

LoRaWAN Para Monitoramento Ambiental em Videiras

Lucas Cazarotto Sartori

lucascsartori10@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
(IFFar) – Frederico Westphalen – RS – Brasil

Fernando de Cristo

fernando.cristo@iffarroupilha.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
(IFFar) – Frederico Westphalen – RS – Brasil

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.

Keywords—LoRaWAN; Internet of Things; Monitoring environmental.

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 mildio, oídio, antracnose e podridão cinzenta.

Palavras-chave—LoRaWAN; internet das coisas; monitoramento ambiental.

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço acelerado da IoT, cresce continuamente a necessidade de monitoramento em tempo real das plantações, tornando indispensável a comunicação de longo alcance para o controle ambiental em plantações.

Este trabalho desenvolve uma solução prática de monitoramento para videiras baseada em LoRa (Long Range), uma tecnologia sem fio de baixa potência capaz de

transmitir dados a longas distâncias e, portanto, ideal para áreas rurais. A hipótese é que, ao integrar sensores de temperatura e umidade a módulos LoRa, implementados na plataforma Arduino/ESP32, seja possível coletar informações ambientais de forma contínua e econômica, fornecendo dados precisos para decisões agrônomicas mais sustentáveis e auxiliando no manejo de videiras — culturas sensíveis a variações climáticas que favorecem doenças fúngicas.

A partir dessa hipótese foram definidos os objetivos do estudo que incluem 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 LoRa 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, além de 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 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.

Nesse contexto, 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.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

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 e apresentar dados sobre a produção de videiras, suas principais doenças e os métodos de cultivo, bem como, trabalhos relacionados que fundamentam este estudo.

A agricultura de precisão utiliza tecnologias como GPS, sensores de solo e máquinas de taxa variável para otimizar a produção agrícola conforme cada área dentro da propriedade. Com esses recursos, coleta-se e analisa-se dados sobre solo, clima e culturas, possibilitando a aplicação exata de fertilizantes, defensivos e demais insumos somente onde e na quantidade necessária. O resultado é maior eficiência produtiva, redução de custos e menor impacto ambiental [14].

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 [16].

Para Li et al. (citado por [22]), 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 [15].

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 [6].

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 e permite a transmissão de dados sem a necessidade de obter licenças específicas para frequências [17].

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, 250 kHz ou 500 kHz. 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 [19].

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 [17].

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 [3].

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 [23].

Contrastando com o caráter aberto do LoRaWAN, existem alternativas proprietárias operadas por terceiros, como o *SigFox*. Atuando em sub-GHz (no Brasil, 902-928MHz) e segmentada em RC1-RC7, não permitindo o uso de *gateways* de terceiros, já que a infraestrutura é 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*) [5].

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 [4].

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 [8].

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 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ [1].

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 [18].

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 [20].

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 [13].

Apesar dos bons resultados na produção nacional, a cultura da videira enfrenta diversos desafios fitossanitários que podem comprometer a produtividade e a qualidade dos frutos. Entre as principais doenças está a podridão cinzenta, que 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 [10].

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 [11].

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 [10]. Essa doença pode infectar as videiras em um período de 12 horas ou mais [21].

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 [21].

III. TRABALHOS RELACIONADOS

O estudo de [12] propõe um sistema *web* para monitoramento e análise de dados ambientais, utilizando estações construídas com Arduino. O sistema lê variáveis como temperatura e umidade, armazena os dados em um banco e os disponibiliza em tempo real por meio de uma interface *web*, facilitando a visualização, o monitoramento e a geração de relatórios dos dados coletados.

O trabalho de [12] utiliza Arduino e uma aplicação *web* para monitorar variáveis ambientais, enquanto o projeto atual emprega LoRa 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*" relata o desenvolvimento de um sistema que utiliza LoRaWAN para monitorar o status hídrico das vinhas. O sistema emprega sensores ambientais para medir parâmetros como temperatura, umidade, e teor de água no solo, transmitindo esses dados para um servidor, onde são visualizados por meio da plataforma *Grafana*. [24].

O projeto de [24] 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 [24] enfrenta 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 viticultores, que simplifica a visualização e análise dos dados.

A Embrapa, em parceria com a Universidade de Rennes e o CNRS, monitora o clima na Serra Gaúcha. O estudo foca em onze parreirais de *Chardonnay* no Vale dos Vinhedos. Temperaturas são registradas a cada hora com sensores térmicos e estações meteorológicas. Os dados ajudam a entender a relação entre clima e produção, aprimorando os vinhos brasileiros [25].

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.

IV. 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* [2], um provedor de serviços sediado na França, que oferece um plano gratuito de 100 MB tanto para hospedagem de sites quanto para armazenamento *SQL*.

A solução proposta utiliza rádios LoRa na camada física e foi estruturada com base na arquitetura e na terminologia do LoRaWAN, incluindo o conceito de dispositivos finais, *gateway* e classes de operação. Contudo, ressalta-se que o sistema não implementa integralmente a pilha LoRaWAN, uma vez que não incorpora mecanismos de segurança, nem a utilização de um *network server* para gerenciamento de sessões e comandos de rede. Trata-se, portanto, de uma implementação simplificada e inspirada em LoRaWAN, adequada ao propósito de validação em ambiente agrícola e ao estudo da viabilidade de comunicação de longo alcance.

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 *proto board* 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 equipado 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 *proto board*. 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 azul).

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

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.

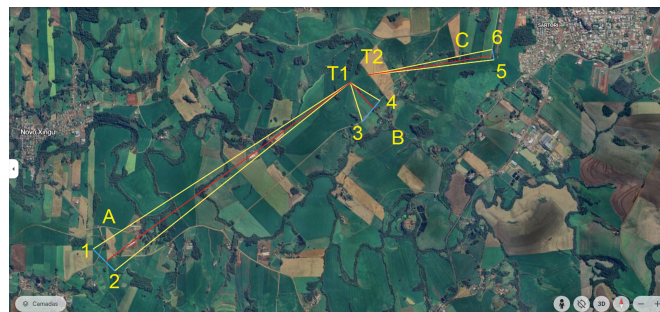


Figura 1. Imagem de Satélite dos Locais de Teste.
Fonte: do Autor.

Na tabela I 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 I : DISTÂNCIAS ENTRE PONTOS DE CONEXÃO TESTADOS

Link	Distância (Metros)	Link	Distância (Metros)	Link	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

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 considerado bom, obteve-se uma estimativa da porcentagem de mensagens recebidas com sucesso.

A tabela II ilustra a porcentagem de mensagens recebidas em

cada distância

TABELA II : TAXA DE RECEPÇÃO DE MENSAGENS POR DISTÂNCIA

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

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.

TABELA III : 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

Na tabela III 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, consequentemente, 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.

Foram desenvolvidos dois fluxogramas 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 [7].

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.

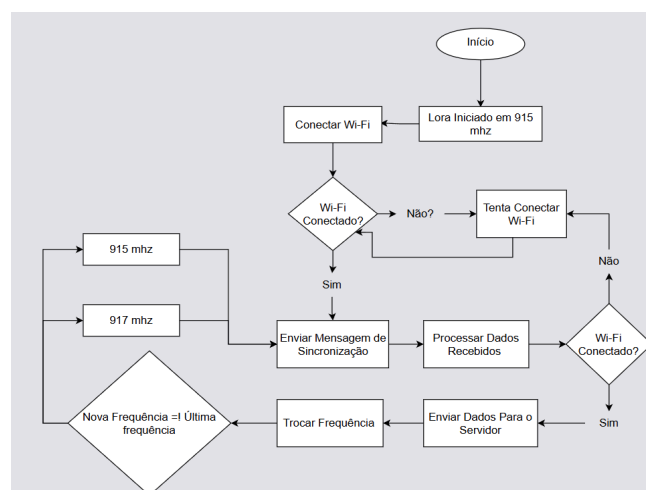


Figura 2. Fluxograma *gateway*.

Fonte: do Autor.

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*.

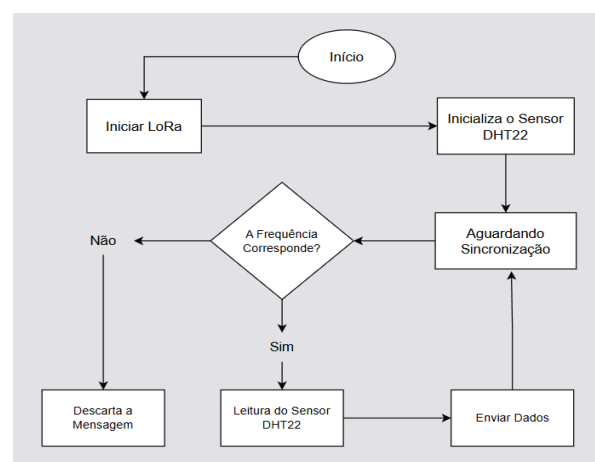


Figura 3. Fluxograma dos Nós.

Fonte: do Autor.

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 [9], um para o *gateway* e outro para os Nós.

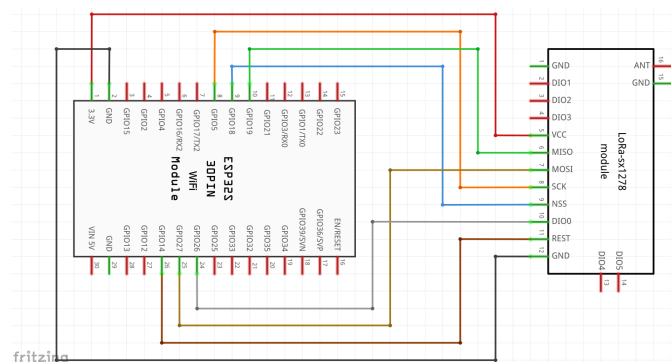


Figura 4. Esquema Elétrico do *gateway*.

Fonte: do Autor.

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.

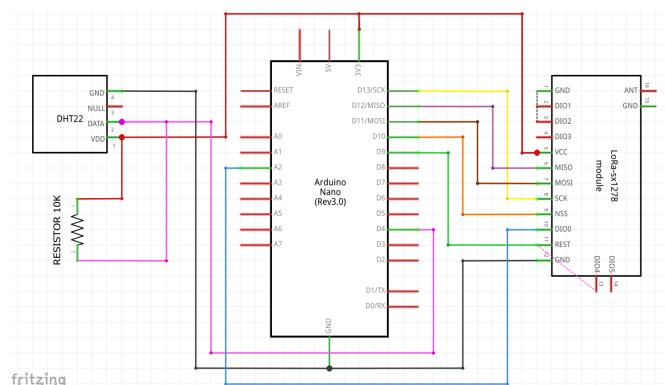


Figura 5. Esquema Elétrico do Nó.
Fonte: do Autor.

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.

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).

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

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 IV ilustra os detalhes dos pontos de instalação.

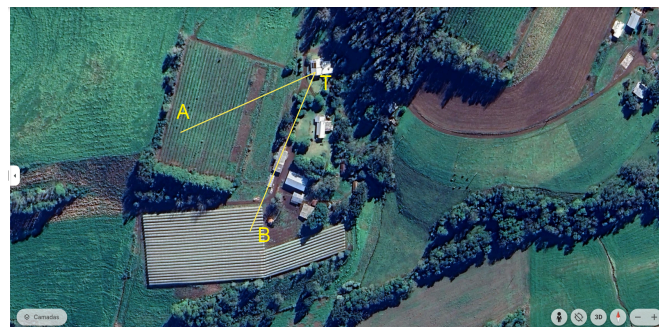


Figura 6. Local de Instalação dos Dispositivos.
Fonte: Google Maps.

TABELA IV : DADOS DOS PONTOS DE INSTALAÇÃO

Ponto	Unidade	Alcance para o <i>gateway</i> (T)	RSSI do Ponto	SNR do Ponto	Pacotes Enviados (%)
A	1	145m	-98 dBm	9.0 dB	69.17
B	2	160m	-105 dBm	0.0 dB	60.83

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



Figura 7. Dispositivo Nó 1.
Fonte: do Autor.

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



Figura 8. Dispositivo Nó 2.
Fonte: do Autor.

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.

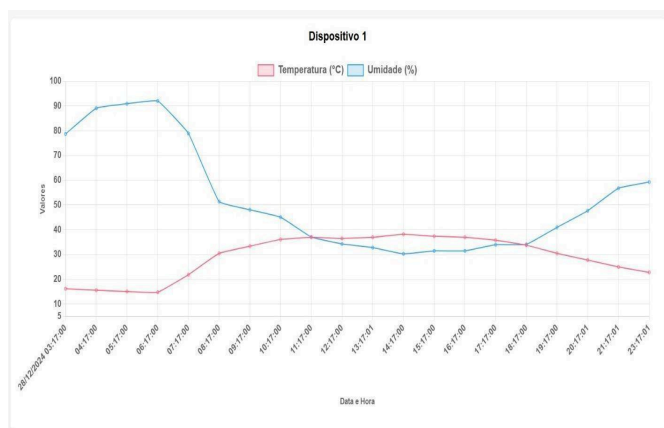


Figura 9. Variações de temperatura e umidade no dispositivo nó 1.
Fonte: do Autor.

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.

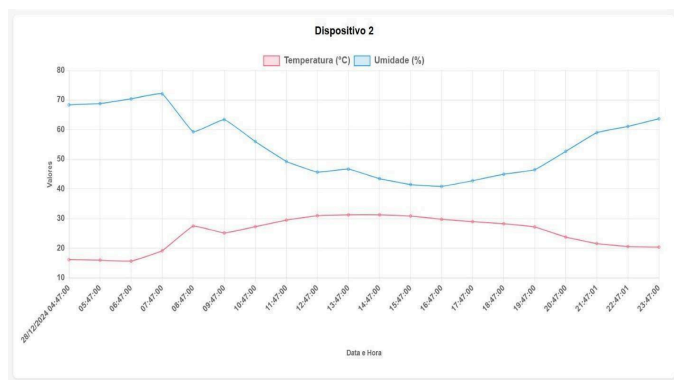


Figura 10. Variações de temperatura e umidade para o dispositivo nó 2.
Fonte: do Autor.

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.

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 19:36:43
Dispositivo 1	24,6	53,7	26/12/2024 19:36:23
Dispositivo 1	24,6	53,7	26/12/2024 19:36:03
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

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: do Autor.

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.

Os valores apresentados correspondem a uma montagem de caráter prototípico, desenvolvida para fins experimentais e de validação de conceito. Assim, não representam os custos de um produto final comercial, podendo sofrer variações significativas em um processo de produção.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto cumpriu com os objetivos propostos, comprovando que a coleta de dados e o sistema de visualização e 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.

REFERÊNCIAS

- [1] Adafruit. DHT22 Temperature and Humidity Sensor. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/385>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- [2] Alwaysdata. Alwaysdata. Disponível em: <https://www.alwaysdata.com/en/>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- [3] Agência Nacional De Telecomunicações. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2017/1139-ato-14448#anexoI>. Acesso em: 7 jun. 2024.
- [4] Arduino. Arduino Nano. Disponível em: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] DrawIo. Disponível em: <https://www.drawio.com/>. Acesso em: 3 out. 2025.
- [8] Espressif. ESP32 Overview. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- [9] Fritzing. Fritzing. Disponível em: <https://fritzing.org/>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- [10] Garrido, Lucas da Ressurreição; Gava, Renata. Manual de Doenças Fúngicas da Videira. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014. Acesso em: 10 ago. 2024.
- [11] Grigoletti Júnior, Albino; Sônego, Olavo Roberto. Principais doenças fúngicas da videira no Brasil. Bento Gonçalves: EMBRAPA-CNPV, 1993. 36 p. (Circular Técnica, n. 17). ISSN 0100-6835. Acesso em: 11 ago. 2024.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Lamparelli, R. A. C. (2022). Agricultura de precisão. Embrapa. Recuperado em 22 de fevereiro de 2022, disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 5 dez. 2024.

- [15] Magrani, Eduardo. A internet das coisas. [S. l.]: Edições Cândido, 2022. 192 p. ISBN 9786587602059, 6587602053. Acesso em: 12 mai. 2024.
- [16] Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. Agricultura de Precisão. Brasília: MAPA/ACS, 2009. Acesso em: 5 dez. 2024.
- [17] 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. Acesso em: 12 mai. 2024.
- [18] Oracle. What is MySQL?. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/mysql/what-is-mysql/>. Acesso em: 21 jul. 2024.
- [19] 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.
- [20] Php. Php: Hypertext Preprocessor. Disponível em: <https://www.php.net/>. Acesso em: 20 mai. 2024.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Zanella, Viviane. Temperatura monitorada em parreirais no Vale dos Vinhedos. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2015. Acesso em: 9 jul. 2024.