



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

MARIA ALICE JESUS DE SOUSA

SISTEMA DE DETECÇÃO DE PERDAS EM REDES DE FIBRA ÓPTICA
UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS

SOBRAL

2022

MARIA ALICE JESUS DE SOUSA

SISTEMA DE DETECÇÃO DE PERDAS EM REDES DE FIBRA ÓPTICA UTILIZANDO
INTERNET DAS COISAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Campus de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Wendley Souza Silva

Coorientador: M. Sc. Eng. Antônio Alan Rodrigues de Araújo

SOBRAL

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S697s Sousa, Maria Alice Jesus de.
SISTEMA DE DETECÇÃO DE PERDAS EM REDES DE FIBRA ÓPTICA UTILIZANDO INTERNET
DAS COISAS / Maria Alice Jesus de Sousa. – 2022.
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,
Curso de Engenharia da Computação, Sobral, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Wendley Souza Silva.
Coorientação: Prof. Me. Antônio Alan Rodrigues de Araújo.

1. Internet das Coisas. 2. Redes de Fibra Óptica. 3. LoRa. 4. LPWAN. I. Título.

CDD 621.39

MARIA ALICE JESUS DE SOUSA

SISTEMA DE DETECÇÃO DE PERDAS EM REDES DE FIBRA ÓPTICA UTILIZANDO
INTERNET DAS COISAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Campus de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wendley Souza Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M. Sc. Eng. Antônio Alan Rodrigues de
Araújo (Coorientador)
Diretor-geral da Ágil Engenharia

Prof. M. Sc. Erick Aguiar Donato
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Cláudio do Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, por serem meus primeiros
incentivadores e principais apoiadores durante
essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiro sou grata a Deus por me dar saúde e fé para realizar cada pequeno passo que resultou na construção da pessoa que sou hoje.

À minha família, meus pais, Raimundo Nonato Sousa e Terezinha Maria de Jesus, e irmão, Tobias Jesus de Sousa, por serem a minha inspiração diária e maior motivação, por me acompanharem em cada etapa da minha vida e jornada acadêmica.

Aos meus avós, José Edilson de Souza (em memória), Maria Alice de Vasconcelos (em memória), por todas as demonstrações de afeto e conselhos que me deram em vida, Moisés Torquato Ferreira (em memória) e Maria Targino de Lima, por todo o carinho e por serem exemplo de força e superação.

Ao Prof. Dr. Wendley Souza Silva por todo o apoio e orientação, não só neste trabalho, como em vários anos durante o curso, um profissional que admiro e me inspiro.

Agradeço a Ágil Engenharia na pessoa do fundador, Alan Araújo, que além do incentivo pessoal, me apoiou no desenvolvimento deste projeto com ensinamentos técnicos fundamentais para a construção deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Iális Cavalcante de Paula Júnior, por contribuir de forma positiva na minha formação profissional e por todo o apoio nos projetos que vivenciamos na graduação.

Aos membros da Loading Desenvolvimento Júnior, Centro Acadêmico de Engenharia de Computação (CAEC) e Núcleo de estudo em internet das coisas (NUCLIC), por proporcionarem ricas vivências em minha vida pessoal e profissional.

A Michelle Fontenele, secretária do curso, por toda a atenção e dedicação em sanar dúvidas e auxiliar nos processos administrativos que precisei.

Aos professores e colaboradores da Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, por me proporcionarem uma educação de referência.

Aos companheiros de estudo que se tornaram amizades que levarei para a vida, por toda a partilha de conhecimento e sentimentos. Destaco Daniel Alves, Neto Souza, Pedro Gomes, Rogério Venâncio, Evandro Filho, Ionara Sant'Anna, José Carlos, Cléber Júnior e Pedro Tavares.

Aos meus amigos, por todo o incentivo. Destaco Gabrielly Sousa, Roberta Kelly, Talita Ferreira, Rayelly Paula, Nathália Oliveira, Gabriela Albuquerque, Lívia Gomes, Júnior Nascimento, Tomás Filho, Werlley Ponte, Willian Praciano, Heli Ribeiro e Felipe Barros.

Sou grata a todos que direta e indiretamente participaram da experiência mais desafiadora da minha vida.

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

As redes de fibra óptica possuem a capacidade de gerar tráfego de dados em altíssima velocidade, e possuem uma largura de banda quase ilimitada, contribuindo para que a fibra seja um meio com pouca atenuação e dispersão. Atualmente, as redes de fibras óticas não possuem mecanismos de detecção de falhas para verificar se há sinal óptico sendo transmitido, ou para validar quando há ausência do mesmo. Para tornar isso possível têm-se a perspectiva da internet das coisas como principal proposta de resolução deste problema. Este trabalho apresenta a proposta de um sistema para monitoramento em tempo real da potência de sinal distribuída em redes de fibra óptica. O objetivo é utilizar a infraestrutura já existente das redes de fibra óptica fixadas nos postes de transmissão de energia elétrica, e para isso, as Caixa de Terminação Óptica (CTO)s são o ponto de partida, pois estas são as responsáveis por distribuir as fibras que irão para cada cliente e para outras CTOs. A proposta apresentada neste trabalho é que nelas sejam fixados os dispositivos necessários para coleta e transmissão dos dados, estes serão enviados para a central de rede através de um protocolo de comunicação de baixa potência e longo alcance, de onde serão analisados e enviados para a plataforma de armazenamento e, por fim, a informação sobre as condições do sinal óptico da CTO especificada será informada aos responsáveis pelo gerenciamento da rede, por meio de um aplicativo de serviço de mensagens. Foram realizados testes em laboratório e em campo da rede criada para funcionamento do sistema, e os resultados obtidos foram satisfatórios, pois apesar de algumas interferências no sinal, a conexão entre emissor e receptor da rede foi estabelecida e mantida, alcançando taxas de entrega dos dados acima de 75%.

Palavras-chave: Internet das Coisas. LPWAN. LoRa. Redes de fibra óptica.

ABSTRACT

Fiber optic networks can generate data traffic at very high speed and have almost unlimited bandwidth, contributing to the fiber being a medium with little attenuation and dispersion. Currently, optical fiber networks do not have fault detection mechanisms to verify if an optical signal is being transmitted or to validate when there is no such signal. To make this possible, the perspective of the Internet of Things is the main proposal for solving this problem. This work proposes a system for real-time monitoring of signal power distributed in fiber optic networks. The objective is to use the already existing infrastructure of fiber optic networks fixed on the electricity transmission poles. For that, the CTOs are the starting point, as they are responsible for distributing the fibers for each customer and other CTOs. The proposal presented in this work is that the necessary devices for data collection and transmission are fixed in them, these will be sent to the network center through a low-power and long-range communication protocol, from where they will be analyzed and sent to the platform of storage and, finally, the information about the optical signal conditions of the specified CTO will be informed to those responsible for managing the network, through a message service application. Tests were carried out in the laboratory and in the field of the network created for the operation of the system, and the results obtained were satisfactory because, despite some interference in the signal, the connection between the transmitter and receiver of the network was established and maintained, achieving data delivery rates above 75%.

Keywords: Internet of Things. LPWAN. LoRa. Fiber optic networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arquitetura do sistema.	32
Figura 2 – Splitter desbalanceado 15/85	37
Figura 3 – Projeto de uma rede desbalanceada.	37
Figura 4 – Tabela de perdas rede desbalanceada.	39
Figura 5 – Tabela de perdas rede balanceada.	39
Figura 6 – Caixa de terminação óptica (CTO).	40
Figura 7 – Power meter óptico.	40
Figura 8 – ESP32 LoRa V2 Heltec 863 a 928 MHz com Bluetooth e WiFi.	41
Figura 9 – Plataforma de desenvolvimento Arduino IDE.	42
Figura 10 – Fluxograma lógico do código.	43
Figura 11 – <i>Dashboard</i> com os gráficos para visualização dos dados.	43
Figura 12 – Seção de <i>feed</i> da Adafruit	44
Figura 13 – <i>Bot</i> do Telegram	45
Figura 14 – Simulação de uma rede de fibra óptica desbalanceada.	46
Figura 15 – ESP 32 LoRa Emissor.	48
Figura 16 – ESP 32 LoRa Receptor.	48
Figura 17 – Exemplo de como foi montado o cenário de testes simulando uma rede de fibra óptica.	49
Figura 18 – Envio de mensagens através do <i>bot</i> acionado via comando <i>start</i>	51
Figura 19 – Envio de mensagens através do <i>bot</i>	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre os protocolos de comunicação	33
Tabela 2 – Nível de sinal de cada caixa da rede proposta	47
Tabela 3 – Taxa de entrega e valores de RSSI em ambiente urbano.	50
Tabela 4 – Valores de RSSI da rede LoRa em ambiente urbano	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFP	<i>Adaptive Frequency Hopping</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	<i>Application Programming Interface</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CEO	<i>Caixa de emenda óptica</i>
CSMA CA	<i>Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
CTO	Caixa de Terminação Óptica
DIO	<i>Distribuidor Interno Ótico</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
FTTh	<i>Fiber to the home</i>
IoT	Internet of Things
LoRa	<i>Long Rang</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NB-IoT	<i>Narrowband Internet of Things</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
OLT	<i>Optical Line Termination</i>
ONT	<i>Optical Network Terminal</i>
ONU	<i>Optical Network Unit</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator.</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Acces</i>
WDM	<i>Wavelength-division Multiplex</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>MHz</i>	Medida de frequência
<i>kHz</i>	Frequência de onda
<i>GHz</i>	Banda de frequência.
<i>nm</i>	Comprimento de ondas
<i>dB</i>	Mede as perdas ópticas
<i>dBm</i>	Potência absoluta
<i>mW</i>	Medida de potência correspondente a um milésimo de Watt
<i>mA</i>	Intensidade da corrente elétrica
<i>V</i>	Tensão elétrica
<i>M</i>	Distância em metros
<i>km</i>	Distância em quilômetros
<i>Mbit/s</i>	Taxa de transmissão de dados de megabits por segundo
<i>Mbit/s</i>	Taxa de transmissão de dados de bits por segundo
<i>SF</i>	Fator de espalhamento
<i>BW</i>	Largura de banda
<i>RC</i>	Taxa de codificação
<i>FEC</i>	Taxa de correção antecipada de erros
<i>C</i>	Medida de temperatura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	PROBLEMÁTICA	17
3	OBJETIVOS	18
3.1	Geral	18
3.2	Específicos	18
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
4.1	Internet das coisas	19
4.1.1	<i>Componentes de hardware</i>	20
4.2	<i>Low Power Wide Area Network (LPWAN)</i>	20
4.3	Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)	21
4.4	Protocolos de comunicação de redes	22
4.4.1	<i>Long Rang (LoRa)</i>	22
4.4.2	<i>SigFox</i>	23
4.4.3	<i>Zigbee</i>	23
4.4.4	<i>Narrowband Internet of Things (NB-IoT)</i>	24
4.4.5	<i>Bluetooth Low Energy (BLE)</i>	24
4.4.6	<i>Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)</i>	25
4.5	Redes de fibra óptica	25
4.5.1	<i>Fibra Óptica</i>	25
4.5.1.1	<i>Vantagens e Desvantagens</i>	26
4.5.2	<i>Redes ópticas passivas Passive Optical Network (PON)</i>	26
4.5.2.1	<i>Redes Fiber to the home (FTTh)</i>	27
5	TRABALHOS RELACIONADOS	28
5.1	Análise de desempenho das redes lora	28
5.2	Sistema de monitoramento que utilizam redes lora	29
6	METODOLOGIA PROPOSTA	32
6.1	Visão geral	32
6.2	Protocolo de Comunicação	33
6.2.1	<i>Propriedades da Rede LoRa</i>	34
6.3	Sinal óptico	35

6.3.1	<i>Propriedades do sinal óptico</i>	35
6.3.2	<i>Cascadeamento e distribuição do sinal</i>	36
6.3.2.1	<i>Projeto de uma rede desbalanceada</i>	37
6.3.2.2	<i>Taxa de potência e perda</i>	38
6.4	Materiais de hardware	39
6.5	Softwares utilizados	42
6.5.1	<i>Adafruit</i>	43
6.5.1.1	<i>MQTT</i>	44
6.5.2	<i>Telegram</i>	45
7	TESTES E RESULTADOS	46
7.1	Cenários de testes	46
7.1.1	<i>Teste da rede LoRa</i>	47
7.1.2	<i>Teste de funcionamento da central de rede</i>	48
7.2	Resultados obtidos	49
7.3	Discussões dos resultados	52
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O surgimento da rede mundial de computadores revolucionou em escala global as definições de comunicação e fomentou a busca por desenvolver meios de conexão mais abrangentes e acessíveis. Os diversos avanços que ocorreram desde o surgimento da internet possibilitaram o rompimento de várias barreiras físicas ao conectar lugares distantes e distintos de forma simultânea. As tecnologias do segmento sem fio, como: via-rádio, telefonia e fibra óptica, são exemplos significativos destas contribuições (SILVA, 2015).

A Internet tradicional foi elevada para algo sensorial com o advento da Internet of Things (IoT), variáveis e condições de ambiente, como: iluminação, vibração, pressão, temperatura, umidade; passaram a ser coletadas, processadas e interpretadas através de dispositivos e aplicações inteligentes onde são transformadas em informações e conhecimento úteis (EVANS, 2011).

Dentre as tecnologias em ascensão a internet das coisas vem conquistando um significativo espaço. Conforme (CAVALLI, 2016) o que hoje é definido como IoT, refere-se a um conjunto de protocolos e tecnologias interligados que tornam possível a conexão de objetos do cotidiano a uma rede de comunicações, onde são identificados e controlados por meio desta conexão.

O principal fator que facilita a crescente popularidade da IoT na área das telecomunicações sem fio, é a integração de diversas tecnologias e soluções de comunicação, que vem de diferentes áreas do conhecimento, como da própria telecomunicações, informática, eletrônica e ciências sociais. No meio das variadas contribuições que a internet das coisas possibilitou, destacam-se: tecnologias de identificação e rastreamento, redes de sensores e atuadores com fio e sem fio, protocolos de comunicação aprimorados e inteligência distribuída para objetos inteligentes (AMARAL, 2020).

De modo geral, as redes de telecomunicações são as grandes impulsionadoras da disseminação da IoT, possuem uma infraestrutura amplamente difundida em escala mundial, além de pertencer a um dos setores da economia que mais tem se buscado inovação e aprimoramento.

No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) publicou, em fevereiro deste ano de 2022, o balanço de acessos aos serviços de telecomunicações referentes ao ano de 2021. De acordo com os dados apresentados, os assinantes de banda larga fixa tiveram um crescimento de 14%, saíram de 36,3 milhões em dezembro de 2020 para 41,4 milhões em dezembro de 2021, sendo que entre os anos de 2019 e 2020 o aumento considerado significativo

foi de 10%, destacam-se os acessos com a tecnologia de fibra óptica, que somavam 26 milhões ao final de 2021 (ANATEL, 2021).

As redes de fibra óptica geram um tráfego de dados em altíssima velocidade. Nesse tipo de rede a largura de banda é quase ilimitada, fator este que contribui para que a fibra seja um meio com pouca atenuação e dispersão. Atualmente as redes de fibra óptica são popularmente utilizadas por provedores de serviços de telecomunicações (JUNIOR, 2021).

Para realizar a instalação das redes de fibra óptica requer que a empresa seja especializada, pois a forma como a estrutura é montada, influencia diretamente na qualidade do sinal. Em relação à manutenção é preciso utilizar os equipamentos adequados; um exemplo é o *power meter*, este é responsável por medir a potência de luz em dBm, através da análise dos valores obtidos e da organização da rede, pode-se determinar se a fibra está atenuada, quebrada ou problema nas emendas, para tal é necessário medir a potência de luz transmitida e potência de chegada (PIÑERES; MAYORGA, 2011).

2 PROBLEMÁTICA

A disponibilidade em larga escala de infraestrutura para a instalação e utilização das redes de fibra óptica é uma grande aliada em sua implementação, normalmente estas redes são distribuídas utilizando a infraestrutura da rede elétrica convencional, assim os postes são os principais responsáveis pela sustentação dos cabos e seus respectivos equipamentos (CASOTTI, 2021). Entretanto, o fato de usar a mesma forma de distribuição de rede elétrica, remete ao problema de não possuir um sistema de detecção de falhas na rede de modo eficiente, no caso atenuação ou rompimento da fibra.

Nas redes elétricas de média tensão, as concessionárias de energia possuem os religadores, equipamentos responsáveis por manobras nas redes de distribuição, estes podem desligar e religar a rede quando ocorrem casos de oscilações e curtos-circuitos, dependendo da sua arquitetura podem ter uma quantidade definida de tentativas para manter a rede ligada. Os religadores são automáticos, não possuem nenhuma implementação de comunicação remota ou ações consideradas inteligentes que possam notificar a concessionária da situação da rede (MENDONÇA *et al.*, 2021).

Acontece que as redes de fibra óptica não possuem equipamentos fixos, instalados por sua rede para tentar detectar algum tipo de falha, como os religadores, nem muito menos mecanismo de notificar os seus mantenedores de forma remota. Atualmente para que a detecção ocorra o usuário final deve acionar seu fornecedor, com o intuito de que seja aberto um chamado e quando houver disponibilidade uma equipe se dirija ao local para detectar o problema utilizando-se de equipamentos como o *power meter* e o OTDR, só então será confirmado o tipo de falha e assim realizar a manutenção necessária (LIMA *et al.*, 2013).

Fomentado por esse gargalo na detecção de falhas nas redes de fibra óptica, têm-se a perspectiva da internet das coisas como principal proposta de resolução deste problema, a mesma poderá contribuir de forma inteligente para a melhoria da infraestrutura nesse tipo de rede. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real da potência de sinal distribuída em redes de fibra óptica.

O sistema possuirá um protótipo de *hardware* capaz de enviar os dados coletados de forma remota por meio de conexão sem fio, o intuito é que estes sejam processados por uma central, após a conclusão da análise as informações geradas sobre o *status* de funcionamento das redes será disponibilizado para seus mantenedores, por sua vez, os mesmos serão notificados sempre que houver anomalias nas conexões da rede.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Criar um sistema IoT capaz de coletar e enviar dados por uma rede sem fio, de forma remota e em tempo real, com o intuito de notificar perdas de sinal em redes de fibra óptica, fazendo o uso de um *power meter* óptico de baixo custo.

3.2 Específicos

- Implementar no algoritmo responsável pela comunicação entre os dispositivos IoT na rede sem fio, um protocolo de comunicação que possibilite transmissões de longo alcance e que tenha baixo consumo energético;
- Desenvolver um protótipo de um dispositivo IoT utilizando um microcontrolador da linha NodeMCU para coleta e envio de dados em uma rede sem fio;
- Utilizar o protótipo de *power meter* óptico para analisar as potências e perdas na rede de fibra óptica;
- Criar uma solução para notificar o responsável pela rede de fibra óptica de uma maneira prática e rápida.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados conceitos relevantes para compreender todo o contexto de telecomunicações necessário para o desenvolvimento deste projeto.

4.1 Internet das coisas

A internet das coisas traz consigo a praticidade de conectar diferentes tipos de tecnologias através de seus sensores, atuadores e protocolos de comunicação, para a implementação de aplicações inteligentes. O pesquisador e especialista na área de tecnologia MEIRA (2017) define as “coisas”, como dispositivos que possuem três características simultâneas: computação, comunicação e controle. Caso o dispositivo possua computação e comunicação, mas não possua sensores ou atuadores que lhe permitam a capacidade de controle, o mesmo torna-se uma máquina em rede; caso não possua capacidade de comunicar-se, é considerado um sistema de controle digital; se não detém de capacidades computacionais, então é um sistema de telemetria MEIRA (2017).

A integração dos objetos no ambiente físico com o mundo virtual são viabilizadas por meio da IoT, desde o início de seus conceitos surgiram várias propostas de definição de uma arquitetura para criar um modelo de estrutura padrão, com passos definidos e seguindo uma ordem lógica, assim de fato teríamos os requisitos e um conjunto de instruções a serem seguidas para desenvolver tais aplicações de IoT. Baseado no estudo realizado pelos autores do trabalho (AL-FUQAHA *et al.*, 2015), temos um modelo de estrutura sugerido, este divide um projeto em seis blocos/elementos necessários para que as funcionalidades essenciais da IoT sejam atendidas. São eles: identificação, sensoriamento, comunicação, computação, serviços e semântica.

De modo geral, na identificação é responsável por detectar os objetos que estarão conectados à Internet, tecnologias como *Near Field Communication* (NFC) e *Radio-Frequency IDentification* (RFID) podem ser utilizadas para tal. Na etapa de sensoriamento, temos o emprego dos componentes de *hardware* como sensores que coletam informações sobre o cenário onde os objetos se encontram e os atuadores que podem manipular o ambiente ou reagir conforme os dados lidos. Em seguida, a comunicação refere-se às variadas técnicas utilizadas para conectar as “coisas”, um exemplo é o *bluetooth* e o LoRa. A computação é responsável pelo processamento de algoritmos locais, podemos citar o papel dos microcontroladores nesse passo. Em relação à parte de serviços, estes se dividem em: Serviços de Identificação, Serviços de Agregação de

Dados e Serviços de Ubiquidade. Por fim, a semântica tem o intuito de gerar conhecimento, extraindo informações com base nos dados coletados e processados durante toda a aplicação, isso implicará em uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis (SANTOS *et al.*, 2016).

4.1.1 Componentes de hardware

Quando o assunto internet das coisas é mencionado já associamos as tecnologias sem fio, como a internet pode ser acessada por uma gama de objetos, além disso, a parte de hardware deve receber atenção semelhante, afinal são necessários componentes específicos para diferentes funcionalidades e tecnologias. Os microcontroladores e microprocessadores são fundamentais nestas aplicações, tais como o ESP8266 e a "família" dos NodeMCUs.

Segundo Oliveira (2017), as funcionalidades de um microcontrolador envolvem: interfaces de entrada e saída (I/O), memória *Random Access Memory* (RAM), memória *Erasable Programmable Read-Only Memory* (EPROM), dados de circuito oscilador (*clock*), interface de comunicação (serial ou USB) e as interfaces de rede internet (*Wi-fi e bluetooth*), com essas funcionalidades integradas é possível atender a inúmeras aplicações. O requisito de ambiente para utilização dos microcontroladores é a energia, eles possuem baterias que poderiam mantê-los em funcionamento por um bom tempo, sem necessidade de carga ou substituição, pois estes são classificados como de baixíssimo consumo de energia. Um fator de grande valia nas implementações com microcontroladores, com destaque para o ESP8266, é a possibilidade do baixo custo em pequena e larga escala (OLIVEIRA, 2017).

4.2 LPWAN

As redes LPWAN, traduzido do inglês como redes de longa distância de baixa potência, são um tipo de rede que tem uma ligação significativa com a proposta das implementações na internet das coisas. Estas são caracterizadas por mecanismos de operação que consomem pouquíssima energia, tem identificação precisa de localização, possibilitam um longo alcance e dispõem de técnicas de cobertura de segurança. Tendo em vista estes fatores é bastante favorável seu custo benefício em diferentes cenários e aplicações, outro ponto relevante é que as LPWAN não tem a necessidade de protocolos de roteamento de malha sem fio mais robustos, o que fomenta uma maior eficiência na sua aplicação já que estes complicam a implementação de dispositivos finais e aumentar o consumo de energia (CHAUDHARI; ZENNARO, 2020).

É comum que as LPWAN sejam compreendidas como um paradigma da internet das coisas, afinal há uma crescente demanda de aplicações IoT por possibilitar que os domínios dependentes de conectividade consigam abranger grandes áreas e manter a capacidade de lidar com um grande número de conexões, com isso todas as tecnologias que usam o conceito de longas distâncias e baixas potências necessariamente devem ser compatíveis com a internet, isso garante que o gerenciamento de dados, dispositivos e rede possa ser realizado nas plataformas baseadas em nuvem, podendo ser implantadas para uma ampla gama de aplicativos inteligentes (CHAUDHARI *et al.*, 2020).

4.3 RSSF

No âmbito da internet das coisas tem-se mais um tipo de tecnologia, que fundamentará o desenvolvimento deste trabalho, as redes de sensores sem fio, estas descritas como inúmeros nós microprocessados com capacidade de comunicação sem fio que possuem uma alimentação por baterias (OLIVEIRA, 2017). Levando em consideração a proposta de manter um baixo custo nesses nós, foram necessárias várias adaptações na parte da comunicação, protocolos e padrões, como também em hardwares projetados para garantir o consumo mínimo de energia.

Normalmente as RSSF diferem e vão muito além de redes de computadores tradicionais, isso devido a especificidades como: o grande número de nós distribuídos, a significativa restrição de energia, os mecanismos para autoconfiguração e adaptação de problemas de falhas de comunicação e perda de nodos. Em outras palavras, as RSSF devem ser construídas para serem autônomas e possuírem um alto grau de cooperação na execução das tarefas definidas para a rede (RUIZ *et al.*, 2004).

Segundo AQUINO (2015) os dispositivos que são e serão conectados na IoT possuem como alicerce o conceito de RSSF, já que este conjunto de periféricos e dispositivos têm a capacidade de expansão até se transformar em um grande sistema distribuído cooperativamente.

Exemplos práticos dessas redes são o monitoramento remoto feito em reservas ambientais, oceanos, vulcões, rios e florestas, onde os nós sensores podem ser lançados sobre estas áreas, sem intervenção de técnicos ou operadores, em seguida é criada uma rede sem fio do tipo *ad hoc* responsável pela coleta de dados sobre o fenômeno estudado, realiza processamento local e dissemina as informações para um ponto de acesso em um esquema de comunicação multi-saltos. O ponto de acesso é o elemento através do qual a rede comunica-se com outras redes ou com um, ou mais observadores (RUIZ *et al.*, 2004).

4.4 Protocolos de comunicação de redes

Nesta subseção serão apresentados os protocolos de comunicação comumente utilizados em redes que focam em garantir o baixo consumo energético e tenham longo alcance, em outras palavras são específicos para aplicações de internet das coisas, através do estudo e análise comparativa destas tecnologias será definido qual é o mais indicada para esta aplicação. Apesar de não ser um protocolo especificamente LPWAN, ainda será citado o protocolo MQTT, pois este será de fundamental importância para o desenvolvimento do trabalho.

4.4.1 LoRa

LoRa pode comumente se referir a duas camadas distintas: a primeira relacionada a uma camada física usando a técnica de modulação de rádio *Chirp Spread Spectrum* (CSS) e a segunda um protocolo de camada *Media Access Control* (MAC) LoRaWAN, para sua utilização têm-se uma arquitetura de rede de acesso específica. Tanto o protocolo quanto a arquitetura de rede influenciam na determinação da vida útil da bateria de um nó, a capacidade da rede, a qualidade do serviço, a segurança, e a variedade de aplicações atendidas pela rede (AUGUSTIN *et al.*, 2016).

Conforme o Alliance (2015), LoRa pode ser entendido como a camada física ou a modulação sem fio utilizada para criar o longo *link* de comunicação de alcance, mantém as mesmas características de baixa potência que a modulação *Frequency Shift Keying* (FSK), mas aumenta significativamente o alcance da comunicação, por exemplo, um único *gateway* ou estação base pode cobrir toda cidade ou centenas de quilômetros quadrados. É válido salientar que o LoRaWAN foi projetado para otimizar LPWAN priorizando a eficiência energética, vida útil da bateria, capacidade, alcance e custo. Atualmente os valores de frequência mais usados pelo LoRaWAN são: 109 MHz, 433 MHz, 866 MHz e 915 MHz, essa variação é referente a localização geográfica, o Brasil utiliza 915 MHz.

A técnica de modulação utilizada no LoRa torna o sinal mais robusto ao ruído do canal, já que toda a largura de banda alocada é usada para transmitir um sinal (informações ou dados). Além disso, a segurança do sistema LoRa pode ser garantida como a transmissão é espalhada de forma pseudo-aleatória que apresenta como um ruído, daí a técnica de modulação ter proporcionado a segurança básica para o sistema LoRa. Dentro outras palavras, a forte penetração do sinal LoRa torna capaz de fornecer cobertura suficiente em um ambiente interno

de difícil acesso à localização (ZOURMAND *et al.*, 2019).

4.4.2 SigFox

O SigFox também é um exemplo dos protocolos de baixo consumo energético que possuem suporte a uma série de dispositivos. Tem como característica a abstração das dificuldades de conexão e fornece uma *Application Programming Interface* (API) para que os usuários implementem sistemas IoT com maior facilidade. É estimado que seu raio de cobertura em zonas urbanas está entre 3 km e 10 km e em zonas rurais entre 30 km a 50 km. A taxa de comunicação varia entre 10 bps e 1000 bps e opera na faixa de 900 MHz (SANTOS *et al.*, 2016).

Em uma rede com SigFox o dispositivo inicia uma transmissão enviando três pacotes de *uplink* em sequência em três frequências de portadora aleatórias, isso permite que a estação base receberá o pacote, mesmo que ocorra colisão com outros dispositivos ou interferência de outros sistemas usando a mesma frequência, resultando no sucesso da comunicação mesmo se duas das transmissões forem perdidas. No entanto, um dispositivo SigFox pode transmitir apenas 36 segundos por hora, seu tempo no ar é de 6 segundos, com no máximo 6 mensagens por hora com uma carga útil de 4, 8 ou 12 *bytes* (VEJLGAARD *et al.*, 2017).

4.4.3 Zigbee

ZigBee recebeu o nome da forma como as abelhas zig e zag enquanto rastreia entre flores e retransmite informações a outras abelhas sobre onde encontrar recursos. O diferencial do ZigBee é que ele prioriza a padronização e permite a interoperabilidade dos dispositivos, segue a mesma proposta de fomentar uma rede de baixo consumo energético, mas de curto alcance (SAFARIC; MALARIC, 2006).

Para aumentar a confiabilidade, o ZigBee usa o chamado *Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance* (CSMA CA), antes de transmitir o canal precisa ser ouvido, se este está livre, o ZigBee começa a transmitir. Isso dificulta que os rádios gerem dados corrompidos, assim esse mecanismo pode ser entendido como uma conversa entre duas pessoas, um só começa a falar quando o outro termina (GISLASON, 2008).

A especificação do protocolo IEEE 802.15.4 para a camada de enlace é a base para o ZigBee. Suas principais características são a baixa vazão, baixo consumo energético e baixo custo, com este protocolo é possível a operação em diferentes faixas de frequência: 2.4 GHz, 868 MHz e 915 MHz. A proposta é que a taxa máxima de transferência chegue em 250 kbps,

mas, na prática temos taxas inferiores. Outro diferencial do ZigBee é que os dispositivos entram em modo *sleep* por longos intervalos de tempo para economizar energia e, assim, estendendo a vida útil do dispositivo. (SANTOS *et al.*, 2016).

4.4.4 NB-IoT

O NB-IoT denominado internet das coisas de banda estreita é baseado em várias funcionalidades do *Long Term Evolution* (LTE), isso facilita uma implantação rápida e de baixo custo usando uma infraestrutura já existente. O NB-IoT pode ser implantado em três modos de operação diferentes: o primeiro é autônomo como uma portadora dedicada, o segundo dentro da banda dentro da largura de banda ocupada de uma portadora LTE de banda larga e terceiro dentro da banda de guarda de uma operadora LTE existente (MANGALVEDHE *et al.*, 2016).

Esta tecnologia usa um espectro licenciado, possui um protocolo síncrono com intervalo de tempo ideal para implementações com garantia de *Quality of Service* (QoS), porém esta vantagem de QoS é obtida em referência a toda despesa do processo de implementação. Devido à relação comercial entre QoS e o alto custo do espectro, aplicativos que precisam de QoS preferem este protocolo (SINHA *et al.*, 2017).

4.4.5 BLE

O *bluetooth* de baixa energia é uma nova versão do *bluetooth* clássico, que visa o menor consumo de energia possível para as tecnologias sem fio. Com a sua otimização não será possível altas taxas de dados, mas é possível que a utilização de grandes volumes, devido ao custo baixo (HEYDON; HUNN, 2012). As versões mais antigas do *bluetooth*, focaram em aumentar a taxa de comunicação, isso tornou o protocolo mais complexo inviabilizando a sua utilização em dispositivos com limitações energéticas (SANTOS *et al.*, 2016).

Em relação à arquitetura BLE manteve algumas partes comuns do *bluetooth* clássico, permitindo o desenvolvimento de dispositivos compatíveis com ambos os padrões. Um mecanismo relevante para evitar interferência e desvanecimento com outras comunicações sem fio na mesma banda de rádio, o BLE implementa um *Adaptive Frequency Hopping* (AFP), uma estratégia para evitar a interferência de outros dispositivos, para tal define de forma pseudo-aleatória o canal de comunicação utilizado pelas duas principais características do link (TOSI *et al.*, 2017).

4.4.6 MQTT

O protocolo MQTT funciona baseado no protocolo TCP/IP e tem o propósito de facilitar a comunicação entre máquinas, de modo geral este protocolo é ideal para aplicações em dispositivos embarcados que possuem capacidade de processamento mais limitada e utilizam uma rede de comunicação mais instável, o que favorece sua implementação em aplicações em IoT. Este protocolo utiliza um modelo de *Publish/Subscribe*, permitindo que o cliente faça postagens e/ou capte informações enquanto o servidor gerencia o envio e recebimento dos dados (SONI; MAKWANA, 2017).

4.5 Redes de fibra óptica

O setor de telecomunicações tem crescido significativamente nas últimas décadas, com a motivação de tornar o mundo cada vez mais digital, não só os grandes centros comerciais, mas as áreas mais remotas do planeta passaram a conectar cada vez mais pessoas à rede mundial de computadores. Tendo em vista esta demanda emergente por conexão, várias tecnologias de comunicação são aprimoradas com maior frequência e passam a atuar em conjunto com diferentes tipos de aplicações.

No Brasil as redes de fibra rapidamente se difundiram pelo país, sua abrangência já é tão significativa que em dados atuais da Agência Nacional de Telecomunicações ANATEL, tem-se que dos 41,8 milhões de acessos de banda larga fixa, 64,8% são referentes à utilização de fibra óptica (ANATEL, 2022).

4.5.1 Fibra Óptica

Nas redes de fibra óptica a fibra é o meio de transmissão de dados, baseia-se no princípio de reflexão interna total, onde o feixe de luz é propagado através do núcleo e percorre toda a sua extensão até a outra extremidade, então a luz transmitida a longas distâncias é refletida milhares de vezes. O material utilizado para a fabricação dos filamentos de fibra são vidros (composto de cristais naturais) ou plásticos (cristais artificiais), possuem a espessura entre 10 e 300 microns, menor ou equivalente a dos fios de cabelo (VARGAS, 2014).

4.5.1.1 *Vantagens e Desvantagens*

Para citarmos as vantagens da fibra óptica é válido salientar que estas são facilmente detectadas quando comparamos a utilização de fios de cobre. As mais relevantes são:

- A possibilidade de transmissões de longa distância, o destaque é devido à redução de erros de transmissão;
- A leveza e as dimensões reduzidas dos fios, é um benefício para a infra-estrutura já que favorecem as instalações;
- A largura de banda quase ilimitada, o que permite que sejam enviados mais dados em menos linhas físicas;
- A fibra é um material dielétrico que não sofre interferência de campos magnéticos e também não é afetada por condições do ambiente e meteorológicas, como acontece com as comunicações sem fio;
- Ainda existe uma importantíssima vantagem da privacidade do sinal, já que este é propagado e confinado dentro do núcleo, possuindo ainda revestimento interno e externo, impossibilitando que os dados ali trafegados sejam interceptados por terceiros (KEISER, 2014).

Em relação às desvantagens encontradas cita-se: a alta fragilidade das fibras, o que pode dificultar o manuseio nas instalações em campo; a mão de obra mais especializada, pois é necessário fazer emendas entre as fibras e utilizar equipamentos específicos, em casos de quebra o reparo será mais demorado, e ainda o fator de necessitar da utilização de transmissores e receptores mais caros. Com tudo o que foi mencionado, as vantagens de utilização da fibra óptica sobrepõem as desvantagens quando comparada aos cabos coaxiais (VARGAS, 2014).

4.5.2 *Redes ópticas passivas PON*

No cenário das redes de fibra óptica têm-se dois tipos de rede: as redes ativas e as passivas, estas são caracterizadas respectivamente por a primeira possuir equipamentos fora da central que consomem energia e as segunda por utilizar componentes totalmente passivos na rede de distribuição. As PONs, são um exemplo da aplicação dessas redes passivas, os provedores de internet conseguem através delas enviar os dados das suas redes de serviços para vários clientes de um modo eficiente (ABREU *et al.*, 2009).

Quando seguem a definição acima citada as redes de fibra óptica são redes do tipo

PONs, para garantir o funcionamento destas são comumente utilizados os seguintes equipamentos: *Optical Line Termination (OLT)*, considerada um dos equipamentos mais importantes da rede é a partir dela que o sinal passa a ser transmitido para a toda a rede PON; *Distribuidor Interno Ótico (DIO)* é destinado à organização e acomodação dos cabos ópticos que saem dos armários/gabinetes dos provedores de internet, tem o intuito também de proteger as fusões nas fibras; *Caixa de emenda óptica (CEO)* normalmente são as caixas que mais ficam expostas da infraestrutura, estas são colocadas nos vãos entre os postes e acomodam as emendas dos cabos ópticos; *CTO*, são as caixas que os cabos para atender os clientes, ela é a responsável por abrigar os cabos de fibra óptica, onde é organizado as fusões e ainda acomoda os *splitters* para distribuir o sinal óptico de uma fibra para várias outras; *Optical Network Unit (ONU)*, que recebe o sinal de acesso após passar pelos equipamentos citados anteriormente, o transforma em impulsos elétricos e o distribui através de um cabo para o roteador do cliente, esta também reconhecida como *Optical Network Terminal (ONT)* Cortes *et al.* (2020).

As redes PON foram projetadas para utilizar apenas uma fibra óptica, mas com transmissão bidirecional: *Upstream* e *Downstream*. Nesta configuração se implementa o *Wavelength-division Multiplex (WDM)*, responsável por transmitir pela fibra inúmeros feixes de luz com tamanhos distintos, é utilizado o tipo de transmissão *broadcast* a partir da OLT para todas as ONUs. Já na resposta é necessário implementar o *Time Division Multiple Acces (TDMA)* para que cada ONU consiga enviar sobre o canal com seu *slot* de tempo definido (KEISER, 2014).

4.5.2.1 Redes FTTh

Nas telecomunicações qualquer arquitetura de rede que utiliza a fibra ótica, tem a seguinte nomenclatura *fiber to the x (FTTx)*, o x é substituído pela a indicação da terminação da rede. Por exemplo, a fibra sai da central do provedor e vai até: o nó (FTTn), o poste ou calçada (FTTc), o prédio (FTTb), o apartamento (FTTa) e a casa (FTTh). Neste trabalho sera dado ênfase nas aplicações de redes FTTh, estas são o tipo de arquitetura de rede utilizada pelas operadoras de telecomunicações, como os provedores de internet, consiste basicamente em equipamentos passivos, utilizando fibra ótica como meio físico de transmissão do sinal em toda a rede até a residência do cliente final (JUNIOR, 2021).

5 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, serão apresentados os principais trabalhos relacionados, estes estão dispostos em duas subseções, a primeira é destinada aos trabalhos que analisam o desempenho das redes LoRa, já a segunda refere-se aos trabalhos que desenvolveram sistemas de monitoramento utilizando estas redes.

5.1 Análise de desempenho das redes lora

Em seu trabalho de análise de desempenho de uma rede sem-fio de baixa potência e longo alcance para a internet das coisas, o autor (ORTIZ, 2018) propõe avaliar a funcionalidade da tecnologia LoRa, utilizando a rede em diferentes ambientes no campus da UFRJ, mostrando que as variações de distância e as fontes de interferência influem no desempenho da mesma. Baseado em dispositivos com arquitetura básica dos objetos inteligentes, foi desenvolvido um protótipo que possui duas unidades de comunicação LoRa, estas foram configuradas como um dispositivo cliente e outra como dispositivo servidor. Na primeira unidade para realizar o sensoriamento do projeto utilizou-se um sensor de temperatura e umidade e com a finalidade de obter dados referente a localização é empregado o receptor GNSS (Global Navigation Satellite System). A outra unidade é destinada apenas para receber mensagens, denominada unidade receptora. As métricas da análise de desempenho foram as seguintes variáveis: tempo de recepção, taxa de perda de pacotes, vazão, potência do sinal, relação sinal-ruído. Com os resultados obtidos após toda a fase de experimentos, observou-se que devido à técnica de modulação LoRa e a sensibilidade dos dispositivos utilizados foi possível validar que mesmo com os sinais altamente sensíveis, os módulos receptores conseguiram recuperar o sinal íntegro enviado pelo transmissor.

Já (MAZIERO *et al.*, 2020) fez sua análise das redes lora por meio do seu projeto de desenvolver um nó LoRaWAN híbrido com repetidor embutido. A proposta é favorecer a retransmissão de pacotes de dispositivos que estejam com baixa taxa de entrega ou até mesmo para favorecer a extensão da rede mantendo o baixo custo agregado. Para este projeto foi utilizado um sensor de temperatura digital e uma saída digital, com o intuito de provar que o nó consegue enviar e receber dados pela rede LoRa, enquanto funciona como repetidor. O cenário de teste utilizado foi o campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), este possui 94 medidores eletrônicos de energia elétrica com comunicação *LoRaWAN* e dois *gateways* multicanal. Para obtenção de resultados mais precisos foi comparado a taxa de entrega de pacotes

antes e depois da inserção do nó híbrido na rede, notou-se que a taxa de entrega de pacotes era de 59,34%, no experimento seguinte, já com a inserção do nó, passou a ser de 96,53%, gerando um aumento de 37,19% na taxa de entrega de pacotes. Os resultados obtidos mostram que as redes lora possibilitam um ambiente favorável para utilização e expansão de suas redes, assim abrindo um leque ainda maior de variadas aplicações, no trabalho mencionado a taxa de entrega dos pacotes foi melhorada significativamente, o que favorece a possibilidade de utilizar o nó híbrido para melhoria do sinal em locais com pouca cobertura, sem a necessidade de adicionar um novo *gateway* na rede LoRaWAN.

5.2 Sistema de monitoramento que utilizam redes lora

Neste trabalho desenvolve-se a construção de um sistema de monitoramento que utiliza LoRa para envio dos dados coletados por cada dispositivo de coleta de dados agrícola, a proposta é interligar diversas estações de medição de dados possibilitando que cada dispositivo mesmo estando distante do nó receptor, consiga enviar suas medições de modo independente. O cenário de teste foi uma área reservada dentro do Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (Lanapre) da Unidade da Embrapa Instrumentação Agropecuária. Com a implementação da rede lora em testes em ambiente controlado a uma distância de 30 metros, os resultados mostraram que a conexão entre a estação e o receptor foram totalmente funcionais, fora realizado um teste do sistema com 12 horas de funcionamento, foi possível gravar na ferramenta de armazenamento de dados *Thingspeak* os dados obtidos, mas ainda precisa aprimorado o *firmware* para aplicações de maior escala e ainda alocar os componentes do dispositivo em uma placa definitiva para assim acomodá-las em caixas resistentes as intempéries (PEREIRA; CRUVINEL, 2019).

O autor (FRANCISCO, 2021) propõe em seu trabalho um teste de viabilidade da aplicação das redes LoRa por meio de monitoramento remoto, os dados utilizados enviados são referentes ao solo sendo obtidos por meio de sensores de campo na agricultura de precisão no Brasil. Embasado pelos trabalhos já publicados e com os testes em ambiente controlado, definiu-se a utilização da rede LoRa como a melhor alternativa a falta de estrutura de transmissão de dados em áreas rurais, visto que nestas a escassez de oferta de sinal digital nas amplas e mais remotas regiões do país, onde se localizam as atividades agrícolas, gerando barreiras para a obtenção dos dados de campo e inviabiliza a tomada de decisões em tempo real sobre as plantações, impactando também no planejamento de ações futuras. Com toda a pesquisa desenvolvida durante essa

projeto entende-se que a implementação de sensores no solo, associados as tecnologias de transmissão de dados LoRa que possui longo alcance, baixa potência e baixo custo de operação, é uma alternativa eficaz para o produtor que deseja controlar o plantio em tempo real em grandes áreas.

Outro trabalho de relevância para avaliarmos a implementação da rede lora agora com a abrangência de uma cidade, é proposto por (CORDEIRO, 2019) cujo projeto consiste no desenvolvimento de um dispositivo, com a capacidade de captar os dados sobre os parâmetros ambientais e de energia nos armários SLAT (Sistemas Luminosos Automáticos de Trânsito), estes por sua vez possuem grande importância por serem sistemas que controlam o trânsito rodoviário em Lisboa. Para elaboração desta rede foi preciso saber quais as necessidades e mensurar a amplitude da rede total, o que significa que foi necessário saber quantos nós e *gateways* são necessários colocar para a área pretendida. No sistema proposto têm-se vários armários que contêm diversos equipamentos ativos e passivos, equipamentos essenciais para a circulação rodoviária, daí a importância do monitoramento das suas condições, para haver uma resposta rápida caso ocorra alguma intercorrência. Considerando os resultados obtidos, tem-se que nos testes executados, tanto os preliminares que simulavam o ambiente real em um edifício, quanto os que foram realizados em maior escala, onde foi possível situações em que os armários estavam localizados a 660 metros do *gateway*, alguns em linha de vista com o mesmo e outros não, mostraram resultados satisfatórios no ambiente proposto, um centro urbano.

Em outra perspectiva de sistema de monitoramento utilizando internet das coisas, com ênfase na rede lora, o autor (CARLOTO *et al.*, 2020) desenvolveu um sistema de telegestão para iluminação pública utilizando uma rede de longo alcance e baixo consumo de energia. As partes que compõe esse sistema são: um dispositivo que vai acoplado a luminária, a comunicação sem fio e o software de gestão. Para alcançar o intuito do trabalho em questão, foram realizados vários testes em campo e os resultados foram analisados em termos de eficiência energética. As variáveis consideradas relevantes para o sistema foram as grandezas elétricas, como tensão, corrente, energia consumida, potência, fator de potência, sendo ainda realizado a dimerização de um conjunto de luminárias a fim de incrementar a eficiência energética do sistema na totalidade. O espaço utilizado para os teste foi o estacionamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria. A planta conta com doze luminárias distribuídas pela área, sendo apenas uma utilizada para apresentação dos resultados. Para análise do resultado do sistema de comunicação utilizado são feitas três principais análises: a primeira referente ao link de

comunicação, a segunda é feita em torno da taxa de entrega obtida e a terceira é feita com foco na distribuição dos dados enviados em cada canal. O projeto realizado se demonstrou com resultados satisfatórios, desde a comunicação até os resultados da medição de grandezas elétricas. O sistema de telegestão apresentou-se como uma excelente alternativa para a redução do consumo de energia pelo Sistema de Iluminação Pública.

Após a apresentação geral desta seção, os trabalhos já publicados sobre análise e implementação das redes LoRa em uma variedade de ambientes, mostraram-se satisfatórios para cada uma das aplicações propostas, inclusive aqueles com grande alcance, o que favorece a ideia geral deste trabalho que visa a implantação de dispositivos de internet das coisas para alcançar uma grande cobertura e recorrendo às redes LoRa como principal tecnologia de comunicação. É válido ressaltar que existe uma variedade de material bibliográfico sobre LoRa, o que favorece o estudo e compreensão sobre esta tecnologia.

No entanto não foram encontrados trabalhos que relacionem de maneira direta a aplicação da internet das coisas e suas propriedades no ecossistema das redes de fibra óptica, o que fomenta a ideia geral deste sistema, que visa melhorar a usabilidade dessas redes favorecendo a detecção das falhas na distribuição do sinal óptico.

6 METODOLOGIA PROPOSTA

O presente trabalho objetiva desenvolver um sistema que detecta e notifica perdas em redes de fibra óptica aplicando conhecimentos de internet das coisas, nesta implementação será utilizado um dispositivo capaz de coletar e enviar dados por uma rede sem fio, de forma remota e em tempo real, com o intuito de notificar as perdas de sinal em redes de fibra óptica por meio de um serviço de mensagens instantâneas baseado na nuvem. Este capítulo aborda a descrição detalhada dos materiais e métodos utilizados durante o desenvolvimento do sistema.

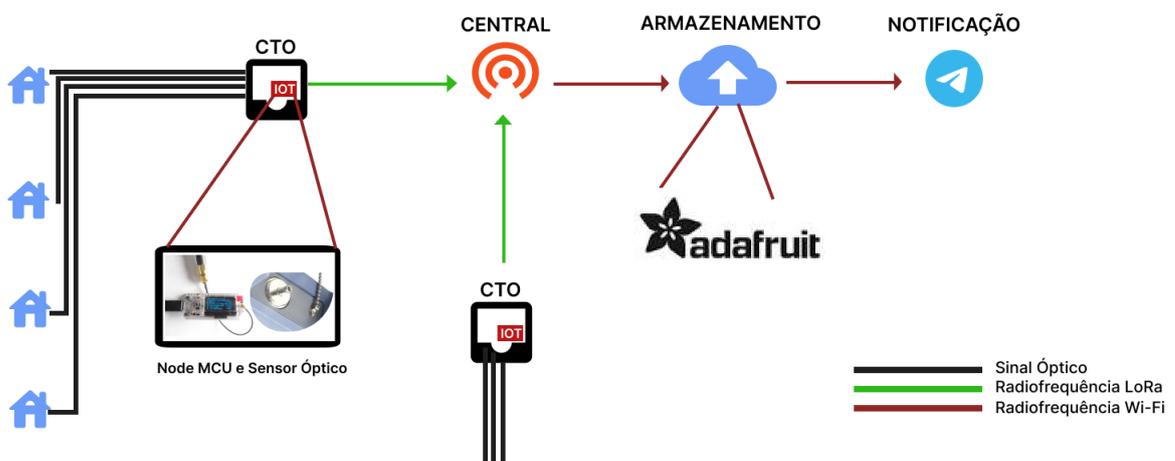
6.1 Visão geral

Fundamentando-se na pesquisa bibliográfica e na análise dos trabalhos relacionados, foi definida a proposta do fluxo principal do sistema, para tal notou-se que havia a necessidade de estabelecer alguns requisitos básicos, estes foram:

- Comunicação de longo alcance;
- Inclusão do *power meter* e do microcontrolador nas CTOs;
- Estabelecer uma central para gerenciar a transmissão de dados pela rede;
- Definir a plataforma de armazenamento dos dados;
- Definir como e por onde o usuário que gerencia a rede será notificado.

A Figura 1 mostra a visão geral da arquitetura e da disposição dos elementos do protótipo de sistema.

Figura 1 – Arquitetura do sistema.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A função da CTO na rede é acomodar e distribuir as fibras que irão para a casa dos clientes, além disso, ela será responsável por acomodar tanto o NodeMCU LoRa quanto o *power meter*, via rede LoRa o NodeMCU enviará os dados para a central de rede, no que lhe concerne está receberá dados de cada dispositivo presente em cada uma das CTOs, a continuação do fluxo é enviar os dados já analisados na central para armazenamento e visualização na Adafruit, este envio é feito utilizando a rede Wi-Fi, em seguida é enviado ao usuário responsável pela rede a informação sobre o valor de potência recebido na CTO por meio do Telegram. Na Figura é exemplificado por meio cores os tipos de sinal e comunicação usados no sistema, o preto representa o sinal óptico que chega até a CTO, o verde representa a comunicação por radiofrequência da rede LoRa e o vermelho representa a comunicação via Wi-Fi.

6.2 Protocolo de Comunicação

Através do estudo realizado foi possível definir qual tecnologia de redes de longas distâncias e baixas potências é a mais indicada para o sistema proposto. A tabela apresenta as características observadas e o comparativo entre os protocolos de comunicação: BLE, LoRa, Sigfox, Zigbee e NB-IoT.

Tabela 1 – Comparativo entre os protocolos de comunicação

Parâmetros/protocolos	BLE	LoRa	NB-IOT	SigFox	ZigBee
Espectro	Não-licenciado	Não-licenciado	Licenciado	Não-licenciado	Não-licenciado
Alcance	80m	2-5km	1-50km	10 -50km	100m
Largura de banda	2.4GHz	50kHz-125KHz	200KHz	100kHz	2.4GHz
Taxa de transmissão de dados	1Mbit/s	290bps-50Kbps	20-50kbps	10-1000bps	250kbps
Modulação	GFSK	CSS	QPSK	UNB/GSFK/BPS	0-QPSK
Frequência	2.4GHz	915-928MHz	200KHz	868-902MHz	2.4GHz
Envio de mensagens	Ilimitada	Ilimitada	Ilimitada	Limitada	Ilimitada
Topologia	Estrela/Mesh	Estrela	—	—	Estrela/Mesh
Corrente de pico	<20mA	32mA	120-300mA	10-50mA	35mA

Fonte: A autora (2022).

Nota: Todos os dados expostos na tabela foram obtidos através das fotos citadas na seção 4.4 Protocolos de comunicação de redes sem fio.

Embora cada tecnologia citada seja LPWAN, cada uma tem suas vantagens e desvantagens, para o contexto do trabalho proposto o LoRa teve o maior diferencial. Pode-se destacar que dentre as maiores vantagens têm-se:

- Espectro não licenciado: a utilização desse tipo de espectro fomenta o desenvolvimento do setor de telecomunicações, pois favorece o espaço de criação de novas tecnologias;
- Alcance: LoRa tem um bom alcance, pois consegue chegar a quilômetros de distância;

- Largura de banda: Como a proposta deste protocolo é ser utilizada por dispositivos inteligentes, espalhados por uma grande extensão, que em sua maioria não necessitam enviar uma quantidade significativa de dados, a taxa exibida na tabela cumpre o seu propósito;
- Taxa de transmissão de dados: se comparado aos demais protocolos, o LoRa se destaca por sua taxa de transmissão de dados, ficando atrás somente do BLE;
- Modulação CSS: mesmo com uma baixa potência é possível fomentar uma alta capacidade de transmissão e recepção do sinal, outro diferencial é o tratamento realizado na demodulação do ruído, em situações que a potência do ruído é maior que a do sinal recebido, suas implementações possibilitam que receptor decodifique a mensagem enviada;
- Frequência: outro fator caracteristicamente interessante, mas que requer atenção, é que conforme a região geográfica a frequência poderá variar, no Brasil é utilizada 915 MHz, mas em outras partes do mundo pode assumir valores de 470-510 MHz, 779-787 MHz, 915-928 MHz;
- Envio das mensagens: uma vantagem deste protocolo é a possibilidade do envio ilimitados de mensagens;
- Topologia: o tipo de topologia estrela é caracterizado pela conexão dos dispositivos a uma central de acesso para deste ponto os dados serão entregues aos seus respectivos receptores, o que favorece o bom funcionamento da arquitetura desta tecnologia, que possui módulos, *gateways*, servidores de rede e de aplicação;
- Corrente de pico: em dispositivos de internet das coisas, o fator consumo de energia sempre é prioridade, isto é quanto menos corrente for consumida a vida útil do módulo de alimentação terá mais vida útil, o parâmetro corrente de pico é importante ser mencionado, pois quando ocorre a maior transmissão de dados este pico é atingido, logo possuir uma corrente de pico de apenas 32mA é bastante favorável ao uso deste protocolo.

6.2.1 Propriedades da Rede LoRa

Como mencionado na seção de fundamentação teórica, a tecnologia LoRa utiliza uma modulação que propaga *chirp*, estes podem ser compreendidos como pulsos curtos possibilitam o processo de codificar a informação, pelo fato de ele ser um sinal com a frequência variando de forma monótona. O diferencial desta abordagem é que a informação que qualquer sinal carregará é definida por saltos de frequência, já que os *chirps* são deslocados ciclicamente,

quando é atingido uma frequência mais alta retorna-se para a frequência mais baixa, deste modo um sinal de *chirp* possui uma faixa de frequência que varia de uma frequência mínima á uma frequência máxima. Na nomenclatura comum desta tecnologia, os dados a serem transmitidos são compreendidos como um símbolo representados por sinais *chirps*.

Existem quatro parâmetros que devem sempre ser considerados na elaboração e configuração de uma rede LoRa, os quais são: frequência, fator de espalhamento, largura de banda e a taxa de codificação; através da análise deste é possível mensurar o quão sensível é o receptor LoRa. A frequência tem que ser definida de acordo com a região geográfica. O fator de espalhamento(SF) é o número de bits da modulação, em outras é através dele que é possível saber quantos chips são usados para representar um símbolo. A largura de banda (BW) pode ser definida tanto como a faixa de frequência do sinal *chirp* quanto como a taxa de chip da modulação de sinal LoRa. A taxa de codificação O valor da Taxa de Codificação (RC) é responsável por definir a taxa de correção antecipada de erros (FEC), no geral tem o intuito de melhorar o canal tratando a interferência existente no mesmo e isso normalmente é possível com o aumento do valor de RC, no entanto, como o aumento deste também é aumentado a duração da transmissão.

6.3 Sinal óptico

Na organização de tarefas do trabalho, após a escolha do protocolo de comunicação, fora dedicado um período para estudar sobre o sinal óptico, transmitido pela fibra, a fim de se entender como é calculado as taxas de potência e perdas na rede, o que é necessário considerar na hora de realizar o cascadeamento através dos *splitters* e como funciona o padrão de distribuição.

6.3.1 Propriedades do sinal óptico

Para mensurarmos o quanto de sinal está sendo enviado pelo núcleo da fibra, consideramos a propriedade de potência, para tal a medida deve ser feita em dBm, a qual é a notação utilizada para representar a divisão da energia medida em dB em relação a um mW. Abaixo tem-se a equação que exemplifica o cálculo de definição desta unidade de medida:

$$PdBm = 10\log_{10}\left(\frac{P}{1mW}\right) \quad (6.1)$$

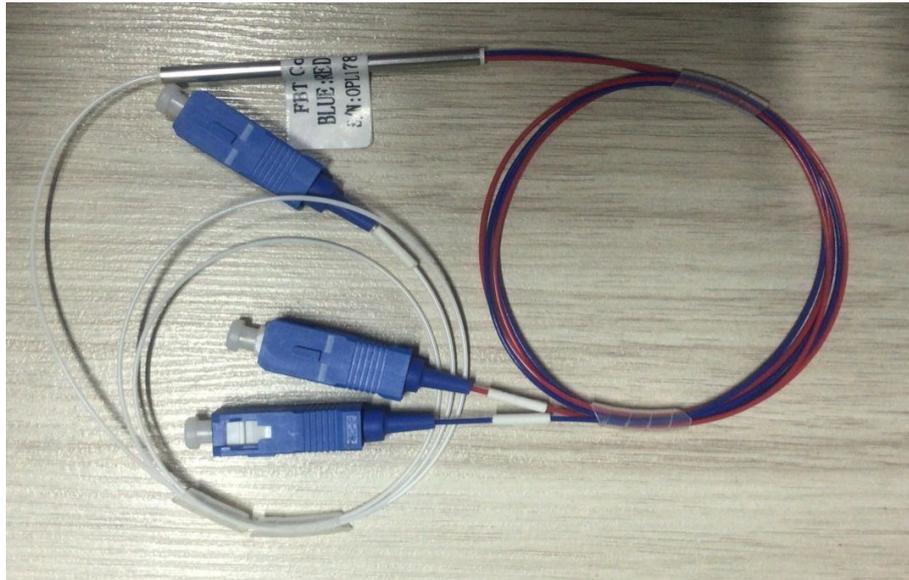
6.3.2 *Cascadeamento e distribuição do sinal*

Nas redes de fibra óptica, para ser feito a distribuição do sinal que sai da OLT, é utilizado o modelo de rede balanceada ou desbalanceada. A definição do primeiro tipo é devido ao fato que o sinal enviado através de uma única fibra poder ser dividido em partes iguais para outras fibras que serão responsáveis por dar continuidade a distribuição até as ONUs, por exemplo: se utilizarmos um *splitter* de 1:4, significa dizer que o sinal que estamos recebendo será dividido em quatro partes iguais e cada uma receberá 25% do sinal anterior, no mercado os *splitters* balanceados, podem ser seguindo uma relação de entrada e saída no qual a saída é um múltiplo de dois, assim têm-se: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 e 1:128.

A definição de rede desbalanceada, se dá devido ao fato que pode ser utilizada uma única fibra para atender a uma rede com várias CTOs conectadas, seguindo o princípio da topologia barramento. Uma diferença notável se comparada a balanceada é que os *splitters* possuem uma entrada e apenas duas saídas, cada saída com intensidade e perdas diferentes, encontram-se *splitters* de 1/99, 2/98, 5/95, 10/90, 15/85, 20/80, 30/70, 40/60 e 50/50, por exemplo, se for utilizado um *splitter* 10/90, significa dizer que 10% do sinal irá para caixa de atendimento e 90% seguirá para ser distribuído no restante da rede. Um fator importante nas redes desbalanceadas é que elas também utilizam *splitters* balanceados, estes são necessários para dividir o sinal recebido na CTO igualmente para os clientes daquela caixa.

As principais diferenças nestes modelos, são: a distribuição da rede balanceada é ideal para situações em que a demanda de utilização da rede terá uma maior densidade de usuários, por exemplo, os centros das cidades, já a desbalanceada favorece a implementação da rede em locais mais distantes e com menor densidade de utilização, como as zonas rurais, é valido ressaltar que neste modelo a instalação da rede ocorrerá mais rápido, tendo em vista que utilizaremos menos fibra e por consequência será menor o uso de cabos. Para a proposta deste trabalho, o modelo de rede desbalanceada foi o escolhido, pois o intuito principal é detectar e notificar as falhas/interrupções do sinal nas redes de fibra óptica, neste quando ocorre o rompimento em algum ponto da rede, a partir deste ponto toda a ramificação restante fica sem conexão. Na Figura 2, tem-se a visualização de um *splitter*, pode-se perceber que a fibra branca divide seu sinal entre a fibra vermelha e fibra azul, estas possuem cores diferentes como mais uma forma de diferenciá-las, o que é necessário já que o sinal que ambas recebem diferem e nem sempre estas fibras já vem alguma etiqueta.

Figura 2 – Splitter desbalanceado 15/85 .

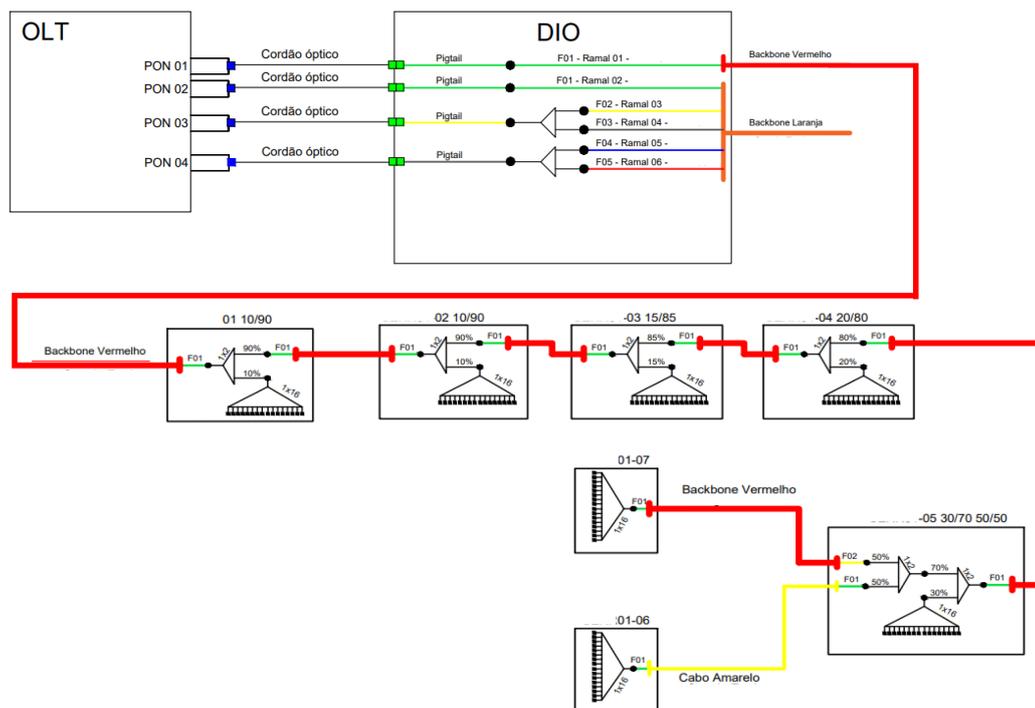


Fonte: Fotografia pela autora (2022).

6.3.2.1 Projeto de uma rede desbalanceada

Na estrutura de uma rede de fibra óptica, faz-se necessário um projeto de rede para ser possível a construção em campo, na Figura 3 é exibido o exemplo de um projeto de rede desbalanceada.

Figura 3 – Projeto de uma rede desbalanceada.



Fonte: Feito pela autora (2022).

Com este exemplo podemos ver todos os principais equipamentos já citados neste trabalho. A rede tem início com a saída do primeiro sinal da OLT, passa pelo DIO e segue para o cascadeamento das CTOs. Cada uma das fibras que saem do DIO são nomeadas de ramal, pois cada uma delas será responsável por criar uma ramificação de rede, onde cada qual possuirá inúmeros clientes conectados. A ramificação em vermelho indica a utilização de uma única fibra por toda a rede exemplificada.

6.3.2.2 Taxa de potência e perda

Para realizar o dimensionamento de quantos e quais *splitters* utilizaremos na rede, primeiro devemos definir a quantidade de caixas de atendimento, na proposta utilizamos 7 e assim será necessário 6 *splitters*, um a menos, pois as conexões são sempre distribuídas de 1:2. Após as escolhas dos *splitters* se dá baseada na quantidade de caixas que teremos que alimentar após aquela divisão, no dimensionamento do projeto apresentado acima, utilizou-se: 10/90, 10/90, 15/85, 20/80, 30/70 e 50/50; nos primeiros *splitters* sempre é recomendado seguir a rede com a fibra de maior sinal e menor perda, no entanto, no decorrer da rede este maior sinal vai perdendo potência devido às fusões que ocorrem para alimentar as CTOs da rede, assim é priorizado a utilização de *splitters* como o 30/70 e o 40/60, até que seja atingida as últimas caixas da rede e estas podem receber o sinal de um *splitter* já que a rede não precisará mais enviar sinal para nenhuma outra CTO.

O cálculo em si para definir quanto chega de potência de sinal em cada caixa é feito da seguinte forma: devemos considerar a distância entre a OLT e caixa vezes 0,25dB que é a atenuação por km; a quantidade de conectores vezes 0,5dB que é a atenuação de cada conector; a quantidade de fusões vezes 0,1dB por fusão; a referência de perda do *splitter* utilizado, neste caso considerando a caixa 01, têm-se 11,90dB; a atenuação referente ao *splitter* balanceado utilizado dentro da CTO, que no caso é 1:16 com atenuação de 13,7dB; após é realizado a soma destes valores e em seguida é subtraído o valor do sinal que sai da OLT, que foi 3,5dBm, logo o resultado obtido para a primeira caixa foi de -23,0665 dBm, repetindo o cálculo para as caixas seguintes resultou nos dados apresentados na figura 8.

Para ser calculado as taxas de potência e perda sinal chegará em cada caixa de atendimento, as Figura 4 e Figura 5 são comumente utilizadas como referencial para elaboração deste tipo de projeto.

Figura 4 – Tabela de perdas rede desbalanceada.

Operação de Comprimento de onda (nm)		1310 ~ 1625
Perda de Inserção (dB)	50/50	≤ 3,60
	40/60	≤ 4,70 / 2,70
	30/70	≤ 6,00 / 1,90
	20/80	≤ 7,90 / 1,20
	15/85	≤ 9,60 / 1,00
	10/90	≤ 11,30 / 0,65
	5/95	≤ 14,60 / 0,40
	2/98	≤ 18,80 / 0,30
	1/99	≤ 22,50 / 0,25
Polarização depende de perda (dB)		≤ 0,15
Temperatura de Operação (°C)		- 40 ~ +85°C

Fonte: (FONTES, 2018)

Figura 5 – Tabela de perdas rede balanceada.

Configuração do Splitter		1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Operação de comprimento de onda (nm)		1260 ~ 1650					
Tipo de Fibra		G. 657A1					
Perda de Inserção (dB)	Max	4	7,3	10,5	13,7	16,9	21
Perda de uniformidade (dB)	Max	0,5	0,7	0,8	1,2	1,5	2
Polarização dependente de perda (dB)	Max	0,2	0,2	0,2	0,25	0,3	0,4
Perda de Retorno (dB)	Min	55	55	55	55	55	55
Diretividade (dB)	Min	55	55	55	55	55	55
Perda dependente do comprimento de onda (dB)	Max	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1
Varição relativa a temperatura (-40~85°C) (dB)	Max	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Dimensão do módulo (mm) (CxLxA)		60x7x4	60x7x4	60x7x4	60x12x4	60x20x6	100x40x6

Fonte: (FONTES, 2018)

6.4 Materiais de hardware

Como a proposta do sistema é utilizar uma infraestrutura já existente que são as redes de fibra ópticas fixadas nos postes de transmissão de energia elétrica, as CTOs são o ponto de partida, afinal estas são as responsáveis por distribuir as fibras que irão para cada cliente e para outras CTOs, a proposta é que seja fixado nelas os dispositivos necessários para coleta e

transmissão dos dados, tendo em vista que as redes de fibra óptica apresentada no trabalho não é energizada, é válido citar que a alimentação de ambos os dispositivos a serem fixados na CTO virá de pilhas, no caso do *power meter* e de bateria, no caso do NodeMCU. A Figura 7 abaixo mostra como é a estrutura de uma CTO.

Figura 6 – Caixa de terminação óptica (CTO).



Fonte: Conectwi Distribuidora.

Conforme o estudo realizado foi selecionado o *power meter* com sensor óptico para realizar a leitura dos valores do sinal óptico recebido, na Figura 7 podemos visualizá-lo, ele é necessário para validar as medidas de potência recebidas na CTO.

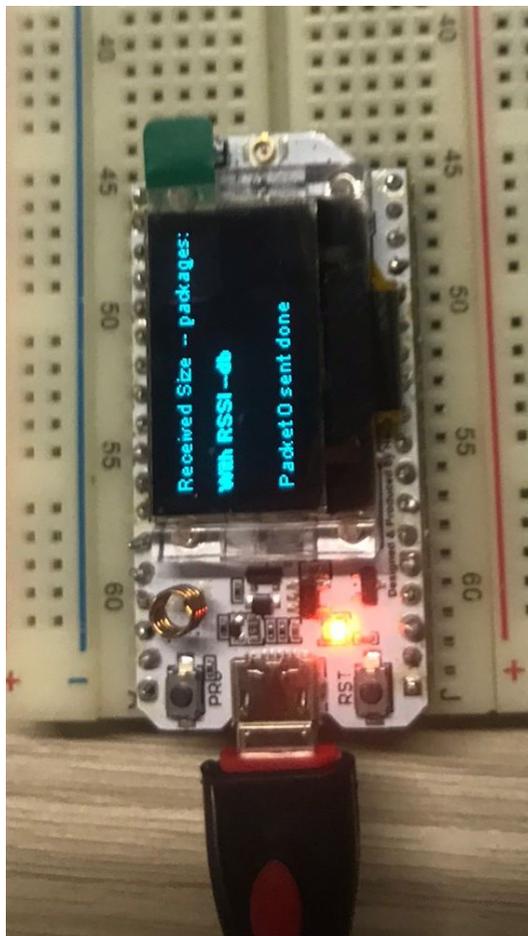
Figura 7 – Power meter óptico.



Fonte: Fotografado pela autora (2022).

Para receber os valores de leitura e dar seguimento ao fluxo de análise e armazenamento dos dados lidos, o NodeMCU é utilizado, para enviar e receber estes dados através da rede LoRa, onde um é definido como emissor e o outro receptor central da rede. O ESP32 LoRa V2 da fabricante Heltec foi o escolhido para este trabalho, o mesmo além do LoRa possui módulos de conexão, *wi-fi* e *bluetooth*, tanto o tradicional quanto o BLE. O Rádio LoRa, utiliza como chip o SX1276, que possui uma sensibilidade de recepção de -139dBm. Conforme as informações da fabricante, o alcance máximo do LoRa com este hardware é de 3km em áreas abertas e que não sejam urbanas, utilizando antena oferecida no módulo. Suas condições de temperatura para operação vai de -40°C até + 80°C e possui uma tensão de alimentação de 5V.

Figura 8 – ESP32 LoRa V2 Heltec 863 a 928 MHz com Bluetooth e WiFi.



Fonte: Fotografada pela autora (2022).

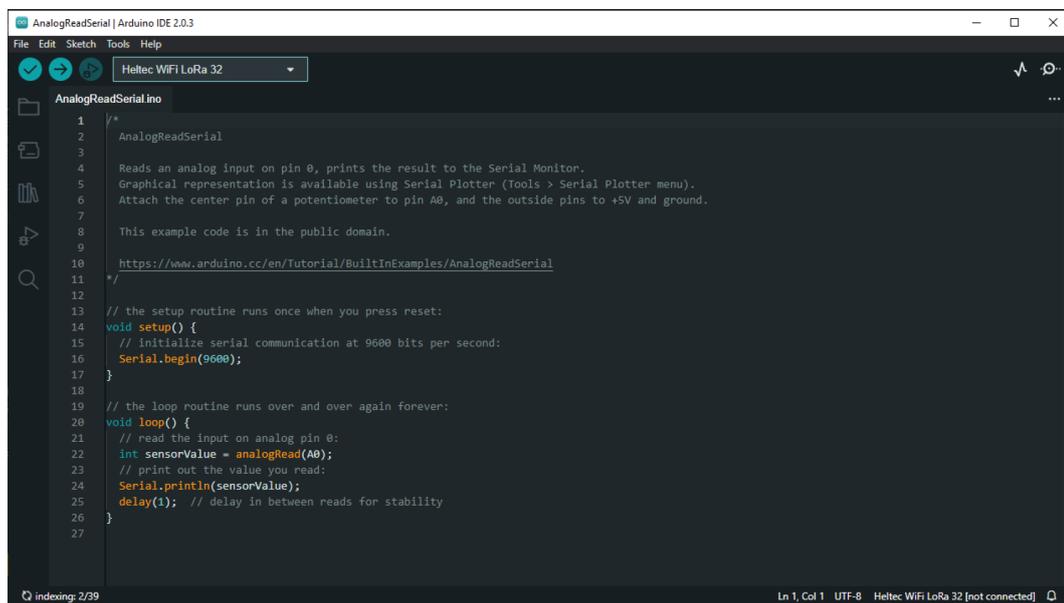
Devido à topologia das redes LoRa ser estrela, faz-se necessário, que seja utilizado uma central para receber os dados enviados dos vários nós LoRa. Após a pesquisa e o estudo de microcomputadores e microcontroladores optou-se para neste primeiro protótipo utilizar um NodeMCU LoRa para também ser a central do sistema. No entanto, para aplicações de maior

escala, com vários nós e que priorize um alcance maior é indicado a aquisição de um *gateway* LoRa específico.

6.5 Softwares utilizados

Em relação ao código responsável por gerenciar o fluxograma lógico da rede de comunicação, na Figura 9, tem-se a visualização da interface da plataforma Arduino IDE, utilizada para o desenvolvimento do mesmo usando a linguagem c++.

Figura 9 – Plataforma de desenvolvimento Arduino IDE.



```

1  /*
2  AnalogReadSerial
3
4  Reads an analog input on pin 0, prints the result to the Serial Monitor.
5  Graphical representation is available using Serial Plotter (Tools > Serial Plotter menu).
6  Attach the center pin of a potentiometer to pin A0, and the outside pins to +5V and ground.
7
8  This example code is in the public domain.
9
10 https://www.arduino.cc/en/Tutorial/BuiltInExamples/AnalogReadSerial
11 */
12
13 // the setup routine runs once when you press reset:
14 void setup() {
15   // initialize serial communication at 9600 bits per second:
16   Serial.begin(9600);
17 }
18
19 // the loop routine runs over and over again forever:
20 void loop() {
21   // read the input on analog pin 0:
22   int sensorValue = analogRead(A0);
23   // print out the value you read:
24   Serial.println(sensorValue);
25   delay(1); // delay in between reads for stability
26 }
27

```

Fonte: Fotografada pela autora

Em seguida, na Figura 10 é detalhado como foi pensado o fluxo de dados do sistema. Inicialmente foi realizado a coleta de dados, estes são recebidos no ESP 32 LoRa e enviados via rede LoRa para a central, esta será responsável por enviar via Wi-Fi para a plataforma Adafruit, onde será possível visualizar através de gráficos o comportamento dos dados recebidos, a análise destes é feito através do código na central de rede, a mesma ainda é a responsável por fazer a conexão com o *bot* do telegram, que fica no final do nosso fluxo e exibe as condições do sinal recebido na CTO escolhida.

O cenário ideal é que cada CTO tenha seu próprio *power meter* para verificar os dados de intensidade de sinal em tempo real, mas devido à limitação de equipamentos, foi realizado em laboratório além da leitura a coleta destes dados, assim após seguir o cascadeamento referido na Figura 3, aferiu-se os valores de potência para cada *splitters*, onde o último ficou com o dispositivo conectado por 30 minutos, para encontrar o valor de potência real e estável da

última caixa do projeto.

Figura 10 – Fluxograma lógico do código.

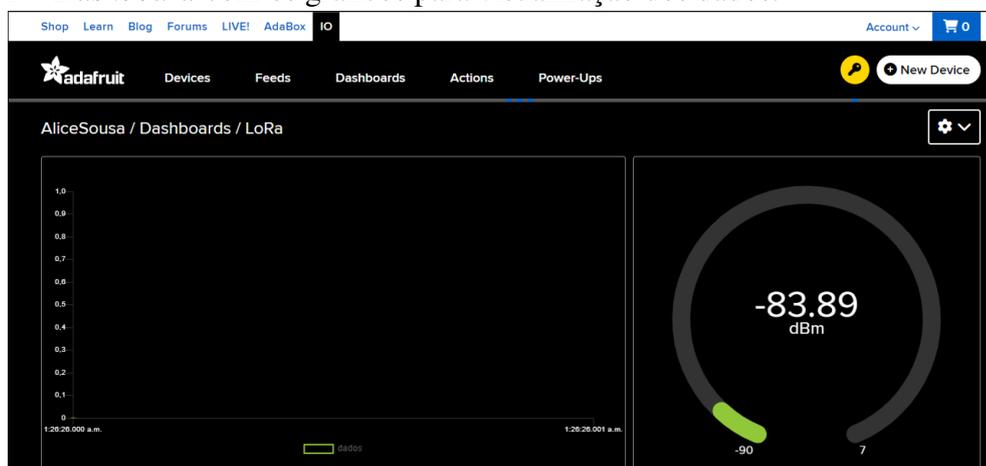


Fonte: Fotografada pela autora (2022).

6.5.1 Adafruit

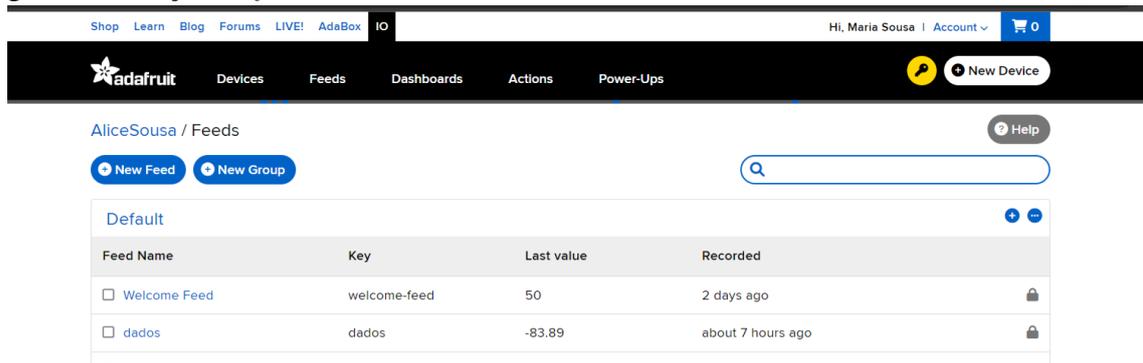
A plataforma *Adafruit* foi escolhida para o primeiro escopo do projeto, tendo em vista que a organização dos dados coletados poderia ser feita em um serviço de nuvem que possuísse uma visualização simples e que fosse facilmente integrada com a IoT, dito isso, verificou-se que a mesma possui uma interface gráfica intuitiva para essas aplicações. Na Figura 11, pode ser visualizada a *Dashboard* da plataforma e na Figura 12 é exibida o espaço onde se é criada a variável que receberá os dados do NodeMCU.

Figura 11 – *Dashboard* com os gráficos para visualização dos dados.



Fonte: Fotografada pela autora (2022).

Figura 12 – Seção de *feed* da Adafruit



Fonte: Fotografada pela autora (2022).

Nota: Nesta seção é onde a variável de leitura de dados é cadastrada, por exemplo, a variável dados exibida na imagem.

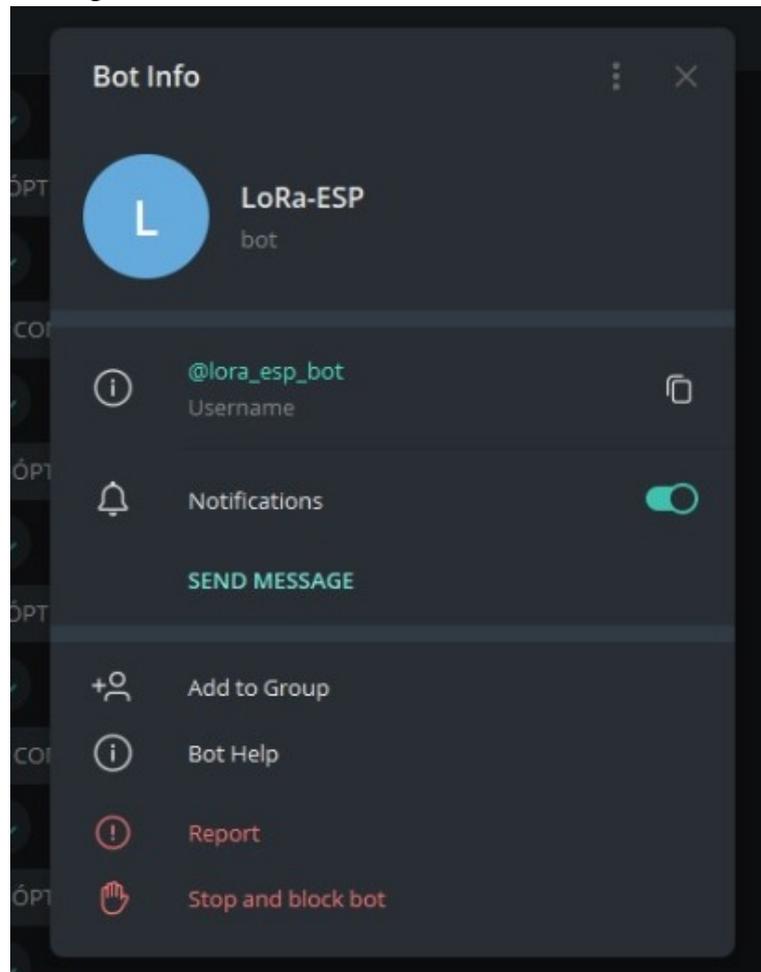
6.5.1.1 MQTT

A função do protocolo MQTT é possibilitar a conexão da plataforma Adafruit com o *bot* do Telegram. Através da biblioteca *Adafruit MQTT.h* é possível conectar um *feed* e assim conseguir receber os dados da aplicação.

6.5.2 Telegram

O intuito de utilizar o Telegram, foi facilitar a visualização do usuário, pois como a proposta é que seja utilizado nos provedores de internet e estas empresas normalmente precisam utilizar várias plataformas no dia a dia, então a ideia é levar essas informações para um aplicativo de mensagens, no qual o usuário não teria curva de aprendizagem na utilização ou que precisasse instalar mais um software.

Figura 13 – Bot do Telegram



Fonte: Fotografada pela autora (2022).

7 TESTES E RESULTADOS

Este capítulo objetiva mostrar os testes e resultados obtidos para validação a ideia do sistema proposto.

7.1 Cenários de testes

Foi criada a rede de fibra óptica de modo simplificado, se comparado a realidade do campo, para a construção utilizaram-se os métodos e equipamentos descritos na metodologia. O primeiro passo foi construir em laboratório baseando-se no dimensionamento do projeto da Figura 3, uma rede desbalanceada, no qual a última CTO alimentará a entrada do sensor óptico do *power meter*. Na Figura 14 é possível visualizar como foi feito o cascamento da rede que vai da OLT até a entrada do sensor óptico.

Figura 14 – Simulação de uma rede de fibra óptica desbalanceada.



Fonte: Fotografado pela autora (2022)

Para uma melhor compreensão a cerca de quais dados o sistema utilizará, na tabela abaixo, tem-se a definição dos valores da intensidade do sinal que chegou nas caixas deste projeto. Os dados obtidos através dos cálculos do projeto e simulados pelo cascadeamento em laboratório, onde são considerados valores de distância até a OLT, 0,25 multiplicando cada quilômetro; a quantidade de conectores multiplicada por 0,5; a quantidade de fusões multiplicada por 0,1; o valor de atenuação do *splitter* desbalanceado (abreviado pela autora de *asd*); o valor de atenuação do *splitter* balanceado (abreviado pela autora de *asb*); todos possuem a unidade de medida em dB, a soma destes valores é subtraído do sinal que sai da OLT, para assim obter o nível de sinal em dBm, em outras palavras são as medidas viáveis para cada caixa nas condições da rede construída.

$$PdBM = OLT - ((d * 0,25) + (c * 0,5) + (f * 0,1) + (asd) + (asb)) \quad (7.1)$$

Tabela 2 – Nível de sinal de cada caixa da rede proposta

Splitters	Potência dBm
10/90	-23,0665
10/90, 10/90	-24,0925
10/90, 10/90, 15/85	-23,6625
10/90, 10/90, 15/85, 20/80	-23,2185
10/90, 10/90, 15/85, 20/80, 30/70	-23,0615
10/90, 10/90, 15/85, 20/80, 30/70, 50/50	-25,2005

Fonte: A autora (2022).

Após serem mensurados os valores de potência em dBm, foram realizados uma série de testes para validar o funcionamento da rede, um material de grande importância nesse processo são as tabelas das Figuras 4 e 5, pois são elas que os projetistas usam para dimensionar a rede e os técnicos usam em campo como modo de consulta.

7.1.1 Teste da rede LoRa

Para realizar a comunicação entre os NodeMCU LoRa, foi necessário considerar e utilizar no código desenvolvido a lógica de funcionamento de uma rede *half duplex*, na qual os dispositivos envolvidos tem capacidade de enviar e receber dados, mas nunca de modo simultâneo, pois toda a capacidade do canal deve ser disponibilizada para o dispositivo que está enviando os dados. Adotou-se a conexão ponto a ponto como modelo de partida, definiu-se então um ESP32 LoRa como emissor e o outro como receptor. Segundo os parâmetros necessários para

se configurar uma rede LoRa, definiu-se com base nos estudos feitos: a frequência com 915MHz; a largura de banda com 500 kHz; o fator de espalhamento foi o SF7 com a sensibilidade de -123,0 dBm o que corresponde a um tempo no ar de 41ms; a taxa de codificação de [1: 4/5].

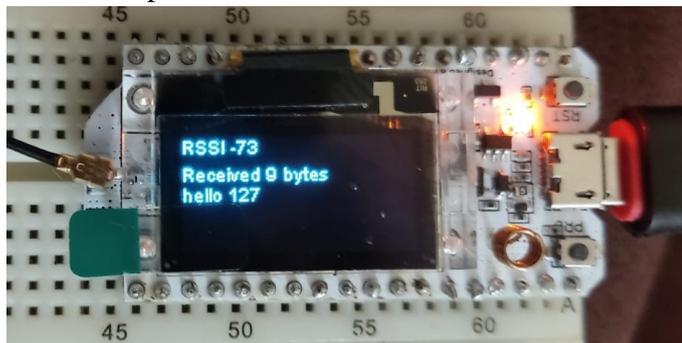
O primeiro ambiente de teste foi o laboratório, com os NodeMCU LoRa há uma distância de 10 metros, como mostra as Figuras 15 e 16. O nível de sinal de rádio recebido variou de -56dBm até -76dBm, estabilizando em -73dBm, com a taxa de envio de um pacote por segundo, ao todo foram enviados 100 pacotes e cerca de 10 testes realizados. O outro teste de validação da rede LoRa foi realizado em campo, o ambiente escolhido foi a Rua Menino Deus, no centro da cidade de Sobral. Na tabela 3 da seção de resultados obtidos é possível visualizar os valores obtidos nas medições.

Figura 15 – ESP 32 LoRa Emissor.



Fonte: Fotografado pela autora

Figura 16 – ESP 32 LoRa Receptor.



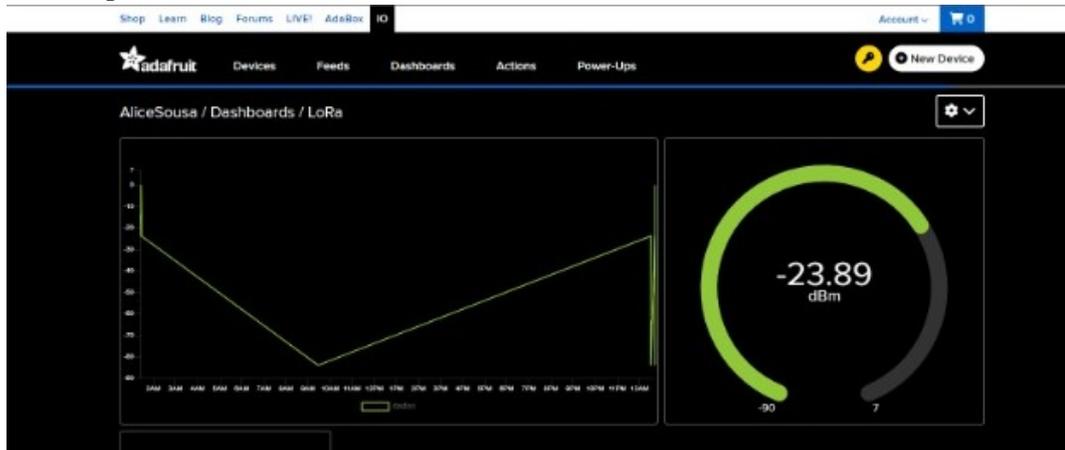
Fonte: Fotografado pela autora

7.1.2 Teste de funcionamento da central de rede

Na arquitetura padrão de uma rede LoRa têm-se os dispositivos em conexão com o *gateway*, este por sua vez em contato com o servidor de rede e a partir de então a conexão é

realizada com o servidor de aplicação. Este trabalho define e utiliza um NodeMCU LoRa como a central que recebe os dados via LoRa e envia via Wi-Fi para armazenamento, o outro NodeMCU LoRa foi utilizado como emissor, afins de validar a proposta inicial da rede.

Figura 17 – Exemplo de como foi montado o cenário de testes simulando uma rede de fibra óptica.



Fonte: Fotografado pela autora (2022)

A partir dos dados coletados na leitura, enviados pela rede LoRa, estes foram armazenados e disponibilizada a visualização na *dashboard* da Adafruit, o primeiro representa as taxas de medição em um intervalo de 24 horas, essa variação no sinal se dá devido, a simulação de uma atenuação na fibra, feita a partir do dobramento da mesma. O segundo gráfico é a visualização do sinal que está chegando de modo mais objetivo, a proposta geral é que cada CTO da rede tenha ambos.

7.2 Resultados obtidos

Na metodologia foram definidos alguns requisitos básicos para alcançar o objetivo geral proposto. O primeiro deste foi a escolha do protocolo de longo alcance e de baixa potência, nessa etapa o estudo teórico realizado foi essencial, pois através dele constatou-se que o protocolo de comunicação LoRa seria ideal para o trabalho, além das vantagens já citadas na Tabela 1, foram perceptíveis mais outros diferenciais, como: a quantidade de materiais encontrados sobre o funcionamento e aplicações desta tecnologia e o custo de aquisição dos NodeMCUs utilizados no projeto, eles possuem um valor bem inferior se pesquisarmos os dispositivos mais básicos compatíveis com os demais protocolos de comunicação.

Ao criar a rede LoRa necessária para o projeto, os teste realizados em laboratório mostraram que na maioria dos casos os 100 pacotes enviados chegavam no receptor, somente em

dois teste houveram uma perda de pacotes de 2%, se considerarmos a razão do número enviado pelo número recebido. Nos testes em campo, foram analisados com mais afinco não somente a taxa de entrega da rede, como também a interferência que o sinal da mesma sofria em um ambiente urbano. Na Tabela 3, pode-se visualizar as variáveis a serem consideradas para validar o funcionamento da rede.

Tabela 3 – Taxa de entrega e valores de RSSI em ambiente urbano.

Distância	Taxa de entrega	RSSI (Receptor)
10M	100%	-83 dBm
77M	97%	-86 dBm
230M	75%	-101 dBm

Fonte: A autora (2022).

Nota: *Received Signal Strength Indicator*. (RSSI) é o indicador de intensidade do sinal recebido.

Estes dados ratificam que com maiores distâncias a rede LoRa criada conseguiu entregar a maioria dos pacotes, no entanto, devido ao que foi estudado na literatura citada nos trabalhos relacionados, esperava-se não só uma taxa de entrega maior como também valores de RSSI mais próximos de 0, onde teríamos uma melhor intensidade de sinal.

Na Tabela 4, são exibidos os resultados obtidos referentes ao RSSI da rede tanto do lado emissor, como do lado receptor. Este diminuiu bastante com o aumento da distância, mas isso não impediu que o envio de pacotes continuassem, conforme as informações da fabricante o ESP32 LoRa, poderá receber um sinal de até -139 dBm, consegue um alcance de até 3km, isso para áreas abertas, no entanto, os testes foram realizados em uma área urbana com a extensão de 230 metros, deste modo foi considerado os fatores de interferência de outras redes e a limitação do *hardware* de recepção, tendo em vista que o comum na arquitetura da rede LoRa é o receptor ser um *gateway* com maior potência de cobertura de sinal.

Tabela 4 – Valores de RSSI da rede LoRa em ambiente urbano

Distância	Tamanho do pacote (Emissor)	RSSI (Emissor)	Tamanho do pacote (Receptor)	RSSI (Receptor)
10M	17bytes	-85 dBm	17bytes	-84 dBm
77M	18bytes	-104 dBm	18bytes	-100 dBm
230M	14bytes	-116 dBm	14bytes	-110 dBm

Fonte: A autora (2022).

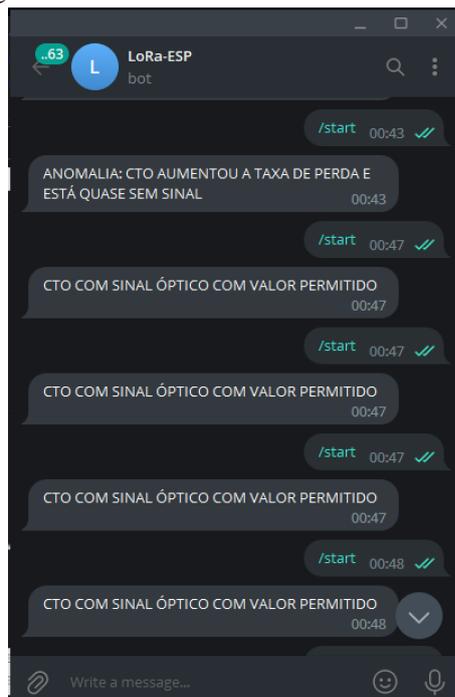
Nota: RSSI é o indicador de intensidade do sinal recebido.

Em relação à inclusão dos dispositivos na CTO teve a dificuldade de implementar a medição de forma direta, com um *power meter* fazendo a ponte entre o sinal vindo do *splitter* e o sinal a ser enviado para o NodeMCU, isto devido à limitação do tipo de *power meter* utilizado,

mas a solução utilizada para contornar foi realizar as medições em laboratório e criar uma base de dados para a aplicação conforme os valores obtidos. Na parte de definição e configuração da central para gerenciamento e conexão com as plataformas de armazenamento e serviço de mensagens. Como na rede criada foi utilizado o NodeMCU, precisou-se definir via código tanto o tipo de comunicação estabelecido, *half duplex*, quanto garantir que o mesmo gerenciasse o funcionamento das integrações com a plataforma de armazenamento dos dados e com as requisições a serem estabelecidas com o serviço de mensagens do telegram.

Após o envio dos dados para o serviço de armazenamento em nuvem, foi realizada a análise deste na central conforme os valores definidos na Tabela 2. Em seguida, foi configurado e conectado ao *bot*. A primeira proposta pensada para o *bot* era que este seria acionado sempre que recebesse um comando específico do sistema, como mostra a figura abaixo:

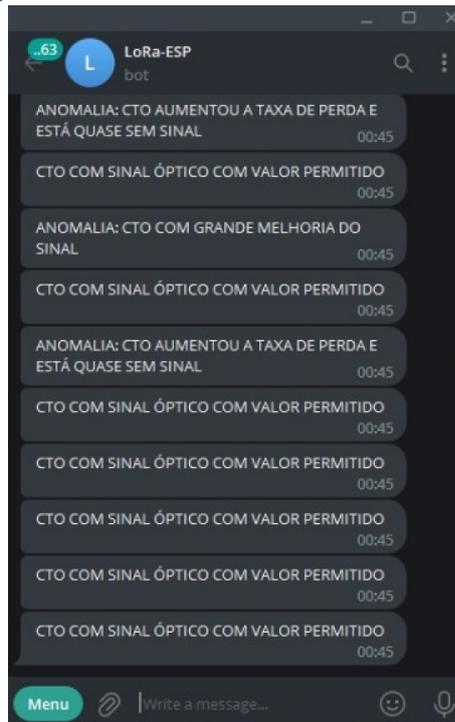
Figura 18 – Envio de mensagens através do *bot* acionado via comando *start*.



Fonte: Fotografado pela autora (2022)

No entanto, a proposta é notificar sempre que o comportamento da rede sair do comum, logo foi desenvolvido em código as condições para esta validação e ainda permaneceu habilitado essa possibilidade de consulta através de um comando padrão. Constata-se através da Figura 19.

Figura 19 – Envio de mensagens através do *bot*.



Fonte: Fotografado pela autora (2022)

7.3 Discussões dos resultados

Para o primeiro cenário de testes a dificuldade inicial foi de simular com todas as propriedades físicas e lógicas uma rede de fibra óptica FTTh, mas como a ideia do trabalho é propor um protótipo de sistema, com os recursos disponíveis, acredita-se que foi possível simular e compreender bem o comportamento da rede.

No segundo cenário de testes, foi realizado os teste de conexão na rede LoRa, tanto em laboratório quanto em campo. A rede LoRa criada gerou baixos níveis de sinal na maioria dos testes, os fatores que podem ter contribuído foram: a qualidade dos componentes de hardware utilizado, por exemplo, as antenas do ESP 32 LoRa, para a função do emissor isso não é um grande problema, pois o custo maior envolvido no *hardware* das redes LoRa é referente ao *gateway*, logo o fato de usar um ESP32 LoRa como receptor, isso influência no alcance de cobertura da rede. Em contrapartida, a maioria dos pacotes enviados foram recebidos pelo receptor. Nos testes em laboratório, um ambiente com menos interferência possibilitou a transferência de mais pacotes que os testes em campo, mas como o intuito principal do sistema é levar esta proposta para a implementação real em campo, assim os resultados mostraram-se satisfatórios, pois com variadas distâncias os dois pontos conseguiram manter a conexão.

Em seu trabalho (ORTIZ, 2018) escolhe como métrica de desempenho da rede as variáveis: tempo de recepção, taxa de perda de pacotes, vazão, potência do sinal, relação sinal-ruído, tais variáveis possibilitaram uma maior compreensão do funcionamento e qualidade da conexão. Neste trabalho as variáveis utilizadas para tal foram apenas a taxa de entrega dos pacotes e a intensidade do sinal (RSSI), gerando uma análise mais simples de desempenho da rede, mas assim como no trabalho citado estas métricas foram testadas com distâncias variadas para coletar os dados de conexão e comportamento da rede desenvolvida. Os demais trabalhos relacionados foram fundamentais para assimilar as possibilidades de utilização da rede LoRa com diferentes propriedades e condições de rede em cenários variados.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Ao ser dado início ao projeto de pesquisa deste trabalho verificou-se que nas redes de fibra óptica comumente vistas e utilizadas no dia a dia, não possuem uma verificação ativa e em tempo real de suas condições de funcionamento. Diante disso, o presente trabalho foi elaborado com o intuito de desenvolver um protótipo de sistema de detecção e notificação de falhas nas redes de fibra óptica utilizando conhecimentos de protocolos de comunicação, desenvolvimento de código, microcontroladores e serviços de armazenamento em nuvem.

Uma das prioridades da proposta era o de implementar um algoritmo responsável por realizar a comunicação entre os dispositivos, e que gerenciasse a rede LoRa, além de ter sido possível atender esta condição, também foi realizado a conexão e o envios de dados via rede Wi-Fi para a plataforma de armazenamento, sendo ainda responsável por fazer requisições a API do telegram para possibilitar a conexão com o *bot*.

O propósito de encontrar um protocolo de comunicação que possibilite transmissões de longo alcance e que possua um baixo consumo energético também foi alcançado, tendo em vista que a rede LoRa foi gerada e cumpriu sua função de envio e recebimento de pacotes de dados. Devido ao baixo custo para aquisição dos NodeMCU LoRa, isso favorece a instalação de um protótipo de dispositivo IoT em conexão com um *power meter* óptico de baixo custo para conseguir mensurar em tempo real os níveis de sinal na rede de fibra óptica. Outro objetivo alcançado foi a possibilidade de notificar os responsáveis pela rede de maneira prática e rápida, afinal uma das prioridades do sistema é que os principais responsáveis pelo gerenciamento da rede não tivessem dificuldade de visualizar estes dados.

Algumas melhorias ainda precisam ser feitas para aumentar o alcance da rede, isto seria possível através da utilização de um *gateway* LoRa como receptor central dos dados enviados pelos NodeMCUs. Além disso, seria importante que ao ser ampliada a ideia e conectada a mais CTOs, os usuários do *bot* pudessem realizar um pré-cadastro de cada CTO e assim receber relatórios mais detalhados sobre o funcionamento de cada uma delas.

Diante de tudo o que foi apresentado e desenvolvido no trabalho, foi possível obter uma rede LoRa funcional e capaz de notificar as condições de intensidade de sinal nas caixas de terminação ópticas, as responsáveis por distribuir a fibra para a casa dos clientes, através de um serviço de mensagens. O protótipo de sistema foi submetido a testes com a finalidade de validar o funcionamento da rede criada e a eficiência desta para se conectar a serviços de armazenamento e notificação.

De modo geral, acredita-se que uma implementação do sistema proposto em campo real seria eficiente, pois atualmente caso haja um rompimento ou grande atenuação de sinal em uma rede de fibra óptica, os responsáveis demorariam bastante tempo para detectar e se deslocar ao local certo, tendo em vista ainda que nas redes desbalanceadas, o caso da utilizada no projeto, tais condições afetariam de forma encadeada o fornecimento de internet para inúmeros clientes em uma grande distância de cobertura.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M.; CASTAGNA, A.; CRISTIANI, P.; ZUNINO, P.; ROLDÓS, E.; SANDLER, G. Características generales de una red de fibra óptica al hogar (ftth). **Memoria Investigaciones en Ingeniería**, n. 7, p. 38–46, 2009.
- AL-FUQAHA, A.; GUIZANI, M.; MOHAMMADI, M.; ALEDHARI, M.; AYYASH, M. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015.
- ALLIANCE, L. White paper: A technical overview of lora and lorawan. **The LoRa Alliance: San Ramon, CA, USA**, p. 7–11, 2015.
- AMARAL, F. V. **INTERNET DAS COISAS EM**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2020.
- ANATEL. Balanço dos serviços de telecom mostra crescimento expressivo da banda larga. **www.gov.br**, 2021.
- ANATEL. **344,5 milhões de contratos de telecomunicações em Abril/2022**. 2022. Url <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/ acessos>.
- AQUINO, A. Sensores conectados em rede. **Revista da Sociedade Brasileira de Computação**, v. 29, n. 4, p. 9–13, 2015.
- AUGUSTIN, A.; YI, J.; CLAUSEN, T.; TOWNSLEY, W. M. A study of lora: Long range & low power networks for the internet of things. **Sensors**, MDPI, v. 16, n. 9, p. 1466, 2016.
- CARLOTO, F. G. *et al.* Sistema de telegestão para iluminação pública usando comunicação lorawan. Universidade Federal de Santa Maria, 2020.
- CASOTTI, F. Uma regulação de infraestrutura para chamar de sua: incentivos e responsividade regulatória no uso compartilhado de postes por prestadores de telecomunicações no brasil. **Revista de Direito Setorial e Regulatório**, v. 7, n. 1, p. 122–149, 2021.
- CAVALLI, O. Internet das coisas e inovação na américa latina. **SI: sn**, 2016.
- CHAUDHARI, B. S.; ZENNARO, M. **LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications**. [S.l.]: Academic Press, 2020.
- CHAUDHARI, B. S.; ZENNARO, M.; BORKAR, S. Lpwan technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations. **Future Internet**, MDPI, v. 12, n. 3, p. 46, 2020.
- CORDEIRO, F. C. **Monitorização de equipamentos semafóricos através de uma rede IoT**. Tese (Doutorado) — Instituto Superior De Engenharia De Lisboa, 2019.
- CORTES, L. da C.; MOREIRA, J. P.; RODRIGUES, J. L. Projeto de uma rede gpon implementada. **SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA GESTÃO E EDUCAÇÃO**, v. 2, n. 2, 2020.
- EVANS, D. A internet das coisas: como a próxima evolução da internet está mudando tudo. **CISCO IBSG**, 2011.

FONTES, P. **Splitter: quando utilizar os modelos balanceado e desbalanceado?**

2018. Disponível em: <https://www.cianet.com.br/blog/infraestrutura-e-tecnologia/splitter-quando-utilizar-os-modelos-balanceado-e-desbalanceado/>. Acessado em: 2 de novembro de 2022.

FRANCISCO, F. Aplicação de rede lora para monitoramento de indicadores na agricultura em empresa de tecnologia da informação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

GISLASON, D. **Zigbee wireless networking**. [S.l.]: Newnes, 2008. ISBN 978-0750685979.

HEYDON, R.; HUNN, N. Bluetooth low energy. **CSR Presentation, Bluetooth SIG** <https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx>, 2012.

JUNIOR, W. A. M. **Rodovias conectadas por meio de tecnologias PON e fibra óptica das operadoras de telecomunicações**. Dissertação (Mestrado), 2021.

KEISER, G. **Comunicações por Fibras Ópticas-4**. [S.l.]: AMGH Editora, 2014.

LIMA, G. F. M.; LAMOUNIER, E. A.; BARCELOS, S.; CARDOSO, A.; PERETTA, I. S.; RIGON, E.; MURAMOTO, W. S. A teo-based algorithm to detect events over otdr measurements in fth pon networks. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 11, n. 3, p. 886–891, 2013.

MANGALVEDHE, N.; RATASUK, R.; GHOSH, A. Nb-iot deployment study for low power wide area cellular iot. In: IEEE. **2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)**. [S.l.], 2016. p. 1–6.

MAZIERO, L. *et al.* Projeto de um nó lorawan híbrido com repetidor embutido de baixo custo e baixo consumo de energia. Universidade Federal de Santa Maria, 2020.

MEIRA, S. Sinais do futuro imediato: Internet das coisas, plataformas, mercados em rede e transformação digital. **MuchMore. digital–Mobile Marketing Association, Porto Digital**, p. 515–538, 2017.

MENDONÇA, F. C.; DANIEL, C.; HENRIQUE, E.; JAKSON, T.; ANTONIO, L. Automatização de redes e subestações elétricas-smart grids. **Anais do SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS (SINACEN)**, v. 6, n. 1, p. 171–171, 2021.

OLIVEIRA, S. de. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. [S.l.]: Novatec Editora, 2017.

ORTIZ, F. M. 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.

PEREIRA, M.; CRUVINEL, P. Desenvolvimento de um sistema de coleta automática de dados agrícolas baseado em rede lora e no microprocessador esp32. In: SBC. **Anais da X Escola Regional de Informática de Mato Grosso**. [S.l.], 2019. p. 43–48.

PIÑERES, E. A. G.; MAYORGA, H. D. S. Técnicas de optimización y mejoramiento de una red lan empresarial. Universidad Tecnológica de Bolívar, 2011.

RUIZ, L. B.; CORREIA, L. H. A.; VIEIRA, L. F. M.; MACEDO, D. F.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M.; VIEIRA, M. A. M.; BECHELANE, E. H.; CAMARA, D.; LOUREIRO, A. *et al.* Arquiteturas para redes de sensores sem fio. **Tutorial of the simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos(SBRC)**, 2004.

- SAFARIC, S.; MALARIC, K. Zigbee wireless standard. In: IEEE. **Proceedings ELMAR 2006**. [S.l.], 2006. p. 259–262.
- SANTOS, B. P.; SILVA, L. A.; CELES, C. S.; NETO, J. B. B.; PERES, B. S.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A. Internet das coisas: da teoria à prática. 2016.
- SILVA, P. F. J. d. Geografia das telecomunicações no brasil. Editora UNESP, 2015.
- SINHA, R. S.; WEI, Y.; HWANG, S.-H. A survey on lpwa technology: Lora and nb-iot. **Ict Express**, Elsevier, v. 3, n. 1, p. 14–21, 2017.
- SONI, D.; MAKWANA, A. A survey on mqtt: a protocol of internet of things (iot). In: **International conference on telecommunication, power analysis and computing techniques (ICTPACT-2017)**. [S.l.: s.n.], 2017. v. 20, p. 173–177.
- TOSI, J.; TAFFONI, F.; SANTACATTERINA, M.; SANNINO, R.; FORMICA, D. Performance evaluation of bluetooth low energy: A systematic review. **Sensors**, MDPI, v. 17, n. 12, p. 2898, 2017.
- VARGAS, I. A. Sistemas de fibra óptica. **Mexico: Prenti Hall**, 2014.
- VEJLGAARD, B.; LAURIDSEN, M.; NGUYEN, H.; KOVÁCS, I. Z.; MOGENSEN, P.; SORENSEN, M. Coverage and capacity analysis of sigfox, lora, gprs, and nb-iot. In: IEEE. **2017 IEEE 85th vehicular technology conference (VTC Spring)**. [S.l.], 2017. p. 1–5.
- ZOURMAND, A.; HING, A. L. K.; HUNG, C. W.; ABDULREHMAN, M. Internet of things (iot) using lora technology. In: IEEE. **2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)**. [S.l.], 2019. p. 324–330.