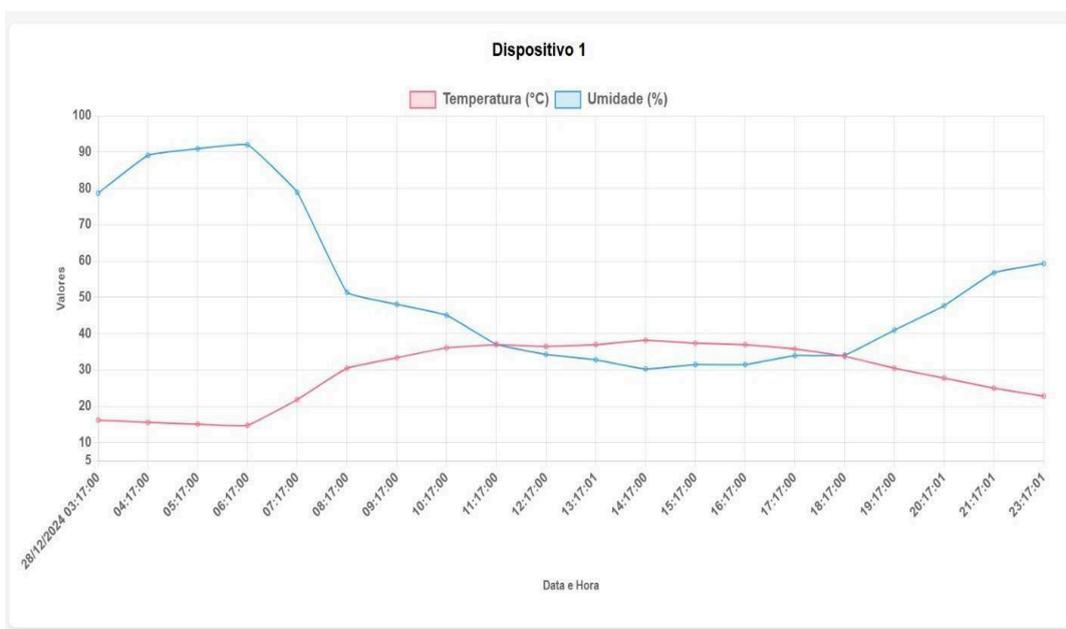
Na Figura 8, é possível observar o local de instalação do dispositivo nó 2.



**Figura 8. Dispositivo N° 2**

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 9 ilustra dados coletados a partir do dispositivo nó 1. No gráfico são exibidos 20 dados recebidos de leituras efetuadas no dia 28/12/2024 entre as 03h17min e as 23h17min. O dispositivo nó 1 estava posicionado a céu aberto, evidenciando uma elevação gradual da temperatura, de 15,6°C a picos de 37°C durante o dia, enquanto a umidade variou entre 89,1% e 30% ao longo do dia, voltando a cerca de 73,5% à noite.

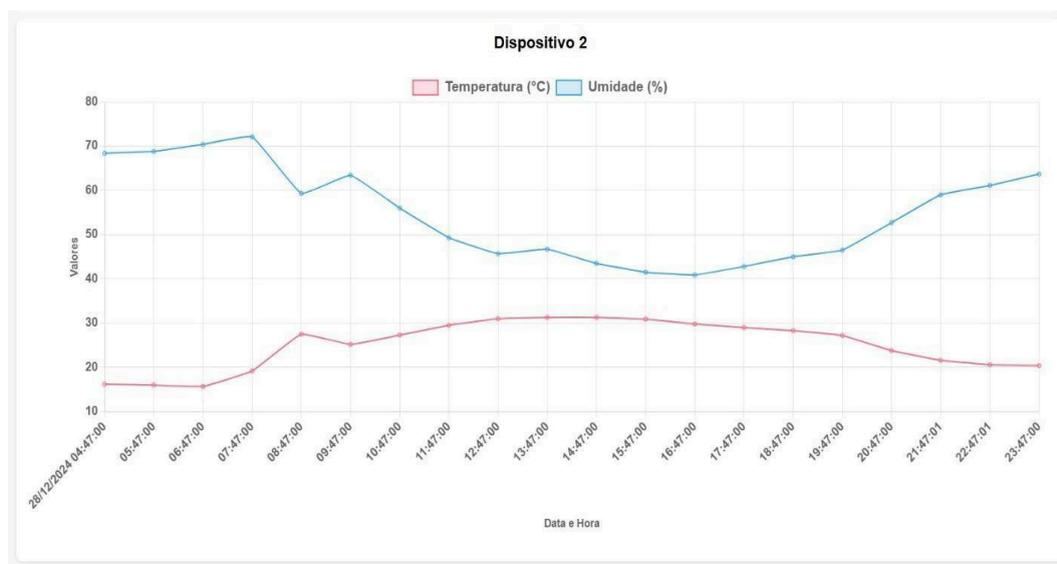


**Figura 9. Variações de temperatura e umidade no dispositivo nó 1**

Fonte: Autoria Própria.

Levando em conta as principais doenças da videira, a podridão cinzenta, favorecida por umidade acima de 90% e temperatura em torno de 18°C, não encontrou condições prolongadas, dificultando infecções significativas. O oídio (próximo de 25°C e 40% a 60% de umidade) teve janelas no início da manhã e fim da tarde, mas o calor intenso inibiu seu desenvolvimento. Da mesma forma, míldio e antracnose que prosperam em alta umidade e temperaturas entre 20°C e 30°C não tiveram períodos ideais para proliferar.

Para demonstração do Dispositivo nó 2 (Figura 10), instalado em um parreiral coberto e contendo registro do dia 28/12/2024, registrou temperaturas entre 15,7°C e 31,3°C e umidade de cerca de 40% a 74,5%. Nas primeiras horas do dia (04h47–07h47), a temperatura variou entre 15°C e 19°C, com umidade de 68% a 72%, sem atingir níveis que favorecem a podridão cinzenta. Entre 08h47 e 15h47, a temperatura alcançou 31,3°C e a umidade caiu para cerca de 40%, inibindo fungos como míldio e antracnose. No restante do dia (16h47–23h47), a temperatura recuou de 28 °C para 19°C e a umidade subiu até 74,5%, mas não permaneceu alta o suficiente para o surgimento de doenças, reduzindo o risco de infecções fúngicas na videira.



**Figura 10. Variações de temperatura e umidade para o dispositivo nó 2**

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 11 ilustra uma análise detalhada das variações de temperatura e umidade monitoradas pelos Dispositivos 1 e 2, utilizando tabelas. Os gráficos mostram tendências ao longo do tempo, enquanto as tabelas oferecem leituras específicas em intervalos maiores. Cada tabela apresenta 100 dados, em comparação com os 20 pontos visíveis nos gráficos, permitindo uma análise mais aprofundada.

Dispositivo	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Data/Hora
Dispositivo 1	24.6	53.6	26/12/2024 // 19:38:43
Dispositivo 1	24.6	53.7	26/12/2024 // 19:38:23
Dispositivo 1	24.6	53.7	26/12/2024 // 19:38:03
Dispositivo 1	24.6	53.7	26/12/2024 // 19:37:43
Dispositivo 1	24.6	53.6	26/12/2024 // 19:37:23
Dispositivo 1	24.6	53.6	26/12/2024 // 19:37:03
<b>Dispositivo 2</b>			
Dispositivo	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Data/Hora
Dispositivo 2	28	40.7	05/01/2025 // 13:23:26
Dispositivo 2	26.5	43.7	05/01/2025 // 12:23:25
Dispositivo 2	24.7	53	05/01/2025 // 11:23:25
Dispositivo 2	22.8	57.9	05/01/2025 // 10:23:25
Dispositivo 2	22.3	59.3	05/01/2025 // 09:23:25
Dispositivo 2	22.1	58.8	05/01/2025 // 08:23:25
Dispositivo 2	21.9	58.1	05/01/2025 // 07:23:25
Dispositivo 2	23.1	55.9	05/01/2025 // 06:23:26
Dispositivo 2	23.1	56	05/01/2025 // 05:23:26

**Figura 11. Tela do sistema web de monitoramento**

Fonte: Autoria Própria.

Após a conclusão do projeto, realizou-se um contato com o produtor para avaliar a visão dele sobre o trabalho desenvolvido. Ele contou que, apesar de ter nascido e crescido trabalhando com videiras, nunca havia recebido suporte de nenhuma empresa ou entidade para coletar dados de umidade e temperatura, fatores essenciais para compreender o desenvolvimento de fungos e doenças na plantação. O produtor ressaltou que esse acompanhamento técnico é valioso porque permite antecipar o combate às doenças, reduzindo perdas e garantindo uma produção melhor.

Ao iniciar o projeto, o custo total do nó (composto por LoRa 915 MHz, sensor DHT22, resistor de 10 kΩ, protoboard e Arduino Nano), era de aproximadamente R\$127,73. Já o gateway (formado por LoRa 915 MHz, protoboard e ESP 32) custava cerca de R\$ 97,63 além dos cabos jumpers que são comuns a ambos os dispositivos. Contudo, com a atualização dos preços no mercado ao longo do tempo, esses valores sofreram acréscimos.

Em janeiro de 2025, o custo estimado do nó passou para aproximadamente R\$ 213,59, enquanto o do gateway chegou a cerca de R\$ 164,89. Esse aumento de custos se deve principalmente ao item chave LoRa, cujo preço foi elevado de R\$ 30,38 para R\$ 94,99.

#### **4. Considerações Finais**

O projeto cumpriu com os objetivos propostos, comprovando que a coleta de dados e o sistema de visualização em plataforma web funcionam de forma satisfatória. A solução demonstrou-se prática e funcional, pois viabilizou a medição de variáveis relevantes e a disponibilização de informações em tempo real para os viticultores.

Adotando princípios da Agricultura de Precisão, a coleta e análise detalhadas de dados são fundamentais para otimizar a produção, permitindo o uso melhor de insumos e a tomada de decisões mais embasadas. A Internet das Coisas (IoT) potencializa todo

esse processo ao conectar dispositivos e usuários em um ecossistema digital, onde "coisas" se comunicam entre si e com as pessoas em um ambiente hiperconectado.

Além disso, a adoção de uma plataforma de visualização acessível via web é fundamental para consolidar e disponibilizar em tempo real os dados coletados pelos nós de monitoramento, permitindo que viticultores de diferentes portes tenham acesso imediato às informações relevantes. Essa plataforma possibilita acompanhar variáveis como temperatura e umidade de forma remota, por meio de gráficos e tabelas. Dessa forma, o produtor pode identificar rapidamente condições propícias ao surgimento de doenças, como picos de umidade ou faixas de temperatura favoráveis a fungos, intervindo preventivamente quando necessário. Além disso, essa abordagem democratiza a adoção de soluções IoT na agricultura, pois dispensa a presença constante no local, diminuindo custos e tornando mais melhor o controle de doenças das videiras.

É importante ainda, ressaltar que este trabalho apresenta uma solução de baixo custo para monitoramento de videiras, o que faz com que o produto desenvolvido se alinhe às necessidades do desenvolvimento regional, tendo em vista a predominância de pequenas propriedades rurais.

Outro aspecto relevante é a fonte de alimentação de nós. Apesar do uso de pilhas ter sido adotado para garantir autonomia, a adoção de painéis solares ofereceria benefícios ambientais e econômicos, reduzindo a necessidade de trocas de pilhas e promovendo a autossuficiência energética. Além disso, há espaço para adicionar sensores adicionais, como o de umidade do solo.

Usar uma antena direcional no módulo LoRa trouxe resultados positivos, porém a adoção de uma antena omnidirecional pode aprimorar ainda mais a eficiência da comunicação, ampliando a cobertura do sinal em várias direções simultaneamente.

Por fim, o sucesso alcançado por este projeto demonstra não só a viabilidade de soluções baseadas em LoRa para aplicações agrícolas, mas também aponta caminhos claros para incrementos futuros.

## **5. Referências Bibliográficas**

ADAFRUIT. DHT22 Temperature and Humidity Sensor. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/385>. Acesso em: 20 jul. 2024.

ALWAYSDATA. Alwaysdata. Disponível em: <https://www.alwaysdata.com/en/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2017/1139-ato-14448#anexoI>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ARDUINO. Arduino Nano. Disponível em: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us>. Acesso em: 20 jul. 2024.

BERTOLETI, Pedro. Detector de gases inflamáveis e fumaça com SigFox: sistema embarcado. 11 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.eldorado.org.br/blog/sigfox-sistema-embarcado/>. Acesso em: 3 jul. 2024.

- CENTENARO, Marco, et. al. Long-Range Communications in Unlicensed Bands: the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios. IEEE Wireless Communications, Oct. 2015. DOI: 10.1109/MWC.2016.7721743. Acesso em: 9 jul. 2024.
- CREATELY. Disponível em: <https://creately.com/pt/home/>. Acesso em: 8 dez. 2024.
- ESPRESSIF. ESP32 Overview. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- FRITZING. Fritzting. Disponível em: <https://fritzing.org/>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- GARRIDO, Lucas da Ressurreição; GAVA, Renata. Manual de Doenças Fúngicas da Videira. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014. Acesso em: 10 ago, 2024.
- GRIGOLETTI JÚNIOR, Albino; SÔNEGO, Olavo Roberto. Principais doenças fúngicas da videira no Brasil. Bento Gonçalves: EMBRAPA-CNPUV, 1993. 36 p. (Circular Técnica, n. 17). ISSN 0100-6835. Acesso em: 11 ago. 2024.
- GROTH, A. C. et al. Uma Proposta de Sistema Web para Monitoramento e Análise de Dados Coletados a partir de Estações Construídas com Arduino. Anais do EATI, Frederico Westphalen - RS, Ano 7 n. 1 p. 211-214, Nov/2017. Acesso em: 20 mar. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de Uva. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/uva/br>. Acesso em: 26 ago. 2024. Acesso em: 10 mai. 2024.
- LAMPARELLI, R. A. C. (2022). Agricultura de precisão. Embrapa. Recuperado em 22 de fevereiro de 2022, de <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- MAGRANI, Eduardo. A internet das coisas. [S. l.]: Edições Cândido, 2022. 192 p. ISBN 9786587602059, 6587602053. Acesso em: 12 mai. 2024.
- MIELE, A., & MANDELLI, F. (2013). Sistemas de Condução da Videira: Latada e Espaldeira. In A. Miele & F. Mandelli (Eds.), Produção Integrada de Uva para Processamento (Vol. 3). Embrapa Uva e Vinho. Acesso em: 28 ago. 2024
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agricultura de Precisão. Brasília: MAPA/ACS, 2009. Acesso em: 5 dez. 2024.
- SEMTECH, N. S., SEMTECH, M. L., T. Eirich (IBM), T. Kramp (IBM), O. Hersent (Actility). LoRaWAN™ Specification v1.0. Disponível em: [https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/2015\\_-\\_lorawan\\_specification\\_1r0\\_611\\_1.pdf](https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/2015_-_lorawan_specification_1r0_611_1.pdf). Acesso em: 12 mai. 2024.
- ORACLE. What is MySQL?. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/mysql/what-is-mysql/>. Acesso em: 21 jul. 2024.
- PASTÓRIO, A. F.; et. al. Fundamentos de LoRaWAN – Teoria e Prática. In: MINICURSOS DA XIX ESCOLA REGIONAL DE REDES DE COMPUTADORES (ERRC 2021), Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. Disponível

- em: <https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/view/88/387/658>. Acesso em: 3 jul. 2024.
- ROSSI, Fábio; GARRIDO, Lucas da R. Controle de Doenças. In: Boas Práticas Agrícolas - Volume 4. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2021, p. 2-4. Acesso em: 18 ago. 2024.
- SOLAGNA, Emanuele Araújo. Análise de perdas de pacotes de uma rede LoRaWAN. 2020.73 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2020. Disponível em: <http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/1913>. Acesso em: 12 mai. 2024.
- UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ITU). (2021). Recomendação ITU-T Y.4480: Protocolo de baixo consumo de energia para redes sem fio de longa distância. Novembro de 2021. Disponível em: ITU-T Y.4480 Recommendation. Acesso em: 12 mai. 2024.
- VALENTE, A., et. al (2022). A LoRaWAN IoT System for Smart Agriculture for Vine Water Status Determination. *Agriculture*, 12(1695), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12101695>. Acesso em: 24 jul. 2024.
- ZANELLA, Viviane. Temperatura monitorada em parreirais no Vale dos Vinhedos. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2015. Acesso em: 9 jul. 2024.