

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
Faculdade de Engenharia da Computação
Bacharelado em Engenharia da Computação

Projeto Final de Curso

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA DE
MONITORAMENTO RESIDENCIAL UTILIZANDO A TECNOLOGIA LORA**

Klauber Araujo Sousa

Marabá-PA

2023

Klauber Araujo Sousa

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA DE
MONITORAMENTO RESIDENCIAL UTILIZANDO A TECNOLOGIA LORA**

Projeto Final de Curso, apresentado à Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador:

Prof. Dr. Diego Kasuo Nakata Da Silva

Marabá-PA

2023

Klauber Araujo Sousa

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA DE
MONITORAMENTO RESIDENCIAL UTILIZANDO A TECNOLOGIA LORA**

Projeto Final de Curso, apresentado à Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Marabá: 21 de Dezembro de 2023

BANCA QUALIFICADORA:

Prof. Dr. Diego Kasuo Nakata Da Silva
(Orientador - UNIFESSPA)

Prof. Dr. Joao Victor Costa Carmona
(Membro da Banca - UNIFESSPA)

Prof^a. Dra. Leslye Estefania Castro Eras
(Membro da Banca - UNIFESSPA)

**Marabá-PA
2023**

Este trabalho é dedicado a toda minha família, Pai, Mãe, Kaleb e Júnior pelo apoio e carinho. A Ane que é a melhor pessoa que conheci na minha vida, Brunna e Sthela por tornarem essa trajetória tão sublime.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha gratidão à minha coorientadora, Prof^ª. Dr. Leslye Estefania Castro Eras, pelo seu apoio, dedicação e valiosas contribuições durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Também sou grato(a) à Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará pela oportunidade de realizar este trabalho.

Quero expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Marinete Gomes Araujo Sousa e Antônio Carlos Pereira de Sousa, por todo o apoio e incentivo ao longo deste curso. Seu amor e encorajamento foram fundamentais para chegar até aqui

E agradecer a Ane também, me ouviu meses antes de eu começar o tcc, me acalmou durante todo esse tempo, me ajudou de uma maneira que eu não esperava, vou te levar pro resto da vida, sabe, existem aproximadamente 370 mil palavras na língua portuguesa e nenhuma delas sequer chega perto de descrever suas virtudes e importância, é isso, reticências.

Decidir comprometer-se com resultados de longo prazo ao invés de reparos a curto prazo é tão importante quanto qualquer decisão que você fará em toda a sua vida.

(Anthony Robbins)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento residencial inteligente utilizando a tecnologia LoRa (Long Range). O sistema proposto detecta possíveis intrusos e envia notificações ao smartphone do proprietário em caso de atividades suspeitas. Para identificar movimentos, utiliza-se um sensor PIR (Passive Infrared), que capta o calor emitido por organismos em movimento, permitindo detectar a presença de pessoas e acionar o monitoramento. O sistema é integrado ao aplicativo Telegram, que recebe as informações dos sensores por meio da conexão do ESP32 com a internet. Usando a API do Telegram, os dados são enviados diretamente ao servidor do aplicativo, onde são processados e exibidos para o usuário. Dessa forma, o proprietário pode monitorar sua propriedade em tempo real e receber notificações sobre qualquer atividade suspeita. Os testes foram realizados na cidade de São Geraldo do Araguaia. Os resultados indicaram que o sistema é capaz de cobrir quase toda a área urbana da cidade, comprovando a eficiência da tecnologia LoRa em ambientes residenciais e urbanos. Também foram feitos testes de notificação, nos quais, assim que o transmissor e o receptor estão conectados a uma fonte de energia, eles começam a enviar e receber pacotes LoRa automaticamente. Durante esses testes, o aplicativo Telegram recebeu mensagens a cada 5 segundos, com um atraso inferior a 1 segundo, o que garantiu um sistema de notificação ágil. A fase de testes e validação incluiu verificações unitárias, testes de alcance e testes de notificação para avaliar a detecção de movimentos, a comunicação LoRa e a cobertura em áreas urbanas. Os resultados mostram que o projeto atingiu seus objetivos, comprovando sua viabilidade como solução para monitoramento residencial prático e funcional.

Palavras-chave: LoRa, ESP32, Telegram, Monitoramento Residencial, Sensor de Movimento, Notificações.

ABSTRACT

This work presents the development of a smart home monitoring system using LoRa (Long Range) technology. The proposed system detects potential intruders and sends notifications to the homeowner's smartphone in case of suspicious activity. To identify movement, it uses a PIR (Passive Infrared) sensor, which detects heat emitted by moving organisms, allowing for the detection of people and triggering the monitoring system. The system is integrated with the Telegram app, which receives sensor information through the ESP32's internet connection. Using the Telegram API, data is sent directly to the app's server, where it is processed and displayed for the user. This allows the homeowner to monitor their property in real-time and receive notifications about any suspicious activity. Tests were conducted in the city of São Geraldo do Araguaia. The results indicated that the system can cover almost the entire urban area of the city, proving the effectiveness of LoRa technology in residential and urban environments. Notification tests were also conducted, where, once the transmitter and receiver are connected to a power source, they start sending and receiving LoRa packets automatically. During these tests, the Telegram app received messages every 5 seconds, with a delay of less than 1 second, ensuring an efficient notification system. The testing and validation phase included unit checks, range tests, and notification tests to evaluate motion detection, LoRa communication, and urban coverage. The results show that the project achieved its objectives, demonstrating its feasibility as a practical and functional solution for home monitoring.v

Keywords: LoRa, ESP32, Telegram, Home Monitoring, Motion Sensor, Notifications.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arquitetura do sistema implementado	17
Figura 2 – Diagrama de blocos da transmissão de dados da estação emissora . . .	18
Figura 3 – (a) O diagrama de circuito proposto da estação transmissora (b) O diagrama de circuito proposto da extremidade receptora	19
Figura 4 – Servidor Web – Aplicativo em um dispositivo móvel	21
Figura 5 – Modelo de Implementação do Sistema	22
Figura 6 – Ação do Sistema na Presença de um Adulto/Criança	24
Figura 7 – Histórico da Internet das Coisas	27
Figura 8 – Arquitetura LoRa	31
Figura 9 – Ilustração do LoRa Chirp Spread Spectrum	32
Figura 10 – ESP32 LoRa V3 SX1262	35
Figura 11 – Sensor PIR hc-sr501	35
Figura 12 – Tecnologias escolhidas	36
Figura 13 – Servidor de aplicativos LoRaWAN em uma implantação típica de rede LoRaWAN	38
Figura 14 – Topologia do Projeto	39
Figura 15 – Circuito transmissor	40
Figura 16 – Esp32 Transmissor	46
Figura 17 – Bot para o app Telegram	48
Figura 18 – Grupo de Notificações	49
Figura 19 – Percurso do teste	51
Figura 20 – Distância Máxima do LoRa	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo dos componentes	45
Tabela 2 – Tabela de Distância e RSSI	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications 2G</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
PIN	<i>Personal Identification Number</i>
PIR	<i>Assive Infrared Sensor</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
WI-FI	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivo Geral	15
1.3	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Arquitetura de automação residencial baseada na tecnologia LoRa e Protocolo de transferência de telemetria de fila de mensagens	16
2.2	Automação residencial baseada em servidor usando a internet das coisas e LoRa	17
2.3	Sistema de monitoramento residencial inteligente Usando Microcontroladores ESP32	19
2.4	Um Sistema de segurança doméstico LoRa-Driven para comunidade residencial em um município de Aposentados	21
2.5	Desenvolvimento de um sistema domótico de segurança e prevenção de acidente infantil com arduino	23
3	TECNOLOGIA LORA E INTERNET DAS COISAS	26
3.1	IOT: Internet das Coisas	26
3.1.1	Histórico da Internet das Coisas	26
3.1.2	Internet das Coisas e Redes Áreas Amplas e Baixas Potências - LPWAN	27
3.2	Tecnologia LoRa	30
3.2.1	Arquitetura da Tecnologia LoRa	30
3.2.2	Modulação de rádio e LoRa	31
3.2.3	LoRa x outras tecnologias de comunicação sem fio	33
4	METODOLOGIA	34
4.1	Identificação do problema	34
4.2	Seleção de Materiais	34
4.3	Seleção das tecnologias	35

4.3.1	Protocolo HTTPS	37
4.3.2	API bot do telegram	37
4.4	Integração das Tecnologias e Topologia do Projeto	38
4.5	Desenvolvimento do Projeto	40
4.6	Custos de Implementação	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Introdução aos Resultados	46
5.2	Detecção de Movimentos	47
5.3	Integração com o Telegram	47
5.4	Limitações e Desafios Encontrados	49
5.5	Considerações sobre a Segurança	50
5.6	Testes e validação	50
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXOS	56
	ANEXO A – LINK DO PROJETO	57

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço da tecnologia da Internet das Coisas (IoT) trouxe muitas oportunidades de automação e conexão inteligente em diversas áreas, inclusive no meio residencial. Com a crescente demanda por monitoramento dentro destes ambientes residenciais e soluções de segurança, é importante utilizar de sistemas de alta confiabilidade que possa proteger a residência com inteligência (INTELLIGENCE, 2022).

Entre janeiro de 2019 e maio de 2022, o estado do Pará teve 99.708 casos de roubo e furto, com uma média de quase 62 casos por dia nesse período, ou seja, mais de 2,5 casas e furtos a cada hora. Esses dados demonstram a urgência da adoção de medidas efetivas de monitoramento domiciliar. Em 2020, há uma queda de 23,29% em relação a 2019, provavelmente devido ao aumento do número de pessoas em casa devido à epidemia. No entanto, os casos voltaram a aumentar em 2021, com aumento de 18,66% em relação a 2020, já que muitas pessoas voltaram ao trabalho presencial. (HELLOSAFE, 2022)

A análise dos acontecimentos também revelou que o dia da semana com maior número de roubos no estado do Pará é o domingo, com mais de 16 mil registros. Isso pode ser explicado pelo fato de muitas pessoas saírem ou se mudarem durante o fim de semana, o que dá oportunidade aos criminosos de agir (HELLOSAFE, 2022).

Na região sudeste do Pará, destaca-se a cidade de Marabá, quarta cidade com maior número de registros de furtos de residências no estado do Pará no período de janeiro de 2019 a maio de 2022, com 3.405 roubos registrados (HELLOSAFE, 2022).

Considerando esta situação, este projeto propõe como diferencial a exploração do potencial da tecnologia LoRa (Long Range) para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento residencial.

A tecnologia LoRa (Long Range) é uma forma de comunicação sem fio desenvolvida especialmente para dispositivos de Internet das Coisas (IoT). Destaca-se pela capacidade de transferir dados a longas distâncias, superar barreiras físicas e trabalhar em ambientes urbanos. Com baixo consumo de energia e longo alcance, o LoRa oferece uma solução para conectar dispositivos de monitoramento residencial entre outros dispositivos (LOGPYX, 2020).

Ao combinar a tecnologia LoRa com sensores, o objetivo é criar um sistema que possa prevenir e responder a eventos suspeitos, proporcionando segurança e tranquilidade aos seus proprietários. Ao longo deste estudo serão discutidos conceitos teóricos e práticos relacionados à tecnologia LoRa, a arquitetura do sistema proposto, o hardware e software utilizado, e os resultados obtidos em testes e pesquisas.

Espera-se que este projeto contribua para o desenvolvimento do setor de monitoramento residencial e demonstre o potencial da tecnologia LoRa enquanto solução para a

segurança do lar, dando uma resposta ao aumento do número de furtos e assaltantes.

1.1 Justificativa

A segurança residencial é uma preocupação crescente devido ao aumento da criminalidade, tornando essencial o desenvolvimento de sistemas de monitoramento eficientes. Este estudo visa criar um sistema de monitoramento residencial utilizando o ESP32, uma ferramenta de baixo custo e fácil manuseio, para alertar sobre atividades suspeitas e prevenir furtos.

A escolha do ESP32 é complementada pela adoção da tecnologia LoRa (Long Range) para comunicação sem fio, que se destaca pelo longo alcance, baixo consumo de energia e capacidade de penetrar barreiras físicas. Isso permite uma cobertura eficaz, mesmo em ambientes amplos, garantindo comunicação confiável entre os dispositivos do sistema, como sensores de movimento e módulos centrais.

Além disso, o estudo considera o aspecto econômico, mostrando que o sistema proposto oferece baixo custo e manutenção, tornando-o acessível a um público amplo.

1.2 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento residencial utilizando a plataforma Esp32 e a tecnologia LoRa, com o propósito de evitar furtos em residências. O sistema será capaz de acionar alarmes e enviar notificações aos usuários.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão da literatura sobre os principais desafios e soluções no campo da monitoração residencial, explorando diferentes tecnologias e abordagens utilizadas para evitar furtos e proteger as residências.
- Analisar as características e funcionalidades do Esp32 e da tecnologia LoRa, investigando sua eficiência, disponibilidade e facilidade de programação.
- Projetar e implementar um sistema de monitoramento residencial utilizando Esp32 e LoRa, que inclua sensores de movimento e comunicação sem fio via LoRa para transmitir alertas e notificações.
- Testar o sistema em diferentes cenários e condições, simulando situações de invasão à domicílio e avaliando sua eficácia na detecção e prevenção de furtos.
- Avaliar e identificar possíveis melhorias na aplicação das tecnologias apresentadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão literária de trabalhos relacionados que abordam sistemas de monitoramento residencial utilizando a tecnologia LoRa e microcontroladores ESP32. Por meio desta pesquisa, busca-se identificar estudos anteriores que mostraram um objetivo semelhante a este projeto, além de encontrar as contribuições, métodos e resultados desses estudos. Dentre os estudos identificados, surgiram pesquisas que sugerem sistemas de detecção de intrusão, alarme e captura de imagens utilizando microcontroladores ESP32 e tecnologia LoRa.

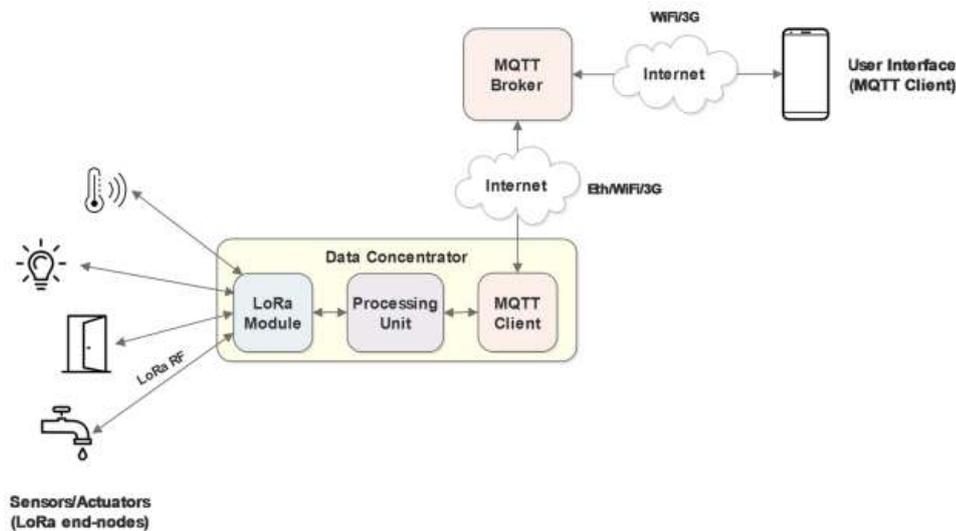
Ao analisar as obras envolvidas, buscamos não apenas identificar suas contribuições, mas também entender os desafios enfrentados, os métodos adotados e os resultados alcançados. Isso fornecerá uma base sólida para o desenvolvimento e aprimoramento do método proposto neste trabalho, fornecendo informações valiosas sobre as melhores práticas e métodos adotados por pesquisadores anteriores.

2.1 Arquitetura de automação residencial baseada na tecnologia LoRa e Protocolo de transferência de telemetria de fila de mensagens

O projeto de automatização residencial proposto por Montanini e Spinsante (2017) tem por objetivo implementar uma arquitetura IOT (Internet das Coisas) orientada para casas inteligentes, baseada na tecnologia LoRa de longo alcance e baixo consumo de energia. Além disso, a comunicação entre os dispositivos da arquitetura e com o mundo externo é feita utilizando o protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transfer).

O Projeto tem por adversidade a manutenção da eficiência energética, uma vez que o uso de baterias é crucial para garantir o funcionamento contínuo dos dispositivos em uma solução Smart Home. Além disso, o protocolo de mensagens MQTT foi utilizado devido à sua leveza e eficiência na troca de mensagens entre os dispositivos.

Figura 1 – Arquitetura do sistema implementado



Fonte: (MONTANINI, 2018)

Na Arquitetura do projeto (Figura 1) sensores e atuadores funcionariam como nós finais se comunicando com o restante da arquitetura através da tecnologia LoRa. O concentrador de dados então, funcionaria como um gateway que converterá pacotes LoRa em mensagens MQTT.

Este Concentrador de dados integra portanto um módulo LoRa, uma unidade de processamento capaz de interpretar e encaminhar mensagens recebidas de um cliente MQTT. Assim, o MQTT Broker é o intermediário entre a interface de usuário e os nós finais, e que determina as regras de operação nesta arquitetura

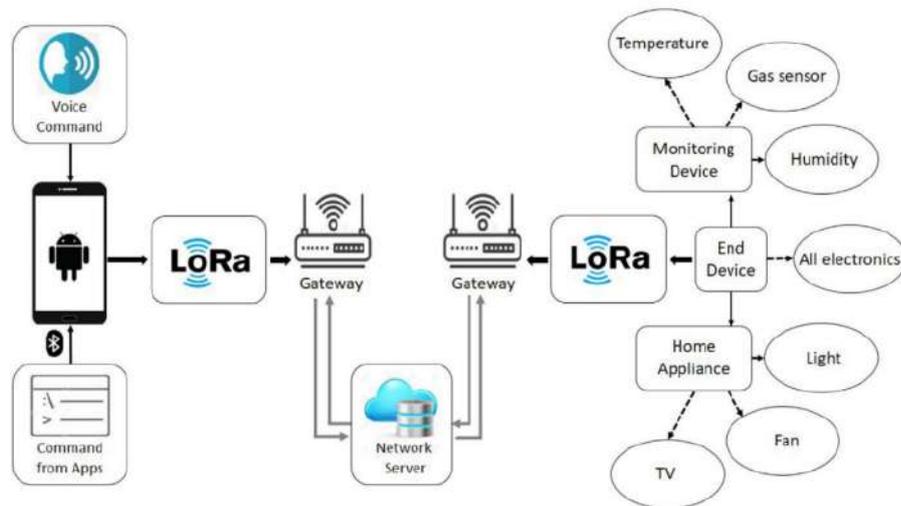
Essa abordagem visa então, enfrentar o desafio energético e promover a interoperabilidade em sistemas de automação residencial.

2.2 Automação residencial baseada em servidor usando a internet das coisas e LoRa

O artigo escrito por Islam et al. (2020), ressalta a importância de uma casa segura e funcional e apresenta uma arquitetura de automação residencial de curto e longo alcance utilizando tecnologias como LoRaWAN, gateway LoRa baseado em servidor e conectividade Bluetooth. O projeto busca então, facilitar o gerenciamento de sistemas residenciais via aplicativo móvel android por usuários regulares.

Sendo assim, o problema solucionado neste artigo é a busca por uma solução integrada que possa gerenciar de forma eficaz diferentes tipos de aparelhos e promover o controle inteligente entre aparelhos eletrônicos, visando proporcionar um lar confortável e bonito.

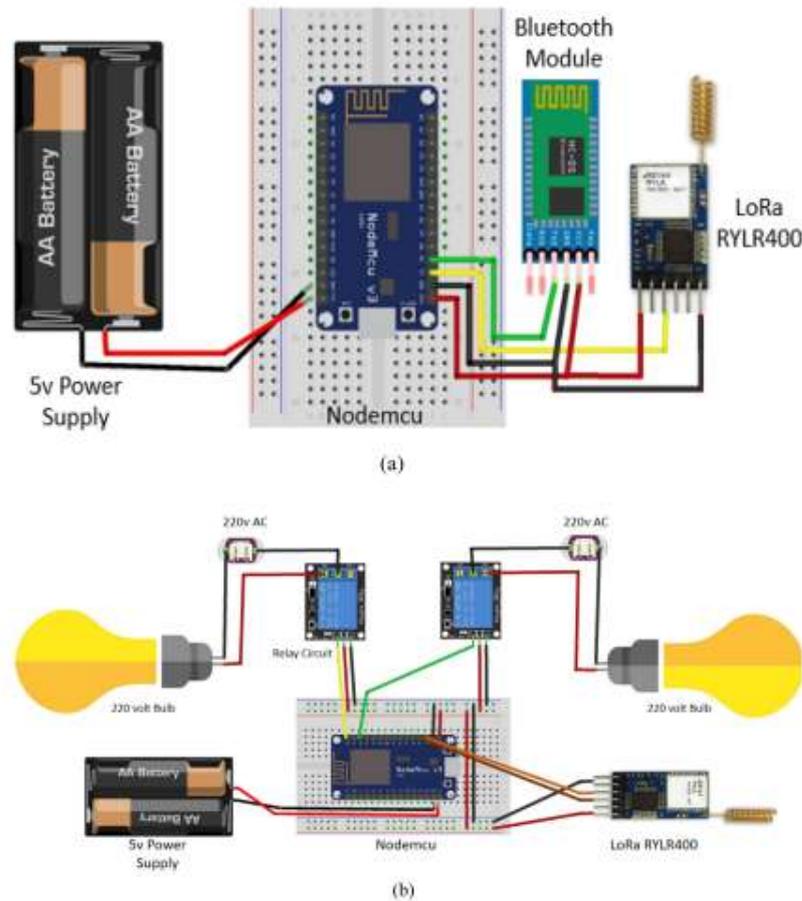
Figura 2 – Diagrama de blocos da transmissão de dados da estação emissora



Fonte: (ISLAM, 2020)

O diagrama da Figura 2 representa a arquitetura desenvolvida, os dispositivos finais, sendo tanto eletrônicos quanto de monitoramento de humidade e temperatura, são transmitidos via LoRa para um gateway conectado a um banco de dados ou servidor web. O servidor web utiliza o modelo de gateway para fazer a comunicação via LoRa aos dispositivos móveis.

Figura 3 – (a) O diagrama de circuito proposto da estação transmissora (b) O diagrama de circuito proposto da extremidade receptora



Fonte: (ISLAM, 2020)

O circuito apresentado na figura 3 (a) mostra o transmissor que possui conectado a um microcontrolador módulos como Bluetooth e LoRa RYLR400, este último faz conexão ao receptor. O receptor na figura 3 (b) obtém dados a partir do módulo LoRa RYLR400 e executa a instrução no microcontrolador, assim, ligar e desligar uma lâmpada.

2.3 Sistema de monitoramento residencial inteligente Usando Microcontroladores ESP32

A solução proposta pelo artigo (DINIZ; FRANÇA,), diz respeito a um sistema de vigilância residencial com câmera utilizando o chip ESP32. Este sistema está ligado à rede Wi-Fi doméstica e utiliza diferentes componentes para o seu funcionamento.

Para fornecer armazenamento de dados e controle de todo o sistema, o Raspberry Pi foi usado como um dispositivo central. Ele é responsável por criar a comunicação com todos os outros elementos do sistema e também funciona como um armazenamento para as

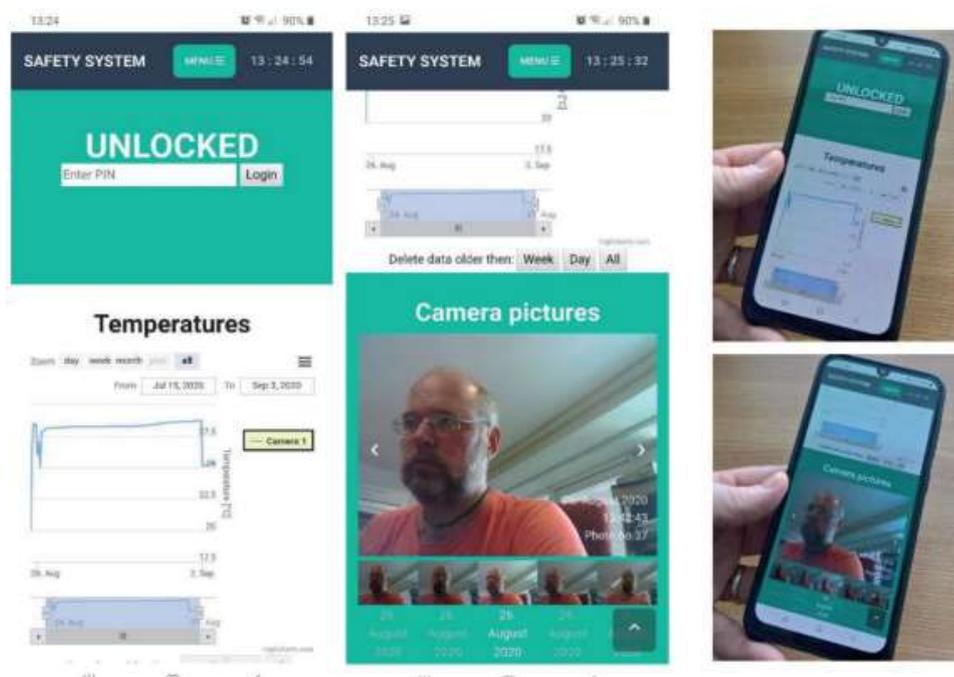
fotos capturadas pela câmera. Além disso, o servidor web roda no Raspberry Pi, permitindo o acesso aos dados armazenados.

O sistema funciona em modo inativo, onde a câmera não produz imagens. No entanto, quando o prédio está bloqueado, seja por sinal de trânsito, servidor web ou envio de um comando SMS, a câmera funciona após um curto período de tempo. O sensor de movimento PIR é monitorado para detectar qualquer movimento na sala. Se for detectado movimento, essa informação é enviada para a unidade de controle, que aciona todas as câmeras para tirar fotos ao mesmo tempo a cada minuto. Além disso, o alarme na entrada é ativado e uma mensagem SMS é enviada para o número de telefone designado, informando sobre o ataque à casa. As imagens captadas pela câmera são enviadas para a unidade de controle via mensagens HTTP e ali armazenadas.

O módulo ESP32 também possui um sensor de temperatura para monitorar a temperatura interna do edifício. Essas informações de temperatura são processadas e enviadas para a unidade de controle, onde são armazenadas no banco de dados. Além disso, existe outro aparelho que faz a leitura da temperatura da casa e do próprio incêndio, possibilitando analisar a relação entre o incêndio e a temperatura de cada casa. Isso permite um aquecimento eficiente da casa.

Um servidor web executado no painel de controle fornece acesso claro e fácil a todos os dados armazenados. Ele exibe o status atual da casa e permite bloqueá-la ou desbloqueá-la inserindo um código PIN. O aplicativo da web, que pode ser observado na figura 4, também fornece gráficos mostrando a temperatura medida em cada dispositivo ao longo do tempo, permitindo que você monitore e visualize diferentes dispositivos com diferentes períodos de tempo. Além disso, é exibida uma galeria de fotos tiradas pela câmera, organizadas da mais recente para a mais antiga, com a hora exata de cada foto.

Figura 4 – Servidor Web – Aplicativo em um dispositivo móvel



Fonte: (BABIUCH, 2020)

Conclui-se então que, o sistema de monitoramento residencial proposto neste artigo utiliza o chip ESP32 e o Raspberry Pi como núcleo para garantir a segurança e o controle da residência. Conectividade de câmeras, detectores de movimento, alarmes e comunicação via Wi-Fi e SMS fornecem uma solução completa para monitorar e proteger a casa. Além disso, a disponibilidade de um servidor web permite fácil acesso aos dados coletados, enquanto o controle remoto via GSM oferece flexibilidade e conveniência ao usuário. Com esses recursos, o sistema promove tranquilidade e eficiência no monitoramento residencial.

2.4 Um Sistema de segurança doméstico LoRa-Driven para comunidade residencial em um município de Aposentados

No projeto descrito no artigo, um sistema completo de segurança residencial (LoRa) foi desenvolvido para atender às necessidades dos residentes locais de uma comunidade de aposentados. Um grande problema enfrentado pelas comunidades residenciais é a falta de sistemas de segurança que possuam longas distâncias de cobertura e que possam fornecer alertas de emergência oportunos e manter os residentes seguros.

A solução proposta inclui uma combinação de hardware e software, com o objetivo de fornecer um sistema integrado que atenda às necessidades de segurança da comunidade.

Em termos de hardware, um botão de pânico é projetado para permitir que os residentes disparem um alarme durante uma emergência. Além disso, um sensor embutido

foi implementado para emitir automaticamente um alarme quando uma atividade suspeita é detectada.

A parte principal do sistema é conectar todos os dispositivos de hardware à rede usando a tecnologia de comunicação sem fio LoRa. Essa opção de tecnologia forneceu uma ampla cobertura de comunicação, permitindo que os dispositivos se comunicassem de maneira eficaz e confiável, mesmo em uma grande área residencial. Os dados são transferidos do dispositivo de armazenamento para um servidor central, onde são armazenados para análise e registros. Em termos de software, está a ser desenvolvida uma aplicação móvel denominada iSecurity como mais uma ferramenta para criar alertas de emergência e facilitar a comunicação entre residentes e vigilantes.

Figura 5 – Modelo de Implementação do Sistema



Fonte: (SHERIF, 2019)

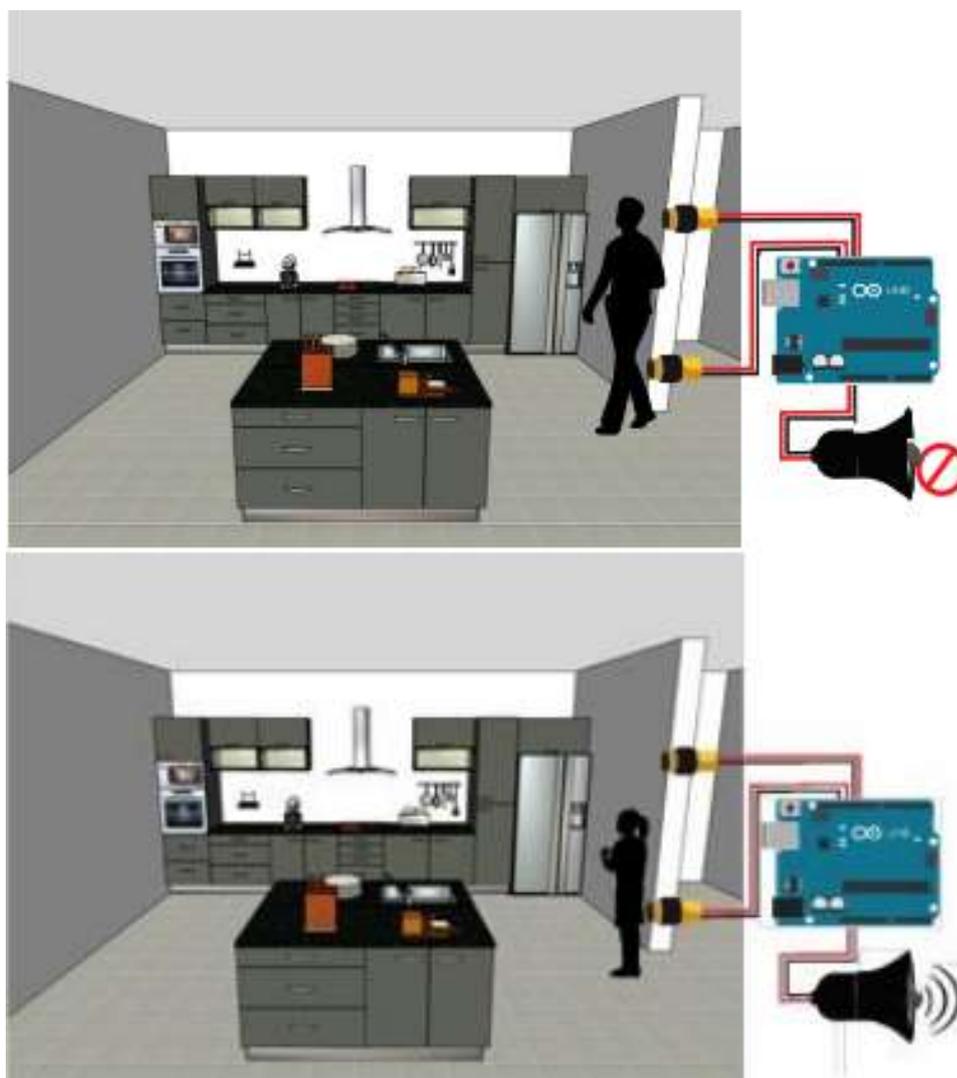
Como pode ser observado na figura 5, onde mostra o esquemático entre o controlador LoRa e as casas do condomínio, a funcionalidade de hardware do dispositivo final depende de muitos fatores, mas a principal deles é a cobertura da rede LoRa, onde o desempenho do sistema difere dependendo da distância do controlador LoRa.

2.5 Desenvolvimento de um sistema domótico de segurança e prevenção de acidente infantil com arduino

O artigo proposto por Rubens Walker et al. (2016) discute o desenvolvimento de um sistema de segurança residencial baseado em automação para reduzir os acidentes domésticos envolvendo crianças na cozinha.

No caso específico deste método, é necessário o uso de sensores para detectar a presença de uma criança na cozinha sem a supervisão de adultos. Como mostrado na figura 6, Dois sensores de infravermelho próximo do modelo E18-D80NK são instalados na parede oposta à porta da cozinha. Um sensor é colocado a uma altura de 0,2 m do solo, enquanto o outro é colocado a 1,50 m do solo. Quando os dois sensores disparam ao mesmo tempo, indicando a presença de uma pessoa com altura superior a 1,50 m, o sistema reconhece que a situação está controlada e não aciona o alarme. No entanto, se apenas o sensor inferior detectar a presença, indica a presença de uma criança com menos de 1,50 m na sala, o que é considerado perigoso. Nesse caso, o sistema aciona um alarme para alertar os responsáveis pela situação.

Figura 6 – Ação do Sistema na Presença de um Adulto/Criança



Fonte: (WALKER RESENDE, 2016)

A escolha desses sensores infravermelhos é baseada em seu desempenho, em suas capacidades e na facilidade de conexão com o Arduino, que funciona como um dispositivo de controle de processo. A comunicação entre o sensor e o Arduino permite processar os sinais que o sensor capta e disparar um alarme se necessário. Este sistema de sensores oferece uma solução eficaz para prevenir acidentes domésticos e na cozinha, pois é capaz de detectar a presença de uma criança sem a necessidade da supervisão de um adulto. Além disso, o uso de sensores infravermelhos traz outras vantagens, como a facilidade de instalação e a possibilidade de ajustar sua detecção conforme a necessidade.

Esses dispositivos de sensoriamento são amplamente utilizados em aplicações de automação residencial devido à sua confiabilidade e capacidade de detecção precisa.

Em suma, o sensor desempenha um papel importante no sistema proposto, permitindo a detecção eficaz da presença de crianças na cozinha sem a presença de um adulto.

Seu uso e integração com o Arduino proporcionam uma solução de segurança residencial barata, simples e eficaz para os usuários, contribuindo para a prevenção de acidentes familiares e o bem-estar das crianças.

3 TECNOLOGIA LORA E INTERNET DAS COISAS

3.1 IOT: Internet das Coisas

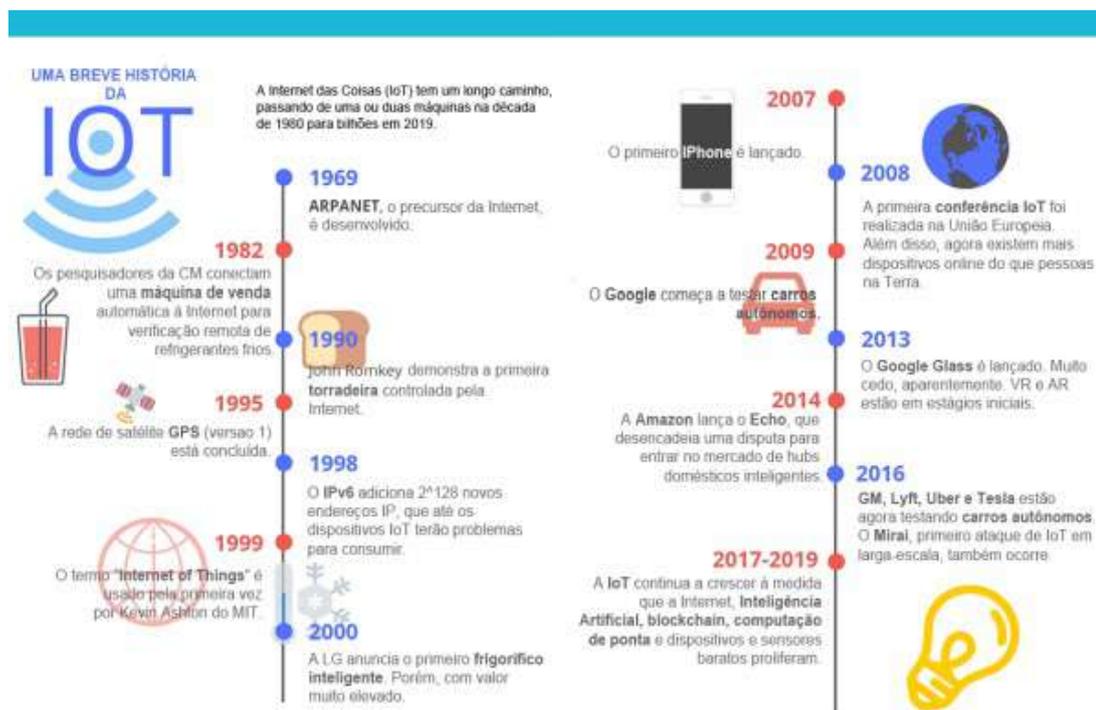
3.1.1 Histórico da Internet das Coisas

A história da Internet das Coisas (IoT) remonta à década de 1990. Inicialmente, em 1990, John Romkey apresentou uma torradeira controlada pela Internet na Interop 89 Conference. O conceito ganhou mais força em 1991, quando Mark Weiser, em "The Computer for the 21st Century", previu um futuro onde dispositivos estariam interconectados e realizariam tarefas sem a necessidade de configurações complexas. Em 1999, Kevin Ashton introduziu o termo "Internet of Things" ao criar um sistema RFID para rastrear produtos na cadeia de suprimentos. Desde então, a IoT tem se desenvolvido com tecnologias como RFID e Redes de Sensores sem Fio, transformando a maneira como interagimos com o mundo (CASTELLS, 2003).

A Internet das Coisas não se limita a conectar dispositivos; ela visa transformar equipamentos em inteligentes, capazes de coletar e processar informações da rede. O termo abrange uma variedade de conceitos, desde objetos físicos interconectados até a criação de um ecossistema de computação ubíqua. Sua implementação tem impactado significativamente setores como segurança, meio ambiente, trânsito e logística. No entanto, desafios como privacidade e segurança surgem à medida que dispositivos coletam e compartilham dados pessoais. A pesquisa metodológica sobre a IoT engloba abordagens bibliográficas, exploratórias e analíticas, com uma ênfase qualitativa para compreender os fenômenos que ocorrem na sociedade (WATTSON, 2018).

Assim, Uma linha do tempo contendo os principais pontos históricos em Internet das Coisas pode ser observado na figura 7 para aperfeiçoar a compreensão deste tópico.

Figura 7 – Histórico da Internet das Coisas



Fonte: (LOPES, 2021)

Dentro do ecossistema da IoT, a tecnologia LoRa (Long Range) desempenha um papel crucial. LoRa é uma tecnologia de comunicação sem fio que se destaca por oferecer longo alcance e eficiência energética. Baseando-se na modulação de espectro espalhado, LoRa permite a conectividade em áreas remotas, sendo ideal para aplicações IoT. Suas aplicações são diversas, desde agricultura até cidades inteligentes (SEMTECH, 2016).

A tecnologia LoRa é caracterizada por redes que podem cobrir grandes distâncias e por dispositivos que operam com baixa potência. Essas características tornam o LoRa adequado para coletar e transmitir dados em locais de difícil acesso. No entanto, desafios como interoperabilidade e questões de segurança precisam ser abordados para uma implementação eficaz de redes LoRa. A combinação da evolução da IoT com tecnologias como LoRa promete transformar ainda mais a maneira como interagimos com o mundo conectado (SEMTECH, 2016).

3.1.2 Internet das Coisas e Redes Áreas Amplas e Baixas Potências - LPWAN

A Internet das Coisas e as Redes de Baixa Potência e Ampla Área - LPWAN A IoT refere-se à interligação e à troca de informações entre dispositivos/sensores, sendo que os aplicativos IoT demandam características específicas, como extenso alcance, baixa taxa de dados, eficiência energética e economia. As tecnologias de curto alcance comumente utilizadas (por exemplo, ZigBee, Bluetooth) não são adequadas para cenários que exigem

transmissão de longa distância. Por outro lado, as soluções baseadas em comunicação celular (por exemplo, 2G, 3G e 4G) podem oferecer cobertura mais ampla, mas consomem energia excessiva nos dispositivos. Dessa forma, as necessidades dos aplicativos de IoT impulsionaram o desenvolvimento de uma nova tecnologia de comunicação sem fio: a Rede de Área Ampla de Baixa Potência (RAZA; SOORIYABANDARA, 2017).

Essas redes proporcionam comunicação de longo alcance, alcançando até 10–40 km em áreas rurais e 1–5 km em ambientes urbanos (CENTENARO LORENZO VANGELISTA; ZORZI, 2016). Além disso, são altamente eficientes em termos de energia, garantindo uma vida útil da bateria de mais de 10 anos, e são economicamente acessíveis, com o custo de um chipset de rádio inferior a 2 euros e um custo operacional de 1 euro por dispositivo por ano (RAZA; SOORIYABANDARA, 2017). Esses atributos promissores do LPWAN têm motivado estudos experimentais recentes sobre seu desempenho em ambientes internos e externos (LOPES, 2021).

Diversas tecnologias LPWAN emergiram nas faixas de frequência licenciada e não licenciada. Entre elas, Sigfox, LoRa e NB-IoT são as tecnologias líderes que envolvem diferenças técnicas significativas.

As tecnologias LPWAN apresentam uma característica notável relacionada à recepção de dados. A sensibilidade dos receptores opera em torno de -130 dBm, enquanto na maioria das tecnologias sem fio esse número varia entre -90 e -110 dBm. Essa diferença, quando traduzida em potência de sinal, permite a detecção de sinais 10.000 vezes mais fracos do que as tecnologias com -90 dBm, resultando em um substancial aumento na distância de comunicação, já que o sinal pode perder potência e ainda ser captado (LOPES, 2021).

Até o momento, a maioria das avaliações das tecnologias LPWAN foi conduzida de forma independente em diferentes ambientes operacionais, pois muitas das principais tecnologias são baseadas em protocolos proprietários cujas especificações detalhadas não são livremente disponíveis no domínio público. Sigfox e LoRaWAN destacam-se como as duas principais tecnologias LPWAN em termos de implantação. A Sigfox opera e mantém a rede, disponibilizando gratuitamente a especificação do protocolo para fabricantes de chips. Em contrapartida, a tecnologia LoRa, com sua técnica de modulação de espectro de propagação de chirp (CSS) subjacente na camada física, é de propriedade da Semtech Corporation. Assim, a Sigfox é uma rede fechada com chips abertos, enquanto a LoRa é um chipset fechado, mas com uma rede aberta (inclusive para redes privadas).

Isso implica que a Sigfox controla o fornecimento, o acesso e o preço dos recursos de rede, enquanto a Semtech controla a produção, o suporte e o preço dos chipsets LoRa. Outras tecnologias consistem em variantes diferentes das camadas físicas proprietárias ou da camada MAC. Portanto, nenhuma das principais pilhas de protocolo LPWAN está totalmente aberta (IKPEHAI A., 2018).

O êxito das tecnologias LPWA reside em sua capacidade de oferecer conectividade de baixo consumo de energia para um grande número de dispositivos distribuídos em vastas áreas geográficas a um custo sem precedentes. E as estratégias que a LPWAN emprega para atingir esses objetivos incluem: longa área de cobertura, operação de energia ultra-baixa, custo reduzido, escalabilidade e qualidade de serviço.

- **Longa Área:** Quantitativamente, um ganho de +20 dB sobre sistemas celulares legados é direcionado para garantir excelente propagação de sinal em locais externos e internos de difícil acesso, como porões. Isso permite que os dispositivos finais se conectem às estações base a uma distância que varia de alguns a dezenas de quilômetros, dependendo do ambiente de implantação (rural, urbano, etc.). A banda sub-GHz e os esquemas de modulação especiais são explorados para atingir esse objetivo;
- **Operação de Energia Ultra-Baixa:** A operação em ultra-baixo consumo de energia é um requisito fundamental para aproveitar a enorme oportunidade de negócios proporcionada pelos dispositivos IoT/M2M alimentados por bateria. Uma vida útil da bateria de 10 anos ou mais com baterias AA ou de célula tipo moeda é desejável para reduzir o custo de manutenção. Para aproveitar essa oportunidade e garantir uma operação em ultra-baixo consumo de energia, é necessário um ciclo de trabalho, controle de acesso ao meio leve (diferentemente do utilizado em redes celulares) e dispositivos finais menos complexos, enquanto as estações base ou sistemas de back-end devem ser mais complexos;
- **Baixo Custo:** As tecnologias LPWAN adotam várias abordagens para reduzir despesas de capital (CAPEX) e operacionais (OPEX) tanto para usuários finais quanto para operadoras de rede. O projeto de baixo custo de dispositivos finais é possibilitado por meio de técnicas como o uso de conectividade do tipo estrela (em vez de malha), protocolos MAC simples e técnicas para descarregar a complexidade dos dispositivos finais, permitindo que os fabricantes projetem dispositivos finais simples e, conseqüentemente, de baixo custo;
- **Escalabilidade:** Essas tecnologias devem funcionar bem com o aumento do número e da densidade de dispositivos conectados, sendo consideradas várias técnicas para lidar com esse problema de escalabilidade, como técnicas de diversidade, densificação e seleção adaptativa de canal e taxa de dados;
- **Qualidade de Serviço:** As tecnologias LPWAN são direcionadas a diversos conjuntos de aplicativos com requisitos variados, assim, elas não fornecem QoS ou oferecem QoS limitado.

Embora as tecnologias LPWAN compartilhem alguns objetivos de design com outras tecnologias sem fio, seu foco principal é atingir longo alcance com baixo consumo de energia e custo reduzido, ao contrário de outras tecnologias para as quais alcançar uma taxa de dados mais alta, menor latência e maior confiabilidade podem ser mais importantes (RAZA; SOORIYABANDARA, 2017).

3.2 Tecnologia LoRa

A história da tecnologia LoRa começou com a busca por uma solução de comunicação sem fio para atender algumas das necessidades da Internet das Coisas (IoT). Desenvolvida pela Semtech Corporation, a tecnologia LoRa, abreviação de "Long Range", foi introduzida no mercado em 2014 como uma tecnologia de baixo consumo e longo alcance para conectividade IoT. Desde então, foi adotado em vários setores e se tornou uma das principais tecnologias de comunicação para aplicações de IoT devido a seus recursos e capacidades exclusivos (DIGITAL, 2020).

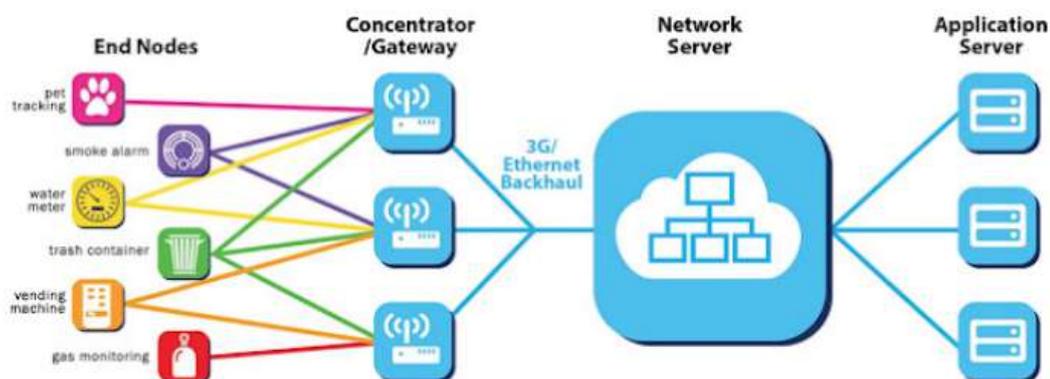
A base da tecnologia LoRa é o espectro derivado da tecnologia chirp spread spectrum (CSS). Essa flexibilidade permite que os dispositivos LoRa transmitam dados em qualquer formato em um espectro de frequência não licenciado, geralmente na banda de 868 MHz a 915 MHz, dependendo da região. Essa seleção de frequência contribui para a transmissão de alto sinal na banda LoRa, tornando-o adequado para aplicações em áreas urbanas e remotas. Outra característica importante do LoRa é seu baixo consumo de energia. Os dispositivos LoRa são projetados para operar com o mínimo de energia possível, o que aumenta drasticamente a vida útil da bateria. Esse recurso é importante para dispositivos IoT que podem estar em áreas de difícil acesso ou sem uma fonte de alimentação contínua. Com autonomia de até 10 anos, os dispositivos LoRa permitem a implementação de soluções de longo prazo com baixos custos de manutenção. Além disso, LoRa se destaca pela segurança, a tecnologia inclui criptografia ponta a ponta AES128, verificação de grupo e proteção da integridade e privacidade dos dados transmitidos. Isso garante que as informações sejam transferidas com segurança, protegendo contra ameaças e violações de segurança. (CONSULTIMER, 2020).

3.2.1 Arquitetura da Tecnologia LoRa

LoRa é um sistema de comunicação sem fio que abrange duas camadas distintas: a camada física responsável pelo link de comunicação (LoRa) e a camada de protocolo de comunicação denominada LoRaWAN. Essa arquitetura e protocolo exercem uma significativa influência na vida útil da bateria, na capacidade da rede, na segurança, na qualidade de serviço e nos diversos aplicativos conectados por meio da rede (SEMTECH, 2016).

A arquitetura da rede LoRa adota uma topologia em estrela, composta por vários dispositivos, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Arquitetura LoRa



Fonte: (SEMTECH, 2016)

Essa estrutura inclui principalmente:

- Os dispositivos finais que estabelecem comunicação com os gateways LoRa por meio do protocolo. Esses gateways encaminham os quadros LoRaWAN recebidos para uma interface de backhaul com maior taxa de transferência, utilizando uma rede do tipo Ethernet ou 3G;
- gateways desempenham o papel de conversores de pacotes ou relés bidirecionais, simplesmente encaminhando os pacotes dos dispositivos para a rede e vice-versa. A decodificação dos pacotes para a rede é de responsabilidade desses gateways.

3.2.2 Modulação de rádio e LoRa

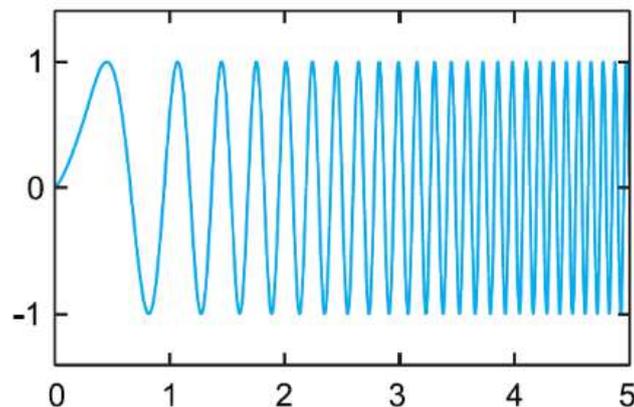
Por ser uma técnica proprietária de modulação de espalhamento espectral derivada da tecnologia existente Chirp Spread Spectrum (CSS), LoRa oferece uma compensação entre sensibilidade e taxa de dados, enquanto opera em um canal de largura de banda fixa de 125 KHz ou 500 KHz (para canais de uplink) , e 500 KHz (para canais de downlink). Além disso, LoRa usa fatores de espalhamento ortogonais. Isso permite que a rede preserve a vida útil da bateria dos nós finais conectados, fazendo otimizações adaptativas dos níveis de energia e taxas de dados de um nó final individual. Por exemplo, um dispositivo final localizado próximo a um gateway deve transmitir dados com um fator de espalhamento baixo, já que é necessário um orçamento de link muito pequeno. Entretanto, um dispositivo final localizado a vários quilômetros de um gateway precisará transmitir com um fator de espalhamento muito maior. Este fator de espalhamento mais elevado proporciona maior

ganho de processamento e maior sensibilidade de recepção, embora a taxa de dados seja, necessariamente, menor (SEMTECH, 2016).

Assim, LoRa é puramente uma implementação de camada física (PHY), ou de “bits”, conforme definido pelo modelo de rede de sete camadas OSI, representado na Figura 3. Em vez de cabeamento, o ar é usado como meio para transportar ondas de rádio LoRa de um Transmissor de RF em um dispositivo IoT para um receptor de RF em um gateway e vice-versa (SEMTECH, 2016).

Sendo assim, a tecnologia LoRa Chirp Spread Spectrum (CSS) da Semtech oferece uma alternativa de baixo custo e baixo consumo de energia, mas robusta, que não requer um relógio de referência altamente preciso. Na modulação LoRa, a propagação do espectro do sinal é obtida gerando um sinal chirp que varia continuamente em frequência, conforme mostrado na Figura 9

Figura 9 – Ilustração do LoRa Chirp Spread Spectrum



Fonte: (SEMTECH, 2016)

Uma vantagem deste método é que os deslocamentos de tempo e frequência entre o transmissor e o receptor são equivalentes, reduzindo bastante a complexidade do projeto do receptor. A largura de banda de frequência deste chirp é equivalente à largura de banda espectral do sinal. O sinal de dados que transporta os dados de um dispositivo final para um gateway é chipado a uma taxa de dados mais alta e modulado no sinal portador de chirp. A modulação LoRa também inclui um esquema de correção de erros variável que melhora a robustez do sinal transmitido. Para cada quatro bits de informação enviados, um quinto bit de informação de paridade é enviado (SEMTECH, 2016)

Com LoRa, os pacotes que usam diferentes fatores de espalhamento são ortogonais, o que significa que são invisíveis entre si, eles simplesmente aparecem como ruído um para o outro. Portanto, dois pacotes que chegam ao mesmo tempo no mesmo canal de recepção com fatores de espalhamento diferentes não colidirão e ambos serão desmodulados pelo

chip do modem do gateway. No entanto, dois pacotes com o mesmo fator de propagação chegando ao mesmo tempo no mesmo canal podem resultar em uma colisão. No entanto, se um dos dois pacotes for seis dB mais forte, ele sobreviverá (SEMTECH, 2016).

3.2.3 LoRa x outras tecnologias de comunicação sem fio

Na área de comunicação sem fio há diversas tecnologias disponíveis para transmissão de dados em redes IoT (Internet of Things). Cada uma dessas tecnologias possui características e capacidades diferentes, atendendo a diferentes aplicações. Nesta seção, a tecnologia LoRa será comparada com outras tecnologias de comunicação sem fio comumente usadas, como Wi-Fi, Bluetooth e Celular.

Quando se trata de 5G sem fio, essa tecnologia é considerada superior em termos de velocidade e capacidade de dados. No entanto, sua implementação em larga escala requer muito dinheiro e recursos, o que pode torná-la ineficaz em muitas situações. Por outro lado, o LoRaWAN já está estabelecido e fornece uma solução confiável para comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia em IoT. Quanto ao Bluetooth, é uma tecnologia frequentemente usada para conectar dispositivos próximos, como fones de ouvido e microfones, a smartphones e computadores. Embora o Bluetooth consuma menos energia que o Wi-Fi e o LTE, ele ainda consome mais energia que o LoRaWAN. O LoRaWAN, por outro lado, possui um alcance maior que o Bluetooth, o que o torna adequado para aplicações IoT que requerem comunicação a longas distâncias (WANG, 2021).

Além disso, comparado ao Wi-Fi, o LoRaWAN tem a vantagem de fornecer maior largura de banda e melhor eficiência energética. Enquanto o Wi-Fi é adequado para redes locais e comunicações de curta distância, o LoRaWAN é ideal para comunicações de longo alcance e baixo consumo de energia em IoT (WANG, 2021).

Em resumo, o LoRaWAN se destaca por sua capacidade de fornecer comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia em IoT. Todas estas tecnologias apresentadas tem seus recursos e conceitos únicos a serem explorados para atender às necessidades individuais de cada projeto de IoT.

4 METODOLOGIA

Este capítulo visa abordar as fases e os processos que serão utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

4.1 Identificação do problema

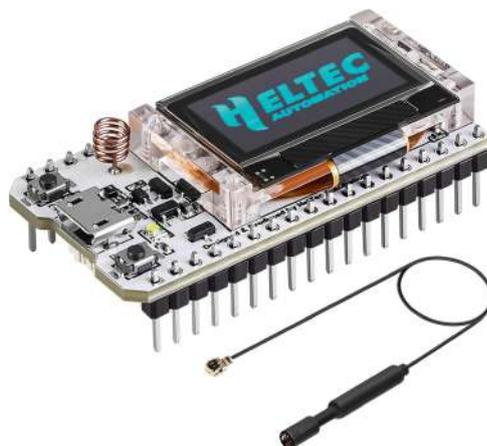
O problema identificado é a crescente preocupação com a segurança residencial, evidenciada pelo aumento da criminalidade e o número alarmante de casos de furtos e roubos em residências.

Diante do problema identificado e da necessidade de soluções avançadas de monitoramento residencial, a utilização da tecnologia LoRa para criar um sistema de monitoramento residencial inteligente e eficiente se mostra uma abordagem relevante e oportuna. O objetivo deste estudo é contribuir para o avanço do setor de monitoramento residencial, fornecendo uma solução inovadora e eficaz para lidar com o aumento dos casos de furtos e roubos em residências. O uso da tecnologia LoRa e a implementação de um sistema de monitoramento residencial abrangente têm o potencial de oferecer informações que transmitam tranquilidade aos proprietários, demonstrando a eficiência dessa tecnologia na proteção de residências.

4.2 Seleção de Materiais

A seleção de materiais para a implementação do sistema de monitoramento residencial envolveu a escolha cuidadosa de componentes e dispositivos que atendessem aos requisitos de desempenho, eficiência e confiabilidade. Assim, O ESP32 LoRa V3 SX1262 foi escolhido como componente principal do sistema de monitoramento. Esta placa, mostrada na figura 10, é baseada no microcontrolador ESP32 e possui um transceptor LoRa SX1262, permitindo comunicação sem fio de longo alcance com baixo consumo de energia.

Figura 10 – ESP32 LoRa V3 SX1262



Fonte: O autor

Além disso, outro componente selecionado é o sensor PIR, os sensores PIR (Passive Infrared), mostrado na figura 11, são utilizados para detectar o movimento de pessoas ou objetos no ambiente. Ele consiste em uma lente que capta a luz infravermelha emitida pelo corpo humano, e quando ocorre o movimento, o sensor produz um sinal de saída que é enviado para o ESP32 LoRa V3 SX1262.

Figura 11 – Sensor PIR hc-sr501



Fonte: O autor

4.3 Seleção das tecnologias

Várias tecnologias serão utilizadas no desenvolvimento do projeto. A seleção das tecnologias para o desenvolvimento do sistema de monitoramento residencial envolveu a escolha de software e plataformas que suportassem os requisitos e funcionalidades necessárias.

Figura 12 – Tecnologias escolhidas



Fonte: O autor

Dentre as tecnologias que serão utilizadas pode-se citar:

- Linguagem de programação: C++ é uma linguagem de programação de alto nível e de propósito geral. Ela foi desenvolvida como uma extensão da linguagem C, incorporando recursos adicionais, como suporte à programação orientada a objetos. Ela oferece recursos avançados, como herança, polimorfismo, sobrecarga de operadores e manipulação direta de memória. E foi a linguagem de programação utilizada para programar os Esp32 do no projeto.(COMMUNITY, 2023).
- Arduino IDE: Arduino IDE é o ambiente de desenvolvimento utilizado para programar todas as placas da categoria Arduino. Vamos começar pela decomposição dessas palavras. IDE é uma abreviação do termo em inglês, Integrated Development Environment, que em português significa Ambiente de Desenvolvimento Integrado. Foi a IDE utilizada para toda programação do projeto(BARRETO, 2023).
- Telegram: Telegram Messenger é um programa de envio e recebimento de mensagens instantâneas criado em 2013, em linguagem C++. O serviço tem versão móvel, para desktop e também exclusiva para navegadores web. A segurança é o destaque do serviço, que promete conversas com criptografia de ponta a ponta, além de funções capazes de criar chats secretos – em que é possível enviar mensagens autodestrutivas. Além disso, o Telegram tem um sistema de bots, robôs que podem ser ativados pelo usuário para executar tarefas como acesso à previsão do tempo, busca por imagens, rastreamento de encomendas e etc. E o Telegram será o aplicativo que receberá notificações neste projeto(DIAS, 2019).

4.3.1 Protocolo HTTPS

O HTTPS, ou Hypertext Transfer Protocol Secure, é uma evolução do HTTP (Hypertext Transfer Protocol) projetada para reforçar a segurança nas transmissões de dados pela internet. Funciona através do uso de criptografia, geralmente implementada por meio do SSL (Secure Sockets Layer) ou seu sucessor moderno, o TLS (Transport Layer Security)(CLOUDFLARE, 2022).

Quando um usuário se conecta a um site via HTTPS, ocorre um processo de "handshake" entre o navegador e o servidor. Durante esse procedimento, eles concordam sobre os parâmetros de criptografia para a sessão. Os dados transmitidos são então criptografados, garantindo confidencialidade e dificultando a decifração sem a chave adequada(CLOUDFLARE, 2022).

Essa segurança é reforçada pelo uso de certificados digitais SSL/TLS, apresentados pelo servidor e verificados pelo navegador para assegurar a autenticidade e validade. O HTTPS protege contra ataques de interceptação, como Man-in-the-Middle, proporcionando uma camada adicional de segurança na comunicação. Além de garantir a confidencialidade dos dados, o HTTPS também assegura a integridade das informações, impedindo alterações durante a transmissão sem detecção. Todas as solicitações e respostas, incluindo dados de formulários e conteúdo do servidor, são protegidas por esse protocolo(CLOUDFLARE, 2022).

4.3.2 API bot do telegram

A API de Bot do Telegram é uma interface de programação de aplicativos que possibilita o desenvolvimento e interação de bots no aplicativo de mensagens Telegram. Ao utilizar esta API, os desenvolvedores podem criar bots personalizados com diversas funcionalidades. Esses bots são contas especiais que não requerem um número de telefone e podem executar automações, interagir com usuários e oferecer serviços específicos(CANALTECH,).

A API de Bot do Telegram é uma interface de programação de aplicativos que possibilita o desenvolvimento e interação de bots no aplicativo de mensagens Telegram. Ao utilizar esta API, os desenvolvedores podem criar bots personalizados com diversas funcionalidades. Esses bots são contas especiais que não requerem um número de telefone e podem executar automações, interagir com usuários e oferecer serviços específicos (CANALTECH,).

Em resumo, a API de Bot do Telegram oferece uma plataforma robusta e flexível para o desenvolvimento de bots interativos e personalizados, promovendo uma variedade de usos, desde automação de tarefas até interações avançadas com os usuários no ambiente

do Telegram.

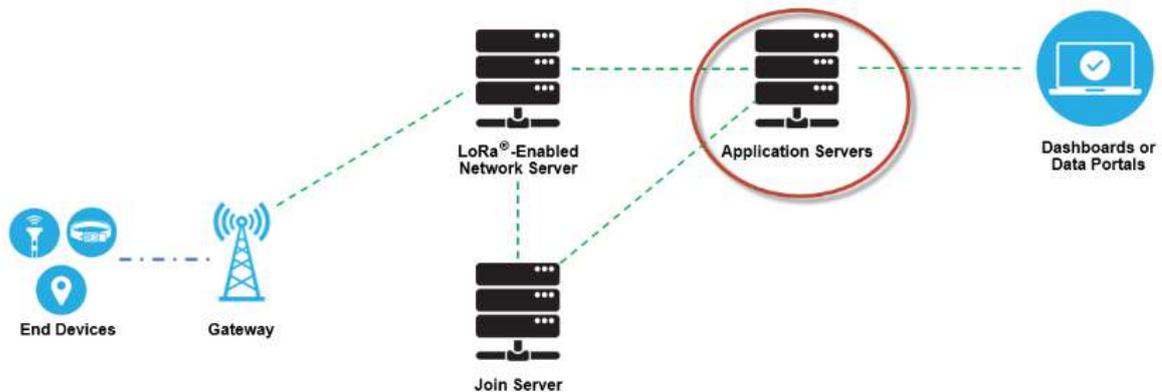
Além destes, algumas tecnologias secundárias serão utilizadas como bibliotecas para utilização do ESP32 e suas funções como comunicação por LoRa e por wifi além do barramento serial.

Em resumo, a escolha das tecnologias e ferramentas utilizadas neste trabalho levou em consideração as dificuldades de implementação deste projeto, assim, a utilização de tecnologias e ferramentas que facilitem a produção do aplicativo e a comunicação entre os componentes do projeto.

4.4 Integração das Tecnologias e Topologia do Projeto

Os servidores de aplicativos são responsáveis por manipular, gerenciar e interpretar com segurança os dados de aplicativos de sensores. Eles também geram todas as cargas de downlink da camada de aplicação para os dispositivos finais conectados. Assim como observado na figura 13.

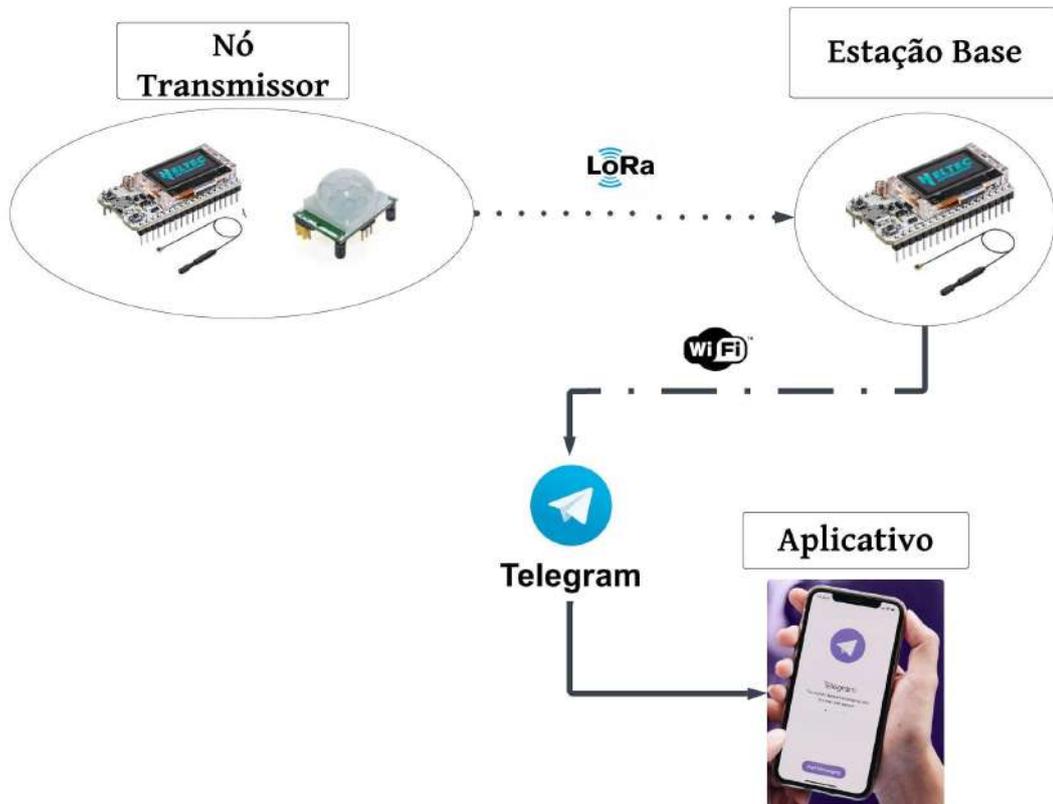
Figura 13 – Servidor de aplicativos LoRaWAN em uma implantação típica de rede LoRaWAN



Fonte: (SEMTECH, 2016)

Dessa maneira, a topologia do hardware pode ser observada na figura 14:

Figura 14 – Topologia do Projeto



Fonte: O autor

Nesta topologia, os dois ESP32 desempenham funções de transmissor e receptor, sendo que o ESP32 receptor também atua como estação base. No processo, o ESP32 transmissor recebe dados do sensor através do barramento serial, realiza o processamento dessas informações e, em seguida, envia os dados tratados para o ESP32 estação base. Com os dados do sensor em mãos, a estação base (ESP32 receptor) estabelece conexão com uma rede Wi-Fi de preferência do usuário. Através da internet, os dados do sensor são enviados para o servidor web do Telegram utilizando o protocolo HTTPS e a API do Telegram.

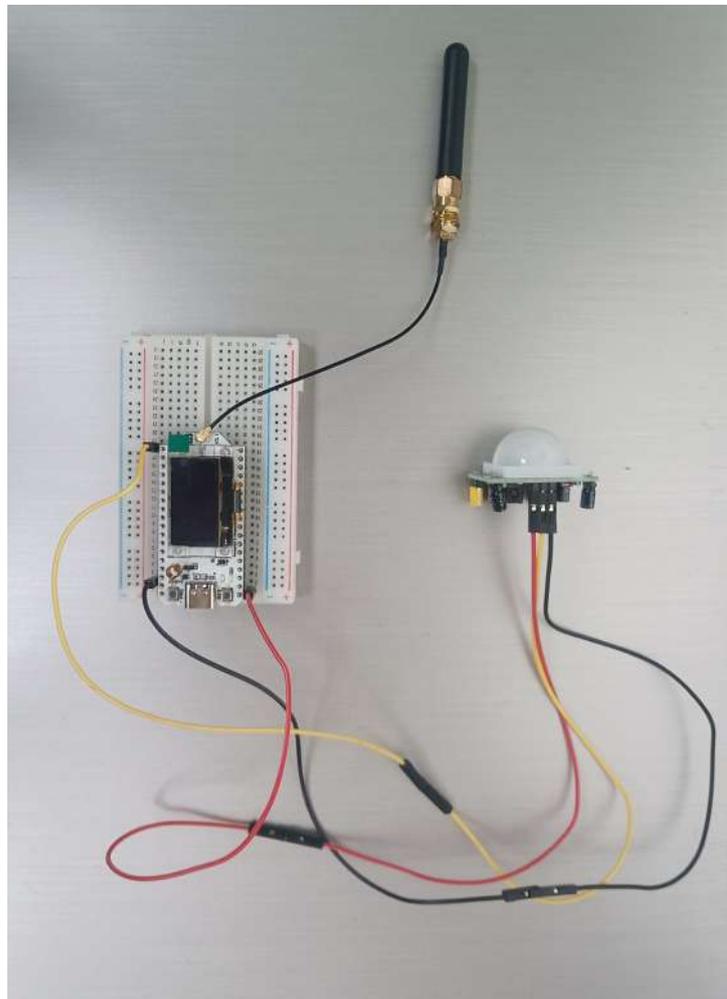
Após esse envio, o usuário recebe notificações na aplicação móvel do Telegram. Em resumo, o processo de seleção do hardware foi guiado pelo baixo custo de implementação dos componentes e pelas especificações de comunicação do projeto, que incorpora o uso eficiente do protocolo HTTP e da API do Telegram para a transmissão e recebimento de dados.

4.5 Desenvolvimento do Projeto

Para atender aos requisitos do sistema, a escolha central recaiu sobre o ESP32 LoRa V3 SX1262. Esta placa, integrando o microcontrolador ESP32 e o transceptor LoRa SX1262, proporcionou comunicação sem fio de longo alcance com baixo consumo de energia. Além disso, foram incorporados sensores PIR (Infravermelho Passivo) para detectar movimentos no ambiente, fornecendo informações cruciais para a identificação de possíveis intrusos.

Então para o desenvolvimento deste projeto foi montado o circuito de senso-reamento utilizando o Esp32 transmissor, o Sensor PIR hc-sr501, cabos jumpers e um protoboard, assim como na figura 15.

Figura 15 – Circuito transmissor



Fonte: O autor

O sensor HC-SR501 possui três pinos: VCC, GND e OUT. Portanto, para conectar o sensor de movimento HC-SR501 ao Heltec WiFi LoRa 32 V3, foi conectado o pino VCC do sensor ao pino 3.3V do Heltec WiFi LoRa 32 V3, o cabo preto no circuito da figura 15

refere-se a essa conexão. Além disso, foi conectado o GND do sensor ao GND do Heltec WiFi LoRa 32 V3, o cabo vermelho do circuito representa esta conexão. E por fim, o cabo amarelo do circuito se refere a conexão do pino OUT do sensor ao pino digital 7 do Heltec WiFi LoRa 32 V3.

Após a montagem do circuito de acordo com as necessidades do projeto, este Esp32 foi programado como transmissor de dados. E o código desenvolvido para este microcontrolador pode ser visto no código 4.1. Assim, a configuração utilizada no Heltec WiFi LoRa 32 V3 transmissor pode ser detalhada a seguir. Então, a frequência utilizada foi de 915 MHz, que é o padrão da América do Sul. A potência de transmissão foi de 5 dBm, assim como outras configurações que foram determinadas a partir dos padrões de fábrica do Heltec WiFi LoRa 32 V3.

Listing 4.1 – Código Transmissor

```
#include "LoRaWan_APP.h"
#include "Arduino.h"

#define RF_FREQUENCY          915000000 // Hz
#define TX_OUTPUT_POWER      5          // dBm
#define LORA_BANDWIDTH       0          // 125 kHz
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7          // SF7
#define LORA_CODINGRATE      1          // 4/5
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8
#define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false
#define LORA_IQ_INVERSION_ON  false

#define RX_TIMEOUT_VALUE     1000
#define BUFFER_SIZE          30
```

Após estas configurações iniciais, o pino out do sensor foi configurado pino digital 7 do Heltec WiFi LoRa 32 V3, como mostrado no código 4.2. Depois disto, inializa-se a comunicação LoRa, com os parâmetros definidos anteriormente e inicializa também o pino em que o sensor está conectado. Assim, a leitura do sensor é feita em loop, os dados lidos pelo sensor são armazenados na variável "txpacket", está váriavel é o pacote que será transmitido via LoRa para a estação base, que é o segundo Heltec WiFi LoRa 32 V3. Ademais, o transmissor está configurado para enviar pacotes LoRa diferentes a cada 5 segundos.

Listing 4.2 – Código Transmissor

```

// Define o pino que o sensor esta conectado
const int pirSensorPin = 7; // sensor esta conectado ao
    pino 7

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

    ...

    // Inicializa o pino do sensor como entrada
    pinMode(pirSensorPin, INPUT);
}

void loop() {
    if (lora_idle == true) {
        delay(5000);
        txNumber += 0.01;

        // Leitura do sensor
        int sensorValue = digitalRead(pirSensorPin);

        // Coloca os dados do sensor na variavel txpacket
        sprintf(txpacket, "Sensor_value: %d, Hello_world_
            number %0.2f", sensorValue, txNumber);

        Serial.printf("\r\nsending_packet \"%s\" \r\n", txpacket, strlen(txpacket));
        Radio.Send((uint8_t *)txpacket, strlen(txpacket));
        ;
        lora_idle = false;
    }
    Radio.IrqProcess();
}

void OnTxDone(void) {
    Serial.println("TX done.....");
    lora_idle = true;
}

```

Após, temos a configuração do Heltec WiFi LoRa 32 V3 receptor, que funcionará como estação base. As configurações dos parâmetros iniciais do módulo LoRa são iguais as do primeiro Heltec WiFi LoRa 32 V3 (transmissor), para que a comunicação entre os dois dispositivos funcione corretamente, exceto que a potência do receptor é de 14 dBm, valor padrão do componente. Assim, os diferenciais no código da estação base são as configurações da conexão wi-fi, a conexão com o servidor do telegram. Então, no código 4.3 são configuradas as variáveis usadas para conexão wi-fi e também o token para configuração de um bot de telegram para receber notificações do sistema. Além disso, o transmissor está configurado para procurar pacotes na conexão LoRa a cada segundo.

Listing 4.3 – Código da Estação Base

```
// Configuracoes Wi-Fi
const char *ssid = "*****";
const char *password = "*****";

// Configuracoes do bot do Telegram
String BOT_TOKEN = "*****:*****";
String CHAT_ID = "*****";
```

Logo após se conectar via LoRa e Via wi-fi e receber o pacote LoRa, o código verifica se o valor do sensor é HIGH ou LOW, como visto no código 4.4, e assim determina se foi captado algum movimento suspeito na área de sensoriamento. Então, se o valor do sensor for HIGH o código envia uma notificação para o dispositivo móvel do usuário através do servidor do aplicativo móvel telegram, onde através de um bot o usuário receberá uma mensagem alertando sobre um possível movimento suspeito perto a área do sensor.

Listing 4.4 – Código da Estação Base

```

// Extraindo as informacoes do sensor da string recebida
int sensorValue;
if (sscanf(rxpacket, "Sensor_value:_%d", &sensorValue
) == 1) {
    Serial.printf("Sensor_value:_%d\r\n", sensorValue
);

    // Verifica se o sensor detectou movimento
    if (sensorValue == 1) {
        sendTelegramMessage("Movimento_detectado!");
    }
} else {
    Serial.println("Failed_to_extract_sensor_value_
from_the_received_packet.");
}

lora_idle = true;
}

// Funcao para enviar uma mensagem para o Telegram
void sendTelegramMessage(const char *message) {
    UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN);
    bot.sendMessage(CHAT_ID, message, "");
}

```

4.6 Custos de Implementação

A seção de Custos de Implementação tem como objetivo apresentar uma análise dos gastos associados à construção e desenvolvimento do projeto em questão. A Tabela 1 fornece uma visão abrangente dos custos envolvidos na implementação do sistema proposto.

A tabela é composta por dois elementos principais: "Item" e "Preço em Reais". Cada linha representa um componente específico necessário para a implementação do projeto, acompanhado pelo custo correspondente em moeda nacional (Reais).

Sendo assim, os componentes são:

- Heltec Esp32 LoRa (v3): O projeto requer duas unidades do módulo Heltec Esp32

Item	Preço em Reais
2x Heltec Esp32 LoRa (v3)	230,90
1x Sensor de Presença PIR - HC-SR501	9,90
Cabos Jumpers	20,00
Protoboard	9,90
Total	270,7

Tabela 1 – Custo dos componentes

LoRa (v3), que desempenham um papel crucial na comunicação de longo alcance. O custo total para a aquisição desses componentes é de 230,90 reais.

- Sensor de Presença PIR - HC-SR501: O sensor de presença PIR, modelo HC-SR501, é fundamental para a detecção de movimento no ambiente. Um único sensor foi adquirido ao custo de 9,90 reais.
- Cabos Jumpers: A utilização de cabos jumpers é essencial para a conexão eficiente entre os diferentes componentes do sistema. O investimento em cabos jumpers totalizou 20,00 reais.
- Protoboard: A protoboard é uma plataforma de teste essencial para a montagem e conexão temporária dos componentes eletrônicos. O custo associado à aquisição da protoboard é de 9,90 reais.

Ao somar os custos individuais de cada item, obtém-se o total de custos de implementação, que é de 270,70 reais. Este valor representa o montante necessário para adquirir todos os componentes essenciais para a implementação do projeto proposto.

Sendo assim, o custo da implementação deste projeto se mostra menor que alguns sistemas de monitoramento já presentes no mercado e que funcionam com tecnologias de baixo alcance como o wifi, ou ainda em redes cabeadas como o modelo ANM 24 Net da intelbras que custa aproximadamente 595 reais (INTELBRAS, 2023), então, o modelo que utiliza LoRa tem certa vantagem na comparação preço e alcance de redes sem fio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Introdução aos Resultados

O projeto foi dividido em dois hardwares: sensor/transmissor e estação base, onde a estação base pode estar localizada em qualquer parte da propriedade que tenha conexão com a rede wifi. Já o transmissor, está localizado no interior da casa, na porta de entrada da propriedade escolhida para eventuais testes, a uma altura de 1,20 metros do chão, que é a altura onde está localizada a tomada elétrica mais próxima, pois apesar do protótipo não utilizar a rede elétrica, baterias portáteis poderiam estar conectadas a rede elétrica e estariam alimentando o transmissor via USB-C. Assim, o transmissor pode ser visto na figura 16.

Figura 16 – Esp32 Transmissor



Fonte: O autor

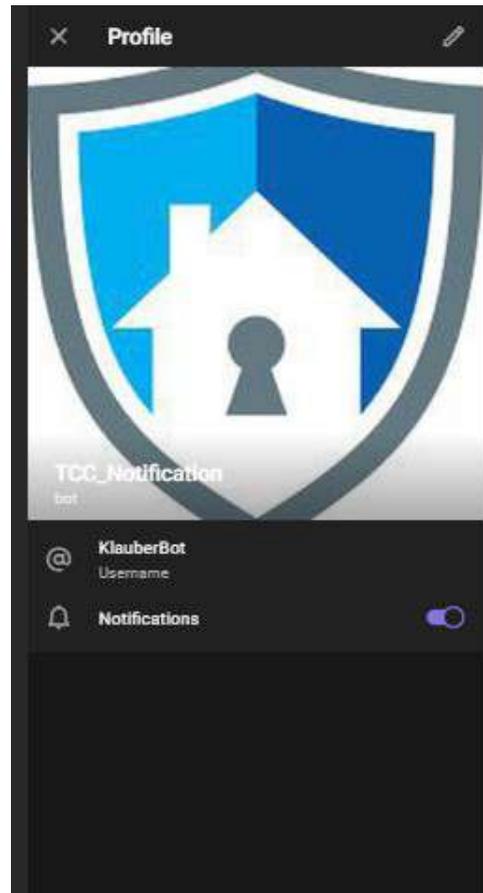
5.2 Detecção de Movimentos

Como visto na seleção de materiais, o sensor utilizado no projeto foi o Sensor de Presença PIR HC-SR50, que pode ser visto na figura 16. A característica crucial para o funcionamento correto do projeto foi a capacidade de regulagem do sensor, onde há duas possibilidades de regulagem, o tempo em nível HIGH, e a distância máxima de leitura do sensor. Assim, neste projeto o tempo em nível HIGH implementado foi de 5 segundos, assim, se o sensor captar movimento em 2 leituras seguidas representa que há 10 segundos de movimentos suspeitos. E quanto a distância de captação, o projeto foi implementado com a distância de captação de 3 metros, que além de ser a distância mínima, demonstrou atender o interior de propriedades de médio porte de maneira eficiente. Além disso, a altura de fixação do sensor foi de 1.60 metros e com ângulo de 0° afim de evitar captação de animais de estimação ou crianças.

5.3 Integração com o Telegram

Para receber as notificações no aplicativo móvel do telegram foi criado um bot, mostrado na figura 17, que recebe as informações que foram enviadas do Esp32 para o servidor do telegram e as reenviaria em um grupo, o bot poderia enviar uma notificação de alerta para todos os moradores de uma propriedade de uma só vez e em tempo real, seja propriedade rural, urbana, de pequeno porte ou prédio. A comunicação entre o Esp32 e este bot do telegram é feita a partir do referenciamento de um token no código da estação base, este token é obtido ao realizar processo de criação do bot através do próprio aplicativo móvel do telegram.

Figura 17 – Bot para o app Telegram



Fonte: O autor

Logo, o bot envia alertas e notificações através de um grupo, este grupo funciona como na figura 18.

Figura 18 – Grupo de Notificações



Fonte: O autor

5.4 Limitações e Desafios Encontrados

Durante a realização do projeto houveram alguns desafios, grande parte deles na área de programação, pois a placa Heltec WiFi LoRa 32 V3, que foi utilizada como módulo principal do projeto, apesar de ser o microcontrolador mais tecnológico na área da comunicação LoRa, não recebe suporte da sua fabricante. Com isso, grande parte das bibliotecas, pinagens e até códigos de testes de fábrica estão ultrapassados e não funcionam na placa Heltec WiFi LoRa 32 V3. Grande parte dos códigos utilizados neste projeto são refatorados de projetos independentes ou criados de forma autoral. Além disso, a própria fabricante não oferece suporte a placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 dentro do Arduino IDE, sendo preciso configurar a placa através de projetos de código aberto dentro da IDE.

5.5 Considerações sobre a Segurança

A tecnologia LoRa é conhecida por oferecer uma comunicação sem fio de longo alcance com baixo consumo de energia. Porém, ao implementar essa tecnologia em algum projeto, é de suma importância considerar medidas de segurança para proteger a integridade e a privacidade dos dados transmitidos, para isso, a tecnologia LoRa utiliza criptografia para garantir a confidencialidade das informações durante a transmissão, impedindo acessos não autorizados.

O Telegram, utilizado como aplicativo de notificação no sistema, é reconhecido por seus recursos avançados de segurança. A comunicação no Telegram é criptografada de ponta a ponta, proporcionando um ambiente seguro para a troca de mensagens. Sendo assim, a combinação da segurança da tecnologia LoRa com as características robustas do Telegram contribui para um ambiente de monitoramento resiliente e confiável.

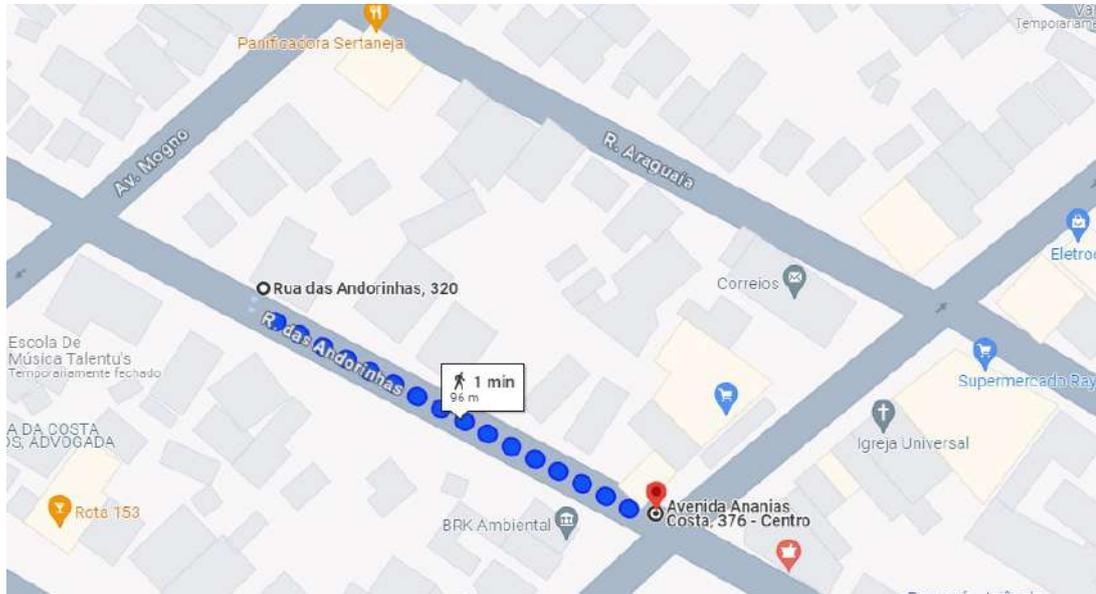
5.6 Testes e validação

A fase de testes e validação desempenha um papel crítico na avaliação do sistema de monitoramento residencial desenvolvido com base na tecnologia LoRa. Sendo assim, os testes foram conduzidos em várias etapas do desenvolvimento, começando com verificações unitárias dos componentes individuais do sistema. O ESP32 LoRa V3 SX1262, como componente central, passou por testes de comunicação LoRa para garantir a integridade da troca de dados com eficiência energética. Da mesma forma, os sensores PIR foram submetidos a testes rigorosos para avaliar sua capacidade de detectar movimentos com precisão. Logo, testes de alcance foram realizados para avaliar a eficácia da tecnologia LoRa em transmitir dados em distâncias consideráveis, simulando condições do mundo real. Isso incluiu a análise do desempenho em ambientes com obstáculos, considerando possíveis interferências e limitações de alcance. Nos testes de alcance o principal parâmetro foi o RSSI. A sigla RSSI (Received Signal Strength Indication) é chamada no Brasil de “indicador de intensidade do sinal recebido“, e é um tipo de métrica que analisa a qualidade e potência do sinal de conexão recebido por um determinado aparelho, considerando possíveis perdas, seja de antena ou cabo. Quanto maior for o valor do RSSI, maior e melhor será a intensidade do sinal recebido. Muitas vezes ele pode ser medido usando números negativos, e nesses casos, quanto mais perto do zero, significa que melhor é o sinal. Por exemplo, -30 dBm é um sinal de qualidade, -50 dBm é considerado razoável e -80 dBm representa um sinal péssimo ou a ausência de sinal. Esse valor do RSSI pode ser observado no receptor, facilitando identificar qual a qualidade do sinal recebido especificamente nesse destino(ANLIX, 2022).

Sendo assim, o primeiro teste feito foi um teste de funcionamento básico, onde o transmissor foi posicionado a 1.2 metros de altura do chão enquanto o receptor, posicionado

também a 1.2 metros de altura, a distância foi variada de aproximadamente de 16 m. O percurso total é mostrado na figura 19.

Figura 19 – Percurso do teste



Fonte: O autor

Os valores medidos foram de RSSI do sinal LoRa. Na Tabela 2, tais valores são mostrados para cada distância medida.

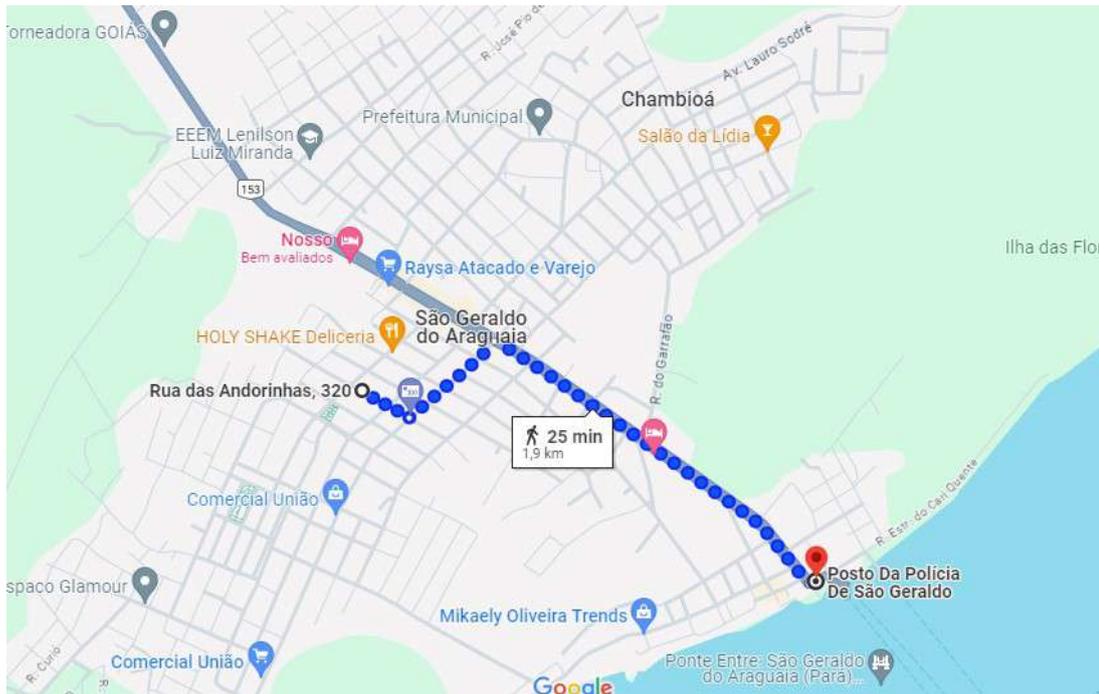
Tabela 2 – Tabela de Distância e RSSI

Distância (m)	RSSI (dBm)
0	-11
16	-54
32	-70
48	-78
64	-83
80	-89
96	-94

Logo após, foi feito o teste de distância máxima de recebimento de pacotes LoRa, o transmissor foi alocado em cima da propriedade usada para testes, aproximadamente 10 metros de altura, assim o teste foi obter a distância máxima da propriedade com um valor RSSI abaixo de -110 dBm, um valor considerado baixo em comunicações sem fio (ANLIX, 2022).

Sendo assim, o mapa que mostra a distância máxima obtida nos testes de alcance pode ser observado na figura 20.

Figura 20 – Distância Máxima do LoRa



Fonte: O autor

Os testes foram feitos na cidade de São Geraldo do Araguaia como mostrado nas figuras 19 e 20, e segundo os testes, o sistema montado neste projeto consegue suprir aproximadamente toda a área urbana da cidade, mostrando o poder da tecnologia LoRa.

Além dos testes mencionados, foram realizados testes de notificação, conforme mostrado na figura 18. No momento em que o transmissor é conectado a uma fonte de energia, ele começa a enviar pacotes LoRa com os dados do sensor. Da mesma forma, o receptor, ao ser conectado a uma fonte de energia, passa a receber os pacotes LoRa e a processá-los conforme descrito anteriormente. Assim, nos testes de notificação, o aplicativo móvel so telegram recebeu mensagens a cada 5 segundos, os atrasos no recebimento de mensagens é inferior a 1 segundo, tornando imperceptível estes atrasos.

Sendo assim, a fase de testes e validação foi essencial para a consolidação da eficiência e confiabilidade do sistema de monitoramento residencial baseado em tecnologia LoRa. Desde verificações unitárias até testes de alcance, os resultados demonstraram a capacidade do sistema em detectar movimentos com precisão, assegurar uma comunicação LoRa eficaz e superar desafios de alcance.

6 CONCLUSÃO

Ao longo desta pesquisa, foi feita uma análise abrangente e prática, projetando o desenvolvimento de um sistema de monitoramento residencial inovador, empregando a tecnologia LoRa como pilar fundamental. O objetivo primordial foi criar uma solução inteligente e eficiente, visando estabelecer padrões elevados de segurança e confiabilidade no contexto do monitoramento residencial.

O projeto foi iniciado, explorando os fundamentos teóricos envolvendo a Internet das Coisas (IoT) e, mais especificamente, a tecnologia LoRa. Com uma compreensão sólida de suas características distintivas e vantagens aplicáveis ao monitoramento residencial, foi construído uma base conceitual que norteou todo o desenvolvimento deste projeto.

O projeto englobou desde a seleção criteriosa de materiais até a escolha das tecnologias incorporadas. O microcontrolador ESP32 LoRa V3 SX1262 emergiu como peça central, destacando-se por viabilizar uma comunicação sem fio de longo alcance com consumo energético otimizado. O sensor PIR (Passive Infrared Sensor), adotado para detecção, revelou-se como uma escolha acertada, demonstrando eficácia na identificação de movimentos no ambiente residencial.

Ressalta-se a contribuição deste trabalho para a demonstração da tecnologia LoRa como uma escolha de destaque para sistemas de monitoramento residencial. O sistema modelado exibe uma notável versatilidade, sendo adaptável a diversas configurações residenciais. Este trabalho não apenas reforça a viabilidade técnica e eficácia da tecnologia LoRa em contextos práticos, mas também destaca sua aplicabilidade real, proporcionando aos usuários uma camada adicional de confiança e tranquilidade.

Por fim, a implementação bem-sucedida deste projeto oferece uma perspectiva otimista sobre o futuro do monitoramento residencial, apontando para direções promissoras na integração de tecnologias avançadas para garantir a confiança e paz dos usuários.

REFERÊNCIAS

- ANLIX. **SNR e RSSI: tudo o que você precisa saber sobre.** 2022. Disponível em: <[https://anlix.io/rssi-e-snr-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre/#:~:text=A%20sigla%20RSSI%20\(Received%20Signal,seja%20de%20antena%20ou%20cabo.](https://anlix.io/rssi-e-snr-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre/#:~:text=A%20sigla%20RSSI%20(Received%20Signal,seja%20de%20antena%20ou%20cabo.)>
- BABIUCH, J. P. M. **Smart Home Monitoring System Using ESP32 Microcontrollers.** 1. ed. [S.l.]: Intechopen, 2020.
- BARRETO, A. **Arduino IDE: o que é e como instalar?** 2023. Disponível em: <<https://victorvision.com.br/blog/arduino-ide/#:~:text=O%20que%20Ãr%20Arduino%20IDE,significa%20Ambiente%20de%20Desenvolvimento%20Integrado.>>
- CANALTECH. **O que o Telegram quer dizer quando fala que tem uma "API aberta"?** Disponível em: <<https://canaltech.com.br/apps/o-que-o-telegram-quer-dizer-quando-fala-que-tem-uma-api-aberta-224125/>>.
- CASTELLS, M. **A Galáxia Internet: reflexões sobre a internet, negócios e a sociedade.** Jorge Zahar Editor Ltda, 2003. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=S2qCCwAAQBAJ>>.
- CENTENARO LORENZO VANGELISTA, A. Z. M.; ZORZI, M. Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the iot and smart city scenarios. **IEEE Wireless Communications**, 2016.
- CLOUDFLARE. **O que é HTTPS?** 2022. Disponível em: <<https://www.cloudflare.com/pt-br/learning/ssl/what-is-https/>>.
- COMMUNITY, D. **C++ , o que é e por que você precisa aprender essa linguagem.** 2023. Disponível em: <<https://www.dio.me/articles/c-o-que-e-e-por-que-voce-precisa-aprender-essa-linguagem>>.
- CONSULTIMER. **O que é LoRa? Conheça a tecnologia de radiofrequência de longo alcance.** 2020. Disponível em: <<https://consultimer.com/o-que-e-lora-conheca-a-tecnologia-de-radiofrequencia-de-longo-alcance/>>.
- DIAS, M. **O que é Telegram? Saiba tudo sobre o app russo que é rival do WhatsApp.** 2019. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/listas/2019/03/o-que-e-telegram-4-perguntas-e-respostas-sobre-o-rival-do-whatsapp.ghtml>>.
- DIGITAL, F. **O que é a Aliança LoRa e que benefícios ela pode trazer para a conectividade global?** 2020. Disponível em: <<https://digital.futurecom.com.br/o-futurecom/o-que-e-alianca-lora-e-que-beneficios-ela-pode-trazer-para-conectividade-global>>.
- DINIZ, P. D.; FRANÇA, A. C. C. Comparação entre soluções para realidade virtual: O caso do projeto fifica virtual.
- HELLOS SAFE. **Pará tem quase 100 mil residências assaltadas em 3 anos.** 2022. Disponível em: <<https://hellosafe.com.br/blog/assaltos-residencias-para>>.
- IKPEHAI A., A. B. R. K. M. A. K. A. R. E. H. M. . U. M. Low-power wide area network technologies for internet-of-things: A comparative review. **IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL**, 2018.

INTELBRAS. **larne Intelbras Anm24 Monitorado App Cel 2 Sensores.** 2023. Disponível em: https://www.nb41.store/MLB-2850330263-alarne-intelbras-anm24-monitorado-app-cel-2-sensores-JM?gclid=CjwKCAiA1fqrBhA1EiwAMU5m_yGjync28Dk_KLbf8hyFGm9AbWXxSJ9xVD7QhW5PxHXQCIHkhP1ExoCJs4QAvD_BwE.

INTELLIGENCE, M. **Internet of things moving towards a smarter -tomorrow market industry.** 2022. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/internet-of-things-moving-towards-a-smarter-tomorrow-market-industry>.

ISLAM, R. Lora and server-based home automation using the internet of things (iot). **Journal of King Saud University**, SAGE, p. 1–10, 2020.

LOGPYX. **LoRa: o que é essa solução para a conectividade das coisas.** 2020. Disponível em: <https://logpyx.com/blog/lora-solucao-para-conectividade-dascoisas/#:~:text=A%20palavra%20LoRa%20vem%20da,modula%20de%20espectro%20de%20espalhamento.>

LOPES, A. Análise estatística e modelagem empírica para campus densamente arborizado utilizando a tecnologia lora em 915 mhz. 2021.

MONTANINI, S. A home automation architecture based on lora technology and message queue telemetry transfer protocol. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, SAGE, v. 14, p. 1–12, 2018.

RAZA, P. K. U.; SOORIYABANDARA, M. Low power wide area networks: An overview. **IEEE Wireless Communications**, 2017.

SEMTECH. **What are LoRa® and LoRaWAN®?** 2016. Disponível em: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>.

SHERIF, O. A lora-driven home security system for a residential community in a retirement township. **International Journal of Technology**, IJTech, p. 1–10, 2019.

WALKER RESENDE, G. S. G. Desenvolvimento de um sistema domótico de segurança e prevenção de acidente infantil com arduino. **Simpósio de Engenharia de Produção**, IJTech, p. 1–10, 2016.

WANG, A. **Comparação entre LoRa e outras tecnologias sem fio.** 2021. Disponível em: <https://www.mokolora.com/pt/lora-and-wireless-technologies/>.

WATTSON. **O que é a Internet das Coisas (IoT – Internet of Things)?** 2018. Disponível em: <https://www.wattson.pt/2018/03/09/o-que-e-a-internet-das-coisas-iot-internet-of-things/>.

Anexos

ANEXO A – LINK DO PROJETO

O link do Projeto, além de códigos base, pode ser encontrado em:

<https://github.com/Klauber0207/Heltec-Wifi-LoRa-32-v3->