

Fernando Koji Yamashiro
Otávio Augusto Paganotti Messias da Silva

**Desenvolvimento de uma aplicação utilizando
RSSF para a Agricultura de Precisão.**

Brasil

2021

Fernando Koji Yamashiro
Otávio Augusto Paganotti Messias da Silva

Desenvolvimento de uma aplicação utilizando RSSF para a Agricultura de Precisão.

Trabalho de conclusão de curso para obtenção
do título de bacharel em Engenharia de Com-
putação pela Universidade Federal da Grande
Dourados - UFGD.

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - FACET
Engenharia de Computação - Bacharelado

Orientador: Felipe José Carbone
Coorientador: Carla Eloize Carducci

Brasil
2021

Resumo

Os atributos do solo de uma área de produção agrícola, como pH e umidade, podem ser modificados quando submetidos ao manejo agrícola e este pode influenciar diretamente na qualidade e quantidade do produto final. Porém estes atributos apresentam variabilidade espacial e temporal, ou seja, os atributos do solo variam dentro da mesma área. A proposta deste trabalho é o projeto, desenvolvimento e a descrição do funcionamento de uma aplicação RSSF, projetada para utilização no cenário agrícola como ferramenta para aplicar AP, coletando dados do solo de uma produção agrícola, como também a descrição do desenvolvimento e funcionamento da aplicação Web criada para visualização dos dados colhidos e gerenciamentos dos equipamentos da rede.

A aplicação consiste de um servidor, que executa um aplicativo Web e uma API para gerenciamento da rede, equipamentos *Nodos*, contendo diversos sensores para a coleta de dados no solo, e equipamentos *Gateways* que gerencia a comunicação dos *Nodos* com o servidor. Como resultado, a aplicação gerada pode ser implementada em pequena escala, fornecendo dados do solo com determinada constância, podendo possibilitar um melhor manejo dos atributos do solo de uma área de produção agrícola.

Palavras-chaves: Agricultura de Precisão. Rede de Sensores sem Fio. Sensoriamento. Análise de Solo. LoRa.

Abstract

Agricultural field soil properties, such as pH and humidity, can be modified when submitted to agronomic practices, impacting over the final product's quality and quantity. Unfortunately, those properties vary in time and space on the field, which means that inside the same Agricultural field there are locations where it's soil properties differ from each other. The proposal presented on this paper is the project, development and description of the application's operations, which is planned to be implemented into a agricultural scenario as a Precision Agriculture practice, aiding on the gathering of soil properties data, it also includes, the operations and development's documentation of a Web App that allow the soil properties data visualization and network management.

This application is composed by a server, which runs a Web App and an API, Node devices equipped with certain soil sensors, and Gateways which allow the communication between the server and the Nodes. The developed application can be implemented in a small scale, providing soil property data over determined time periods, possibly enabling a better management over soil properties on an agricultural field.

Key-words: Precision Agriculture. Wireless Sensor Networks. Sensing. Soil Analysis. LoRa.

Lista de figuras

Figura 1 – Alteração do manto de intemperismo e a formação do solo	12
Figura 2 – Topologias de Rede	15
Figura 3 – Composição da Rede	22
Figura 4 – Diagrama de Sequências: Primeiros Ciclos	23
Figura 5 – Principais componentes do <i>Nodo</i>	26
Figura 6 – Circuito do <i>Nodo</i>	27
Figura 7 – Principais componentes do <i>Gateway</i>	29
Figura 8 – Circuito do <i>Gateway</i>	30
Figura 9 – Comparação entre o Node.js e o modelo tradicional em relação a recebimento de requisições do cliente e operações de E/S.	33
Figura 10 – Tela de criação de área.	35
Figura 11 – Tela de visualização da área.	35
Figura 12 – Tela de acesso a um equipamento a partir da área.	36
Figura 13 – Tela de listagem de equipamentos.	36
Figura 14 – Tela de edição de equipamento.	37
Figura 15 – Tela de visualização de um equipamento.	37
Figura 16 – Tela de visualização de dados em tabela.	38
Figura 17 – Tela de visualização de dados em gráfico.	38
Figura 18 – Medidor de pH, luminosidade e umidade do solo.	39
Figura 19 – a. Sensor de Umidade, b. Sensor de pH; c. Sensor de Umidade	40
Figura 20 – Dados gerados no teste de sensores: a. Figura 19.a, b. Figura 19.b; c. Figura 19.c	41
Figura 21 – Montagem para o teste de distância.	42
Figura 22 – Antenas testadas.	42
Figura 23 – Equipamentos instalados.	43
Figura 24 – Dados gerados no teste de campo do protótipo.	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Quadro comparativo das camadas do modelo OSI com os protocolos TCP/IP	16
Tabela 2 – Quadro comparativo de tecnologias de comunicação	18
Tabela 3 – Eventos do <i>Nodo</i>	24
Tabela 4 – Eventos do <i>Gateway</i>	25
Tabela 5 – Eventos no Servidor	26
Tabela 6 – Componentes eletrônicos do <i>Nodo</i>	28
Tabela 7 – Componentes eletrônicos do <i>Gateway</i>	31
Tabela 8 – Distâncias do teste de comunicação	41

Lista de abreviaturas e siglas

AP	Agricultura de Precisão
RSSF	Rede de Sensores sem Fio10h

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Solos	11
2.1.1	Formação do Solo	11
2.1.2	Tipos de Solos	13
2.2	Agricultura de Precisão (AP)	13
2.3	Redes	14
2.3.1	Redes de Sensores Sem Fio	15
2.3.2	Comunicação	17
2.3.2.1	Bluetooth	17
2.3.2.2	LoRa	17
2.3.2.3	ZigBee	18
2.3.2.4	nrf24(Wifi)	18
2.4	Trabalhos Relacionados	19
3	DESENVOLVIMENTO	21
3.1	Organização e Funcionamento da Rede	21
3.2	Desenvolvimento do Protótipo	22
3.2.1	Nodo	24
3.2.1.1	Materiais	25
3.2.1.2	Operações	26
3.2.2	Gateway	29
3.2.2.1	Materiais	29
3.2.2.2	Operações	30
3.2.3	Aplicação Web	32
3.2.3.1	Desenvolvimento do <i>Back-end</i>	32
3.2.3.2	Desenvolvimento do <i>Front-end</i>	33
3.2.3.3	Operações da Rede	34
3.2.3.4	Operações do aplicativo	34
4	TESTES E RESULTADOS	39
4.1	Teste de sensor de pH	39
4.2	Teste de distância de comunicação	40
4.3	Teste de campo do protótipo	43

5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	46
	REFERÊNCIAS	47

1 Introdução

Uma das principais funções do solo, que é a de servir como meio para o desenvolvimento de plantas, está diretamente relacionada aos seus atributos que, segundo [Popp \(2017\)](#), variam no tempo e espaço devido aos fatores de formação do solo, além do uso e manejo do solo. Por terem especificidades estruturais, morfológicas, químicas e biológicas os solos podem moldar o desempenho de uma cultura, assim o entendimento sobre os complexos relacionamentos entre os atributos do solo e os fatores ambientais geram dados úteis para um melhor manejo do solo e da produção agrícola com melhorias em produtividade ([GEBBERS; ADAMCHUK, 2010](#)).

A Agricultura de Precisão (AP) é reconhecida por se utilizar sensores, GPS, informações sistematizadas, maquinário tecnológico e gerenciamento de dados da condução do preparo/plantio/semeadura/colheita para otimizar a produção. Segundo [Srinivasan \(2006\)](#), os produtores rurais adeptos dessa tecnologia podem utilizar diferentes sistemas de manejo aliado a aplicações precisas dos insumos agrícolas (fertilizações, corretivos e condicionadores de solo) em acordo com as exigências químicas de cada gleba (área de 2,5 hectares) de solo cultivável, em contrapartida com essa mesma tecnologia, é possível detectar áreas compactas e realizar a descompactação de forma localizada, sem a necessidade de realizar o revolvimento em área total.

A adoção da AP vem crescendo no Brasil e no mundo, por inúmeros motivos, como: O retorno econômico esperado, o aumento da produtividade, a sustentabilidade do sistema de produção com relação a minimização do impacto ambiental negativo (toxicidades e degradação), a competitividade no mercado, entre outros motivos, coincidindo com o preconizado pela Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão em 2012¹.

[Bernardi e Inamasu \(2014\)](#) levantaram uma taxa de 53%, entre 301 proprietários e administradores de propriedade a nível nacional, que adotavam algum nível de uso de AP nas propriedades que geriam. Outro levantamento, realizado pela [Embrapa \(2020\)](#), realizado em maior escala, levanta que 84% dos agricultores brasileiros já utilizam ao menos uma tecnologia digital como ferramenta de apoio na produção agrícola, mais de 70% dos produtores rurais que responderam à pesquisa possuem acesso à internet, utilizando-a para interesses gerais sobre agricultura. De acordo com [Mendes \(2018\)](#), ao adotar as práticas de AP em uma fazenda, é possível observar a redução dos custos de operação no campo em 11%, redução de custos com análise do solo em 37%, 19% de redução dos custos totais e um aumento do rendimento global das lavouras em 67%.

Tecnologias emergiram, possibilitando uma gama maior de práticas e melhores

¹ <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.pdf>

resultados na aplicação da AP, como: Maquinário com piloto automático, sensoriamento remoto e proximal, sistemas de gerenciamento de insumos, produção e origem de materiais, em adição a isso, práticas de produção entraram em uso. Uma prática predominante no Brasil é a utilização de dados provenientes de amostragens de solo georreferenciadas, ou em grade de amostragem, para o gerenciamento da adubação (fertilizantes e corretivos) de acordo com cada talhão (conjunto de glebas pré selecionadas e não padronizadas), ou determinados locais de um talhão (MOLIN, 2017).

O ideal, para uma produção agrícola, seria obter dados do solo com certa constância, para correções necessárias durante as fases do preparo, plantio e semeadura. A partir de tal necessidade, este trabalho propõe um sistema de mensuração de dados do solo, com determinada periodicidade, utilizando-se uma Rede de Sensores sem Fio.

Sarangapani (2019) define Rede de Sensores sem Fio (RSSF) como uma sub categoria de redes sem fio, caracterizadas pela coleta de dados físicos de ambiente utilizando diversos equipamentos sensores, pode apresentar distintas organizações, topologias e tecnologias de acordo com os requisitos presentes sobre a coleta dos dados. Além de equipamentos sensores (*Nodos*), *Gateways* e Servidores, compõem uma RSSF.

Portanto, a proposta deste trabalho é o projeto, desenvolvimento e a descrição do funcionamento de uma aplicação RSSF, projetada para utilização no cenário agrícola como ferramenta para aplicar AP, coletando dados do solo de uma produção agrícola, como também a descrição do desenvolvimento e funcionamento da aplicação Web criada para visualização dos dados colhidos e gerenciamentos dos equipamentos da rede.

Contando com este capítulo introdutório à problemática e à solução proposta, o trabalho é composto dos seguintes capítulos; Fundamentação Teórica (Capítulo 2), em que apresenta o conhecimento necessário para o entendimento da problemática tratada e da solução proposta; Desenvolvimento (Capítulo 3), que descreve o desenvolvimento e o funcionamento da aplicação criada; Testes e Resultados (Capítulo 4), contém as metodologias e resultados obtidos nos testes realizados; Conclusão e Trabalhos Futuros (Capítulo 5), apresenta as conclusões do desenvolvimento e teste da aplicação gerada além das melhorias necessárias para versões posteriores.

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo contém conceitos necessários para o entendimento da problemática e a solução proposta neste trabalho. Organizacionalmente, contém quatro seções, Solos, Agricultura de Precisão, Redes e Trabalhos Relacionados.

2.1 Solos

Os solos apresentam uma importante característica que permitir o desenvolvimento da vida vegetal na superfície da Terra, tendo um papel fundamental para a agricultura (POPP, 2017). O bom desenvolvimento de uma planta se deve a partir de diversos fatores. Com relação aos nutrientes, como descritos por Embrapa (2006), são elementos químicos essenciais ao desenvolvimento das plantas, que são subdivididos em dois grupos principais. Os macronutrientes são nutrientes absorvidos em grandes quantidades pelas culturas. Os micronutrientes são aqueles que as culturas precisam em quantidades pequenas, sendo expressos em partes por milhão (ppm). Os macronutrientes ocorrem em concentrações de 10 a 5000 vezes superiores à dos micronutrientes (FINKLER et al., 2018).

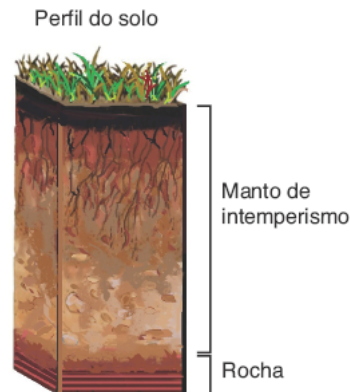
Há diversos atributos do solo relevantes em uma produção agrícola, como o pH que ajuda a determinar a concentração dos elementos químicos do solo, ou a porosidade, que indica o quanto de ar e água podem ser retidos no solo, esses atributos são influenciados por diversos fatores externos ao solo, porém, as melhorias desses atributos podem ser feitas diretamente no solo pois é o meio mais manipulável pelo homem, tanto no aspecto físico, quanto no químico (FAQUIN, 2005). O entendimento sobre a variação de atributos de um solo e seu controle são importantes para que seja possível produzir plantações de maior qualidade.

2.1.1 Formação do Solo

O Solo é uma superfície inconsolidada, representando o produto final do intemperismo das rochas, constituída por camadas que diferem pela natureza física, química, mineralógica e biológica. As características do solo são adquiridas lentamente à medida que os processos evoluem e as propriedades dinâmicas do solo são gradativas. Quando o solo é representado por rochas (Figura 1) não totalmente decompostas ele é chamado de manto de intemperismo ou de regolito (LEINZ; AMARAL, 1980).

O Intemperismo consiste na alteração física e química das rochas e seus minerais, sendo um importante agente no processo da formação dos solos, que se dá através da desagregação ou desintegração das rochas, sem haver alteração química. Neste processo

Figura 1 – Alteração do manto de intemperismo e a formação do solo



Fonte: Figura de [Popp \(2017\)](#).

é causado fragmentação da rocha em tamanhos cada vez menores, causando desgaste e formando a matéria mineral do que conhecemos como solo. O Intemperismo ajuda a explicar o motivo ao qual solos de uma mesma região geralmente apresentem características minerais semelhantes, porém, outros atributos podem apresentar certa variância com relação a amostras distanciadas geograficamente e/ou temporalmente. Esta variabilidade se deve ao ambiente, do ponto de vista pedogenético, ela ocorre a partir da combinação de processos de formação de caráter físico, químico e biológico, tais fatores são:

- **Adição:** Todo objeto externo que entra no corpo do solo, podendo vir através de compostos orgânicos, componentes minerais, erosão, ou pela água do lençol freático.
- **Perda:** Tudo o que sai do corpo do solo, podendo ser originada por erosões ou queimadas e até mesmo por lixiviação.
- **Translocação (transporte):** Tudo o que é transportado dentro do corpo do solo, podendo ser por processos seletivos (migração de argila), ou por processos não seletivos (transporte por formigas, etc.).
- **Transformação:** Transformação sofrida por minerais que são constituídos a partir do material de origem, podendo originar minerais secundários.

De maneira genérica, os solos são constituídos de matéria mineral, matéria orgânica, umidade e ar. O solo apresenta determinados atributos físicos e químicos de acordo com a sua constituição, apesar da quantidade massiva de combinações que possam existir, os solos podem ser caracterizados mediante a determinadas características que apresentam.

2.1.2 Tipos de Solos

Os tipos de solos podem variar de acordo com sua posição geográfica, sendo formados por resultados de produtos físicos, químicos e biológicos. Dependendo de seus atributos físicos, químicos e morfológicos eles podem ser classificados. No território nacional, em aproximadamente 70%, predominam os Latossolos, Argissolos e Neossolos (SANTOS *et al.*, 2018). Em especial, os Latossolos são um tipo de solo que não contraem ou expandem com a umidificação e o ressecamento do solo, apresentam alta capacidade de infiltração, que os protegem da erosão, porém possui fertilidade baixa devido a fraca troca de cátions (POPP, 2017).

Os Latossolos são predominantes no bioma Cerrado (região que apresenta a maior atividade agrícola nacionalmente), apesar de apresentarem restrições de ordem química (SOUZA; PAZ, 2007) devido a suas propriedades físicas mencionadas, aliados à topografia suavizada (RESCK; PEREIRA; SILVA, 1991), apresentam elevado potencial ao desenvolvimento de uma agricultura altamente tecnificada.

2.2 Agricultura de Precisão (AP)

Segundo Molin (2017), a AP originou-se devido a gestão da variabilidade espacial e temporal de atributos do solo nas lavouras, sendo um grande desafio que a agricultura precisa perseguir no século XXI, motivado pelo espaço para melhora das técnicas praticadas hoje, assim, especializando os conceitos que se utiliza na condução das lavouras. Uma definição técnica dada por Srinivasan (2006): AP é uma estratégia ecológica e holística, em que os produtores podem aplicar diferentes métodos de cultivo e uso de insumos diversos, em distintas regiões do campo de acordo com as variações nas propriedades do solo. Essas estratégias são praticadas em diferentes níveis de complexidade, em diferentes abordagens, sendo caracterizado por etapas de coleta de dados e gerenciamento da informação. No Brasil, é predominante a prática de gerenciamento de adubação/fertilização, onde é realizada a calagem, gessagem, e fertilização NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) a taxas variáveis de acordo com a amostragem do solo divididos por talhões, proporcionando a economia do uso de insumos e aumentando a produtividade das culturas (MOLIN, 2017).

A prática de AP possui inúmeras vantagens em relação ao sistema convencional de manejo. Na forma tradicional, os fertilizantes e insumos são aplicados igualmente em toda área, com base em uma amostragem média dos talhões, ou até mesmo para toda a área da propriedade rural, diferentemente do que ocorre na AP, onde são levantadas diversas informações georreferenciadas para a tomada de decisão.

Assim o entendimento sobre os complexos relacionamentos entre as propriedades do solo e fatores ambientais geram dados úteis para um melhor manejo da plantação agrícola (pois abrange a produção de grãos, cereais, pecuária, flores, floresta etc.), permitindo

aplicar somente os fertilizantes e insumos necessários em determinadas áreas, gerando a melhora em quantidade e qualidade na produção agrícola.

Como resultado direto há a economia financeira em relação aos insumos, melhoria das atividades agrícolas e melhor segurança na tomada de decisão (GEBBERS; ADAM-CHUK, 2010). De acordo com Mendes (2018), ao adotar as práticas de AP em uma fazenda, é possível observar a redução dos custos de operação no campo em 11%, redução de custos com análise do solo em 37%, 19% de redução dos custos totais e um aumento do rendimento global das lavouras em 67%.

Segundo uma pesquisa realizada pela Embrapa (2020), 84% dos agricultores brasileiros já utilizam ao menos uma tecnologia digital como ferramenta de apoio na produção agrícola. Mais de 70% dos produtores rurais que responderam à pesquisa possuem acesso à internet, utilizando-a para interesses gerais sobre agricultura.

2.3 Redes

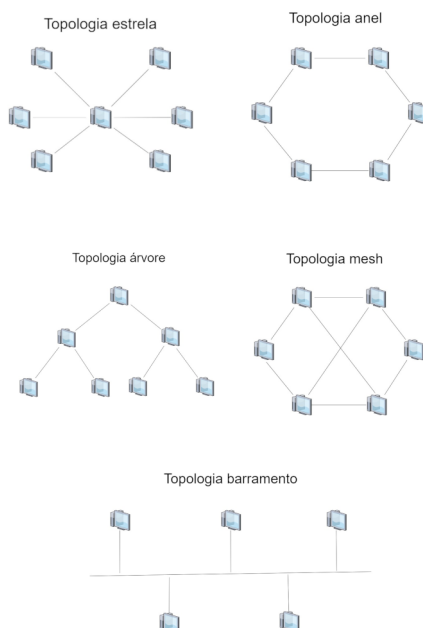
Uma rede pode ser definida como um conjunto de dispositivos, ou nós, conectados por *links* de comunicação, onde tais nós precisam estar conectados a outros de uma rede, além de poder ser qualquer tipo de dispositivo que possa enviar e/ou receber dados (FOROUZAN, 2008).

Apesar de tamanha extensão organizacional das redes, causada pela evolução nas tecnologias e conceitos utilizados no passar dos anos, estas podem ser caracterizadas distintamente de acordo com seus atributos, como sua topologia, tipos de conexões, categorias e modelos de rede, entre outros.

Dentro das diversas topologias de redes (Figura 2), esquema organizacional das conexões entre os dispositivos conectados à rede, vale expandir o conhecimento da topologia em árvore, que é base da rede proposta neste trabalho. Nesta topologia cada nós apresentam níveis hierárquicos, e seus *links* de comunicação são entre nós de um nível mais alto, ou um nível mais baixo, na Figura 2, a topologia em árvore pode ser analisada como uma topologia aonde cada nó só pode se comunicar com um outro nó que está acima ou múltiplos abaixo dele, e nunca se comunica com os de mesmo nível. É necessário ter no mínimo três níveis para ser considerado uma topologia em árvore (SOSINSKY, 2009). Visualmente, caso um nó não tenha nenhuma conexão com um outro de nível mais alto, implica em este ser o de nível mais alto da rede.

Os *links* de conexão podem ser físicos (cabeados) ou sem fio, há muitas diferenças entre ambos, apesar de ser mais difícil a realização de uma comunicação sem fio entre equipamentos, por envolver fatores do ambiente em que o equipamento está presente, redes sem fio são extremamente populares comercialmente por não haver conexão física entre

Figura 2 – Topologias de Rede



Fonte: Figura adaptada de [Forouzan \(2008\)](#).

Nodos, evitando a necessidade de ter equipamentos fixos, gerando assim *Nodos* com maior mobilidade geográfica ([SARANGAPANI, 2019](#)).

Dentro de uma rede, muitos sistemas distintos se comunicam, isso é possível, sem que os sistemas tenham de realizar mudanças de lógica de hardware ou software de cada um deles, graças a utilização de modelos e protocolos de comunicação, que são organizados em camadas, cada uma apresenta conjuntos de funcionalidades coerentes aos componentes de comunicação que ela simboliza, visando uma arquitetura abrangente e flexível de rede.

Quando o modelo OSI (7 camadas) e o conjunto de protocolos TCP/IP (4 camadas), predominam o cenário acadêmico e o cenário comercial, respectivamente, podem ser comparados seguindo a comparação apresentada na Tabela 1 ([FOROUZAN, 2008](#)). O protocolo LoraWan, base para o protocolo da RSSF proposta, que será melhor explorado na Seção 2.3.2, apresenta camadas que podem ser classificadas como a camada de enlace e rede do modelo OSI.

2.3.1 Redes de Sensores Sem Fio

Redes de Sensores sem Fio, ou RSSF, tem como objetivo a coleta de dados físicos de ambiente, pode apresentar distintas organizações, topologias e tecnologias de acordo com os requisitos presentes sobre a coleta dos dados. A rede pode ser composta inteiramente

Tabela 1 – Quadro comparativo das camadas do modelo OSI com os protocolos TCP/IP

OSI	TCP/IP
Camada física	Camada host-rede
Camada de enlace de dados	Camada host-rede
Camada de rede	Camada de internet
Camada de transporte	Camada de transporte
Camada de aplicação	Camada de aplicação
Camada de sessão	Camada de aplicação
Camada de apresentação	Camada de aplicação

Fonte: Tabela adaptada de [Forouzan \(2008\)](#).

de *Nodos*¹ sensores, que podem exercer tanto o papel de envio de dados ou coleta de dados dependendo da organização da rede, podem conter *Gateways* também, equipamentos exclusivos de transmissão de dados, gerenciando a comunicação entre os *Nodos* e um servidor.

Segundo [Akyildiz et al. \(2002\)](#), apesar das diferentes características que uma rede pode ter, um *Nodo*, fundamentalmente falando, é composto por unidade de processamento, de transmissão de dados, de sensoriamento e de alimentação.

Há certas limitações e preocupações no projeto da rede que caracterizam uma RSSF:

- **Tolerância a falhas:** Geralmente não há facilidade de acesso aos *Nodos*, assim, no caso de falhas em um ou mais *Nodos*, a rede não pode ficar inoperante.
- **Escalabilidade:** Deve haver a possibilidade de crescimento da rede, para comportar novos *Nodos*.
- **Custo de produção:** Pode ser numeroso a quantidade de *Nodos* em uma rede, por isso é desejável evitar um custo muito alto de produção para cada nó.
- **Ambiente de operação:** Define tecnologias e características da rede que podem e/ou devem ser utilizadas e implementadas.
- **Topologia:** É um fator muito importante pois, sua escolha, influencia diretamente na escalabilidade da rede, assim como no protocolo de comunicação.
- **Limitações de hardware:** Geralmente os controladores dos *Nodos* apresentam um poder computacional limitado, sendo capaz de limitar certas operações que um *Nodo* possa vir a querer realizar.

¹ Apesar de não haver distinção no uso do termo “*Nodos*” e “*nós*” nos conceitos de redes, para este trabalho o termo “*nós*” será usado com a definição de “dispositivo conectado à rede” e o termo “*Nodos*” se destina a definição de componente da RSSF, assim, neste caso, todo *Nodo* é um nó, mas nem todo nó é um *Nodo*.

- **Meio de transmissão:** Dependem do meio de operação e o raio de operação desejado para cada *Nodo*, mas o meio de transmissão influencia na escolha das tecnologias de transmissão que vão vir a ser utilizadas, que por sua vez, têm influência no consumo energético.
- **Consumo energético:** A alimentação de um *Nodo* utilizando a rede elétrica nem sempre é possível neste tipo de rede, fazendo com que a alimentação de *Nodos* geralmente seja feita por baterias. Unido ao fato do acesso a um *Nodo* ser dificultado pela natureza da problemática a ser resolvida, o consumo energético deste é uma das principais preocupações no projeto de um *Nodo*, tendo então como objetivo um menor consumo energético ainda sendo capaz de operar de maneira satisfatória.

2.3.2 Comunicação

A transmissão de dados na rede é um fator muito importante, que pode depender do ambiente de operação do *Nodo* e da distância entre os nós da rede, e é limitado pelo consumo energético, desta maneira não há uma tecnologia ou protocolo de transmissão que seja a melhor para todos os projetos de RSSF, porém, neste trabalho será apresentado peculiaridades de algumas delas, que em algum ponto foram estudadas para a escolha da tecnologia que a RSSF proposta deveria usar.

2.3.2.1 Bluetooth

Apesar de a Tabela 2 indicar uma rede bluetooth como P2P, atualmente há a possibilidade de implementar redes Mesh com o bluetooth (nós da rede podem ter múltiplos *links* com diversos outros nós da rede, como na Figura 2), por apresentar o modo Low Energy sua utilização para RSSF's se torna possível. Há a possibilidade de se estruturar a rede para aumentar o alcance da comunicação por Bluetooth, porém sua distância continua relativamente pequena pouco mais de um quilômetro², unido a sua confiabilidade no mercado, redes de BLE(Bluetooth Low Energy) tem sido implementados principalmente no cenário industrial e domiciliar³.

2.3.2.2 LoRa

LoRa é uma técnica de modulação de ondas de radiofrequência que permite um alcance muito grande com um consumo energético baixo em troca de uma baixa taxa de transmissão de dados⁴. O uso e implementação do LoRa é feito principalmente utilizando o protocolo aberto LoRaWan, sendo caracterizado como uma rede LPWAN. Uma rede

² <<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/bluetooth-technology/range/>>

³ <<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/markets/>>

⁴ <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>

deste tipo é geralmente implementado com uma topologia em estrela estendida, *singlehop*, composto de *Nodos*, *Gateways* e um servidor central de operação (LORA ALLIANCE, 2018). Sua utilização vem crescendo, mas como é relativamente recente, ainda está em processo de se estabelecer no mercado, o que implica em ter casos de uso não explorados em seu máximo.

2.3.2.3 ZigBee

É uma das principais tecnologias referentes à RSSFs, utilizado mundialmente, otimizado para uma implementação de rede Mesh com *multihop*⁵, porém seu alcance é reduzido se comparado com outras topologias de rede. No cenário nacional, a implementação a nível comercial é um tanto dificultada pelo preço de revenda de seus módulos, o que é uma preocupação no desenvolvimento de RSSF já que a rede pode ter uma grande quantidade de dispositivos conectados, onde cada um necessitaria de um módulo ZigBee de comunicação.

2.3.2.4 nrf24(Wifi)

Apresenta uma implementação com pequeno custo, por utilizar o padrão Wifi de comunicação, apresenta grande flexibilidade para implementação em diversas topologias, com alcance médio de até um quilômetro, esta série de módulos (nrf24), pode ser utilizado com o protocolo ANT (CHRIST et al., 2011), assim não apresenta a desvantagem do consumo energético alto como o indicado na Tabela 2, mas sua desvantagem se torna o baixo alcance nesse tipo de implementação.

Tabela 2 – Quadro comparativo de tecnologias de comunicação

	Bluetooth(BLE)	Zigbee	Wifi	LoRa
Padrão	IEEE 802.15.1 <i>IoT Interconnect</i>	IEEE.15.4	IEEE 802.11 ah	IEEE 802.15g
Tipo de rede	P2P	Mesh	WLAN	LPWAN
Consumo energético	10mW	30mA TX1, Standby 3# 956; A (baixo)	400+mA TX1 Standby 20mA (alto)	Muito baixos
Taxa de dados	1Mbps	0.25Mbps	Mínimo 0.15Mbps	0.25Mbps
Alcance	0.035km	0.010-0.100km	1km	100km
Faixa de operação	2.5GHz	2.4GHz	2.4-5GHz	868-915MHz

Fonte: Tabela adaptada e traduzida de Rehman et al. (2016).

⁵ <<https://www.ti.com/wireless-connectivity/zigbee/overview.html>>

Na mesma categoria de rede que o LoRaWan, há as tecnologias sigfox e NB-IoT, populares internacionalmente, porém elas não foram citadas acima pelo fato de que suas especificações técnicas são relativamente similares ao Lora, com exceção da cobertura e técnica de modulação de dados. Outro fator para a falta de extensão na descrição de ambas as tecnologias é por terem sido descartados como escolha tecnológica para a RSSF proposta, já que, o NB-IoT trabalha em espectro de radiofrequência licenciado (GSMA, 2016), já o sigfox necessita de infraestrutura já instalada para comunicação de dispositivos com servidores, atualmente apresentando baixa cobertura, ou nenhuma, em áreas de baixa densidade populacional do Centro Oeste Brasileiro⁶, local de desenvolvimento e testes. Além de apresentar um modelo de negócios que não condiz com a implementação desejada⁷.

Mediante ao quadro comparativo na Tabela 2, as informações acima e a problemática a ser resolvida pela proposta da rede, foi escolhido a tecnologia LoRa para comunicação entre *Nodos* e *Gateways* na rede. Vale ressaltar que, o protocolo utilizado neste tipo de comunicação não é o LoRaWan, mas sim um protocolo baseado nele, que foi criado especificamente para este trabalho, devido ao modelo de hardware para *Gateways* utilizado no protótipo, que não se assemelha às especificações necessárias para implementação plena do protocolo LoRaWan.

2.4 Trabalhos Relacionados

Esta seção traz informações acerca de trabalhos correlatos e, dentre eles, temos citações referentes à técnicas de AP e implementações de estruturas e protocolos em RSSFs. A ciência de tais trabalhos relacionados, que apresentam características similares à rede aqui proposta, torna possível traçar similaridades e defender as escolhas realizadas no desenvolvimento do projeto.

No trabalho de Tavares et al. (2016), são testados a análise laboratorial tradicional de solo e a obtenção dos dados de atributos do solo a partir do uso de espectroscopia de reflectância do equipamento Vis-NIR da Veris Technologies, relatando a boa acurácia dos dados obtidos com o equipamento sensor para a determinação dos elementos K, Ca e Mg no solo. Oliveira et al. (2018) relata a acurácia de sensores de eletrodos íon-seletivos, do equipamento Vis-MSP da Veris Technologies, a partir de uma determinada faixa de umidade do solo. Ambas as citações neste parágrafo ajudam na percepção de que os dados obtidos eletronicamente são uma possível alternativa à utilização de exames laboratoriais, salvo a sua acurácia que depende da própria confiabilidade do método e do equipamento de coleta de dados. Assim podemos relacionar que os dados que serão obtidos na rede proposta terão sua confiabilidade definida pela própria confiabilidade dos sensores atribuídos a ela.

⁶ <https://www.sigfox.com/en/coverage>

⁷ <https://build.sigfox.com/sigfox>

Outro tipo de tecnologia utilizado na AP, é o uso de sensores conectados através de uma rede (RSSF), podendo monitorar vários aspectos do ambiente agrícola, oferecendo recursos para controle, monitoramento e transmissão de dados. Teruel et al. (2012) implementa uma RSSF em uma casa de vegetação e analisa seu desempenho. Babusiak, Smondrk e Borik (2019) implementa uma rede em pequena escala com topologia em estrela para a coleta de temperatura e umidade utilizando nrf24. Apesar de, como mostrados nos trabalhos, a implementação de uma RSSF na área agrícola é geralmente em pequena escala e não são focados na coleta de dados do solo, o que difere do proposto neste trabalho, os trabalhos citados ajudam a entender fatores e desafios que influenciam no projeto de uma RSSF.

As RSSFs podem ser implementadas utilizando diversas topologias, além de apresentar diversas características distintas baseadas em seus requisitos, apesar disto os desafios básicos citados na Seção 2.3.1, estão presentes. Babusiak, Smondrk e Borik (2019) implementa uma RSSF com topologia em estrela usando nrf24(Wifi), enquanto Oliveira (2013), implementa e testa uma RSSF em mesh usando ZigBee. Verona (2010), testa diversas topologias e configurações de rede a partir de critérios de consumo energético, perda de pacotes e tempo de atraso. As considerações sobre desempenho e requisitos da rede presentes nos trabalhos citados neste parágrafo influenciaram na escolha da topologia, assim como, a tecnologia de comunicação utilizadas neste trabalho, visando o melhor manejo dos requisitos da rede.

No trabalho de Raber et al. (2013) são comparados os protocolos hierárquicos Leach e Leach-c, protocolos de roteamento dentro de uma RSSF que separam os *Nodos* de rede em *clusters*, com um *Nodo* como líder, em questão de desempenho e tempo de vida na rede. Apesar de nenhum dos dois protocolos citados terem sido utilizados, a fundamentação e os resultados do trabalho citado ajudaram na determinação de algumas características da rede para compensar a carga de trabalho do líder, como a separação de equipamentos em *Nodo* e *Gateway*.

3 Desenvolvimento

Esta seção descreve o funcionamento da rede proposta e o desenvolvimento dos componentes da mesma. Para uma maior compreensão, segue a subseção de Organização e Funcionamento da Rede (Seção 3.1), que explicita as características da rede proposta para este trabalho, sua leitura é recomendada para o entendimento da subseção posterior, o Desenvolvimento do protótipo (Seção 3.2), que descreve os materiais utilizados para cada componente da rede, suas operações e a montagem do protótipo.

Ao projetar um sistema computacional, segundo as diretrizes de engenharia de software Pressman (2011), certos requisitos, definidos a partir da problemática, dos recursos do projeto e das características que a solução deve ter, devem ser considerados para o projeto de um bom sistema.

Para o projeto da rede foi considerado seu objetivo que, descrito anteriormente na Seção 1, é recolher dados do solo de uma produção agrícola. Devido a escala de tamanho que uma produção agrícola têm, além da variabilidade de atributos do solo em função de tempo e espaço, a proposta é coletar os dados entre pontos com certas distâncias geográficas mínimas e com determinada frequência de tempo. Com as informações acima, junto ao fato de ser bem difícil o acesso à rede elétrica na área de coleta de dados, uma solução aplicável seria o desenvolvimento de uma RSSF.

3.1 Organização e Funcionamento da Rede

A RSSF proposta coleta dados dentro de um determinado raio de operação em uma única área geográfica, sendo uma topologia em árvore (quando implantados múltiplos equipamentos). Os equipamentos são separados em *Nodos*, *Gateways* e servidor, onde muitos *Nodos* se comunicam com um único *Gateway*, e muitos *Gateways* se comunicam com um servidor.

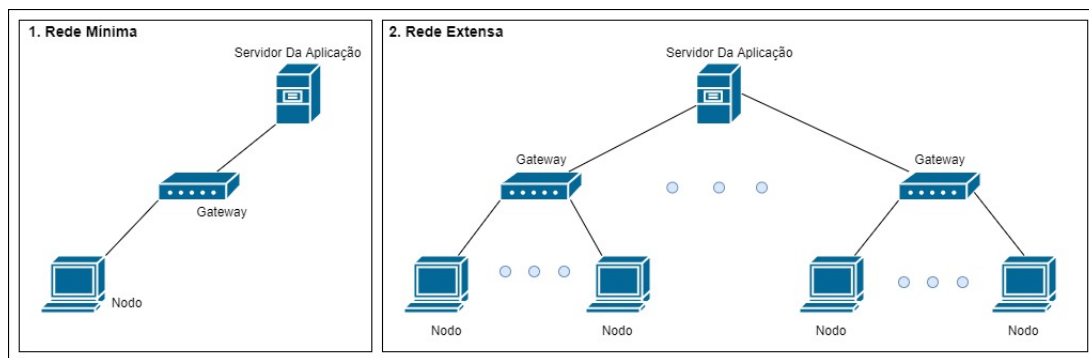
As trocas de mensagens são síncronas, no caso do *Gateway* ao servidor é realizado a partir de requisições *HTTP POST*, a troca de mensagens do *Nodo* a um *Gateway* é realizado por LORA, seguindo a formatação de $CO + DA + OA + payload$, onde *CO* é o código de operação, indica se a mensagem é um pedido de inserção na rede, envio de dados ou então resposta a uma outra mensagem, *DA* é o *Destiny Address*, ou seja o endereço destino, *OA* é o *Origin Address*, ou seja endereço destino, e o *payload* refere-se aos dados que a mensagem deseja transmitir.

Os *Nodos* apresentam sensores para a coleta dos dados que são transmitidos ao *Gateway*, o *Gateway* tem o papel de receber os dados dos sensores e enviá-los ao servidor

responsável pela operação desta rede. Devido às distâncias espaciais, a comunicação entre *Nodo* e *Gateway* é feita utilizando tecnologia LoRa (Seção 2.3.2.2), e a comunicação entre *Gateway* e servidor utiliza TCP/IP via WiFi, para a identificação, na troca de mensagens, é utilizado um sistema de endereçamento baseado na identificação do controlador de cada *Nodo* e *Gateway*.

A rede pode ser composta de uma sub rede até o conjunto de diversas sub redes, onde cada uma é definida por um conjunto de um *Gateway* para um *Nodo*, Figura 3.

Figura 3 – Composição da Rede



Fonte: Imagem de autoria própria.

O funcionamento da rede pode ser expresso pelos eventos dos componentes da rede em seu primeiro ciclo de operação, como são descritos nas Tabelas 3, 4 e 5, seguindo uma ordem cronológica, considerando que os eventos tiveram resoluções bem sucedidas.

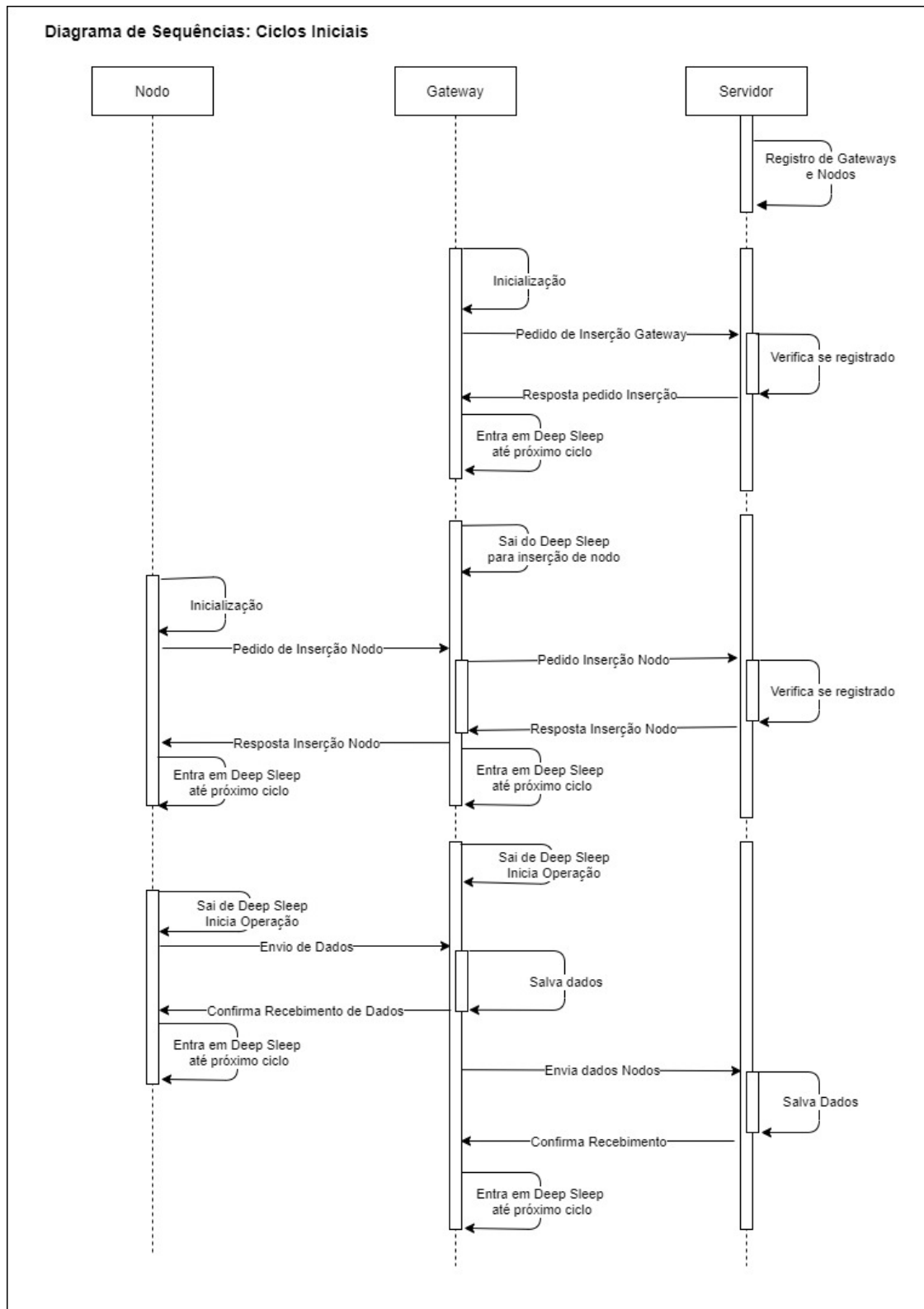
Para uma melhor visualização do funcionamento da rede, a Figura 4 apresenta um diagrama de sequência dos eventos da rede, explicitando uma ordem cronológica e causal entre as funções dos componentes da rede.

3.2 Desenvolvimento do Protótipo

Esta seção é destinada a uma descrição mais detalhada referente aos componentes da rede. Há subseções referentes a cada componente da rede (*Servidor*, *Gateway* e *Nodo*) onde apresentam informações dos materiais, operações e desenvolvimento desses componentes.

Sobre os materiais utilizados, deve ser observado que o componente ESP32, não está devidamente energizado, está sendo utilizado uma alimentação de 3,9V a 4,2V na entrada de 5V da placa, segundo seu *datasheet* a voltagem deveria ser de 4,7V até 6V. O ideal seria converter a tensão de alimentação para 3,3V e utilizar a entrada de 3,3V, porém os componentes para a montagem de um conversor não foram adquiridos em tempo para a execução da montagem do protótipo. Por segurança, foi escolhido operar o equipamento em uma voltagem menor que a ideal, ao invés de tentar operar em uma tensão acima da

Figura 4 – Diagrama de Sequências: Primeiros Ciclos



Fonte: Imagem de autoria própria.

Tabela 3 – Eventos do *Nodo*

Evento	Descrição
1. Inicialização	<i>Nodo</i> é ligado no primeiro ciclo de operação, o <i>Nodo</i> inicializa suas bibliotecas e verifica o funcionamento dos sensores e módulos ligados a ele.
2. Pedido de inserção na rede	Após inicializado, envia uma mensagem pública via LoRa para que qualquer <i>Gateway</i> possa retransmitir o pedido ao servidor, pedindo sua inserção na rede.
3. Inserção na rede	Se o pedido de inserção for respondido indicando que a operação foi bem sucedida, significa que o <i>Nodo</i> foi inserido a rede, assim armazena o endereço do <i>Gateway</i> que o respondeu e seus horários de operação, para troca de mensagens futuras.
4. Esperar até horário de operação	O <i>Nodo</i> calcula o tempo até o próximo ciclo de operação do <i>Gateway</i> e então entra em modo <i>Deep Sleep</i> (modo de economia de energia).
5. Inicia operação	Dentro do horário de operação do <i>Gateway</i> , o <i>Nodo</i> sai do <i>Deep Sleep</i> e recolhe os dados dos sensores ligados a ele.
6. Envio de dados	Envio dos dados recolhidos ao <i>Gateway</i> .
7. Fim da operação	Assim que o <i>Gateway</i> confirma o recebimento dos dados, é calculado novamente o tempo até um próximo ciclo de operação do <i>Gateway</i> e entra no modo <i>Deep Sleep</i> , assim os eventos 5 e 6 vão se repetindo enquanto o <i>Nodo</i> estiver em funcionamento.

Fonte: Tabela de autoria própria.

máxima da entrada. A operação abaixo da mínima pode acarretar alguns problemas que podem estar relacionados a alguns comportamentos observados na Seção 4.

Os códigos do protótipo se encontram nos seguintes repositórios:

- **Front-end Aplicativo Web:** <<https://github.com/Kojji/TCC-Frontend>>
- **API:** <<https://github.com/Kojji/TCC-Backend>>
- ***Nodo* e *Gateway*:** <<https://github.com/Kojji/TCC-Equipamentos>>

3.2.1 *Nodo*

A composição de um *Nodo* (Figura 5) pode ser expressa pela presença dos blocos: Controlador, comunicação, Coleta de dados e Alimentação. A função principal deste componente é a coleta de dados e envio ao *Gateway*. Eletronicamente, este equipamento é composto dos materiais listados na Tabela 6, e montados segundo o circuito elétrico presente na Figura 6.

Tabela 4 – Eventos do *Gateway*

Evento	Descrição
1. Inicialização	<i>Gateway</i> é ligado no primeiro ciclo de operação, o <i>Gateway</i> inicializa suas bibliotecas e se conecta a uma rede WiFi.
2. Pedido de inserção na rede	Após inicializado, envia uma requisição HTTP para o servidor, pedindo para que seja inserido a rede.
3. Inserção na rede	Se o pedido de inserção for respondido como bem sucedido, o <i>Gateway</i> armazena os horários de operação e as durações que deve seguir.
4. Esperar até horário de operação	O <i>Gateway</i> calcula o tempo até seu próximo ciclo de operação e então entra em modo Deep Sleep.
5. Processa interrupção para inserir no <i>Nodo</i>	Uma interrupção pode ser acionada via hardware para que o <i>Gateway</i> saia do modo Deep Sleep por determinado tempo, com o objetivo de inserir novos <i>Nodos</i> , caso eles forem instalados fora do horário de operação do <i>Gateway</i> .
6. Inserção de <i>Nodo</i>	Se receber um pedido de inserção na rede de um <i>Nodo</i> , envia uma mensagem ao servidor, se o servidor confirmar a inserção do <i>Nodo</i> a rede, o <i>Gateway</i> responderá a mensagem de inserção ao <i>Nodo</i> .
7. Esperar até horário de operação	Assim que terminar o tempo definido pela interrupção, o <i>Gateway</i> verifica se está em tempo de operação, caso não esteja, calcula o tempo até o próximo ciclo de operação e entrará em modo Deep Sleep.
8. Inicia operação	Dentro do horário de operação, o <i>Gateway</i> sai do Deep Sleep.
9. Resposta a dados recebidos	Enquanto estiver operante no tempo de duração do ciclo, pode receber e armazenar dados dos <i>Nodos</i> e realizar inserções de <i>Nodos</i> na rede, se for realizado um pedido enviará respostas aos <i>Nodos</i> para cada inserção bem sucedida ou dado recebido.
10. Envio de dados	Ao final de cada ciclo de operação, ou se armazenar certa quantidade de dados dos <i>Nodos</i> , o <i>Gateway</i> enviará as informações armazenadas para o servidor.
11. Fim da operação	Quando acabar o tempo de duração do ciclo de operação, o <i>Gateway</i> calcula o tempo até o próximo ciclo e entra em modo Deep Sleep, assim, os ciclos se repetem com os eventos 8 e 9, a menos que haja interrupção para inserção de <i>Nodos</i> , que percorre dos eventos 5 ao 7 antes do evento 8.

Fonte: Tabela de autoria própria.

3.2.1.1 Materiais

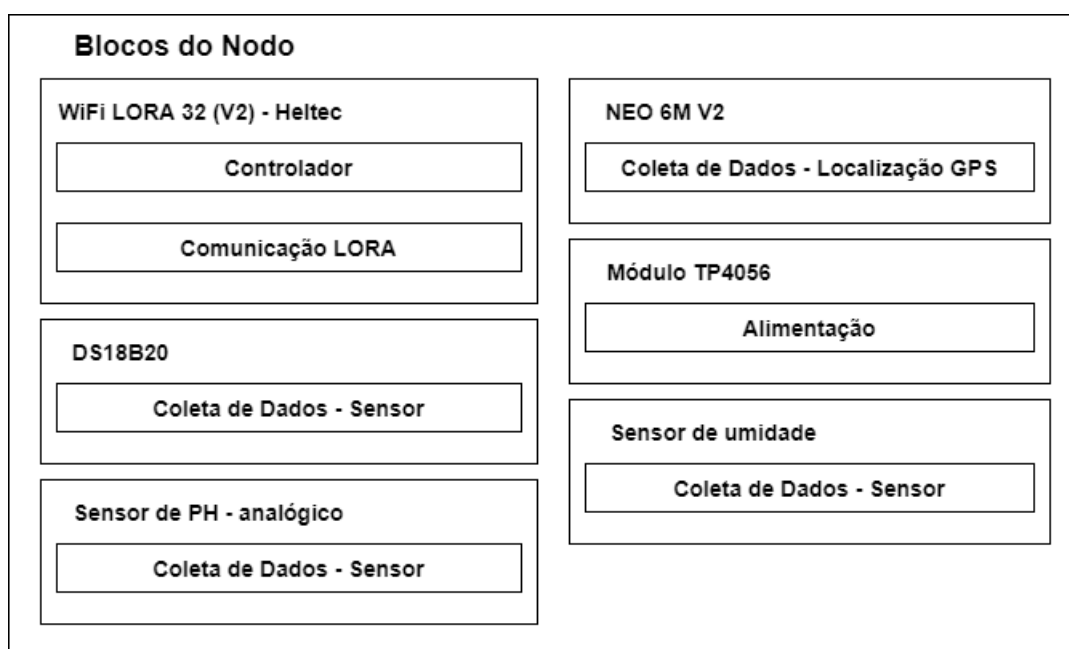
Os materiais utilizados para a montagem deste equipamento são, os componentes listados na Tabela 6, em que foram montados seguindo o circuito elétrico na Figura 6, seu código, que integra os componentes físicos às operações desejadas dentro da rede, foi desenvolvido no Arduino IDE, e está presente no repositório¹ indicado na Seção 3.2 .

¹ <<https://github.com/Kojji/TCC-Equipamentos>>

Tabela 5 – Eventos no Servidor

Evento	Descrição
1. Registro de <i>Gateways</i> e <i>Nodos</i>	Para que um <i>Nodo</i> ou um <i>Gateway</i> seja inserido na rede, primeiro este deve ser registrado no servidor, em especial no registro do <i>Gateway</i> é onde deve ser indicado os horários e durações dos ciclos de operação.
2. Inserção de <i>Gateway</i>	Ao receber um pedido de inserção de <i>Gateway</i> na rede, o servidor verifica se este está registrado e então, caso esteja, responde a requisição de inserção na rede com os horários e durações dos ciclos de operação.
3. Inserção de <i>Nodo</i>	Ao receber um pedido de inserção de <i>Nodo</i> na rede, o servidor verifica se este está registrado e então, caso esteja, responde a requisição de inserção na rede.
4. Recebimento de dados de sensores	Ao receber os dados dos sensores o servidor os armazena e envia a confirmação de recebimento ao <i>Gateway</i> .

Fonte: Tabela de autoria própria.

Figura 5 – Principais componentes do *Nodo*

Fonte: Imagem de autoria própria.

3.2.1.2 Operações

Esta subseção descreve melhor o comportamento do *Nodo* segundo o diagrama apresentado na Figura 4 e o circuito elétrico utilizado (Figura 6).

Tabela 6 – Componentes eletrônicos do *Nodo*

Componente	Descrição
1. WiFi LORA 32 (V2)	Esp32 da Heltec, controlador do equipamento, é responsável por gerenciar o envio e recepção de dados, coleta de dados e horários de operação.
2. NEO 6M V2	Módulo GPS para aquisição de horário e localização global.
3. Painéis solares	2 painéis solares de 5 v, 300 mA para fornecer energia ao "TP4058".
4. TP4058	Módulo de gerenciamento de carga para bateria, gerenciando a alimentação do controlador e carregamento da bateria por energia solar.
5. bateria lítio 3,7v	Armazena energia elétrica para uso ou carga gerenciada pelo "TP4058", fornecendo 8800 maH e 3,7v, chegando até 4,2v com carga total.
6. DS18B20	Sensores de temperatura no solo, utilizados 2 para medição aos 20 cm e 40 cm de profundidade no campo.
7. Sensor de umidade	Sensores de umidade no solo, utilizados 2 para medição aos 20 cm e 40 cm de profundidade no campo.
8. Sensor de pH analógico	Sensor de pH no solo, utilizado para medição aos 20 cm de profundidade no campo.
9. Resistores	Resistores de <i>pull down</i> de 10k para os sensores de umidade e pH e resistores de 4,7k para o sensor de temperatura.

Fonte: Tabela de autoria própria.

Pedido de Inserção na Rede

Ao ser inicializado, o *Nodo* verifica se está em sua primeira operação ou se está operando após sair do modo *Deep Sleep*, caso esteja em seu primeiro ciclo, a localização do equipamento é adquirida através do módulo GPS ligados nos pinos 12 e 13 , verifica se os sensores ligados a ele estão funcionando e então envia um pedido de inserção via LoRa, ao receber uma resposta (indica que a inserção foi bem sucedida), o endereço de origem da resposta e os horários de operação são armazenados em arquivo para uso futuro.

No caso da falha na inserção na rede, o equipamento entra no modo *Deep Sleep* por tempo pré determinado e tenta realizar o pedido de inserção novamente.

Leitura e Envio de Dados dos Sensores

Dentro de um ciclo de operação, os dados dos sensores de temperatura, conectados no pino 17), pH, conectado no pino 36 e umidade, ligados nos pinos 38 e 39, são coletados e enviados ao *Gateway* destino via LoRa. No caso de sucesso, o equipamento calcula o tempo até o próximo ciclo de operação e então entra no modo *Deep Sleep*. Na falha, mais duas tentativas são realizadas, se ainda assim não houver uma resposta o equipamento reinicia para pedir a inserção na rede novamente.

Próximos Ciclo de Operações

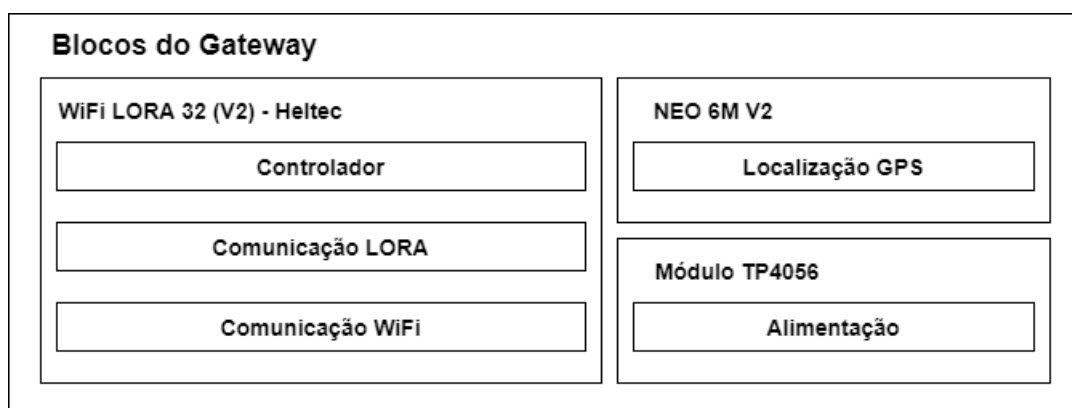
Ao Inicializar um novo ciclo de operação, ou seja, na inicialização foi detectado que o controlador saiu do modo *Deep Sleep*, é verificado o arquivo de configuração do *Nodo* (arquivo gerado na inserção na rede), na presença dele o equipamento segue a operação normalmente, efetuando a leitura dos dados de sensores e envio ao *Gateway*. Se o arquivo de configuração não estiver presente, é feito o pedido de inserção na rede.

3.2.2 Gateway

Para um *Gateway*, Figura 7, há menos componentes comparado a um *Nodo*, já que não precisa coletar dados de sensores, porém sua carga de trabalho é relativamente maior. Sua função principal é permitir a comunicação entre os *nodos* com o servidor, por isso, para se comunicar com os *Nodos* utiliza troca de mensagens por LoRa, e para se comunicar com o servidor utiliza de requisições HTTP enviados via WiFi.

Inicialmente foram realizados testes para a utilização de GSM, através do módulo SIM800L, ao invés de WiFi, porém seu funcionamento foi bastante instável para este trabalho, onde a conexão com a rede GSM na maioria das vezes não foi realizada. Não foi possível determinar a real causa deste problema, porém se a implementação fosse bem sucedida, possibilitaria que o *Gateway* fosse instalado no campo junto aos *Nodos*. Como a coleta de dados pelos *Nodos* e o envio deles ao *Gateway*, é considerado o foco principal deste trabalho, a implementação de uma outra tecnologia para substituir o WiFi será feita no futuro.

Figura 7 – Principais componentes do *Gateway*



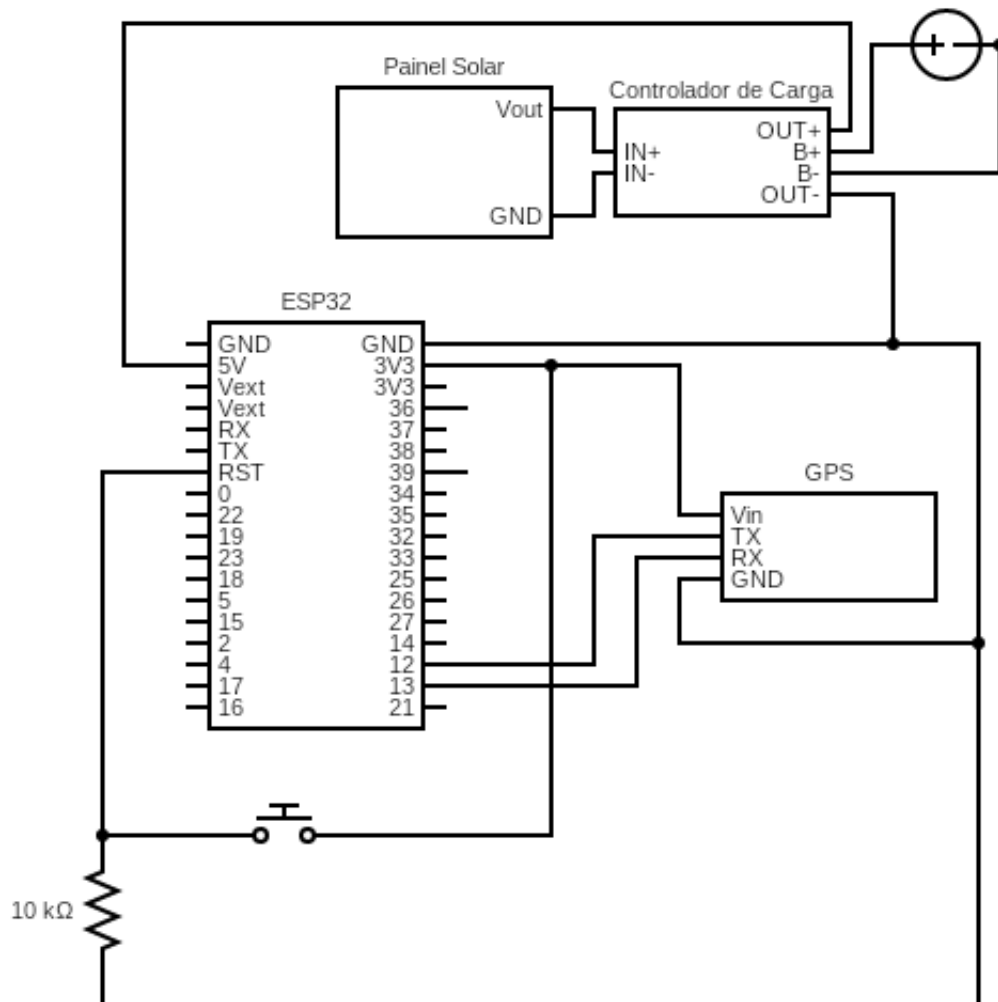
Fonte: Imagem de autoria própria.

3.2.2.1 Materiais

Esquemáticamente, o circuito utilizado está presente na Figura 8, onde os componentes estão listados na Tabela 7. Seu código foi desenvolvido no Arduino IDE, e está

presente no repositório² indicado na Seção 3.2 .

Figura 8 – Circuito do *Gateway*



Fonte: Imagem de autoria própria.

3.2.2.2 Operações

Como expresso na Figura 4, esta subseção descreve melhor o comportamento do *Gateway* dentro de seus principais eventos.

Identificação na Rede e no Servidor

Da mesma maneira que a Identificação de um *Nodo* é feita, o *Gateway* utiliza de seu endereçamento único (identificação do chip) para gerar um endereçamento de 12 dígitos usados na rede.

² <<https://github.com/Kojji/TCC-Equipamentos>>

Tabela 7 – Componentes eletrônicos do *Gateway*

Componente	Descrição
1. WiFi LORA 32 (V2)	Esp32 da Heltec, controlador, com módulos integrados de LORA, WiFi e tela OLED.
2. NEO 6M V2	Módulo GPS para aquisição de horário e localização global.
3. Painéis solares	2 painéis solares de 5 v, 300 mA.
4. TP4058	Módulo de gerenciamento de carga para bateria, gerenciando a alimentação do controlador e carregamento da bateria por energia solar.
5. Bateria lítio 3,7v	Principal componente de alimentação do controlador, fornecendo 4,2v com carga total e 8800 maH.
6. Resistor de 10k	Resistor de <i>pull down</i> para a chave que realiza a interrupção de <i>Wake up</i> para inserção de <i>Nodos</i> .
6. Chave táctil	Botão utilizado para gerar a interrupção externa para inserção de <i>Nodos</i> .

Fonte: Tabela de autoria própria.

Inicialização do Gateway (Primeiro Ciclo)

Ao início do primeiro ciclo em que o Gateway é inicializado, além da inicialização das bibliotecas gerais, tenta conectar com a rede WiFi, armazena o endereço do *Gateway* e então é realiza um pedido de inserção para o servidor via WiFi. Caso seja recebido a resposta informando o sucesso na inserção, o *Gateway* opera por um tempo determinado em que pode realizar inserções de *Nodos* se requisitados, após este tempo, entra em modo *Deep sleep* para suas próximas operações. No caso de falha nas configurações e conexão com WiFi, o controlador notifica através da tela OLED, o problema encontrado. Ao receber resposta do servidor de inserção falha (significa que o *Gateway* não está cadastrado no servidor), o Gateway notifica do problema através da tela OLED, e depois de determinado intervalo, pede a inserção novamente.

Pedidos de Inserção de Nodos

Enquanto em operação, ao receber uma requisição de inserção de um *Nodo*, o pedido é enviado via WiFi ao servidor, ao receber a resposta vinda do servidor, que pode ser bem sucedida ou não, o *Gateway* responde o *Nodo* sobre sua inserção na rede.

Recepção de Dados de Sensores

Durante o tempo de operação, o *Gateway* receberá dados dos *Nodos*, eles são armazenados em uma fila até o envio ao servidor. No caso de recepção de mensagens não destinadas ao *Gateway*, estas são simplesmente ignoradas.

Envio de Dados ao Servidor

O *Gateway* espera até que uma das condições sejam cumpridas, a fila de dados deve estar quase cheia, ou então se o tempo do último envio ultrapassou certo período (definido previamente), para que seja realizado o envio de dados ao servidor via WiFi. Se o envio for falho, a fila de dados é gerenciada para se manter dentro de seu limite de tamanho, eliminando as mensagens mais antigas obtidas.

Próximos Ciclo de Operações

Finalizado seu tempo de operação, o *Gateway* calcula a quantidade tempo até o início de seu próximo ciclo de operação e então entra em modo *Deep Sleep*. Ao início de um ciclo de operação o *Gateway* sai do modo *Deep Sleep*, e durante seu tempo de operação, aguarda as mensagens de *Nodos* e envia dados ao servidor, caso as condições descritas anteriormente tenham sido cumpridas.

3.2.3 Aplicação Web

Esta seção descreve o desenvolvimento da aplicação Web e seu funcionamento. A aplicação consiste de um *Front-end*, que permite a interação do usuário com a rede, e um *Back-end* (API), que apresenta funções de suporte às operações de rede e às operações realizadas no *Front-end*.

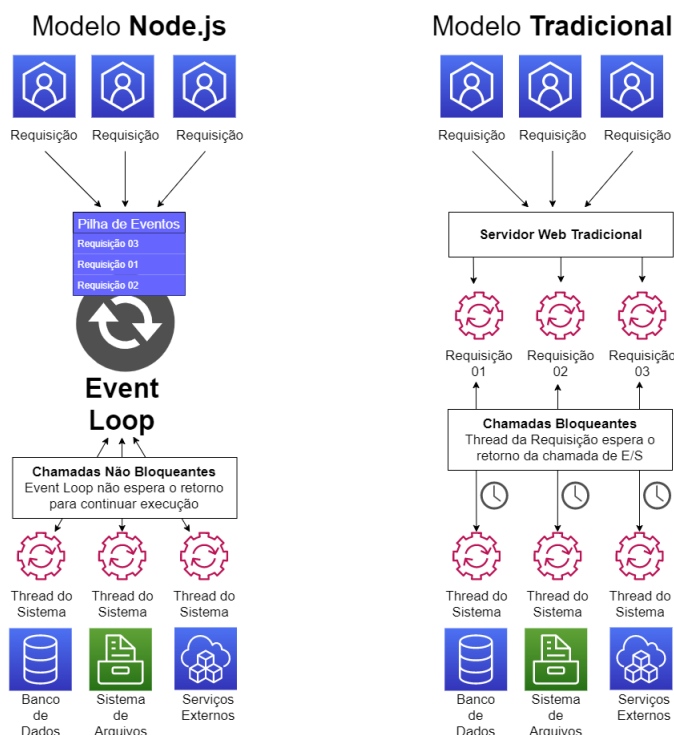
3.2.3.1 Desenvolvimento do *Back-end*

Para que seja possível a comunicação entre servidor e *Gateway*, ou então servidor e o *Front-end* do aplicativo desenvolvido, é necessário que haja uma interface que possibilite a troca de informações, esta interface é a API, onde a comunicação é estabelecida a partir da realização de requisições (ao servidor) e respostas (vindas do servidor). Seu código pode ser encontrado no repositório³ informado na Seção 3.2.

A API foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Javascript (JS) e o interpretador Node.js para aplicações *server-side*. O Node.js executa seu código em *single thread*, ou seja, apenas uma thread é responsável por executar o código JS da aplicação, exigindo menos recursos computacionais, dispensando a criação de uma nova thread toda vez em que uma requisição é recebida diferente de outras linguagens como PHP, Python e C# que suportam o modelo tradicional de tratamento de requisições. Na *single thread* do servidor (*Event Loop*), as requisições concorrentes são tratadas utilizando chamadas de E/S (entrada e saída) não-bloqueantes, proporcionando operações como por exemplo leitura do banco de dados e arquivos do sistema de maneira assíncrona, não bloqueando a thread e

³ <<https://github.com/Kojji/TCC-Backend>>

Figura 9 – Comparação entre o Node.js e o modelo tradicional em relação a recebimento de requisições do cliente e operações de E/S.



Fonte: Imagem disponível em: <<https://www.opus-software.com.br/node-js/>>

sendo diferente do modelo tradicional, onde a thread fica esperando com que as operações sejam concluídas para continuar a execução (Figura 9). Aliado ao JS e ao Node.js, foi utilizado o Framework Express para proporcionar robustez e rapidez ao desenvolvimento. Com o Express, é possível utilizar um sistema de rotas completo, fazer o tratamento de exceções dentro da aplicação, além de permitir a integração de vários outros pacotes para incorporar ao desenvolvimento e o gerenciamento de diferentes requisições HTTP para os mais diferentes caminhos de URL (rotas). Para banco de dados, foi utilizado PostgreSQL, um Sistema de Gerência de Banco de Dados Relacional (SGBDR), com intermédio do Framework Sequelize, ORM (Object-Relational Mapper) para Node.js.

Organizacionalmente a API pode ser expressa como a linguagem JS aplicada ao *server-side* com o auxílio do Node.js que por sua vez está utilizando o Framework Express que, com as facilidades que o ORM Sequelize trás para dentro do JS, é possível manipular as tabelas, colunas e linhas do banco de dados PostgreSQL.

3.2.3.2 Desenvolvimento do *Front-end*

O *Front-end* é responsável pelas interfaces gráficas do aplicativo web, assim torna possível a interação do usuário com os equipamentos da rede e os dados gerados. As Figuras entre 10 até 17 apresentam fotos tiradas de algumas das telas do aplicativo, nas

quais são listadas telas principais de gerenciamento de equipamentos e visualização de dados gerados na rede.

O aplicativo pode ser encontrado pelo link <<https://app.agriv.com.br/>>, sendo utilizado para dispor as informações geradas nos sensores (gráficos apresentados nas Figuras 20 e 24 das seções 4.1 e 4.3, respectivamente). Apresenta funções de gerenciamento de equipamentos e áreas (as áreas são locais registrados pelo usuário em que se pretende instalar a rede, assim, dentro de uma área é possível visualizar seus equipamentos instalados).

O aplicativo é um PWA, ou seja, é um aplicativo web com suporte a utilização em dispositivos móveis similar a um aplicativo nativo, desenvolvido em VueJS, utilizando o framework quasar. Seu código pode ser encontrado no repositório⁴ informado na Seção 3.2.

3.2.3.3 Operações da Rede

Esta subseção apresenta os *endpoints* para suportar as operações da rede. Segue a descrição de como o servidor opera na recepção da requisição para cada operação.

Inserção de equipamentos na rede

Pedidos de inserção na rede podem ser recebidos, ao receber o pedido de inserção de um *Gateway*, é verificado se ele está cadastrado, caso esteja, o equipamento é marcado como ativo no aplicativo, a requisição é respondida com uma indicação de sucesso além dos horários de operação que seguirá. Na recepção de pedido de inserção de *Nodo* é verificado se ele está cadastrado, caso esteja, é marcado como ativo no aplicativo e a requisição é respondida com uma indicação de sucesso.

Recepção de dados

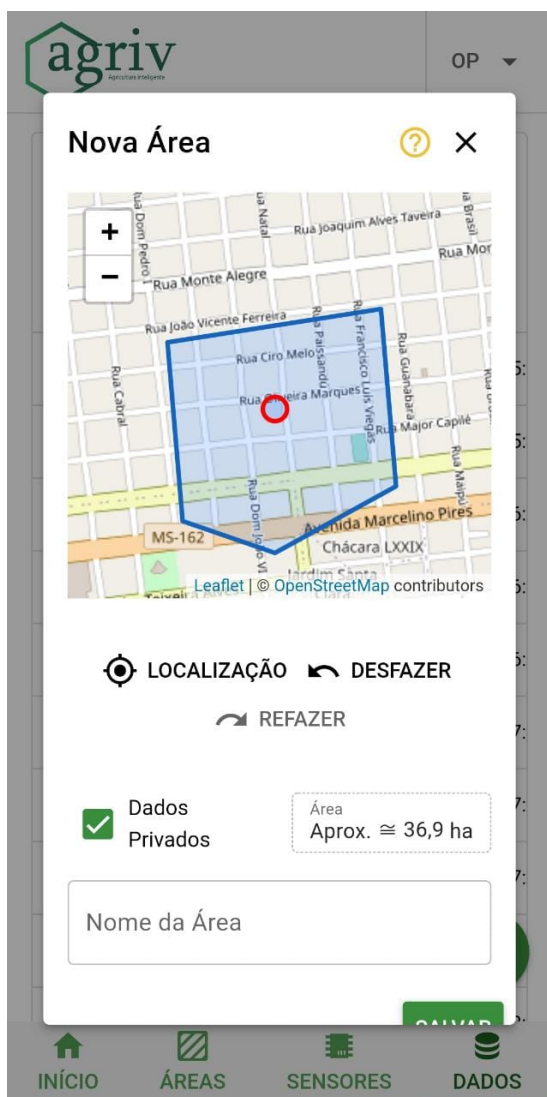
Na recepção de requisições contendo os dados de leitura, são salvos os dados na tabela dos dados relacionando ao *Nodo* que o enviou ao dado salvo, então a requisição é respondida com uma indicação de sucesso.

3.2.3.4 Operações do aplicativo

Esta subseção apresenta interfaces que suportam a interação do usuário com os equipamentos da rede e seus dados no aplicativo criado. Segue a descrição das operações que podem ser realizadas no *Front-end*.

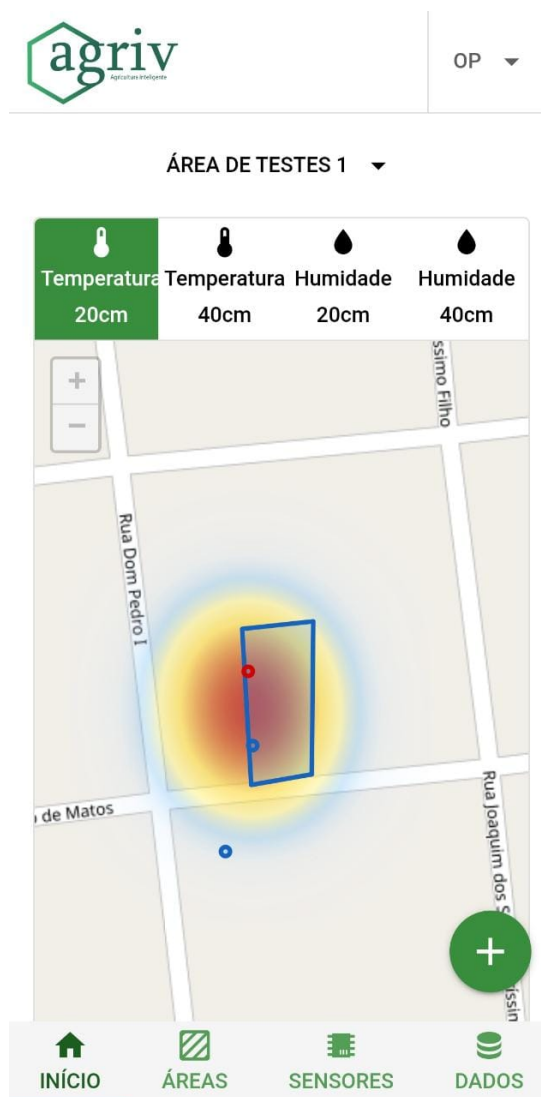
⁴ <<https://github.com/Kojji/TCC-Frontend>>

Figura 10 – Tela de criação de área.



Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

Figura 11 – Tela de visualização da área.

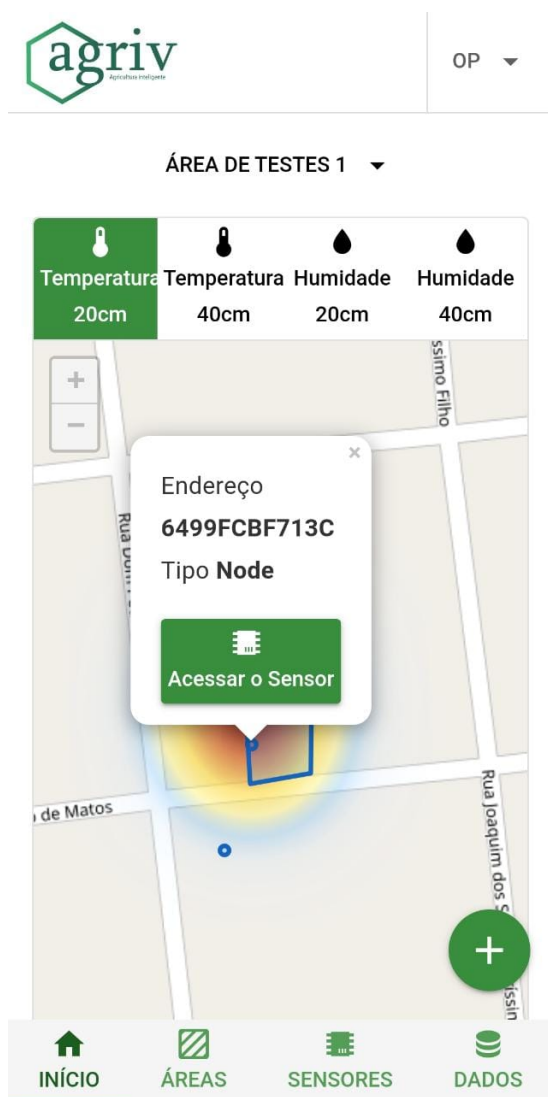


Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

Gerenciamento de áreas

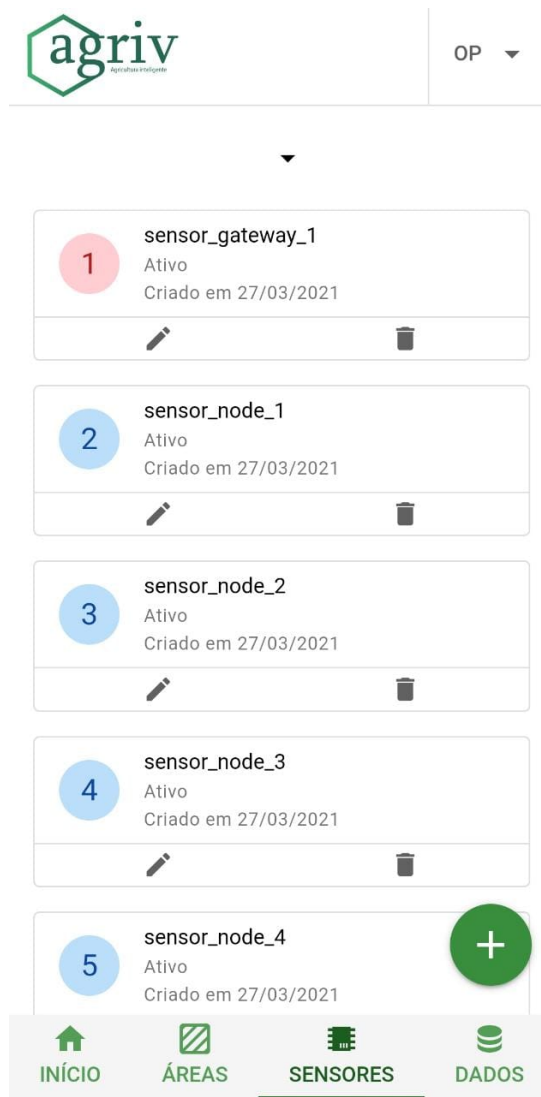
Para um controle dos locais em que a rede está instalada, um usuário pode cadastrar "Áreas" (Figura 10), elas são criadas a partir da seleção de pontos geográficos que delimitam uma área. Esta separação em locais de instalação ajuda a visualizar os locais de interesse em que equipamentos estão instalados, como mostrado Figura 11, facilitando o gerenciamento dos equipamentos desejados e visualização de seus dados, a tela presente na Figura 12 mostra uma das formas de acesso a um equipamento a partir da visualização em sua área de instalação.

Figura 12 – Tela de acesso a um equipamento a partir da área.



Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

Figura 13 – Tela de listagem de equipamentos.

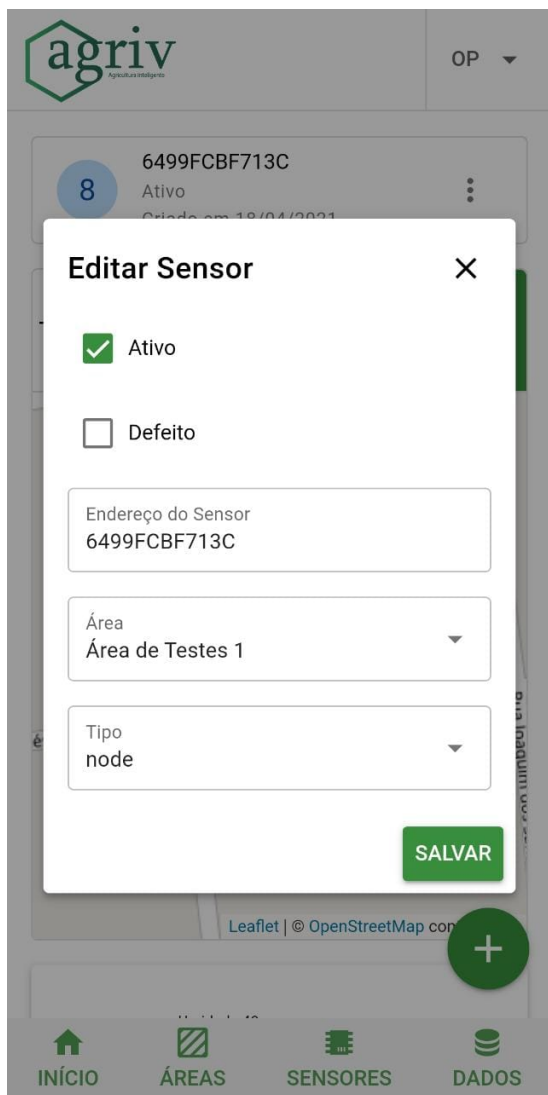


Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

Gerenciamento de *Nodos* e *Gateways*

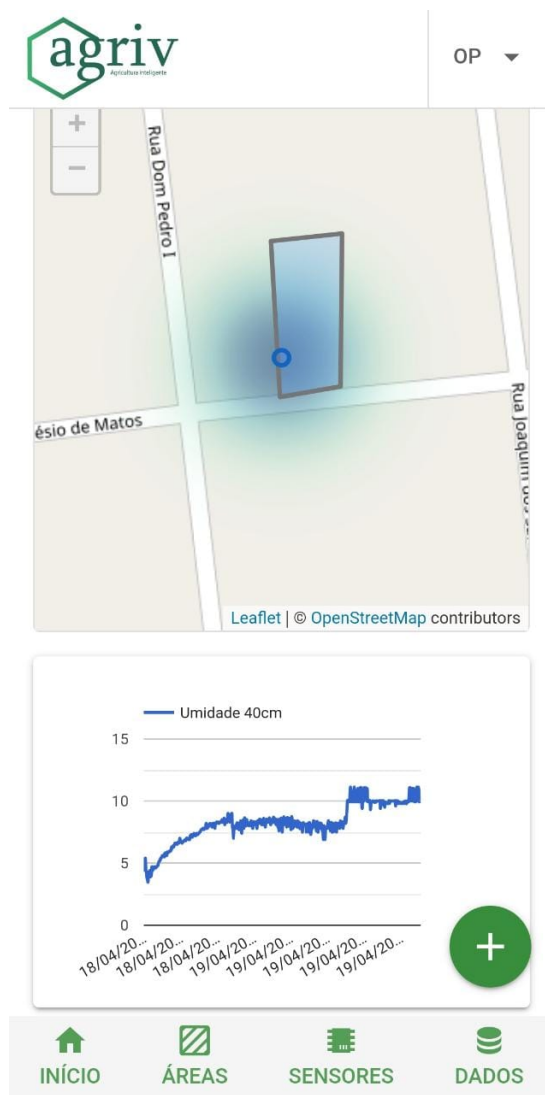
No aplicativo desenvolvido é possível realizar o cadastro de novos *Nodos* e *Gateways*, e edição de dados cadastrais (Figura 14), informando seus endereços únicos (que podem ser vistos na tela OLED de qualquer equipamento ao ser ligado), além da área em que serão instalados, no caso do *Gateway*, é necessário informar os horários de operação que serão seguidos. No término do cadastro do equipamento, eles são listados ao usuário que os cadastrou como inativos, este *status* é modificado assim que o equipamento realiza seu pedido de inserção na rede. A Figura 13 contém uma foto da tela de listagem de equipamentos cadastrados, onde podem ser acessados, editados ou removidos.

Figura 14 – Tela de edição de equipamento.



Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

Figura 15 – Tela de visualização de um equipamento.



Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

Visualização de dados

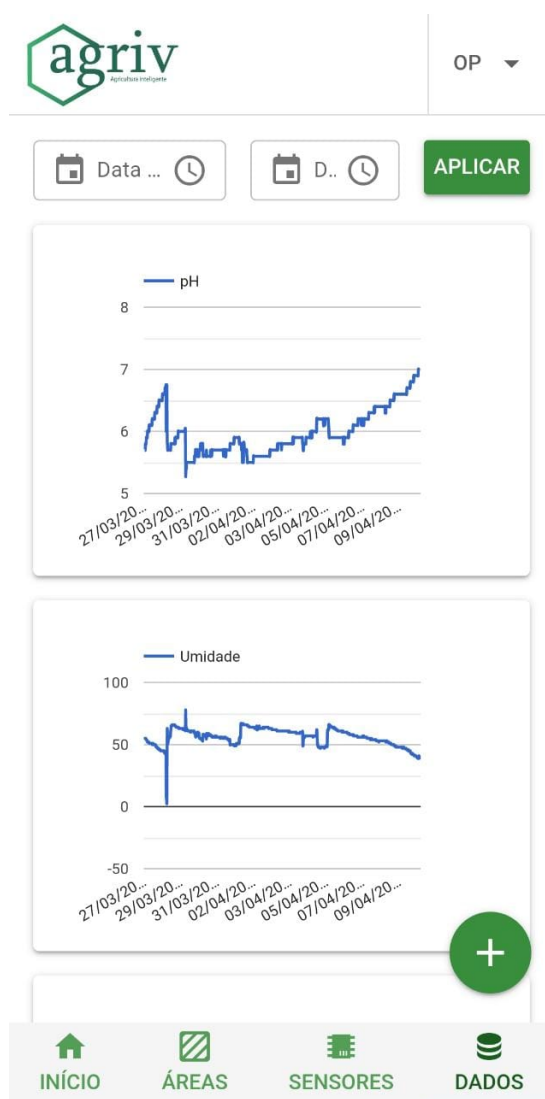
Há telas de visualização dos dados gerados pelos sensores, graficamente ou em formato de tabelas. A tela presente na Figura 15 representa a tela em que um equipamento está sendo acessado, assim pode ter suas informações cadastrais alteradas e seus dados gerados visualizados, as Figuras 16 e 17 apresentam as telas de visualização de dados em tabela e gráfico, respectivamente.

Figura 16 – Tela de visualização de dados em tabela.



Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

Figura 17 – Tela de visualização de dados em gráfico.



Fonte: Imagem gerada do aplicativo desenvolvido.

4 Testes e Resultados

Esta seção é destinada a descrever os testes realizados, assim como suas metodologias e resultados.

4.1 Teste de sensor de pH

O teste de sensor de PH foi conduzido com o objetivo de analisar o comportamento do sensor de PH em uso contínuo. O sensor de pH, bem como os sensores de umidade utilizados neste trabalho funcionam baseados na medição de resistência elétrica do solo.

Figura 18 – Medidor de pH, luminosidade e umidade do solo.



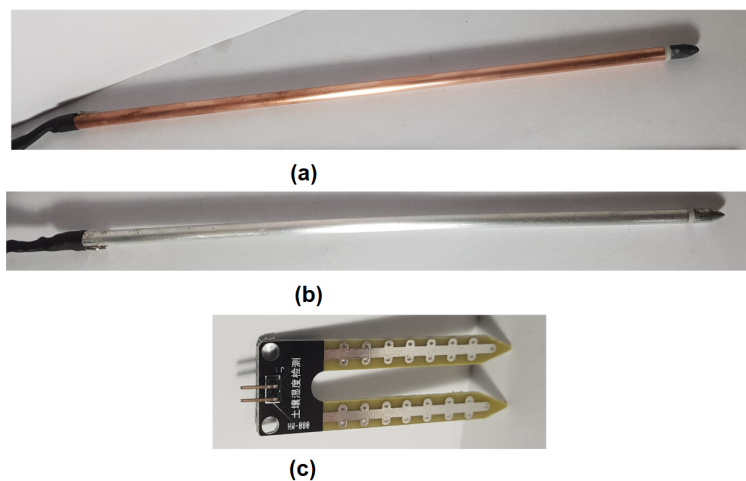
Fonte: Imagem disponível em <https://www.tecplace.com.br>.

Foi montado um equipamento ligado a 3 sensores (Figura 19), dois sensores de umidade e um sensor de pH. Como os sensores de pH digitais disponíveis comercialmente são para leituras em soluções aquosas, os sensores 19.a e 19.b utilizados são provenientes de um sensor analógico de jardinagem (Figura 18). Um sensor de umidade genérico (Figura 18.c) foi instalado para controle, possibilitando uma possível comparação com relação a acurácia dos dados de umidade. A cada 20 minutos foram enviados os dados lidos dos sensores a um servidor, assim, na duração de 14 dias, foram colhidos os dados representados no gráfico 20, porém vale a nota do parágrafo seguinte quanto a validade destes dados.

O local em que o equipamento foi instalado foi um simples vaso de plantas doméstico, o que não expressa nenhuma validação com relação a variância dos dados no passar do tempo, bem como, a relação dos dados lidos com os que seriam obtidos em cenários reais, além disso, não foi encontrado documentação suficiente e nem realizados testes com amostras controle para validar os valores das leituras realizadas.

Como os sensores utilizados apresentam métodos de coleta similares, medição da resistência elétrica do solo, os valores obtidos apresentam variações relativamente similares, observado no último gráfico da Figura 20 que sobrepõe a leitura dos sensores 19.a e 19.c. Caso os valores dos gráficos (Figura 20) fossem convertidos a uma mesma unidade de medida, o gráfico 20.b seria similar aos gráficos 20.a e 20.c.

Figura 19 – a. Sensor de Umidade, b. Sensor de pH; c. Sensor de Umidade



Fonte: Fotografias de autoria própria.

Um outro resultado que pode ser considerado deste teste é referente a durabilidade dos sensores com relação a um uso em períodos contínuos de tempo. No período do teste, foi observado considerável quantidade de oxidação das pontas de prova, enquanto não pode ser inferido se há ou não interferência na leitura de dados, esse fator interfere na utilização desses sensores em uma instalação do *Nodo* em um cenário real em longos períodos de tempo como proposto.

Para um possível uso de tais sensores para usos contínuos e prolongados de tempo, seria necessário realizar algum tipo de tratamentos nos sensores utilizados neste teste, além de testes de acurácia dos sensores após tal tratamento.

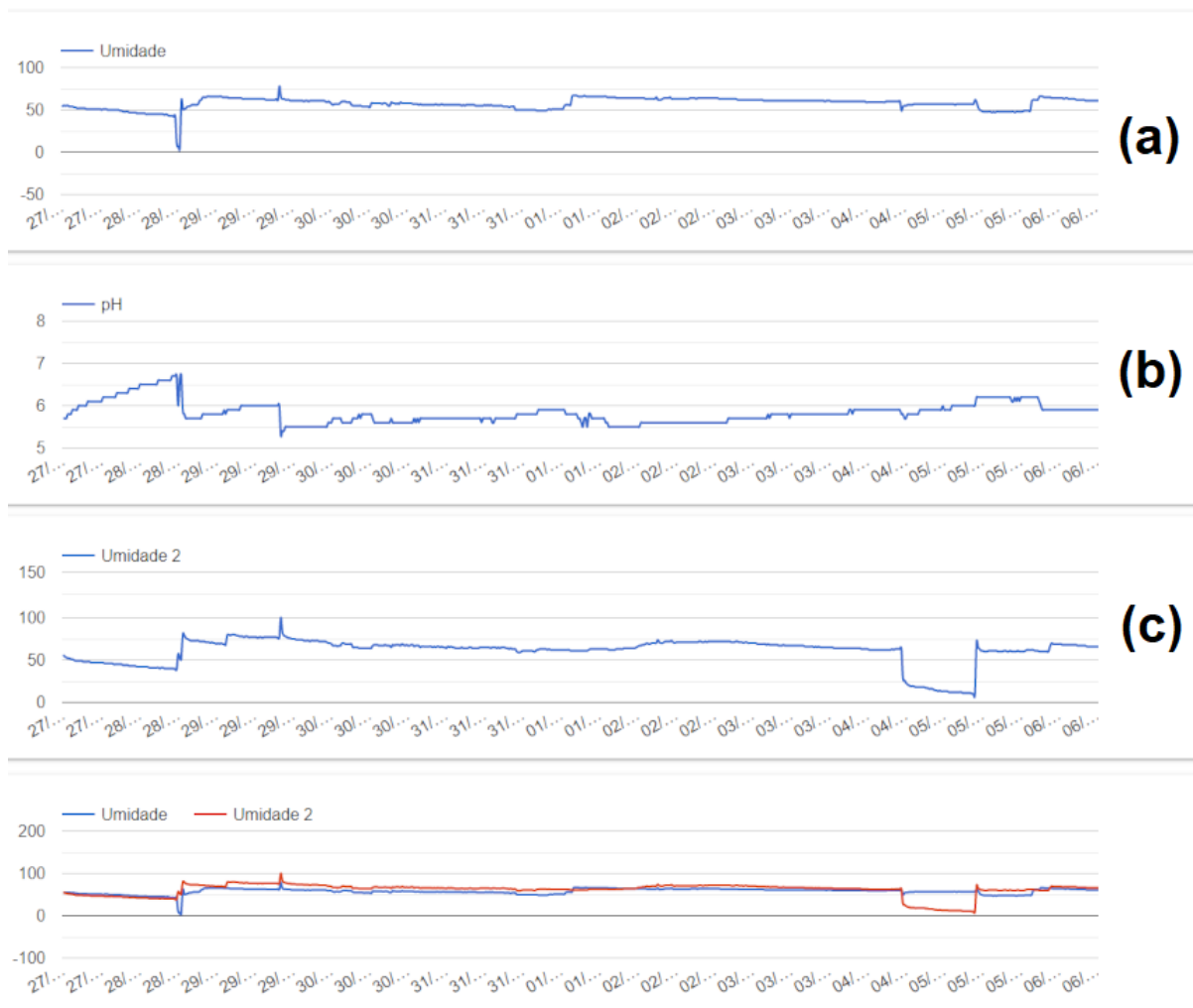
4.2 Teste de distância de comunicação

O teste de distância de comunicação teve como objetivo determinar a melhor antena para ser usada na transmissão de mensagens LORA nas condições previstas à proposta da rede.

Com relação a metodologia utilizada neste teste, foram utilizado 2 equipamentos (Figura 21), compostos de um controlador com LORA integrado e um módulo GPS, um deles envia sua posição via LORA, com o envio de uma mensagem com o tamanho médio as mensagens na rede proposta, aproximadamente 32 caracteres, e o outro ao receber, calcula a distância entre eles e o envia de volta. A uma altura de mais ou menos um metro e 20 cm (altura aproximada do protótipo desenvolvido) os equipamentos foram afastados até falharem em se comunicar, ou ter perda de informação na troca de mensagens de forma constante, determinando seus limites aproximados de comunicação nessas circunstâncias.

Foram testadas três antenas diferentes, mostrados na Figura (22), os resultados do

Figura 20 – Dados gerados no teste de sensores: a. Figura 19.a, b. Figura 19.b; c. Figura 19.c



Fonte: Gráficos gerados no aplicativo desenvolvido.

teste estão presentes na Tabela 8.

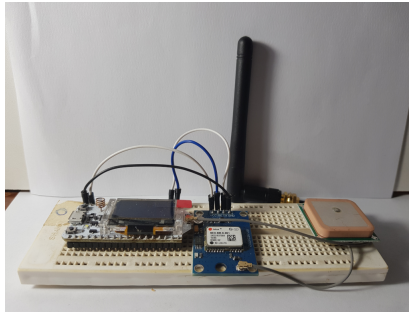
Tabela 8 – Distâncias do teste de comunicação

Antena	dbi	tamanho (cm)	Distância (m)
22.a	3	4,8	350 (aprox.)
22.b	3	8	760 (aprox.)
22.c	7	23	300 (aprox.)

Fonte: Tabela de autoria própria.

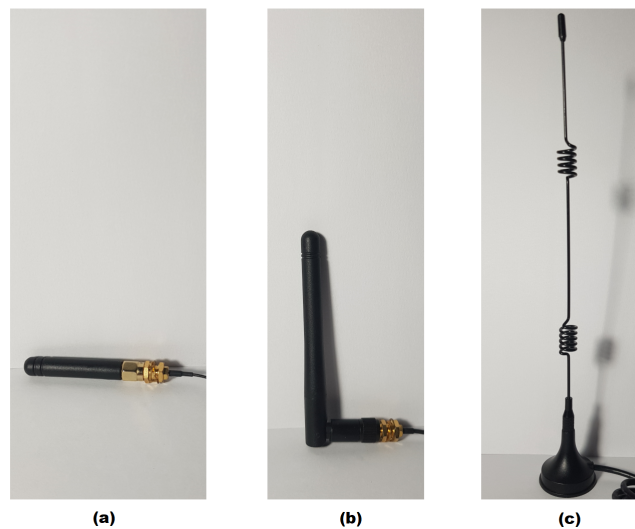
Com relação aos resultados, há diversos fatores que podem explicar os resultados obtidos, que diferem da distância esperada mostrada na Tabela 2. Além das especificações da antena, a alimentação e as condições ambientais apresentam grande influência na distância máxima em que um sinal enviado pode alcançar. Segundo o *datasheet* do ESP32 com a alimentação adequada da placa e mediante aos periféricos ligados a placa, o

Figura 21 – Montagem para o teste de distância.



Fonte: Fotografias de autoria própria.

Figura 22 – Antenas testadas.



Fonte: Fotografias de autoria própria.

limite estabelecido é de 19 dB com uma faixa de erro de 1 dB, porém como informado anteriormente a alimentação da placa não é ideal (Seção 3.2). Além disto há uma carga na placa ao alimentar o módulo NEO 6M V2 de GPS, esses fatores podem ser relacionados a relativa baixa distância de comunicação obtida e a falta de eficiência na utilização de antenas com um ganho alto (9 dB neste caso).

Na altura em que as antenas foram mantidas, é possível que tivessem perdas na transmissão provenientes do ambiente em que o teste foi realizado, inclusive, foi verificado que o simples aumento de altura para 2,5 metros foi possível obter um aumento na distância da comunicação. Outro fator que pode ter impactado nos resultados obtidos é a não utilização do protocolo LoRaWan, que divergem no empacotamento e gerenciamento das mensagens à rede desenvolvida.

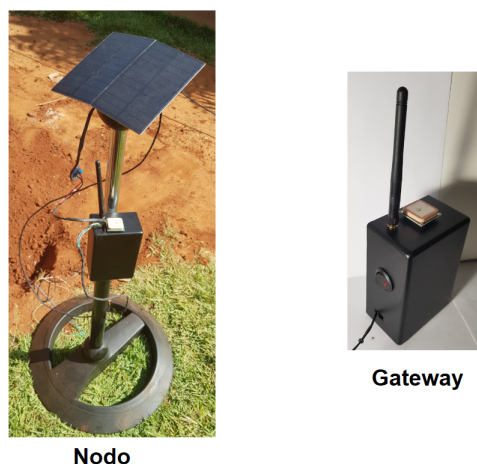
Apesar da configuração adversa de alimentação e instalação da antena, foram obtidos distâncias relativamente grandes se comparado as outras tecnologias de comunicação que

foram consideradas para a rede desenvolvida, o que ainda justifica seu uso em versões futuras salvas as correções nas configurações de alimentação da placa e seus periféricos.

4.3 Teste de campo do protótipo

Foi realizado um teste em campo do protótipo produzido (Figura 23), quanto a metodologia, o teste foi realizado em um quintal doméstico na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, foi instalado um conjunto mínimo de operação (um *Gateway* e um *Nodo*), o teste teve duração de pouco mais de 24 horas. O *Nodo* recolheu dados de um conjunto de sensores de temperatura DS18B20 e sensores de umidade (Figura 19.c), instalados no solo na profundidade de 20 e 40 cm.

Figura 23 – Equipamentos instalados.

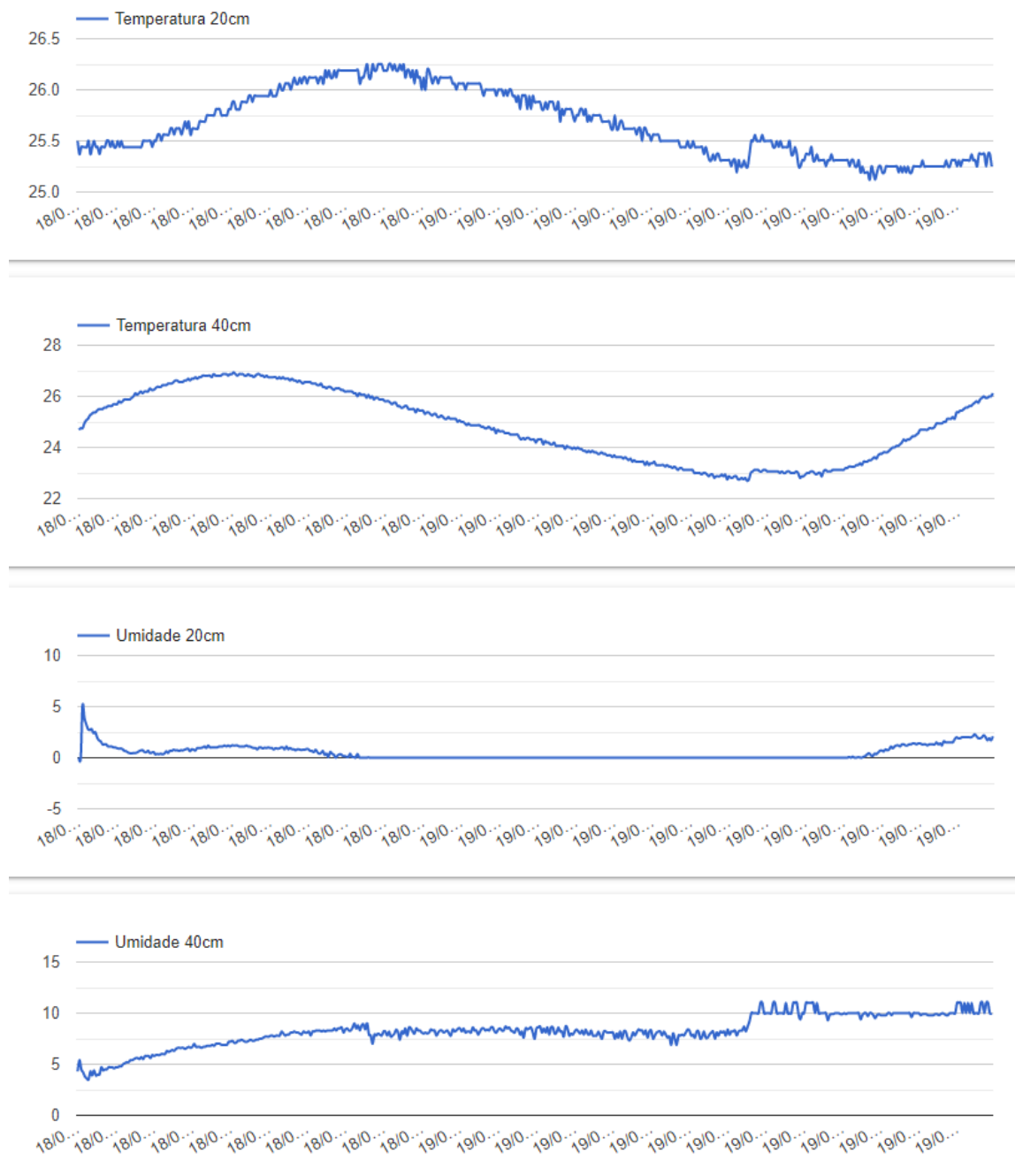


Fonte: Fotografias de autoria própria.

Algumas modificações foram feitas para este teste nos equipamentos propostos, primeiramente, o modo *Deep Sleep* foi desabilitado para permitir um maior número de leituras no tempo limitado do teste, que foram realizados em intervalos de três minutos. Outra modificação realizada foi a remoção do sensor de pH, pois, como relatado no teste do sensor de pH (Seção 4.1), como o sensor de umidade utilizado no teste de pH foi utilizado nesta implementação do protótipo, foi escolhido a remoção do sensor de pH para este teste já que ambos teriam curvas similares. Os sensores de temperatura apresentam uma biblioteca do fabricante, apresentando uma certa confiabilidade ao relacionar os dados obtidos aos dados reais, os sensores de umidade utilizados (19.c) apesar de genéricos, também apresentam certa confiabilidade devido aos reportes e documentos de uso do sensor em diferentes projetos amadores por pessoas distintas.

Como resultado, apesar da instalação dos equipamentos não ter sido em um solo submetido ao uso agrícola, foi possível confirmar a variância dos atributos medidos no

Figura 24 – Dados gerados no teste de campo do protótipo.



Fonte: Gráficos gerados no aplicativo desenvolvido.

decorrer do período do teste. A recepção dos dados e funcionamento da rede foram bem sucedidos. Com a instalação dos equipamentos foi possível verificar mudanças e melhorias que podem ser feitas, além da sua aplicabilidade em um cenário real, que serão discutidas na Seção 5.

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

A partir dos testes realizados, é possível verificar que a rede proposta consegue gerar dados de maneira constante, que podem ser utilizados para um melhor controle dos atributos de solo. Com a implementação realizada é possível agregar qualquer tipo de sensor eletrônico a ele, a confiabilidade dos dados, depende da própria confiabilidade dos sensores instalados.

Considerando o protótipo produzido e seus desafios de desenvolvimento, a implementação desta rede no cenário real, em grande escala, só será possível após a melhoria de certas funcionalidades e resolução dos problemas identificados neste trabalho. Dentre elas: A alimentação não ideal precisar ser corrigida, nesta versão da rede não foi implementado funcionalidades de segurança, tais como criptografia de mensagens LoRa, ou então autenticação das requisições HTTP, que devem ser feitas para a próxima versão.

A utilização do WiFi para comunicação do *Gateway* com o servidor impossibilita sua instalação dentro da área de leitura, limitando o raio de operação da rede atual, por isso a implementação do GSM seria benéfica na rede, então para a versão futura, a resolução deste problema, ou então a utilização de uma outra tecnologia de comunicação é essencial para ser aplicável no cenário real. Outro fator limitante do raio de operação da rede é a comunicação *Single Hop* entre o *Nodo* e o *Gateway*, para uma instalação em grande escala de equipamentos a melhoria da rede para suportar *Multi Hop* é de extrema importância na rede futura.

Apesar de todas as correções e melhorias que precisam ser feitas, a obtenção de dados através de uma RSSF, pode ser aplicável em uma produção agrícola como meio de aplicação de AP. A partir do projeto realizado, desenvolvimento da aplicação e dos teste realizados, o objetivo deste trabalho é dado como atingido já que a aplicação desenvolvida possibilita a coleta de dados e observação da variância de atributos do solo como uma técnica para aplicação de AP.

Referências

- AKYILDIZ, I. et al. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, v. 38, p. 393–422, 2002. Citado na página 16.
- BABUSIAK, B.; SMONDRK, M.; BORIK, S. Design of ultra-low-energy temperature and humidity sensor based on nrf24 wireless technology. *TSP*, 2019. Citado na página 20.
- BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no brasil. *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*, Brasília, p. 559–577, 2014. Citado na página 9.
- CHRIST, P. et al. Performance analysis of the nrf24l01 ultra-low-power transceiver in a multi-transmitter and multi-receiver scenario. *IEEE SENSORS*, 2011. Citado na página 18.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro, 2006. Citado na página 11.
- EMBRAPA. *Pesquisa mostra o retrato da agricultura digital brasileira*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/54770717/pesquisa-mostra-o-retrato-da-agricultura-digital-brasileira>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 14.
- FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. 2005. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Citado na página 11.
- FINKLER, R. et al. *Ciências do Solo e Fertilidade*. 1. ed. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÃO, 2018. Citado na página 11.
- FOROUZAN, B. A. *Comunicação de dados e redes de computadores*. 4. ed. [S.l.]: AMGH Editora, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 16.
- GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. *SCIENCE*, v. 327, p. 828–831, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 14.
- GSMA. *3GPP Low Power Wide Area Technologies*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado na página 19.
- LEINZ, V.; AMARAL, S. *Geologia Geral*. 8. ed. [S.l.]: Ed Nacional, 1980. Citado na página 11.
- LORA ALLIANCE. *LoRaWAN™ 1.0.3 Specification*. 2018. The Things Network, LoRaWan Architecture. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado na página 18.
- MENDES, L. G. *GUIA PARA INICIANTE SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/agricultura-de-precisao/>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 14.

- MOLIN, J. P. *Agricultura de Precisão: números do mercado brasileiro*. 2017. O LAP, Boletins técnicos. Disponível em: <<https://www.agriculturadeprecisao.org.br/boletim-tecnico-03-agricultura-de-precisao-numeros-do-mercado-brasileiro/>>. Acesso em: 09 dez. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 13.
- OLIVEIRA, E. A. de. *ANÁLISE DO DESEMPENHO DE REDES DE SENSORES SEM FIO PARA MONITORAMENTO DE PLANTAÇÕES IRRIGADAS*. 2013. Citado na página 20.
- OLIVEIRA, I. S. de et al. Efeito da umidade do solo em medições de ph utilizando eletrodos íon-seletivos. *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2018*, Curitiba, PR, 2018. Citado na página 19.
- POPP, J. H. *Geologia Geral*. 7. ed. [S.l.]: LTC, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 9, 11, 12 e 13.
- PRESSMAN, R. S. *Engenharia de Software*. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. Citado na página 21.
- RABER, A. et al. Aplicação de redes de sensores sem fio (rssf) na agricultura. *EATI*, v. 3, p. 261–267, 2013. Citado na página 20.
- REHMAN, A. ur et al. Security and privacy issues in iot. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, v. 8, n. 3, p. 147–157, 2016. Citado na página 18.
- RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. da. Dinamica da materia organica na regioao dos cerrados. *Planaltina: EMBRAPA-CPAC*, v. 36, 1991. Citado na página 13.
- SANTOS, H. G. dos et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 25 abr. 2021. Citado na página 13.
- SARANGAPANI, J. *Wireless Ad Hoc and Sensor Networks: Management, Performance, and Applications*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.
- SOSINSKY, B. *Networking Bible*. 1. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2009. Citado na página 14.
- SOUZA, E. de A.; PAZ, E. F. C. and Vital Pedro da S. Distribuição da umidade num latossolo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial e enterrado, com uso de tdr. *Ciênc. agrotec.*, v. 31, p. 1161–1166, 2007. Citado na página 13.
- SRINIVASAN, A. *Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications*. 1. ed. Binghamton: CRC Press, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 13.
- TAVARES, T. R. et al. Espectroscopia de reflectância vis-nir: Uma alternativa às análises químicas tradicionais de solo. *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2016*, Goiânia, GO, 2016. Citado na página 19.
- TERUEL, B. et al. Desempenho de rede de sensores sem fio em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 16, p. 1374–1380, 2012. Citado na página 20.

VERONA, A. B. *SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE REDES DE SENSORES SEM FIO APLICADAS À VITICULTURA*. 2010. Citado na página [20](#).

Glossário

- Cluster* Agrupamento de dispositivos interligados para executar uma determinada tarefa
- Datasheet* Manual de operação de um componente eletrônico ou uma placa de circuito integrado
- Deep Sleep* Modo de operação em economia de energia da placa ESP32
- Endpoint* Rota da API, onde relaciona a lógica de programação que será executada para processar a requisição enviada ao servidor
- Front-end* Classificação dada a programação de interfaces gráficas em uma aplicação web
- Multi Hop* Comunicação onde é possível a distância da comunicação ser maior que um nó da rede
- Single Hop* Comunicação com distância máxima de um nó da rede
- Wake up* Operação para o ESP32 sair do modo *Deep Sleep* de operação
- API Interface de comunicação de um servidor para com outro dispositivo
- ESP32 Placa com chip microcontrolador e outras funcionalidades integradas de baixo custo energético
- Perfil do solo Corte transversal do solo, que permite a visualização das diferentes camadas do solo