



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

**Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Computação e Sistemas**

Agricultura de Precisão: Sistema para Monitoramento Remoto de Lavouras

Erik Miguel Carvalho Veloso

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ORIENTAÇÃO:
Aline Rocha de Assis**

**Março, 2023
João Monlevade–MG**

Erik Miguel Carvalho Veloso

Agricultura de Precisão: Sistema para Monitoramento Remoto de Lavouras

Orientadora: Aline Rocha de Assis

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Computação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Universidade Federal de Ouro Preto

João Monlevade

Março de 2023



FOLHA DE APROVAÇÃO

Erik Miguel Carvalho Veloso

Agricultura de precisão: sistema para monitoramento remoto de lavouras

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação

Aprovada em 31 de agosto de 2023

Membros da banca

Doutora - Aline Rocha de Assis - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutora - Tatiana Alves Costa - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Carlos Henrique Gomes Ferreira - Universidade Federal de Ouro Preto

Aline Rocha de Assis, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 28/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Euler Horta Marinho, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/09/2023, às 09:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0596293** e o código CRC **427F710C**.

Dedico este trabalho a todos que compartilham da mesma paixão pela tecnologia e inovação que move a Engenharia de Computação. Aos professores que nos desafiaram a expandir nossos horizontes, aos colegas que se tornaram parceiros de estudo e aos familiares que sempre acreditaram em nosso potencial. Que esta jornada seja uma inspiração para todos os que trilham o caminho da engenharia da computação e do progresso tecnológico.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de toda sabedoria e força, por guiar meus passos ao longo desta jornada e me conceder as oportunidades que fizeram este trabalho possível.

A todos os meus professores e mentores, expresso minha profunda gratidão. Sua dedicação e conhecimento foram fundamentais para moldar minha compreensão da engenharia e da tecnologia. Seus insights e orientações foram inestimáveis, contribuindo significativamente para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Aos meus colegas de classe, que compartilharam experiências, dúvidas e conquistas ao longo dessa jornada, meu mais sincero agradecimento. Juntos, enfrentamos desafios e celebramos vitórias, e essa camaradagem tornou esta jornada ainda mais memorável.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos e familiares, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio incondicional e incentivando-me a seguir em frente. Suas palavras de encorajamento e amor foram o alicerce que me sustentou nos momentos mais desafiadores.

Aos meus queridos companheiros de república, que se tornaram uma segunda família ao longo desses anos, agradeço por compartilharmos risadas, desafios e momentos inesquecíveis. Nossa convivência enriqueceu minha experiência acadêmica e pessoal.

Por fim, dedico um agradecimento especial a esta instituição de ensino, que não apenas me proporcionou as ferramentas e o ambiente para crescer como estudante e futuro profissional da Engenharia de Computação, mas também criou um espaço de aprendizado enriquecedor.

“Computers are incredibly fast, accurate, and stupid. Human beings are incredibly slow, inaccurate, and brilliant. Together they are powerful beyond imagination.”

— Albert Einstein (1879 – 1955),
in: The Ultimate Quotable Einstein

Resumo

Este estudo foca no uso de sensores para monitorar umidade, temperatura e luminosidade, empregando a tecnologia LoRa para comunicação de longo alcance. Os resultados revelam que a aplicação desses sensores, aliada à LoRa, viabiliza a visualização em tempo real das condições ideais para o crescimento das plantas. Além de aumentar a produtividade sem expandir a área cultivada, essa abordagem beneficia até mesmo indivíduos sem conhecimento agrícola. Os dados coletados podem ser processados por algoritmos de aprendizagem de máquina, resultando em métodos mais eficientes e sustentáveis de cultivo, adaptáveis às necessidades específicas de cada planta.

Palavras-chaves: LoRa. Agricultura de precisão. *IoT*. Web Api.

Abstract

This study focuses on the use of sensors to monitor humidity, temperature, and luminosity, employing LoRa technology for long-range communication. The results reveal that the application of these sensors, coupled with LoRa, enables real-time visualization of optimal conditions for plant growth. Besides increasing productivity without expanding the cultivated area, this approach benefits even individuals without agricultural knowledge. The collected data can be processed by machine learning algorithms, resulting in more efficient and sustainable cultivation methods, adaptable to the specific needs of each plant.

Key-words: LoRa. Precision agriculture. Iot. Web Api.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Arquitetura LoRaWan	19
Figura 2 – LoRa Chirp	20
Figura 3 – Organização do LoRaFarM	22
Figura 4 – Arquitetura geral do sistema desenvolvido	24
Figura 5 – Criar aplicação no TTN	25
Figura 6 – Dispositivo no TTN	26
Figura 7 – Diagrama dos componentes centrais	28
Figura 8 – Pcb - esquemático	28
Figura 9 – Pcb - trilhas	29
Figura 10 – Pcb - componentes	29
Figura 11 – Modelagem dos dados	30
Figura 12 – Página inicial	33
Figura 13 – Login	33
Figura 14 – Menus de navegação	34
Figura 15 – Listar culturas	34
Figura 16 – Criar Cultura	35
Figura 17 – Listar dispositivos	36
Figura 18 – Criar dispositivo	37
Figura 19 – Dados Tabela	38
Figura 20 – Gráfico temperatura	38
Figura 21 – Gráfico luminosidade	39
Figura 22 – Gráfico umidade do ar	39
Figura 23 – Gráfico umidade do solo	40
Figura 24 – TTN - Painel do dispositivo	41
Figura 25 – TTN - Painel do dispositivo	41
Figura 26 – Planta monitorada	42
Figura 27 – Protótipo em funcionamento	42
Figura 28 – Lora Node	42
Figura 29 – Formato da mensagem de uplink	43
Figura 30 – TTN - WebHook	44
Figura 31 – Fluxo do WebHook	45
Figura 32 – Gráfico de boxplot	46
Figura 33 – Gráfico de combinações	47
Figura 34 – Gráfico de dispersão	48
Figura 35 – Gráfico de densidade	49
Figura 36 – Gráfico de histograma	50

Figura 37 – Gráfico de boxplot	50
Figura 38 – Gráfico de dispersão	51
Figura 39 – Gráfico de correlação	52

Lista de tabelas

Tabela 1 – Estatísticas dos dados	45
Tabela 2 – Estatísticas dos dados	46

Lista de abreviaturas e siglas

TTN The Things Network

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	O problema de pesquisa	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Metodologia	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Conceitos de <i>IoT</i> e sua aplicação na agricultura	18
2.2	Lora e LoraWan para a comunicação de dados	19
2.2.1	Fundamentos da Tecnologia LoRa	20
2.2.2	Aplicações da tecnologia LoRa na agricultura	21
3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO AGRÍCOLA	23
3.1	Arquitetura do sistema	23
3.2	Transmissão da informação via LoRa	24
3.3	Desenvolvimento do hardware utilizado	26
3.4	Desenvolvimento do backend	27
3.4.1	Planejamento da API	27
3.4.2	Modelagem dos dados	29
3.4.3	Desenvolvimento do código	30
3.4.4	Implantação da API	31
3.5	Desenvolvimento do frontend	31
3.5.1	Planejamento e análise de requisitos	31
3.5.2	Design e prototipagem	32
3.5.3	Desenvolvimento de interface	32
4	RESULTADOS	41
4.1	Funcionamento do sistema de envio de dados via LoRa	41
4.2	Funcionamento do web hook para envio de dados para a API	43
4.3	Apresentação dos dados coletados pelos sensores	44
5	CONCLUSÃO	53
5.1	Trabalhos Futuros	54

REFERÊNCIAS	55
--------------------------	-----------

1 Introdução

A Engenharia de Computação desempenha um papel fundamental no avanço tecnológico em diversas áreas, incluindo a Agricultura de Precisão. Esse campo emergente tem revolucionado a abordagem à produção agrícola, ao integrar tecnologias de sensoriamento, comunicação e processamento de dados, visando otimizar a utilização de recursos e aumentar a eficiência das operações (LANGER, 2021).

A Agricultura de Precisão baseia-se na coleta e análise de dados provenientes de diversas fontes, tais como sensores incorporados em equipamentos agrícolas, veículos aéreos não tripulados (VANTs) e estações meteorológicas automatizadas (BREUNIG; GALVÃO; MARTINS-NETO, 2019). Esses dados, frequentemente volumosos e variáveis, fornecem informações valiosas sobre as condições do solo, o clima e a saúde das plantas (MULLA, 2013). A análise desses fatores, como a umidade do solo e os padrões climáticos, possibilita a tomada de decisões informatizadas, otimizando práticas como a irrigação, a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas (ACHOUAK et al., 2018; GEBBERS; ADAMCHUK, 2010).

Nesse contexto, é crucial explorar os elementos que influenciam tanto a produtividade agrícola quanto a sustentabilidade dos cultivos. O monitoramento da umidade do solo, por exemplo, desempenha um papel central na tomada de decisões precisas na agricultura (MASSUQUE, 2023). A avaliação dos níveis de umidade, juntamente com os dados climáticos, permite identificar o momento ótimo para a irrigação, minimizando o desperdício de água e garantindo condições ideais para o crescimento das plantas.

Este trabalho visa explorar a aplicação de tecnologias de sensoriamento e processamento de dados na Agricultura de Precisão, com ênfase na visualização e análise da umidade do solo e outros fatores relevantes. Adicionalmente, será investigada a integração e interpretação desses dados para a tomada de decisões assertivas. Ao examinar estudos científicos e artigos especializados, busca-se compreender a abordagem técnica para coleta, análise e interpretação desses dados, contribuindo para o progresso dessa área em expansão.

1.1 O problema de pesquisa

O foco central deste estudo está na resolução do desafio de desenvolver um sistema de monitoramento remoto voltado para plantações. Isso é realizado através da utilização de sensores da Internet das Coisas (IoT) para coletar dados essenciais para o crescimento das plantas. A complexidade das dinâmicas agrícolas e a demanda por um gerenciamento otimizado das plantações motivaram a busca por uma solução que vá além das abordagens

convencionais.

No contexto contemporâneo da agricultura de precisão, a demanda por eficácia e produtividade orientou a convergência de tecnologias emergentes. A implementação de sensores IoT - capazes de monitorar variáveis cruciais como umidade, temperatura e luminosidade - detém o potencial de fornecer insights valiosos sobre as condições de crescimento das plantas. A importância dessas métricas é amplamente documentada na literatura científica. Por exemplo, estudos como o de (TAIZ; ZEIGER, 2013) demonstram a sensibilidade das plantas a esses fatores ambientais, influenciando desde a absorção de nutrientes até a regulação da fotossíntese.

O desafio transcende a mera coleta de dados, direcionando-se à eficácia na comunicação e visualização dessas informações. Através da aplicação da tecnologia LoRa (Long Range) para transmissão, este estudo busca suplantiar as barreiras da conectividade em áreas agrícolas dispersas. O potencial dessa tecnologia de comunicação já é reconhecido em contextos similares. De acordo com (AUGUSTIN et al., 2016), a arquitetura de baixo consumo de energia do LoRa, juntamente com sua capacidade de alcance em áreas rurais, o torna uma opção atraente para aplicações de monitoramento agrícola.

Além da tecnologia, a efetividade na tomada de decisões agrícolas ganha destaque. A visualização clara e acessível dos dados coletados por meio de um aplicativo web, por exemplo, oferece aos agricultores informações precisas sobre as condições das plantações. A capacidade de tomar decisões informatizadas é crítica para otimizar a produtividade e minimizar perdas. Estudos como o de (BALASTREIRE, 2000) enfatizam a importância da implementação de sistemas de apoio à decisão na agricultura de precisão.

Portanto, este estudo almeja preencher uma lacuna crucial na pesquisa agrícola, integrando a expertise tecnológica às necessidades do setor. O desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto, embasado em dados coletados por sensores IoT e comunicados através da tecnologia LoRa, tem o potencial de revolucionar a maneira como os agricultores gerenciam suas plantações, culminando em decisões mais embasadas e em uma agricultura mais eficaz e sustentável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema capaz de monitorar de forma remota as condições climáticas de uma plantação, utilizando tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e Agricultura de Precisão.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar uma análise detalhada da literatura existente no campo de IoT e Agricultura de Precisão, visando compreender as arquiteturas e as tecnologias empregadas em soluções similares.
2. Identificar e definir as variáveis e informações fundamentais a serem coletadas pelos sensores, com o objetivo de obter dados precisos para monitorar o crescimento e as condições das plantas.
3. Selecionar e determinar a tecnologia de comunicação mais adequada para estabelecer a ligação entre os sensores e o sistema central de monitoramento, levando em consideração fatores de alcance e eficiência.
4. Projetar um protótipo de hardware que possibilite a coleta precisa dos dados provenientes dos sensores e a transmissão confiável dessas informações por meio da tecnologia de comunicação escolhida.
5. Desenvolver um sistema completo de captação, armazenamento e apresentação dos dados coletados, proporcionando uma interface intuitiva e de fácil acesso para os usuários, como agricultores e gestores agrícolas.

1.3 Metodologia

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de IoT na agricultura, bem como a agricultura de precisão, enfocando especialmente a utilização do sistema de comunicação LoRa para a transmissão de dados e o desenvolvimento de sistemas web. Isso permitirá compreender em profundidade as práticas da agricultura de precisão, suas ferramentas e arquiteturas subjacentes.
- Proceder ao desenvolvimento do hardware necessário para a coleta eficaz de dados e a realização da comunicação por meio da tecnologia LoRa. Essa etapa garante a infraestrutura fundamental para a aquisição e transmissão confiável das informações coletadas.
- Avançar na construção do *FrontEnd* do sistema, criando a interface gráfica que facilitará a interação do usuário com os dados capturados. Essa interface intuitiva permitirá aos agricultores e gestores agrícolas visualizar de forma clara e acessível as informações essenciais para a tomada de decisões.
- Desenvolver uma API robusta para o sistema, a qual abrangerá a captura e o armazenamento dos dados enviados pelo hardware desenvolvido. Essa API também será

responsável por fornecer os dados necessários à interface gráfica quando requisitados, garantindo uma transmissão fluida e confiável das informações.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Conceitos de *IoT* e sua aplicação na agricultura

Nos últimos anos, testemunhou-se um notável aumento na adoção de tecnologias relacionadas à Internet das Coisas (IoT) em diversos setores, e a agricultura não é exceção. A IoT envolve a interconexão de dispositivos, sensores, softwares e a internet, viabilizando a captura e o intercâmbio de dados. Especificamente no contexto agrícola, a incorporação da IoT impulsionou o desenvolvimento da agricultura de precisão, que se caracteriza pelo uso dessa tecnologia para aprimorar as práticas agrícolas. A agricultura de precisão concentra-se na otimização das operações agrícolas, abrangendo desde irrigação e fertilização até a correção do pH do solo e o controle de pragas.

A implantação de sensores nas plantações proporciona aos agricultores uma fonte valiosa de dados fundamentais para fundamentar suas decisões de manejo. Ao discernir o momento ideal para a irrigação, por exemplo, é possível atingir uma utilização eficiente da água e manter níveis de umidade do solo dentro dos parâmetros ideais, evitando flutuações drásticas e promovendo um aumento na produção. Esse conceito encontra respaldo em estudos como o (PETILIO et al., 2007), que destacam os benefícios da agricultura de precisão na otimização dos recursos.

Outra aplicação promissora da agricultura de precisão envolve o uso de drones equipados com sensores e câmeras. Esses dispositivos capturam dados detalhados da plantação, que, por sua vez, podem ser empregados na criação de mapas de alta resolução da área cultivada. Esses mapas podem revelar disparidades de coloração, indicando possíveis deficiências de água, nutrientes, doenças ou pragas. Referências como o estudo de Torresan et al. (TORRESAN et al., 2018) atestam a eficácia dessas abordagens na detecção de anomalias nas plantações.

No contexto da pecuária, a IoT tem sido empregada para aprimorar a saúde dos animais nas fazendas. Sensores monitoram comportamentos e movimentos individuais, permitindo a detecção precoce de problemas de saúde. Além disso, a análise dos dados pode revelar padrões de estresse, proporcionando a criação de ambientes mais adequados para os animais. Esse enfoque encontra suporte em pesquisas como (BORCHARDT, 2020) que exploram a implementação de sensores para melhorar a saúde animal.

A convergência entre IoT e agricultura de precisão representa um marco significativo no campo agrícola, concedendo aos agricultores ferramentas para uma gestão mais automatizada, eficiente e sustentável. No decorrer deste trabalho, será examinado detalhadamente as implicações dessas abordagens inovadoras, investigando como elas estão

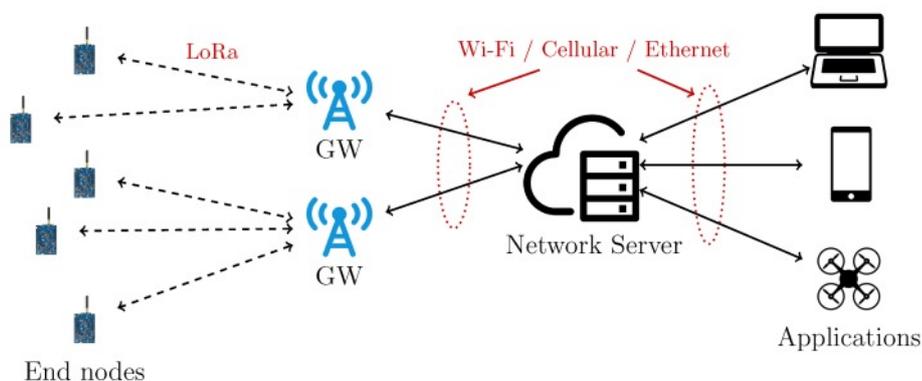
moldando o futuro da agricultura moderna.

2.2 Lora e LoraWan para a comunicação de dados

A técnica de modulação Long Range (LoRa) baseia-se na tecnologia de *Chirp Spread Spectrum*, utilizando pulsos de *chirp* para modular e transmitir sinais. Essa abordagem é particularmente apropriada para aplicações com baixa demanda de transmissão de dados, permitindo, contudo, cobertura de distâncias consideravelmente maiores em comparação a outras tecnologias, como WiFi, Bluetooth e ZigBee (LANGER, 2021).

O protocolo Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) age como uma camada de controle de acesso (MAC) construída sobre a modulação LoRa como demonstrado na Figura 1. Basicamente, ele é uma camada de software que define como os dispositivos utilizam o hardware LoRa. Isso inclui a definição do formato das mensagens, a gestão de dispositivos e a configuração de parâmetros de transmissão. A LoRa Alliance, uma associação sem fins lucrativos, é responsável pela criação e manutenção do protocolo LoRaWAN (AUGUSTIN et al., 2016).

Figura 1 – Arquitetura LoRaWan



Fonte: (CODELUPPI et al., 2020)

A abordagem LoRaWAN tem sido amplamente adotada em várias aplicações de IoT, incluindo a agricultura de precisão. Ela oferece um meio eficiente de comunicação para dispositivos distribuídos em áreas amplas, como plantações e fazendas, possibilitando a coleta e transmissão de dados relevantes para o monitoramento e controle das condições agrícolas (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010).

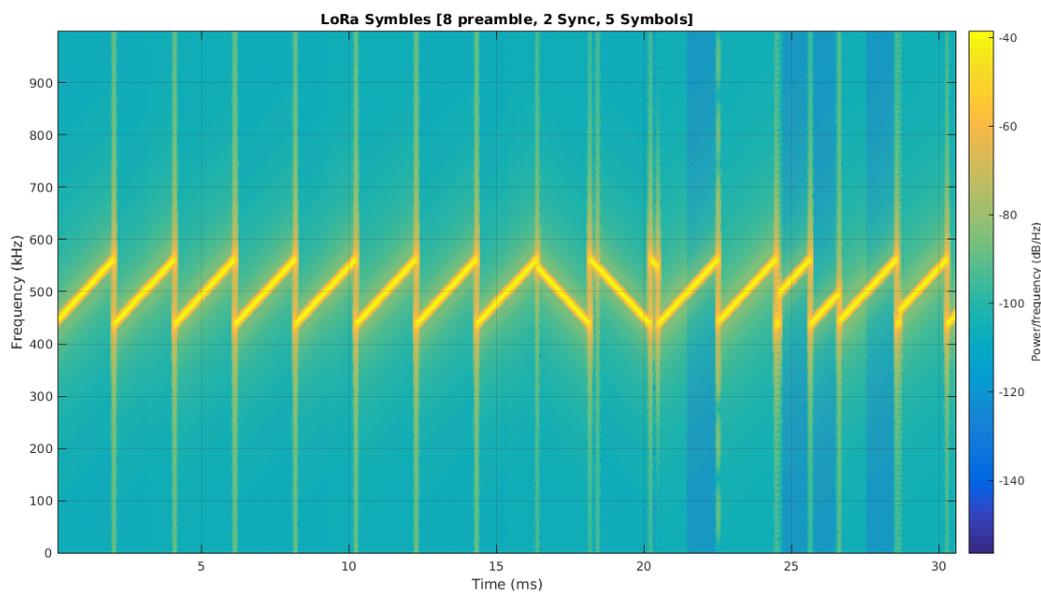
Além disso, a rede The Things Network (TTN) desempenha um papel significativo na adoção da tecnologia LoRaWAN. A TTN é uma comunidade global que disponibiliza uma infraestrutura de rede aberta e colaborativa para dispositivos IoT baseados em LoRaWAN. Ela facilita a conexão de dispositivos a uma rede de longo alcance e baixo

consumo de energia, permitindo a transmissão de dados entre dispositivos e aplicativos por meio de gateways distribuídos globalmente (The Things Network, 2023).

2.2.1 Fundamentos da Tecnologia LoRa

A modulação LoRa é uma tecnologia desenvolvida pela empresa Semtech, e não é totalmente de código aberto.

Figura 2 – LoRa Chirp



Fonte: (Semtech Corporation, 2023)

A modulação LoRa baseia-se na tecnologia de Dispersão de Chirp, conhecida como *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Os elementos denominados *chirps*, também reconhecidos como símbolos, desempenham o papel de portadores de dados e podem ser visualizados na Figura 2. Os primeiros 8 símbolos *up-chirp* são símbolos de preâmbulo usados para detectar os *chirps* LoRa (The Things Network, 2023). Em seguida, há 2 símbolos *down-chirp*, que são símbolos de sincronização usados para a sincronização de tempo, seguidos por 5 símbolos modulados que compõem a carga útil do sinal. A transição na frequência representa o símbolo modulado.

A taxa de transmissão de dados é influenciada pelo fator de espalhamento. Fatores de espalhamento menores resultam em *chirps* mais rápidos, levando a uma taxa de transmissão de dados mais alta. Cada aumento no fator de espalhamento reduz pela metade a taxa de varredura dos *chirps*, resultando em uma taxa de transmissão de dados menor.

Os fatores de espalhamento também têm impacto no alcance das transmissões LoRa. Fatores de espalhamento menores reduzem o ganho de processamento, aumentando a taxa de bits e diminuindo o alcance. Ajustar os fatores de espalhamento permite que a rede otimize a taxa de dados para dispositivos específicos, equilibrando-a com o alcance.

A rede utiliza os fatores de espalhamento para controlar o congestionamento. Esses fatores, por serem ortogonais, permitem que sinais modulados com diferentes fatores de espalhamento sejam transmitidos no mesmo canal de frequência sem causar interferências ([The Things Network, 2023](#)).

A relação máxima de potência entre um interferente em uma banda vizinha e o sinal LoRa, e a relação máxima de potência entre um interferente no mesmo canal e o sinal LoRa dos receptores são, respectivamente, 90 dB e 20 dB. Isso supera as modulações tradicionais como a FSK, tornando o LoRa altamente adequado e eficiente para transmissões de longo alcance e baixa potência ([Semtech Corporation, 2023](#)).

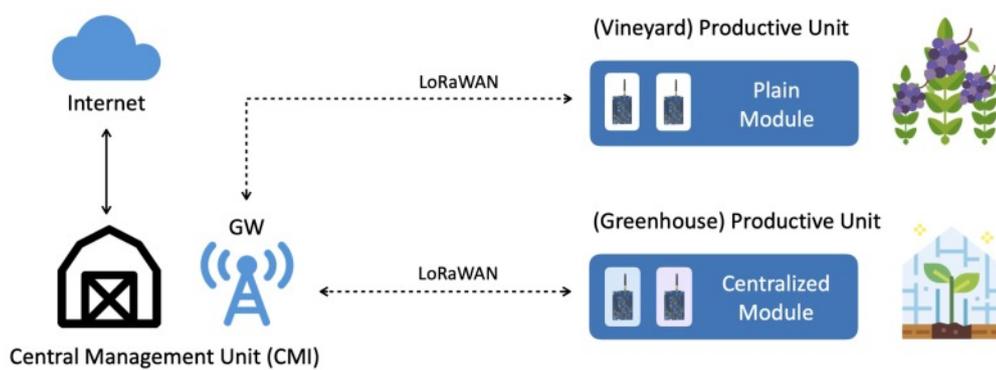
2.2.2 Aplicações da tecnologia LoRa na agricultura

Em um estudo recente, apresentado por ([CODELUPPI et al., 2020](#)) foi delineado um modelo denominado LoRaFarM, o qual emprega os princípios da Internet das Coisas (IoT) com o objetivo de aprimorar a gestão de fazendas. Esse modelo engloba a coleta, transmissão, processamento e visualização dos dados vitais para a operação eficiente de uma propriedade agrícola, como pode ser visualizado em [Figura 3](#). Como etapa de validação desse modelo, foi conduzida uma implementação em uma fazenda localizada na Itália. Ao longo de três meses, dados relevantes foram coletados, avaliando tanto a eficiência energética quanto a qualidade dos dados obtidos.

No escopo dessa implementação, quatro sensores foram instalados em vinhedos, visando a captura de parâmetros essenciais para o crescimento saudável das videiras. Tais parâmetros englobaram a umidade e temperatura tanto do ar quanto do solo. Notavelmente, essa coleta persistiu ao longo de três meses, mesmo sob condições climáticas adversas, reforçando a robustez do modelo LoRaFarM em ambientes desafiadores.

Vale ressaltar que a execução desse estudo de caso proporciona uma perspectiva tangível sobre a aplicação da tecnologia IoT na agricultura, ao mesmo tempo em que evidencia os resultados tangíveis advindos dessa implementação. A validação empírica do modelo em um cenário real confere substancial relevância ao LoRaFarM como uma ferramenta promissora para aprimorar a gestão de fazendas, otimizando a coleta e análise de dados fundamentais para o sucesso das operações agrícolas.

Figura 3 – Organização do LoRaFarM



Fonte: (CODELUPPI et al., 2020)

3 Desenvolvimento do sistema de monitoramento agrícola

Com o propósito de desenvolver este trabalho, concebeu-se uma arquitetura geral do funcionamento do sistema. Essa arquitetura busca facilitar a compreensão do leitor acerca do funcionamento do sistema. Em seguida, tornou-se imprescindível definir as especificações do protótipo de hardware, abrangendo metodologias de coleta de dados e o protocolo de transmissão para a API designada. Nesta etapa, detalhou-se minuciosamente as tabelas e relações utilizadas para armazenar e gerenciar os dados recebidos. Além disso, foram explanados de forma detalhada os ENDPOINTS essenciais, os quais desempenham papel fundamental ao atender a interface gráfica.

Na esfera do FRONTEND, dirigiu-se uma atenção meticulosa para definir as telas e as modalidades de interação do usuário com a interface. Esta fase englobou a identificação das abordagens ideais para visualizar os dados apresentados, garantindo que estes permaneçam compreensíveis e visualmente atraentes.

3.1 Arquitetura do sistema

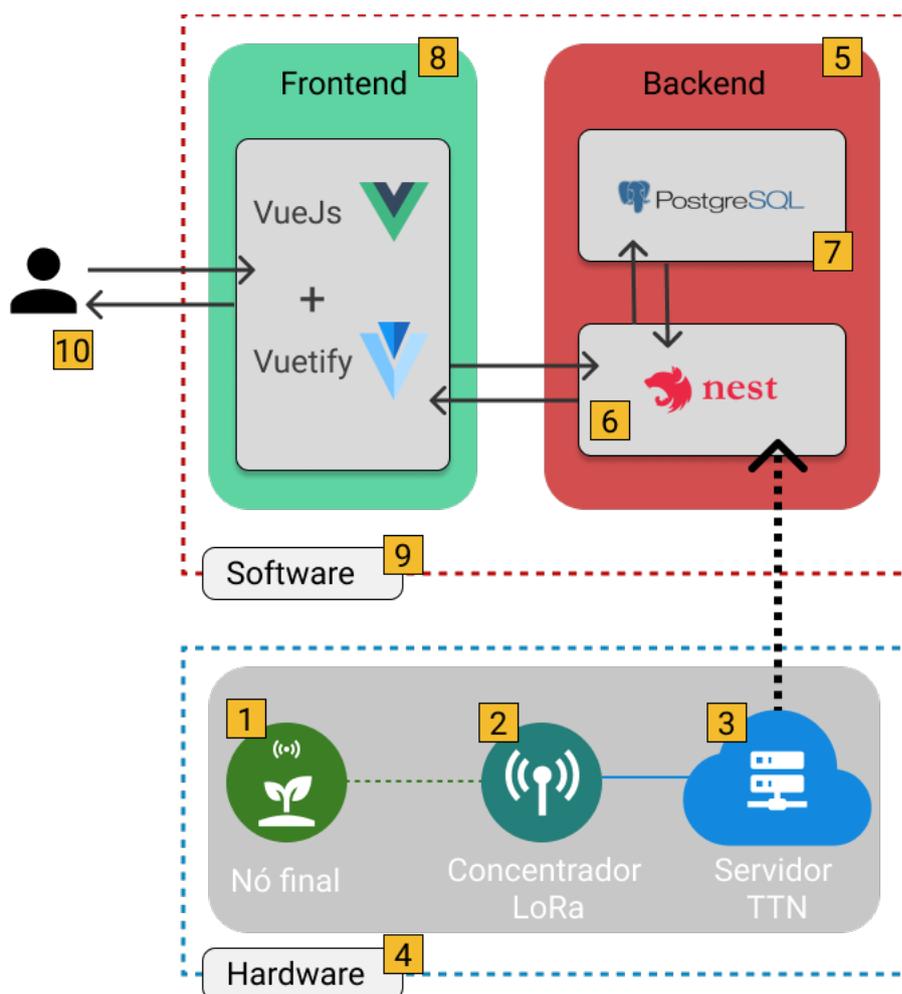
A arquitetura geral do sistema desenvolvido é exibida na [Figura 4](#). Esta arquitetura é constituída por dois blocos de igual relevância: Hardware e Software. Enquanto o primeiro bloco desempenha a função de coletar e transmitir os dados capturados pelos sensores, o segundo é responsável por receber, armazenar e apresentar as informações transmitidas pelo hardware.

O fluxo de operação do sistema é detalhado como se segue:

O sistema ilustrado na [Figura 4](#) engloba uma série de etapas interligadas para assegurar a coleta, processamento e interação dos dados. Inicialmente, a coleta de informações é efetuada pelos sensores no nó final (1), cujos dados são então encaminhados ao concentrador LoRa (2). Este último, ao receber o sinal de *uplink* dos sensores, direciona essa informação para o servidor do The Things Network (TTN) (3). Em resposta ao *uplink*, o servidor do The Things Network (TTN) ativa um *webhook*, desencadeando uma requisição HTTP POST direcionada à API desenvolvida para o projeto (5). Ao chegar ao servidor, a requisição de POST é processada por uma função dedicada à decodificação da mensagem (6). Essa função converte os dados recebidos em um formato compatível com o banco de dados do sistema (7), possibilitando o armazenamento dos dados processados, os quais ficam prontos para serem acessados e consultados quando necessário.

A interação do usuário ocorre por meio do componente Frontend da aplicação (8). Este elemento atua como a interface que viabiliza a comunicação entre o usuário e a API. Conseqüentemente, o usuário do sistema interage diretamente com o Software (9), permitindo-lhe efetuar solicitações e visualizar os dados transmitidos e armazenados pelo sistema.

Figura 4 – Arquitetura geral do sistema desenvolvido



Fonte: Autor

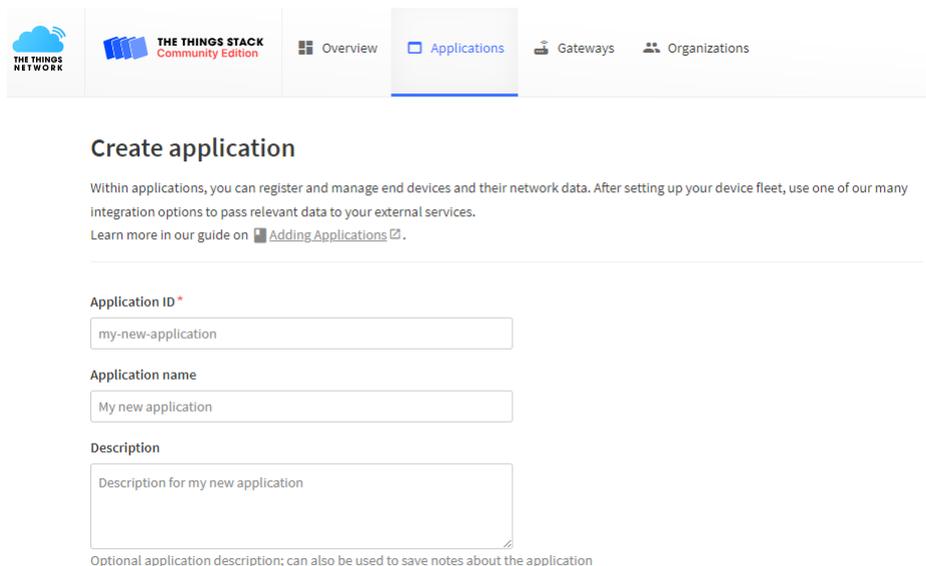
3.2 Transmissão da informação via LoRa

Nesta seção, apresentados os procedimentos essenciais para estabelecer uma comunicação eficaz por meio do protocolo LoRaWAN, empregando o servidor The Things Network (TTN).

O processo de configuração engloba as seguintes etapas:

Para iniciar, é fundamental possuir uma conta de acesso ao painel administrativo do The Things Network (TTN). Esse acesso permitirá a administração e monitoramento das atividades do dispositivo.

Figura 5 – Criar aplicação no TTN



The screenshot shows the 'Create application' page in the TTN web interface. At the top, there is a navigation bar with the TTN logo, 'THE THINGS STACK Community Edition', and menu items for 'Overview', 'Applications' (which is highlighted), 'Gateways', and 'Organizations'. Below the navigation bar, the main heading is 'Create application'. A sub-heading explains that applications are used to register and manage end devices and their network data. Below this, there are three input fields: 'Application ID' with the value 'my-new-application', 'Application name' with the value 'My new application', and 'Description' with the value 'Description for my new application'. A note at the bottom of the description field states: 'Optional application description; can also be used to save notes about the application'.

Fonte: Autor

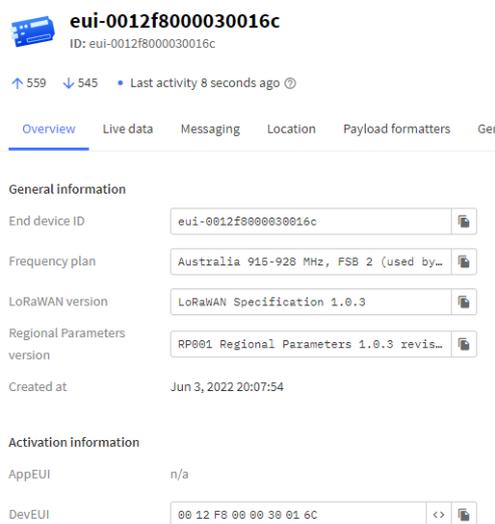
Em seguida, é imprescindível criar uma aplicação por meio da interface do The Things Network (TTN) a interface para criação da aplicação pode ser vista em [Figura 5](#). Essa aplicação oferece a flexibilidade de acomodar diversos nós, também referidos como *end devices*,

A etapa subsequente envolve a incorporação de um *end device* à aplicação. Durante essa fase, é essencial obter informações cruciais para estabelecer a conexão entre o dispositivo físico e o servidor do The Things Network (TTN). Essas informações incluem o DevEUI, AppSKey e o endereço do dispositivo (*Device address*). Elas desempenham um papel fundamental na configuração e autenticação do nó com o gateway. Esses detalhes específicos podem ser acessados através do painel de controle do The Things Network (TTN), conforme demonstrado na [Figura 6](#). Além disso, é de extrema importância ajustar a faixa de frequência designada para a comunicação. É crucial destacar que essa faixa varia de acordo com a região geográfica. No contexto brasileiro, a faixa de frequência licenciada é de 915 MHz.

Por fim, os parâmetros de conexão definidos ao criar o *end device* no The Things Network (TTN) devem ser aplicados à configuração do hardware do nó LoRa. Para essa tarefa, empregou-se um dispositivo FTDI.

Uma vez completadas as etapas delineadas acima, o dispositivo LoRa Node estará

Figura 6 – Dispositivo no TTN



Fonte: Autor

pronto para estabelecer comunicação com o servidor do The Things Network (TTN). Todas as trocas de mensagens entre o servidor e o dispositivo podem ser visualizadas por meio do sistema fornecido pelo The Things Network (TTN).

3.3 Desenvolvimento do hardware utilizado

Nesta sessão é descrito o desenvolvimento do hardware utilizado para realizar a coleta e transmissão dos dados.

Após a escolha das informações necessárias para se obter um monitoramento de uma plantação, foi necessário escolher quais sensores necessários para realizar a captação destas informações. Os sensores utilizados estão listados abaixo:

- DHT11: Sensor que realiza a leitura da temperatura e umidade do ar.
- Higrômetro: Sensor que realiza a leitura da umidade solo.
- Mini painel solar: Utilizado para se obter uma medida da luminosidade

Para enviar os dados dos sensores utilizando a tecnologia Lora e o protocolo LoRaWan, é necessário um dispositivo compatível com os mesmos. Foi utilizado então o LoRa node da RADIOENGE.

Para gerenciar o fluxo de dados, empregou-se o microcontrolador Arduino, ao qual foi incorporada uma rotina capaz de efetuar a leitura de todos os sensores. Essa rotina

converte os dados para o formato de string de bytes e os encaminha ao TTN por meio do nó final da RadioEnge. A [Figura 7](#) ilustra um diagrama de blocos delineando os três componentes centrais do hardware: o Arduino, responsável pelo controle e processamento; o módulo LoRa Node, incumbido da comunicação; e o bloco dos sensores, encarregado das leituras. O Arduino está conectado a uma placa que engloba os sensores e conectores, enquanto o módulo LoRa Node está interligado ao Arduino. Cabe destacar que a interação com o Arduino é bidirecional, permitindo tanto a recepção quanto a transmissão de informações. Vale ressaltar que o bloco dos sensores e o módulo LoRa Node não mantêm uma comunicação direta entre si.

Com a finalidade de simplificar o processo de conexão entre os sensores, controlador e LoRa node, foi projetada e confeccionada uma placa de circuito impresso PCI, onde são plugados os sensores utilizados, sendo necessário apenas conectar uma fonte de alimentação para a mesma. Na [Figura 8](#) é possível visualizar o esquemático criado, nas [Figura 9](#) e [Figura 10](#) é possível visualizar a placa confeccionada. Ela possui como saída 3 conexões para o ARDUINO, sendo estas utilizadas para a comunicação arduino/sensores.

Para a criação da placa de circuito impresso, após os testes realizados em uma protoboard foi criado o esquemático em um software para criação de projetos eletrônicos. Após a criação do esquemático, foi realizada a impressão do mesmo utilizando papel couché. Para transferir a impressão para a placa de cobre, foi utilizado um método que consiste em passar acetona na impressão, e transferir a tinta para a placa. Logo após a placa de fenolite foi mergulhada em uma solução de Persulfato de Amônia até que apenas as trilhas desejadas estivessem presentes. Com isso, basta soldar os componentes utilizados à placa, afim de facilitar as conexões, foram utilizados bornes e soquetes.

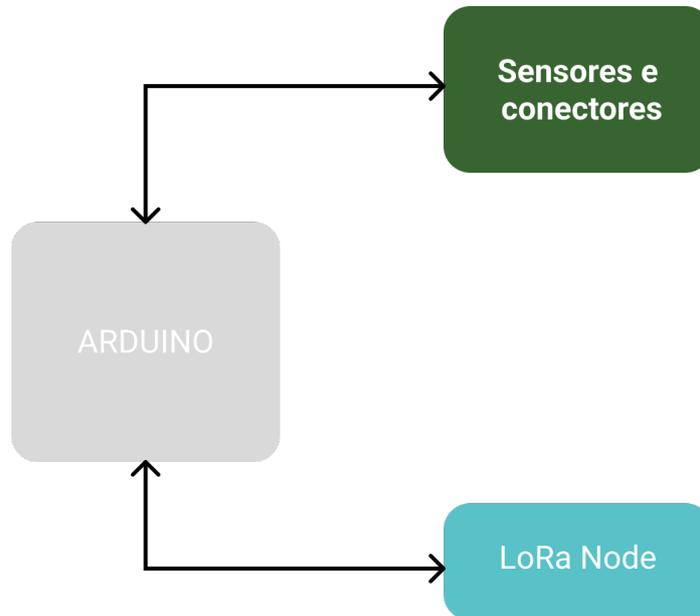
3.4 Desenvolvimento do backend

Nesta etapa é descrito sobre o desenvolvimento e funcionamento da API, ou backend. O termo backend é utilizado para se referir ao servidor de uma aplicação web, ele é responsável por lidar com as regras de negócio, comunicação com o banco de dados, e respostas às requisições feitas aos seus end points.

3.4.1 Planejamento da API

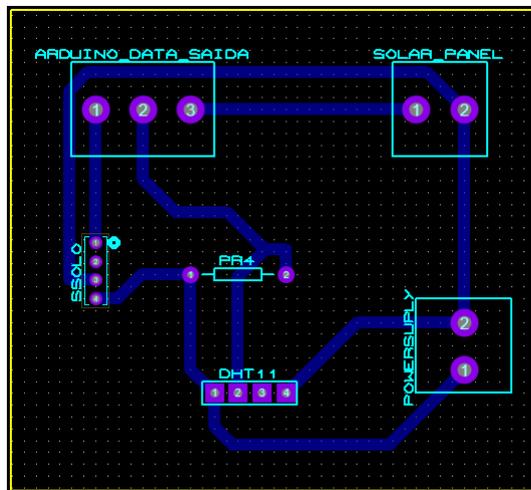
Após o desenvolvimento do hardware, levando em conta o tipo e o formato dos dados transmitidos, foi realizada uma análise dos requisitos necessários para o desenvolvimento de uma API, que fosse capaz de atender as demandas tanto do hardware quanto do frontend. Foram então definidos os end points necessários, assim como a linguagem de programação utilizada, banco de dados e frameworks. A linguagem de programação escolhida o typescript, que é uma linguagem de tipos que utiliza o javascript, foi escolhido o framework NestJs, que

Figura 7 – Diagrama dos componentes centrais



Fonte: Autor

Figura 8 – Pcb - esquemático



Fonte: Autor

utiliza o conceito de arquitetura em camadas dividindo um módulo em controller, service e model, garantindo assim uma separação mais clara de responsabilidades, e assim tornando a manutenção, refatoração e evolução do software mais eficiente. As responsabilidades de cada camada então listadas abaixo:

- Modelo: Responsável por gerar o modelo dos dados, informando o formado do objeto,

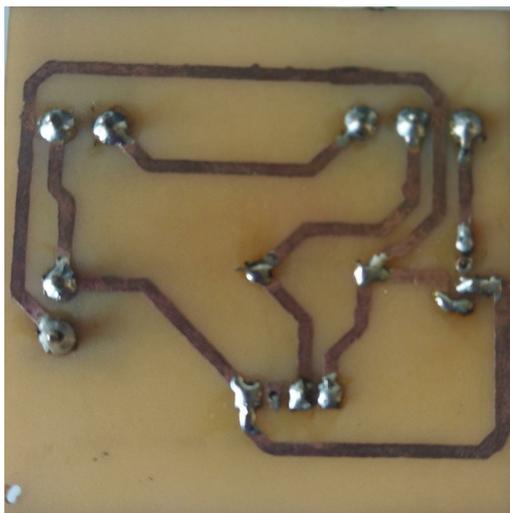


Figura 9 – Pcb - trilhas

Fonte: Autor

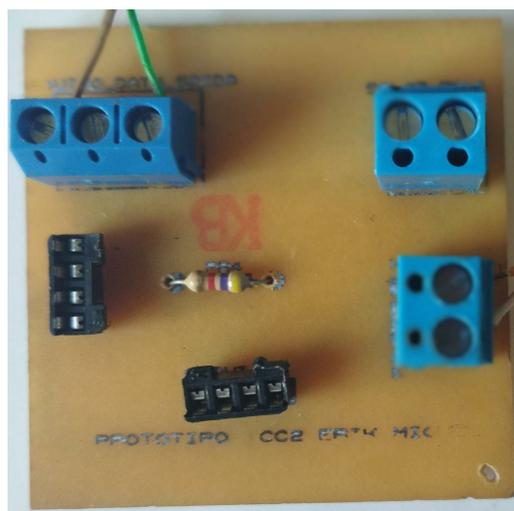


Figura 10 – Pcb - componentes

Fonte: Autor

seus atributos e o tipo de cada atributo. Esta camada é muito importante para garantir que os tipos de dados da API, e banco de dados sejam equivalentes.

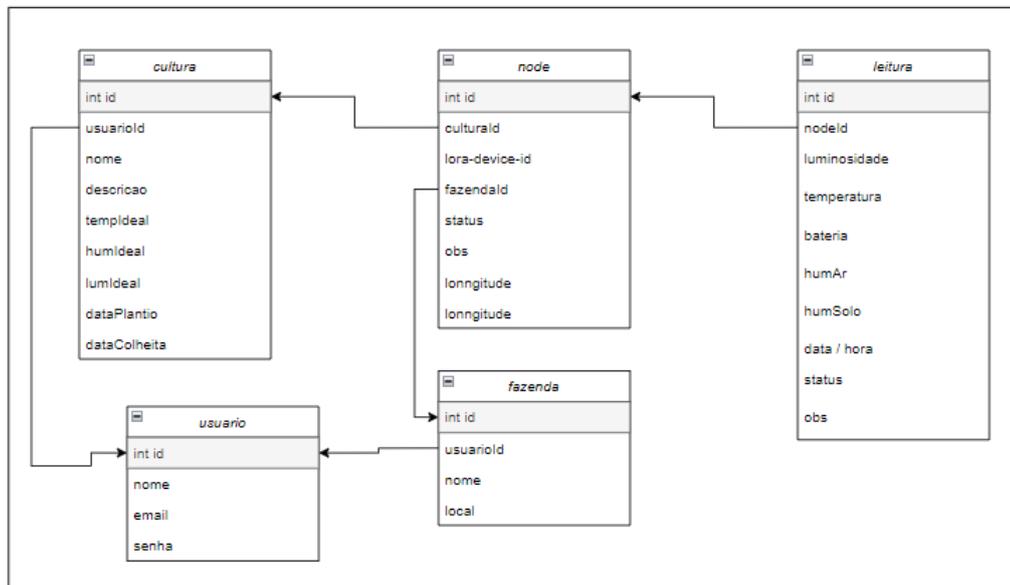
- Controlador: Implementa os endpoints utilizados pela aplicação utilizando o protocolo de https, assim como as validações iniciais de cada rota, como o token de autorização, para permitir a atualização apenas para usuários autenticados.
- Serviço: Recebe e retorna dados para o controlador, o serviço implementa as regras de negócio da aplicação e realiza a comunicação com o banco de dados. recebe a requisição do controlador, realiza alguma ação como uma busca no banco de dados, retorna uma resposta e um status http, que indica se a solicitação obteve sucesso.

3.4.2 Modelagem dos dados

Nesta etapa, foi necessário escolher o banco de dados que seria utilizado na aplicação, foi escolhido então o postgres, também foi utilizado o sequelize ORM(Object-Relational Mapping), que permite interações com o banco de dados utilizando objetos e métodos de modo que o SQL puro, linguagem utilizada pelos banco de dados relacionais, não seja necessário. Em [Figura 11](#) é apresentada a modelagem realizada para a criação do banco de dados.

- Usuário: Tabela que representa a entidade do usuário no sistema, necessário para realizar ações como login, visualização e criação de dados.
- Cultura: Entidade utilizada para armazenar as informações gerais do tipo de plantação que os sensores estarão monitorando, nesta entidade o usuário deve informar dados como temperatura ideal, nome e descrição da plantação.

Figura 11 – Modelagem dos dados



Fonte: Autor (2023).

- Fazenda: Entidade utilizada apenas para agrupar os nós por localização.
- Node: Essa é uma das principais tabelas do projeto, ela possui as informações de posicionamento geográfico, status e cultura da plantação que está sendo monitorada, as leituras realizadas são sempre pertencentes À um único nó. Uma informação muito importante que ele armazena é o lora device id, que deve ser o id do dispositivo cadastrado no TTN, sem esse id cadastrado não é possível salvar os dados lidos dos sensores de forma automática.
- Leitura: Tabela que utilizada para armazenar as informações obtidas em cada leitura de dados realizada, salvando sempre a data e hora da informação, assim como o nó a que ela pertence.

3.4.3 Desenvolvimento do código

Foi implementado um CRUD (Create, Read, Update, Delete), para cada uma das tabelas informadas, garantindo assim end points para visualização e alteração de dados. Com exceção da rota de login, as demais rotas necessitam de token de autenticação, com a finalidade de garantir uma maior segurança da comunicação. Para isso foi utilizado o JWT(JSON Web Token) que é um padrão aberto (RFC 7519) que possui um formato compacto e auto suficiente para a transmissão dos dados de forma segura.

Ao realizar uma solicitação na rota de login, a API gera um JWT possuindo dados do usuário, como seu nome e id por exemplo, este JWT é enviado como resposta ao cliente,

que deve enviar esse token em todas as requisições posteriores. O servidor utiliza então este token gerado e o informado para validar se o usuário está autenticado ou não.

No TTN foi criado um webhook, que é uma forma de comunicação entre sistemas, onde sempre que um evento específico ocorre uma solicitação de POST Http é realizada para a URL cadastrada, para este caso sempre que uma leitura dos sensores é recebida no servidor do TTN um POST é realizado para a URL da minha aplicação.

Foi criado então um módulo chamado de decoder na minha API, para tratar estas requisições, essa rota não necessita de autenticação, por isso algumas validações extras são necessárias. O formato de mensagem recebido pelo webhook do TTN, está disponível na documentação do mesmo, dentro muitas informações, ele possui a mensagem que foi recebida dos sensores e o id do dispositivo lora. A primeira etapa é verificar se este id está cadastrado em algum nó do sistema, em caso negativo a aplicação retorna um erro para a requisição, em caso positivo é realizada uma decodificação dos dados recebidos dos sensores, que são transmitidos em formato de bytes, após a decodificação os dados são salvos no banco de dados, como uma nova leitura do nó.

3.4.4 Implantação da API

Após o desenvolvimento da API, e validação das rotas em modo local, para uma comunicação real, e uma conexão com o TTN foi necessária a implantação da API em um servidor web. Foi utilizado então o serviço de nuvem do Heroku, que é uma plataforma que permite implantar, gerenciar e monitorar diferentes aplicações. Foi então realizado o deploy da API e do banco de dados, tornando assim possível uma comunicação em tempo real com o TTN.

3.5 Desenvolvimento do frontend

Com o hardware já implementado e api servindo os dados coletados, a etapa final foi o desenvolvimento da interface de interação do usuário com os dados coletados. Esta etapa possui grande importância pois é responsável por apresentar os dados de forma gráfica, facilitando a visualização e melhor compreensão da situação atual da planta que está sendo monitorada.

3.5.1 Planejamento e análise de requisitos

Nesta etapa foi definido o escopo do projeto, assim como os requisitos necessários para a elaboração da interface. Sendo uma interface a ser utilizada pelo usuário final, um requisito não funcional é a usabilidade. A usabilidade se refere à facilidade em que os usuários conseguem interagir com o software desenvolvido, conseguindo realizar suas

tarefas ou objetivos de forma prática e sem muitas dificuldades. Para isto o software deve garantir uma experiência intuitiva e satisfatória ao usuário. Foi levantada abaixo uma lista com os requisitos funcionais:

- Login/Logout: O sistema deve possuir uma etapa de login, sendo as funcionalidades internas do sistema disponíveis apenas para os usuários validados.
- Dispositivos: O sistema deve possuir uma página para visualização e cadastro de dispositivos, estes são utilizados para apresentar os dados coletados de cada nó final.
- Visualizar dispositivo: Este requisito apresenta uma tela com as informações cadastradas no dispositivo, assim como os dados coletados para o mesmo.
- Gráficos: A visualização dos dados dos dispositivos em forma gráfica. Ao apresentar os dados de forma gráfica, existe uma melhor análise e compreensão dos dados coletados, possibilitando a visualização de padrões e tendências que não seria visíveis em uma tabela por exemplo.
- Culturas: Uma página para o gerenciamento das culturas, visualização e alteração. As culturas são utilizadas para definir os pontos ideais dos dados, como por exemplo uma cultura de morango deve possuir sua umidade do solo em torno de 500,

3.5.2 Design e prototipagem

O foco desta etapa foi a criação de um protótipo de baixa fidelidade, que é uma representação inicial e ainda muito simplificada da interface, para compreender melhor os fluxos e funcionalidades necessárias.

Com o protótipo de baixa fidelidade criado, utilizando a ferramenta de design FIGMA, foi criada a identidade visual a ser utilizada, definindo uma paleta de cores agradável ao usuário, e que o ajude a identificar as ações dentro do sistema, como ações de remover associado ao vermelho e editar ao amarelo. Foi criada também as logos e imagens a serem utilizadas no sistema.

3.5.3 Desenvolvimento de interface

Esta etapa transforma todos os protótipos e requisitos levantados em código. Para isso foi necessário definir quais as tecnologias seriam utilizadas. Por se tratar de um sistema web, o HTML E CCS, são indispensáveis, junto com o JavaScript. Foi escolhido então o framework Vue, que é um framework de código aberto para front-end utilizado para aplicações single-page. Para as requisições à API foi utilizado o AXIOS que utiliza o protocolo HTTP para realizar as requisições ao servidor, e lidar com as respostas.

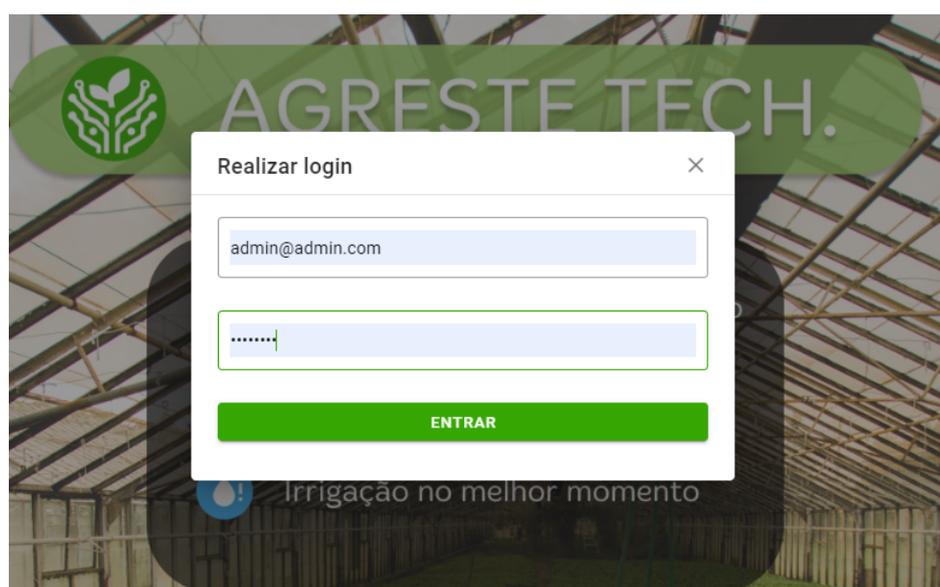
Em [Figura 12](#) é apresentada a página inicial da aplicação, onde o usuário ainda não autenticado poderá realizar um login no sistema, clicando no botão de login no canto superior direito. Ao clicar neste botão, o menu apresentado em [Figura 13](#), aparece na tela para o usuário informar suas credenciais de acesso.

Figura 12 – Página inicial



Fonte: Autor

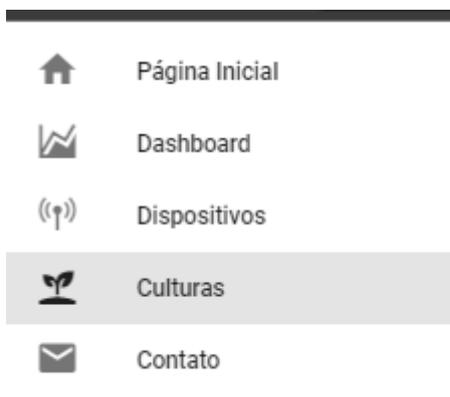
Figura 13 – Login



Fonte: Autor

Após realizar acesso um menu de opções de navegação fica disponível, é possível visualizar em [Figura 14](#). Cada uma das opções apresentadas no menu leva a uma página diferente.

Figura 14 – Menus de navegação



Fonte: Autor

Em [Figura 15](#) podemos visualizar a página utilizada para gerenciar as culturas do usuário, permitindo criar ou editar dependendo de sua necessidade. O menu de criação de uma cultura é apresentado em [Figura 16](#), os campos para entrada de dados possuem validações, e retornam uma resposta de erro para o usuário quando necessário, de modo que não é possível realizar a criação de uma cultura caso algum campo esteja no formato inválido.

Figura 15 – Listar culturas

A interface mostra o título 'Culturas' e um botão '+ CRIAR CULTURA'. Abaixo há uma barra de busca. O conteúdo principal é uma tabela com as seguintes colunas: Nome, Descrição, Temperatura, Umidade ar, Umidade solo, Luminosidade e Ações. A tabela contém duas linhas de dados e uma barra de paginação no rodapé.

Nome	Descrição	Temperatura	Umidade ar	Umidade solo	Luminosidade	Ações
Morango	Morango tipo 1	20	65	350	4	
Tomate	Cereja	22	55	0	4	

Rows per page: 10 1-2 of 2

Fonte: Autor

Em [Figura 17](#) podemos visualizar a página utilizada para gerenciar os dispositivos do usuário, podendo ele criar ou editar dependendo de sua necessidade. Informações gerais de cada dispositivo como status e ultima leitura de dados são apresentadas, Também é possível clicar em um CARD de um dispositivo para acessar os detalhes e os gráficos do mesmo. O menu de criação de um dispositivo é apresentado em [Figura 18](#), os campos para

Figura 16 – Criar Cultura

O formulário 'Criar cultura' contém os seguintes elementos:

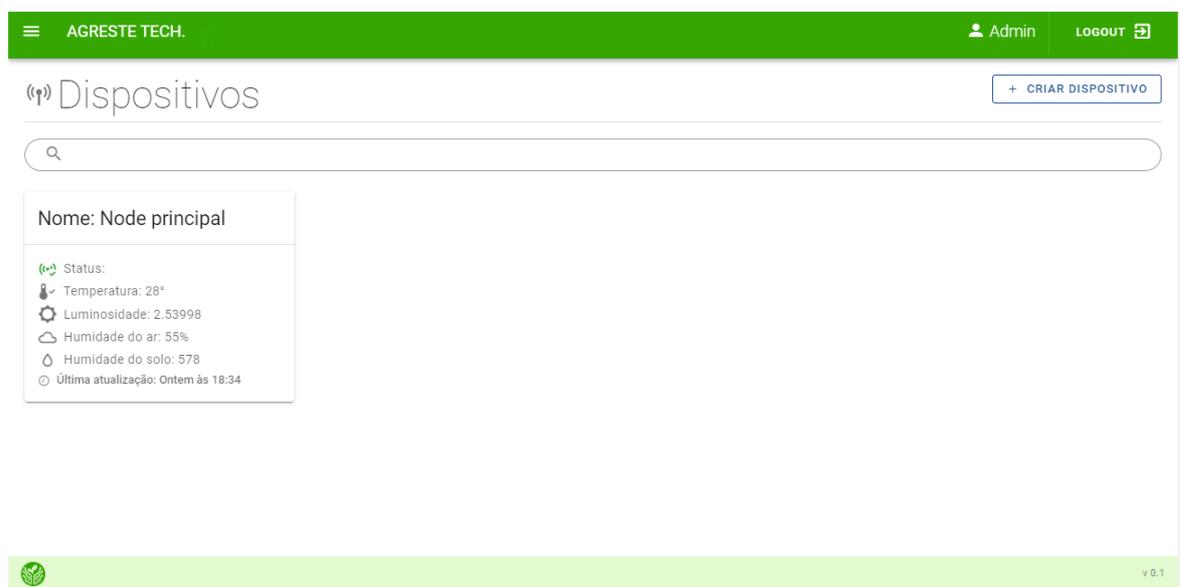
- Um campo de texto com o valor 'Tomate'.
- Um campo de texto com o valor 'Cereja'.
- Um campo de texto com o valor 'a', que está destacado por uma borda vermelha e possui uma mensagem de erro vermelha abaixo: 'Por favor, insira um número válido'.
- Um campo de texto com o valor 'Umidade do ar ideal'.
- Um campo de texto com o valor 'Luminosidade ideal'.
- Um campo de texto com o valor 'Umidade do solo ideal'.
- Dois botões na base: 'VOLTAR' (com ícone de seta curva) e 'SALVAR' (com ícone de disquete).

Fonte: Autor

entrada de dados possuem validações, e retornam uma resposta de erro para o usuário quando necessário, de modo que não é possível realizar a criação de um dispositivo caso algum campo esteja no formato inválido. Para a criação do dispositivo, deve ser informada a cultura que ele irá monitorar, assim como o id do dispositivo LoRa, sendo este último fundamental para receber os dados do TTN via webhook.

A página com detalhes de cada dispositivo apresenta os dados coletados em forma de tabela, [Figura 19](#), permitindo diferentes ordenações e busca para os valores. Também apresenta os valores em formatos gráficos, sendo possível alternar a visualização dos gráfico para cada dados desejado, como apresentado em [Figura 20](#), [Figura 21](#), [Figura 22](#), [Figura 23](#).

Figura 17 – Listar dispositivos



Fonte: Autor

Figura 18 – Criar dispositivo

+ Criar dispositivo ×

Nome do dispositivo

Id do dispositivo LoRa

Morango × ▾

Observações

teste

Longitude

A latitude deve estar no formato válido (-90.000000 a 90.000000)

↶ VOLTAR SALVAR

Fonte: Autor

Figura 19 – Dados Tabela

AGRESTE TECH. Admin LOGOUT

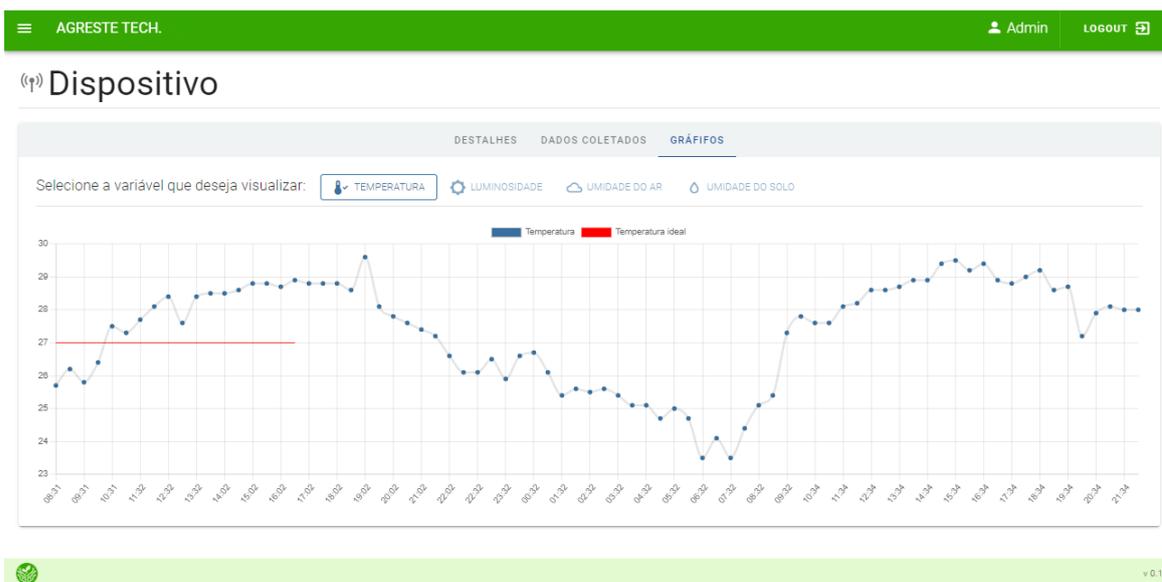
Dispositivo

DESTALHES		DADOS COLETADOS		GRÁFICOS	
Temperatura	Humidade Ar	Humidade Solo	Luminosidade	Observações	Data ↓
28	55	578	2.53998		Ontem às 18:34
28	55	578	2.53998		Ontem às 18:34
28.1	53	562	2.511632		Ontem às 18:04
27.9	51	556	2.556989		Ontem às 17:34
27.2	53	546	2.53998		Ontem às 17:04
28.7	48	543	2.53998		Ontem às 16:34
28.6	48	545	2.517302		Ontem às 16:04
29.2	48	532	2.517302		Ontem às 15:34
29	46	530	0.884458		Ontem às 15:04

v 0.1

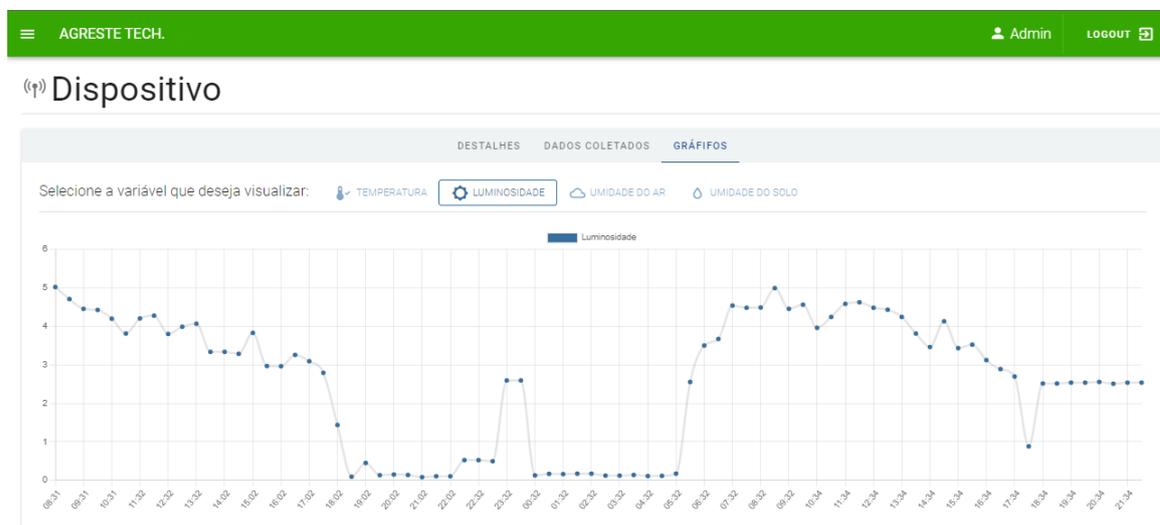
Fonte: Autor

Figura 20 – Gráfico temperatura



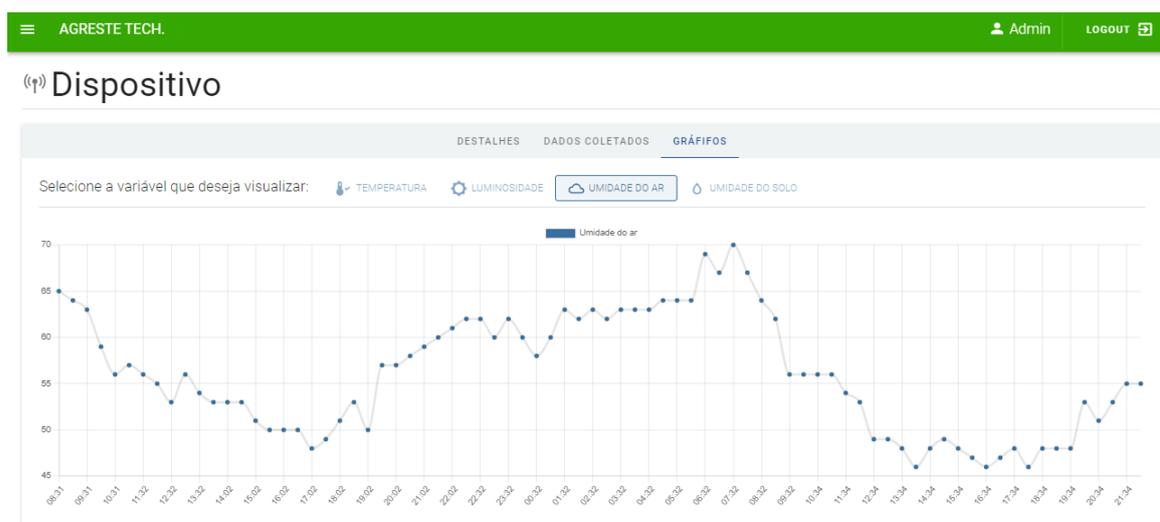
Fonte: Autor

Figura 21 – Gráfico luminosidade



Fonte: Autor

Figura 22 – Gráfico umidade do ar



Fonte: Autor

Figura 23 – Gráfico umidade do solo



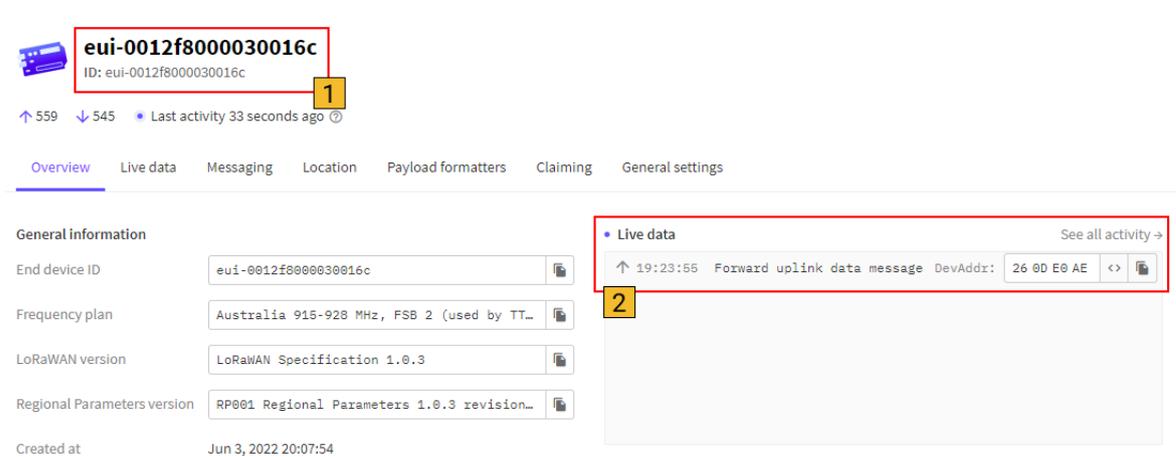
Fonte: Autor

4 Resultados

4.1 Funcionamento do sistema de envio de dados via LoRa

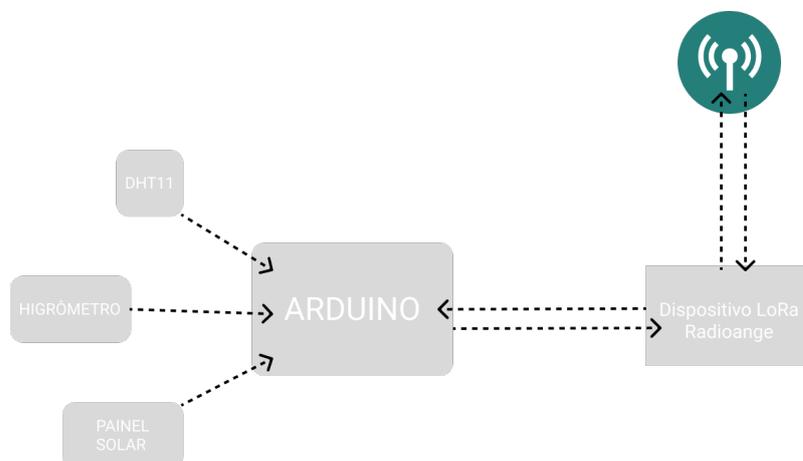
Na [Figura 24](#) é possível visualizar o dispositivo cadastrado no TTN, o campo 1 é o id do dispositivo lora, que deve ser vinculado ao dispositivo criado na aplicação. Em 2 é possível verificar as mensagens recebidas e enviadas.

Figura 24 – TTN - Painel do dispositivo



Fonte: Autor

Figura 25 – TTN - Painel do dispositivo



Fonte: Autor



Figura 26 – Planta monitorada

Fonte: Autor

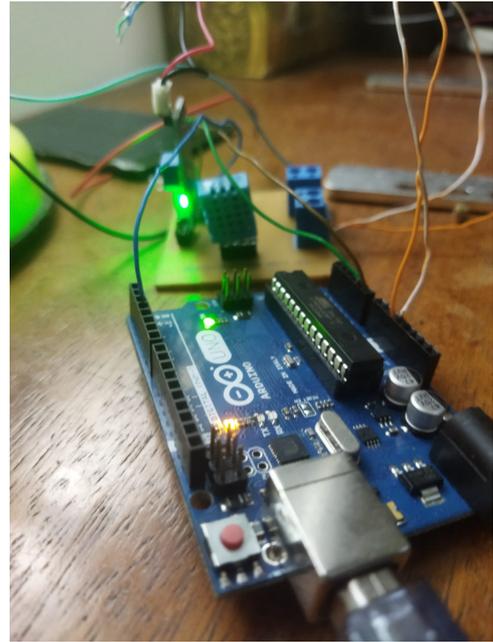
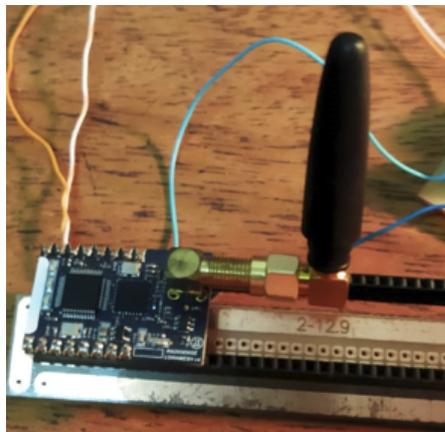


Figura 27 – Protótipo em funcionamento

Fonte: Autor

Figura 28 – Lora Node



Fonte: Autor

Na [Figura 25](#), é apresentado o modelo para a coleta e transmissão de dados. O microcontrolador Arduino é utilizado para orquestrar todo o processo, lendo os dados dos sensores e os enviando via serial para o dispositivo LoRa, que por sua vez realiza a comunicação com o gateway. A [Figura 26](#) mostra os terminais do sensor higrômetro conectados à planta usada para a coleta de dados. Na [Figura 27](#), são apresentados os demais sensores conectados ao Arduino. O nó final LoRa, conforme apresentado na [Figura 28](#), envia os dados por meio de uma mensagem ao gateway LoRa. Após o envio, as mensagens podem ser visualizadas no painel do dispositivo. As mensagens up-link, enviadas pelo dispositivo final, seguem um formato específico contendo diversas informações, como o

ID do dispositivo, a frequência utilizada, entre outros. Parte desse formato de mensagem é apresentada na [Figura 29](#), sendo esses os dados usados para o envio de requisições via webhook.

4.2 Funcionamento do web hook para envio de dados para a API

Figura 29 – Formato da mensagem de uplink

```
{
  "end_device_ids" : {
    "device_id" : "dev1",
    "application_ids" : {
      "application_id" : "app1"
    },
    "dev_eui" : "0004A30B001C0530",
    "join_eui" : "800000000000000C",
    "dev_addr" : "00BCB929"
  },
  "correlation_ids" : [ "as:up:01...", ... ],
  "received_at" : "2020-02-12T15:15...",
  "uplink_message" : {
    "session_key_id": "AXA50...",
    "f_cnt": 1,
    "f_port": 1,
    "frm_payload": "gkHe",
    "decoded_payload" : {
      "temperature": 1.0,
      "luminosity": 0.64
    }
  },
}
```

Fonte: Autor

Um webhook representa um método essencial de integração entre distintas aplicações. Ele opera com base na detecção de eventos específicos, desencadeando a realização de uma requisição do tipo POST. Esse processo permite uma interconexão ágil e automatizada entre sistemas, facilitando a comunicação e a sincronização de dados entre as aplicações envolvidas.

Para a aplicação desenvolvida o evento escolhido foi o up-link de mensagens no dispositivo cadastrado no TTN. Na [Figura 30](#) é possível visualizar a configuração do webhook. Na [Figura 31](#) é apresentado o fluxo que a API realiza ao receber o POST do webhook.

A primeira etapa é verificar se a mensagem recebida possui o formato esperado, como apresentado em [Figura 29](#). Em caso afirmativo, é realizada uma busca em todos os dispositivos cadastrados a fim de encontrar um onde o campo LoRa device id, seja o mesmo que aquele recebido na mensagem do webhook. Caso não encontre, o sistema retorna um erro de dispositivo não encontrado, caso encontre a próxima etapa é a decodificação dos

Figura 30 – TTN - WebHook

Edit webhook

The Webhooks feature allows The Things Stack to send application related messages to specific HTTP(S) endpoints. You can also use webhooks to schedule downlinks to an end device. Learn more in our [Webhooks guide](#).

General settings

Webhook ID *

Webhook format *

Base URL *

Downlink API key

The API key will be provided to the endpoint using the "X-Downlink-APIkey" header

Fonte: Autor

dados. Para a transmissão dos dados utilizando o protocolo LoRaWan, as informações coletadas são transformadas em bytes, é necessário então realizar o caminho inverso, transformar esses bytes em inteiros novamente, para serem utilizados na aplicação.

Com os dados dos sensores no formato esperado pelo banco de dados, a aplicação realiza a criação de uma nova amostra no sistema, salvando também a data e hora da realização e criação desta amostra, e a relacionando ao dispositivo que possui o campo lora device id igual ao da mensagem recebida.

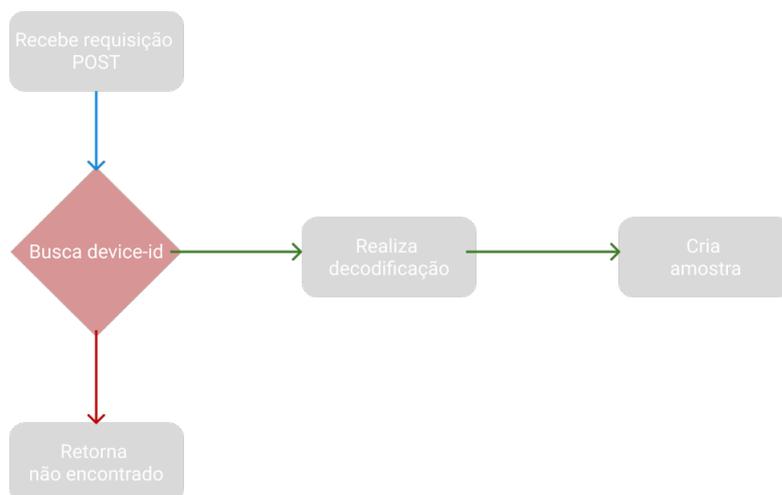
4.3 Apresentação dos dados coletados pelos sensores

A visualização dos dados em forma gráfica, como já foi dito em 3 auxilia na interpretação e na análise da distribuição dos dados.

Para realizar uma análise mais detalhada uma parte dos dados coletados foram exportados em um arquivo csv para realizar uma análise e preparação dos dados. Esta etapa foi realizada utilizando Python, que possui algumas bibliotecas que auxiliam no processo de visualização, como Pandas, Seaborn e Matplot. Foi criado então um arquivo no Google Colab para realizar a preparação dos dados.

A primeira etapa foi realizar a importação dos dados do arquivo csv gerado, logo

Figura 31 – Fluxo do WebHook



Fonte: Autor

após os atributos que não são necessários para a análise dos dados foram descartados, como o id da amostra por exemplo. Foi realizado então um tratamento para os valores ausentes.

Após esse processo, foi utilizada a função `describe()` da Pandas, para sumarizar as estatísticas mais importantes, como média, maior e menor valor e alguns percentis., podendo ser visualizada em [Tabela 1](#).

Tabela 1 – Estatísticas dos dados

	Temperatura	Umidade do ar	Umidade do solo	Luminosidade
Count	205	205	205	205
Mean	26.95	61.74	531.93	2.47
Std	1.64	7.73	132.98	1.89
Min	23.50	46.00	356.00	0.02
25%	25.40	56.00	428.00	0.14
50%	27.20	62.00	491.00	2.89
75%	28.50	69.00	626.00	4.34
Max	30.00	78.00	1023.00	5.02

Nesta tabela, é possível visualizar que o atributo de umidade do solo, possui valores muito acima dos demais, estando em uma escala muito maior, o que pode afetar a visualização dos dados e também alguns métodos de aprendizagem de máquina. Logo foi necessário normalizar os valores de todos os atributos, para que fiquem com média igual a zero e o desvio padrão igual a um. Em [Tabela 2](#) é possível visualizar os dados normalizados, note os valores de média igual a zero e o desvio padrão igual a um.

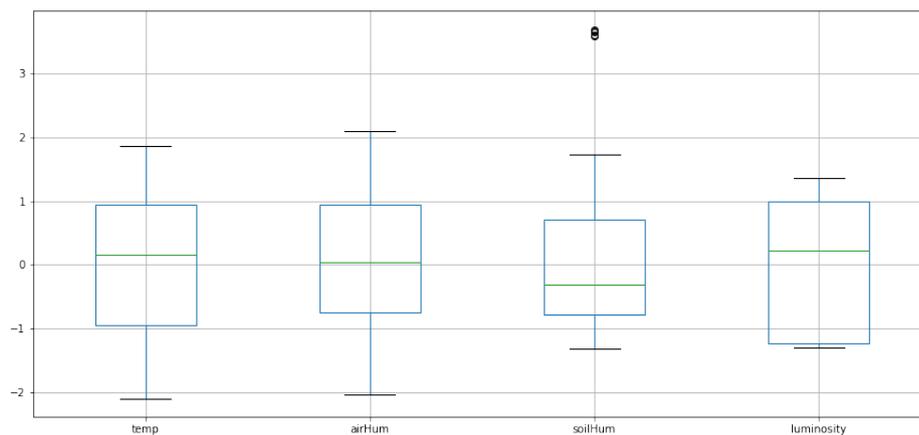
Uma etapa importante ao realizar o tratamento e análise dos dados é a detecção

Tabela 2 – Estatísticas dos dados

	Temperatura	Umidade do ar	Umidade do solo	Luminosidade
Count	205	205	205	205
Mean	0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000
Std	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
Min	-2.098101	-2.034597	-1.323010	-1.298101
25%	-0.941071	-0.741688	-0.781568	-1.232004
50%	0.155063	0.034057	-0.307807	0.225142
75%	0.946715	0.939093	0.707395	0.991271
Max	1.860160	2.102712	3.692843	1.354806

de outliers, que são dados incorretos que podem ter sido um erro de leitura dos sensores neste caso, em [Figura 32](#) é possível visualizar outliers no campo da umidade do solo.

Figura 32 – Gráfico de boxplot

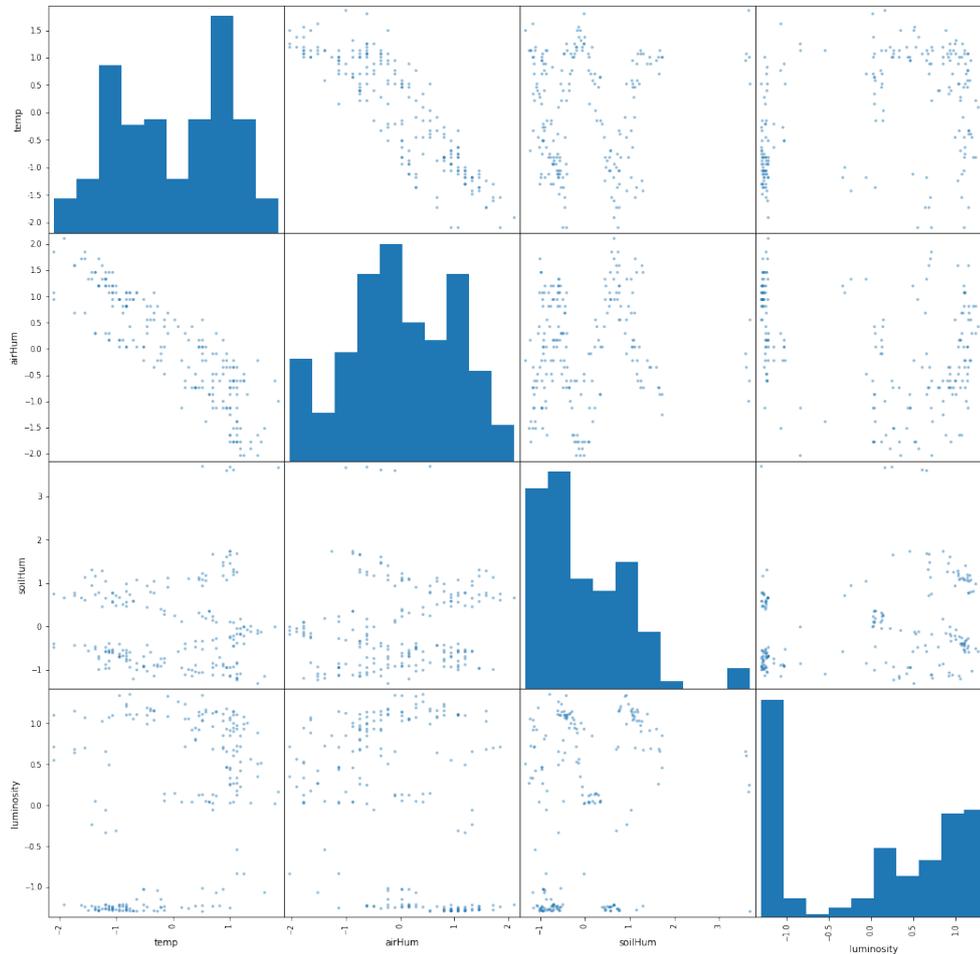


Fonte: Autor

Uma outra forma para realizar a análise dos dados é através dos gráficos de dispersão, em [Figura 33](#) e [Figura 34](#) são apresentados dois gráficos de dispersão de todas as combinações de atributos coletados utilizando diferentes bibliotecas. Com a análise destes gráficos é possível visualizar algumas reações entre atributos, como a relação entre temperatura e umidade do ar. Também é possível visualizar de forma mais nítida os outliers do campos de umidade do solo.

Outros gráficos utilizados para a visualização dos outliers utilizados foram o histograma e o gráfico de densidade, apresentados em [Figura 36](#) e [Figura 35](#). Sendo possível visualizar nos gráficos da umidade do solo que a maior parte dos valores está próxima a zero, porém existem alguns valores mais extremos próximos a quatro.

Figura 33 – Gráfico de combinações



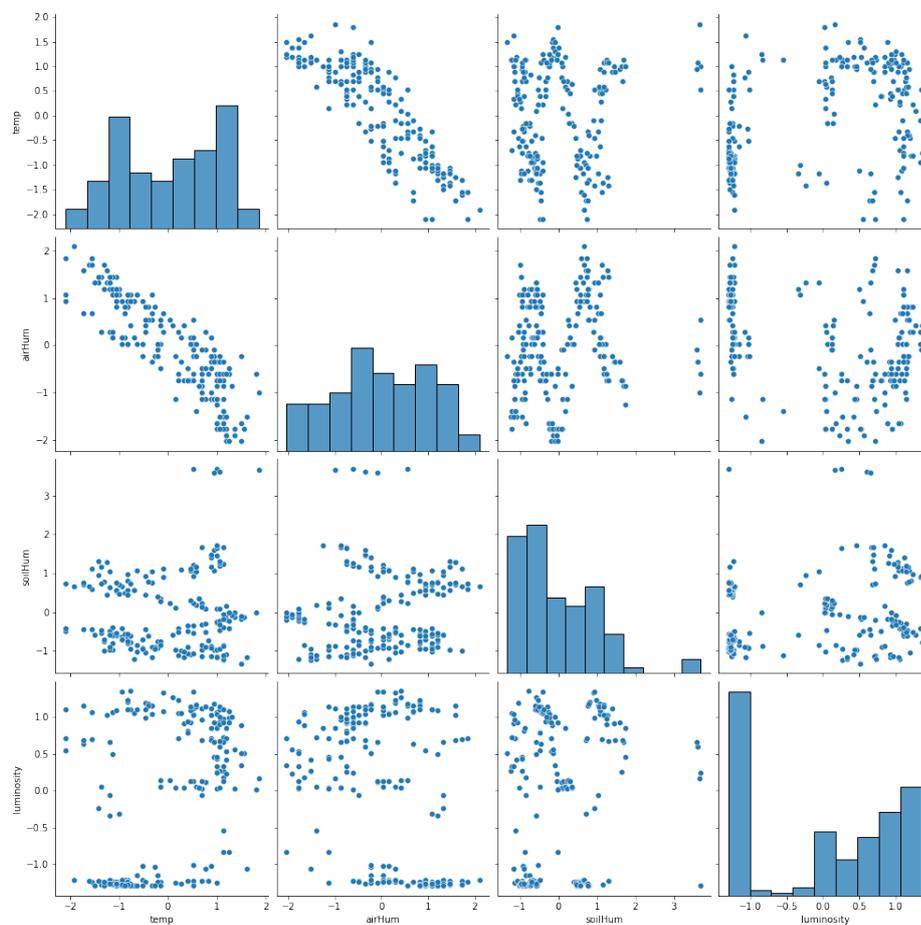
Fonte: Autor

Foi então realizada uma etapa de remoção dos outliers identificados. Uma forma simples de tratar estes dados incorretos é remover os valores menores que $Q1 - 1.5 \times IQR$ ou maiores que $Q3 + 1.5 \times IQR$, onde $Q1$ é o primeiro quartil e $Q3$ é o terceiro quartil e IQR é o intervalo interquartil que pode ser calculado com a equação $IQR = Q3 - Q1$.

Após remover os valores incorretos, os gráficos de boxplot e dispersão indicam que a base de dados não possui mais nenhum outlier, em [Figura 37](#) e [Figura 38](#) estão apresentados os gráficos após a remoção.

A etapa final no processamento dos dados foi a visualização dos atributos correlaci-

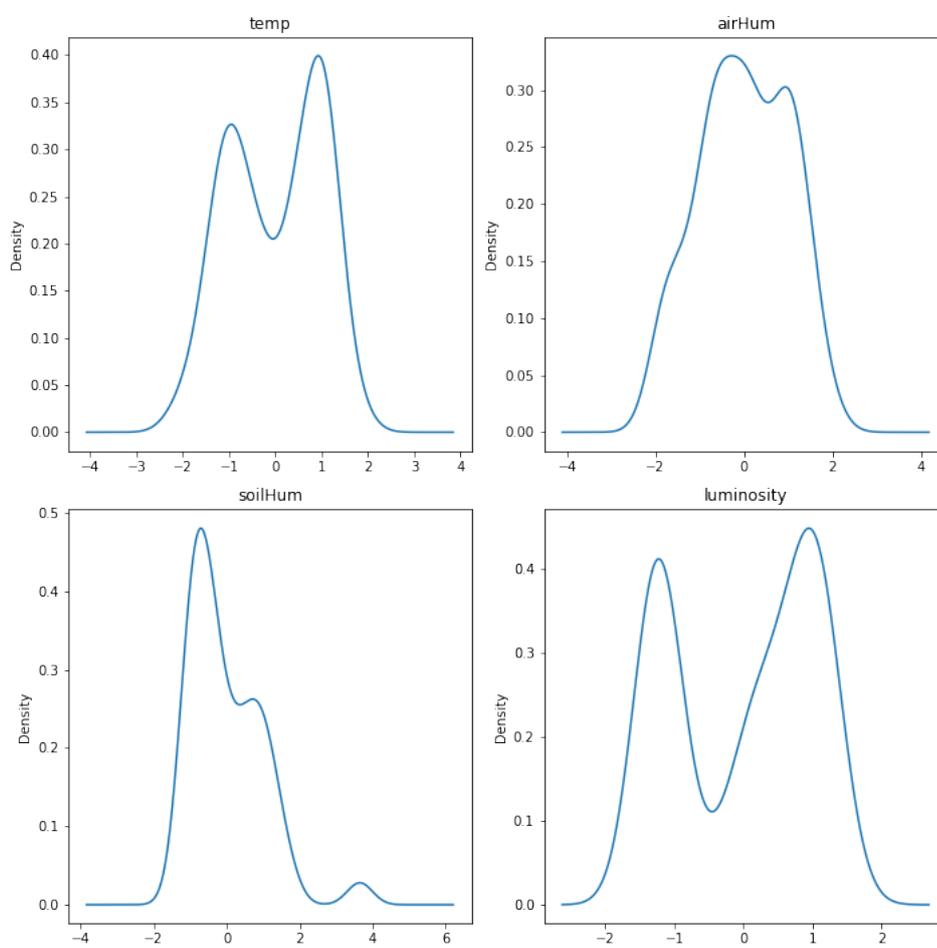
Figura 34 – Gráfico de dispersão



Fonte: Autor

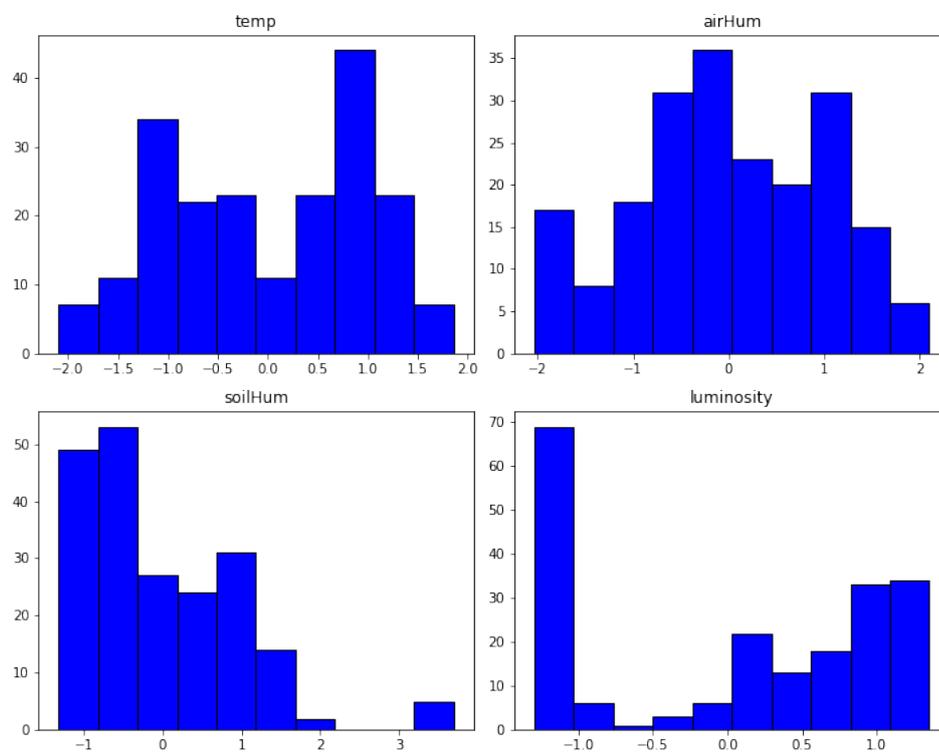
onados, para isso foram utilizados gráficos da matriz de correlação e covariância dos dados coletados, apresentados na [Figura 39](#)

Figura 35 – Gráfico de densidade



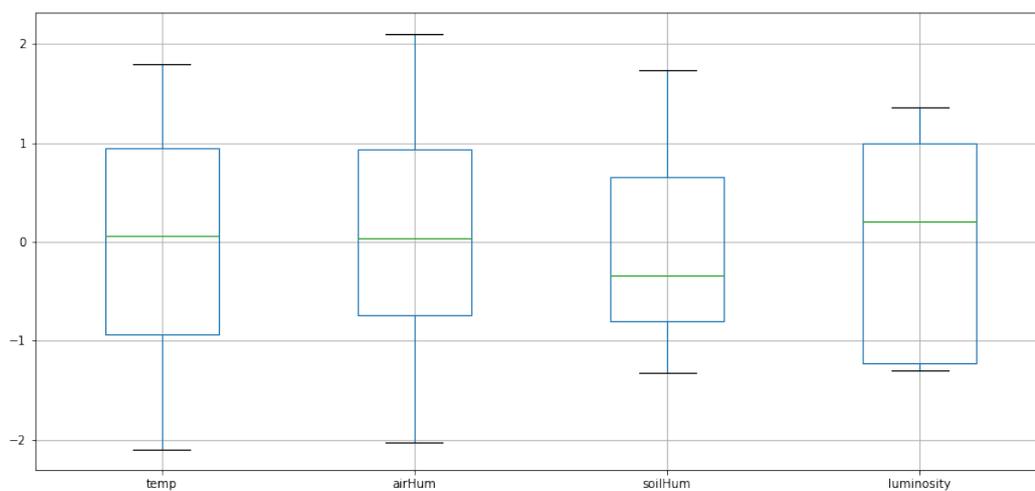
Fonte: Autor

Figura 36 – Gráfico de histograma



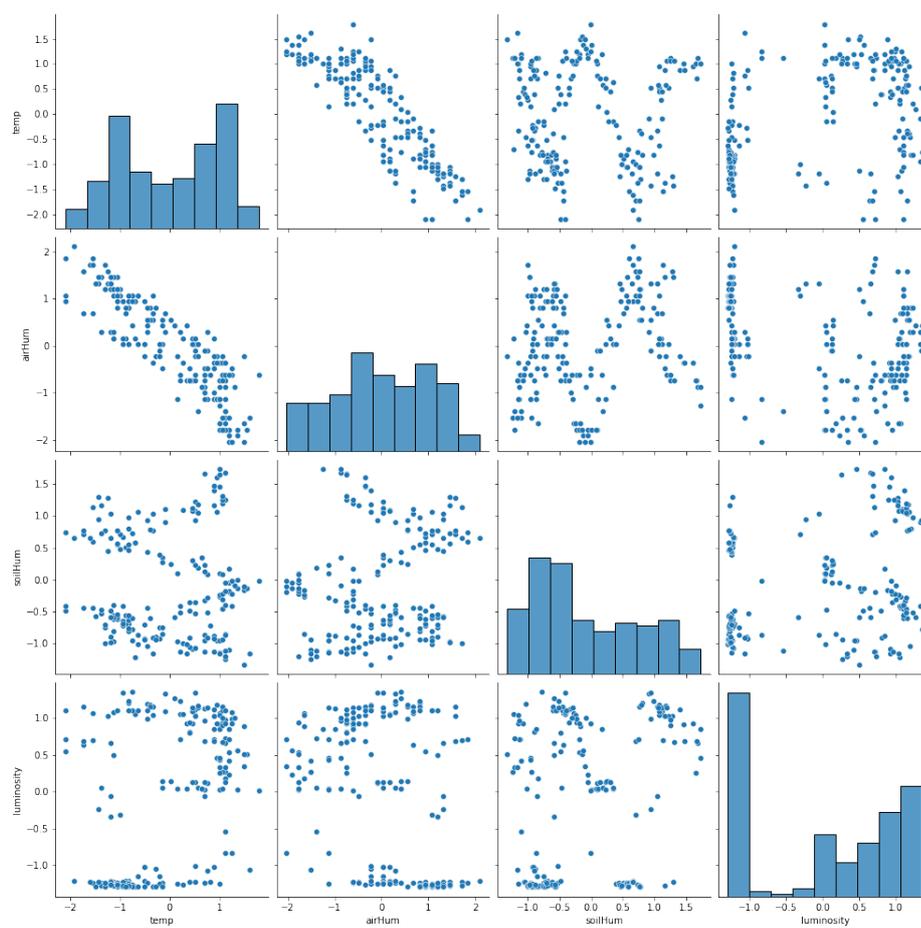
Fonte: Autor

Figura 37 – Gráfico de boxplot



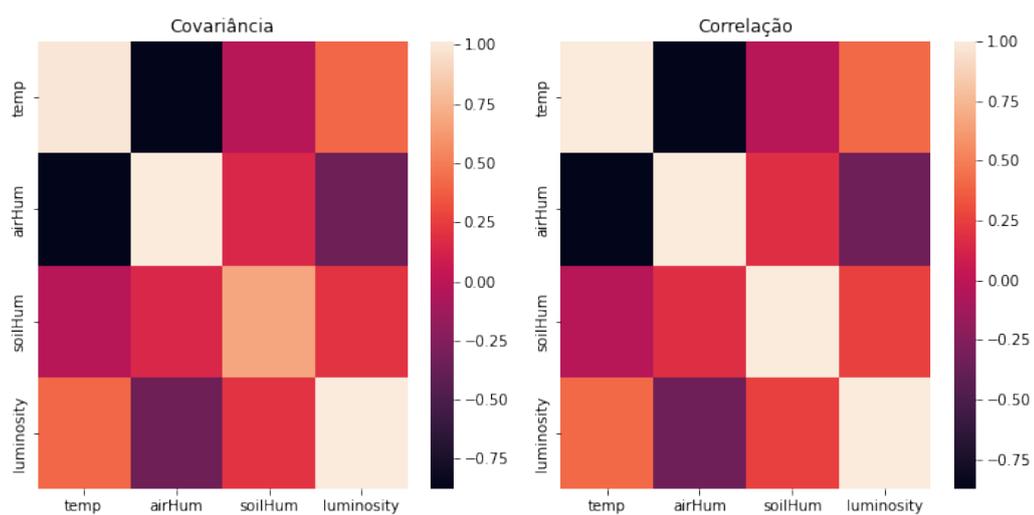
Fonte: Autor

Figura 38 – Gráfico de dispersão



Fonte: Autor

Figura 39 – Gráfico de correlação



Fonte: Autor

5 Conclusão

Agricultura de precisão é um termo que se refere à aplicação de tecnologias modernas para otimizar a produção agrícola. A Internet das Coisas (IoT) tem desempenhado um papel fundamental nessa área, visto que ela permite que os agricultores monitorem fatores cruciais, como umidade, luz e temperatura, para otimizar as práticas agrícolas e atender às necessidades específicas de cada cultura. O uso de sensores no solo é uma das principais tecnologias que tornam possível a agricultura de precisão. Os sensores coletam dados sobre as condições do solo e das plantas, que podem ser utilizados para controlar sistemas de irrigação automatizados, aplicar fertilizantes e realizar ajustes que otimizem as condições de crescimento das plantas. Além disso, a tecnologia LoRa viabiliza a transmissão eficiente e de longo alcance desses dados coletados pelos sensores, permitindo o monitoramento contínuo das condições das plantações.

Com base nessa tecnologia, foi desenvolvido um sistema de monitoramento que utiliza sensores de umidade, temperatura e luminosidade, com comunicação baseada em LoRa. Os dados coletados por esses sensores foram apresentados de forma acessível em um aplicativo web, possibilitando que os agricultores possam acompanhar as condições ideais para o crescimento das plantas. Além de avaliar a umidade, o sistema também fornece informações sobre a iluminação mínima diária necessária, contribuindo para uma análise abrangente das condições de cultivo.

Os resultados obtidos indicam que a implementação de sensores no contexto agrícola pode significativamente aumentar a produtividade sem a necessidade de expandir a área cultivada. Além disso, essa abordagem pode atuar como uma ferramenta valiosa para auxiliar pessoas sem conhecimento agrícola, fornecendo insights para a tomada de decisões informatizadas.

Os dados coletados por meio dos sensores também podem ser processados e utilizados em algoritmos de aprendizagem de máquina, permitindo a identificação de padrões e melhorias ainda não identificadas anteriormente. Esse potencial abre portas para métodos de cultivo mais eficientes e sustentáveis, impulsionados pela tecnologia IoT e pela agricultura de precisão. Além disso, a adaptabilidade dessa abordagem a culturas específicas, levando em consideração as necessidades individuais de cada planta, ressalta seu valor e versatilidade no contexto agrícola moderno.

Em síntese, a agricultura de precisão impulsionada pela IoT é uma abordagem promissora para aumentar a produtividade e reduzir perdas no setor agrícola. A coleta de dados por meio de sensores permite o monitoramento contínuo das condições das plantações, e a tecnologia LoRa viabiliza a transmissão eficiente e de longo alcance desses

dados. O uso de sensores no solo, combinado com o processamento de dados por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina, pode revolucionar a forma como as plantações são gerenciadas, aumentando a produtividade e a sustentabilidade do setor agrícola.

5.1 Trabalhos Futuros

O sistema de monitoramento, fundamentado na integração de sensores de umidade, temperatura e luminosidade, aliados à tecnologia de comunicação LoRa, não apenas evidenciou aplicações promissoras, mas também revelou um significativo potencial em diversas esferas relacionadas à agricultura de precisão. Para além das aplicações já exploradas, tais como o acompanhamento das condições ideais de crescimento das plantas, ele se apresenta como um portal aberto para um leque diversificado de desenvolvimentos futuros.

Uma perspectiva aplicável envolve a otimização dos recursos hídricos. A ampliação da utilização da tecnologia IoT para uma gestão mais eficiente da irrigação é viável. Sensores de umidade no solo possuem a capacidade de fornecer informações precisas acerca das necessidades hídricas das plantas, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e evitando o desperdício por meio de irrigações excessivas, realizar uma integração de dados climáticos externos, tais como previsões meteorológicas, é outra direção na qual o sistema pode evoluir. Isso permitiria que o sistema se adaptasse automaticamente às mudanças climáticas previstas, garantindo uma abordagem proativa às flutuações climáticas e otimizando o crescimento das culturas.

A introdução de algoritmos de aprendizado de máquina representa um salto em termos de análise dos dados coletados. Isso possibilitaria a identificação de padrões mais sutis e a revelação de insights que poderiam passar despercebidos de outra forma, fornecendo recomendações refinadas para otimizar ainda mais as práticas agrícolas.

Além disso, ao considerar a evolução da agricultura urbana e vertical o sistema pode atender a ambientes urbanos. Isso permite um monitoramento contínuo especialmente vantajoso em situações de restrição espacial e controle rigoroso das condições. Essa flexibilidade não apenas atende às necessidades de agricultores experientes, mas também democratiza o acesso ao cultivo, capacitando até mesmo indivíduos sem conhecimento prévio em agricultura. Através de interfaces intuitivas, dados complexos são simplificados, fornecendo orientações claras sobre o momento apropriado para regar, a exposição solar ideal e a manutenção das plantas.

Em síntese, as possibilidades de aplicação do sistema são vastas e variadas. Com a contínua colaboração entre pesquisadores, agricultores e tecnólogos, é plausível antever a evolução do sistema, adequando-se para suprir as necessidades emergentes da agricultura de precisão, impulsionando um futuro mais eficiente e sustentável no setor agrícola.

Referências

- ACHOUAK, T. et al. Sensor network proposal for greenhouse automation placed at the south of algeria. *Nome da Revista*, v. 10, n. 4, p. Preencha com as páginas corretas, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5296/npa.v10i4.14155>>. Citado na página 14.
- AUGUSTIN, A. et al. A study of lora: Long range amp; low power networks for the internet of things. *Sensors*, v. 16, n. 9, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 19.
- BALASTREIRE, L. A. Potencial do uso da agricultura de precisão no brasil. In: *Encontro Paulista de Soja*. [S.l.]: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2000. Citado na página 15.
- BORCHARDT, W. F. *Implementação do Controle de Temperatura e Umidade para o Aumento do Conforto Animal*. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, Brasil, 2020. Citado na página 18.
- BREUNIG, F.; GALVÃO, L.; MARTINS-NETO, R. P. Drones na agricultura de precisão. In: _____. [S.l.: s.n.], 2019. p. 91. ISBN 978-85-8384-077-0. Citado na página 14.
- CODELUPPI, G. et al. Lorafarm: A lorawan-based smart farming modular iot architecture. *Sensors*, v. 20, p. 2028, 04 2020. Citado 3 vezes nas páginas 19, 21 e 22.
- GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. *Precision Agriculture and Food Security*. [S.l.], 2010. v. 327, n. 5967, 828-831 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 19.
- LANGER, M. P. *Tecnologias e Protocolos de Comunicação para Redes de Sensores Sem Fio Aplicados à Cenários Agrícolas: Communication technologies and protocols for wireless sensor networks applied to agricultural scenarios*. Dissertação — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Brasil, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 19.
- MASSUQUE, A. R. *Desenvolvimento de um Sistema de Irrigação e Monitoria do Campo Agrícola com Base em Internet of Things (IoT)*. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique, 2023. Curso de Engenharia Informática, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Eletrotécnica. Citado na página 14.
- MULLA, D. J. *Twenty Five Years of Remote Sensing in Precision Agriculture: Key Advances and Remaining Knowledge Gaps*. [S.l.], 2013. v. 114, n. 4, 358-371 p. Citado na página 14.
- PETILIO, A. et al. Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 6, n. 11, 2007. Citado na página 18.
- Semtech Corporation. *LoRa Solutions: Tutorials and Guides by Semtech*. 2023. Acessado em 10 ago. 2023. Disponível em: <<https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Fifth. [S.l.], 2013. Citado na página 15.

The Things Network. *TTN - The Things Network*. 2023. Acessado em 10 ago. 2023. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

TORRESAN, S. et al. *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Remote Sensing to Monitor Grapevine Leaf Stripe Disease within a Vineyard Affected by Esca Complex*. [S.l.], 2018. v. 10, n. 6, 801 p. Citado na página 18.