



**INSTITUTO FEDERAL DO SERTÃO PERNAMBUCANO**

**CAMPUS PETROLINA**

**LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO**

**ALEXANDRE JOSÉ FERREIRA NEVES CAVALCANTI**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO IOT DE  
LONGO ALCANCE PARA APLICAÇÕES AGRÍCOLAS**

**PETROLINA - PE**

**2021**

**ALEXANDRE JOSÉ FERREIRA NEVES CAVALCANTI**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO IOT DE  
LONGO ALCANCE PARA APLICAÇÕES AGRÍCOLAS**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – IF Sertão-PE, Campus Petrolina, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Computação.

Orientador: Prof. Dr. Eudis Oliveira Teixeira

Coorientador: Prof. Msc. Felipe Pinheiro Correia

**PETROLINA - PE**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

C377 Cavalcanti, Alexandre José Ferreira Neves.

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO IOT DE LONGO ALCANCE PARA APLICAÇÕES AGRICOLAS / Alexandre José Ferreira Neves Cavalcanti. - Petrolina, 2021.

70 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Computação) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Eudis Oliveira Teixeira.

Coorientação: Msc. Felipe Pinheiro Correia.

1. Rede de computadores. 2. Redes de Sensores Sem Fio. 3. Agricultura de Precisão. 4. IoT. 5. LoRa. I. Título.

CDD 004.62



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO  
Campus Petrolina – Código INEP: 26036096  
Rua Maria Luiza de Araújo Gomes Cabral, S/N, CEP 56316-686, Petrolina (PE)  
CNPJ: 10.830.301/0003-68 – Telefone: 87 2101-4300

## Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO IOT DE LONGO ALCANCE PARA APLICAÇÕES AGRÍCOLAS** apresentada pelo aluno **Alexandre José Ferreira Neves Cavalcanti (201715030019)** do Curso **LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO**. Os trabalhos foram iniciados às **16:00** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Eudis Oliveira Teixeira** (Orientador/PRESIDENTE)
- **Felipe Pinheiro Correia** (Examinador Interno)
- **Laécio Araújo Costa** (Examinador Interno)
- **Vanderley Gondim** (Examinador Interno)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

- Reprovado  
 Aprovado sem Restrições  
 Aprovado com Restrições

O aluno deverá entregar as alterações necessárias até o dia 09 de agosto de 2021  
Nota obtida: 90 (noventa)

### Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Eudis Oliveira Teixeira** lavrei a presente ata que assino junto aos demais membros da banca examinadora.

PETROLINA-PE, 19/07/2021

Eudis Oliveira  
Teixeira:0033070  
0596

Assinado de forma digital por  
Eudis Oliveira  
Teixeira:00330700596  
Dados: 2021.07.19 18:03:26  
-03'00'

**Eudis Oliveira Teixeira – Doutor**  
Avaliador 1 (ORIENTADOR)

Vanderley Gondim  
61688789472

Assinado digitalmente  
por/Vanderley Gondim  
61688789472  
Data: 2021.07.19 22:49:15-03'00'

**Vanderley Gondim – Especialista**  
Avaliador 2

Felipe Pinheiro  
Correia:  
05976213499

Assinado digitalmente por Felipe Pinheiro  
Correia:05976213499  
Data: 2021.07.19 17:53:14-03'00'

**Felipe Pinheiro Correia – Mestre**  
Avaliador 1

AC PESSOA  
SC

Digitally signed by AC PESSOA SC  
DN: cn=AC PESSOA SC, o=Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
do Sertão Pernambucano, ou=CPESG,  
ou=Campus de Petrolina, ou=56316-686,  
ou=Petrolina, ou=PE  
Date: 2021.07.19 18:06:10

**Laécio Araújo Costa - Mestre**  
Avaliador 3

ALEXANDRE JOSE  
FERREIRA NEVES  
CAVALCANTI:  
37524445415

Assinado digitalmente por ALEXANDRE JOSE FERREIRA  
NEVES CAVALCANTI  
Data: 2021.07.19 18:06:10

**Alexandre José Ferreira Neves Cavalcanti**  
Aluno

Dedico este trabalho à minha esposa Cristina, a meus filhos Gabriel, Thays, Alice e Lucas, aos meus netos Pedro e Clara e a minha mãe Dona Therezinha.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por Tudo.

Agradeço a minha Mãe por Tudo que ela fez para Eu chegar aqui.

Agradeço ao meu Padrasto Sr. Joaquim pela oportunidade de melhorar.

Agradeço a minha esposa Cristina pela paciência, incentivo e parceria de vida.

Agradeço ao IF Sertão, Campus Petrolina, por ter me dado à oportunidade de voltar à Academia.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eudis Oliveira Teixeira, pelos seus ensinamentos e orientações.

Agradeço em especial ao meu coorientador, Prof. Msc. Felipe Pinheiro Correia, pelos seus ensinamentos ao longo de dois anos de pesquisas, pela sua ajuda na execução deste trabalho e na elaboração deste documento.

E agradeço a todos os colegas de curso e disciplina que direta e indiretamente contribuíram com este trabalho.

“O que sabemos fazer aprendemos fazendo”

Aristóteles

## RESUMO

Nas últimas décadas a população mundial cresceu significativamente, por consequência a produção mundial de alimentos aumentou consideravelmente. O aumento das áreas de plantio, da produtividade e os alimentos transgênicos estão na pauta dos principais atores do cenário agrícola, como os produtores agrícolas e os governos federal, estadual e municipal das várias regiões produtoras do país. Sob o ponto de vista da produtividade várias técnicas podem ser aplicadas, como o consumo racional de água na irrigação, o uso adequado da hidro-fertilização e a aplicação ambientalmente correta de defensivos agrícolas. Uma das tecnologias que podem atender a tais requisitos é a Agricultura de Precisão (AP), um conjunto de técnicas de sensoriamento e controle utilizadas para maximizar a produção e minimizar as perdas de insumos, utilizando tecnologia da informação e de telecomunicações. Aliada a AP as tecnologias relacionadas à Internet das Coisas (IoT) proporciona a infraestrutura de comunicação necessária para transmissão massiva de dados coletados no campo. Considerando estas premissas, este trabalho apresenta a construção de um protótipo de dispositivo de coleta de dados de parâmetros agrícolas. Além disto, avaliam-se alguns parâmetros de desempenho da tecnologia para o artefato de comunicação. A tecnologia Long Range (LoRa) foi escolhida como o meio de comunicação pelas suas características de longo alcance, baixo consumo de energia e baixo custo. O estudo partiu da coleta de dados do nível de potência do sinal recebido (RSSI), da relação sinal ruído (SNR) e de perdas de pacotes, que se relacionam com a qualidade do serviço (QoS). As medidas destes parâmetros foram realizadas entre o ponto fixo de referência da estação base (GW) transmissor e aos vários pontos receptores escolhidos. Estes dados foram analisados através de ferramentas de regressão, como a otimização dos parâmetros das curvas dos modelos de propagação Log-distância e Weissberger usando o método de Levenberg-Marquardt. Os resultados obtidos mostraram ser possível utilizar o protótipo em rede de sensores sem fio (RSSF) de longo alcance, de baixo consumo e de baixo custo na AP das culturas do Vale do São Francisco.

**Palavras-Chave:** Agricultura de Precisão. IoT. LoRa. Rede de Sensores Sem Fio.

## ABSTRACT

In recent decades, the world population has grown significantly and the world food production is demanded to grow. The increase in planting areas, productivity and transgenic foods are on the agenda of the main actors in the agricultural scenario. From the point of view of productivity, several techniques can be applied, such as the rational consumption of water in irrigation, the adequate use of hydro-fertilization and the correct application of pesticides. The technology emerging to fit these requirements is Precision Agriculture (PA), which consists of a set of sensing and control techniques used to maximize production and minimize inputs losses, using ICT. Allied to PA, technologies related to the Internet of Things (IoT) provide the necessary communication infrastructure for massive transmission of data collected in the field. Considering these premises, this work presents the construction of a prototype device for data collection of agricultural parameters. In addition, the communication device's performance parameters were evaluated. Long Range (LoRa) technology was chosen as the communication medium for its long-range characteristics, low power consumption, and low cost. The study started collecting data of the received signal power level (RSSI), the signal-to-noise ratio (SNR), and packet losses, which are related to the quality of service (QoS). The measurements of these parameters were performed between the fixed reference point of the transmitter base station (GW) and the various receiver points along a straight line. These data were analyzed using regression tools, such as optimization of the curve parameters of the Log-distance and Weissberger propagation models using the Levenberg-Marquardt method. The results obtained show that it is possible to use the prototype in a wireless sensor network (WSN) for long range, low consumption and low cost in the PA of the cultures in the São Francisco Valley.

Keywords: Precision Agriculture. IoT. LoRa. Wireless Sensors Network.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de calor da propagação de sinal .....	13
Figura 2. Camadas do protocolo LoRaWAN.....	16
Figura 3. Topologia de rede LoRa .....	17
Figura 4. ESP32 WiFi LoRa V2 da Heltec .....	22
Figura 5. Transmissão de informação via rádio propagação .....	23
Figura 6. Antena Omni AP3900 de 5,15dBi a 915MHz.....	24
Figura 7. Conjunto de coleta de dados: o Protótipo e o Servidor.....	24
Figura 8. Materiais utilizados no protótipo .....	26
Figura 9. Spyder IDE de desenvolvimento dos programas em Python.....	27
Figura 10. Arduino IDE de desenvolvimento de programas em C++ .....	27
Figura 11. Fluxograma da metodologia adotada para a execução do trabalho.....	29
Figura 12. Geoposicionamento dos pontos de coleta do Experimento 1 em Exú .....	30
Figura 13. Geoposicionamento de coleta do Experimento 2 em Petrolina .....	31
Figura 14. Local de Instalação do GW na guarita do campus Petrolina Zona Rural .....	32
Figura 15. Unidade móvel de teste: antena, tripé, protótipo e laptop .....	32
Figura 16. Mapa topográfico das altitudes nos pontos de coleta .....	43
Figura 17. Mapa de propagação a partir do ponto do GW no campus Petrolina Zona Rural ..	44
Figura 18. Mapa topográfico da área de potencial de Instalação de rede LoRa .....	44
Figura 19. Cronograma.....	48

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Potência de propagação de sinal de 915MHz a 6m de altura.....	14
Gráfico 2. Comparativo das tecnologias de comunicação IoT.....	18
Gráfico 3. RSSI versus Distância do Experimento 1.....	40
Gráfico 4. RSSI versus Distância do Experimento 2.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação das tecnologias de comunicação para IoT .....	19
Tabela 2. Materiais que foram utilizados.....	25
Tabela 3. Softwares que foram utilizados.....	26
Tabela 4. Dados obtidos a partir dos dados coletados no Experimento 1 .....	39
Tabela 5. Dados obtidos a partir dos dados coletados no Experimento 2 .....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPEX – Capital Expenditure – orçamento de investimento de uma empresa

dB – decibel – medida relativa de potência

dBi – decibel isotrópico – medida de ganho de potência de antena

dBm – decibel medida de potência de sinal em relação a 1miliWatt

DF – Dispositivo final ou nó sensor

ED – End Device – Dispositivo final ou nó sensor

GW – Gateway ou estação base

IDE – Integrated Development Environment – Ambiente Integrado de Desenvolvimento de Programas

IF SERTÃO-PE – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano.

IoT – Internet of Things – Internet das Coisas

ISM – Industry, Science and Medical – Frequências liberadas para uso na Indústria, Ciência e Medicina

LoRa – Long Range – Tecnologia de IoT de Longo Alcance

LoRaWAN – LoRa Wide Area Network – Rede de Área Ampla LoRa

MAC – Media Access Control – camada de controle de acesso ao meio

QoS – Quality of Service – Qualidade de Serviço

RF – Rádio Frequência

RSSI – Received Signal Strength Indicator – Indicador de Força de Sinal Recebido

RSSF – Rede de Sensores Sem Fios

SNR – Signal Noise Ration – Relação Sinal Ruído, medido em dB

USB – Universal Serial Bus – Barramento Serial Universal

WiFi – Wireless Fidelity – Conexão sem fio

WSN – Wireless Sensors Network – Rede de Sensores Sem Fios

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	9
1.2	MOTIVAÇÃO DO TRABALHO .....	10
1.3	JUSTIFICATIVA.....	11
1.4	OBJETIVOS.....	11
1.4.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	11
1.4.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	12
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>12</b>
2.1	PROPAGAÇÃO .....	12
2.2	VISÃO GERAL DO LORA.....	15
2.2.1	<b>Pilha de Protocolos</b> .....	15
2.2.2	<b>Arquitetura LoRa</b> .....	17
2.3	ANÁLISE DE DADOS.....	19
2.3.1	<b>Algoritmo de Levenberg-Marquardt</b> .....	20
2.3.2	<b>Regressão não-linear e o Coeficiente de Determinação <math>R^2</math></b> .....	20
2.3.3	<b>Trabalhos relacionados e Contribuições</b> .....	21
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>22</b>
3.1	MATERIAIS .....	22
3.1.1	<b>O equipamento de transmissão e programação</b> .....	22
3.1.2	<b>Os elementos de propagação</b> .....	23
3.1.3	<b>Servidor de rede LoRa</b> .....	24
3.1.4	<b>Materiais utilizados</b> .....	24
3.1.5	<b>Softwares utilizados</b> .....	26
3.2	METODOLOGIA .....	<b>28</b>
3.2.1	<b>Os ambientes de testes</b> .....	30
3.2.2	<b>O procedimento de testes</b> .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS</b> .....	<b>35</b>
4.1	ANÁLISE.....	35
4.2	EXPERIMENTO 1.....	38
4.3	EXPERIMENTO 2.....	40

<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>CRONOGRAMA.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
	<b>APÊNDICE A – PROGRAMA DE MODELAGEM DE DADOS.....</b>	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE B – PROGRAMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS .....</b>	<b>55</b>
	<b>APÊNDICE C – PROGRAMA DE RECEPÇÃO DE DADOS.....</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICE D – PROGRAMA DE COMUNICAÇÃO RECEPTOR - LAPTOP.....</b>	<b>61</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo está dividido em três partes, o problema de pesquisa contextualizado para a nossa realidade local, a justificativa para o uso de um artefato para sua solução e os objetivos para alcançar os resultados esperados.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Kamienski (2019), o gerenciamento da água na irrigação de precisão é essencial para aumentar a eficiência da agricultura com o aumento da produtividade das plantações e a redução do impacto ambiental. A nossa região é um vale percorrido pelo Rio São Francisco que fornece água para diversos projetos de irrigação em distritos do município de Petrolina, onde os Projetos Nilo Coelho e Maria Tereza são destaques. A fruticultura irrigada é a sua principal atividade agrícola, sendo as uvas de mesa tipo exportação e as uvas para a indústria vinícola as principais plantações.

Apesar de ter uma fonte de água adequada, a maioria dos produtores rurais não dispõe de meios tecnológicos para saber se há desperdício de água ou a irrigação está aquém do necessário, com isso utiliza métodos artesanais para medir o nível de umidade do solo, por exemplo, o agricultor pega uma porção de terra na mão e a comprime, se escorrer água entre os dedos a umidade do solo está suficiente. Em áreas extensas de cultivo, este método é impraticável. Portanto, o produtor teria de realizar esta tarefa várias vezes por dia para ter informações e decidir sobre a quantidade de irrigação suficiente.

No contexto ambiental, o controle de pragas nas plantações é feito predominantemente através do uso de defensivos agrícolas, muitas vezes sem o devido respeito às normas legais. O controle de nível e de variabilidade espaço-temporal das pragas e doenças pode ser feito utilizando-se Redes de Sensores Sem Fios (RSSF), onde os insumos são aplicados em taxa variável visando sua redução para obter maior eficácia e eficiência, (BASSOI, 2019).

A fertirrigação é uma tecnologia que combina a irrigação e a fertilização, onde fertilizantes líquidos são injetados no sistema de irrigação, que levam estes produtos químicos nutrientes para as plantas através das tubulações de irrigação, (FARIA, 2000 apud REIS 2020).

A Agricultura de Precisão (AP) pode ser definida como:

É o gerenciamento estratégico de processos, análises temporal, espacial e de dados, combinados com outras informações para dar apoio ao gerenciamento de decisões de acordo com as variabilidades estimadas para melhorar o uso eficiente dos recursos, a produtividade, a qualidade, a lucratividade e a sustentabilidade da produção agrícola (ISPA 2019 apud MOLIN 2020).

O grande desafio da Agricultura de Precisão é a comunicação da grande quantidade de dados obtidos no campo através do uso de sensores sem fios. Os números da pesquisa do Boletim Técnico do Laboratório de Agricultura de Precisão da USP apontam que os produtores estão considerando o ganho de produtividade (69% dos 374 pesquisados), a redução de custos (43%) e de mão de obra (21%), além da modernização como principais motivadores para a aquisição de tecnologia da Agricultura de Precisão, segundo (MOLIN, 2017). “O acesso a estes dados nos permite uma visão numérica do que tanto desejávamos ter, mas sabemos que não é suficiente e que precisamos de muito mais empenho para que dados sejam gerados e disponibilizados.” (MOLIN, 2017).

## 1.2 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Esta grande quantidade de dados a serem coletados do campo podem ser obtidos a partir de um protótipo, o qual este trabalho propõe estudar e avaliar como solução, que visa atender esta necessidade com a implantação da LoRa (*Long Range*), tecnologia de comunicação de longo alcance, para cobrir grandes áreas do Sertão pernambucano, com baixo custo e com uma qualidade de serviço aceitável.

A possibilidade de criar uma rede de sensores sem fios na região poderá trazer para a comunidade produtora rural do Sertão pernambucano um *modus operandi* da produção agrícola de maior precisão, propiciando meios de aumentar a produtividade e a qualidade da produção, por exemplo, de frutas, com a disponibilidade em tempo real de dados relevantes para um manejo mais eficiente dos cultivos.

Esta rede pode ser utilizada de forma abrangente para a coleta de dados não apenas da umidade, mas também de acidez, salinidade, condutividade do solo, além das condições meteorológicas e muitos outros parâmetros agrícolas importantes.

Outra aplicação do mesmo projeto seria o controle de dispositivos como o acionamento de bombas, ventiladores, pivôs de irrigação, misturadores e muitos outros equipamentos eletroeletrônicos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A AP gera uma quantidade massiva de dados, que deverão sair do campo para os centros de análise de dados, tomada de decisão e controle dos plantios. A infraestrutura de comunicação das zonas rurais é muito precária ou praticamente inexistente, portanto, há a necessidade de meios de transmissão confiáveis e de baixo custo para atender a esta latente necessidade. A tecnologia emergente LoRa foi escolhida para o estudo e a construção do artefato deste trabalho, um protótipo de rádio comunicação microcontrolado, pois ela reúne características que a torna adequada para uso no campo, pela sua facilidade operacional, de baixo custo e baixo consumo e grande alcance, (SOARES, 2019).

Em muitas das atividades realizadas dentro do contexto da AP, a coleta, o armazenamento, a análise e a transmissão de dados ou informações sobre solo, planta, animal ou clima de um específico sistema de produção agrícola, são realizadas por hardwares e softwares (BASSOI, 2019).

Segundo Bassoi (2019), vários países já exploram a AP nos sistemas de produção vegetal e animal desde os anos 1990 e que seu uso e abrangência tem se intensificado e evoluído gradualmente. O seu desenvolvimento possibilitará uma base para novas pesquisas aplicadas e uso em todas as fronteiras agrícolas do Brasil, modernizando a produção e aumentando as receitas de exportação.

### 1.4 OBJETIVOS

Os Objetivos deste trabalho são detalhados nos subitens a seguir.

#### 1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar um protótipo de Dispositivo Final de IoT de longo alcance, utilizando um artefato de rádio LoRa, para coleta de dados da Agricultura de Precisão, no contexto do Sertão pernambucano.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Os Objetivos Específicos abaixo relacionados para execução deste trabalho de pesquisa são os seguintes:

- Elaborar protótipo de Dispositivo Final para teste em uma rede piloto mínima;
- Testar a funcionalidade dos equipamentos escolhidos;
- Montar protótipo e a estação base;
- Coletar os dados dos parâmetros de desempenho: RSSI *versus* Alcance, SNR e perda de pacotes de acordo com a localização do Dispositivo Final;
- Analisar os dados coletados utilizando modelos de propagação;
- Obter uma estimativa do alcance de dispositivos LoRa;
- Ajustar curva teórica de decaimento do sinal de potência recebida;
- Elaborar documento conclusivo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordados os conceitos e os princípios que fundamentaram todo este trabalho e lhe conferindo respaldo teórico, prático e científico.

### 2.1 PROPAGAÇÃO

Os sinais transmitidos pelos rádios sofrem com vários tipos de degradação do sinal transmitido, (RIBEIRO, 2013). Nos sistemas sem fio, o sinal é atenuado no caminho entre o transmissor e o receptor, de acordo com as características do ambiente em que a onda eletromagnética se propaga. Portanto, antes da implantação de um sistema de comunicação, é importante conhecer a perda de propagação devido às deformações do terreno, aos obstáculos entre as antenas e à densidade da vegetação. Fatores como a potência de transmissão, a densidade da vegetação e a ocorrência da linha de visada também influenciam as especificações de um projeto de comunicação via rádio, (RIBEIRO, 2013).

A potência do sinal é a medida indireta da energia gasta para transmitir uma informação a um determinado ponto no espaço, normalmente medido em dBm (relação logarítmica entre a potências do sinal e um sinal de 1mW), esta potência de sinal decai

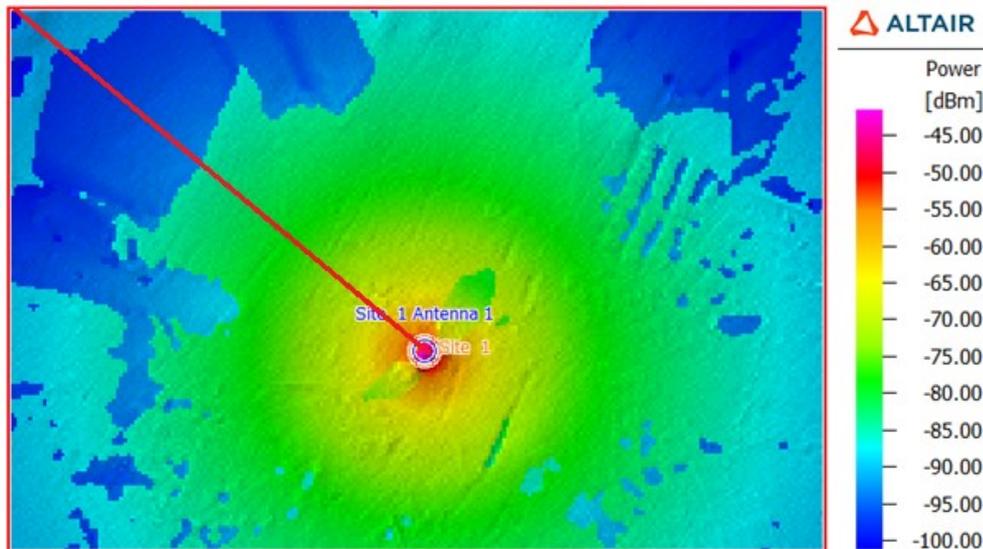
inversamente proporcional ao quadrado da distância. A unidade de Potência do sinal recebido é medido em dBm, dada pela Equação (2.1):

$$P_r = 10 \log_{10} \left( \frac{P_s}{1mW} \right) \quad (2.1)$$

Em que  $P_s$  é o sinal transmitido pela fonte de RF em mW.

Os modelos de propagação são representações matemáticas de como um sinal de rádio frequência (RF) transmitido tem sua potência decaída ao longo da distância de afastamento do receptor, normalmente tal potência decai com o inverso do quadrado da distância, mas ela pode sofrer influências diversas, como topografia, vegetação, obstáculos, cursos d'água etc. O software WinProp da Empresa Altair mapeia esta propagação num mapa topográfico de uma determinada região selecionada utilizando diversos modelos de propagação, Figura 1, e no Gráfico 1 pode ser visto o gráfico Potência x Distância utilizando o mesmo modelo do mapa.

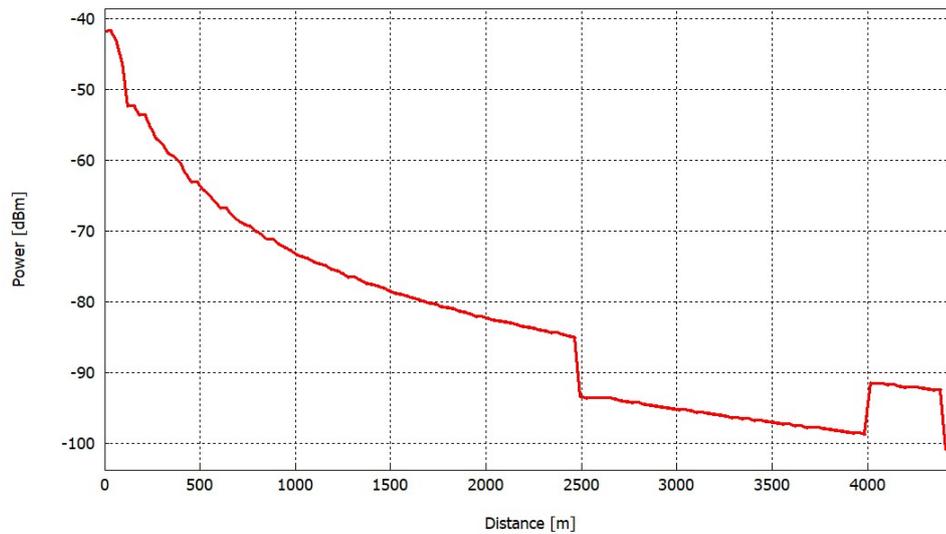
Figura 1. Mapa de calor da propagação de sinal



Fonte: adaptado do WinProp.

No Gráfico 1 pode ser visto a curva da representação do decaimento do sinal de rádio frequência em função da Potência do sinal transmitido a partir do ponto 0 e da distância, que apresenta uma característica logarítmica, sendo de fato comprovada por estudos e medições reais nas atividades de telecomunicações, visto que o sinal recebido é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Gráfico 1. Potência de propagação de sinal de 915MHz a 6m de altura



Fonte: adaptado do WinProp.

Existem diversos modelos de propagação, os que mais se adequaram para este trabalho foram:

Segundo Correia (2014) o modelo Log-distância, que leva em consideração todas as faixas de frequências de RF:

O modelo de Log-distância tem o parâmetro de atenuação  $n$  obtido de maneira empírica. Ele é utilizado para ambientes com sombreamento e a potência recebida é dada por:

$$P_r = P(d_0) - 10n \text{LOG} \left( \frac{d}{d_0} \right) + X \text{ (dB)}$$

Em que  $P(d_0)$  é potência medida a uma distância de referência, geralmente tomada a 1 metro,  $n$  é o expoente de perda com a distância e  $X \leftarrow N(\mu, \sigma)$ ;  $\mu$  é a média, geralmente, considerada zero e  $\sigma$  é o desvio-padrão da distribuição (CORREIA, 2014).

Obtendo-se a Equação (2.2):

$$P_r = P(d_0) - 10 n \log(d) \quad (2.2)$$

Em que  $d$  é a distância dada em (m).

E o modelo Weissberger, que leva em consideração a faixa de frequência de 230MHz a 95GHz e as atenuações da vegetação do terreno, (CORREIA, 2014):

De acordo com esses modelos, é possível verificar que a excesso de perda devido à vegetação pode ser representada pela expressão:

$$L(dB) = Af^B d^C$$

A partir de medições realizadas no ambiente de interesse, os parâmetros são obtidos utilizando um método de ajuste curvas (CORREIA, 2014).

Sendo a Equação completa dada, em (dBm), por (2.3):

$$P_r = P(d_0) - Af^B d^C \quad (2.3)$$

Em que  $d$  é a distância dada em (m),  $f$  é a frequência do sinal em (Hz), e  $A$ ,  $B$  e  $C$  são coeficientes empíricas.

## 2.2 VISÃO GERAL DO LORA

LoRa é uma abreviação de *Long Range* e é um sistema de comunicações sem fio de longo alcance, desenvolvido pela Semtech e pela LoRa Alliance, (KJENDAL, 2021). Sua aplicação em ambientes rurais se justifica pelas suas principais características como comunicação por longas distâncias, imunidade a ruídos, consumo reduzido de energia e segurança de dados. O protocolo LoRa é constituído basicamente de duas camadas distintas. Uma camada física que usa a técnica de modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS); e um protocolo de camada MAC (LoRaWAN), (AUGUSTIN, 2016). As frequências desta tecnologia estão na faixa de UHF liberada para uso em ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que é facilmente configurada via programação do ESP32 WiFi LoRa 32 V2, (HELTEC, 2021).

### 2.2.1 Pilha de Protocolos

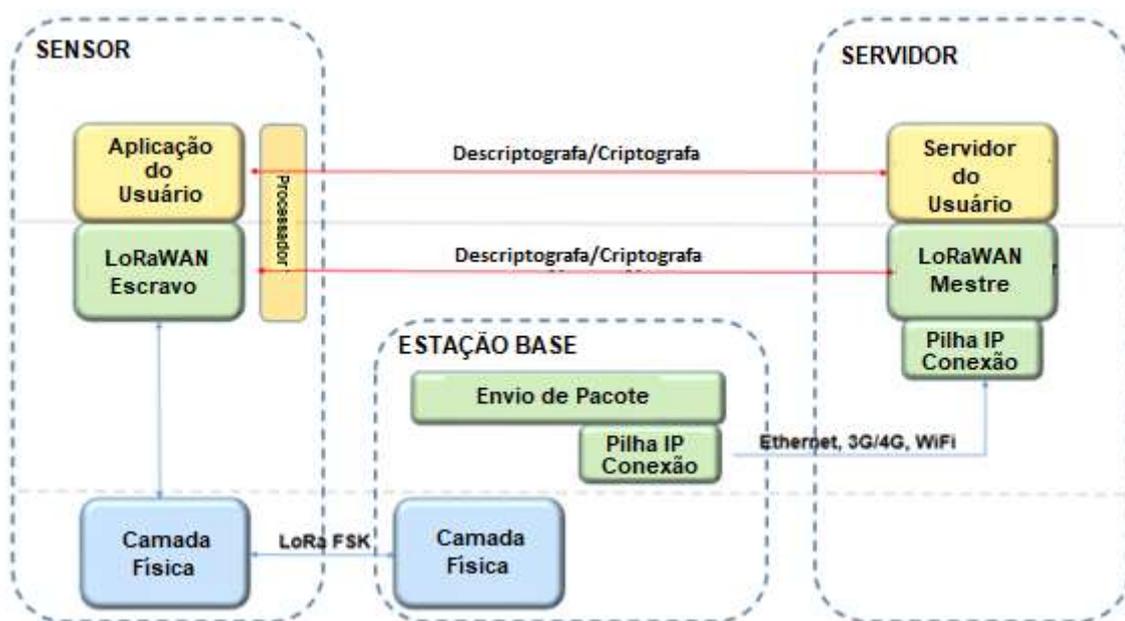
A Pilha de Protocolo LoRa é basicamente composta por duas camadas, a física e a de controle de acesso ao meio (MAC – *Medium Access Control*), onde a primeira camada usa a técnica de modulação de rádio *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Segundo Augustin (2016), técnica de modulação linear de banda larga de pulsos de silvos (apitos) de variação de frequência senoidal para codificar dados, o que o torna imune a ruídos e ao Efeito Doppler.

Opera nas frequências de 433, 868 ou 915MHz ISM dependendo da região de uso. E ainda foi projetada para permitir transmissões a longa distância, a baixo consumo de energia, onde o menor consumo de corrente é de apenas 800µA (microAmperes) em *Deep Sleep*, ou seja, regime de trabalho de baixa atividade do dispositivo conhecido como sono profundo, e baixa taxa de transmissão de dados de até 50Kbps, com *payload* (dados) de 2 a 255 bytes. A camada física é de especificação proprietária da Semtech.

A camada física também é responsável pelo interfaceamento com os sensores e pela geração do pacote LoRaWAN que é transmitido para a Estação Base (EB) ou *Gateway* (GW).

A segunda camada a de controle de acesso ao meio, *Media Access Control* (MAC), é de padrão aberto desenvolvido pela *LoRa Alliance*, que provê mecanismo de controle de acesso ao meio dos Dispositivos Finais aos Gateways, (AUGUSTIN, 2016). Na Figura 2 é mostrada a pilha de Protocolo LoRa.

Figura 2. Camadas do protocolo LoRaWAN



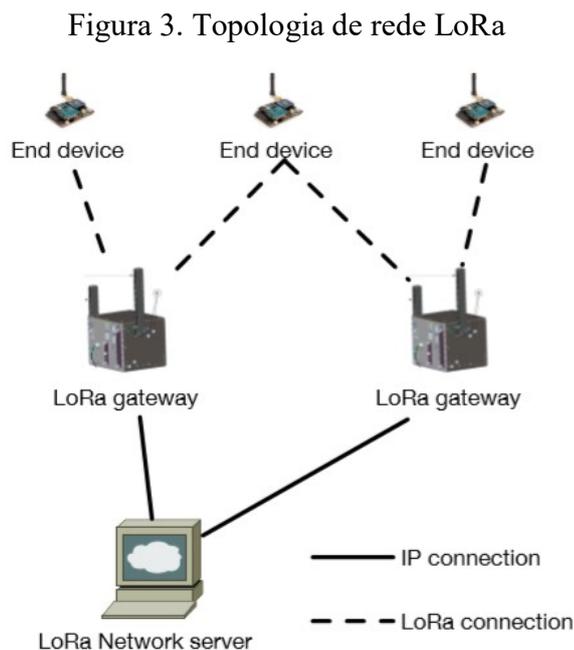
Fonte: SILVA, 2017.

A camada de controle de acesso ao meio (MAC) do LoRaWAN trabalha como um protocolo de rede que controla o roteamento da comunicação entre os Dispositivos Finais (DFs) e as Estações Base (EB), por onde os sensores trocam pacotes com o servidor numa taxa de transmissão baixa, (AUGUSTIN, 2016).

A camada de acesso ao meio também prove mecanismos de segurança, ela permite autenticar e criptografar os pacotes com AES-128 (*Advanced Encryption Standard 128 bits*), que prover integridade das mensagens com chaves simétricas compartilhadas entre o nó sensor (DF) e o servidor de Rede LoRa (LoRaWAN Mestre), chamada Chave de Sessão de Rede (*Network Session Key*). A Chave de Sessão de Aplicação (*Application Session Key*) é utilizada entre o DF e o servidor de aplicação. Os dispositivos podem ser ativados por personalização na produção ou no comissionamento e em campo pelo ar (*OTAA – Over the Air Activation*), (ZYRIANOFF, 2019).

### 2.2.2 Arquitetura LoRa

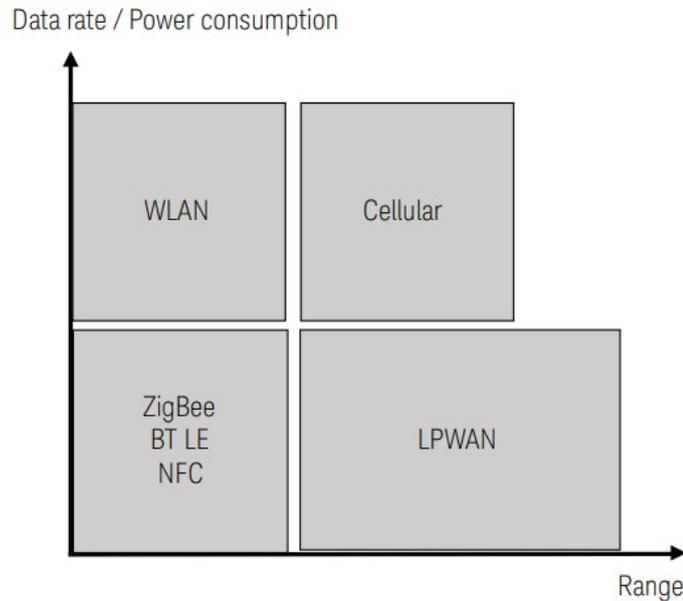
A Arquitetura de rede LoRa é basicamente formada como “estrela de estrelas”, composta de três elementos: os Dispositivos Finais (DF) Sensores e/ou Atuadores, *Gateways* (GW) ou estações base/repetidoras e do Servidor de Rede LoRa (SRL). Onde os DFs. se comunicam com os GWs e estes no que lhe concerne encaminham estes pacotes para o SRL, através de conexão TCP/IP ou 4G de alta taxa de transmissão de dados, para armazená-los e tratá-los, como na Figura 3. As comunicações podem ser bidirecionais uma vez que o SR pode enviar comando para um DF Atuador específico. A Figura 3 mostra a topologia de rede LoRa de forma simplificada.



Fonte: AUGUSTIN, 2016

O Gráfico 2 mostra a comparação das Taxa de Transferência x Alcance das principais tecnologias utilizadas.

Gráfico 2. Comparativo das tecnologias de comunicação IoT



Fonte: KEYSIGHT, 2020

A Tabela 1 apresenta um comparativo das principais características das tecnologias de comunicação para IoT, (SILVA, 2017). Ela mostra como outras tecnologias utilizam técnicas e propriedades diferenciadas para atender a mesma necessidade do IoT, a Sigfox, a NB-IoT e a LTE-M são proprietárias e o usuário tem que pagar uma mensalidade para usá-las. Com a LoRaWAN é possível o produtor rural ter uma rede própria.

Existem outras tecnologias de transmissão de dados para atender as demandas do IoT, que quando comparadas à tecnologia LoRa, apresentam vantagens e desvantagens, apresentada por Silva (2017) na Tabela 1. A tecnologia de comunicação LoRa comparada às demais apresenta melhor custo benefício, com características que a colocam como uma escolha apropriada para a implantação de redes de sensores sem fios para uso na área rural, com alcance na casa dos 5 km, podendo chegar a mais de 11 km.

Tabela 1. Comparação das tecnologias de comunicação para IoT

Feature	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT	LTE-M
Modulation	SS Chirp	GFSK/ DBPSK	UNB/GFSK/ BPSK	OFDMA
Data Rate	290bps - 50kbps	100bps 12/8bytes Max	100bps 12/8bytes Max	200kbps - 1Mbps
Link Budget	154 dB	146 dB	151 dB	146 dB
Battery life-time	8 ~ 10 years	7 ~ 8 years	7 ~ 8 years	1 ~ 2 years
Power Efficiency	Very High	Very High	Very High	Medium
Security/ Authentication	Yes(32 bits)	Yes(16 bits)	No	Yes(32 bits)
Range	2-5km ur- ban 15km sub- urban 45km rural	3-10km ur- ban - 30-50km rural	1.5km ur- ban - 20-40km rural	35km - 2G 200km - 3G 200km - 4G
Interference Immunity	Very High	Low	Low	Medium
Scalability	Yes	Yes	Yes	Yes
Mobility/ Localization	Yes	No	Limited, No Loc	Only Mobility

Fonte: SILVA, 2017

Neste trabalho a tecnologia LoRa foi utilizada por suas características apresentadas na Tabela 1, como o seu longo alcance, a imunidade a ruído, seu baixíssimo consumo e seu baixo custo operacional. Além de ter o maior Link Budget, isto significa que o receptor é capaz de demodular sinais muito fracos, ou seja, tem maior sensibilidade recepção.

### 2.3 ANÁLISE DE DADOS

Várias são as ferramentas para analisar dados, porém neste trabalho foram utilizados métodos da estatística e da análise de dados para extrair informações significativas dos dados coletados nos testes de comunicação realizados com o protótipo proposto.

### 2.3.1 Algoritmo de Levenberg-Marquardt

O algoritmo de Levenberg-Marquardt (LM), segundo Zeviani (2013), é um método matemático de otimização que procura o mínimo de uma função, principalmente para funções não-lineares, e converge de forma quadrática mais rapidamente. O método é empregado como algoritmo computacional para obter os coeficientes de uma equação não-linear que caracteriza um experimento sob forma de equação matemática. Por exemplo, sabemos que a propagação de um sinal de RF tem características logarítmicas não-lineares e vários modelos são propostos para explicar matematicamente este comportamento, o método de LM vai fornecer os valores para os coeficientes dos modelos de propagação em estudo, calculados a partir dos dados experimentais coletados em campo.

### 2.3.2 Regressão não-linear e o Coeficiente de Determinação $R^2$

A Regressão não-linear é uma técnica estatística que relaciona uma variável dependente observável a uma ou mais variáveis independentes, modelada por aproximações sucessivas como o algoritmo de Levenberg-Marquardt, estabelecendo uma relação entre estas duas variáveis por meio de uma função não-linear, também conhecido como Erro Médio Quadrático (RMSE – *Root Mean Squared Error*), (ZEVIANI, 2013), onde, por exemplo:

$$y = f(x)$$

$$f(x) = A + B \log(x)$$

$$f(x) = Ax^B$$

A variável  $y$  é a dependente de  $x$ , que é a variável independente, (ZEVIANI, 2013).

O  $R^2$  é o coeficiente de determinação, que mede o quanto do erro de previsão da curva otimizada de um modelo é eliminado dos dados observados. Apresenta valores entre 0 e 1, sendo melhor quando se aproxima de 1. O  $R^2$  explica a semelhança do conjunto de dados observados aos dados preditos pelo modelo de propagação. É calculado utilizando-se a Equação (2.4):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n ((y(i) - \hat{y}(i))^2)}{\sum_{i=1}^n ((y(i) - \bar{y}(i))^2)}, \quad (2.4)$$

Em que  $y(i)$  são os dados coletados,  $\hat{y}(i)$  são os valores de  $f(x)$  dos modelos (previsão),  $\bar{y}(i)$  o valor médio dos dados coletados e  $n$  é a quantidade de pontos de coleta de dados, (BACKES, 2018).

### 2.3.3 Trabalhos relacionados e Contribuições

Este trabalho foi referenciado pelo artigo do Correia (2014) na fundamentação teórica, em que ele discorre sobre os vários modelos de propagação, a partir dos seus argumentos foram feitas as escolhas dos dois modelos empregados na análise dos dados para a elaboração das equações destes modelos ajustadas para o contexto.

A dissertação de mestrado do Ortiz (2018) avaliou o desempenho da tecnologia LoRa baseada em medições práticas de parâmetros como potência do sinal, a relação sinal-ruído, a perda de pacotes além de outros, para caracterizar o comportamento da rede em função da distância no contexto urbano do Rio de Janeiro. Este trabalho se baseou fundamentalmente nos argumentos de testes de desempenho do Ortiz, para a verificação de longos alcances necessários para sensoriar as grandes áreas agricultáveis com qualidade no contexto rural.

Outros trabalhos, como por exemplo, Soares (2016), Molin (2020), Kamienski (2019), Silva (2017), Bassoi (2019) e Augustin (2016) foram utilizados para dar a fundamentação necessária em diversos tópicos ao longo deste trabalho.

Este trabalho contribui com dois modelos de propagação ajustados para o contexto, baseados em dados reais e com aproximações significativas, podendo ser referenciadas em trabalhos futuros de pesquisadores, alunos de graduação e pós-graduação, e de projetistas de redes de sensores sem fio que utilizem a tecnologia LoRa como meio de transmissão na zona rural da região do Sertão pernambucano.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo serão abordados os materiais utilizados no trabalho e as metodologias adotadas para a obtenção dos resultados esperados.

#### 3.1 MATERIAIS

Nesta seção são apresentados os dispositivos, equipamentos e materiais utilizados para a consecução deste trabalho.

##### 3.1.1 O equipamento de rádio e programação

O equipamento responsável pela obtenção das grandezas medidas de importância para a agricultura, como umidade do solo, temperatura do solo, pH do solo entre outros e o controle do uso dos principais insumos como a água de irrigação, hidro fertilizantes e defensivos foi o dispositivo ESP32 WiFi LoRa V2 do fabricante chinês Heltec, mostrado na Figura 4, que tem as seguintes especificações técnicas:

- LoRa chip: SX1276 (868 and 915 version);
- LoRa maximum output power: 18dB ± 2dB;
- MCU: ESP32 - 240MHz Tensilica LX6 dual-core;
- Low power design: Deep Sleep 800µA;
- LoRa 20dB emission: 130mA
- WIFI AP: 135mA

Figura 4. ESP32 WiFi LoRa V2 da Heltec



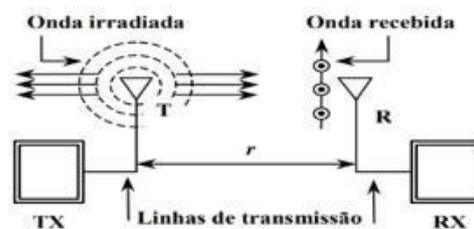
Fonte: HELTEC, 2021.

### 3.1.2 Os elementos de propagação

A antena é um elemento importante em sistemas de transmissão via rádio, a frequência de 915MHz, compreendida na faixa de UHF que foi utilizada neste trabalho, possibilita a utilização de uma variada gama de opções comerciais de acordo com especificações técnicas e construtivas. Ela influencia diretamente na área de cobertura dos *Gateways*, bem como na qualidade do sinal irradiado e sensibilidade de recepção dos Dispositivos Finais.

A antena tem como principal função propagar o sinal de dados que é codificado e modulado numa determinada frequência de RF mais alta, compondo o sinal de rádio irradiado, propagando-se pelo espaço ao redor ou em uma determinada direção a partir da antena. Este sinal é captado na antena do receptor, que demodula e extrai a informação transmitida. As antenas propiciam um ganho, ou seja, aumentam o sinal que sai do transmissor, cujo valor é dado em dBi, que é uma unidade de potência comparada do mesmo sinal em uma antena isotrópica hipotética (um ponto). Na Figura 5, temos uma representação do processo de irradiação de sinal de RF, onde TX é o rádio transmissor, o RX é o rádio receptor,  $r$  é a distância entre as antenas T do transmissor e a antena R do receptor:

Figura 5. Transmissão de informação via rádio propagação



Fonte: BRAINLY, 2021.

A antena omnidirecional *whip*, tipo chicote, de 5,15dBi para 915MHz, que irradia o sinal em todas as direções, mostrada na Figura 6, foi utilizada tanto no GW como no protótipo por sua simplicidade de instalação, seu preço baixo e para evitar a necessidade de apontamento direcional, ou seja, o alinhamento entre as antenas durante os testes em campo.

Figura 6. Antena Omni AP3900 de 5,15dBi a 915MHz



Fonte: STEELBRAS, 2021.

### 3.1.3 Servidor de Rede LoRa

O servidor de rede LoRa é composto de computador *desktop* conectado à Internet via WiFi ou Ethernet, ele é responsável pelo armazenamento massivo dos dados vindos dos diversos Dispositivos Finais e encaminhados por alguns *Gateways*. Como ele não faz parte da especificação LoRa, não há referências de fonte aberta para sua implementação, ficando a critério do projetista da rede os vários requisitos como: especificações de *hardware*, Sistema Operacional, Sistema de Gerência de Banco de Dados, roteador de acesso à Internet, (AUGUSTIN, 2016). Neste trabalho foi adotado um *laptop* Dell, Figura 7, com o sistema operacional Windows 10, portas USBs para comunicação com o protótipo e através de um programa de comunicação desenvolvido em *Python*, foi possível salvar os dados enviados pelo protótipo em arquivos.

Figura 7. Conjunto de coleta de dados: o Protótipo e o Servidor



Fonte: Autor.

### 3.1.4 Materiais utilizados

Na Tabela 2 de Materiais utilizados na confecção do GW e do Protótipo pode ser constatado que a quantidade de itens utilizados representa um custo total baixo e por

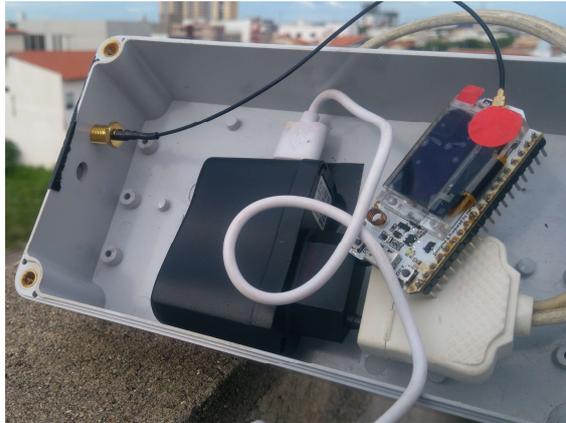
dispositivo também, consequentemente este protótipo se apresenta como uma solução de baixo custo, se comparado ao custo de uma rede utilizando *XBee*, rádio que utiliza outro tipo de tecnologia e protocolo. E se for utilizado link de satélite para a transmissão dos dados coletados seria necessário pagar em torno de R\$200,00 por mês mais custo de instalação pela operadora Viasat, enquanto se for empregado a tecnologia LoRa é possível fazer uma rede privada só com o custo de investimento. Do o ponto de vista de orçamento (CAPEX) é muito baixo e o RoI (*Return on Investment*), Retorno sobre o Investimento deverá ser muito alto, justificando o investimento.

Tabela 2. Materiais que foram utilizados

Hardware	Descrição	Quantidade	Preço (R\$)	Valor (R\$)
ESP32 WiFi LoRa	Placa de desenvolvimento fabricada pela empresa Heltec. Possui chips ESP32 e LoRa SX1276 e display OLED de 0,96 polegadas	2	44,00	88,00
Caixas de proteção de plástico ABS	Caixa plástica para montagem de circuitos eletrônicos, painéis, comandos, embarcados e projetos em geral.	2	27,00	54,00
Fonte de energia USB de 5V	Fonte para recarregamento de celulares com sistema operacional Android com conector MicroUSB.	2	25,00	50,00
Antenas UHF 915 MHz AP3900	Antena construída com aço inoxidável, borracha de alta deformação e acabamento em pintura epóxi.	2	79,00	158,00
Sensor de Umidade SHT20	Sensor digital de umidade	1	29,00	29,00
Pigtail SMA	Cabo pigtail u.fl para SMA fêmea 10cm de comprimento	2	14,00	28,00
Tripé	Tripés para microfone	2	70,00	140,00
			<b>Total:</b>	547,00
			<b>Por unidade:</b>	273,50

Fonte: Autor.

Figura 8. Materiais utilizados no protótipo



Fonte: Autor.

### 3.1.5 Softwares utilizados

Foram utilizados diversos *softwares* neste trabalho, um para cada objetivo específico. Os *softwares* utilizados são de uso Livre e Gratuito e já integravam os equipamentos comprados. A Tabela 3 lista os *softwares* utilizados.

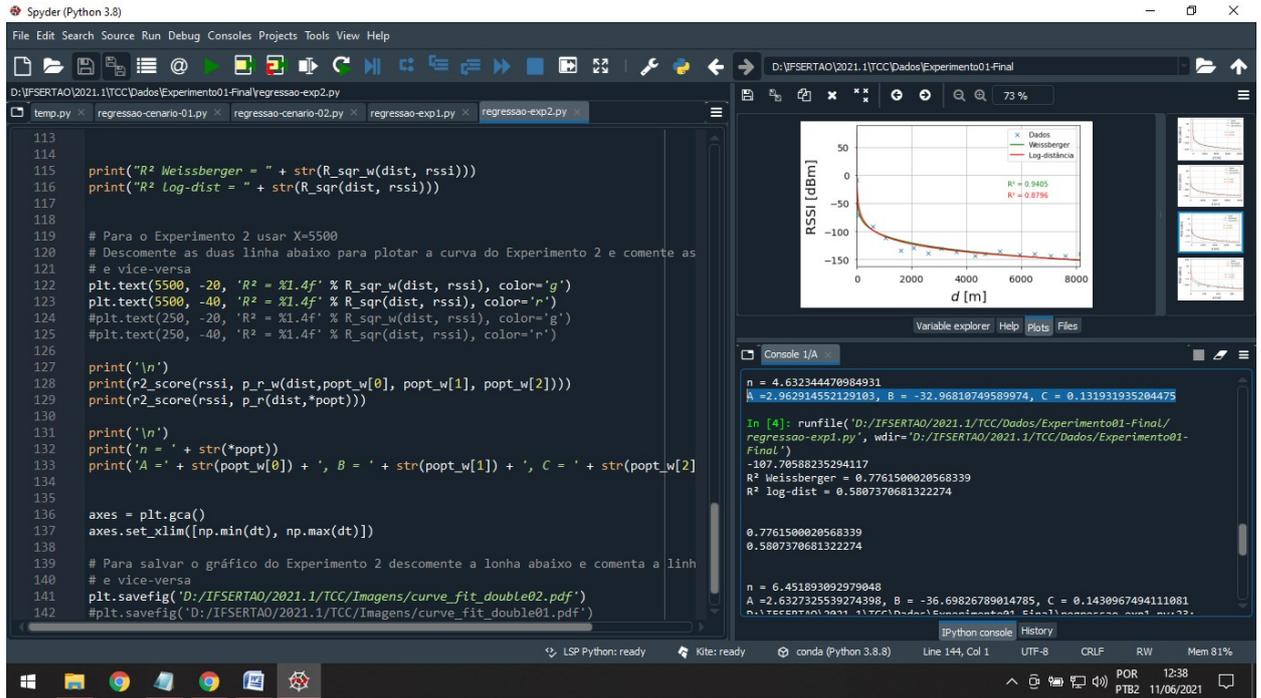
Tabela 3. Softwares que foram utilizados

Software	Descrição
Windows 10	Sistema operacional do servidor e do computador de desenvolvimento
IDE Arduino	Ambiente de programação do Arduino usado para programar em C++ os Firmwares
Spyder	IDE usado para programar em Python os softwares de comunicação serial e de análise de dados
Google Earth	Usado para capturar imagens de satélite do ambiente de teste
Python 3.8	Linguagem de programação e suas bibliotecas estatísticas usados na programação dos softwares de comunicação serial e de análise de dados
VE2DBE	Sistema web de mapeamento topográfico de previsão de propagação para comparar com os dos obtidos nos testes e no modelamento.
Topographic-map	Sistema web de visualização de mapas topográficos usado para plotar os pontos de testes
Software de comunicação serial	Programa desenvolvido para receber os dados e guardá-los em arquivos em cada ponto de teste
Firmware do Transmissor	Programa desenvolvido para a transmissão dos pacotes
Firmware do Receptor	Programa desenvolvido para receber os pacotes, medir o RSSI, a SNR e enviar serialmente para o laptop
Software de análise de dados	Programa desenvolvido para modelar os dados em curvas de propagação e verificar a sua acurácia de previsão

Fonte: Autor.

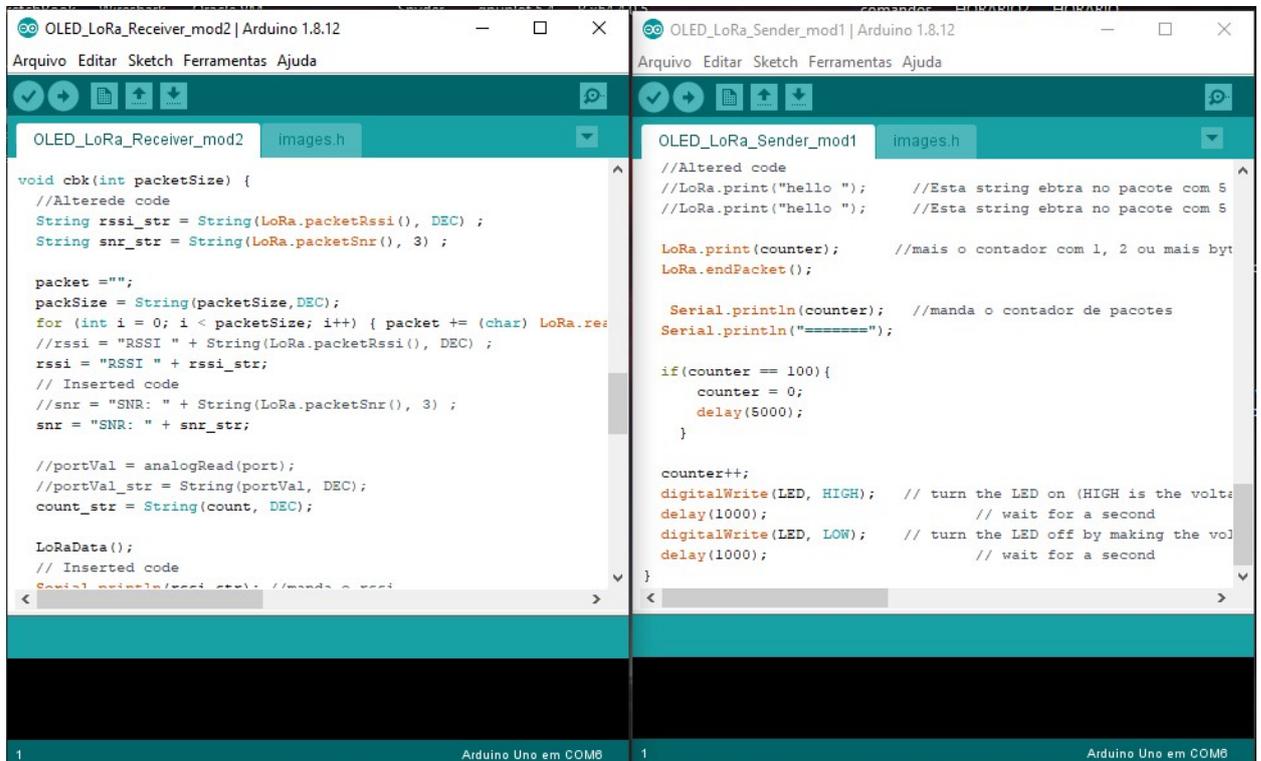
As Figuras 9 e 10 mostram as rotinas e códigos fontes desenvolvidos especialmente para este trabalho.

Figura 9. Spyder IDE de desenvolvimento dos programas em Python



Fonte: Autor.

Figura 10. Arduino IDE de desenvolvimento de programas em C++



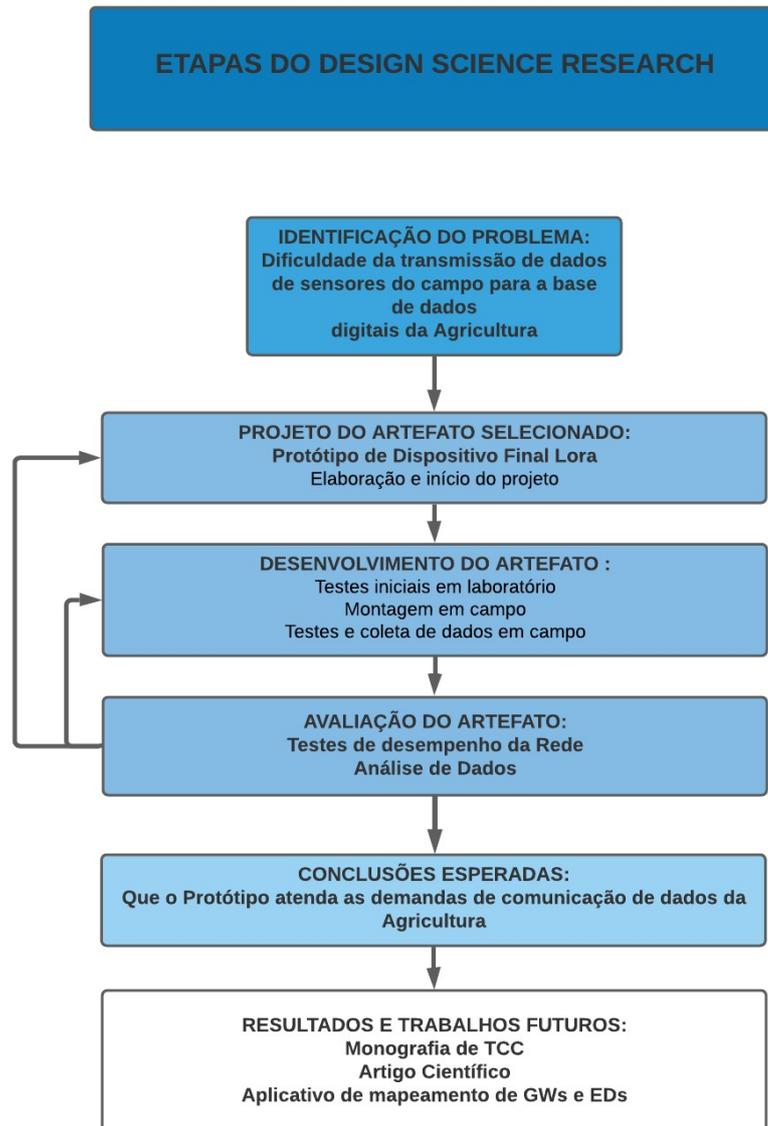
Fonte: Autor.

### 3.2 METODOLOGIA

Este trabalho de pesquisa adotou uma metodologia experimental exploratória no intuito de observar resultados que pudessem validar o uso de redes de sensores sem fio, utilizando-se da tecnologia LoRa, na construção de um protótipo para a transmissão e recepção de dados relevantes para o produtor, coletados a partir dos plantios das frutíferas, com a proposta de solução de comunicação entre sensores e a base de dados da Agricultura de Precisão, com a adoção deste artefato. O *Design Science Research*, metodologia baseada na Prescrição, Projeto e Formalização de Artefatos, fornece meios de operacionalizar esta pesquisa na perspectiva científica com um método robusto e contemporâneo, (DRESCH, 2015). A partir da observação e tipificação do problema – dificuldade de transmissão dos dados de sensores do campo para a base de dados – pretende-se entender suas causas e vieses no contexto rural. Levando-se em conta as funcionalidades, alcance, baixo consumo e custo, o artefato escolhido para esta pesquisa foi dispositivo rádio LoRa para o desenvolvimento do protótipo e da rede piloto de teste, devido às suas especificações se enquadrarem bem ao contexto do ambiente rural, onde longas distâncias devem ser vencidas e o baixo consumo deve permitir seu uso por longos períodos sem necessidade de manutenção local.

Considerando a escolha da tecnologia LoRa satisfatória do artefato para o protótipo, como mostrado na Figura 10, a proposta de pesquisa buscou avaliar o desempenho deste artefato para mostrar nos Resultados Obtidos que esta tecnologia de comunicação de dados atende às necessidades de IoT no ambiente rural. A análise de desempenho de uma rede LoRa foi feita medindo-se os parâmetros de qualidade de comunicação, como a perda de pacotes, onde um pacote de dados enviado de um nó de rede não chegou ao seu destino, uma contagem de perda de pacotes ideal é igual a zero. A intensidade da *potência do sinal* recebido em determinados pontos de distâncias da fonte transmissora, onde a potência do sinal é a medida indireta da energia gasta para transmitir uma informação a um determinado ponto no espaço, medida em milidecibéis (dBm), (ORTIZ, 2019). A potência do sinal foi então comparada com resultados esperados dos modelos de propagação Log-distância e Weissberger. E por fim, a relação sinal ruído (SNR), que representa a medida de qualidade do sinal, onde o sinal se sobressai ao ruído do meio, valores maiores em decibéis (dB) são melhores, este parâmetro também é usado para definir a máxima taxa de transferência de dados em bits por segundo (bps), (ORTIZ, 2018). A literatura apresenta outros parâmetros de desempenho, porém, neste trabalho foram adotados apenas os três citados.

Figura 11. Fluxograma da metodologia adotada para a execução deste trabalho



Fonte: Adaptado de DRESCH, 2015.

Foi realizado um exame detalhado para a escolha do local de instalação do *Gateway* (estação base), onde se verificou as condições de infraestrutura, como instalações elétricas, acesso à internet e segurança, também foram escolhidos os locais de coleta onde o protótipo coletou os dados. Em seguida foi realizada a instalação do *Gateway* em local adequado. Para a função de GW foi usado um ESP32 WiFi LoRa V2 da Heltec com uma antena omnidirecional e para o protótipo foi utilizado o mesmo tipo de dispositivo, colocado a uma distância determinada do local do GW.

### 3.2.1 Os ambientes de testes

Os ambientes selecionados para os testes de campo no contexto do Sertão pernambucano foram as localidades de Exú e de Petrolina. As escolhas retratam variedades de topografia e vegetação que compõem o cenário do sertão. O município de Exú está localizado na latitude 07°30'4'' sul e longitude 39°43'2'' oeste, com altitude de 523 metros, tem relevo de planos altos e acidentados, onde no sopé da serra são encontradas terras férteis. Sua vegetação é composta por floresta e caatinga, podendo ser encontrada vegetação de cerrado no sopé da Chapada do Araripe e clima tropical, (WIKIPÉDIA, 2021). Exú foi palco do Experimento 1 realizado numa propriedade privada com vegetação nativa densa e plantio de frutas numa perspectiva de teste de cobertura de área, onde o DF protótipo foi colocado em pontos distribuídos pela propriedade para realizar a coleta de dados. Na Figura 12 pode ser visto os pontos localizados com o uso de GPS. A EB foi instalada na sede da fazenda, onde a partir deste ponto enviou pacotes de dados para a realização do experimento.

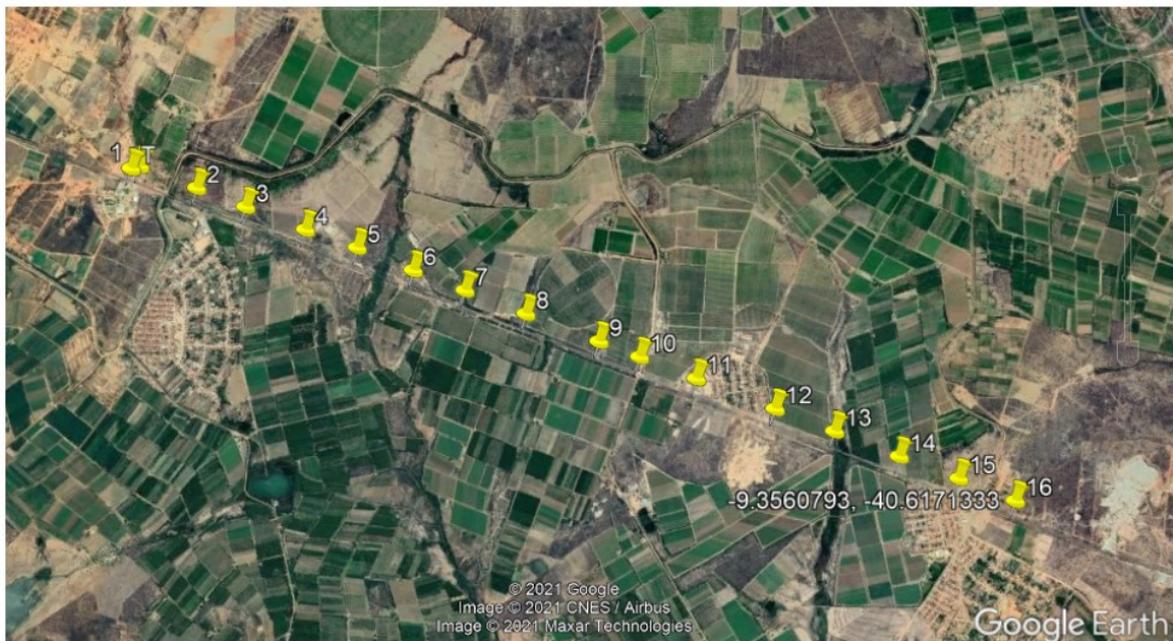
Figura 12. Geoposicionamento dos pontos de coleta do Experimento 1 em Exú



Fonte: adaptado do Google Earth.

Petrolina é um município localizado a  $09^{\circ} 23' 55''$  de latitude sul e  $40^{\circ} 30' 03''$  de longitude oeste e a uma altitude de 376 m. Tem um relevo plano, suave-ondulado da bacia do médio São Francisco. O clima é semiárido quente de temperaturas médias anuais de  $26,9^{\circ}\text{C}$  e baixa precipitação pluviométrica. Sua vegetação é de caatinga e de plantações irrigadas de frutas, com plantações de 7900 hectares de manga, 4650 hectares de uva e 1820 de banana, (WIKIPÉDIA, 2021). O Experimento 2 foi realizado na zona rural de Petrolina ao longo da BR 235, num trecho cercado por plantações, onde a EB foi instalada na guarita do IF Sertão – Zona Rural por questões de segurança e por ter fonte de energia, que a partir deste ponto enviou pacotes de dados para a realização do experimento num teste de alcance. O DF foi posicionado distando de 500 em 500 m em linha reta, foi utilizado um veículo, mostrado na Figura 15, para coletar os dados em 16 pontos diferentes neste experimento. Na Figura 13 pode ser visto os pontos localizados com o uso de GPS.

Figura 13. Geoposicionamento de coleta do Experimento 2 em Petrolina



Fonte: adaptado do Google Earth.

Figura 14. Local de Instalação do GW na guarita do campus Petrolina Zona Rural



Fonte: Autor.

Figura 15. Unidade móvel de teste: antena, tripé, protótipo e laptop



Fonte: Autor.

### 3.2.2 O procedimento de testes

O procedimento de testes e de coletas de dados é descrito nas etapas a seguir, os *softwares* que foram utilizados constam na Tabela 3 e os materiais na Tabela 2:

- As configurações dos parâmetros de transmissão foram feitas nos dispositivos GW e DF de acordo com os parâmetros: frequência = 915MHz e Potência de transmissão  $P_t = 20$  dBm, programando-os através da biblioteca LoRa.h da Heltec, utilizando as funções:
  - `LoRa.setFrequency(frequency);`
  - `LoRa.setTxPower(txPower);`
- As montagens e testes funcionais dos dispositivos foram feitos antes da instalação dos locais escolhidos;
- O GW foi instalado no local escolhido: guarita do *campus* Petrolina Zona Rural;
- As Curvas de Potência de sinal x Distância foram geradas conforme os modelos de propagação Log-distância e Weissberger;
- A partir dos pontos escolhidos de acordo com a disponibilidade dos locais, o Protótipo foi posicionado no primeiro ponto para iniciar as leituras;
- O teste consistia em o GW transmitir envios de 100 pacotes de dados de tamanhos entre 1 a 3 bytes de caracteres, numa contagem de 1 a 100, em intervalos de 5 segundos entre eles, em seguida uma nova sequência era iniciada;
- A rotina de transmissão foi programada no dispositivo da Heltec do GW e a de recepção no dispositivo do protótipo, que coleta e conta os pacotes. Se a contagem não estiver na sequência é por que houve perda de pacotes, portanto, é só contar os números que faltam na sequência para ter o número de pacotes perdidos;
- Ao mesmo tempo, em que os pacotes foram enviados, o protótipo receptor lia os parâmetros RSSI (dBm) e SNR (dB), ao final de cada envio tinha-se 100 medidas de RSSI e do SNR;

- O ciclo de salvos era de 105 segundos, portanto, o tempo de teste em cada ponto foi em torno de 5 minutos, assim a quantidade de pacotes lidos ficou em torno de 300 salvos em um arquivo por ponto;
- Os dados dos arquivos foram passados para uma planilha para calcular as médias de RSSI, SNR e a contagem de perda de pacotes em cada ponto;
- A rotina que possibilitou o próprio dispositivo fazer as medições dos parâmetros do sinal utilizou a biblioteca LoRa.h da Heltec através das funções abaixo:
  - `LoRa.beginPacket();`
  - `LoRa.write(byte);`
  - `int packetSize = LoRa.parsePacket();`
  - `LoRa.receive();`
  - `LoRa.endPacket();`
  - `int rssi = LoRa.packetRssi();`
  - `float snr = LoRa.packetSnr();`
- Foi utilizado um *laptop* para registrar estes valores obtidos do protótipo em arquivos. A Figura 13 mostra a unidade móvel de testes;
- Em seguida, os protótipo e *laptop* foram deslocados para o próximo ponto e reiniciado a coleta de dados na nova posição;
- Este processo de deslocamento e medições foi feito até o último ponto escolhido.

Ao final deste procedimento, com os dados registrados em arquivos, foram transferidos para a planilha de consolidação de dados. O programa de análise de dados utilizou as bibliotecas estatísticas, através de algoritmos de regressão, para obter a melhor curva não linear que possa prever o comportamento de propagação deste protótipo na região adotada, com o menor erro quadrático médio.

## 4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos nos experimentos, a análise do ponto de vista dos resultados aplicados às metodologias e modelos propostos, os dados coletados foram usados para se obter as equações dos modelos de propagação Log-distância e Weissberger para a região do contexto, ou seja, o Sertão pernambucano, e com isso ser possível projetar pontos de instalação para futuros pontos de sensoriamento utilizando o Dispositivo Final sem a necessidade de ir ao local escolhido e testar fisicamente.

### 4.1 ANÁLISE

A análise dos parâmetros de propagação do dispositivo rádio LoRa visa validar seu uso na coleta de dados da Agricultura de Precisão.

É uma prática conhecida no meio das telecomunicações testar equipamentos de transmissão e recepção, medindo parâmetros importantes para se atestar sua viabilidade de aplicação em determinados casos de uso e em determinadas regiões geográficas, comparando dados teóricos com os níveis de sinal aferidos em campo, (SANTOS, 2016). Os parâmetros são diversos, mas os normalmente medidos são a potência do sinal recebido, a relação sinal ruído e a qualidade de serviço, suficientes para a aplicação de transmissão de dados em IoT.

A potência do sinal recebido é a medida da potência do sinal eletromagnético no receptor medido em dBm, após percorrer uma determinada distância a partir do transmissor e no percurso sofrer atenuações, distorções, interferências e ruídos, onde a potência é calculada pela Equação (2.1). Nos Experimentos 1 e 2 o próprio dispositivo LoRa, o ESP32 WiFi LoRa V2, faz esta medição através do programa, chamando o método *packetRssi()* da biblioteca LoRa Heltec, que obtém do próprio dispositivo receptor o RSSI.

O SNR é a relação Sinal Ruído que mede a influência do ruído no sinal, ou seja, é uma medida de quão o sinal original transmitido pode ser extraído sem erros, independente do ruído presente no sinal recebido. Quanto maior seu valor melhor. A SNR pode ser calculada pela equação:  $SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{S_w}{R_w} \right)$ , dado em dB.

O Teorema de Shannon-Hartley diz que a Capacidade máxima de Transmissão de informações em um canal físico na presença de ruído é dada pela equação:

$CT = B \log_2(1 + 10^{(SNR/10)})$ , onde B é a Largura de Banda do canal em Hz e a SNR em dB. O teorema apresenta a SNR como um fator limitante para a quantidade de bits por segundos (bps) de informação máxima transmitida livre de erros, ou seja, a taxa de transferência máxima de informação, (DI SPREAD SPECTRUM, 2021). O receptor também mede a SNR utilizando o método *LoRa.packetSnr()* da biblioteca LoRa, (HELTEC, 2021).

A Qualidade de Serviço – QoS (*Quality of Service*) é uma medida de qualidade que reflete a quantidade de informações recebidas a partir do sinal recebido, interpretada neste contexto como o percentual de pacotes recebidos pelo total enviado, a diferença entre o total e os recebidos é conhecida como perda de pacotes. Para obter este parâmetro faz-se a contagem dos pacotes recebidos e subtrai dos enviados (a cada 100 pacotes).

A coleta de dados foi feita de 500m em 500m a partir do ponto zero (guarita do campus Petrolina Zona Rural), como o transmissor manda sequências de 100 pacotes em intervalos a cada 5 segundos, em cada ponto a coleta durou cerca de 5 minutos, o receptor recebe os pacotes, verifica a contagem, obtém o RSSI em dBm e o SNR e registra em arquivo no *laptop* via programa Python de comunicação USB para cada etapa de coleta, no total 17 pontos de coletas e 17 arquivos de dados.

Uma vez obtidos os dados brutos, cerca de 200 a 400 linhas de dados (RSSI, SNR e contagem de pacotes), foram extraídas as médias dos RSSIs e dos SNRs, e computados os pacotes perdidos em cada ponto, obtendo-se as Tabelas 4 e 5, apresentadas nas seções 4.2 e 4.3 respectivamente.

Os dados contidos nestas tabelas, mais especificamente referente ao RSSI, foram usados para a obtenção das curvas de predição da potência do sinal, baseada nos modelos de propagação Log-distância e o de Weissberger, modelos empíricos usados para determinação da potência do sinal de recepção, (CORREIA, 2014). Estes modelos ajustados com base nos dados coletados são capazes de fazer previsões de como estes sinais se comportam em determinadas distâncias, ou alcances, e são empregados para a elaboração de projetos de enlace de rádio, com isto o projetista consegue dimensionar as potências do rádio enlace, as antenas, os locais e alturas das torres, bem como, consumo e custos.

Para obtermos estas curvas dos modelos de propagação empregaremos a metodologia de Regressão Não-linear, o algoritmo de Levenberg-Marquardt, segundo Zeviani (2013), para otimização da curva e adequação da função preditiva com a determinação de seus coeficientes. Para verificarmos o quão preciso será esta otimização, foi utilizado o coeficiente

de determinação  $R^2$ , quanto mais próximo de 1 mais precisa é a predição (curva do modelo de propagação), (ZEVIANI, 2013). Para isto foi utilizado o método *curve\_fit*( $f, x_{PtoMonit}, y_{coletado}$ ), da biblioteca *scipy.optimize*, onde  $f$  é a equação de um dos modelos propostos,  $x_{PtoMonit}$  é um array com os valores da distância entre o gateway e o ponto de monitoração do sinal, e  $y_{coletado}$  é um array com os valores médios dos RSSIs medidos em cada um destes pontos. No cálculo do Coeficiente de Determinação  $R^2$  foi utilizado o método *r2\_score*( $y_{coletado}, y_{previsto}$ ) da biblioteca *sklearn.metrics*, onde  $y_{coletado}$  é um array com os valores médios dos RSSIs medidos em cada um dos pontos de coleta de dados e  $y_{previsto}$  é um array com os valores de RSSI calculado com as equações dos modelos de propagação, *vide* o programa no Apêndice.

De uma forma genérica a potência de um sinal de Rádio Frequência (RF) é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o transmissor e o receptor, e proporcional à potência transmitida:  $P_r \cong \frac{P_t}{d^2}$ , (CORREIA, 2014). Os vários modelos de propagação levam em consideração estes aspectos importantes e foram elaborados de forma teórica e empírica por estudiosos, dois modelos escolhidos para este trabalho, o primeiro derivado da Equação (2.2):

$$\text{O modelo Log-distância: } P_r = P_t + G_{a_t} + G_{a_r} - 10 n \log(d), \quad (4.1)$$

Em que  $P_t$  é a potência no receptor (dBm),  $P_t$  é a potência do transmissor (dBm),  $G_{a_t}$  é o ganho, uma amplificação, da antena do transmissor (dBi),  $G_{a_r}$  é o ganho da antena do receptor (dBi),  $n$  é um coeficiente de ajuste e  $d$  é a distância entre o transmissor e o receptor (m), (CORREIA, 2014). E o segundo derivado da Equação (2.3):

$$\text{O modelo de Weissberger: } P_r = P_t + G_{a_t} + G_{a_r} - A f^B d^C, \quad (4.2)$$

Em que  $P_t$  é a potência no receptor (dBm),  $P_t$  é a potência do transmissor (dBm),  $G_{a_t}$  é o ganho, da antena do transmissor (dBi),  $G_{a_r}$  é o ganho da antena do receptor (dBi),  $A$ ,  $B$  e  $C$  são coeficientes de ajuste,  $f$  é a frequência do sinal transmitido em (Hz) e  $d$  é a distância entre o transmissor e o receptor (m). (CORREIA, 2014).

As modelagens obtiveram os coeficientes para definirem as equações que poderão prever valores da potência do sinal para uma determinada distância, caracterizadas para as regiões de testes, apresentadas nas próximas seções.

## 4.2 EXPERIMENTO 1

Neste experimento os dados foram coletados na zona rural de Exú, com o posicionamento das leituras em grade (*grid*).

As Equações de predição obtidas a partir de (4.1) e (4.2) para esta região:

- **Log-distância:**

$$P_r = 30,30 - 64,51 \log(d), \quad (4.3)$$

dado em dBm, com  $n = 6,451893092979048$ .

- **Weissberger:**

$$P_r = 30,30 - 2,63f^{-36,69}d^{0,14}, \quad (4.4)$$

dado em dBm, com  $A = 2,6327325539274398$ ,  $B = -36,69826789014785$  e

$C = 0,1430967494111081$ .

Tabela 4. Dados obtidos a partir dos dados coletados no Experimento 1 em Exú

Dados Compilados - Experimento 1							
Ponto	Lat	Long	Dist(m)	RSSI(dBm)	SNR	Perda de pacotes(%)	QoS(%)
0	-7,4835	-39,7479	1,00	-8,31	10,07	0,00	100,00
1	-7,483	-39,7478	55,26	-108,72	9,65	0,00	100,00
2	-7,4824	-39,7475	55,74	-100,69	10,07	0,00	100,00
3	-7,4819	-39,7473	65,19	-106,69	9,27	0,00	100,00
4	-7,4824	-39,7481	122,84	-119,82	9,70	1,00	99,00
5	-7,4831	-39,7482	123,26	-115,49	9,68	0,00	100,00
6	-7,4825	-39,7484	130,09	-113,78	10,44	0,00	100,00
7	-7,4827	-39,7489	136,58	-114,05	10,09	1,00	99,00
8	-7,4824	-39,7494	194,59	-121,93	9,72	1,00	99,00
9	-7,4821	-39,7499	197,19	-123,21	10,29	0,00	100,00
10	-7,4833	-39,7485	209,27	-107,70	11,44	0,00	100,00
11	-7,4815	-39,7489	238,30	-106,28	9,47	3,00	97,00
12	-7,4817	-39,7484	247,14	-114,53	10,54	0,00	100,00
13	-7,4813	-39,7497	269,31	-115,13	10,10	0,00	100,00
14	-7,4814	-39,7481	303,83	-111,27	9,37	0,00	100,00
15	-7,4809	-39,7488	310,64	-116,97	11,48	0,00	100,00
16	-7,4806	-39,7497	379,30	-126,43	9,74	1,00	99,00

Fonte: Autor.

**Valor médio do sinal obtido:**

$$RSSI_{m\u00e9dio} = -107.70588235294117 \text{ dBm}$$

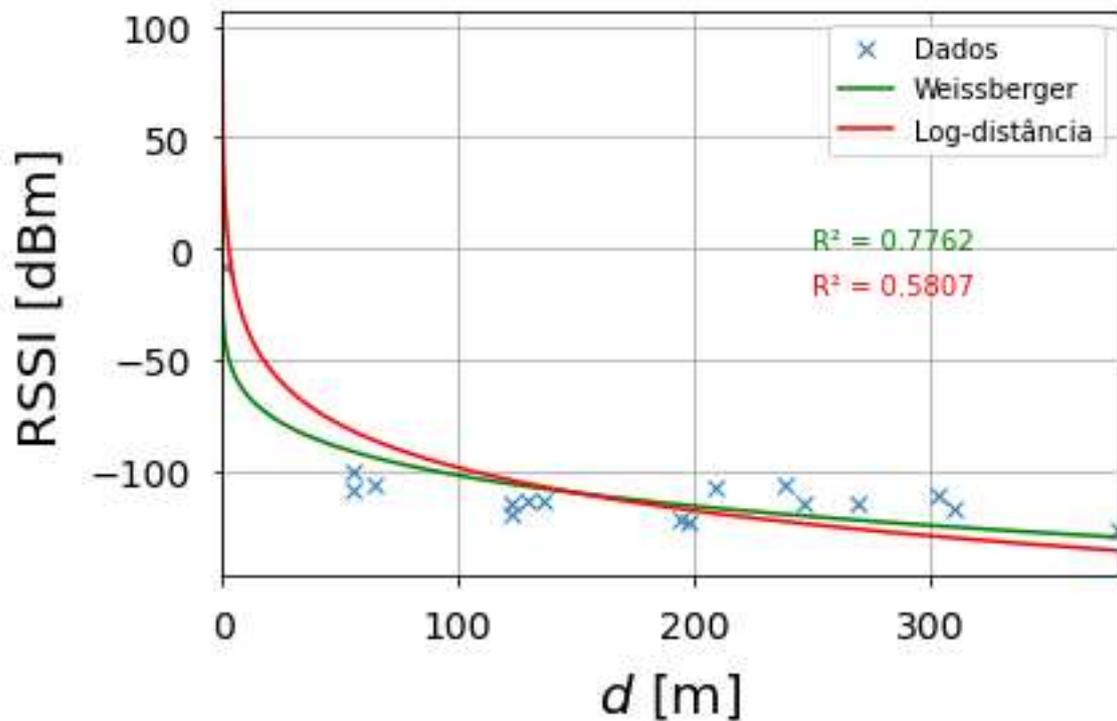
**Coefficientes de determinação para os modelos de Weissberger e Log-distância:**

$$R^2_{Log-dist} = 0.5807370681322274$$

$$R^2_{Weissberger} = 0.7761500020568339$$

Os valores de  $R^2$  tanto para o modelo Log-distância, quanto para o Weissberger ficaram aquém do esperado, um valor bom para o  $R^2$  deve ser de mais de 0,9, que indica uma excelente aproximação da previsão com o dado coletado. O segundo ainda está num percentual tolerável de 77,6% de precisão de predição, tomando-se o valor do  $R^2$  como percentual, uma possível causa seria a influência da vegetação na atenuação do sinal.

Gráfico 3. RSSI versus Distância do Experimento 1



Fonte: Autor.

O Gráfico 3 mostra os dados coletados no Experimento 1 plotados sob forma de “Xs” azuis, a curva verde representa o modelo de propagação Weissberger como aproximação de predição baseada nos dados coletados, a curva vermelha representa o modelo de propagação Log-distância.

#### 4.3 EXPERIMENTO 2

Neste experimento os dados foram coletados na zona rural de Petrolina, com o posicionamento das leituras em linha.

As Equações de predição obtidas a partir de (4.1) e (4.2) para esta região:

- **Log-distância:**

$$P_r = 30,30 - 46,32 \log(d), \quad (4.5)$$

dado em dBm, com  $n = 4,632344470984931$ .

- **Weissberger:**

$$P_r = 30,30 - 2,96f^{-32,96}d^{0,13}, \quad (4.6)$$

dado em dBm, com  $A = 2,962914552129103$ ,  $B = -32,96810749589974$  e  $C = 0,131931935204475$ .

Tabela 5. Dados obtidos a partir dos dados coletados no Experimento 2 em Petrolina

Dados Compilados – Experimento 2							
Ponto	Lat	Long	Dist(m)	RSSI(dBm)	SNR	Perda de pacotes(%)	QoS(%)
0	-9,335	-40,688	1	-8,31	10,07	0,00	100,00
1	-9,334	-40,687	78	-71,31	10,31	0,48	99,52
2	-9,336	-40,682	591	-91,48	10,21	0,00	100,00
3	-9,337	-40,678	1050	-111,57	9,94	0,49	99,51
4	-9,339	-40,674	1600	-133,71	10,09	8,60	91,40
5	-9,340	-40,669	2080	-129,15	9,80	0,00	100,00
6	-9,341	-40,665	2600	-138,44	9,75	6,38	93,62
7	-9,342	-40,661	3080	-130,93	9,68	0,00	100,00
8	-9,344	-40,656	3640	-136,25	9,53	0,00	100,00
9	-9,346	-40,650	4320	-143,90	9,37	4,38	95,63
10	-9,347	-40,647	4690	-140,04	9,34	0,00	100,00
11	-9,348	-40,642	5210	-135,13	9,80	0,00	100,00
12	-9,350	-40,636	5940	-140,94	9,38	3,69	96,31
13	-9,351	-40,631	6480	-140,27	9,31	23,81	76,19
14	-9,353	-40,626	7070	-143,71	9,38	61,54	38,46
15	-9,354	-40,621	7610	-143,28	9,41	2,02	97,98
16	-9,356	-40,617	8130	-139,78	9,35	0,75	99,25

Fonte: Autor.

**Valor médio do sinal obtido:**

$$RSSI_{m\u00e9dio} = -122.24705882352943 \text{ dBm}$$

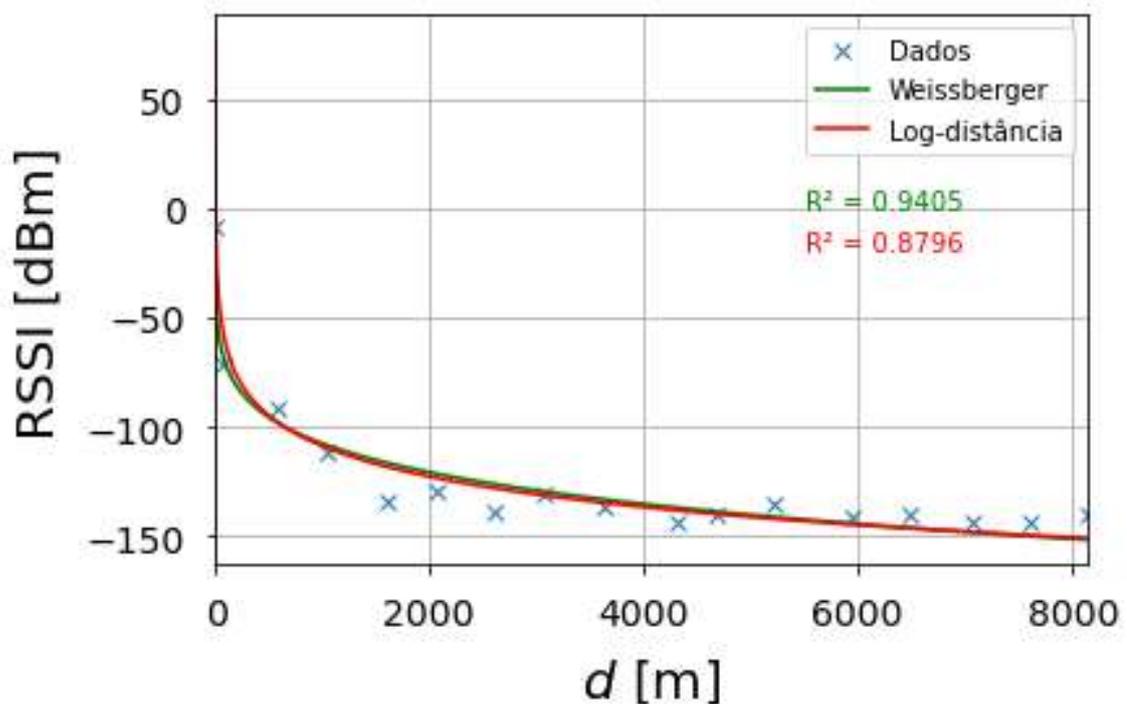
### Coefficientes de determinação para os modelos de Weissberger e Log-distância:

$$R_{Log-dist}^2 = 0.8796188966608423$$

$$R_{Weissberger}^2 = 0.9405097296015047$$

Já os valores de  $R^2$  para o modelo Log-distância, quanto para o Weissberger atingiram um alto grau de precisão de predição, mostrando que o modelo de propagação de Weissberger tem 94,0% de precisão se for utilizado para projetar uma rede estrela de dispositivos LoRa na região rural de Petrolina.

Gráfico 4. RSSI versus Distância do Experimento 2

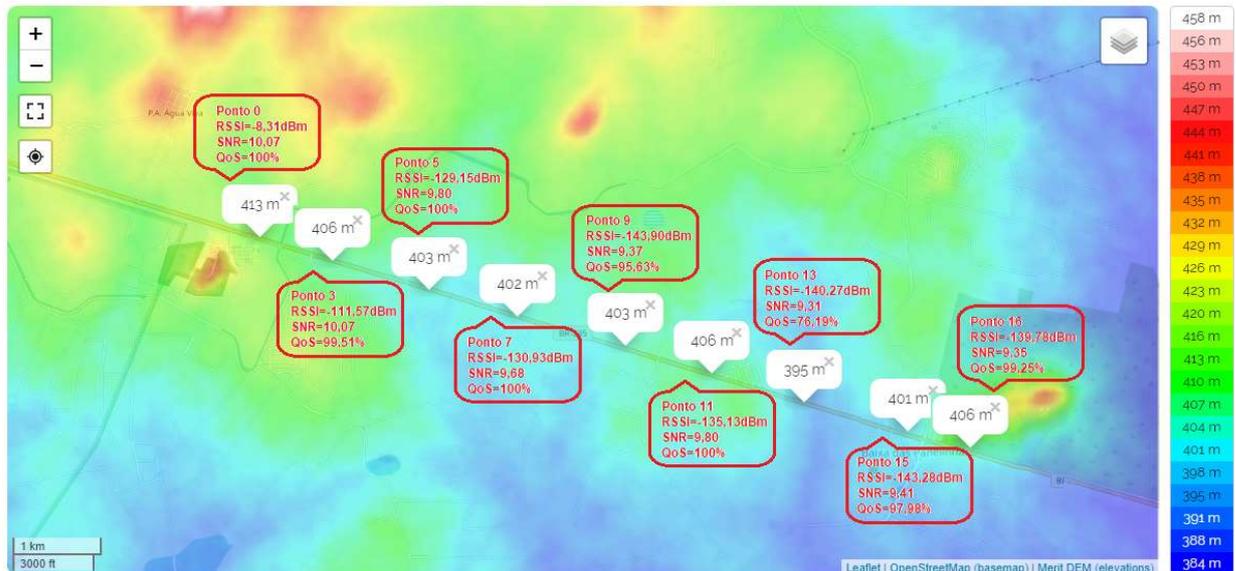


Fonte: Autor.

O Gráfico 4 mostra os dados coletados no Experimento 2 plotados em “Xs” azuis, a curva verde representa o modelo de propagação Weissberger como aproximação de predição baseada nos dados coletados, a curva vermelha representa o modelo de propagação Log-distância.

Na Figura 16 apresenta o mapa topográfico com nove pontos de testes, distantes de 1 em 1 km, para mostrar que os parâmetros obtidos nestes pontos em relação à altitude, onde a sinuosidade do relevo deste perfil topográfico influencia no comportamento do sinal.

Figura 16. Mapa topográfico das altitudes nos pontos de coleta ao longo da reta de medição



Fonte: Autor adaptado do TOPOGRAPHIC-MAP, 2021.

O alcance de borda do Experimento 2 ficou em torno de 8 km, e poderia ter alcançado maiores distâncias, considerando índices de QoS menores, ou seja, maior perda de pacotes, o que mostra que o dispositivo ESP32 WiFi LoRa da Heltec tem capacidade de ser usado tanto como Dispositivo Final (*End Device*) como Estação Base (*Gateway*).

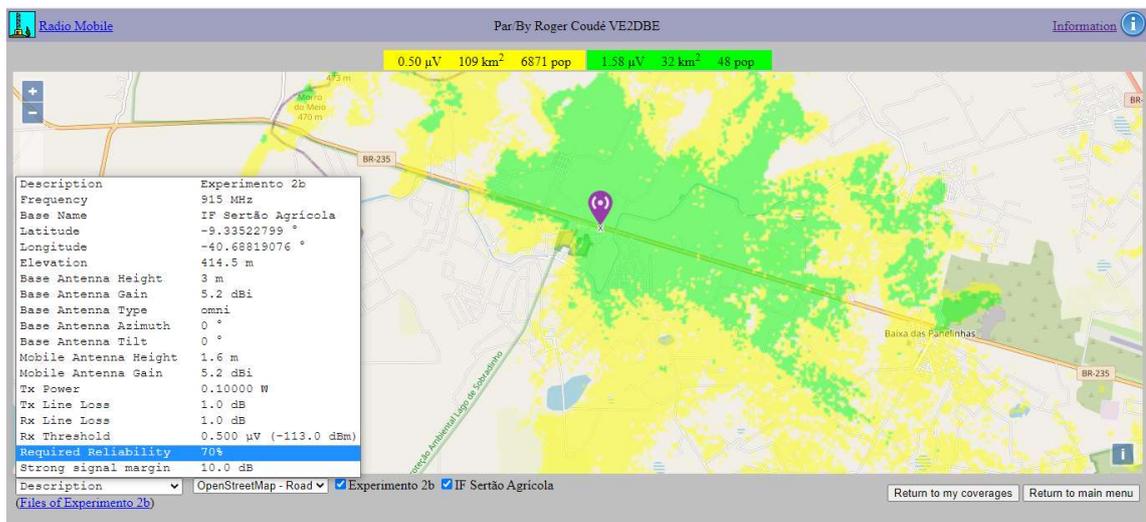
O mapa de propagação, visto na Figura 17, gerado no site VE2DBE, mostra em verde uma previsão de propagação da área de cobertura do sinal do protótipo distribuído numa área de aproximadamente 32 km<sup>2</sup>, a partir do ponto de instalação do GW, onde seria possível obter o sinal de -103,01dBm para uma carga (antena) de 50Ω (1,58μV) em média, 19,23dB acima da média das potências obtidas nos 17 pontos deste trabalho. A área verde coincide com o alcance de 8 km obtido no Experimento 2 ao longo da BR 235, (RADIO MOBILE ONLINE, 2021)

Na área amarela o sinal já seria mais fraco, -113,01dBm para uma carga de 50Ω, ou 0,5μV, 9,23dB acima da média de -122,24dBm obtido, que perfaz uma área de aproximadamente 109 km<sup>2</sup> de cobertura, que possibilita a utilização do protótipo nesta área

também. Pode-se verificar que a análise feita neste trabalho é mais realista comparada a estes dados.

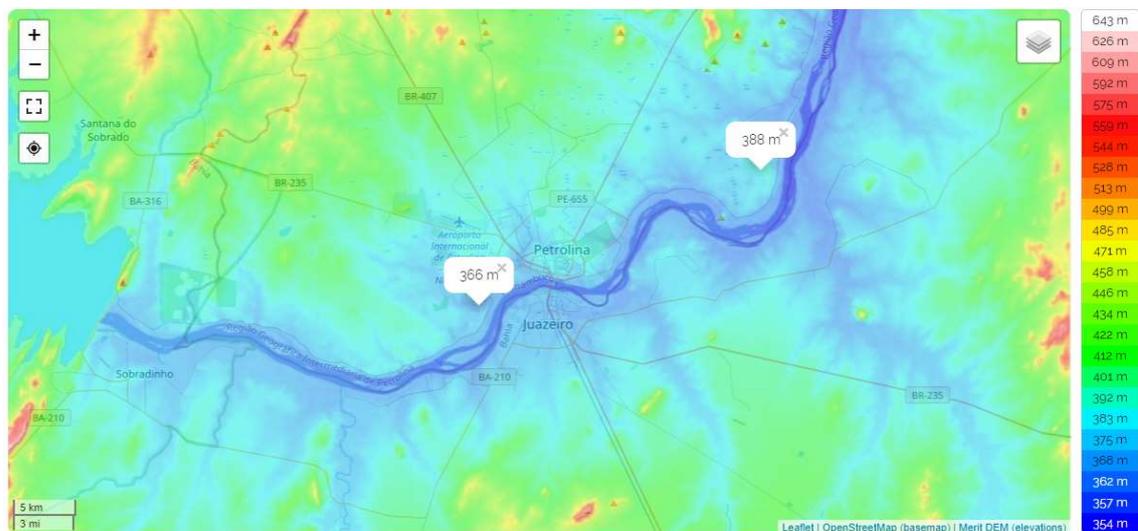
Com o estudo realizado neste trabalho e com as equações obtidas é possível desenvolver um aplicativo web como este da VE2DBE da Figura 17, para mapear áreas de cobertura do sinal, especificamente para dispositivos de comunicação LoRa na região de Petrolina.

Figura 17. Mapa de propagação a partir do ponto do GW no campus Petrolina Zona Rural



Fonte: adaptado da RADIO MOBILE ONLINE, 2021.

Figura 18. Mapa topográfico da área de potencial de Instalação de rede LoRa



Fonte: adaptado do TOPOGRAPHIC-MAP, 2021.

A topografia do Vale do São Francisco na região de Petrolina e Juazeiro tem uma variabilidade de altitude de cerca de 22m, o que a torna praticamente plana e uma região apropriada para instalação e uso de dispositivos de comunicação LoRa, ou seja, longas distâncias sem obstáculos significativos, de quase visada direta, com uma infraestrutura de torre-antena mais barata.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs a prototipação de um Dispositivo Final utilizando a tecnologia de LoRa para obtenção de dados importantes da agricultura de precisão e com base nos experimentos realizados, buscou analisar os parâmetros de comunicação *wireless*, como o sinal de propagação, a relação sinal ruído e a qualidade de serviço, expressadas pelos: RSSI, SNR e QoS relativa à perda de pacotes.

A metodologia proposta é capaz de representar através do modelamento das equações obtidas o comportamento dos sinais de propagação do GW e do Dispositivo Final, o protótipo, com um bom grau de precisão.

Esta metodologia também poderá ser utilizada para o planejamento e o projeto de células LoRa de cobertura de no mínimo 8 km, utilizando dispositivos construídos baseados no protótipo testado, na região do estudo e podendo estender este raio de cobertura até 10 km onde seja tolerado níveis de QoS mais baixos, segundo Albernaz (2010), uma escala de sete categorias de classificação de grau de satisfação de um serviço de TI, pode ser utilizada como referência para classificar o QoS como Bom, ou Categoria  $B^-$ , cujos valores aceitáveis estão entre  $70\% \leq \text{QoS} \leq 80\%$ .

Há a possibilidade de obter melhores resultados, como alcance, RSSI, SNR e perdas de pacotes, com o uso de antenas com maiores ganhos (dBi), uso de antenas Omni para os GWs e direcionais tipo Yagi para os Dispositivos Finais, também pode-se elevar o conjunto rádio antena com torres ou fazer um survey de busca de locais mais altos para a colocação dos dispositivos.

O Protótipo mostrou ter grande cobertura, conseguindo receber dados a níveis baixos de potência de sinal com baixo custo. Estas características o habilitam como candidato a atender as expectativas de uso na agricultura de precisão. A infraestrutura necessária para seu uso também é barata e como a tecnologia LoRa proporciona baixo consumo de energia, este Protótipo se apresenta como uma solução possível viável de IoT para a Agricultura de Precisão na área cultivável do Sertão Pernambucano.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

A partir da conclusão deste trabalho, pretende-se como projetos futuros:

- Publicar este trabalho como artigo em revista ou congresso da área;
- Obter uma metodologia prática preliminar para desenvolver e implantar projetos de telecomunicações com dispositivos IoT com base em indicadores de QoS em ambientes agrícolas;
- Realizar estudos de viabilidade sobre o consumo do protótipo desenvolvido;
- Desenvolver um aplicativo ou sistema de mapeamento de rede LoRA;

## 7 CRONOGRAMA

O cronograma foi elaborado baseado no segundo semestre letivo de 2020 e executado no primeiro semestre letivo de 2021 do IF-Sertão, Campus Petrolina, num total de quatro meses para a conclusão da pesquisa. Este intervalo de tempo foi dividido em cinco etapas e os meses divididos em semanas, iniciando os trabalhos na primeira semana de Março de 2021 e finalizando na terceira semana de Julho de 2021, os quadrículos coloridos representam a atividade prevista para a dada semana do mês.

Figura 19. Cronograma

### CRONOGRAMA DO PROJETO DE TCC

TÍTULO DO PROJETO		Avaliação de parâmetros de desempenho de uma rede LoRa piloto		NOME DO ALUNO:		Alexandre José Ferreira Neves Cavalcanti																										
ORIENTADOR DO PROJETO		Prof. Eudis Oliveira Teixeira		DATA		05/04/2021																										
COORIENTADOR DO PROJETO		Prof. Felipe Pinheiro Correia		SEMANAS		19 semanas de 09/11/2020 a 05/03/2021																										
FASE	DETALHES	T1			T2			T3																								
		MARÇO			ABRIL			MAIO			JUNHO			JULHO			AGOSTO			SETEMBRO												
	SEMANA DO PROJETO:	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27
1	<b>Elaboração e início do projeto</b> - Digite a data da primeira segunda-feira - Identificação do Problema e Escolha do Artefato - Avaliação do plano e do Artefato - Aquisição de equipamentos e materiais																															
2	<b>Testes iniciais em laboratório</b> - Configurações de placas ESP32LoRa - Programação básica das placas - Montagens para testes de conformidades - Programação para configuração de testes - Testes unitários																															
3	<b>Montagem em campo</b> - Survey para a escolha do local de instalação - Montagem nos locais escolhidos - Testes de instalação																															
4	<b>Testes e coleta de dados em campo</b> - Testes de desempenho do Artefato - Coleta de dados de parâmetros da rede - Tratamento e Análise dos dados de resultados - Benchmark com outros artefatos similares																															
5	<b>Fechamento do projeto</b> - Análise post mortem - Lista de verificação do projeto - Relatório do TCC - Defesa do TCC																															

Fonte: Autor.

## REFERÊNCIAS

- ALBERNAZ, C. M. R. M.; FREITAS, André Luís Policani. Um modelo para avaliação da qualidade de serviços de suporte de tecnologia da informação. *Anais do XXX ENEGEP*, v. 17, 2010.
- AUGUSTIN, Aloÿs et al. A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors*, v. 16, n. 9, p. 1466, 2016.
- BACKES, André. Regressão: linear, não linear, simples e múltipla. UFU, 2018.
- BASSOI, Luís Henrique et al. Agricultura de precisão e agricultura digital. **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019.
- BRAINLY. A antena de rádio. Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/22306657>. Acesso em 08/06/2021.
- CORREIA, Felipe Pinheiro. Modelagem de Propagação para Redes de Sensores sem Fio Aplicadas à Viticultura. **UFCG**. 2014.
- SILVA, Jonathan de Carvalho et al. LoRaWAN—A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities. **In: 2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech), IEEE, p. 1-6, 2017.**
- DI SPREAD SPECTRUM, Note; GHIDINI, Italo. Laboratorio di comunicazioni e sistemi satellitari. **Laboratorio**, n. 1/29, 2021.
- DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; JÚNIOR, José Antonio Valle Antunes. Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. **Bookman Editora**, 2015.
- HELTEC. WiFi LoRa 32 (V2) – Heltec Automation. Disponível em: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>. Acesso em: 10/02/2021.

KAMIENSKI, Carlos et al. Smart water management platform: Iot-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, v. 19, n. 2, p. 276, 2019.

KJENDAL, Dave. LoRa-Alliance Regional Parameters Overview. *Journal of ICT Standardization*, p. 35–46-35–46, 2021.

TOPOGRAPHIC-MAP. Mapa topográfico Relevo, altitude. Disponível em: <https://pt-br.topographic-map.com/maps/gni3/Relevo/> Acesso em: 01/06/2021.

MOLIN, Jose Paulo et al. Precision agriculture and the digital contributions for site-specific management of the fields. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, p. 1-10, 2020.

MOLIN, José P. Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro. *Boletim Técnico*, v. 3, 2017.

ORTIZ, Fernando Molano. Análise de desempenho de uma rede sem-fio de baixa potência e longo alcance para a Internet das Coisas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 287, 2018.

ORTIZ, Fernando Molano et al. Caracterização de Desempenho de uma Rede LoRa em Ambientes Urbanos: Simulação vs. Prática. **In: Anais do III Workshop de Computação Urbana. SBC, p. 167-180, 2019.**

RIBEIRO, Antonio Marcelo Oliveira et al. Contribuições à caracterização estatística do canal de rádio móvel e estimação de parâmetros por máxima verossimilhança. 2013.

SANTOS, Tiago Nunes. Análise da qualidade de propagação do sinal UHF na cidade de Uberlândia, utilizando os modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log Distância. *Uberlândia*, 2016.

SOARES, Afonso Januário Pujoni et al. Avaliação da propagação do sinal LoRa e desenvolvimento de um método para auxiliar o planejamento de redes IoT usando otimização do modelo de Hata. 2019.

STEELBRAS. Antena Móvel UHF 5/8 de Onda Whip 900MHz – AP3900. Disponível em: <https://www.steelbras.com.br/produto/antena-movel-uhf-58-de-onda-whip-900-mhz/>. Acesso em: 10/06/2021.

RADIO MOBILE ONLINE. Disponível em: [https://www.ve2dbe.com/rmonline\\_s.asp](https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp). Acesso em 10/06/2021.

REIS, Karoline Maso dos. Irrigação subsuperficial e fertirrigação: desempenho e custos na cultura do brócolis / Karoline Maso dos Reis. -- Jaboticabal, 2020.

WIKIPÉDIA. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Exu\\_\(Pernambuco\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Exu_(Pernambuco)). Acesso em 04/08/2021.

WIKIPÉDIA. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Petrolina>. Acesso em 04/08/2021.

ZEVIANI, Walmes Marques, RIBEIRO JUNIOR, Paulo Justiniano, BONAT, Wagner Hugo. Modelos de regressão não linear. **UFPR**, 2013.

ZYRIANOFF, Ivan et al. Impacto de lorawan no desempenho de plataformas de iot baseadas em nuvem e névoa computacional. In: Anais do xvii workshop em clouds e aplicações. SBC, 2019. p. 43-56.

## APÊNDICE A – PROGRAMA DE MODELAGEM DE DADOS

Programa em Python usado para calcular os coeficientes das equações de modelos, plotar os pontos dos dados coletados e das curvas dos modelos de Propagação Log-distância e Weissberger e o  $R^2$  - Coeficiente de Determinação destes modelos comparados com os dados coletados.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Mon May 3 15:16:28 2021

@author: Felipe Correia e Alexandre Cavalcanti
"""
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

from sklearn.metrics import r2_score
from math import sqrt

# Função do Modelo de Propagação de Weissberger: Pr+Gat+Gar=30.3
def p_r_w(d, a, b, c):
    return 30.3 - a*((0.915)**b)*(d)**c

# Função do Modelo de Propagação Log-distância: Pr+Gat+Gar=30.3
def p_r(d, n):
    return 30.3 - 10*n*np.log10(d)    # Valor do intercept = 30.3

# Cálculo da média
def media(y):
    Sy = 0
    for y_score in y:
        Sy += y_score
    return Sy/len(y)

# Coeficientes de Weissberger
# a      b      c
# 2.96291455 -32.9681075  0.13193194

# Cálculo do R2 para Weissberger
def R_sqr_w(d,y):
    var_y = sum((y_i - media(y))**2 for y_i in y)
    cov_y = sum((y[i] - p_r_w(d[i],popt_w[0], popt_w[1], popt_w[2]))**2 for i in
range(len(d)))

    return 1 - (cov_y / var_y)
```

```

# Cálculo do R2 para Log-distância
def R_sqr(d, y):
    var_y = sum((y_i - media(y))**2 for y_i in y)
    cov_y = sum((y[i] - p_r(d[i], *popt))**2 for i in range(len(d)))

    return 1 - (cov_y / var_y)

def Y_hat_array_w(d):
    y_hat_d = [p_r_w(d[i], popt_w[0], popt_w[1], popt_w[2]) for i in range(len(d))]
    return np.array(y_hat_d)

def Y_hat_array(d):
    y_hat_d = [p_r(d[i], *popt) for i in range(len(d))]
    return np.array(y_hat_d)

def rmse_bar(y):
    rmse = sum((y_i - media(y))**2 for y_i in y)
    rmse = rmse / len(y)
    return sqrt(rmse)

# Você precisa descomentar algumas linhas para caçular os dados do Experimento 2
# Arquivo de dados do Experimento 2: dadosExp2a.txt

# Para calcular o Experimento 2 descomente a linha abaixo e comente a linha abaixo dela
# e vice-versa
with open('dadosExp2a.txt', 'r') as f:
#with open('dadosExp1a.txt', 'r') as f:
    X = [[float(num) for num in line.split(',')] for line in f]

Y = np.array(X)

i=0
j=1
d = [row[i] for row in Y]
r = [row[j] for row in Y]

dist = np.array(d)
rssi = np.array(r)

print(media(rssi))          # Mostra a média de RSSI

# Cálculo dos coeficientes da Função de Weissberger
popt_w, pcov_w = curve_fit(p_r_w, dist, rssi)

# Cálculo dos coeficientes da Função Log-distância
popt, pcov = curve_fit(p_r, dist, rssi)

dt = np.arange(start=0.0, stop=np.max(dist), step=0.1)

plt.plot(dist, rssi, 'x', label='Dados')

```

```

# Curva do Modelo de Propagação Weissberger
plt.plot(dt, p_r_w(dt, popt_w[0], popt_w[1], popt_w[2]), 'g-',
         label='fit: n=%5.3f % popt_w[0])

# Curva do Modelo de Propagação Log-distância
plt.plot(dt, p_r(dt, *popt), 'r-',
         label='fit: n=%5.3f % tuple(popt))

plt.xlabel('$d$ [m]', labelpad=8, fontsize=20)
plt.ylabel('RSSI [dBm]', labelpad=8, fontsize=20)
plt.tick_params(axis='both', which='major', labelsize=14, pad=8)
plt.legend(['Dados', 'Weissberger', 'Log-distância'])
plt.tight_layout()
plt.grid()

print("R2 Weissberger = " + str(R_sqr_w(dist, rssi)))
print("R2 log-dist = " + str(R_sqr(dist, rssi)))

# Para o Experimento 2 usar X=5500
# Descomente as duas linha abaixo para plotar a curva do Experimento 2 e comente as duas
de baixo
# e vice-versa
plt.text(5500, -20, 'R2 = %1.4f % R_sqr_w(dist, rssi), color='g')
plt.text(5500, -40, 'R2 = %1.4f % R_sqr(dist, rssi), color='r')
#plt.text(250, -20, 'R2 = %1.4f % R_sqr_w(dist, rssi), color='g')
#plt.text(250, -40, 'R2 = %1.4f % R_sqr(dist, rssi), color='r')

print('\n')
print(r2_score(rssi, p_r_w(dist, popt_w[0], popt_w[1], popt_w[2])))
print(r2_score(rssi, p_r(dist, *popt)))

axes = plt.gca()
axes.set_xlim([np.min(dt), np.max(dt)])

# Para salvar o gráfico do Experimento 2 descomente a lonha abaixo e comenta a linha abaixo
dela
# e vice-versa
plt.savefig('D:/IFSERTA0/2021.1/TCC/Imagens/curve_fit_double02.pdf')
#plt.savefig('D:/IFSERTA0/2021.1/TCC/Imagens/curve_fit_double01.pdf')

```

## APÊNDICE B – PROGRAMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Programa em C++ usado para gerar os pacotes de dados e enviar para o receptor sob a forma de sinais de transmissão de rádio:

```

/*
  This is a simple example show the Heltec.LoRa sended data in OLED.

  The onboard OLED display is SSD1306 driver and I2C interface. In order to make the
  OLED correctly operation, you should output a high-low-high(1-0-1) signal by soft-
  ware to OLED's reset pin, the low-level signal at least 5ms.

  OLED pins to ESP32 GPIOs via this connectin:
  OLED_SDA -- GPIO4
  OLED_SCL -- GPIO15
  OLED_RST -- GPIO16

  by Aaron.Lee from HelTec AutoMation, ChengDu, China
  成都惠利特自动化科技有限公司
  https://heltec.org

  this project also realess in GitHub:
  https://github.com/Heltec-Aaron-Lee/WiFi_Kit_series
*/

#include "heltec.h"
#include "images.h"

#define BAND 915E6 //868E6 //915E6 //868E6 //433E6 //868E6 //you can set
band here directly,e.g. 868E6,915E6

unsigned int counter = 0;
String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet ;

void logo()
{
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->drawXbm(0,5,logo_width,logo_height,logo_bits);
  Heltec.display->display();
}

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  //WIFI Kit series V1 not support Vext control

```

```
Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true /*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa Disable*/,
true /*Serial Enable*/, true /*PABOOST Enable*/, BAND /*long BAND*/);
```

```
Heltec.display->init();
Heltec.display->flipScreenVertically();
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
logo();
delay(1500);
Heltec.display->clear();
```

```
Heltec.display->drawString(0, 0, "Heltec.LoRa Initial success!");
Heltec.display->display();
delay(1000);
}
```

```
void loop()
```

```
{
Heltec.display->clear();
Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
```

```
Heltec.display->drawString(0, 0, "Sending packet: ");
Heltec.display->drawString(90, 0, String(counter));
Heltec.display->display();
```

```
// send packet
LoRa.beginPacket();
```

```
/*
```

```
* LoRa.setTxPower(txPower,RFOUT_pin);
```

```
* txPower -- 0 ~ 20
```

```
* RFOUT_pin could be RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST or
RF_PACONFIG_PASELECT_RFO
```

```
* - RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST -- LoRa single output via PABOOST,
maximum output 20dBm
```

```
* - RF_PACONFIG_PASELECT_RFO -- LoRa single output via RFO_HF / RFO_LF,
maximum output 14dBm
```

```
*/
```

```
LoRa.setTxPower(20,RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);
```

```
//Altered code
```

```
//LoRa.print("hello "); //Esta string ebtra no pacote com 5 bytes
```

```
//LoRa.print("hello "); //Esta string ebtra no pacote com 5 bytes
```

```
LoRa.print(counter); //mais o contador com 1, 2 ou mais bytes dependendo da
quantidade de dígitos do número inteiro
```

```
LoRa.endPacket();
```

```
Serial.println(counter); //manda o contador de pacotes
```

```
Serial.println("=====");
```

```
if(counter == 100){  
    counter = 0;  
    delay(5000);  
}  
  
counter++;  
digitalWrite(LED, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)  
delay(1000);             // wait for a second  
digitalWrite(LED, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW  
delay(1000);             // wait for a second  
}
```

## APÊNDICE C – PROGRAMA DE RECEPÇÃO DE DADOS

Programa em C++ usado para captar os sinais enviados, medir seu nível de potência, SNR e contar os pacotes recebidos, modificado do programa Receiver da Heltec:

```
/*
```

```
This is a simple example show the Heltec.LoRa recived data in OLED.
```

```
The onboard OLED display is SSD1306 driver and I2C interface. In order to make the OLED correctly operation, you should output a high-low-high(1-0-1) signal by software to OLED's reset pin, the low-level signal at least 5ms.
```

```
OLED pins to ESP32 GPIOs via this connectin:
```

```
OLED_SDA -- GPIO4
```

```
OLED_SCL -- GPIO15
```

```
OLED_RST -- GPIO16
```

```
by Aaron.Lee from HelTec AutoMation, ChengDu, China
```

```
成都惠利特自动化科技有限公司
```

```
www.heltec.cn
```

```
this project also reless in GitHub:
```

```
https://github.com/Heltec-Aaron-Lee/WiFi\_Kit\_series
```

```
This program was modified by Alexandre Cavalcanti at march 2021  
to monitor the main RF params of a LoRa GW - ED link.
```

```
*/
```

```
#include "heltec.h"
```

```
#include "images.h"
```

```
//#include "ACS712.h"
```

```
//ACS712 sensor(ACS712_20A, A0); //20 amps sensor and pin
```

```
#define BAND 915E6 //433E6 //868E6 //433E6 //you can set band here directly,e.g.  
868E6,915E6
```

```
String rssi = "RSSI --";
```

```
String packSize = "--";
```

```
String packet ;
```

```
// Inserted code
```

```
String snr = "SNR: ";
```

```
const int port = 36;
```

```
int portVal = 0;
```

```
String portVal_str;
```

```
int count = 0;
```

```
String count_str;
```

```
void logo(){
```

```

Heltec.display->clear();
Heltec.display->drawXbm(0,5,logo_width,logo_height,logo_bits);
Heltec.display->display();
}

void LoRaData(){
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  // Altered code
  Heltec.display->drawString(0 , 20 , "Received "+ packSize + " bytes");
  Heltec.display->drawStringMaxWidth(0 , 30 , 128, packet);
  Heltec.display->drawStringMaxWidth(0 , 40 , 128, count_str);
  Heltec.display->drawStringMaxWidth(0 , 50 , 128, "Packets lost: " + String(count -
packet.toInt(), DEC) + " %");
  //Heltec.display->drawStringMaxWidth(0 , 40 , 128, portVal_str);
  //Heltec.display->drawString(0 , 15 , "Received "+ packSize + " bytes");
  //Heltec.display->drawStringMaxWidth(0 , 26 , 128, packet);
  // Inserted code
  Heltec.display->drawString(0, 10, snr);
  Heltec.display->drawString(0, 0, rssi);
  Heltec.display->display();
}

void cbk(int packetSize) {
  //Altered code
  String rssi_str = String(LoRa.packetRssi(), DEC) ;
  String snr_str = String(LoRa.packetSnr(), 3) ;

  packet ="";
  packSize = String(packetSize,DEC);
  for (int i = 0; i < packetSize; i++) { packet += (char) LoRa.read(); }
  //rssi = "RSSI " + String(LoRa.packetRssi(), DEC) ;
  rssi = "RSSI " + rssi_str;
  // Inserted code
  //snr = "SNR: " + String(LoRa.packetSnr(), 3) ;
  snr = "SNR: " + snr_str;

  //portVal = analogRead(port);
  //portVal_str = String(portVal, DEC);
  count_str = String(count, DEC);

  LoRaData();
  // Inserted code
  Serial.println(rssi_str); //manda o rssi
  Serial.println(snr_str); //manda o snr
  Serial.println(packSize); //manda os bytes do pacote
  Serial.println(packet); //manda o contador de pacotes
  //Serial.println(portVal_str);
  Serial.println(count_str);
}

```

```

Serial.println(String(count - packet.toInt(), DEC));
Serial.println("=====");

if (packet.toInt() >= 100){
  count = 1;
}
else{
  count++;
}
}

void setup() {
  // Inserted code
  Serial.begin(115200);

  //WIFI Kit series V1 not support Vext control
  Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true /*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa Disable*/,
  true /*Serial Enable*/, true /*PABOOST Enable*/, BAND /*long BAND*/);

  Heltec.display->init();
  Heltec.display->flipScreenVertically();
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  logo();
  delay(1500);
  Heltec.display->clear();

  Heltec.display->drawString(0, 20, "Heltec.LoRa Initial success!");
  Heltec.display->drawString(0, 30, "Wait for incoming data...");
  Heltec.display->display();
  delay(1000);
  //LoRa.onReceive(cbk);
  LoRa.receive();
}

void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) { cbk(packetSize); }
  delay(10);
}

```

## APÊNDICE D – PROGRAMA DE COMUNICAÇÃO RECEPTOR - LAPTOP

Programa em Python usado para enviar via USB e armazenar os dados dos parâmetros do sinal no Receptor, Dispositivo Final, no laptop para posterior análise:

```
#!/usr/bin/python
#
#   @Author: Alexandre Cavalcanti ajfnc@hotmail.com
#
#   @Date: 12/11/2015: recovered the program from backup
#
#   @Date: 02/24/2018: v 1.1 changed the serial port to USB
#
#   @Date: 03/10/2018: v 1.2: used requests library to post the keys in the thing
SOILMOISTURE at Freeboard dashboard
#
#   @Date: 03/10/2018: v 1.3: used csv library to write a csv file with keys: soil_moist_s1,
soil_moist_s2 and temp.
#
#   @Date: 03/12/2018: v 1.3.1: check if the value read is int or float and put it in he right
place
#
#   @Date: 03/19/2020: modified to attempt the USB0
#
#   @Date :01/12/2021: modified to attempt the COM ports and run on Windows
#
#   @Date :02/25/2021: modified to attempt the COM ports and run on Windows
#
```

```
import serial
import time
import requests
import csv
import sys
from datetime import datetime

from serial import SerialException

ser = serial.Serial('COM3', 115200)

#ser = serial.Serial('/dev/ttyACM1', 9600)
time.sleep(1)

trash = ser.read(10)
```

```
file = open(sys.argv[1], "w")

print("Iniciando!")

with file:

    while 1:
        #print("Lendo!")
        now = datetime.now()
        file.write(now.strftime("%d-%b-%Y (%H:%M:%S.%f)"))
        try:
            line_read = ser.readline()
            print(line_read.decode('utf-8'))
            #if "======" != line_read:
            file.write(str(line_read.decode('utf-8')))
        #else:
        #file.write(",")
        #file.write("\n")
        except SerialException:
            print('Serial error')
            ser.flushInput()

ser.close()
```