



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**RONISON CALDAS CRUZ**

**SISTEMA DE NOTIFICAÇÃO UTILIZANDO LORA PARA  
MONITORAMENTO DE IMPRESSÃO DE PEDIDOS EM  
RESTAURANTES**

**Tucuruí  
2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**RONISON CALDAS CRUZ**

**SISTEMA DE NOTIFICAÇÃO UTILIZANDO LORA PARA  
MONITORAMENTO DE IMPRESSÃO DE PEDIDOS EM  
RESTAURANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Computação, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Marco José de Sousa

**Tucuruí  
2025**

Caldas Cruz, Ronison

SISTEMA DE NOTIFICAÇÃO UTILIZANDO LORA PARA MONITORAMENTO DE IMPRESSÃO DE PEDIDOS EM RESTAURANTES / RONISON CALDAS CRUZ.

– Tucuruí, 2025.

78 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marco José de Sousa

Monografia – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ

, 2025.

1. LoRa. 2. ESP32. 3. IoT. 4. monitoramento de impressão. 5. automação comercial. 6. alarme. I. Título.

**RONISON CALDAS CRUZ**

**SISTEMA DE NOTIFICAÇÃO UTILIZANDO LORA  
PARA MONITORAMENTO DE IMPRESSÃO DE  
PEDIDOS EM RESTAURANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Computação, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Data da Defesa: 29 de Março de 2025

Conceito: Excelente

**Banca Examinadora**

---

**Prof. Dr. Marco José de Sousa**  
Faculdade de Eng. Computação - UFPA  
Orientador

---

**Prof. Dr. Daniel da Conceição Pinheiro**  
Faculdade de Eng. Computação - UFPA  
Membro da Banca

---

**Prof. Dr. Renato Luz Cavalcante**  
Faculdade de Eng. Computação - UFPA  
Membro da Banca

Tucuruí  
2025

*Este trabalho é dedicado à minha mãe, minha rainha, pelo amor incondicional, pelo cuidado nos momentos mais difíceis e por sempre acreditar em mim. Sem você, este sonho não seria possível.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, a quem dedico tudo, especialmente por me conceder força, paz e sabedoria para superar cada etapa desta jornada, sendo meu alicerce nos momentos de desafio.

À minha mãe, pelo apoio e incentivo em todos os momentos. Sua dedicação e carinho foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu pai, que, um dia plantou em mim o sonho de ser engenheiro. Nem todo sonho se esgota no primeiro amanhecer — alguns apenas aguardam o tempo certo para florescer em novas histórias.

Ao meu professor e orientador, Dr. Marco José de Sousa, expresso minha profunda gratidão pelo compartilhamento de conhecimento, paciência e disponibilidade. Sem suas orientações, este trabalho não teria alcançado os mesmos resultados.

À minha esposa e companheira, que participou de todos os processos para a realização desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica e para a concretização deste estudo.

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo..”  
(Winston Churchill)*

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de notificação baseado na tecnologia *LoRa* (Long Range), projetado para monitorar o status de impressão de pedidos em restaurantes. A solução foi concebida para atender às demandas de uma empresa local e visa superar falhas de sistemas operacionais e limitações das redes tradicionais, como Wi-Fi e Ethernet, que podem ser instáveis em certos ambientes, não permitindo notificações corretas sobre o sucesso de impressões de pedidos. O sistema utiliza comunicação independente, garantindo confiabilidade e autonomia para notificações em tempo real. A metodologia aplicada incluiu uma revisão bibliográfica sobre LoRa e Internet das Coisas (IoT), além do desenvolvimento e teste de um protótipo funcional utilizando módulos LoRa SX1278 e microcontroladores ESP32. Os testes foram realizados em ambientes controlados e operacionais, demonstrando que o sistema é eficaz na comunicação de notificações das impressões de pedidos. Os resultados mostram que 100% dos dados enviados nos testes foram recebidos, confirmando que a tecnologia LoRa pode ser uma alternativa viável para aplicações de automação comercial, com potencial de expansão para outros setores que demandam comunicação remota confiável.

**Palavras-chave:** LoRa; IoT; ESP32; monitoramento de impressão; automação comercial; alarme.

## ABSTRACT

This work presents the development of a notification system based on LoRa (Long Range) technology, designed to monitor the printing status of orders in restaurants. The solution was created to meet the needs of a local company and aims to overcome failures in operating systems and limitations of traditional networks, such as Wi-Fi and Ethernet, which can be unstable in certain environments, preventing accurate notifications of successful order prints. The system uses independent communication, ensuring reliability and autonomy for real-time notifications. The applied methodology included a literature review on LoRa and the Internet of Things (IoT), as well as the development and testing of a functional prototype using LoRa SX1278 modules and ESP32 microcontrollers. Tests were conducted in both controlled and operational environments, demonstrating that the system is effective in communicating print notifications. The results show that 100% of the data sent during tests was received, confirming that LoRa technology is a viable alternative for commercial automation applications, with potential for expansion to other sectors requiring reliable remote communication.

**Keywords:** LoRa; IoT; ESP32; print monitoring; commercial automation; alarm.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa global da rede LoRa The Things Network (TTN) . . . . .	22
Figura 2 – Representação do Sinal Chirp Spread Spectrum (CSS) . . . . .	23
Figura 3 – Arquitetura LoRaWAN . . . . .	25
Figura 4 – Esquema de Comunicação LoRaWAN . . . . .	26
Figura 5 – Impressora térmica DARUMA DR800 . . . . .	33
Figura 6 – Conector RJ12 em Impressora Térmicas . . . . .	33
Figura 7 – Representação 3D do Ambiente Real - Visão Frontal . . . . .	40
Figura 8 – Representação 3D do Ambiente Real - Ambiente 3 . . . . .	41
Figura 9 – Representação 3D do Ambiente Real - Cozinha . . . . .	41
Figura 10 – Diagrama de Fluxo de Rede-Sistema de Pedido . . . . .	42
Figura 11 – Modelo idealizado . . . . .	42
Figura 12 – Diagrama de Atividade - Sistema de Notificação de Impressão . . . . .	43
Figura 13 – Idealização do Modelo - Transmissor . . . . .	43
Figura 14 – Idealização do Modelo - Receptor . . . . .	44
Figura 15 – Diagrama de Pinos RJ12 - Impressora Térmica . . . . .	45
Figura 16 – Diagrama de Pinos RJ12 - EPSON . . . . .	45
Figura 17 – Módulo optacoplador PC817 . . . . .	46
Figura 18 – Microcontrolador Esp32 - ESPRESSIF . . . . .	46
Figura 19 – Módulo LoRa Ra-01 SX1278 . . . . .	47
Figura 20 – Amplificador de som PA8403 . . . . .	48
Figura 21 – Display . . . . .	48
Figura 22 – Circuito retificador de meia-onda com filtro associado ao circuito do Optacoplador . . . . .	49
Figura 23 – Componentes Secundários . . . . .	49
Figura 24 – Diagrama de Blocos do Transmissor . . . . .	50
Figura 25 – Diagrama de Blocos do Receptor . . . . .	50
Figura 26 – Fluxograma Transmissor . . . . .	52
Figura 27 – Fluxograma Receptor . . . . .	53
Figura 28 – Montagem do circuito transmissor . . . . .	54
Figura 29 – Montagem do circuito Receptor . . . . .	54
Figura 30 – Exemplo de dados recebidos pelo receptor . . . . .	55
Figura 31 – Imagem da Recepção do Local . . . . .	56
Figura 32 – Computador de vendas sistema de notificação de impressão loRa . . . . .	56
Figura 33 – Transmissor conectado a impressora - cozinha 2º andar . . . . .	57
Figura 34 – Teste de distância máxima dentro do ambiente . . . . .	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre Tecnologias de Comunicação Sem Fio . . . . .	28
Tabela 2 – Comparação entre o Sistema de Notificação de Impressão e o Wireless Messaging System for Paralysis Patients . . . . .	36
Tabela 3 – Configuração do rádio LoRa para os testes . . . . .	55
Tabela 4 – Parâmetros de mensagens e qualidade do sinal do primeiro teste . . . . .	58
Tabela 5 – Parâmetros de mensagens e qualidade do sinal do segundo teste . . . . .	59
Tabela 6 – Parâmetros de mensagens e qualidade do sinal . . . . .	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks
AC	Corrente Alternada (Alternating Current)
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BLE	Bluetooth de Baixa Energia (Bluetooth Low Energy)
CSS	Espectro de Espalhamento Chirp (Chirp Spread Spectrum)
DAC	Conversor Digital-Analógico
DC	Corrente Contínua (Direct Current)
GND	Terra (Ground)
GPIO	Entrada e Saída de Uso Geral (General Purpose Input Output)
IPP	Protocolo de Impressão pela Internet (Internet Printing Protocol)
IoT	Internet das Coisas (Internet of Things)
LPD	Daemon de Impressão de Linha (Line Printer Daemon)
LoRa	Longo Alcance (Long Range)
LoRaWAN	Rede de Longo Alcance de Área Ampla (Long Range Wide Area Network)
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology)
NFC	Comunicação por Campo de Proximidade (Near Field Communication)
OSI	Interconexão de Sistemas Abertos (Open Systems Interconnection)
PCL	Linguagem de Comando para Impressoras Printer Command Language)
PIB	Produto Interno Bruto
RFID	Identificação por Radiofrequência
RJ12	Conector Registrado 12 (Registered Jack-12)
RSSI	Indicador de Intensidade do Sinal Recebido (Received Signal Strength Indicator)
RX	Recepção

SNR	Relação Sinal-Ruído (Signal-to-Noise Ratio)
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TTN	Rede The Things (The Things Network)
TX	Transmissão
UWB	Banda Ultrawide (Ultra Wideband)
VCC	Tensão de Alimentação Positiva (Voltage Common Collector)
VLC	Comunicação por Luz Visível
WAV	Formato de Áudio de Onda (Waveform Audio File Format)

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Problemática</b> . . . . .	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> . . . . .	<b>18</b>
1.3.1	Objetivo Geral . . . . .	18
1.3.2	Objetivos Específicos . . . . .	19
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>LoRa</b> . . . . .	<b>21</b>
2.1.1	Conceito . . . . .	21
2.1.2	História . . . . .	22
2.1.3	Aplicações . . . . .	22
2.1.4	Aspectos Técnicos - Modulação CSS (Chirp Spread Spectrum) . . . . .	23
2.1.5	Parâmetros Importantes . . . . .	23
2.1.6	Métricas de Qualidade do Sinal . . . . .	24
2.1.7	Frequências e Alcance . . . . .	24
2.1.8	LoRa e LoRaWAN . . . . .	24
2.1.9	Componentes da tecnologia <i>LoRa</i> . . . . .	25
2.1.10	Classe de Dispositivos . . . . .	25
2.1.11	Escalabilidade . . . . .	27
2.1.12	Comparação com outras tecnologias . . . . .	27
<b>2.2</b>	<b>Internet das Coisas</b> . . . . .	<b>30</b>
2.2.1	História . . . . .	30
2.2.2	Definições . . . . .	30
<b>2.3</b>	<b>IMPRESSORAS TÉRMICAS PARA PEDIDO</b> . . . . .	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b> . . . . .	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Sistema de Alerta Sonoro Sem Fio Aplicado a Zonas De Autosalvamento em Barragens.</b> . . . . .	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b>Sistemas de Chamada Hospitalar</b> . . . . .	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>Sistema de chamada para pessoa com limitação de movimentos</b> . . . . .	<b>35</b>
3.3.1	Aplicabilidade e Potencial de Expansão do Sistema de Notificação de Impressão . . . . .	36
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Restrições do Trabalho</b> . . . . .	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Requisitos do Sistema</b> . . . . .	<b>37</b>
4.2.1	Requisitos Funcionais . . . . .	37
4.2.2	Requisitos Não Funcionais . . . . .	38
4.2.3	Restrições de Projeto . . . . .	39

4.2.4	Regras de Negócio . . . . .	39
<b>4.3</b>	<b>Cenário . . . . .</b>	<b>40</b>
4.3.1	Funcionamento do Sistema de Vendas . . . . .	40
4.3.2	Fluxo de Pedidos . . . . .	42
4.3.3	Sistema Proposto . . . . .	42
<b>4.4</b>	<b>Desenvolvimento do Protótipo . . . . .</b>	<b>44</b>
4.4.1	Hardware . . . . .	44
4.4.1.1	Optacoplador . . . . .	45
4.4.1.2	ESP32 . . . . .	46
4.4.1.3	LoRa SX1278 Ra-01 433 . . . . .	47
4.4.1.4	PAM8403 . . . . .	47
4.4.1.5	Display . . . . .	47
4.4.1.6	Circuito retificador de meia-onda com filtro . . . . .	48
4.4.1.7	Componentes Secundários . . . . .	49
4.4.2	Software . . . . .	51
4.4.2.1	Lógica de Programação do sistema Transmissor . . . . .	51
4.4.2.2	Lógica de Programação do sistema Receptor . . . . .	51
4.4.2.3	Implementação da Campanha no transmissor . . . . .	51
4.4.3	Testes Realizados . . . . .	53
4.4.3.1	Primeiro teste - Ambiente Residencial . . . . .	54
4.4.3.2	Segundo teste - Restaurante . . . . .	55
4.4.3.3	Terceiro teste - Restaurante . . . . .	57
<b>5</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise do Primeiro Teste: Ambiente Residencial . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise do Segundo Teste: Ambiente Operacional no Restaurante . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise do Terceiro Teste: Distância Máxima no Restaurante . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>64</b>
	 <b>APÊNDICES . . . . .</b>	 <b>69</b>
	<b>APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO - TRANSMISSOR . . . . .</b>	<b>70</b>
	<b>APÊNDICE B – ESQUEMA ELÉTRICO - RECEPTOR . . . . .</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE C – CÓDIGO DO TRANSMISSOR . . . . .</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE D – CÓDIGO DO RECEPTOR . . . . .</b>	<b>76</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A relevância de oferecer soluções para o setor de alimentação decorre do papel expressivo que essa indústria desempenha na economia. De acordo com dados recentes da Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA, 2024), a indústria de alimentos e bebidas, em 2024, representa cerca de 10,7% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e é responsável pela geração de aproximadamente 2,0 milhões de empregos diretos e formais. No segmento de alimentação fora do lar, as vendas no mercado interno alcançaram, em 2023, cerca de R\$ 234,9 bilhões, demonstrando a robustez e a recuperação do setor após os impactos da pandemia da COVID-19. Esses indicadores evidenciam a importância estratégica do setor para a economia brasileira, tanto em termos de emprego quanto de contribuição para o PIB.

Paralelamente, a crescente demanda por soluções tecnológicas que melhorem a eficiência dos processos operacionais do setor gastronômico, tem impulsionado a busca por alternativas capazes de superar as limitações das redes de comunicação tradicionais. Com a pressão por agilidade, eficiência e redução de custos, muitas empresas passaram a adotar e até mesmo investir no desenvolvimento de dispositivos ligados à automação e à Internet das Coisas (*IoT*).

A adoção de tecnologias sem fio, incluindo *LoRa*, *Zigbee* e outras soluções voltadas para *IoT*, tem buscado simplificar a integração entre sistemas, reduzindo barreiras de compatibilidade que antes dificultavam essa conexão. Esse avanço busca proporcionar maior flexibilidade na criação de ambientes interconectados, adaptáveis às demandas modernas e capazes de evoluir conforme novas necessidades surgem.

Um exemplo claro de um setor que tem se beneficiado das tecnologias emergentes é o de Automação Comercial. Segundo a Celcoin (2023), automação comercial designam genericamente aquele conjunto de soluções - *hardware* e *softwares* combinados - que contribuem nas operações de vendas do comércio. Assim, o setor de automação comercial é responsável por oferecer ao varejo soluções inovadoras que otimizam a eficiência e impulsionam os resultados de suas operações de venda. À medida que as tecnologias sem fio transformam o setor de automação comercial, outras áreas também se beneficiam dessa evolução. Os avanços que permitem a comunicação eficiente entre sistemas e dispositivos abrem caminho para inovações em setores que, historicamente, dependiam de processos mais convencionais. Nesse contexto, o segmento de serviços de alimentação tem se destacado como um campo fértil para a aplicação dessas soluções. O setor de negócios de alimentação, ou serviços de alimentação (*food service*), pode ser definido como aquele que abrange todos os estabelecimentos que servem alimentos regularmente fora do ambiente doméstico (PAYNE-PALACIO; THEIS, 2015, p. 4; ABIA, 2020a).

De acordo com Mai e Spohn (2023) a utilização de *IoT* ainda não é tão comum em restaurante, mas é algo que está em crescimento, pois fornece uma variedade de recursos que podem ser aplicados em dificuldades encontradas. Tecnologias como *Zigbee*, *Z-Wave* e *Thread* podem ser empregadas para automação de ambientes, controle de luzes e temperatura, e

sistemas de segurança (MAI; SPOHN, 2023; TEEL, [s.d]). O *UWB (Ultra Wideband)* oferece localização precisa de dispositivos e pessoas dentro dos estabelecimentos (MITRA *et al.*, 2023, p. 1). Soluções de longo alcance, como *LoRa*, também estão conquistando espaço em aplicações que exigem conectividade em áreas extensas ou estruturas verticais, como prédios e galpões. Essa tecnologia é ideal em situações que redes tradicionais apresentam limitações técnicas ou econômicas, garantindo uma comunicação eficiente entre dispositivos distribuídos mesmo em condições adversas. Por essas características o *LoRa* tem ganhado destaque em soluções que envolvem o monitoramento de equipamentos em tempo real.

Nesse contexto o presente trabalho visa desenvolver um sistema de notificação para monitoramento de pedidos em estabelecimentos comerciais, baseado na tecnologia *LoRa*. A empresa que motivou a realização desse projeto é a empresa *Compuserve Ltda* (também conhecida como *Compuserve do Brasil*), uma empresa brasileira, fundada nos anos 2000, que desenvolve soluções de automação comercial, entre eles se destacam sistemas de vendas que atendem diversos setores, como restaurantes, lojas, supermercados, farmácias e estabelecimentos diversos que necessitam de sistemas para controle financeiro, controle de estoque e gerenciamento de vendas. A empresa solicitou a criação deste protótipo para aprimorar o monitoramento da impressão de pedidos nos restaurantes que utilizam seus sistemas de vendas, para não depender diretamente das notificações dos sistemas operacionais e da estrutura de redes tradicionais como *Ethernet* e *Wi-Fi*.

## 1.1 Problemática

A empresa identificou uma dificuldade comum entre novos clientes que contratam os sistemas para o setor de restaurantes, especialmente aqueles que estão no início de suas atividades ou estão em processo de migração de sistemas antigos, que já não atendem adequadamente às suas necessidades fiscais ou de gerenciamento de vendas.

Um dos principais problemas identificados refere-se à falha na comunicação e no monitoramento da impressão dos pedidos na cozinha dos restaurantes. Muitos dos sistemas operacionais usados por esse perfil de clientes são antigos e falhos, ou o modelo de impressora utilizada não possuem protocolos de comunicação adequados, como o *IPP (Internet Printing Protocol)*, o que dificulta a integração eficiente entre as diferentes áreas do estabelecimento, como o salão e a cozinha. Além disso, a infraestrutura de rede disponível nesses locais é, na maioria das vezes, inadequada, com conexões instáveis e equipamentos obsoletos, o que resulta em falhas na transmissão de dados e na impressão dos pedidos. Esse problema é agravado pelo fato de muitos dos restaurantes estarem localizados em prédios alugados, o que limita a capacidade de melhorar a infraestrutura interna de forma eficaz, já que as adaptações exigem custos e permissões dos proprietários dos imóveis.

## 1.2 Justificativa

No setor gastronômico, especialmente em restaurantes e lanchonetes, automatizar processos é importante para assegurar qualidade e agilidade no atendimento ao cliente. Em muitos estabelecimentos, a tecnologia é aplicada desde o registro do pedido pelo atendente, passando pelo recebimento do pedido na cozinha, até o fechamento da conta para que o cliente faça o pagamento (SANTOS, 2022). Nesse cenário, é comum que os pedidos sejam enviados diretamente do sistema de comandas para a cozinha através de impressoras térmicas conectadas a estruturas de rede.

Como abordado na seção 1.1, em ambiente não tão modernos, essa praticidade pode gerar problemas para os estabelecimentos (ALT, 2021). Isso ocorre porque muitas vezes, os atendentes não têm a informação de forma eficaz de que o pedido foi recebido pela equipe para preparar os pratos, principalmente quando o principal dispositivo a ser monitorado está localizado em um ambiente distante do local onde os pedidos são realizados, como é o caso da cozinha em um restaurante, por exemplo.

A falha no recebimento de um pedido pode trazer consequências negativas tanto para a satisfação dos clientes, seja pela demora ou pela qualidade dos pratos, quanto para a gestão do restaurante, que pode ter prejuízos financeiros e de reputação. Somado a isso, esses problemas afetam também os donos de sistemas de gerenciamento de vendas, que precisam de uma infraestrutura adequada dos estabelecimentos. Contudo, em algumas ocasiões devem se adaptar, uma vez que nem todos os estabelecimentos que desejam aderir ao serviço têm condições financeiras para investir em uma estrutura mínima de forma imediata, em muitos casos, dispendo apenas de um computador e uma impressora, em contrapartida os donos dos estabelecimentos desejam que todo o processo de pedidos esteja funcionando de forma eficiente, sem precisar de grandes investimentos imediatos.

É importante destacar que proprietários de estabelecimentos com menor familiaridade com tecnologia tendem a atribuir falhas aos sistemas de vendas, devido às impressões serem enviadas por meio deles, descartando a influência dos demais equipamentos no que diz respeito à eficiência no processo de gerenciamento de pedidos.

Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo de monitoramento da impressão de pedidos em restaurantes, utilizando a tecnologia *LoRa*. O dispositivo terá a funcionalidade de enviar notificações para o setor responsável pela realização dos pedidos, informando se a impressão foi bem-sucedida e justifica-se pela oportunidade de desenvolver uma ferramenta que integra tecnologias de comunicação utilizadas em diversas áreas para resolver problemas de eficiência operacional em setores comerciais. O foco principal é o monitoramento remoto de impressão, uma solução que visa melhorar a gestão de pedidos nos restaurantes que utilizam os sistemas de vendas da empresa *Compuserve*. A solução proposta permitirá que a equipe de atendimento tenha acesso imediato ao status da impressão dos pedidos. Isso garantirá

que, caso a impressão seja bem-sucedida, o colaborador possa ter a certeza de que o pedido do cliente será atendido sem imprevistos. Essa abordagem não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para uma experiência mais satisfatória para as empresas criando um ambiente de trabalho mais produtivo e organizado. Nesse contexto, a implementação de um sistema de notificação e monitoramento inteligente torna-se uma solução potencialmente eficaz para melhorar o processo de controle de impressão e gestão de pedidos em tempo real. O acompanhamento em tempo real e a capacidade de resposta imediata ao status de impressão ajudarão a reduzir atrasos e erros.

A escolha da tecnologia *LoRa* (*Long Range*) se justifica pela sua capacidade de comunicação de longo alcance, características essenciais para um sistema eficiente em ambientes dinâmicos, onde a comunicação precisa ser ágil e confiável, sem sobrecarregar a infraestrutura existente. Também há um interesse do autor em estudar o funcionamento dessa tecnologia que promete ser cada vez mais empregada na *IoT*, com aplicações para muito além do setor gastronômico.

Além da aplicação no ambiente de restaurantes, este trabalho se justifica pelo seu potencial de adaptação a outros contextos e setores que demandam monitoramento remoto de dispositivos. O sistema desenvolvido pode ser facilmente escalado para outras áreas, como segurança e saúde, que serão abordadas ao longo do desenvolvimento desse trabalho. A análise da adaptabilidade do sistema de notificação para diferentes contextos é uma das principais contribuições deste trabalho, permitindo a exploração de novas possibilidades para a aplicação da tecnologia *LoRa* em ambientes distintos.

Além disso, o estudo sobre tecnologias de comunicação como *LoRa* e sua integração com a *IoT* tem se mostrado relevante, considerando a crescente demanda por soluções de monitoramento e automação em ambientes industriais e comerciais. A pesquisa contribui com uma análise das vantagens e limitações da tecnologia *LoRa*.

A empresa *Compuserve*, a partir desse estudo, também visa criar outros produtos, entre eles, sistemas de campanhas mais simples para impressoras de pedidos, sensores de ocupação para criar filas virtuais e para o mapeamento das mesas, sistemas de chamada de garçom, sistema de mensagens rápidas para comunicação interna, que pretendem ser integrados futuramente aos seus sistemas de vendas.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de um sistema de notificação utilizando *LoRa* e *IoT* para o monitoramento em tempo real de atividades de impressão de pedidos em restaurantes que utilizam o sistema de vendas da empresa *Compuserve*.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar e avaliar a tecnologia de comunicação *LoRa* e suas aplicações no contexto de *IoT*.
- Analisar a adaptabilidade do sistema de notificação baseado em *LoRa* para diferentes contextos e necessidades além do ambiente de restaurantes.
- Definir uma arquitetura adequada para a comunicação eficiente e de longo alcance utilizando *LoRa* para o problema particular.
- Desenvolver um software e hardware que permita a transmissão de dados dos sensores para o microcontrolador via *LoRa* para o monitoramento de impressão.
- Realizar testes operacionais para validar o desempenho do sistema.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

O documento está organizado em seis capítulos principais, além das referências e apêndices.

No **Capítulo 1 – INTRODUÇÃO**, apresenta-se o contexto do problema, a justificativa para o estudo, os objetivos gerais e específicos, além de um panorama geral sobre a relevância da pesquisa e suas contribuições.

O **Capítulo 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** discute os conceitos essenciais para o entendimento do trabalho, abordando tecnologias como *LoRa*, suas aplicações na *Internet das Coisas (IoT)* e aspectos técnicos fundamentais das impressoras térmicas utilizadas no contexto do projeto.

No **Capítulo 3 – TRABALHOS RELACIONADOS** são apresentados estudos e soluções existentes que possuem princípios semelhantes ao proposto neste trabalho, destacando como conceitos similares têm sido aplicados em diferentes áreas, como segurança, saúde e automação comercial.

O **Capítulo 4 – METODOLOGIA** descreve em detalhes os procedimentos metodológicos adotados para a concepção do sistema, incluindo a definição dos requisitos, as restrições do projeto e a arquitetura da solução. Também são discutidos o desenvolvimento do protótipo e os testes realizados para validar sua eficácia.

No **Capítulo 5 – RESULTADOS**, são apresentados os dados coletados nos testes práticos realizados em diferentes cenários, analisando a eficiência do sistema e sua aplicabilidade no ambiente operacional para o qual foi projetado.

Por fim, o **Capítulo 6 – CONCLUSÃO** sintetiza os principais achados do estudo, discutindo suas limitações e apontando possíveis direções para pesquisas futuras e aprimoramentos na solução proposta.

Além dos capítulos mencionados, o trabalho inclui as **REFERÊNCIAS**, que listam as fontes utilizadas na pesquisa, e os **APÊNDICES**, que contêm materiais complementares, como esquemas elétricos e códigos utilizados no desenvolvimento do sistema.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as fundamentações teóricas utilizadas como base para o desenvolvimento deste trabalho. O objetivo é oferecer ao leitor uma base sólida para entender melhor os capítulos seguintes.

### 2.1 LoRa

#### 2.1.1 Conceito

*LoRa* é uma tecnologia de comunicação sem fio desenvolvida para permitir a transmissão de dados a longas distâncias com baixo consumo de energia. Em situações ideais seu alcance pode chegar a 15 km, sem a necessidade de um *gateway*. Em alguns sistemas embarcados dedicados com baixo consumo de energia, estima-se que a autonomia desses sistemas possa chegar a 10 anos (SEMTECH, 2022).

O termo *LoRa* vem da abreviação de "*Long Range*", em português: “Longo Alcance”. Esse nome expressa os conceitos por detrás dessa tecnologia, que foi desenvolvida para cumprir esse propósito de ser uma tecnologia de longo alcance.

No contexto de *IoT*, o *LoRa* se destaca por preencher lacunas de conectividade em cenários onde infraestruturas tradicionais de redes, como *Wi-Fi* e *Bluetooth*, *Zigbee*, *infravermelho*, não atendem às necessidades de alcance, penetração de obstáculos e eficiência energética. Dessa forma, o *LoRa* tornou-se uma tecnologia importante para o desenvolvimento de soluções *IoT*. Muito utilizada na agricultura, cidades inteligentes, logística, saúde e indústria, destacando-se pela flexibilidade e adaptabilidade a diversos contextos (Al-Shareeda *et al.*, 2023).

Outra característica importante da plataforma *LoRa* é o fato de ser uma rede não licenciada. Isso significa que não há uma operadora proprietária dessa rede e, portanto, os usuários dessa tecnologia não precisam pagar taxas de licenciamento para utilizá-la. Essa característica a torna uma opção atrativa para empresas e desenvolvedores que desejam criar suas próprias soluções de comunicação sem fio de longo alcance, seja projetando uma rede simples — conectando um dispositivo *LoRa* a outro — ou utilizando estruturas maiores, como dispositivos finais conectados a *gateways*, que, por sua vez, se conectam a servidores.

Outra possibilidade de utilização dessa tecnologia é a conexão a estruturas gratuitas disponibilizadas por comunidades, como a TTN (The Things Network). A TTN é uma rede global e colaborativa de *IoT* que utiliza a tecnologia *LoRaWAN* (*Long Range Wide Area Network*) para criar uma infraestrutura aberta e descentralizada, permitindo que qualquer pessoa ou organização contribua para sua expansão e manutenção (THE THINGS NETWORK, 2025). A Figura 1 apresenta a distribuição global da cobertura da rede *LoRaWAN*, evidenciando a presença de *gateways* ativos em diversas partes do mundo.

**Figura 1 – Mapa global da rede LoRa The Things Network (TTN)**

Fonte: The Things Network (2024)

### 2.1.2 História

A tecnologia *LoRa* foi inicialmente desenvolvida pela empresa *Cycleo* no ano de 2009. Em 2012, a tecnologia foi adquirida pela empresa norte-americana *Semtech Corporation*, que reconheceu seu potencial para aplicações em larga escala no contexto de *IoT*. Posteriormente, para promover a padronização e incentivar sua adoção global, foi criada a *LoRa Alliance*, uma organização que reúne empresas de diferentes setores com o objetivo de facilitar a integração de tecnologias baseadas na rede *LoRaWAN*. Essa organização tem sido essencial para expandir o uso do *LoRa*, pois oferece diretrizes técnicas e promove sua aplicação em uma ampla gama de soluções (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017; LORA ALLIANCE, 2024).

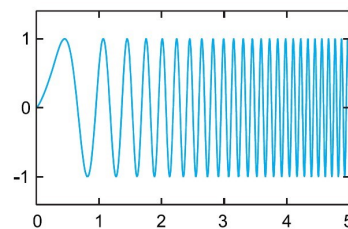
### 2.1.3 Aplicações

A versatilidade do *LoRa* permite sua aplicação em uma variedade de cenários, abrangendo desde aplicações cotidianas até áreas de grande impacto social, como saúde e meio ambiente. No setor de saúde, o *LoRa* tem se mostrado eficaz no monitoramento remoto de pacientes e na gestão de equipamentos médicos em locais de difícil acesso. Na agricultura, o *LoRa* auxilia no monitoramento de condições climáticas, do solo e dos sistemas de irrigação, promovendo um maior controle para um plantio mais eficiente e o uso sustentável dos recursos naturais. No setor de transporte, o *LoRa* já faz parte do acervo de tecnologias utilizadas por empresas de logística para o monitoramento eficiente de cargas. No setor de segurança, empresas como a Bosch, por exemplo, têm utilizado esse recurso em capacetes de funcionários para monitorar suas condições em tempo real, detectando quedas ou situações de emergência e enviando alertas sobre o ambiente ao redor, como a proximidade de áreas perigosas. Em cidades inteligentes, o *LoRa* facilita a automação e o controle de serviços, como iluminação pública, coleta de lixo e gestão de estacionamentos inteligentes. Já no monitoramento ambiental, ele desempenha um papel fundamental no rastreamento de queimadas, no monitoramento da qualidade do ar e da água e no acompanhamento de espécies em risco, promovendo a sustentabilidade e a proteção ambiental (LoRa Alliance, 2024; ALOKIUM, [s.d.]).

### 2.1.4 Aspectos Técnicos - Modulação CSS (Chirp Spread Spectrum)

O CSS, utilizado pelo *LoRa*, funciona modulando os dados em "chirps" (ou "pulsos"), que são sinais de frequência que variam, aumentam ou diminuem de forma suave (Figura 2). Esses *chirps* espalham o sinal ao longo de uma faixa de frequência, o que torna os dados transmitidos mais resistentes a ruídos ou interferências externas. Essa modulação oferece uma versatilidade em termos de ajustes de parâmetros. O *Spread Spectrum* espalha os dados ao longo de várias frequências. Isso significa que, mesmo que haja interferência em alguma frequência, a mensagem pode ser reconstruída por estar "espalhada" em várias partes menores. Logo, o receptor tem a função de juntar essas partes e traduzir esses *chirps* de volta para os dados originais (por exemplo, um comando de um sensor ou um texto enviado) (SEMTECH, 2024).

**Figura 2 – Representação do Sinal Chirp Spread Spectrum (CSS)**



Fonte: SEMTECH (2014)

### 2.1.5 Parâmetros Importantes

A correta configuração dos parâmetros configuráveis e o monitoramento das métricas de qualidade do sinal são essenciais para otimizar a performance do *LoRa*, equilibrando alcance, taxa de transmissão, consumo de energia e robustez da comunicação de acordo com os requisitos da aplicação.

- **Bandwidth (Largura de Banda):** Determina a faixa de frequências utilizada para a transmissão do sinal. Bandas maiores permitem taxas de transmissão mais elevadas, porém podem consumir mais energia e serem mais suscetíveis a interferências.
- **Spreading Factor (Fator de Espalhamento):** Controla a dispersão do sinal na faixa de frequência. Fatores de espalhamento mais altos aumentam a sensibilidade do receptor e, conseqüentemente, o alcance da comunicação. No entanto, essa melhoria ocorre às custas da taxa de transmissão, que se torna mais lenta.
- **Coding Rate (Taxa de Codificação):** Define a quantidade de redundância inserida no sinal para possibilitar a detecção e correção de erros. Um *coding rate* maior melhora a confiabilidade da transmissão em ambientes ruidosos, mas reduz a eficiência espectral ao ocupar mais largura de banda (LIMA, 2023).

### 2.1.6 Métricas de Qualidade do Sinal

- **RSSI (*Received Signal Strength Indicator*):** Mede a intensidade do sinal recebido, geralmente expressa em dBm. O *RSSI* não é um parâmetro configurável, mas sim uma métrica que reflete a potência do sinal captado pelo receptor. Valores mais altos indicam um sinal forte, enquanto valores baixos podem apontar para perdas na propagação, interferências ou maior distância entre os dispositivos.
- **SNR (*Signal-to-Noise Ratio*):** Representa a relação entre a potência do sinal útil e o ruído presente no ambiente. Quanto maior o *SNR*, melhor a qualidade da comunicação, pois há menos interferência em relação ao sinal transmitido. Em sistemas de comunicação de longo alcance, um *SNR* alto permite maiores taxas de transmissão e menor taxa de erro, enquanto um *SNR* baixo pode comprometer a confiabilidade da comunicação (THETHINGSNETWORK, 2024).

### 2.1.7 Frequências e Alcance

A faixa de frequência sub-GHz usada pelo *LoRa* varia conforme a regulamentação de cada país. No Brasil, a frequência utilizada para a tecnologia *LoRa* é de 915 MHz, que está dentro da faixa de radiofrequência destinada para uso em redes de *IoT*, conforme as regulamentações da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). O uso de frequências sub-GHz é um dos fatores que permitem ao *LoRa* alcançar distâncias superiores a 10 km em áreas rurais abertas e de 2 a 5 km em ambientes urbanos.

### 2.1.8 LoRa e LoRaWAN

Os termos *LoRa* e *LoRaWAN* podem ser frequentemente confundidos devido às suas similaridades de escrita e por estarem inseridos no mesmo contexto de comunicação sem fio e *IoT*, contudo, é importante destacar suas diferenças.

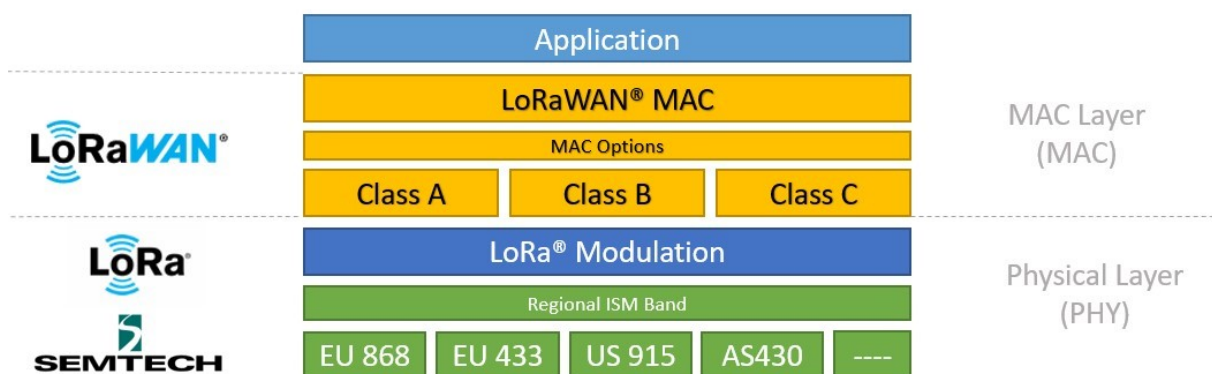
O *LoRa* é uma tecnologia de modulação de rádio utilizada para comunicação de dados sem fio a longas distâncias, que opera na camada física (camada 1) do modelo *OSI* (*Open Systems Interconnection*). Por sua vez, o *LoRaWAN* é um protocolo de comunicação baseado na tecnologia *LoRa*, que define como os dispositivos se comunicam dentro dessa rede (Figura 3). Ele pertence à camada de Rede do modelo *OSI* e estabelece as regras e a arquitetura da rede, incluindo a maneira como os dispositivos (nós finais) se conectam ao *gateway* e como os dados são transmitidos até um servidor central ou plataforma de aplicação (CEGONI, 2022).

O protocolo de comunicação *LoRaWAN* é responsável por garantir a transmissão de dados de forma eficiente e confiável. Logo, *LoRa* é a base tecnológica para a comunicação de longo alcance, enquanto *LoRaWAN* fornece a estrutura necessária para gerenciar e organizar as

comunicações em uma rede de dispositivos, permitindo sua integração em uma solução completa de *IoT*.

É importante destacar que, em aplicações ponto a ponto, a utilização de *LoRaWAN* nem sempre se faz necessária, pois, a conexão pode ser feita diretamente entre os dispositivos envolvidos no cenário. No entanto, esse recurso (*LoRaWAN*) se torna fundamental quando se precisa conectar múltiplos dispositivos de forma eficiente, como sensores, *gateways* e servidores, conforme ilustrado na figura 4, pois ele é responsável por gerenciar essas múltiplas conexões de forma eficiente, especialmente em ambientes onde a cobertura é ampla ou remota, como áreas rurais, agrícolas ou locais de difícil acesso. O *LoRaWAN* permite criar redes de longa distância e de baixo consumo de energia, ideal para aplicações que envolvem grande quantidade de dispositivos espalhados por grandes áreas, garantindo a comunicação entre eles de forma contínua e confiável.

**Figura 3 – Arquitetura LoRaWAN**



Fonte: SEMTECH (2024)

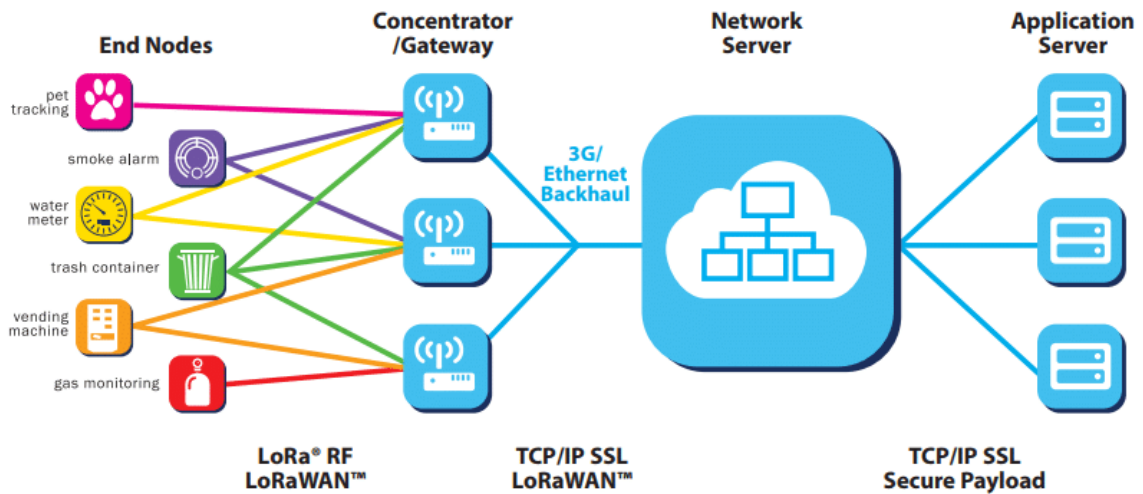
### 2.1.9 Componentes da tecnologia *LoRa*

A tecnologia *LoRa* possui uma arquitetura composta por *gateways* e nós finais. Os *gateways* são responsáveis por receber os dados dos nós finais e encaminhá-los para a rede. Já os nós finais, também conhecidos como *end nodes*, são compostos por sensores conectados a microcontroladores, que coletam informações e que, por sua vez, possuem *LoRa* na sua estrutura. Como citado na seção anterior, também podem ocorrer situações em que há apenas a comunicação direta ou bidirecional entre dois dispositivos finais, sem a necessidade de um *gateway*. Esses elementos constituem a arquitetura básica da tecnologia *LoRa* (PASTÓRIO *et al.*, 2021).

### 2.1.10 Classe de Dispositivos

O *LoRaWAN* classifica os dispositivos em três classes: A, B e C, que atendem a diferentes necessidades de latência e consumo de energia. Os principais critérios para essa classificação

Figura 4 – Esquema de Comunicação LoRaWAN



Fonte: ENRIKO *et al.* (2023)

incluem o padrão de comunicação *uplink/downlink*, o consumo de energia, a latência da comunicação e o tempo de disponibilidade para receber mensagens, garantindo que cada classe atenda a diferentes necessidades de conectividade e eficiência.

- **Classe A:** Projetada para dispositivos que priorizam a economia de energia. Esses dispositivos abrem janelas de recepção somente após uma transmissão, o que limita a latência de recepção, mas permite que dispositivos funcionem com baterias de baixa capacidade por longos períodos.
- **Classe B:** Dispositivos que sincronizam com o *gateway* em intervalos regulares, permitindo janelas de recepção mais frequentes e reduzindo a latência em relação à Classe A, porém com maior consumo energético.
- **Classe C:** Dispositivos que mantêm janelas de recepção abertas de forma quase contínua, o que garante latência mínima, sendo ideal para aplicações onde a comunicação precisa ser constante. No entanto, essa classe é a menos eficiente em termos de energia e geralmente requer uma fonte de alimentação contínua.

Além dessas características, o protocolo *LoRaWAN* inclui mecanismos de segurança para proteger os dados transmitidos. A comunicação é criptografada por meio de duas chaves distintas: a chave de rede, que autentica o dispositivo na rede, e a chave de aplicação, que protege o conteúdo das mensagens. Esse duplo nível de segurança é importante em aplicações sensíveis, como as utilizadas em monitoramento de saúde ou em redes de controle industrial (LORA ALLIANCE, 2024).

### 2.1.11 Escalabilidade

*LoRaWAN* suporta uma alta densidade de dispositivos em uma mesma rede, facilitando a criação de redes *IoT* massivas. Em condições ideais, uma única rede *LoRa* pode suportar dezenas de milhares de dispositivos distribuídos em uma ampla área geográfica. No entanto, essa escalabilidade depende de fatores como a taxa de dados de cada dispositivo e a configuração dos *gateways*. Redes de alta densidade, especialmente em áreas urbanas, podem exigir ajustes no fator de espalhamento e no tempo de transmissão para evitar congestionamentos e colisões de sinal, uma vez que o *LoRa* opera em frequências compartilhadas.

### 2.1.12 Comparação com outras tecnologias

É notório como as soluções de automação sem fio têm contribuído para os empreendimentos. Soluções de comunicação sem fio voltadas para a resolução de problemas são sempre justificáveis e tecnicamente relevantes para a evolução e aprimoramento das infraestruturas empresariais, segundo Al-Sarawi, Shadi *et al.* (2010): “Espera-se que a Tecnologia de Comunicação de Informação (TIC) da *IoT* seja uma revolução na transferência de informações de humano para humano, de humano para coisas e de coisas para coisas”.

Dispositivos que utilizam *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Zigbee*, *Z-Wave*, *infravermelho*, entre outros, têm se feito presente cada vez mais nos empreendimentos, visando atender alguma necessidade operacional ou interativa com os clientes. Cada uma delas tem suas características e visam solucionar problemas de acordo com essas suas especificações.

Dentre as principais tecnologias sem fio utilizadas atualmente, destacam-se *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Zigbee*, *Z-Wave*, *infravermelho*, *NFC* e *Wi-Fi Direct*. Além dessas, novas abordagens vêm sendo adotadas para atender demandas específicas, como *LoRaWAN* e *Sigfox*, que são amplamente utilizados para redes de baixo consumo energético. Já *6LoWPAN* e *Thread* são tecnologias que possibilitam a comunicação entre dispositivos *IoT* com eficiência energética e suporte a *IPv6*, tornando-se essenciais para aplicações domésticas e industriais. O *UWB* se destaca na localização precisa de dispositivos em ambientes fechados, enquanto redes celulares como *LTE-M*, *NB-IoT* e *EC-GSM-IoT* oferecem conectividade confiável para dispositivos *IoT* em larga escala. É importante destacar que, embora cada uma dessas tecnologias tenha suas vantagens e seja eficaz para suas respectivas funções, nenhuma solução é perfeita.

Cada tecnologia apresenta suas próprias limitações e desafios, que devem ser levados em consideração na escolha da melhor opção para o ambiente ou aplicação específica. As desvantagens de cada uma dessas tecnologias podem afetar o desempenho, a cobertura e a interoperabilidade. Outro ponto a se destacar é o custo de implementação. Portanto, é fundamental analisar não apenas os benefícios, mas também as restrições de cada uma, para garantir que a solução escolhida atenda de forma eficiente às necessidades do empreendimento (Elhadi *et al.*, 2018). A Tabela 1 aborda as principais vantagens e desvantagens de algumas das tecnologias

sem fio mais utilizadas.

**Tabela 1 – Comparação entre Tecnologias de Comunicação Sem Fio**

Tecnologia	Alcance	Taxa de Dados	Frequência	Consumo de Energia	Custo	Vantagens	Desvantagens
Wi-Fi	30-100 m	Até 10 Gbps	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	Alto	Médio-Alto	Alta velocidade, boa cobertura	Consome muita energia, alcance limitado
Bluetooth	10 m	Até 3 Mbps	2.4 GHz	Baixo	Baixo	Baixo consumo, fácil emparelhamento	Alcance e largura de banda limitados
NFC	Até 10 cm	Baixa	13.56 MHz	Muito Baixo	Baixo	Baixo consumo, alta segurança	Alcance muito curto, baixa capacidade de dados
5G	Até 10 km	Até 20 Gbps	600 MHz a 100 GHz	Alto	Alto	Alta velocidade, baixa latência, ideal para IoT	Alto consumo, infraestrutura cara, rede proprietária
Zigbee	Até 100 m	Até 250 kbps	2.4 GHz, 868 MHz, 915 MHz	Baixo	Baixo	Baixo consumo, suporta redes mesh, ideal para automação residencial	Baixa taxa de transmissão, depende da topologia mesh
LoRa	Até 15 km	Até 27 kbps	868 MHz, 915 MHz, 433 MHz	Muito Baixo	Baixo	Alcance longo, baixo consumo de energia, ideal para IoT	Taxa de dados muito baixa, não indicado para dados grandes
UWB	Até 100 m	Até 1 Gbps	3.1 GHz a 10.6 GHz	Médio	Médio	Alta precisão, baixa interferência	Alcance limitado, maior consumo de energia
RFID	Até 100 m	Baixa	125 kHz, 13.56 MHz, 860-960 MHz	Muito Baixo	Baixo	Baixo custo, comunicação sem contato físico	Alcance curto, baixa capacidade de dados
Z-Wave	Até 100 m	Até 100 kbps	868 MHz, 908 MHz	Baixo	Médio	Baixo consumo, ideal para automação residencial	Taxa de dados limitada, alcance menor que Zigbee
VLC	Até 10 m	Até 1 Gbps	400 THz (luz visível)	Baixo	Médio	Alta taxa de dados, sem interferência de rádio	Depende de linha de visão, não funciona em ambientes escuros
Wi-Fi Direct	Até 100 m	Até 250 Mbps	2.4 GHz, 5 GHz	Médio	Baixo	Comunicação sem roteador, rápida transferência de arquivos	Menor cobertura, maior consumo de energia
Sigfox	Até 50 km	Até 100 bps	868 MHz, 902 MHz	Muito Baixo	Baixo	Ideal para IoT de baixo tráfego, ultra baixo consumo	Taxa de dados muito baixa, rede proprietária e centralizada

**Fonte: Elhadi et al. (2018)**

Uma das principais vantagens do *LoRa* é seu longo alcance, que pode chegar a até 15 km em áreas rurais e de 2 a 5 km em áreas urbanas, sem exigir alta potência para transmissão. Essa característica o torna especialmente atrativo para aplicações que necessitam conectar dispositivos distantes ou espalhados geograficamente, onde tecnologias tradicionais, como *Bluetooth* e *Zigbee*, possuem um alcance muito mais limitado, enquanto *Wi-Fi* consome mais energia e requer uma infraestrutura densa de roteadores para alcançar áreas maiores.

A infraestrutura necessária para o *LoRa* é mais simples e econômica em comparação com as outras tecnologias, que podem exigir investimentos elevados em *gateways*, roteadores e contratos com operadoras de telecomunicação. *LoRa* é ideal para implantações em larga escala, especialmente em setores onde o custo é um fator limitante.

O protocolo *LoRaWAN* permite a conexão de um grande número de dispositivos em uma única rede, o que facilita a criação de redes de sensores massivas. Em aplicações de *IoT* com alta densidade de dispositivos, como redes de sensores ambientais e cidades inteligentes, essa escalabilidade é um benefício significativo. Tecnologias como *Sigfox* (SIGFOX, 2024), por exemplo, têm limitações na quantidade de mensagens que podem ser enviadas por dispositivo diariamente, 140 mais precisamente, enquanto o *LoRa* pode ser configurado para suportar uma maior frequência de comunicação, dependendo das necessidades do projeto.

O uso da modulação *CSS* permite que o *LoRa* seja altamente robusto a interferências e obstáculos físicos, uma vantagem em ambientes onde o sinal enfrenta múltiplas barreiras, como áreas urbanas densas ou regiões montanhosas. Essa característica o torna mais confiável para aplicações externas em comparação com tecnologias que dependem de sinais de alta frequência, como *Wi-Fi* e *Bluetooth*, que têm menor capacidade de penetração em materiais sólidos. Com *LoRa*, é possível ajustar o fator de espalhamento para encontrar o equilíbrio entre alcance e taxa de dados. Isso significa que o *LoRa* pode ser configurado para consumir pouca energia ao transmitir dados a longas distâncias, algo essencial para dispositivos alimentados por baterias. Embora *NB-IoT* e *LTE-M* também ofereçam baixo consumo de energia, o *LoRa* se destaca quando o objetivo é maximizar a duração da bateria e minimizar o custo, especialmente em aplicações de baixo tráfego de dados e em locais de difícil acesso (TEKTELIC, 2025).

Em termos de segurança de comunicação, o *LoRa* utiliza um sistema de criptografia de chave dupla, o que significa que ele usa duas chaves diferentes para proteger os dados transmitidos: uma para a rede e outra para a aplicação específica. Embora outras tecnologias, como *Zigbee* e *Bluetooth*, também ofereçam criptografia para proteger as informações, o *LoRa* se destaca por usar essas duas camadas de segurança. Isso torna a comunicação ainda mais segura, pois além de proteger a rede contra possíveis invasores, ele também garante que os dados específicos de cada aplicação sejam mantidos em sigilo. Esse nível de proteção é especialmente importante onde a transmissão de dados precisa ser altamente confiável e privada (COSTA; MENDES, 2006, p. 25; PASTÓRIO *et al.*, 2021).

A versatilidade do *LoRa* permite seu uso em uma ampla gama de aplicações e é vantajoso

em projetos que requerem conectividade de longo alcance, baixo consumo de energia, baixo custo de implementação. *LoRa* se torna particularmente atrativo onde há limitações de orçamento e infraestrutura, ou onde os dispositivos precisam funcionar de forma autônoma por longos períodos sem manutenção constante.

## 2.2 Internet das Coisas

O conceito de *Internet das Coisas* envolve a interconexão de dispositivos, por meio de sensores e tecnologias de rede, permitindo a coleta e compartilhamento de dados. Essa conexão cria um ambiente inteligente, onde os objetos podem coletar informações, tomar decisões e se comunicar entre si sem a intervenção humana. Os conceitos fundamentais incluem a interoperabilidade, segurança, eficiência energética e a capacidade de adaptar-se a novas situações e contextos (MATTERN, *et al.*, 2010).

### 2.2.1 História

O termo "*Internet das Coisas*" (*IoT*) foi introduzido em 1999 por Kevin Ashton, co-fundador do *Auto-ID Center* do *Massachusetts Institute of Technology* (*MIT*). Ashton usou a expressão "*Internet of Things*", em seu trabalho intitulado "*I made at Procter & Gamble*", para descrever a ideia de conectar objetos físicos à internet através de sensores *RFID* (identificação por radiofrequência). Na época, a *IoT* era essencialmente centrada no uso dessa tecnologia.

As raízes históricas e antecedentes da *IoT* remetem a visões futuristas e experimentos científicos que buscavam conectar dispositivos e torná-los inteligentes e interativos. Destacam-se o trabalho do pesquisador Mark Weiser, que propôs o conceito de 'computação ubíqua' na década de 1990, e a popularização do termo 'Internet das Coisas' no início do século XXI. A partir dessas raízes históricas, surgiram as bases conceituais e tecnológicas que permitiram o desenvolvimento e a consolidação da *IoT* como a conhecemos hoje (MATTERN, *et al.*, 2010).

### 2.2.2 Definições

Haller, Karnouskos, Schroth definem a *IoT* como "um mundo onde os objetos físicos são perfeitamente integrados à rede de informações e onde os objetos físicos podem se tornar participantes ativos nos processos de negócios". Os serviços estão disponíveis para interagir com esses 'objetos inteligentes', consultar seu estado e qualquer informação associada a eles, levando em consideração questões de segurança e privacidade (WEBER, *et al.*, 2010). Para Madakam, Ramaswamy e Tripathi (2015, apud MATTÉ, 2022), a "*Internet das Coisas*" não possui uma definição única. Eles sugerem que a melhor forma de descrever o termo seria: "Uma rede aberta e abrangente de objetos inteligentes que possuem a capacidade de se auto organizar, compartilhar informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente".

Essa comunicação entre dispositivos cria um paradigma que vai muito além do acesso tradicional à internet.

A Transformação Digital impulsionada pela *IoT* tem promovido a inovação nos processos de produção, distribuição e consumo de bens e serviços. A integração de dispositivos inteligentes e a coleta de dados em tempo real permitem a tomada de decisões mais assertivas e a criação de produtos e serviços personalizados. Além disso, a *IoT* tem sido um catalisador para a criação de novos modelos de negócios, impulsionando a economia digital e fomentando a competitividade entre as empresas.

A constante evolução tecnológica na *IoT* tem impulsionado a busca por soluções inovadoras e a adaptação das organizações às exigências do mercado global. Tal processo tem alterado significativamente a dinâmica das atividades cotidianas, impactando tanto os modelos de trabalho quanto as formas de interação com o ambiente ao redor (FACCIONI FILHO, 2016).

Com sua capacidade de promover automação, otimizar processos e facilitar a tomada de decisões mais rápidas, ela se tornou uma parte integral e indispensável de nossa sociedade, influenciando todos os aspectos de nossa vida diária, incluindo nossas casas, cidades e indústrias. O *IoT* está moldando o futuro da conectividade e da digitalização, impulsionando o progresso em cidades inteligentes, sistemas de transporte inteligentes, agricultura de precisão, saúde personalizada. Neste contexto de avanço tecnológico, a Internet das Coisas evidencia as inúmeras possibilidades que estão por vir. Com mais dispositivos inteligentes e interligados, o potencial de uma transformação significativa cresce exponencialmente. Desde casas inteligentes e dispositivos portáteis até veículos autônomos e automação industrial, o *IoT* está impulsionando a Quarta Revolução Industrial. Por meio do estímulo à colaboração, investimento em pesquisa e desenvolvimento e implementação de regulamentações e padrões robustos, podemos aproveitar ao máximo o potencial do *IoT*, mitigando simultaneamente seus riscos.

Em suma, a Internet das Coisas já evidenciou seu impacto transformador e continuará a redefinir o mundo como se conhece. Essa rede de dispositivos representa a chave para um futuro mais eficiente, sustentável e interligado. As inovações e oportunidades oferecidas pelo *IoT* são vastas, abrindo caminho para um mundo verdadeiramente conectado. No entanto, juntamente com seu imenso potencial, a interoperabilidade e compatibilidade entre dispositivos e sistemas de fabricantes diferentes representam desafios que precisam ser superados para uma conectividade eficaz.

## 2.3 IMPRESSORAS TÉRMICAS PARA PEDIDO

As impressoras térmicas ou impressoras de cupons (Figura 5), são equipamentos amplamente utilizados no setor de varejo para a impressão de tickets, ordens de serviços, senhas, pedidos para cozinha, comprovantes de compra e cupons fiscais para o consumidor. Seu funcionamento é baseado na tecnologia de impressão térmica direta, onde o papel termossensível é

aquecido por uma cabeça de impressão para criar as imagens ou textos desejados (CONTROL ID, 2024).

Entre as conexões presentes nas impressoras térmicas, destaca-se a porta RJ12 (Figura 6), comumente utilizada para conectar gavetas de dinheiro nesses equipamentos, no setor de varejo. Essa conexão permite que a gaveta seja acionada automaticamente após a impressão de um comprovante de venda ou cupom fiscal. O RJ12 é um conector modular de 6 posições e 6 contatos (6P6C), projetado para a transmissão de sinais elétricos de baixa voltagem. Sua principal função, no contexto das impressoras térmicas, é atuar como interface de controle, enviando um pulso elétrico para liberar o mecanismo de travamento da gaveta (EPSON, 2024).

A capacidade de uma impressora enviar informações sobre notificações de erro ao sistema operacional varia conforme o modelo e o protocolo utilizado. Impressoras que suportam protocolos avançados, como o *IPP*, conseguem comunicar erros como falha na impressão, falta de papel ou atolamentos. Entretanto, impressoras que utilizam protocolos mais simples, como *RAW* ou protocolos legados como *LPR*, podem não fornecer um nível detalhado de *feedback*, limitando a capacidade do usuário de identificar problemas remotamente (BROOKSNET, 2024; IBM, [s.d.]).

Assim como os protocolos, os drivers de impressora também desempenham um papel importante na capacidade de uma impressora térmica fornecer *feedback* preciso sobre o *status* da impressão. Quando a impressora não possui drivers dedicados e depende de drivers genéricos, há um risco maior de problemas de compatibilidade com o sistema operacional. Isso pode resultar em falhas que impedem o sistema de notificar o status de impressão.

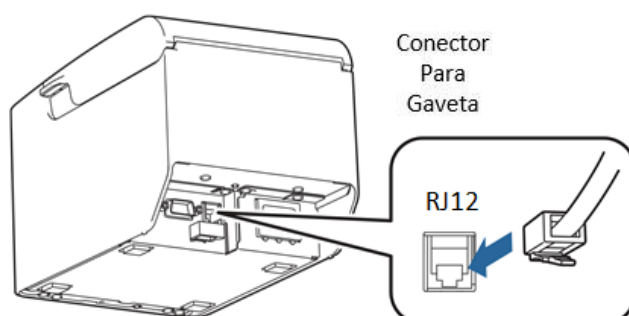
Além disso, falhas no próprio sistema operacional também podem impactar a comunicação entre a impressora e o computador. Entre os problemas mais comuns estão erros no *spooler* de impressão, falhas em serviços essenciais para impressão e atualizações do sistema operacional com *bugs*. Muitos desses problemas ocorrem em segundo plano, tornando-os mais difíceis de serem identificados pelo usuário final (MICROSOFT, [s.d.]; YABE, 2018).

**Figura 5 – Impressora térmica DARUMA DR800**



**Fonte: DARUMA (s.d)**

**Figura 6 – Conector RJ12 em Impressora Térmicas**



**Fonte: Adaptado de EPSON (s.d)**

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, serão apresentados trabalhos relacionados que possuem princípios de funcionamento semelhantes ao trabalho proposto, demonstrando como os mesmos conceitos podem ser aplicados em diferentes áreas de conhecimento, como saúde, segurança e entretenimento. Esses produtos e trabalhos, apesar de não serem idênticos ao desenvolvido neste estudo, seguem os mesmos fundamentos que orientam o desenvolvimento deste projeto. Essa análise reforça a relevância das abordagens adotadas e contribui para uma compreensão mais ampla das potencialidades dos sistemas de notificação. Assim, estabelece-se uma base teórica e prática que fundamenta e enriquece o contexto do presente TCC.

#### 3.1 Sistema de Alerta Sonoro Sem Fio Aplicado a Zonas De Autosalvamento em Barragens.

Em seu trabalho intitulado “*Análise do sistema de alerta sonoro sem fio da empresa TELEVALE*”, Oliveira et. al. (2024), faz uma abordagem sobre tecnologias aplicadas a zonas de auto salvamento em barragens. O estudo visou avaliar a implementação de um sistema de alerta sonoro sem fio, de alta potência ativado a longas distâncias, projetado para alertar a população sobre a necessidade de evacuação em situações emergenciais nas áreas ao redor das barragens da Usina do Rio do Peixe em Nova Lima, Minas Gerais.

Oliveira (2024) considerou os acidentes de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), e a importância de simular e validar sistemas de alerta acústico que contribuem para o auto salvamento do maior número de pessoas em situações emergenciais envolvendo ruptura de barragens. O produto abordado foi o “*Sistema de Alerta Sonoro para Barragens e Zona de Auto Salvamento (ZAS)*”, da empresa Tele Comunicações do Vale do Rio Grande LTDA (TELEVALE).

O sistema utiliza telecomandos por rádio frequência e possui dois componentes principais: O *COL* (Centro de Operação Local) e as *ER's* (Estações Remotas). O *COL* é um dispositivo instalado em zonas seguras, responsável por emitir os alertas. Ele possui botões de emergência, que quando pressionados, transmitem mensagens pré-gravadas para as *ER's*. As Estações Remotas são torres de concreto equipadas com sirenes e microcontroladores alimentados por um painel fotovoltaico e baterias.

Quando uma situação de emergência é detectada, o operador no centro de comando pode acionar o sistema de alerta utilizando botoeiras de emergência. O sinal é então enviado via radiofrequência para todas as torres localizadas nas zonas de auto salvamento.

Uma vez que as torres recebem o sinal dado centro de comando, as sirenes são ativadas automaticamente. A pressão sonora gerada pelas sirenes é projetada para cobrir toda a zona de auto salvamento. O sistema fotovoltaico e as baterias garantem que as *ER's* possam operar de

forma independente da rede elétrica.

O sistema de alerta sonoro sem fio para barragens, descrito por Oliveira *et al.* (2024), e o sistema de notificação de impressão sem fio, apresentam semelhanças especialmente no modo como utilizam tecnologias de comunicação sem fio e dispositivos de ativação. Ambos fazem o uso de botões de acionamento para iniciar os alertas: no caso do sistema de barragens, esses botões são usados em situações de emergência para ativar mensagens sonoras que alertam comunidades próximas sobre a necessidade de evacuação. O sistema de barragens é voltado para a proteção de vidas em situações emergenciais, enquanto o de notificação de impressão se foca na eficiência e no controle operacional.

Ainda assim, ambos demonstram como o uso de tecnologias de comunicação sem fio pode trazer soluções práticas e confiáveis para desafios reais.

## 3.2 Sistemas de Chamada Hospitalar

O sistema de chamada de hospitalar é uma ferramenta tecnológica aplicada em hospitais e unidades de saúde, que possibilita aos pacientes requisitarem auxílio de enfermeiros ou cuidadores. Esses sistemas são essenciais para assegurar uma comunicação ágil e eficaz entre os pacientes e a equipe de saúde, aprimorando o tempo de resposta a situações de emergência e atendendo prontamente às demandas de cuidado.

O princípio de funcionamento desse sistema funciona da seguinte forma: os pacientes, nos leitos; possuem um dispositivo, como um botão, que pode ser pressionado para chamar a atenção da equipe de enfermagem. Nos postos de enfermagem ou corredores, há painéis ou *displays* que indicam o quarto e o paciente que fez a solicitação, além de emitir alertas visuais ou sonoros. Alguns sistemas também utilizam luzes instaladas na entrada dos quartos, que acendem quando uma chamada é feita, facilitando a localização do paciente que precisa de assistência (SINCRON, 2024).

## 3.3 Sistema de chamada para pessoa com limitação de movimentos

O autor Vijayalakshmi, M. *et al.* (2023), aborda em seu trabalho uma solução para ajudar pacientes com paralisia a se comunicarem de maneira eficiente utilizando um sistema de mensagens sem fio. A pesquisa destaca como pessoas com paralisia tem dificuldades de expressar suas necessidades, justamente por conta de funções motoras comprometidas. Com base nisto, seu trabalho propõe uma ferramenta onde os pacientes podem interagir de maneira mais eficiente com pessoas ao seu redor.

O sistema feito possui um dispositivo transmissor e um receptor. No transmissor está um

teclado numérico conectado a um microcontrolador, o paciente digita uma mensagem usando o teclado numérico, onde cada tecla corresponde a uma mensagem pré-programada. Após a seleção, a mensagem é enviada para o receptor por meio do módulo HC-12. No receptor, o ESP32 exibe a mensagem no *display* LCD e aciona a campanha para alertar os cuidadores ou familiares. Entre as mensagens pré-programadas estão: “leve-me ao hospital”; “Banheiro”; “Estou com Fome”; “Preciso de Remédios”; “Trocar de Roupa”; “Preciso Tomar”; “Banho”; “Emergência”; “Preciso de Ajuda”; “Preciso de Água”. A Tabela 2 são apresentadas algumas características semelhantes às do sistema proposto neste TCC.

**Tabela 2 – Comparação entre o Sistema de Notificação de Impressão e o Wireless Messaging System for Paralysis Patients**

Características	Sistema de Notificação de Impressão	Wireless Messaging System for Paralysis Patients (Vijayalakshmi et al., 2023)
Objetivo principal	Notificação de impressão para restaurantes	Comunicação de pacientes com paralisia e limitação de movimento
Alarme sonoro	Sim	Sim
Alarme luminoso	Sim	Não mencionado
Botões de mensagens	Sim	Sim
Display	Display 16x2 para exibição de mensagens	Display 16x2 para exibição de mensagens
Conectividade	LoRa	Bluetooth
Bidirecional	Sim	Não mencionado
Público-alvo	Ambientes comerciais	Pacientes com paralisia e cuidadores

**Fonte:** O Autor (2024).

### 3.3.1 Aplicabilidade e Potencial de Expansão do Sistema de Notificação de Impressão

A análise dos produtos e sistemas relacionados ao projeto de notificação impressão revela a versatilidade das tecnologias de comunicação sem fio e como elas podem ser adaptadas para atender a uma variedade de necessidades, desde emergências em barragens até a facilitação da comunicação em ambientes de saúde e entretenimento. O sistema de alerta sonoro para barragens, o sistema de chamada hospitalar, o sistema de notificação de impressão, demonstra que, embora aplicados a contextos distintos, todos compartilham princípios semelhantes de funcionamento, como a utilização de botões de ativação, sinais sonoros e visuais, e sistemas de comunicação sem fio. Além disso, os estudos destacam a importância da integração de diferentes abordagens tecnológicas para oferecer soluções para cada contexto. Assim, o presente trabalho não apenas fundamenta teoricamente o desenvolvimento de projetos, mas também proporciona uma visão mais ampla de como soluções inovadoras podem ser expandidas e aprimoradas para atender às demandas de diferentes áreas, reforçando a importância de explorar essas tecnologias não apenas no âmbito em que foram inicialmente projetadas.

## 4 METODOLOGIA

A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliográfica sobre tecnologias de comunicação sem fio, com ênfase na tecnologia *LoRa* e sua integração com *IoT* já citados no Capítulo 2. Esse estudo permitiu compreender as potencialidades e limitações do *LoRa* no contexto de aplicações comerciais, incluindo seu uso em automação e monitoramento remoto. Em seguida, para a definição dos requisitos do sistema foram realizados levantamentos junto à empresa *Compuserve Ltda*, identificando as principais demandas e desafios enfrentados por seus clientes no setor gastronômico. Essas informações resultaram na elaboração de uma lista de requisitos funcionais, não funcionais e técnicos para o sistema que serão abordados na seção 4.2. Com base nisso, houve escolha dos componentes, o desenvolvimento de um protótipo de hardware e a codificação do software. Por fim, foram feitos testes para validar o dispositivo proposto.

### 4.1 Restrições do Trabalho

Este trabalho abrange exclusivamente o desenvolvimento do protótipo do sistema embarcado para monitorar o status de impressoras e as bases de conhecimento utilizadas para sua construção. Não faz parte deste trabalho a abordagem do projeto final, com as melhorias, otimizações, reduções de custos e viabilidade de implementação, pois essas etapas são de direito exclusivo da empresa solicitante. Além disso, não serão mencionados diretamente nomes de empresas ou locais de funcionamento de clientes da *Compuserve*.

### 4.2 Requisitos do Sistema

#### 4.2.1 Requisitos Funcionais

**Capacidade de Receber Sinal de Atividade de Impressão:** O dispositivo deve ser capaz de receber, de forma confiável, um sinal gerado pela impressora de pedidos no momento em que uma nova impressão é realizada. Esse sinal deve indicar que um novo pedido foi impresso, e o dispositivo deve reagir de acordo com as instruções programadas, ativando os alarmes e notificações. Essa funcionalidade é essencial para garantir que os pedidos sejam imediatamente percebidos pelos funcionários responsáveis por atendê-los, sem a necessidade de verificação constante da impressora.

**Independência de Rede Ethernet ou Wi-Fi:** O dispositivo não pode depender de qualquer tipo de conexão com rede ethernet ou Wi-Fi, uma vez que o ambiente onde será instalado pode não oferecer infraestrutura de rede confiável. Em vez disso, o sistema deve ter sua própria solução de comunicação integrada, que permita a troca de informações diretamente entre o transmissor e o receptor. Isso é importante para garantir que o dispositivo funcione em locais com problemas de conectividade.

**Arquitetura Modular:** O dispositivo deve conter duas partes, uma que estará conectada diretamente à impressora da cozinha, através da porta RJ12. Neste módulo é onde estará presente um alto-falante e um sinalizador luminoso. A outra parte possuirá um *display* LCD e será alocada para o ambiente do atendente, mais precisamente na mesa da recepção, onde são inseridos os pedidos no sistema.

**Integração com Alarmes Sonoros:** O dispositivo deve contar com um alarme sonoro integrado ao módulo que se conectará com a impressora, que seja acionado imediatamente após o recebimento do sinal de impressão. Esse alarme deve ser suficientemente audível em áreas de trabalho movimentadas, como cozinhas, garantindo que o alerta de impressão seja claramente percebido por todos. O som deve ser alto o bastante para chamar atenção, mas ajustável para não causar desconforto em ambientes mais silenciosos.

**Alarme Luminoso:** Em complemento ao alarme sonoro, o dispositivo também deve possuir um alarme luminoso para fornecer uma indicação visual clara de que uma impressão foi realizada. Isso é particularmente importante em ambientes ruidosos, onde o alarme sonoro pode não ser percebido por todos, ou em locais onde os funcionários podem estar temporariamente distantes da fonte do som. A iluminação deve ser forte o suficiente para ser visível à distância, mas ao mesmo tempo confortável para a visão.

**Display de Notificação:** O dispositivo que ficará com o atendente deve contar com um *display* que exiba informações relevantes sobre os pedidos recebidos. Esse *display* servirá como uma interface visual para os usuários, permitindo que eles vejam uma mensagem de que uma nova impressão foi feita. Essa funcionalidade é especialmente útil para os funcionários do setor de recepção de onde é feito o envio de pedidos.

**Transmissão de Informação entre Diferentes Andares:** A comunicação entre o dispositivo e os outros componentes do sistema deve ser capaz de cobrir áreas amplas, incluindo a transmissão de dados entre diferentes andares de um estabelecimento. Isso é essencial em locais maiores, como edifícios comerciais ou restaurantes com múltiplos andares, onde os funcionários podem estar em diversos pontos e precisam ser informados sobre novos pedidos de maneira rápida e eficiente. O sistema deve ser robusto o suficiente para garantir que as informações sejam transmitidas de forma precisa e sem interferências.

#### 4.2.2 Requisitos Não Funcionais

**Alcance de Longa Distância:** O dispositivo deve ser capaz de operar de forma eficaz em longas distâncias, cobrindo áreas extensas do estabelecimento. Isso garante que ele seja adequado para locais de grande porte, onde os pedidos podem ser recebidos de diferentes locais dentro do mesmo prédio. A tecnologia de comunicação usada deve permitir que as mensagens sejam transmitidas sem atrasos ou interrupções, proporcionando uma experiência fluida e confiável para os usuários.

**Portabilidade do Dispositivo:** O dispositivo deve ser facilmente transportável, permitindo que seja deslocado de um local para outro conforme necessário. Essa característica é essencial para garantir a flexibilidade no uso do dispositivo, permitindo sua implementação temporária ou reposicionamento de acordo com as mudanças no *layout* do estabelecimento. O dispositivo deve ser leve e compacto, facilitando seu manuseio por qualquer funcionário, sem a necessidade de ferramentas ou configurações complexas.

**Custo Acessível:** Para garantir sua viabilidade comercial, o dispositivo deve ser projetado de forma a ser acessível em termos de custo, tanto para produção quanto para aquisição. Isso significa que a solução proposta deve utilizar componentes econômicos e métodos de fabricação eficientes, sem comprometer a qualidade ou a funcionalidade. O foco em um custo reduzido é fundamental para que a implementação seja prática e rápida, especialmente em situações onde soluções temporárias são necessárias para atender a demandas imediatas.

**Compatibilidade com Impressoras Térmicas do mercado:** O dispositivo deve ser compatível com a maioria das impressoras 80 mm térmicas do mercado, que possuem porta RJ12, comumente utilizada para gavetas de dinheiro ou controle de periféricos. Além disso, o dispositivo deve ser flexível o suficiente para ler e adaptar-se às diferentes tensões fornecidas por impressoras com portas RJ12, garantindo sua funcionalidade independente da marca ou modelo específico. Essa compatibilidade é essencial para que o dispositivo funcione em uma ampla gama de ambientes comerciais, reduzindo a necessidade de ajustes personalizados.

#### 4.2.3 Restrições de Projeto

**Independência Inicial do Sistema:** No estágio inicial de desenvolvimento e implementação, o dispositivo deve funcionar de maneira completamente independente, sem depender de conexões com outros sistemas de gestão ou automação. Isso permitirá que ele seja instalado e utilizado rapidamente para resolver problemas operacionais imediatos, sem a necessidade de integração com redes ou sistemas complexos. Esse requisito é particularmente importante para atender situações de emergência, onde uma solução temporária precisa ser implementada com urgência para minimizar impactos no fluxo de trabalho.

#### 4.2.4 Regras de Negócio

**Solução Temporária e Eficiente para Problemas Imediatos:** O principal objetivo do dispositivo, em sua fase inicial de implementação, é atuar como uma solução temporária e eficiente para problemas urgentes relacionados à recepção de pedidos. Em muitos estabelecimentos, a falta de comunicação adequada entre a impressora de pedidos e os responsáveis pela execução pode gerar atrasos e erros, afetando diretamente a produtividade e a satisfação dos clientes. O dispositivo visa preencher essa lacuna de maneira prática, permitindo uma melhora significativa no fluxo de trabalho.

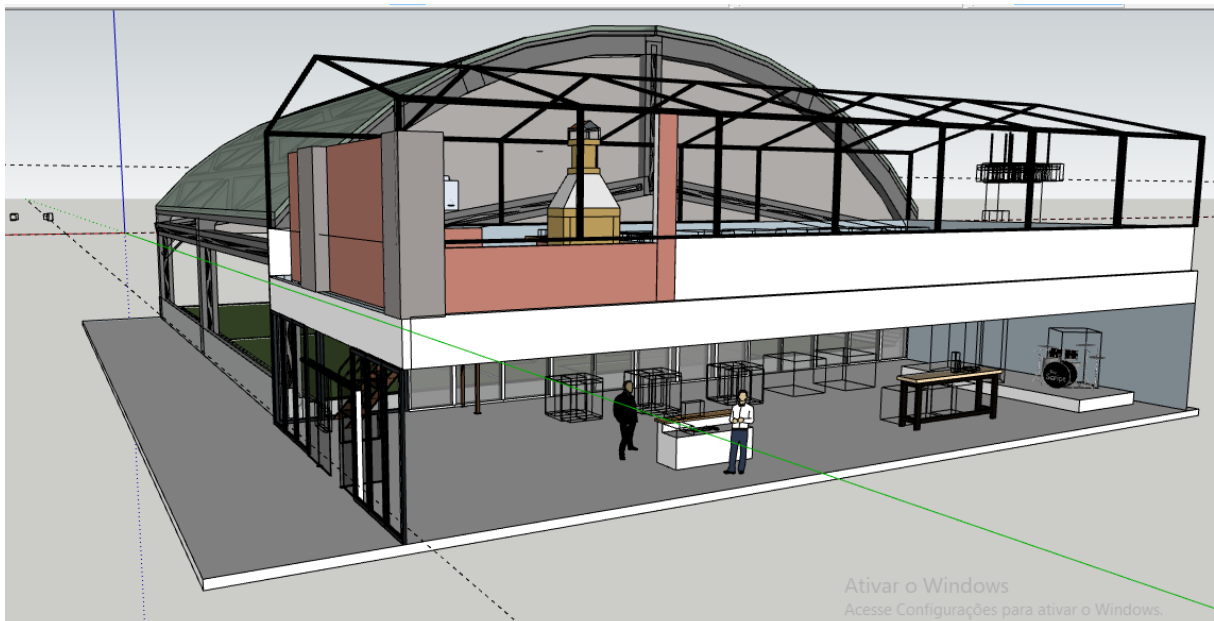
## 4.3 Cenário

O estudo foi realizado em um dos restaurantes clientes da *Compuserve Ltda.* O local foi escolhido como estudo por possuir três ambientes, proporcionando um espaço interessante para análise. Ele está distribuído em dois andares, como mostra a ilustração em 3D (Figura 7).

Por convenção, adotou-se que o primeiro andar se trata do pavimento inferior, e o segundo andar se trata do pavimento superior. No primeiro andar, encontram-se a recepção principal e o salão 1, onde os clientes são recebidos e direcionados às mesas. Neste mesmo ambiente fica localizado o computador onde está instalado o sistema de vendas que gerencia os pedidos, e onde estão localizados os equipamentos essenciais para o funcionamento do restaurante, incluindo infraestruturas de Rede *Ethernet* e outra impressora para impressão de comprovante para os clientes.

Ainda no primeiro andar, há uma área externa ampla, cuja sua extensão é de um campo de futebol *society*, onde acontecem *shows* musicais ao vivo oferecendo outra opção de acomodação para os clientes, e a qual chamaremos de ambiente 3 (Figura 8).

**Figura 7 – Representação 3D do Ambiente Real - Visão Frontal**



**Fonte: O Autor (2024)**

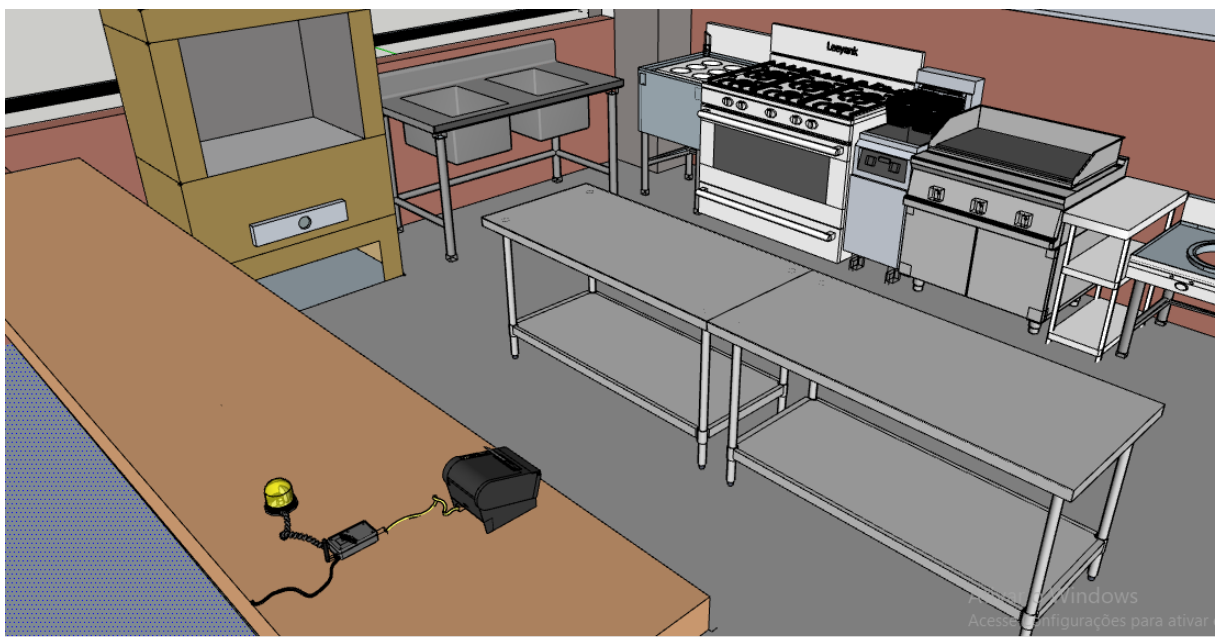
O segundo andar abriga o salão dois e um dos principais setores do restaurante que é a cozinha (Figura 9).

### 4.3.1 Funcionamento do Sistema de Vendas

O restaurante utiliza um sistema de controle de comandas, cujo gerenciamento principal é feito por um computador localizado na recepção, no salão 1. Os garçons podem registrar os pedidos de duas maneiras:

**Figura 8 – Representação 3D do Ambiente Real - Ambiente 3**

Fonte: O Autor (2024)

**Figura 9 – Representação 3D do Ambiente Real - Cozinha**

Fonte: O Autor (2024)

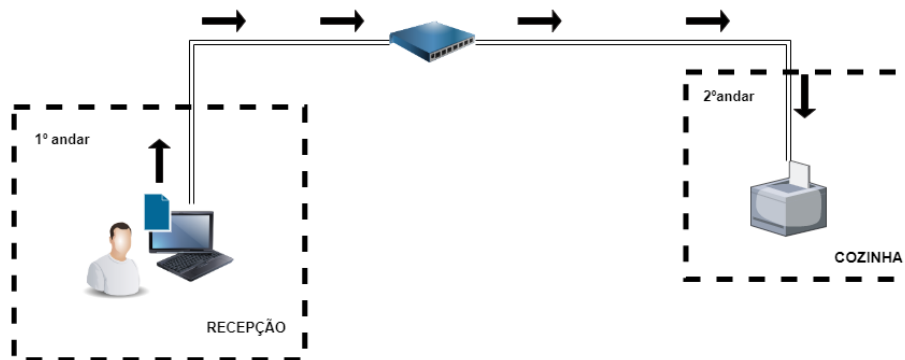
**Anotação manual:** O garçom vai até a mesa, anota o pedido em um bloco de notas de papel e, em seguida, entrega ao operador do computador para que o pedido seja inserido no sistema e enviado à cozinha.

**Pedido digital via smartphone:** Utilizando um aplicativo integrado ao sistema de comandas, o garçom envia o pedido diretamente para o computador principal, que o processa e o encaminha à cozinha. Se houver congestionamento ou falha na rede Wi-Fi do restaurante, os pedidos podem não ser transmitidos corretamente pelo aplicativo, exigindo que o garçom recorra à anotação manual e ao envio tradicional para o operador.

### 4.3.2 Fluxo de Pedidos

Assim que o pedido é feito o atendente envia o pedido para uma impressora térmica que fica localizada na cozinha do estabelecimento no segundo andar (Figura 10), lá possui apenas a impressora que está conectada a um cabo de rede ethernet.

**Figura 10 – Diagrama de Fluxo de Rede-Sistema de Pedido**



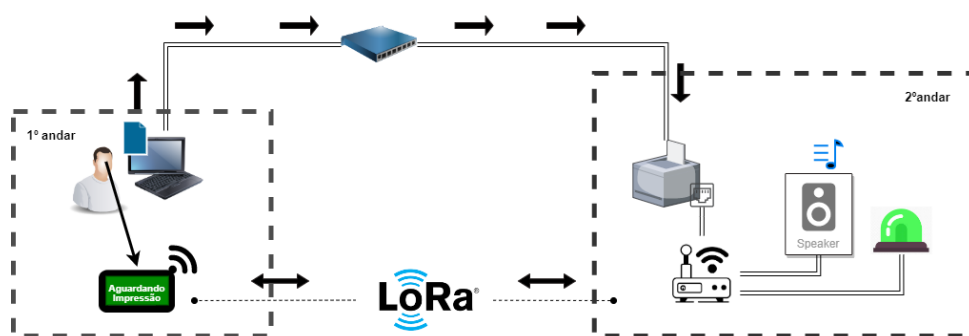
Fonte: O Autor

### 4.3.3 Sistema Proposto

O sistema proposto (Figura 11) está dividido em duas partes principais. A parte do transmissor se conecta diretamente à porta RJ12 da impressora (Figura 13), emitirá um som e uma luz de indicação sempre que um pedido chegar e enviará os dados para o receptor. O receptor receberá esses dados e exibirá no *display* a mensagem desejada (Figura 14). Para que haja uma melhor interação entre os dois ambientes, também serão adicionados botões de ações que permitam o envio de mensagens programadas para o receptor e do receptor para o transmissor.

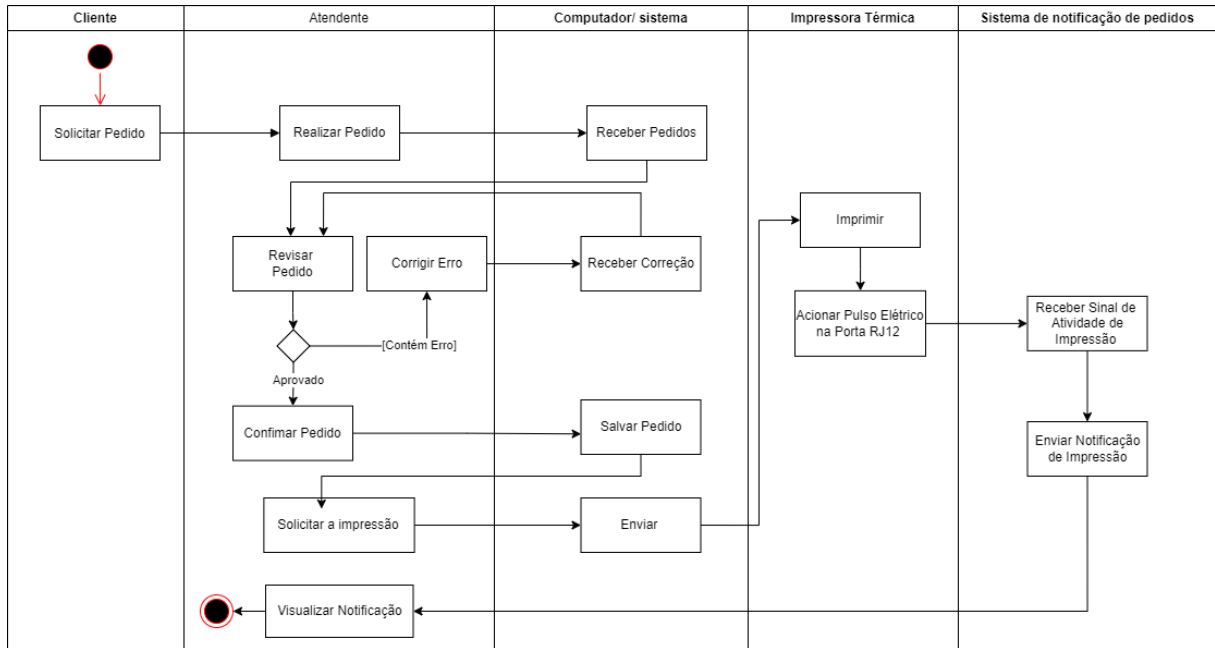
O Diagrama de Atividades (Figura 12) representa o fluxo de execução associado à função principal de notificação de pedidos, descrevendo de forma sequencial as etapas que compõem esse processo.

**Figura 11 – Modelo idealizado**



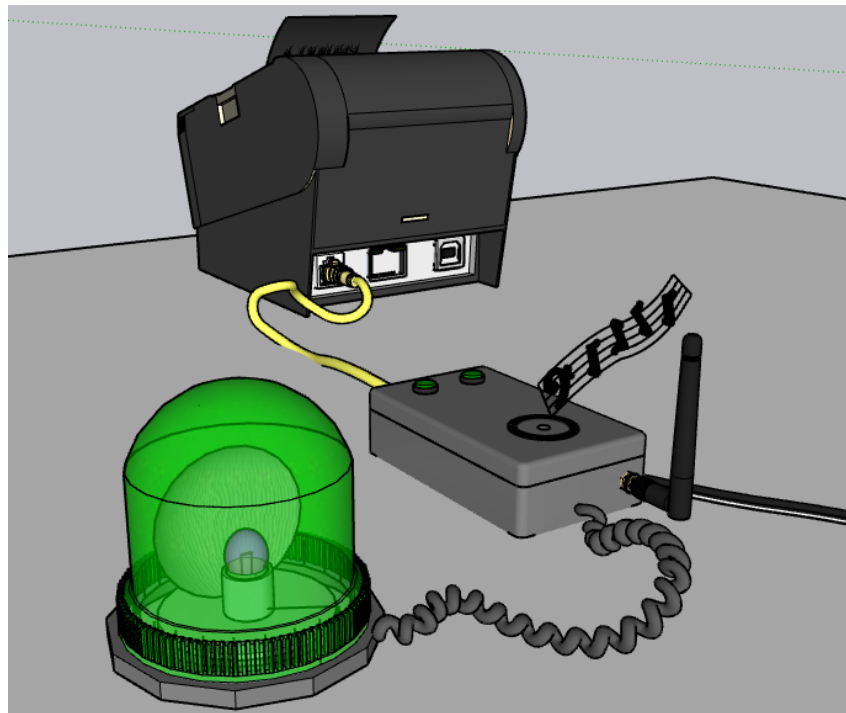
Fonte: O Autor

**Figura 12 – Diagrama de Atividade - Sistema de Notificação de Impressão**

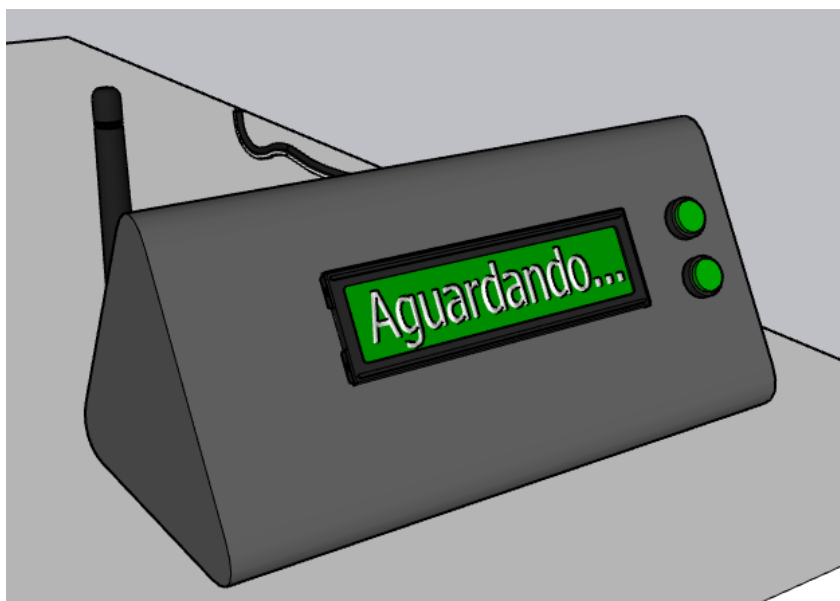


Fonte: O Autor

**Figura 13 – Idealização do Modelo - Transmissor**



Fonte: O Autor

**Figura 14 – Idealização do Modelo - Receptor**

Fonte: O Autor

## 4.4 Desenvolvimento do Protótipo

### 4.4.1 Hardware

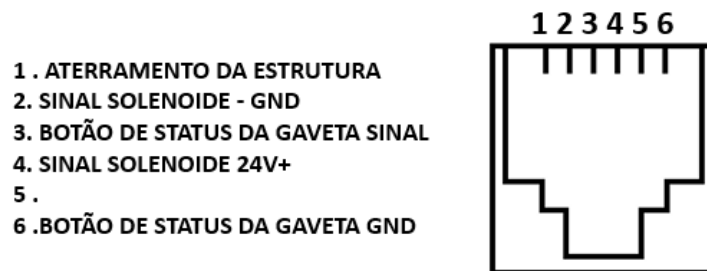
Para que o desenvolvimento do protótipo fosse eficaz foi fundamental entender com se comportava o sinal elétrico disponível na porta RJ12 da impressora, pois foi o principal gatilho para o funcionamento da função principal do dispositivo. Inicialmente essa saída é feita para ativar Gavetas Automáticas de dinheiro, quando configurada, essa porta ativa um solenoide que abre a gaveta através de um pulso de tensão de 24 V e 1 A.

O primeiro passo foi identificar a funcionalidade de cada pino do conector e a voltagem que essa saída disponibiliza. Através de teste realizado com um protótipo de gaveta conectada a uma impressora foram constatadas as seguintes funcionalidades: O pino 1 está diretamente ligado a carcaça metálica dos equipamentos, tanto da impressora quanto das gavetas automáticas; o pino 2 é responsável por fazer o *GND* do solenoide, o pino 3 e 6 estão conectados ao botão de fim de curso que quando a gaveta abre ele é pressionado indicando à impressora que a gaveta está aberta, e quando a gaveta se fecha esse botão volta ao seu estado de normalmente aberto. O pino 4 recebe +24 V sempre que a gaveta é acionada. No nosso teste o Pino 5 não estava conectada nada. A Figura 15 apresenta o diagrama com os resultados obtidos.

No decorrer do desenvolvimento do trabalho encontrou-se um diagrama das funcionalidades dos pinos de acordo com a empresa EPSON (Figura 16).

Logo concluímos que existem dois tipos de gavetas, umas que enviam o sinal de fechamento da gaveta no pino 3 e outras que fazem essa função através do pino 5. Para a gaveta automática, a abertura acontece por um pulso de tensão que é feito através do pino 4. Será usado

**Figura 15 – Diagrama de Pinos RJ12 - Impressora Térmica**



**Fonte: O Autor**

esse pino em conjunto com o pino 2 para ativar o sistema de notificação de impressão. Para o protótipo deste TCC, o uso dos demais não será utilizado. Contudo é importante destacar que em trabalhos futuros pretende-se implementar um circuito de chaveamento nesses pinos simulando a função de status de abertura/fechamento das gavetas automáticas. Com essa informação foi dado início a escolha dos componentes, a elaboração do diagrama de blocos e a implementação do circuito.

**Figura 16 – Diagrama de Pinos RJ12 - EPSON**

Pin number	Signal name	Direction
1	Frame GND	-
2	Drawer kick drive signal 1	Output
3	Drawer kick open/close signal	Input
4	+24 V	-
5	Drawer kick drive signal 2	Output
6	Signal GND	-

6 5 4 3 2 1

**Fonte: EPSON (2024)**

#### 4.4.1.1 Optacoplador

Para a leitura da tensão de 24 V foi utilizado um Optacoplador modelo PC817 (Figura 17). Esta foi a solução encontrada para que fosse possível receber essa tensão de forma segura no ESP32, já que a maioria dos microcontroladores trabalham com tensões baixas que variam entre 3.3 V e 5 V.

O optoacoplador PC817 é um componente eletrônico que permite a transferência de sinais entre dois circuitos eletricamente isolados. Ele é amplamente utilizado para proteger circuitos de baixa potência (como circuitos de microcontroladores). O PC817 é um optoacoplador que funciona transferindo sinais entre dois circuitos isolados eletricamente. Dentro do dispositivo, há um LED infravermelho que emite luz ao receber uma corrente no lado de entrada. Esse LED está

alinhado com um fototransistor no lado de saída, que é ativado pela luz infravermelha do LED. Ou seja, sempre que o LED é ativado acontece a saturação do fototransistor, permitindo com que a corrente de um sinal elétrico flua por ele. O sinal escolhido para a entrada VCC é de 3.3 V, a mesma tensão que o ESP32, microcontrolador usando neste projeto trabalha (SHARP, 2003).

**Figura 17 – Módulo optacoplador PC817**



Fonte: Eletrogate (2024)

#### 4.4.1.2 ESP32

O ESP32 destaca-se no mercado por ser acessível, robusto e com uma ampla comunidade de desenvolvedores, muito escolhido para projetos que envolvem comunicação sem fio e integração com sensores e atuadores em diversas áreas da tecnologia (Figura 18). Desenvolvido pela *Espressif*, possui uma grande quantidade de pinos de entrada e saída (GPIOs) que suportam uma variedade de protocolos de comunicação, como SPI, I2C, UART, ADC e PWM, facilitando a prototipação deste projeto (ESPRESSIF, 2024).

**Figura 18 – Microcontrolador Esp32 - ESPRESSIF**

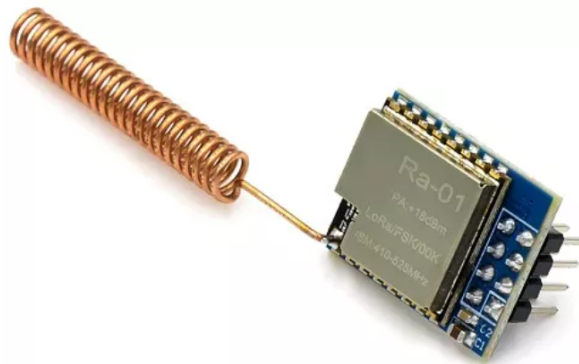


Fonte: ESPRESSIF (2024)

#### 4.4.1.3 LoRa SX1278 Ra-01 433

O módulo Ra-01 LoRa SX1278 (Figura 19) foi escolhido para esse experimento por conta da sua capacidade de comunicação a longa distância, este módulo opera em 433 Mhz, e é bastante estável contra interferências eletromagnéticas, em áreas abertas e com antena bem dimensionada pode chegar a um alcance de até 10 km, sendo perfeito para dispositivos *IoT*. Possui alta sensibilidade de recepção (-148 dBm), potência de transmissão ajustável de +20 dBm e interface SPI para fácil integração com microcontroladores. Neste projeto foram utilizados dois módulos, uma para o transmissor e outro para o receptor (SHENZHEN AI-THINKER TECHNOLOGY, 2020).

**Figura 19 – Módulo LoRa Ra-01 SX1278**



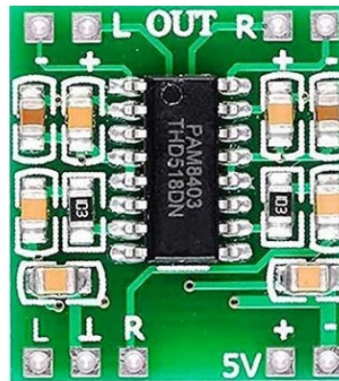
**Fonte: Shenzhen Ai-Thinker Technology, (2020)**

#### 4.4.1.4 PAM8403

O PAM8403 é um amplificador de áudio digital de classe D amplamente utilizado em projetos eletrônicos devido à sua eficiência e qualidade de som (Figura 20). É capaz de fornecer até 3 watts por canal em cargas de 4 ohms, ou até 2 watts por canal em cargas de 8 ohms, o que o torna adequado para uma variedade de aplicações de áudio como sistemas de som portáteis, caixas de som Bluetooth e projetos de áudio onde o espaço é limitado (CIRKIT DESIGNER, s.d 2024).

#### 4.4.1.5 Display

O LCD1602 I2C é um módulo de *display* de cristal líquido que se conecta a microcontroladores por meio da interface I2C, facilitando a comunicação e reduzindo a quantidade de pinos necessários para a conexão. Possui 16 colunas e 2 linhas, permitindo exibir até 32 caracteres simultaneamente (HANDSONTEC, 2024). O modelo utilizado neste projeto está representado na Figura 21.

**Figura 20 – Amplificador de som PA8403**

Fonte: Cirkkit Designer, s.d (2024)

**Figura 21 – Display**

Fonte: Handsontec (2024)

#### 4.4.1.6 Circuito retificador de meia-onda com filtro

Nos primeiros testes, observou-se que o sinal transmitido pela impressora era muito rápido para que o optoacoplador fosse acionado corretamente e permitisse a leitura do sinal pelo microcontrolador. Dessa forma foi projetado um circuito retificador de meia onda, para filtrar esse sinal e prolongar sua duração de acordo com o interesse.

O Circuito retificador de meia onda é usado comumente para converter corrente alternada (AC) em corrente contínua (DC). Retificador de Meia-Onda refere-se ao fato de que o circuito permite apenas a passagem de uma metade da onda da corrente alternada, bloqueando a outra metade. Isso resulta em um sinal pulsante de DC. Em circuitos temporizadores ou de controle, pode ser utilizado para desacelerar a descarga de um capacitor em resposta a um sinal.

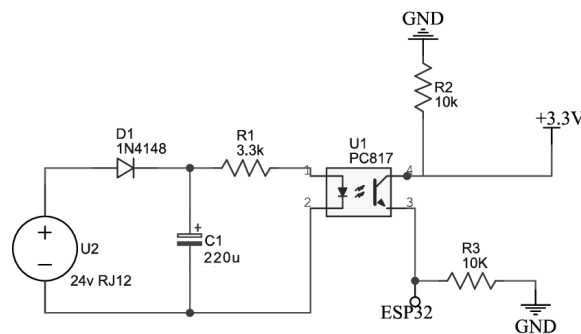
O capacitor eletrolítico atua como um filtro, suavizando as flutuações na saída DC, resultando em uma tensão mais estável e prolongada. O diodo 1N4148 é usado para permitir a passagem de corrente em uma única direção. Quando aplicado em um circuito, ele atua como um dispositivo de retificação, bloqueando a corrente na direção reversa o que protegerá a impressora caso algo dessa natureza aconteça (SEDRA; SMITH, 1995).

A constante de tempo do circuito RC é dada por  $\tau = RC$ , onde  $\tau$  representa o tempo característico de descarga do capacitor.

Para esse trabalho assume-se o valor de 220 uF para o capacitor (C1) e 3,3 K ohms para o Resistor (R1), Resistência essa proveniente do Circuito do Optacoplador, como mostra a figura 22.

$$\tau = R \times C = (3,3 \times 10^3) \times (220 \times 10^{-6}) = 0,726 \text{ s}$$

**Figura 22 – Circuito retificador de meia-onda com filtro associado ao circuito do Optacoplador**



**Fonte: O Autor (2025)**

Esse tempo de descarga do capacitor foi suficiente para que o circuito do optacoplador ativasse de forma eficiente.

#### 4.4.1.7 Componentes Secundários

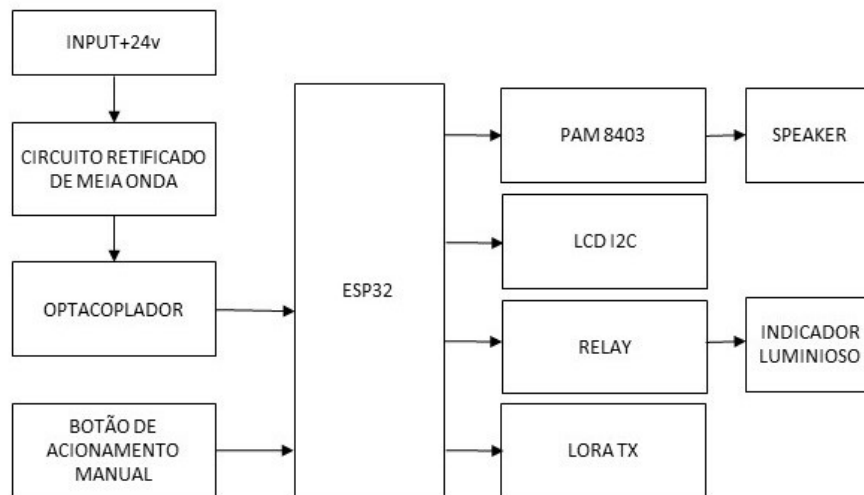
O circuito também é composto por componentes secundários, como relés, resistores, botões, alto-falante, buzzer, LEDs e potenciômetros (Figura 23). As Figuras 24 e 25 ilustram os diagramas de blocos dos circuitos desenvolvidos, apresentando a lógica de conexão entre os componentes eletrônicos utilizados. O esquema elétrico completo pode ser encontrado nos Apêndices A e B.

**Figura 23 – Componentes Secundários**



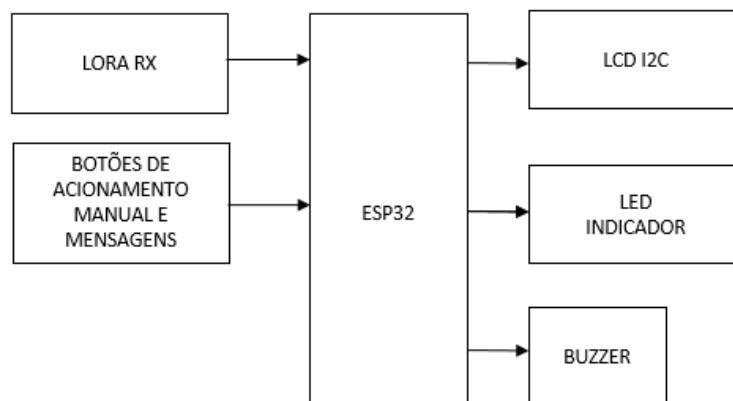
**Fonte: O Autor**

**Figura 24 – Diagrama de Blocos do Transmissor**



**Fonte: O Autor**

**Figura 25 – Diagrama de Blocos do Receptor**



**Fonte: O Autor**

## 4.4.2 Software

O desenvolvimento do software foi realizado na Arduino IDE, uma plataforma de código aberto amplamente utilizada para a programação de microcontroladores. A escolha dessa ferramenta deve-se à sua interface intuitiva, compatibilidade com diversas bibliotecas e módulos, além da ampla comunidade de suporte (ARDUINO, 2024).

### 4.4.2.1 Lógica de Programação do sistema Transmissor

A lógica do sistema funciona com três rotinas. A Primeira acontece sempre que uma tensão de +24 V é identificada na entrada do dispositivo transmissor, o sistema aciona o alarme sonoro através do autofalante e ativa um sinalizador visual de LED indicando a chegada de um novo pedido, em seguida ele envia a mensagem de confirmação para o receptor indicando que a impressão aconteceu. A segunda rotina é do envio de mensagem, o transmissor possui dois botões adicionais para mensagens pré-programadas. Quando esses botões são pressionados acontece o envio da mensagem de acordo com o botão selecionado. O transmissor também está programado para receber mensagens, funcionando como um dispositivo bidirecional. A sequência de funcionamento pode ser visualizada na Figura 26, que apresenta o fluxograma do módulo transmissor. O algoritmo completo referente a esse módulo está disponível no Apêndice C.

### 4.4.2.2 Lógica de Programação do sistema Receptor

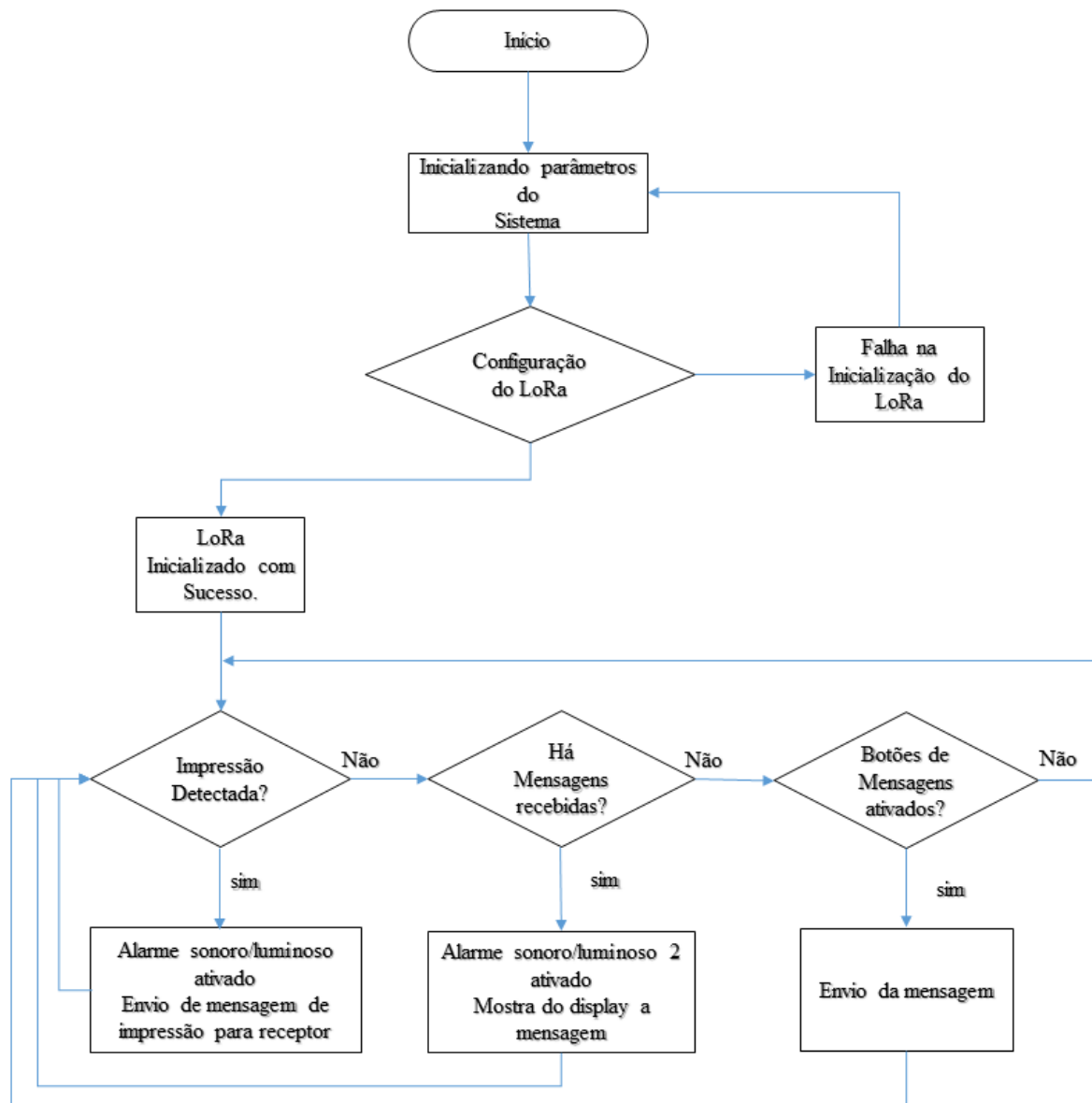
A rotina principal do receptor é a verificação de chegada de mensagens do transmissor, caso aconteça o recebimento de mensagens, ele exibe no display. A sequência de funcionamento está representada no fluxograma da Figura 27. Similarmente ao módulo principal de transmissão, o módulo receptor funciona como um dispositivo bidirecional quando necessário, sua rotina secundária é o envio de mensagens pré-programadas. O algoritmo completo referente a esse módulo está disponível no Apêndice D.

### 4.4.2.3 Implementação da Campanha no transmissor

Para a reprodução de áudio de campanha, foi utilizada a biblioteca XT\_DAC\_Audio.h, que permite a geração de áudio em microcontroladores sem conversor digital-analógico (DAC) embutido ou que demandam um controle avançado sobre a saída de áudio. Essa biblioteca foi empregada para reproduzir melodias específicas associadas a eventos, como a detecção de impressão ou o acionamento dos botões de envio de mensagens.

A escolha da XT\_DAC\_Audio.h deve-se, entre outros fatores, à sua capacidade de armazenar os arquivos de áudio diretamente na memória flash do microcontrolador, eliminando a necessidade de um módulo adicional de cartão SD, para o armazenamento dos arquivos de som.

Figura 26 – Fluxograma Transmissor

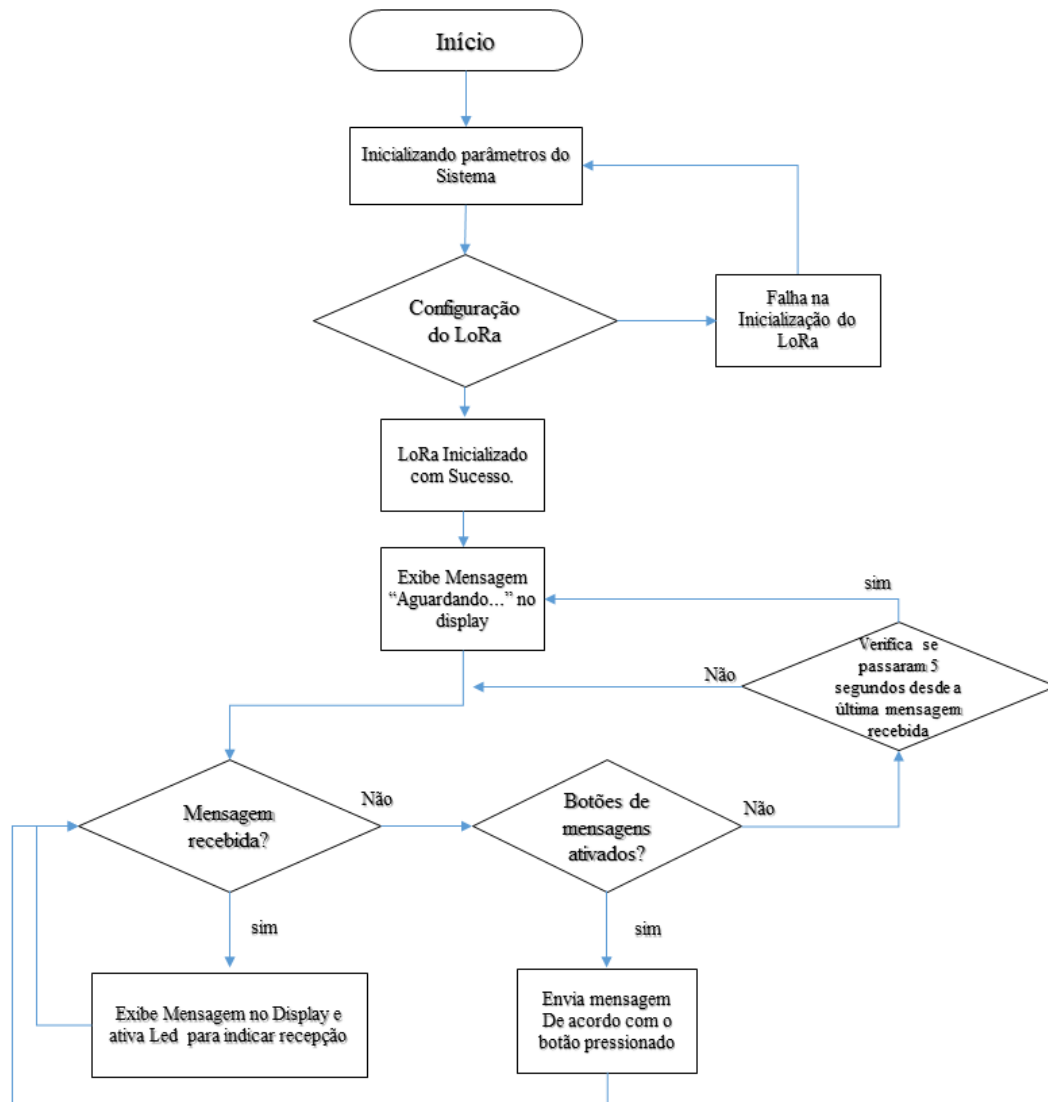


Fonte: O Autor

O formato do arquivo de áudio aceito pela biblioteca é do tipo WAV (Waveform Audio File Format), é um dos formatos mais comuns para armazenamento de áudio digital. No entanto, para garantir a compatibilidade com o microcontrolador, os dados de áudio foram convertidos e armazenados como um *array* de *bytes* em linguagem C ou C++.

Para a conversão dos arquivos de áudio no microcontrolador, foi utilizado o software 010 Editor, que possibilitou a manipulação e formatação adequada dos dados em formato hexadecimal, garantindo compatibilidade com a biblioteca e otimização do espaço de memória disponível.

Figura 27 – Fluxograma Receptor

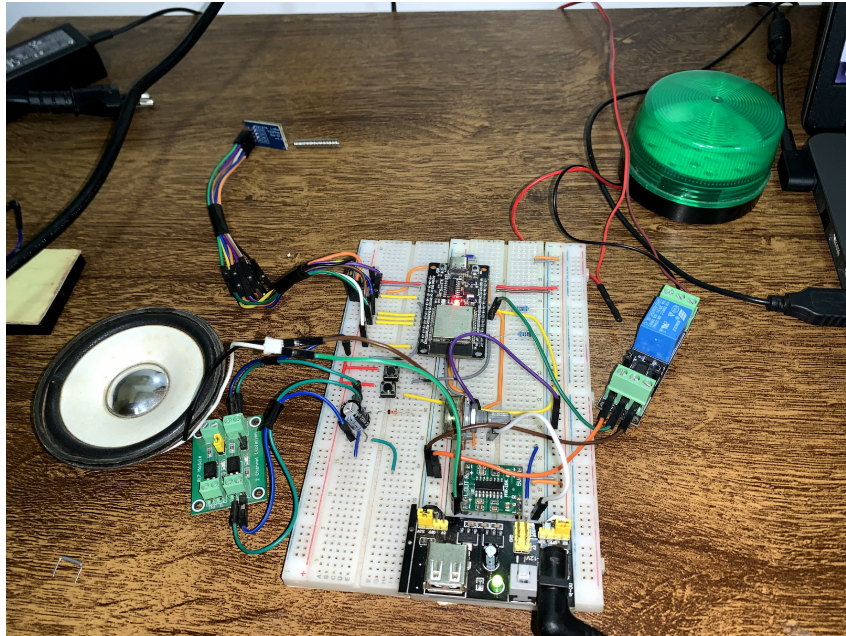


Fonte: O Autor

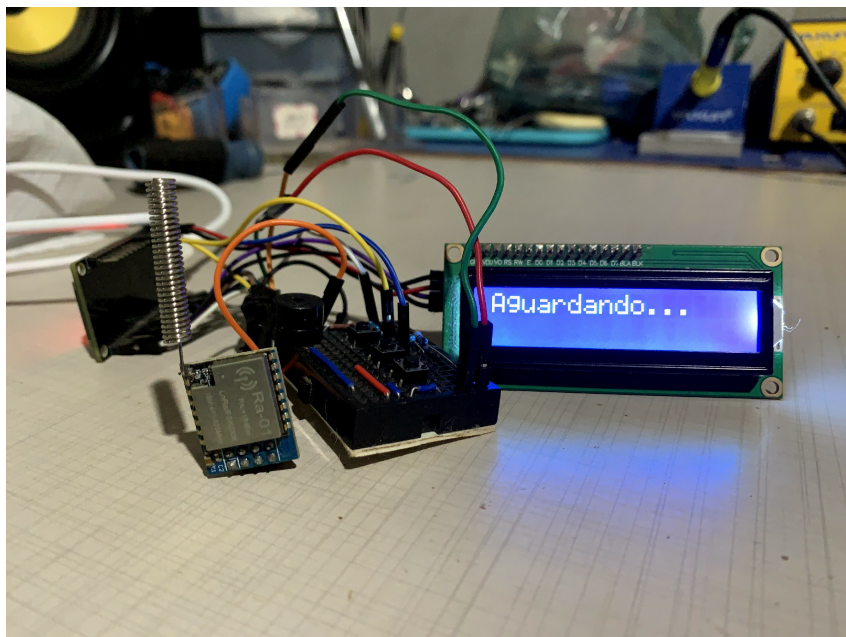
#### 4.4.3 Testes Realizados

Para validar o funcionamento do sistema de notificação de pedidos utilizando *LoRa*, foram realizados dois testes em ambientes distintos: um em ambiente residencial e outro no restaurante objeto de estudo deste trabalho, considerando os seguintes pontos:

- Funcionamento do sistema de campanha para os cozinheiros;
- Funcionamento do sistema de transmissão e recepção *LoRa*;
- Cobertura da rede *LoRa* implementada;

**Figura 28 – Montagem do circuito transmissor**

Fonte: O Autor

**Figura 29 – Montagem do circuito Receptor**

Fonte: O Autor

#### 4.4.3.1 Primeiro teste - Ambiente Residencial

Os primeiros testes foram realizados na residência do autor, para validação das funcionalidades do projeto incluindo, a funcionalidade de campanha e transmissão de mensagens. O local foi escolhido por ser um ambiente controlado e com menor interferência externa. Nesta etapa foi feita a montagem do circuito, conforme ilustrado na Figura 28 e Figura 29. O transmissor e o receptor foram posicionados a uma distância aproximada de 5 metros, com obstáculos como

paredes e móveis entre os dispositivos. Para que houvesse maior mobilidade, para alimentar o receptor foi utilizado carregado portátil. A Tabela 3 mostra as configurações do rádio LoRa utilizadas no primeiro e nos demais teste. Os parâmetros escolhidos visaram obter o maior nível de sensibilidade do receptor, para um maior alcance, de acordo com os conceitos levantados na seção 2.1.5.

**Tabela 3 – Configuração do rádio LoRa para os testes**

Parâmetro	Valor
Tx Power	20 dBm
Spreading Factor (SF)	12
Bandwidth (BW)	125 kHz
Coding Rate (CR)	4/5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante os testes, foram enviados 10 pacotes de mensagens para verificar a taxa de sucesso da comunicação, sendo 5 provenientes de atividades de impressão e 5 de provenientes de mensagens pré-programadas (Figura 30). Os resultados mostraram que o sistema conseguiu estabelecer comunicação estável nos envios de pacotes, obtendo sucesso na recepção de todos eles, o sistema de campanha também se mostrou funcionou, ativando a sinalização luminosa e sonora de acordo com a mensagem recebida.

**Figura 30 – Exemplo de dados recebidos pelo receptor**

```

-> LoRa initialization successful!
-> Frequency set to: 433.00
-> ===== Configurações LoRa =====
-> Spreading Factor: 12
-> Largura de Banda: 125000
-> Taxa de Codificação: 4/5
-> Frequência: 433.00
-> =====
-> Mensagem recebida: Impressao bem sucedida| Tamanho: 27 bytes | RSSI: -88 dBm | SNR: 10 dB
-> Mensagem recebida: Impressao bem sucedida| Tamanho: 28 bytes | RSSI: -81 dBm | SNR: 11 dB
-> Mensagem recebida: Impressao bem sucedida| Tamanho: 28 bytes | RSSI: -79 dBm | SNR: 10 dB
-> Mensagem recebida: Impressao bem sucedida| Tamanho: 28 bytes | RSSI: -81 dBm | SNR: 11 dB
-> Mensagem recebida: Impressao bem sucedida| Tamanho: 28 bytes | RSSI: -84 dBm | SNR: 11 dB
-> Mensagem recebida: SOLICITANDO GARCOM| Tamanho: 23 bytes | RSSI: -87 dBm | SNR: 11 dB |
-> Mensagem recebida: SOLICITANDO GARCOM| Tamanho: 23 bytes | RSSI: -87 dBm | SNR: 13 dB |
-> Mensagem recebida: SOLICITANDO GARCOM| Tamanho: 23 bytes | RSSI: -88 dBm | SNR: 12 dB |
-> Mensagem recebida: SOLICITANDO GARCOM| Tamanho: 23 bytes | RSSI: -89 dBm | SNR: 12 dB |
-> Mensagem recebida: SOLICITANDO GARCOM| Tamanho: 23 bytes | RSSI: -87 dBm | SNR: 13 dB |

```

Fonte: O Autor

#### 4.4.3.2 Segundo teste - Restaurante

Com o protótipo montado, foi necessário validar o funcionamento do sistema por meio de um teste de campo que simulasse as condições reais da aplicação. Para isso, foram levados os dois protótipos: o transmissor e o receptor até o estabelecimento objeto de estudo deste trabalho (Figuras 31 e 32).

Nessa etapa do teste o receptor foi posicionado na recepção junto ao computador que realiza os pedidos, o transmissor foi posicionado no segundo andar, conectado a impressora

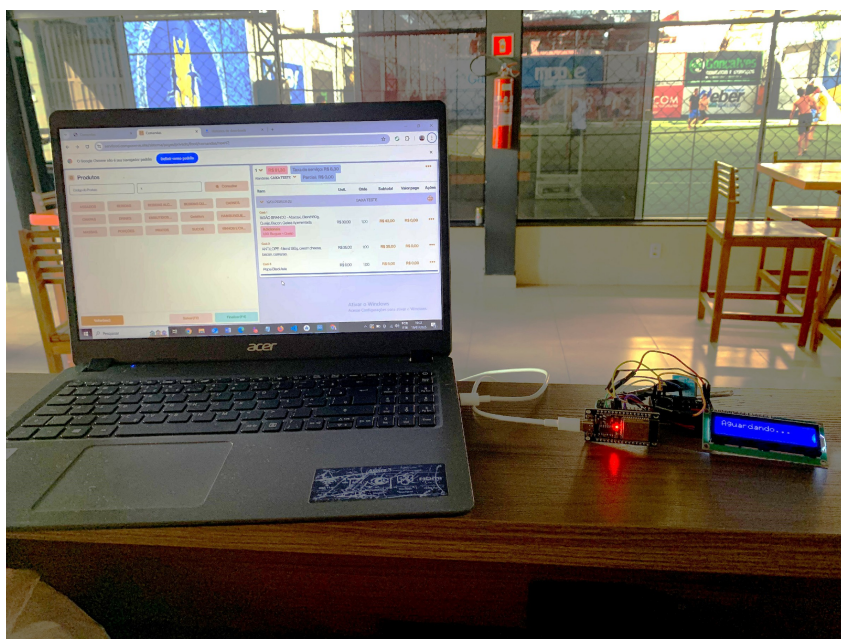
(Figura 33). Esse teste teve como objetivo avaliar o desempenho do sistema no ambiente operacional, considerando possíveis interferências e desafios práticos. Para esse experimento foram transmitidos 30 pacotes de mensagens, sendo 10 provenientes de atividades de impressão e 20 de mensagens pré-programadas.

**Figura 31 – Imagem da Recepção do Local**



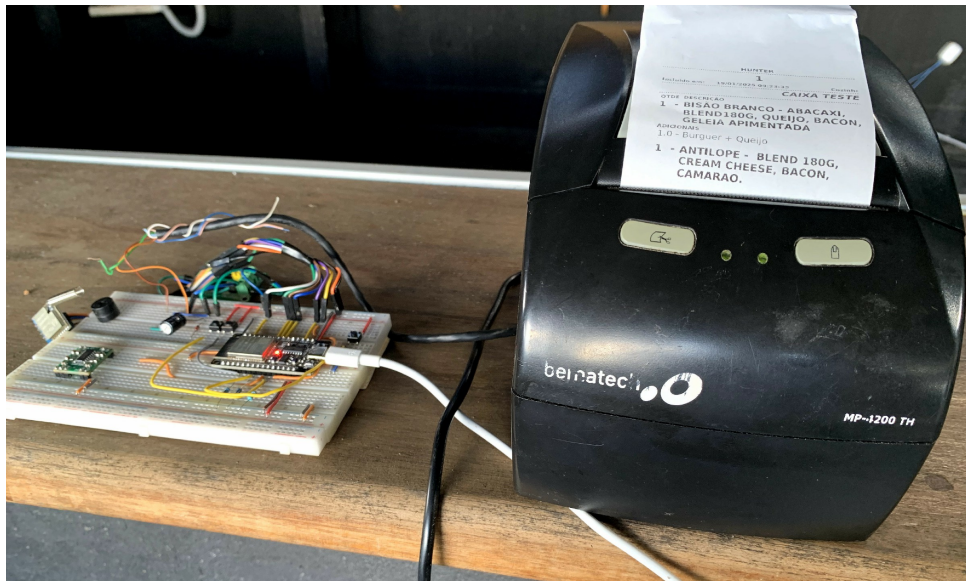
Fonte: O Autor

**Figura 32 – Computador de vendas sistema de notificação de impressão loRa**



Fonte: O Autor

**Figura 33 – Transmissor conectado a impressora - cozinha 2º andar**



Fonte: O Autor

#### 4.4.3.3 Terceiro teste - Restaurante

O terceiro experimento visou testar a máxima distância de comunicação do sistema dentro do estabelecimento. O transmissor permaneceu no segundo andar, como anteriormente, enquanto o receptor foi posicionado nos limites do perímetro do restaurante, conforme mostrado na Figura 34. O objetivo era avaliar o desempenho do sinal e identificar possíveis perdas ou deteriorações na comunicação.

**Figura 34 – Teste de distância máxima dentro do ambiente**



Fonte: O Autor

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Análise do Primeiro Teste: Ambiente Residencial

O primeiro teste demonstrou uma comunicação estável, com um RSSI médio de -85,1 dBm e um SNR médio de 11,4 dB. Esses valores indicam que o sinal estava relativamente forte e a relação sinal-ruído era boa, favorecendo a decodificação dos pacotes transmitidos. O RSSI mais forte registrado foi de -79 dBm, e o mais fraco foi de -89 dBm, o que demonstra uma oscilação pequena, possivelmente causada por obstáculos como móveis e paredes dentro do ambiente residencial. O SNR variou entre 10 dB e 13 dB, um intervalo considerado positivo para a comunicação LoRa, indicando que houve pouca interferência e que os pacotes foram transmitidos com alta confiabilidade. A taxa de sucesso na transmissão foi de 100%, ou seja, todos os pacotes enviados foram recebidos corretamente. O ambiente controlado contribuiu para esses bons resultados, já que havia poucas fontes de interferência e a distância entre os dispositivos era pequena (cerca de 5 metros). A Tabela 4 apresenta informações sobre o tamanho das mensagens transmitidas e os respectivos indicadores de qualidade do sinal, RSSI e SNR, do primeiro teste.

**Tabela 4 – Parâmetros de mensagens e qualidade do sinal do primeiro teste**

Mensagem	Tamanho (bytes)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
<b>Impressão bem sucedida</b>	27	-88	10
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-81	11
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-79	10
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-81	11
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-84	11
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-87	11
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-87	13
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-88	12
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-89	12
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-87	13

Fonte: Dados coletados pelo autor.

### 5.2 Análise do Segundo Teste: Ambiente Operacional no Restaurante

No segundo teste, realizado dentro do restaurante, a comunicação já começou a enfrentar desafios estruturais mais significativos. O RSSI médio caiu para -99,2 dBm, indicando que o sinal perdeu força devido à distância maior e à presença de mais barreiras físicas entre o transmissor e o receptor. O SNR médio também diminuiu para 10,17 dB, embora ainda estivesse em um patamar aceitável. O pior RSSI registrado foi de -113 dBm, enquanto o melhor foi de -89

dBm, mostrando uma maior variação na qualidade do sinal. Além disso, o SNR teve um valor mínimo de 6 dB, um indicativo de que, em algumas transmissões, o ruído estava começando a comprometer a estabilidade da comunicação. Apesar dessas dificuldades, todos os 30 pacotes foram recebidos com sucesso, demonstrando que o sistema conseguiu manter a comunicação funcional dentro do restaurante. No entanto, a maior oscilação no RSSI e no SNR sugere que algumas mensagens podem ter levado mais tempo para serem decodificadas ou podem ter sofrido degradação na qualidade da transmissão. A Tabela 5 informações sobre o tamanho das mensagens transmitidas e os respectivos indicadores de qualidade do sinal, RSSI e SNR, do segundo teste.

**Tabela 5 – Parâmetros de mensagens e qualidade do sinal do segundo teste**

<b>Mensagem</b>	<b>Tamanho (bytes)</b>	<b>RSSI (dBm)</b>	<b>SNR (dB)</b>
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-90	9
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-98	9
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-104	9
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-94	10
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-91	9
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-94	9
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-102	9
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-103	10
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-103	9
<b>Impressão bem sucedida</b>	28	-103	9
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-102	10
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-94	12
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-98	10
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-103	10
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-98	12
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-89	11
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-95	12
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	23	-95	12
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-106	11
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-106	11
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-97	12
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-102	10
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-89	11
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-100	10
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-108	9
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-99	11
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-98	11
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-100	11
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-102	11
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-113	6

**Fonte:** Dados coletados pelo autor.

### 5.3 Análise do Terceiro Teste: Distância Máxima no Restaurante

O terceiro teste foi o mais desafiador, pois visava testar o limite da comunicação ao posicionar o receptor nos extremos do restaurante. Como esperado, houve uma degradação significativa no sinal, com o RSSI médio caindo para  $-131,47$  dBm, um valor extremamente fraco que indica uma grande atenuação do sinal devido à distância e aos obstáculos físicos. Além disso, o SNR médio foi de  $-6,6$  dB, representando um nível crítico de ruído. Esse valor negativo de SNR significa que o ruído estava predominando sobre o sinal útil, tornando a transmissão instável e mais suscetível a erros. O pior caso registrado teve um SNR de  $-11$  dB, o que sugere que alguns pacotes podem ter sido difíceis de decodificar corretamente. O melhor RSSI observado foi de  $-129$  dBm, ainda assim um valor fraco, enquanto o pior foi de  $-136$  dBm, indicando que, em alguns momentos, o sinal estava no limite da detecção pelo receptor. O fato de todas as mensagens ainda terem sido recebidas mostra a robustez da comunicação LoRa, mas deixa claro que a qualidade da transmissão ficou bastante comprometida neste cenário.

Os resultados obtidos indicaram que as transmissões e recepções foram bem-sucedidas, o que pode ser atribuído ao fato de as distâncias avaliadas serem relativamente curtas em comparação com os limites teóricos de alcance da tecnologia LoRa. Esse fator indica que, apesar da degradação do sinal observada, a comunicação permaneceu dentro de um intervalo operacional adequado, garantindo a entrega dos dados de forma eficaz.

Apesar dos testes apresentarem resultados satisfatórios, foi observado um decréscimo no sinal, atingindo valores que indicam uma atenuação significativa, mas ainda dentro da margem de recepção do dispositivo. De acordo com o datasheet do módulo LoRa utilizado, seu limite de sensibilidade é de  $-148$  dBm. Nos testes realizados a uma distância de 50 metros, o RSSI registrou um valor de  $-136$  dBm, mesmo em um ambiente com poucos obstáculos entre os módulos.

Embora essa diferença em relação ao limite de sensibilidade seja relevante, se comparado com os dois primeiros testes, ainda há uma margem considerável antes da perda completa do sinal. No entanto, o fato de essa atenuação ocorrer em uma distância relativamente curta levanta questionamentos sobre a adequação desse módulo para aplicações que demandam comunicação eficiente em distâncias superiores. Os testes foram conduzidos utilizando as especificações padrão do fabricante, incluindo a antena fornecida com o dispositivo. Considerando que a estimativa do fabricante indica um alcance de até 10 km, torna-se relevante avaliar em que condições esse desempenho pode ser efetivamente alcançado. Contudo isso poderá ser abordado em trabalhos futuros. A Tabela 6 informações sobre o tamanho das mensagens transmitidas e os respectivos indicadores de qualidade do sinal, RSSI e SNR, do terceiro teste.

Tabela 6 – Parâmetros de mensagens e qualidade do sinal

Mensagem	Tamanho (bytes)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-134	-8
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-132	-7
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-133	-7
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-131	-6
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-132	-7
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-132	-7
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-132	-7
<b>SUPRIMENTO</b>	16	-133	-7
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-132	-7
<b>SUPRIMENTO</b>	17	-132	-7
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-130	-6
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-135	-10
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-136	-11
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-135	-10
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-133	-8
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-131	-7
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-130	-5
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-129	-5
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-130	-6
<b>Impressão bem sucedida</b>	29	-129	-5
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-130	-5
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-129	-5
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-131	-6
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-131	-6
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-130	-5
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-130	-6
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-131	-6
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-130	-5
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-130	-5
<b>SOLICITANDO GARÇOM</b>	24	-131	-6

Fonte: Dados coletados pelo autor.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo de monitoramento de impressão, servindo como recurso adicional aos sistemas de venda da empresa *Compuserve*. Os testes realizados demonstraram o sucesso do dispositivo, evidenciando sua eficiência nos cenários em que foi submetido. A fundamentação teórica apresentada destacou a versatilidade da tecnologia *LoRa* e seu potencial para aplicação em soluções *IoT*, que vão além do setor de automação comercial.

Apesar dos resultados positivos, fica claro que o protótipo ainda necessita de diversas melhorias para se tornar um produto comercial viável. Para que sua aplicação em ambientes de produção seja segura e eficiente, o dispositivo deve passar por avaliações mais criteriosas, garantindo a integridade das informações monitoradas e evitando impactos negativos na operação dos restaurantes onde se pretende empregá-lo. Entre as melhorias necessárias, destacam-se:

- Desenvolvimento de PCBs personalizadas para acomodar os componentes dos módulos transmissores de forma mais eficiente, reduzindo falhas de conexão e interferências.
- Aprimoramento do design do dispositivo, incluindo a criação de um case adequado para proteção dos componentes e melhor integração ao ambiente operacional.
- Otimização do circuito eletrônico, incluindo a substituição de componentes atuais por alternativas mais compactas e eficientes, como a troca de relés por transistores de chaveamento, reduzindo o consumo de energia e o espaço ocupado.
- Remoção do *display* do módulo de recepção, permitindo que as notificações sejam exibidas diretamente nos dispositivos onde os pedidos são processados, reduzindo custos.
- Consideração da troca do microcontrolador ESP32 por um modelo mais específico, visto que o ESP32 possui funcionalidades além das necessárias para este projeto, o que pode impactar no custo e eficiência do dispositivo.
- Necessidade de uma análise mais aprofundada sobre a concorrência entre eventos, especialmente em situações onde há envio simultâneo de notificações provenientes da detecção de impressão e do acionamento dos botões de mensagens pré-programadas, a fim de evitar conflitos e garantir o correto funcionamento do sistema.

Dentro das perspectivas futuras este estudo também despertou o interesse da empresa *Compuserve* em criar novos produtos para seu portfólio que utilizarão os mesmos princípios de funcionamento do sistema de notificação de impressão, entre eles pode-se destacar sensores de ocupação de mesa, sistema de mensagem rápida para comunicação entre os setores do estabelecimento e sistema de chamada de garçom. Todas essas soluções visam ser completamente integradas ao software de vendas da empresa, proporcionando o ecossistema integrado. Por fim, o

desenvolvimento deste projeto despertou um interesse ainda maior do autor à tecnologia *LoRa*, motivando a continuidade dos estudos e a busca por novas aplicações. A crescente adoção de soluções *IoT* para monitoramento de equipamentos indica que ainda há muito a ser explorado. Assim, este trabalho representa um ponto de partida para pesquisas futuras, contribuindo para o avanço da comunicação sem fio e a inovação no uso da Internet das Coisas.

## REFERÊNCIAS

- ALOKIUM. O que é LoRa?. Disponível em: <<https://alokium.com/blog/o-que-e-lora/>>. Acesso em: 6 abr. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Internet das Coisas. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/outorga/internet-das-coisas>>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- AL-FUQAHA, Ala et al. Internet of things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.
- AL-SARAWI, Shadi et al. Internet of Things (IoT) communication protocols. In: *2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT)*. IEEE, 2017. p. 685-690.
- AL-SHAREEDA, Mahmood A. et al. Long range technology for internet of things: review, challenges, and future directions. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, v. 12, n. 6, p. 3758-3767, 2023.
- ALT, Rainer. Digital transformation in the restaurant industry: current developments and implications. *Journal of Smart Tourism*, v. 1, n. 1, p. 69-74, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS (ABIA). Números do setor de alimentos e bebidas. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/>>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- BROOKSNET. TCP/IP printing overview. Disponível em: <[https://www-brooksnet-com.translate.google.com/tcpip-printing-overview?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt&\\_x\\_tr\\_pto=sge](https://www-brooksnet-com.translate.google.com/tcpip-printing-overview?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge)>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- CEGONI, Jonatan. Monitoramento inteligente do nível de resíduos em lixeiras utilizando tecnologia sem fio LoRa.
- CELCOIN. *Automação comercial: o que é, vantagens e como realizar*. Publicado em: 12 dez. 2023. Disponível em: <<https://www.celcoin.com.br/news/automacao-comercial/>>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- CIRKIT DESIGNER. How to use PAM8403: examples, pinouts, and specs. Disponível em: <<https://docs.circuitdesigner.com/component/7a322100-8e2c-4e64-9f3a-02fd6235e5ce/pam8403>>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- CONTROL ID. Impressora térmica de cupom. Disponível em: <<https://www.controlid.com.br/automacao-comercial/impressora-termica-de-cupom/>>. Acesso em: 17 jan. 2025.
- COSTA, Rafael Antônio Asatiany; MENDES, Luis Augusto Mattos. Evolução das Redes Sem Fio: Um Estudo Comparativo Entre Bluetooth e ZigBee. Universidade Presidente Antônio Carlos, dez. 2006.

- CROWLEY, A. M. Electronic data processing in food service management. In: SANTOS, W.; LOPES, N.; BARBOSA, J. J.; CHAVES, D.; VALENTE, J. C. (eds). *Nutrition and food science: present knowledge and utilization*. Boston: Springer, 1980. v. 1, p. 733-736. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1030-3\\_66](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1030-3_66)>. Acesso em: 23 out. 2024.
- ELETROGATE. Módulo optoacoplador 2 canais PC817. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/modulo-optoacoplador-2-canais-pc817>>. Acesso em: 27 fev. 2025.
- ELETRÔNICA ANALÓGICA. Diodo como retificador. *Eletrônica-Analógica2015*, 21 abr. 2015. Disponível em: <<https://eletronica-analogica2015.blogspot.com/2015/04/diodo-como-retificador.html>>. Acesso em: 24 fev. 2025.
- ELHADI, Sakina et al. Comparative study of IoT protocols. *Smart Application and Data Analysis for Smart Cities (SADASC'18)*, 2018.
- ENRIKO, I. Ketut Agung et al. LoRaWAN for smart street lighting solution in Pangandaran Regency. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, v. 7, n. 4, p. 2452-2459, 2023.
- ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-WROOM Series. [S.l.]: Espressif Systems, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents/esp32-wroom>>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- FOOTFALLCAM. Contagem de pessoas para estabelecimentos alimentares – Sistema de gerenciamento de filas e ocupação. Disponível em: <<https://www.footfallcam.com/pt/Industries/FoodEstablishments>>. Acesso em: 1 mar. 2025.
- FOROUZAN, Behrouz A.; MOSHARRAF, Firouz. *Redes de computadores: uma abordagem top-down*. AMGH Editora, 2013.
- FÜR DIE MASTER-PRÜFUNG, Schriftliche Prüfungsarbeit et al. Exploiting network printers. 2016.
- IBM. Internet Printing Protocol. Disponível em: <<https://www.ibm.com/docs/pt-br/i/7.5?topic=printers-internet-printing-protocol>>. Acesso em: 07 nov. 2024.
- GONZALEZ, Maria Julia. O impacto da tecnologia da informação nos pequenos negócios: um estudo de caso no setor de restaurantes. 2024.
- HANDSONTEC. I2C Serial Interface 1602 LCD Module. Disponível em: <[https://www.handsontec.com/dataspecs/module/I2C\\_1602\\_LCD.pdf](https://www.handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- KUROSE, James; ROSS, Keith. *Redes de computadores e Internet*. São Paulo: Pearson, 2006.
- LIMA, Karoline Rodrigues. Desenvolvimento de protótipo para automação de sistema de irrigação utilizando IoT. 2019.

LIMA, Willian Pires. Explorando as vantagens da rede LoRa em IoT: um estudo de caso com medição de distâncias usando o ESP32. 2023.

LORDIN, Denise. Consumer engagement during concerts: a study on using mobile interactive technology to enhance the live music event experience. 2017.

MAI, Natan José; SPOHN, Marco Aurélio. Revisão sistemática de Internet das Coisas aplicada em restaurantes e bares. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v. 15, n. 3, p. 48-62, 2023.

MELO, Paulo Roberto de Sousa; MÖLLER JUNIOR, Oscar. *Panorama da automação comercial no Brasil*. 1997.

MICROSOFT. Corrigir problemas de conexão e impressão de impressora no Windows. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/windows/corrigir-problemas-de-conex%C3%A3o-e-impress%C3%A3o-de-impressora-no-windows-fb830bff-7702-6349-33cd-9443fe987f73>. Acesso em: 12 mar. 2025.

MIRANDA, Bruno de Almeida. *SIMIA: Sistema Inteligente de Monitoramento e Interação Assistida para hospitais*. 2023.

MITRA, Rita; BROWN, Glenn; HUFFMAN, Melanie; ZHU, Hongyi. Short-Range Wireless Technologies. In: MITRA, Rita; BROWN, Glenn; HUFFMAN, Melanie; ZHU, Hongyi. *Telecommunications and Networking*. San Antonio: University of Texas at San Antonio, 2023. Disponível em: <https://utsa.pressbooks.pub/networking/chapter/short-range-wireless/>. Acesso em: 9 mar. 2025.

MOREIRA, Felipe Elias Álvares et al. O futuro da saúde digital: integração de wearables e monitoramento remoto de pacientes. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 17, n. 12, p. 01-14, 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/385576768\\_O\\_futuro\\_da\\_saude\\_digital\\_integracao\\_de\\_wearables\\_e\\_monitoramento\\_remoto\\_de\\_pacientes](https://www.researchgate.net/publication/385576768_O_futuro_da_saude_digital_integracao_de_wearables_e_monitoramento_remoto_de_pacientes). Acesso em: 10 nov. 2024.

NORONHA-MATH, M. E. S.; HAYASHI, V. T.; SILVA-ROSEMEIRE, R. D. S. V.; LIMA, M. C. N.; SILVA-ESTEVAM, L. O. E. A. A otimização das capacidades dinâmicas empregando Internet das Coisas e a vantagem competitiva das startups de tecnologia limpa.

NOVIDÁ. Beacons: como podem ser utilizados na sua operação? Disponível em: <https://www.novida.com.br/beacons/>. Acesso em: 8 mar. 2025.

OLIVEIRA, Pedro Flávio Dias Portela; DA LUZ, Mário Sérgio. Analysis of TELEVALE's wireless sound alert system: technological innovation approach applied to self-rescue zones of dams. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 9, n. 1, p. 93-106, 2024.

PARVIAINEN, Jaakko et al. Comparative efficiency analysis of LPR and Raw TCP/IP printing protocols. In: *IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS AND OPTICAL COMMUNICATIONS NETWORKS*, 2009, Cairo. Proceedings [...]. IEEE, 2009. p. 1-6.

PASTÓRIO, A. F. et al. Fundamentos de LoRaWAN–teoria e prática. *Sociedade Brasileira de Computação*, 2021.

RTEC RFID. Prateleiras inteligentes RFID em aplicações de gestão de armazéns e vantagens. RTEC RFID, 28 out. 2024. Disponível em: <<https://www.rtecrfid.com/pt/news/rfid-intelligent-shelves-in-warehouse-management-applications-and-advantages/>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

SANDHYA, MRSS; AP, NIVEDHA; TS, KAVITHA. Forest fire detection using LoRa by extension of IoT. In: *NATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCEMENTS IN COMMUNICATION*, 2020. Proceedings [...]. 2020.

SANTOS, Letícia Oliveira Claizoni; JUNIOR, Djalma Silva Guimarães. Tecnologia da informação na gestão de restaurantes: uma revisão sistemática. *Revista Hospitalidade*, p. 345-375, 2022.

SANTOS, Samuel. Restaurantes Inteligentes: Use Wi-Fi para Conquistar e Reter Clientes. *DT Network*, 9 jan. 2025. Disponível em: <<https://dtnetwork.com.br/restaurantes-inteligentes/>>. Acesso em: 1 fev. 2025.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. *Microelectronic circuits*. 4. ed. New York: Oxford University Press, 1995. p. 204.

SHARP CORPORATION. PC817X Series. Datasheet. Sheet No.: D2-A03101EN, 30 set. 2003. Disponível em: <<http://www.farnell.com/grh?mpn=PC817X2J000F>>. Acesso em: 23 fev. 2025.

SHEIKH, Sajid M.; MOLEFHI, Benjamin C.; ESENOGHO, Ebenezer. IoT-based sit-in restaurant waiter alert systems.

SHENZHEN AI-THINKER TECHNOLOGY CO., LTD. Ra 01S Specification V1.1. Shenzhen: Shenzhen Ai Thinker Technology Co., Ltd, 2020. 16 p. Disponível em: <<https://www.ai-thinker.com>>. Acesso em: 23 fev. 2025.

SIGALA, M. Integrating and exploiting information and communication technologies (ICT) in restaurant operations. *Journal of Foodservice Business Research*, v. 6, n. 3, p. 55–76, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1300/J369v06n03\\_05](https://doi.org/10.1300/J369v06n03_05)>. Acesso em: 23 out. 2024.

SIGFOX. Qualification | Sigfox build. Disponível em: <<https://build.sigfox.com/study>>. Acesso em: 1 dez. 2024.

SMARTER. Smarter Coffee – 2nd Generation: Bean to Cup Smart Coffee Maker. Smarter, 2025. Disponível em: <<https://smarter.am/products/smarter-coffee>>. Acesso em: 8 dez. 2024.

TEEL, John. Comparison of Wireless Technologies (Bluetooth, WiFi, BLE, Zigbee, Z-Wave, 6LoWPAN, NFC, WiFi). *Hackster.io*, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.hackster.io/news/comparison-of-wireless-technologies-bluetooth-wifi-ble-zigbee-z-wave-6lowpan-nfc-wifi-eece5593d80f>>.

Acesso em: 8 mar. 2025.

TEIXEIRA; ALMEIDA. Rede LoRa e protocolo LoRaWAN aplicados na agricultura de precisão no Brasil. *UTFPR*, 2017. Disponível em: <[inserirURL]>. Acesso em: 10 abr. 2024.

TEKTELIC. LoRaWAN vs. NB-IoT, Sigfox, and LTE: Which IoT Technology is Right for You? Disponível em: <<https://tektelic.com/expertise/lorawan-vs-nb-iot-sigfox-and-lte-comparison/>>.

Acesso em: 8 mar. 2025.

THE THINGS NETWORK. The Things Network. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

THETHINGSNETWORK. RSSI and SNR. 2024. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/rssi-and-snr/>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

VIJAYALAKSHMI, M. et al. Wireless messaging system for paralysis patients. *International Journal*, v. 12, n. 6, 2023.

YABE, Daniela Godinho et al. Análise quantitativa e qualitativa da experiência do usuário em confiabilidade de sistemas operacionais. 2018.

YSSY. Como a instabilidade da rede afeta os negócios. *Yssy*, 2024. Disponível em: <<https://yssy.com.br/update/como-a-instabilidade-da-rede-afeta-os-negocios/>>. Acesso em: 23 out. 2024.

## **Apêndices**





## APÊNDICE C – CÓDIGO DO TRANSMISSOR

```

1 //TRANSMISSOR
2 #include <Wire.h>
3 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4 #include <RH_RF95.h>
5 #include <SPI.h>
6 #include "SoundData.h" // Arquivo de som para a primeira melodia
7 #include "SecondSoundData.h" // Novo arquivo de som para a segunda
   melodia
8 #include "XT_DAC_Audio.h"
9
10 // Definições para o LCD
11 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // LCD 1602 I2C com endereço 0x27
12
13 // Definições para o LoRa
14 #define RFM95_CS 5
15 #define RFM95_RST 14
16 #define RFM95_INT 2
17 #define RF95_FREQ 433.0
18 RH_RF95 rf95(RFM95_CS, RFM95_INT);
19
20 // Definições dos pinos
21 const int analogPin = 34; // Pino GPIO34 para detecção de tensão (1
   evento)
22 const int buttonPin1 = 27; // Pino GPIO27 para o primeiro botão
23 const int buttonPin2 = 33; // Pino GPIO26 para o segundo botão
24 const int relayPin = 25;
25 const int buzzerPin = 15;
26 const int melodyPin = 26; // Pino de saída para tocar melodia no alto-
   falante (LM386)
27 const int LED_PIN = 16;
28
29 unsigned long lastPrintTime = 0;
30
31 XT_Wav_Class Sound(sample); // Objeto para o som da primeira
   melodia
32 XT_Wav_Class SecondSound(secondSample); // Novo objeto para o som da
   segunda melodia
33 XT_DAC_Audio_Class DacAudio(melodyPin, 0);
34
35
36 void setup() {
37     lcd.init();
38     lcd.backlight();
39
40     Serial.begin(9600);

```

```
41 pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
42 if (!rf95.init()) {
43     Serial.println("LoRa initialization failed!");
44     while (1);
45 }
46 Serial.println("LoRa initialization successful!");
47 if (!rf95.setFrequency(RF95_FREQ)) {
48     Serial.println("Error setting frequency!");
49     while (1);
50 }
51 Serial.print("Frequency set to: ");
52 Serial.println(RF95_FREQ);
53
54 rf95.setTxPower(20); // Potência de transmissão
55 rf95.setSpreadingFactor(12); // Spreading Factor para 12 (máximo
56     alcance)
57 rf95.setSignalBandwidth(125000); // Largura de banda 125 kHz (melhor
58     alcance)
59 rf95.setCodingRate4(5); // Coding Rate 4/5 (robustez)
60
61 // Configuração dos pinos
62 pinMode(analogPin, INPUT);
63 pinMode(buttonPin1, INPUT); // Define GPIO27 como entrada
64 pinMode(buttonPin2, INPUT); // Define GPIO33 como entrada
65 pinMode(relayPin, OUTPUT);
66 pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
67 pinMode(melodyPin, OUTPUT);
68 digitalWrite(relayPin, LOW);
69 digitalWrite(melodyPin, LOW);
70 }
71
72 void loop() {
73     // Monitorar a tensão no pino GPIO34 (evento 1)
74     int voltage = analogRead(analogPin);
75     float voltageInMillivolts = (voltage / 4095.0) * 3300.0;
76     Serial.print("Tensão (GPIO34): ");
77     Serial.print(voltageInMillivolts);
78     Serial.println(" mV");
79
80     if (voltageInMillivolts >= 2000) {
81         activateSystem("Impressão bem sucedida", 1); // Ativa o sistema com
82             mensagem específica
83     }
84
85     // Verificar se o botão 1 ou botão 2 foi pressionado
86     if (digitalRead(buttonPin1) == HIGH) {
87         activateSystem("SOLICITANDO GACOM", 2); // Mensagem específica
88             para o botão 1
89     }
90 }
```

```
84 }
85 if (digitalRead(buttonPin2) == HIGH) {
86     activateSystem("SUPRIMENTO", 3); // Mensagem específica para o
        bot o 2
87 }
88
89 // Receber mensagens do receptor
90 if (rf95.available()) {
91     uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
92     uint8_t len = sizeof(buf);
93     if (rf95.recv(buf, &len)) {
94         buf[len] = '\0'; // Adiciona terminador nulo
95         String receivedMessage = String((char*)buf);
96         displayMessage(receivedMessage); // Exibe a mensagem no LCD
97         Serial.println("Mensagem recebida:␣" + receivedMessage);
98     }
99 }
100
101 // Limpar o LCD após 5 segundos sem eventos
102 if (millis() - lastPrintTime >= 5000) {
103     lcd.clear();
104 }
105 }
106
107 void activateSystem(String message, int eventType) {
108     lcd.clear();
109     delay(200);
110
111     // Ativa o rel e o buzzer
112     digitalWrite(relayPin, HIGH);
113     digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
114
115     // Verifica o tipo de evento para tocar a melodia correspondente
116     if (eventType == 1) {
117         playMelody1(); // Toca a primeira melodia (GPIO34)
118     } else if (eventType == 2) {
119         playMelody2(); // Toca a segunda melodia (GPIO27)
120     } else if (eventType == 3) {
121         playMelody2(); // Toca a segunda melodia (GPIO33)
122     }
123
124     // Envia a mensagem LoRa de acordo com o evento
125     digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
126     rf95.send((uint8_t*)message.c_str(), message.length());
127     rf95.waitPacketSent();
128     Serial.println("Mensagem enviada:␣" + message);
129 }
```

```
130     digitalWrite(LED_PIN, LOW);
131     digitalWrite(relayPin, LOW);
132     digitalWrite(buzzerPin, LOW);
133
134     lastPrintTime = millis();
135 }
136
137 void playMelody1() {
138     // Toca a primeira melodia
139     digitalWrite(melodyPin, HIGH);
140     while (Sound.Playing) {
141         DacAudio.FillBuffer();
142     }
143     if (!Sound.Playing) {
144         DacAudio.Play(&Sound);
145     }
146     digitalWrite(melodyPin, LOW);
147 }
148
149 void playMelody2() {
150     // Toca a segunda melodia
151     digitalWrite(melodyPin, HIGH);
152     while (SecondSound.Playing) {
153         DacAudio.FillBuffer();
154     }
155     if (!SecondSound.Playing) {
156         DacAudio.Play(&SecondSound);
157     }
158     digitalWrite(melodyPin, LOW);
159 }
160
161 void displayMessage(String message) {
162     lcd.clear();
163     lcd.print(message.substring(0, 16)); // Primeira linha da mensagem
164     lcd.setCursor(0, 1);
165     lcd.print(message.substring(16)); // Segunda linha da mensagem (se
166         houver)
167     delay(500);
168 }
```

Listing C.1 – Código do Arduino

## APÊNDICE D – CÓDIGO DO RECEPTOR

```

1 // RECEPTOR
2
3 #include <Wire.h>
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5 #include <RH_RF95.h>
6 #include <SPI.h>
7
8 // Definições para o LCD
9 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Inicializa o LCD 1602 I2C com
   endereço 0x27 e dimensões 16x2
10
11 // Definições para o LoRa
12 #define RFM95_CS 5 // Pino CS conectado ao pino GPIO5 (D5) no ESP32
13 #define RFM95_RST 14 // Pino RST conectado ao pino GPIO14 (D14) no
   ESP32
14 #define RFM95_INT 2 // Pino INT conectado ao pino GPIO2 (D2) no ESP32
15 #define RF95_FREQ 433.0 // Frequência LoRa
16
17 RH_RF95 rf95(RFM95_CS, RFM95_INT);
18
19 // Definições dos pinos
20 const int buttonPin1 = 27; // Pino GPIO27 para o primeiro botão
21 const int buttonPin2 = 26; // Pino GPIO26 para o segundo botão
22 const int LED_PIN = 16; // Pino LED para indicar recepção
23
24
25 unsigned long lastMessageTime = 0; // Variável para armazenar o tempo
   da última mensagem recebida
26
27 void setup() {
28 // Configuração do LCD
29 lcd.init();
30 lcd.backlight();
31
32 // Configuração do rádio LoRa
33 Serial.begin(9600);
34 pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
35 pinMode(buttonPin1, INPUT); // Configuração do primeiro botão como
   entrada
36 pinMode(buttonPin2, INPUT); // Configuração do segundo botão como entrada
37 if (!rf95.init()) {
38 Serial.println("LoRa initialization failed!");
39 while (1);
40 }
41 Serial.println("LoRa initialization successful!");

```

```
42  if (!rf95.setFrequency(RF95_FREQ)) {
43      Serial.println("Error setting frequency!");
44      while (1);
45  }
46  Serial.print("Frequency set to: ");
47  Serial.println(RF95_FREQ);
48
49  // Configura es de longo alcance para o LoRa
50  rf95.setSpreadingFactor(12); // Spreading Factor para 12 (m ximo
    alcance)
51  rf95.setSignalBandwidth(125000); // Largura de banda 125 kHz (melhor
    alcance)
52  rf95.setCodingRate4(5); // Coding Rate 4/5 (robustez)
53 }
54
55 void loop() {
56     if (rf95.available()) {
57         // Mensagem recebida, processa-a
58         uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
59         uint8_t len = sizeof(buf);
60         if (rf95.recv(buf, &len)) {
61             digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // Acende o LED para indicar
                recep o
62             buf[len] = '\0'; // Adiciona terminador nulo para usar a mensagem
                como uma string
63             String receivedMessage = String((char*)buf);
64
65             // Exibe a mensagem recebida no monitor serial
66             Serial.print("Mensagem recebida: ");
67             Serial.println(receivedMessage);
68
69             // Exibe a mensagem no display LCD
70             displayMessage(receivedMessage);
71
72             digitalWrite(LED_PIN, LOW); // Desliga o LED ap s a recep o
73         }
74     }
75
76     // Verifica se os bot es foram pressionados e envia mensagens
77     if (digitalRead(buttonPin1) == HIGH) {
78         sendMessage("Mensagem do Botao 1");
79         delay(200); // Debounce
80     }
81     if (digitalRead(buttonPin2) == HIGH) {
82         sendMessage("Mensagem do Botao 2");
83         delay(200); // Debounce
84     }
```

```
85
86 // Verifica se passaram 5 segundos desde a ltima mensagem recebida
87 if (millis() - lastMessageTime >= 5000) {
88     if (lastMessageTime != 0) { // Se a ltima mensagem recebida n o
89         foi h 5 segundos
90             displayWaiting();
91         } else {
92             displayWaiting(); // Exibe "Aguardando..." se nenhuma mensagem foi
93             recebida
94         }
95     }
96 }
97
98 void sendMessage(String message) {
99     // Envia a mensagem via LoRa
100     rf95.send((uint8_t*)message.c_str(), message.length());
101     rf95.waitPacketSent();
102     Serial.println("Mensagem_Enviada:_ " + message);
103     lastMessageTime = millis(); // Atualiza o tempo da ltima mensagem
104     recebida
105 }
106
107 void displayMessage(String message) {
108     lcd.clear(); // Limpa o display
109     lcd.print(message.substring(0, 16)); // Exibe a primeira linha
110     lcd.setCursor(0, 1); // Posiciona o cursor na segunda linha
111     lcd.print(message.substring(16)); // Exibe a segunda linha, se houver
112     lastMessageTime = millis(); // Atualiza o tempo da ltima mensagem
113     recebida
114 }
115
116 void displayWaiting() {
117     lcd.setCursor(0, 0); // Posiciona o cursor na primeira linha
118     lcd.print("Aguardando..."); // Exibe mensagem de espera
119     lcd.setCursor(0, 1); // Posiciona o cursor na segunda linha
120     lcd.print("XXXXXXXXXXXX");
121 }
```

Listing D.1 – Código do Arduino