



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

DANRLEI PANTOJA FRANCO

**ESTUDO DA TECNOLOGIA LoRa PARA AUTOMAÇÃO DE CONDOMÍNIOS E  
PROPRIEDADES RURAIS**

TUCURUÍ-PA  
2025

DANRLEI PANTOJA FRANCO

**ESTUDO DA TECNOLOGIA LoRa PARA AUTOMAÇÃO DE CONDOMÍNIOS E  
PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Computação, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Marco José de Sousa.

TUCURUÍ-PA

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P198e

Pantoja Franco, Danrlei.

Estudo da tecnologia LoRa para automação de condomínios e propriedades rurais / Danrlei Pantoja Franco.

— 2025.

42 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marco José de Sousa  
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia da Computação, Tucuruí, 2025.

1. LoRa. 2. MQTT. 3. Automação residencial. 4. IoT.  
5. home assistant. I. Título.

CDD 621.3811

---

DANRLEI PANTOJA FRANCO

**ESTUDO DA TECNOLOGIA LoRa PARA AUTOMAÇÃO DE CONDOMÍNIOS E  
PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Computação, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Marco José de Sousa.

Data da Defesa: 02 de Abril de 2025

Conceito: Excelente

**Banca Examinadora**

---

**Prof. Dr. Marco José de Sousa**

Faculdade de Eng. Computação – UFPA

Orientador

---

**Prof. Dr. Renato Luz Cavalcante**

Faculdade de Eng. Computação – UFPA

Membro da Banca

---

**Prof. Dr. Otávio Noura Teixeira**

Faculdade de Eng. Computação – UFPA

Membro da Banca

TUCURÚ-PA

2025

*Dedico este trabalho, com todo o meu carinho e gratidão, aos meus pais, pelo apoio incondicional, pelos ensinamentos e por sempre acreditarem em mim. Aos meus irmãos, por torcerem por mim ao longo da jornada. E, especialmente, à minha esposa, por estar ao meu lado nos momentos difíceis, oferecendo amor, força e compreensão. Sem o incentivo e o apoio de vocês, a realização deste sonho não teria sido possível.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, cuja orientação me trouxe até este momento, proporcionando bênçãos em minha vida e sustentando as conquistas que foram fundamentais para minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, a quem tenho imensa honra e respeito, sou profundamente grato pela educação que me proporcionaram, que me permitiu chegar até aqui. Sua assistência financeira e emocional foi essencial, sempre se colocando à disposição nos momentos em que mais precisei.

Aos meus irmãos que sempre torceram por mim, enviando-me votos de felicidade e sucesso em minha vida e carreira, expresso meu sincero agradecimento.

À minha esposa e minhas filhas, que estiveram ao meu lado, oferecendo companhia, apoio, amor e carinho, sou eternamente grato.

Ao meu professor e orientador, Dr. Marco José de Sousa, deixo registrado meu reconhecimento pela generosidade em aceitar me orientar, pela sua disponibilidade, paciência e pela orientação que me conduziu pelo caminho adequado, possibilitando a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que me apoiaram durante essa trajetória que tornou possível a elaboração deste trabalho e a concretização da minha formação acadêmica.

*“E, se algum de vós tem falta de sabedoria, peça-a a Deus, que a todos dá liberalmente e não o lança em rosto; e ser-lhe-á dada.”*

*(Tiago 1:5)*

## RESUMO

A automação residencial e a Internet das Coisas (IoT) vêm se consolidando como tecnologias fundamentais para proporcionar maior segurança por meio de sistemas de monitoramento, aumentar o conforto por meio de assistentes inteligentes e reduzir o consumo energética com sensores automatizados. No entanto, a maioria das soluções atuais baseia-se no Wi-Fi, que apresenta limitações de alcance e consumo energético elevado. Neste contexto, este trabalho propõe a utilização da tecnologia LoRa (*Long Range*) como alternativa para comunicação sem fio de longa distância em sistemas de automação de condomínios e propriedades rurais. Foi desenvolvido um protótipo baseado no microcontrolador ESP32 LoRa V3, integrado ao *Home Assistant* e ao protocolo de comunicação MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), permitindo o monitoramento e controle remoto de dispositivos elétricos e fechaduras eletrônicas. A implementação foi validada por meio de testes práticos, que avaliaram o alcance da comunicação LoRa em diferentes cenários, incluindo áreas urbanas e rurais. Os resultados demonstraram que o LoRa possibilita um controle eficiente a longas distâncias, superando as limitações do Wi-Fi e outras tecnologias sem fio. Além disso, sua operação independente da infraestrutura de internet o torna uma solução viável para locais remotos. Como continuidade deste estudo, sugere-se a implementação de uma rede *mesh* LoRa para ampliar ainda mais o alcance, bem como a adoção de mecanismos de criptografia para aumentar a segurança da comunicação.

**Palavras-chave:** automação residencial; LoRa; IoT; home assistant; MQTT.

## ABSTRACT

Home automation and the Internet of Things (IoT) have become fundamental technologies for enhancing security, through monitoring systems, increasing comfort with smart assistants, and reducing energy consumption with automated sensors. However, most current solutions rely on Wi-Fi, which has limitations in range and power consumption. In this context, this study proposes the use of LoRa (Long Range) as an alternative for long-distance wireless communication in condominium and rural property automation systems. A prototype was developed using the ESP32 LoRa V3 microcontroller, integrated with *Home Assistant* and the MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) communication protocol, enabling remote monitoring and control of electrical devices and electronic locks. The implementation was validated through practical tests that assessed LoRa's communication range in different scenarios, including urban and rural areas. The results demonstrated that LoRa enables efficient long-range control, overcoming the limitations of Wi-Fi and other wireless technologies. Furthermore, its ability to operate independently of internet infrastructure makes it a viable solution for remote locations. As a continuation of this study, future improvements include implementing a LoRa mesh network to extend coverage and adopting encryption mechanisms to enhance communication security.

**Keywords:** Home automation, LoRa, IoT, Home Assistant, MQTT.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aplicações LoRa em diferentes cenários tecnológicos. ....	20
Figura 2 – Comparação banda larga e distância do LoRa com outras tecnologias de comunicação. ....	21
Figura 3 – Visão geral do Home Assistant integrada a diversos dispositivos.....	22
Figura 4 – Placa de Desenvolvimento ESP32 Modelo ESP32-S3-WROOM-2. ....	24
Figura 5 – Placa de Desenvolvimento baseada no chip LoRa SX1276. ....	25
Figura 6 – ESP32 e LoRa integrados a uma placa de desenvolvimento.....	27
Figura 7 – Especificações Técnicas da placa de desenvolvimento.....	27
Figura 8 – Definição das pinagens do modelo ESP32 LoRa V3. ....	27
Figura 9 – Home Assistant integrado a vários dispositivos. ....	28
Figura 10 – Exemplo <i>Dashboard</i> interativo no Home Assistant. ....	29
Figura 11 – Comunicação MQTT. ....	30
Figura 12 – <i>File</i> Edite e MQTT integrados ao Home Assistant.....	32
Figura 13 – Arquivo <i>configure.yaml</i> no <i>file</i> edite.....	33
Figura 14 – Arquivo <i>automation.yaml</i> no <i>file</i> edite.....	33
Figura 15 – MQTT configurado com tópico de envio e recebimento de mensagens.	34
Figura 16 – Sensor LDR.....	35
Figura 17 – Sensor de contato magnético.....	36
Figura 18 Chave 3 terminais SPDT.....	36
Figura 19 – Monitoramento do protótipo com iluminação e fechadura ativadas.....	38
Figura 20 – Leitura do sensor LDR ao longo do tempo.....	38
Figura 21 – Entidades criadas para monitoramento e automação no Home Assistant - Parte 1.....	39
Figura 22 – Entidades criadas para monitoramento e automação no Home Assistant - Parte 2.....	39
Figura 23 – Componentes integrados à placa ESP32 LoRa com sistemas ativados. ....	40
Figura 24 – Conexão dos dispositivos ao microcontrolador ESP32. ....	41
Figura 25 – Distância entre os pontos de comunicação.....	42
Figura 26 – Pontos de comunicação e obstáculos no trajeto. ....	43

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>BLE</b>	Bluetooth Low Energy
<b>CPU</b>	Central Processing Unit. Consulte
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>LDR</b>	Light Dependent Resistor
<b>LEDs</b>	Light Emitting Diode
<b>LoRa</b>	Long Range
<b>M2M</b>	Machine-to-Machine
<b>MQTT</b>	Message Queuing Telemetry Transport
<b>OLED</b>	Display Organic Light Emitting Diode
<b>SPDT</b>	Single Pole Double Throw
<b>USB</b>	Universal Serial Bus

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Automação Residencial.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Principais Tipos de Automação Residencial .....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Automação de iluminação .....	17
2.2.2 Automação de climatização.....	18
2.2.3 Automação de segurança.....	18
<b>2.3 Tecnologias de Comunicação.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Zigbee .....	19
2.3.2 Z-Wave.....	19
2.3.3 Bluetooth .....	19
2.3.4 Wi-Fi.....	19
2.3.5 LoRa.....	20
<b>2.4 Plataforma de Integração e Automação Residencial: Home Assistant .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Plataforma ESP32.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Placa de Desenvolvimento .....</b>	<b>23</b>
2.6.1 Módulo ESP32 Com Placa de Desenvolvimento.....	23
2.6.2 Módulo LoRa Com Placa de Desenvolvimento .....	24
<b>3. METODOLOGIA APLICADA NO MODELO PROPOSTO.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 ESP32 LoRa da HELTEC.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 HOME ASSISTANT .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Protocolo de comunicação MQTT .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Instalação e configuração do HOME ASSISTANT .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Instalações das integrações MQTT e <i>file</i> edite no HOME ASSISTANT.....</b>	<b>32</b>
<b>3.6 Sensores atuadores utilizados.....</b>	<b>34</b>

<b>4 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Tela de monitoramento e controle do sistema .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Protótipo elaborado .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3 Circuito elaborado.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Testes práticos .....</b>	<b>41</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A automação residencial, também conhecida como domótica, tem se consolidado como uma tendência crescente nos últimos anos, oferecendo uma série de opções voltadas para segurança, economia e conforto, diferenciando a maneira como os moradores interagem com seus lares.

Por meio da utilização de tecnologias, como sensores e sistemas de controle remoto, é viável integrar e automatizar uma ampla gama de dispositivos, incluindo sistemas de iluminação, climatização, refrigeração, portas equipadas com fechaduras eletrônicas, além de eletrodomésticos como cafeteiras, panelas elétricas (*Air Fryer*) e micro-ondas. Essa iniciativa tem como objetivo proporcionar maior eficiência aos ambientes em que se deseja implementá-la.

Com o avanço da Internet das Coisas (IoT), as soluções de automação residencial têm se fundamentado, de forma predominante, no Wi-Fi, como o principal meio de comunicação entre os dispositivos conectados. Contudo, uma das limitações inerentes a esse sistema está em seu alcance de comunicação limitado, o que pode comprometer a eficiência em situações que demandam comunicação a longas distâncias. Esse cenário destaca a importância de explorar tecnologias alternativas capazes de superar essa limitação e atender a esse tipo de necessidade.

Em busca de uma solução para essa limitação, este trabalho propõe a utilização da tecnologia LoRa (*Long Range*) como meio de comunicação entre os dispositivos de automação, já que ela atende a essa necessidade, mesmo quando os dispositivos estejam a quilômetros de distância.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de automação residencial que controle dispositivos elétricos e portas eletrônicas, utilizando a tecnologia LoRa como meio de comunicação principal. A proposta visa não apenas proporcionar conveniência, mas também aumentar a segurança e a economia em ambientes diversos, evitando prejuízos causados por situações específicas.

Para ilustrar esses benefícios, pode-se citar o risco de alimentos estragarem devido ao esquecimento de ligar o freezer. O uso do sistema também pode evitar aumentos significativos na tarifa de energia, causados pelo esquecimento de desligar as centrais de ar-condicionado. Além disso, contribui para a segurança ao reduzir a possibilidade de invasões e perdas, caso as portas da residência sejam deixadas abertas.

Embora as funcionalidades deste sistema possam ser aplicadas a diversas situações, o foco deste estudo será especificamente no controle de equipamentos e dispositivos para que operem ou permaneçam em seu estado adequado apenas nos momentos necessários, garantindo eficiência e prevenindo riscos ou prejuízos em diferentes contextos.

Exemplos práticos incluem o controle remoto do fechamento de portas de segurança, ajudando a prevenir invasões e furtos. Além disso, o gerenciamento eficiente de sistemas de refrigeração reduz o consumo de energia e os custos financeiros.

Outra aplicação é o monitoramento de equipamentos, como bombas d'água, ventilação e iluminação. Esse controle garante que operem apenas quando necessário, aumentando sua durabilidade e prevenindo danos.

Além disso, o sistema pode enviar notificações ao usuário caso algum desses dispositivos esteja inoperante ou não funcione conforme esperado, garantindo uma resposta rápida e evitando prejuízos. Adicionalmente, o sistema foi submetido a testes para avaliar sua eficácia em aspectos como alcance e facilidade de implementação.

A escolha do LoRa como meio de comunicação é justificada por suas características de longo alcance e taxa de transmissão de dados suficiente para operar normalmente com sinalização de longo alcance, essas características o torna uma solução ideal para ambientes onde a troca de grandes volumes de dados não é necessária.

Ao contrário do Wi-Fi, o LoRa opera de maneira independente da infraestrutura de internet, garantindo que o sistema de automação continue a funcionar em casos de falhas de rede. Além disso, a adoção dessa tecnologia em ambientes urbanos e rurais pode representar um avanço significativo no desenvolvimento de soluções mais robustas e acessíveis de automação.

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos. O primeiro trata-se da introdução, onde será apresentado o tema deste trabalho. O segundo capítulo, refere-se ao referencial teórico, abordando os tipos de automação residencial, as tecnologias de comunicação aplicáveis, como Zigbee, Z-wave, Bluetooth, Wi-Fi e LoRa. O terceiro capítulo apresenta a metodologia aplicada ao modelo proposto, detalhando os componentes utilizados, incluindo o ESP32 LoRa da Heltec, a plataforma *Home Assistant*, o protocolo de comunicação MQTT e sensores utilizados.

O quarto capítulo apresenta e aplicação do modelo proposto com a apresentação da plataforma de integração *Home Assistant* para monitoramento e controle do sistema, a construção do protótipo e circuito elaborado, além dos testes práticos para validação do sistema. Por fim, o quinto capítulo traz as considerações finais, destacando as contribuições do trabalho e apontando possíveis direções para futuros aprimoramentos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo, são explicados de maneira concisa os principais conceitos utilizados no projeto apresentado neste trabalho.

### **2.1 Automação Residencial**

A utilização de tecnologias para automação de ambientes residenciais urbanos e rurais, como casas, condomínios e hotéis, visa proporcionar benefícios como conforto, eficiência, praticidade, economia e produtividade, além de valorizar a propriedade e seus usuários.

No cenário atual, o foco no desenvolvimento desse setor está em reduzir os custos dos dispositivos e aumentar sua integração, para permitir o uso compartilhado dos recursos. Dessa forma, a maioria das funções domésticas pode ser gerida remotamente ou via Internet, o que facilita o acesso a novos serviços de comunicação, incluindo alertas, chamadas de voz via IP (*Internet Protocol*), intercomunicação e troca de mensagens entre os residentes ao longo da casa (WORTMEYER; FREITAS; CARDOSO, 2005).

A automação residencial, refere-se à integração de tecnologia em residências para permitir o controle remoto e automatizado de sistemas e dispositivos de uma residência. Isso inclui o gerenciamento de iluminação, temperatura e eletrodomésticos, proporcionando conforto e conveniência.

Além disso, a automação residencial pode aumentar a segurança da casa, permitindo monitoramento em tempo real e alertas imediatos em caso de atividades suspeitas. Com a capacidade de programar e personalizar o funcionamento dos dispositivos, os moradores podem criar ambientes que se adaptam às suas necessidades e preferências, tornando o dia a dia mais prático e agradável.

### **2.2 Principais Tipos de Automação Residencial**

#### **2.2.1 Automação de iluminação**

A automação residencial pode ser classificada em várias categorias, conforme a aplicação e a tecnologia utilizada. Um dos principais tipos é a automação de iluminação, que permite o controle da iluminação em toda a residência, possibilitando

o acionamento, desligamento ou ajuste da intensidade das luzes de forma automática ou remota.

### 2.2.2 Automação de climatização

Outro aspecto importante é a automação de climatização, que regula sistemas de aquecimento e ar-condicionado. Essa categoria ajusta a temperatura automaticamente com base nas leituras de sensores de temperatura, promovendo um ambiente mais confortável e eficiente em termos de economia de energia.

### 2.2.3 Automação de segurança

A automação de segurança é fundamental para a proteção do lar, envolvendo sistemas de monitoramento, câmeras, sensores de movimento e alarmes. Esses dispositivos trabalham em conjunto para garantir a segurança da residência e oferecer tranquilidade aos moradores.

Além disso, a automação de entretenimento gerencia sistemas de som, televisores e dispositivos de streaming, permitindo a criação de ambientes personalizados para lazer e diversão.

Por fim, a automação de eletrodomésticos controla aparelhos como máquinas de lavar, geladeiras e fornos, proporcionando a conveniência de gerenciar esses dispositivos remotamente.

Essas categorias representam algumas das principais formas de automação residencial, refletindo a crescente integração de tecnologias inteligentes no cotidiano das pessoas e destacando o potencial para melhorar a qualidade de vida e a eficiência energética nos lares modernos.

## 2.3 Tecnologias de Comunicação

As tecnologias de comunicação desempenham um papel fundamental na automação residencial, permitindo que dispositivos se conectem entre si e sejam controlados de forma remota. Entre as principais tecnologias, destacam-se a Alexa, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, Wi-Fi e LoRa, cada uma com características específicas que atendem a diferentes necessidades.

### 2.3.1 Zigbee

O Zigbee é um protocolo de comunicação de baixo consumo de energia, projetado para criar redes em malha. Ele permite que dispositivos se comuniquem de maneira eficiente, mesmo em ambientes com muitos obstáculos.

Essa tecnologia é especialmente adequada para aplicações de automação residencial, pois pode conectar uma ampla variedade de dispositivos, como sensores, lâmpadas e termostatos. A comunicação em malha significa que, se um dispositivo falhar, outros podem continuar transmitindo informações, aumentando a confiabilidade da rede.

### 2.3.2 Z-Wave

O Z-Wave é semelhante ao Zigbee, também sendo um protocolo de comunicação em malha, mas opera em uma frequência diferente, o que o torna menos suscetível a interferências de outros dispositivos sem fio, como Wi-Fi.

O Z-Wave é amplamente utilizado em sistemas de segurança e automação de residências, permitindo o controle de dispositivos como fechaduras, câmeras e sensores. Ele oferece uma instalação simples e uma comunicação confiável entre os dispositivos conectados.

### 2.3.3 Bluetooth

O Bluetooth é uma tecnologia de comunicação de curto alcance, ideal para conectar dispositivos que estão próximos uns dos outros. Ele é frequentemente utilizado para conectar smartphones a dispositivos de automação, como lâmpadas inteligentes e alto-falantes.

O Bluetooth permite a troca de dados entre dispositivos, mas sua principal limitação é o alcance, que geralmente não ultrapassa 10 a 30 metros. No entanto, sua facilidade de uso e configuração o torna popular em aplicações de automação residencial.

### 2.3.4 Wi-Fi

O Wi-Fi é uma das tecnologias de comunicação mais comuns, permitindo a conexão de dispositivos à internet via redes sem fio. Ele oferece alta largura de banda, o que possibilita a transmissão de grandes quantidades de dados.

Dispositivos que utilizam Wi-Fi podem ser controlados por meio de aplicativos em smartphones ou assistentes virtuais, permitindo uma automação completa da casa. No entanto, o Wi-Fi pode ser suscetível a congestionamentos em ambientes com muitos dispositivos conectados, além de ter um alcance limitado em grandes residências.

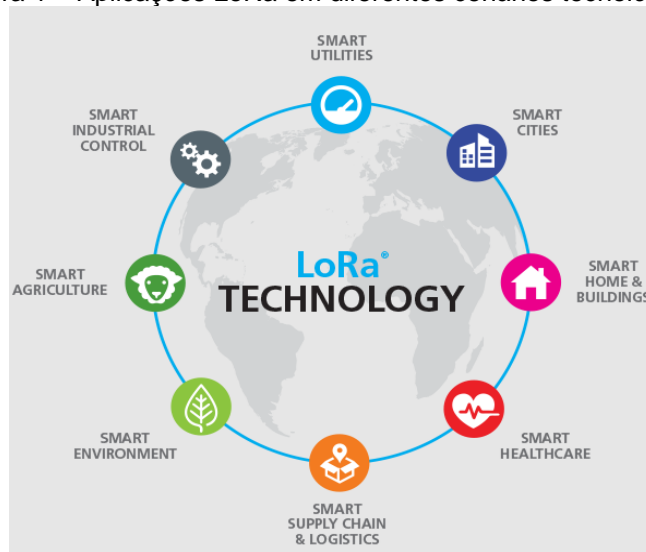
### 2.3.5 LoRa

Por último, o LoRa é a tecnologia de comunicação que será usada neste trabalho, projetada para longas distâncias e baixo consumo de energia. Criada pela Semtech, essa plataforma se tornou fundamental para a IoT, com o uso de dispositivos e redes LoRa, como o LoRaWAN (Semtech, s.d.).

É especialmente útil em aplicações IoT, onde sensores remotos precisam se comunicar com um servidor sem a necessidade de uma conexão à internet. O LoRa é ideal para atuar em diversas aplicações urbanas tais como residências inteligentes, agropecuária inteligente, aplicações de coleta de dados remotas, dentre outras (Semtech, s.d.), para oferecer conectividade em locais com uma cobertura de rede limitada, uma vez que o LoRa possui maior alcance de comunicação, sendo uma alternativa à rede wi-fi.

A imagem da Figura 1, representa as diversas aplicações que podem ser alcançadas utilizando o LoRa como meio de comunicação.

Figura 1 – Aplicações LoRa em diferentes cenários tecnológicos.

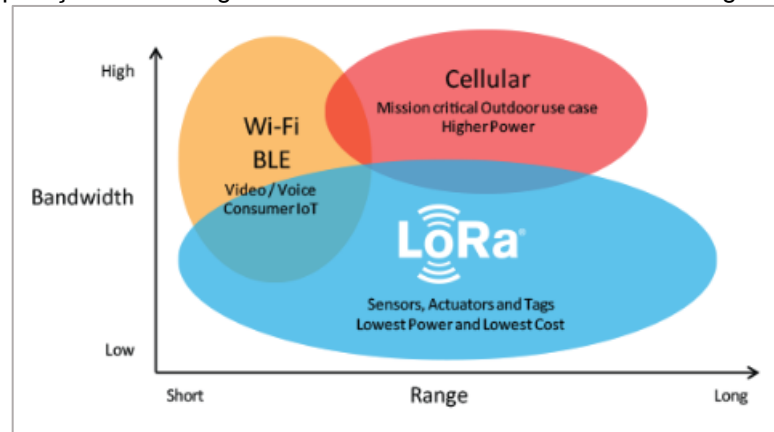


Fonte: Semtech, 2024.

O LoRa se destaca em comparação com outras tecnologias de comunicação sem fio, como Wi-Fi, *Bluetooth Low Energy* (BLE) e redes celulares. Enquanto Wi-Fi e BLE são mais adequados para aplicações de curta distância que exigem alta largura de banda, como vídeo e voz, as redes celulares oferecem maior largura de banda em distâncias maiores, mas com um consumo energético de dados elevado, ideal para aplicações críticas ao ar livre.

Em contraste, o LoRa é ideal para longas distâncias com baixa largura de banda, favorecendo sensores e dispositivos IoT pela sua eficiência energética e baixo custo. A imagem da Figura 2, representa essa comparação, destacando como o LoRa se posiciona como uma solução econômica e eficaz em diversos cenários.

Figura 2 – Comparação banda larga e distância do LoRa com outras tecnologias de comunicação.



Fonte: Semtech, 2024.

## 2.4 Plataforma de Integração e Automação Residencial: Home Assistant

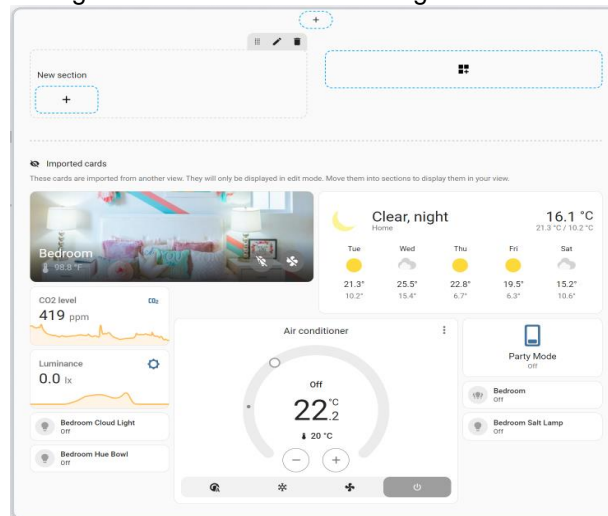
*Home Assistant* é uma plataforma de automação residencial de código aberto que permite controlar e monitorar dispositivos locais. Essa plataforma é desenvolvida por uma comunidade global de entusiastas e pode ser utilizada em dispositivos como *Raspberry Pi* ou em servidores locais (HOME ASSISTANT, 2024).

O *Home Assistant* oferece uma interface onde os usuários podem visualizar e gerenciar diferentes dispositivos, como sensores, termostatos, câmeras de segurança, sensores e muito mais, todos integrados ao *Home Assistant*.

A automação residencial envolve a comunicação entre diversos dispositivos inteligentes para tornar o ambiente mais eficiente e responsivo às necessidades do usuário. Nesse contexto, o *Home Assistant* se destaca como uma plataforma de integração, permitindo que diferentes sistemas e dispositivos operem de forma coordenada, independentemente de seus fabricantes.

Sua arquitetura flexível possibilita a criação de automações personalizadas, conectando tecnologias que, de outra forma, funcionariam isoladamente. Mais do que apenas uma interface gráfica, o *Home Assistant* gerencia os dispositivos integrados a ele, garantindo a eficácia entre diferentes protocolos e serviços. A imagem da Figura 2 apresenta um exemplo da tela de visão geral do Home Assistant, exibindo informações de diversos dispositivos conectados à plataforma.

Figura 3 – Visão geral do Home Assistant integrada a diversos dispositivos.



Fonte: Home Assistant, 2025.

Por meio do acompanhamento visual, o *Home Assistant* permite ao usuário interagir com diferentes funcionalidades do sistema através de comandos do teclado ou clicando sobre o ícone desejado. No passado as pessoas entendiam as interfaces como uma questão secundária, dando ênfase maior na tecnologia que tornavam os sistemas possíveis e viáveis. No entanto, os sistemas não se completam sem que as pessoas consigam usá-los e é nesse sentido que surge a necessidade de reavaliar esse conceito, destacando a importância de proporcionar interfaces intuitivas e acessíveis (OLIVEIRA, 2021, p. 45).

Nesse contexto, o *Home Assistant* não só atua como uma plataforma de integração e automação, como também oferece uma interface interativa, simples e amigável ao usuário.

## 2.5 Plataforma ESP32

Segundo informações do documento “*ESP32 Hardware Design Guidelines*” da fabricante *Espressif Systems* (2024), o ESP32 é uma plataforma robusta e compacta,

ideal para aplicações que exigem eficiência energética, segurança, alto desempenho e confiabilidade. A linha conta com diversos modelos, entre eles, o modelo ESP32-S3 que oferece conectividade Wi-Fi e Bluetooth programável e suporte a um rico conjunto de periféricos, além de integrar dois núcleos de CPU (*Central Processing Unit*) de alto desempenho Xtensa LX7 (Espressif).

O ESP32 é amplamente utilizado em diversos cenários, como automação residencial, industrial, saúde, eletrônicos de consumo, agricultura inteligente, entre outras aplicações. Além disso, é empregado em *hubs* de sensores IoT de baixo consumo, câmeras para *streaming* de vídeo, reconhecimento de fala e imagem, e possui funcionalidades como sensor de toque e proximidade.

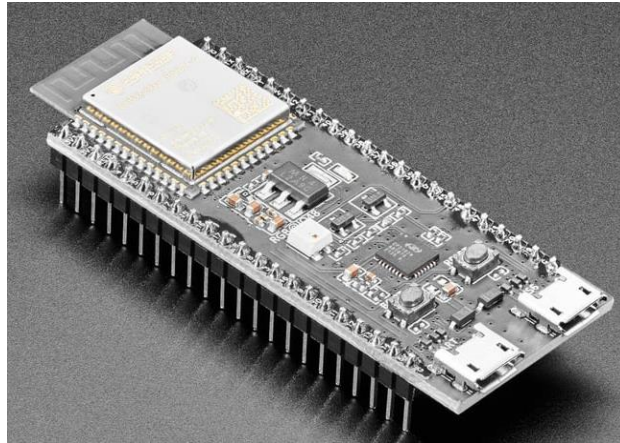
A *Espressif Systems* é a empresa fabricante do chip ESP32 e de alguns módulos integrados, como o ESP32-WROOM-32E que possui uma antena interna integrada e o módulo ESP32-WROOM-32UE que possui um conector para conectar antena externa, permitindo maior flexibilidade e o ESP32-C3 que possui diferentes versões, como o ESP32-C3-MINI-1 e o ESP32-C3-MINI-1U, que facilitam a implementação em uma variedade de casos de uso, conforme descrito no documento ESP32-C3-MINI-1 ESP32-C3-MINI-1U DATASHEET v1.8, 2024 (EXPRESSIF SYSTEMS, 2025).

## 2.6 Placa de Desenvolvimento

### 2.6.1 Módulo ESP32 Com Placa de Desenvolvimento

Com a crescente demanda por soluções IoT e aplicações de comunicação sem fio, os módulos ESP32 se destacam como uma escolha popular devido à sua versatilidade e recursos integrados. No subcapítulo 2.5, foi mencionado alguns módulos ESP32 na sua forma primitiva, sem integração com outros componentes, a figura 4, mostra o ESP32 modelo S3-WROOM-2 Integrado a uma placa de desenvolvimento que facilita a programação e a conexão com a porta USB (*Universal Serial Bus*) do computador.

Figura 4 – Placa de Desenvolvimento ESP32 Modelo ESP32-S3-WROOM-2.



Fonte: Adafruit, 2024.

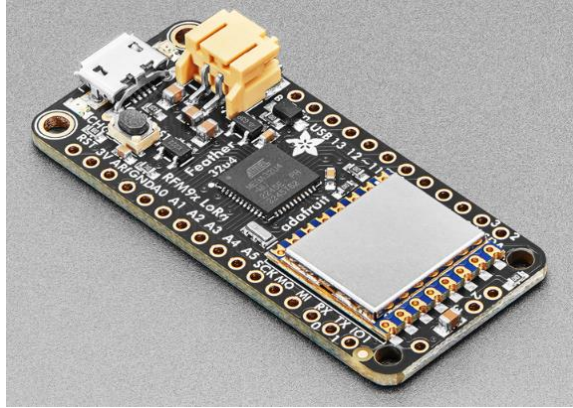
Empresas como Adafruit, AI-Thinker e DOIT são alguns exemplares que fabricam placas de desenvolvimento baseadas nesses módulos.

Essas placas tornam a prototipagem e o desenvolvimento de projetos mais acessíveis. Um exemplo é o modelo ESP32-S3 LoRa, que combina o poder do ESP32 com a tecnologia de comunicação LoRa integrada, tornando-o ideal para aplicações de longa distância.

#### 2.6.2 Módulo LoRa Com Placa de Desenvolvimento

Os módulos LoRa têm se tornado uma escolha popular para projetos que requerem comunicação de longa distância com baixo consumo de energia. Empresas como a Semtech, fabricante da tecnologia LoRa e de seus semicondutores, e a Adafruit, que projeta e fabrica placas de prototipagem, desenvolvem soluções que integram essa tecnologia, facilitando sua aplicação em projetos de IoT. A figura 5 ilustra o chip LoRa integrado a uma placa de desenvolvimento, que inclui um LCD (*Liquid Crystal Display*) e botões de testes para facilitar a interação e avaliação do desempenho do sistema.

Figura 5 – Placa de Desenvolvimento baseada no chip LoRa SX1276.



Fonte: Adafruit, 2024.

Essas placas facilitam a prototipagem e o desenvolvimento de projetos, oferecendo recursos que permitem a comunicação entre dispositivos em áreas amplas.

### 3. METODOLOGIA APLICADA NO MODELO PROPOSTO

O trabalho desenvolvido consiste na implementação de um sistema de automação e monitoramento utilizando a tecnologia LoRa para comunicação de longo alcance entre os dispositivos IoT. O ESP32 LoRa V3 da Heltec, foi escolhido para comunicação eficiente em longas distâncias, enquanto o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) facilita a troca de mensagens entre os dispositivos e o *Home Assistant*. A integração do sistema inclui a configuração do *Home Assistant* e do protocolo MQTT, garantindo o controle e monitoramento dos dispositivos conectados.

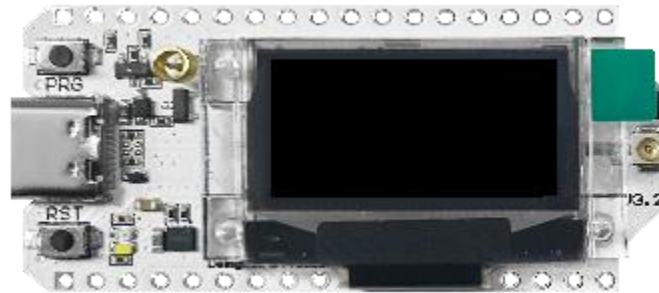
O sistema contará com duas placas ESP32 LoRa, responsáveis pela troca de mensagens entre si. Uma dessas placas será configurada para operar em conjunto com o *Home Assistant*, enquanto a outra será dedicada a conexão com os dispositivos atuadores. O desenvolvimento e a programação do sistema nos microcontroladores foram escritos na IDE Arduino, utilizando a linguagem C++, o que assegurou uma integração eficiente entre os componentes e as funcionalidades projetadas. Nos próximos tópicos, são apresentados os componentes utilizados e a estrutura da solução proposta.

#### 3.1 ESP32 LoRa da HELTEC

No mercado atual, existem diversos modelos de ESP32 e LoRa que podem ser utilizados de maneira independente, cada um montado em placas distintas conectados por meio de cabos jumpers, ou integrados em uma única placa para facilitar a implementação.

Neste trabalho, optou-se por utilizar o modelo que integra o ESP32 e o LoRa em uma única placa de circuito impresso (PCI), especificamente o módulo ESP32 LoRa V3 da HELTEC. Este módulo não apenas combina as funcionalidades de ambas as tecnologias, como também inclui Wi-Fi, Bluetooth e um display OLED (*Display Organic Light Emitting Diode*) integrado, é uma das melhores opções para cidades inteligentes, propriedades rurais, residências, controle industrial e segurança, proporcionando uma solução completa e eficiente (HELTEC AUTOMATION). Embora haja uma variedade de modelos disponíveis no mercado, este módulo específico atende às necessidades de comunicação requeridas para este projeto. A Figura 6 ilustra o modelo da placa ESP32 LoRa V3, desenvolvida pela Heltec.

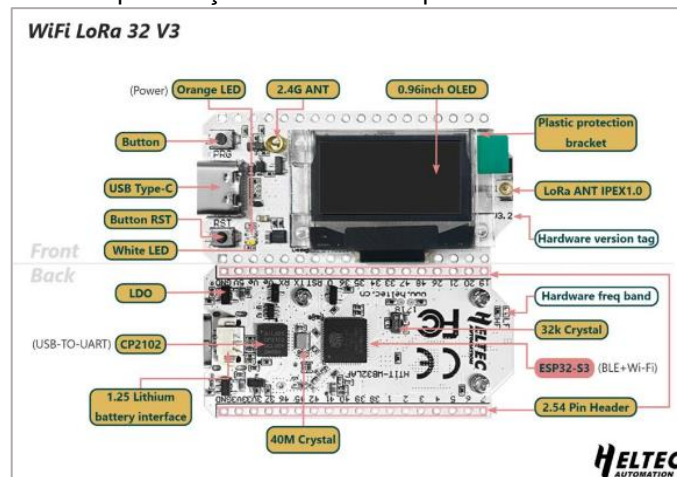
Figura 6 – ESP32 e LoRa integrados a uma placa de desenvolvimento.



Fonte: Heltec Automation, 2024.

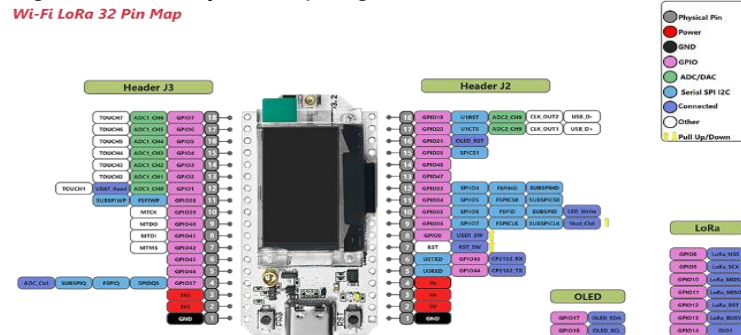
O modelo acima oferece integrado a placa, o microprocessador de dois núcleos ESP32 modelo S3FN8, chip LoRa modelo SX1262 é ideal para atuar em frequências que variam entre 863 MHz a 928 MHz, interface USB tipo C, display OLED, Wi-Fi e Bluetooth (HELTEC AUTOMATION). As figuras 7 e 8 ilustram as especificações técnicas do produto com mais detalhes.

Figura 7 – Especificações Técnicas da placa de desenvolvimento.



Fonte: Heltec Automation, 2024.

Figura 8 – Definição das pinagens do modelo ESP32 LoRa V3.



Fonte: Heltec Automation, 2025.

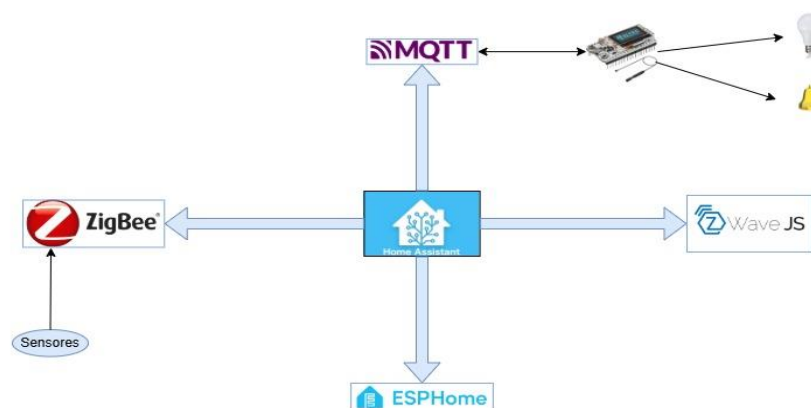
### 3.2 HOME ASSISTANT

No subcapítulo 2.4, foi apresentado o *Home Assistant* como uma opção para automações residenciais. Neste capítulo, é detalhado um pouco mais a respeito desta plataforma, bem como os principais motivos que levou a adotar essa tecnologia para este projeto.

Fundado em 2013 por Paulus Schoutsen, o *Home Assistant* é uma plataforma de automação residencial de código aberto, projetada para oferecer ampla integração com diversas tecnologias. Seu principal foco está no controle e monitoramento de dispositivos, proporcionando aos usuários uma interface intuitiva e altamente personalizável. Essas características a tornam compatível com mais de mil tecnologias, incluindo protocolos de comunicação como MQTT, Zigbee e Z-Wave, além de *frameworks* para criação de *firmwares* personalizados, como o *ESPHome*, voltado para dispositivos baseados em *ESP8266* e *ESP32*.

Além disso, o *Home Assistant* pode ser executado em diferentes *hardware* e ambientes, como *Raspberry Pi*, *ODROID*, *ESP32*, *Home Assistant Green* e *Home Assistant Yellow*, bem como em máquinas virtuais rodando em Windows, Linux e macOS. A Figura 9 ilustra um exemplo em que o *Home Assistant* está integrado a vários protocolos de comunicação e ao *framework* *ESPHome*. Além disso, representa um cenário em que o Zigbee captura a leitura de sensores, envia os dados para o *Home Assistant*, que então os repassa para o *ESP32*, permitindo o acionamento do sistema de iluminação e do alarme.

Figura 9 – Home Assistant integrado a vários dispositivos.

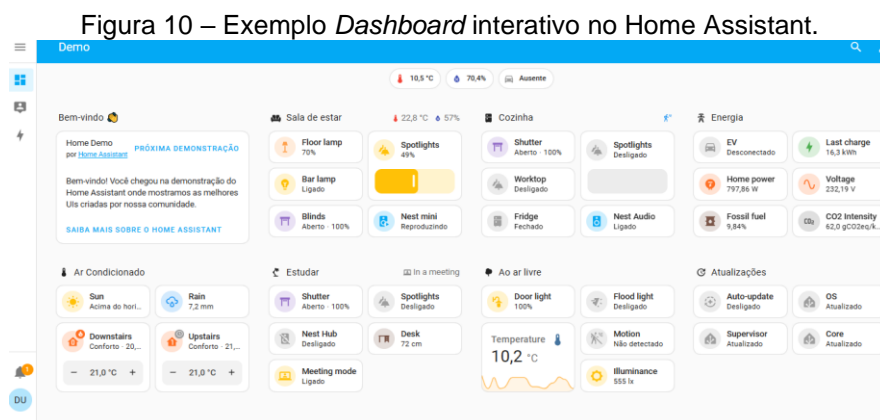


Fonte: Elaborado pelo autor.

O *Home Assistant*, através das funcionalidades do *dashboard*, também oferece uma maneira prática e eficiente de visualizar e gerenciar informações sobre um ambiente. Com uma interface altamente personalizável, ele possibilita o controle de dispositivos inteligentes tanto pelo desktop quanto pelo celular, tornando a interação mais intuitiva e acessível.

Os usuários podem modificar seus *dashboards* de diversas formas, incluindo a seleção de diferentes tipos de cartões (elementos visuais) para exibição de dados e controle de dispositivos, a aplicação de temas personalizados, inclusive de forma individual para cada cartão e a edição de nomes e ícones das entidades exibidas.

Além disso, é possível expandir as funcionalidades com cartões personalizados criados pela comunidade, permitindo um alto grau de adaptação às necessidades específicas de cada usuário (Home Assistant, 2025). Com essa versatilidade, o *Home Assistant* se destaca como uma solução para projetos na qual há necessidade de controle, monitoramento e automação. A Figura 10 mostra a tela de visão geral do *Home Assistant* integrada a diversos dispositivos exibidos nos *cards*.



Fonte: Home Assistant, 2025.

Por conter muitas possibilidades de integração, ser gratuito e de código aberto, essas características motivaram a adoção do *Home Assistant* como a plataforma ideal para este projeto. Além da flexibilidade que oferece na personalização e na adaptação a diferentes dispositivos e sistemas, a comunidade ativa de desenvolvedores em torno do *Home Assistant*, proporcionam suporte e atualização constante.

Dessa forma, neste projeto, o *Home Assistant* será conectado e configurado para atuar com o ESP32 da Heltec, que, por sua vez, também está integrado à tecnologia LoRa, bem como mencionado na seção 3.1 deste trabalho. Essa combinação permite o monitoramento e comunicação eficiente entre os dispositivos.

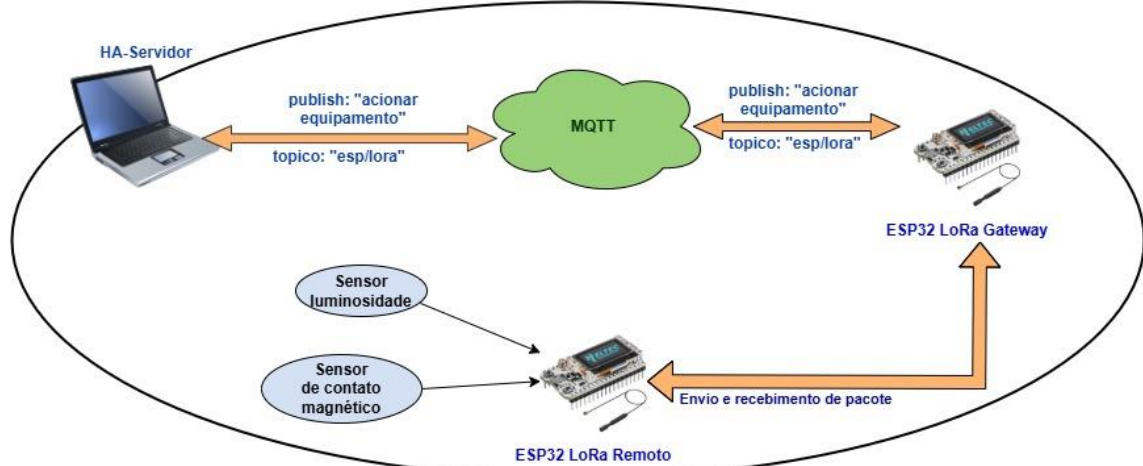
### 3.3 Protocolo de comunicação MQTT

O MQTT é um protocolo de comunicação projetado para facilitar a conectividade entre dispositivos em sistemas *machine-to-machine* (M2M) e na IoT. Operando sobre a pilha de protocolos TCP/IP, ele adota um modelo baseado em publicação e assinatura, permitindo a troca eficiente de mensagens entre diferentes dispositivos. Uma de suas principais características é a leveza e baixa latência, o que o torna ideal para aplicações que exigem baixo consumo de recursos, como sensores, dispositivos embarcados e automação residencial (Home Assistant, 2025).

Neste trabalho, o protocolo MQTT será utilizado como intermediário na comunicação entre o *Home Assistant* e os dispositivos ESP32 LoRa. O *Home Assistant* publicará uma mensagem de comando via MQTT ao ESP32 LoRa gateway, que retransmitirá a mensagem via LoRa para o ESP32 LoRa remoto.

Esse mesmo processo ocorrerá no sentido inverso, ou seja, o ESP32 LoRa remoto coletará os dados dos sensores e os transmitirá via LoRa para o ESP32 LoRa gateway, que publicará essas informações no MQTT. Por fim, o MQTT repassará os dados ao *Home Assistant*, onde serão exibidos visualmente para monitoramento. A Figura 11 representa o processo de comunicação, entre o *Home Assistant* e o ESP32 LoRa gateway.

Figura 11 – Comunicação MQTT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4 Instalação e configuração do HOME ASSISTANT

Nesta seção, é apresentado o processo de instalação e configuração do *Home Assistant*. Existem diversas maneiras de instalá-lo, cada uma delas dependerá do tipo de recurso utilizado no momento da instalação, podendo ser instalada e configurada em máquinas virtuais com sistemas operacionais já instalados como Windows, Linux ou macOS, além da opção de instalar diretamente em dispositivos como *Raspberry Pi*, *ODROID*, *Home Assistant Green* e *Home Assistant Yellow*.

Cada uma dessas opções citadas acima possui um passo a passo para a instalação e configuração da plataforma, porém, devem possuir o mesmo sistema operacional instalado, ou seja, o *Home Assistant OS*. Neste trabalho, o foco será a instalação em uma máquina virtual na qual possui Windows.

O primeiro passo para a instalação do Home Assistant consiste na configuração de uma máquina virtual (MV). Neste trabalho, foi utilizado o *VirtualBox*, uma das soluções mais populares para virtualização. Para realizar a instalação, deve-se acessar o site oficial do *VirtualBox*, efetuar o download da versão correspondente ao sistema operacional Windows (“Windows Hosts”) e prosseguir com a instalação.

Com o *VirtualBox* devidamente instalado, o próximo passo envolve a obtenção do *Home Assistant*. Para isso, é necessário acessar o site oficial da plataforma, navegar até a seção de instalação e selecionar a opção correspondente ao *Windows*. O download do arquivo no formato “VirtualBox.vdi”, geralmente nomeado como “haos\_ova\_14...”, é iniciado. Após a conclusão do download, recomenda-se a criação de um diretório específico, como “Home Assistant”, no gerenciador de arquivos ou na área de trabalho, e a transferência do arquivo descompactado para essa pasta.

Na etapa seguinte, procede-se com a configuração da máquina virtual. Com o *VirtualBox* aberto, deve-se selecionar a opção “Novo” e definir um nome para a instância do *Home Assistant*. No campo “Pasta”, deve-se indicar o diretório previamente criado. Em “Tipo”, é necessário selecionar “Linux” e, na opção “Versão”, escolher a arquitetura compatível com o sistema (32 ou 64 bits). Após essa configuração, deve-se clicar em “Próximo” e ajustar a quantidade de memória e núcleos conforme a capacidade do *hardware* disponível.

Na etapa subsequente, o arquivo “haos\_ova\_14...” deve ser anexado, e a configuração finalizada por meio das opções “Próximo” e “Finalizar”. Concluída essa etapa, o *Home Assistant* estará instalado na máquina virtual.

Antes de iniciar o sistema, algumas configurações adicionais devem ser ajustadas. No *VirtualBox*, ao clicar com o botão direito sobre a máquina virtual recém-criada e selecionar "Configurações", será exibida uma janela. Na aba "Sistema", deve-se ativar a opção "Habilitar EFI". Em seguida, na aba "Rede", é necessário selecionar a opção "Placa em modo bridge" e confirmar as alterações clicando em "OK".

Por fim, a máquina virtual pode ser iniciada selecionando a opção "Iniciar". Após a inicialização do *Home Assistant*, o acesso à interface web deve ser realizado por meio do endereço <http://homeassistant.local:8123>. No primeiro acesso, será necessário definir um nome de usuário, criar uma senha e fornecer um endereço de e-mail. Após a conclusão dessas etapas, deve-se selecionar "Próximo" e, na tela seguinte, "Terminar". Com isso, o *Home Assistant* estará pronto para uso.

### 3.5 Instalações das integrações MQTT e *file edite* no HOME ASSISTANT

Embora o *Home Assistant* ofereça suporte a milhares de integrações, neste trabalho foram necessárias apenas duas, o protocolo de comunicação MQTT e o *File Editor*. Essas integrações viabilizam a comunicação entre o *Home Assistant* e o ESP32 LoRa, além de simplificar a edição de arquivos no formato .yaml, utilizado pelo *Home Assistant* para a criação de *switches* e entidades na interface. A Figura 12 exibe o *File Edite* e o MQTT instalados no *Home Assistant*.

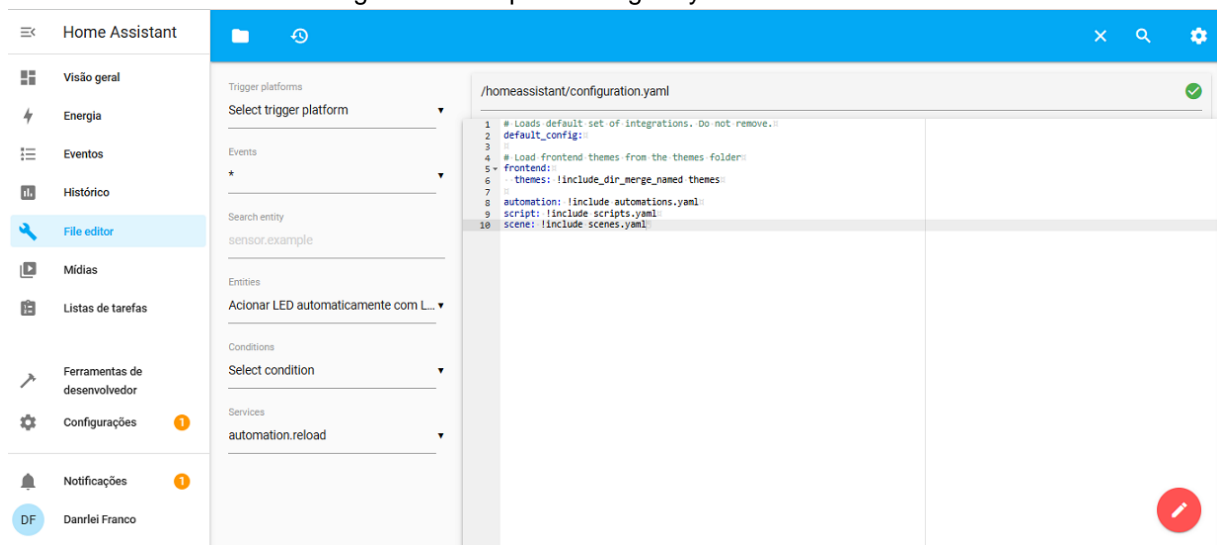


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para instalar o *File Editor*, deve-se acessar a opção "Configuração" na barra lateral esquerda do *Home Assistant*, clicar em "Add-ons" e, em seguida, selecionar "Loja de Add-ons" na parte inferior direita da tela. No campo de pesquisa, representado pelo ícone de lupa, digitar "*File Editor*", selecionar o resultado

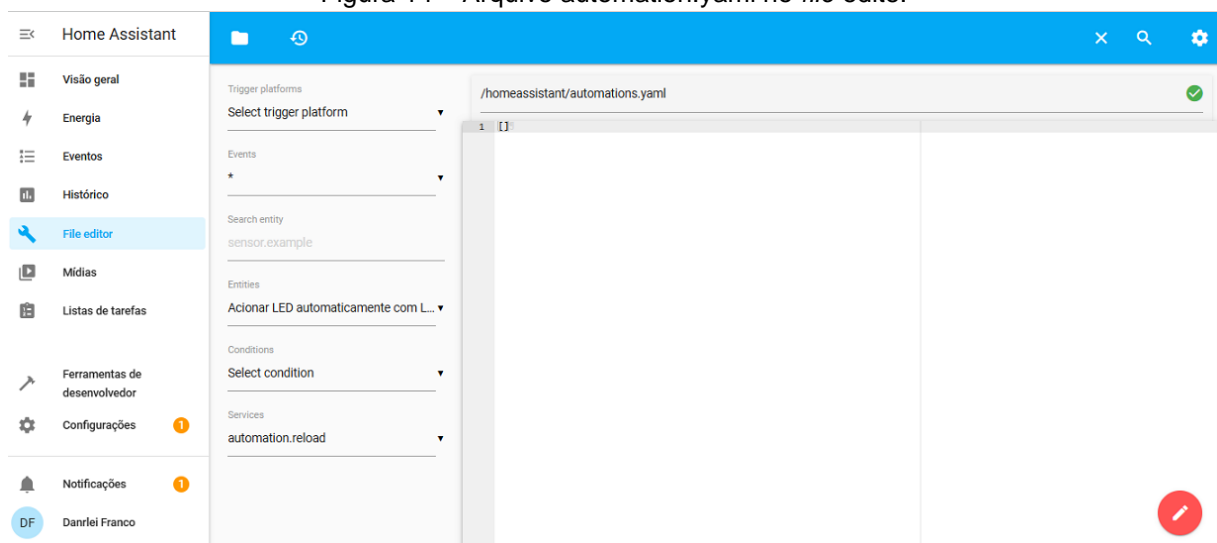
correspondente e clicar em “Instalar”. Após a conclusão da instalação, basta clicar em “Iniciar” para integrar o *File Editor* ao *Home Assistant*. Com isso, a ferramenta estará pronta para uso, permitindo o acesso e a edição dos arquivos diretamente pela interface da plataforma. As figuras 13 e 14, ilustram os arquivos no formato padrão, após a instalação do *File Editor*, nos quais serão realizadas as modificações necessárias para a configuração das entidades utilizadas como cards na tela de visão geral do *Home Assistant*.

Figura 13 – Arquivo configure.yaml no *file* edite.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 – Arquivo automation.yaml no *file* edite.

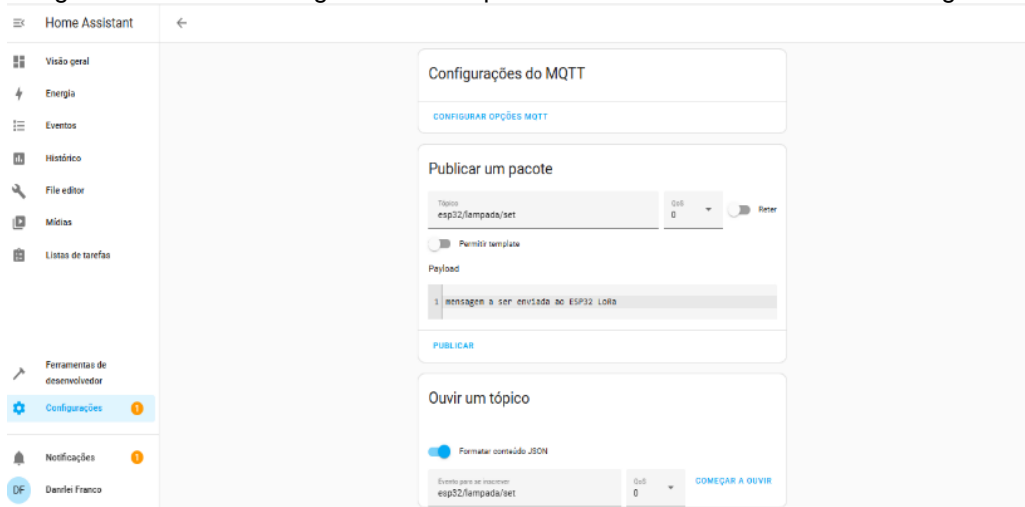


Fonte: Elaborado pelo autor.

A instalação do MQTT segue os mesmos passos descritos anteriormente para o *File Editor*. No entanto, antes de utilizá-lo, é necessário realizar sua configuração.

Após a instalação, deve-se acessar Configurações e, em seguida, Dispositivos e Serviços. No canto inferior direito, selecionar Adicionar Integração e, na lista exibida, escolher MQTT. O processo de configuração requer a criação de um nome de usuário e uma senha para o MQTT. Após concluir essa etapa, a integração estará pronta para uso. A Figura 15 apresenta a configuração do protocolo MQTT, destacando o tópico pelo qual a mensagem é publicada e trafegada.

Figura 15 – MQTT configurado com tópico de envio e recebimento de mensagens.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.6 Sensores atuadores utilizados

Os sensores constituem dispositivos projetados com a finalidade de realizar a leitura de uma variedade de variáveis ambientais, incluindo, mas não se limitando a temperatura, umidade, luminosidade e radiações eletromagnéticas, com isso eles são utilizados para inovar e automatizar as tarefas diárias. Através da integração desses dispositivos, é possível monitorar visualmente, ou por meio de sistemas interligados, as condições do ambiente, além de acionar aplicações específicas que compõem o projeto, em conformidade com as medições obtidas pelos sensores.

Os sensores são amplamente utilizados em diversas áreas, como medicina, robótica, indústria e agricultura, servindo como instrumentos fundamentais para fornecer informações sobre o ambiente em que operam. Nos contextos hospitalares por exemplo, assim como em nossas residências, esses dispositivos permitem a medição da temperatura corporal, a fim de detectar a presença de febre, e a monitorização da frequência cardíaca, essencial para avaliar a pressão arterial, entre inúmeras outras aplicações.

Neste trabalho, foi utilizado o sensor de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor*), bem como uma chave de três terminais SPDT (*Single Pole Double Throw*) para simular o sensor de contato magnético para identificar a abertura e fechamento de portas, ressaltando a importância desses dispositivos na automação e segurança dos ambientes.

O LDR é um sensor de luminosidade que funciona como um resistor fotoelétrico, cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luz que incide sobre ele. A grandeza elétrica do LDR é inversamente proporcional à intensidade da luz, ou seja, quanto maior a incidência luminosa, menor será sua resistência, e vice-versa. A Figura 16 mostra o sensor LDR, responsável por realizar a leitura da luminosidade em um ambiente.

Figura 16 – Sensor LDR.



Fonte: Eletrogate, 2025.

O sensor de contato magnético opera com base em um princípio simples de magnetismo e interrupção de circuito. Ele é composto por um ímã e um interruptor magnético, geralmente um interruptor de *reed*.

Quando as duas partes do sensor estão próximas uma da outra, ou seja, quando a porta ou janela está fechada, o ímã ativa o interruptor de *reed*, que fecha o circuito elétrico, nesse estado, a corrente elétrica pode fluir, indicando que a porta ou janela está fechada.

Quando a porta ou janela é aberta, o ímã se afasta do interruptor de *reed*. Essa separação faz com que o circuito se abra, interrompendo o fluxo de corrente elétrica, o sistema então registra que a porta ou janela está aberta. A Figura 17 exibe o sensor de contato magnético.

Figura 17 – Sensor de contato magnético.



Fonte: Eletrogate, 2025.

Nesta aplicação, foi utilizado uma chave de três terminais SPDT configurada inicialmente como normalmente fechada para simular o funcionamento do sensor de contato magnético. Essa escolha se justifica pela semelhança no princípio de operação entre os dispositivos, uma vez que ambos atuam na abertura ou fechamento de um circuito, controlando assim a passagem da corrente elétrica.

A principal diferença entre eles está no mecanismo de acionamento, ou seja, enquanto a chave requer uma força mecânica para operar, o sensor de contato magnético depende de um campo magnético para sua ativação. A Figura 18 apresenta a chave de 3 terminais que foi utilizado neste trabalho para simular a sensor de contato magnético.

Figura 18 Chave 3 terminais SPDT.



Fonte: Robocore, 2025.

## 4 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Neste trabalho, foi desenvolvido uma aplicação prática que permite ao usuário monitorar e controlar, por meio do *Home Assistant*, o estado da iluminação e da porta de sua residência. Utilizando um sensor de luminosidade LDR e um sensor de contato magnético, o sistema identifica se a iluminação está ligada ou apagada e se a porta está aberta ou fechada. Essas informações são transmitidas via LoRa e exibidas na interface do Home Assistant, onde o usuário pode acompanhar as leituras dos sensores e, se necessário, acionar ou desativar remotamente os sistemas de iluminação e fechadura.

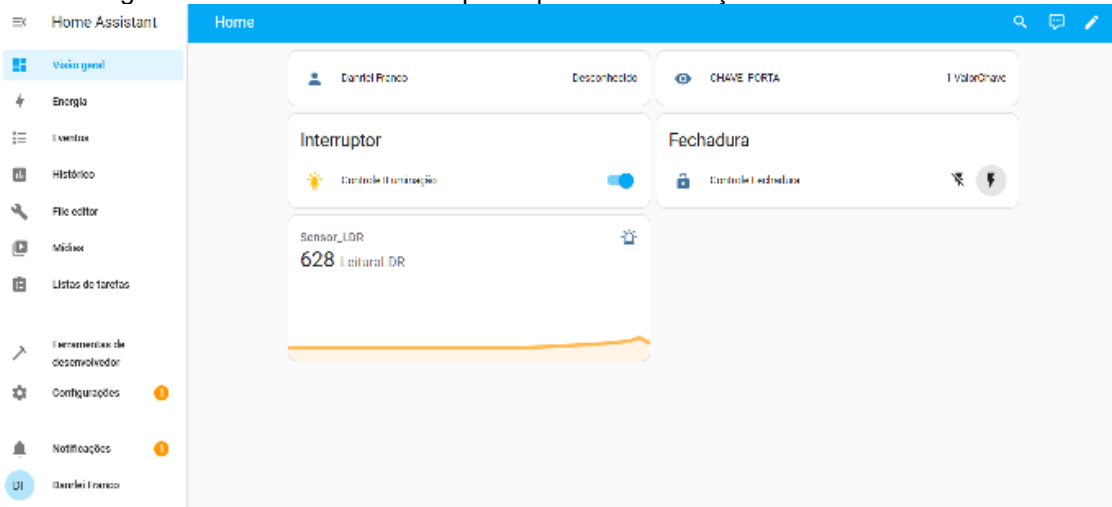
### 4.1 Tela de monitoramento e controle do sistema

Na tela principal do *Home Assistant*, os *cards* associados ao sensor de contato magnético e ao LDR são exibidas de forma intuitiva.

O sensor de contato magnético pode apresentar o valor numérico igual a 1 indicando que a porta está fechada, ou igual a 0, indicando que a porta está aberta. Além disso, caso a porta esteja aberta ou fechada (1 ou 0) ou o sistema de iluminação esteja ligado ou desligado (*ON* ou *OFF*), o usuário pode habilitar ou desabilitar os sistemas com apenas um simples clique nos botões disponível na interface, para o controle da iluminação e da fechadura elétrica, isso enviaria para o ESP32 LoRa, as mensagens “*ON*” ou “*OFF*” para o controle da iluminação e “1” ou “0” para o controle da fechadura.

A Figura 19, exemplifica o monitoramento do protótipo no estado em que o sistema de iluminação e fechadura, estão ativados, o card “CHAVE\_PORTA” está com o valor lógico igual a 1, e o card “Interruptor” está ativado, além da exibição dos valores lidos pelo LDR e a opção de ativar e desativar a fechadura no card “Fechadura”.

Figura 19 – Monitoramento do protótipo com iluminação e fechadura ativadas.

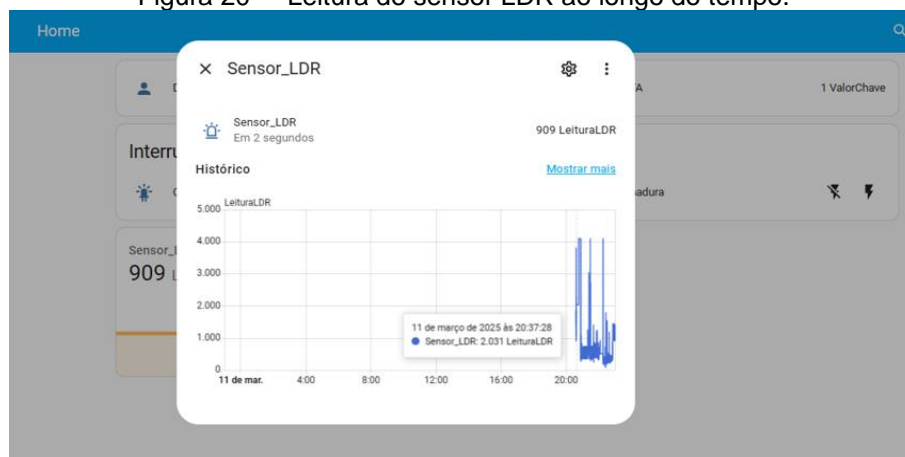


Fonte: Elaborado pelo autor.

O controle da iluminação pode ser realizado tanto manualmente pelo usuário quanto automaticamente pelo sistema. Quando o LDR detecta um nível de luminosidade abaixo ou acima do valor definido no arquivo `automation.yaml` do *Home Assistant*, indicando escuridão ou claridade, o sistema aciona ou desativa automaticamente a iluminação.

No entanto, o usuário mantém a possibilidade de interferir manualmente sempre que desejar. Além disso, a entidade criada para o sensor LDR, permite mostrar ao usuário, um *dashboard* que exhibe graficamente a leitura do sensor, tornando possível acompanhar sua leitura em relação ao tempo. A Figura 20 mostra a leitura do LDR implementado no sistema, variando em relação ao tempo.

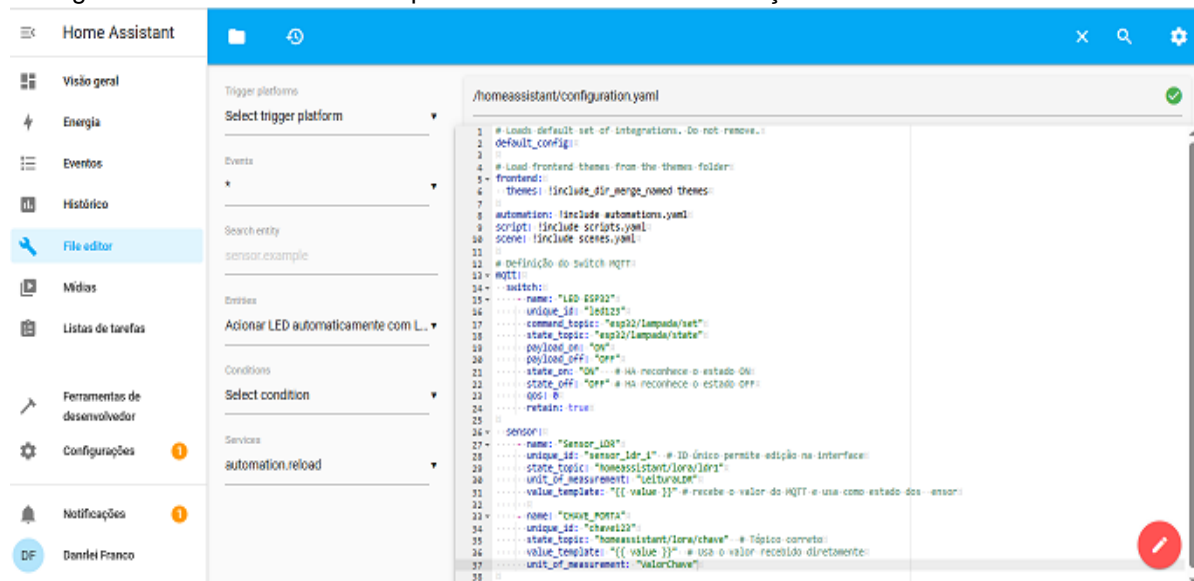
Figura 20 – Leitura do sensor LDR ao longo do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

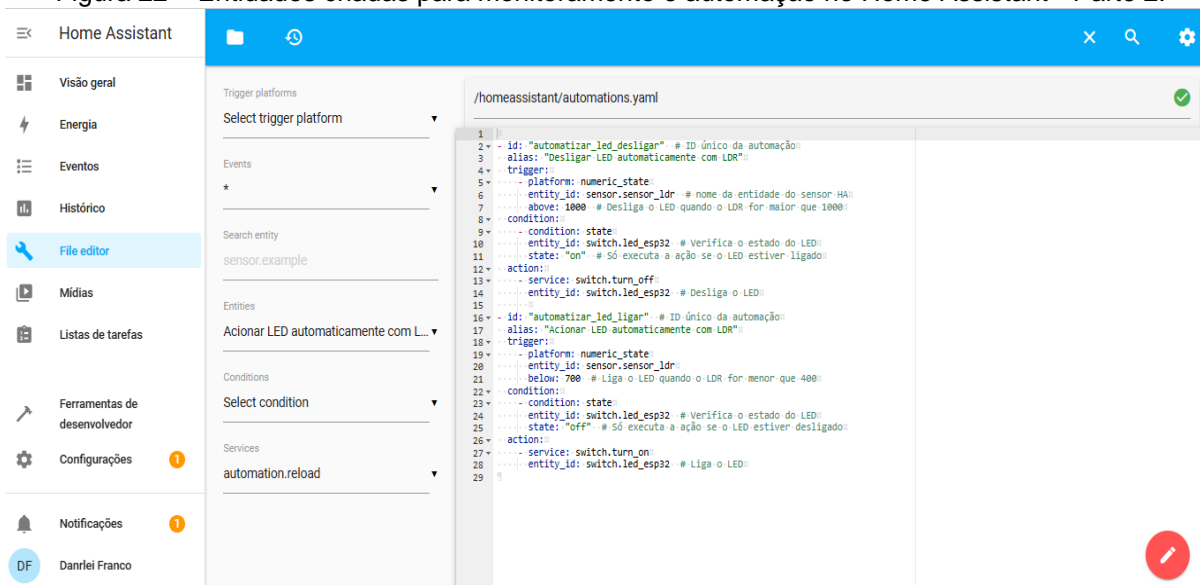
A exibição dos *cards* na tela de visão geral é viabilizada pelos arquivos *configuration.yaml* e *automations.yaml*, que acompanham a integração do *File Editor* no Home Assistant. Dessa forma, basta adicionar as linhas de comando necessárias para criar e configurar as entidades diretamente na interface. As Figuras 21 e 22, mostram as entidades criadas através de linhas de comando, para o monitoramento, automatização, envio e recebimento de dados no sistema, elas são exibidas nos cards da tela de visão geral do *Home Assistant*.

Figura 21 – Entidades criadas para monitoramento e automação no Home Assistant - Parte 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Entidades criadas para monitoramento e automação no Home Assistant - Parte 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a tecnologia de longo alcance LoRa e a integração do *Home Assistant* com o protocolo de comunicação MQTT, o usuário pode monitorar o estado de seus sistemas e trocar informações de forma eficiente, permitindo o controle remoto da iluminação e da fechadura com precisão e confiabilidade.

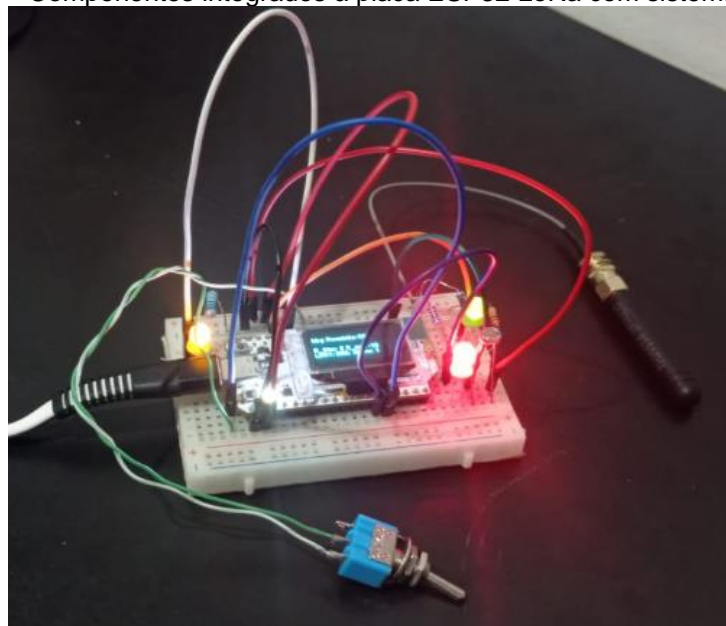
## 4.2 Protótipo elaborado

O protótipo desenvolvido com o ESP32 LoRa integra componentes essenciais para a simulação e controle do sistema. Entre eles, destaca-se o sensor LDR, responsável pela detecção da luminosidade ambiente, e uma chave de três terminais SPDT.

Além disso, o circuito conta com três LEDs (*Light Emitting Diode*), cada um representando diferentes funções, o LED vermelho indica a simulação da abertura ou fechamento da porta, o LED de cor laranja indica o acionamento remoto da fechadura, e o LED verde representa o controle remoto da iluminação.

Essa configuração permite não apenas a simulação do comportamento do sistema, mas também a validação da comunicação via LoRa, garantindo uma resposta eficiente e confiável mesmo em cenários de longa distância. A Figura 23 mostra os componentes integrados a placa ESP32 LoRa com os sistemas de iluminação e fechadura ativados.

Figura 23 – Componentes integrados à placa ESP32 LoRa com sistemas ativados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

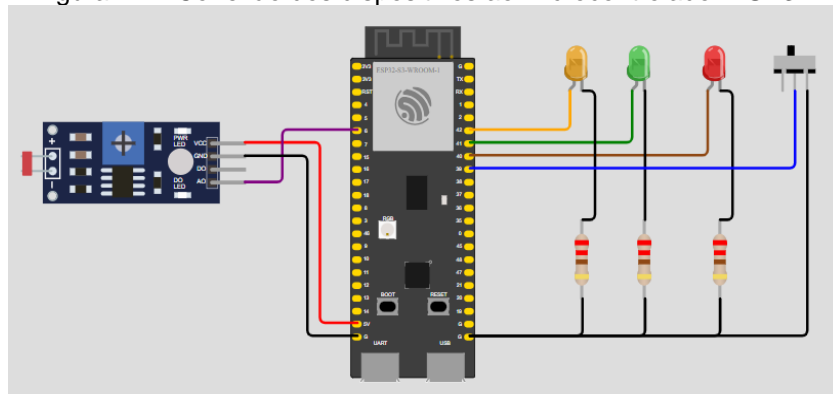
Para permitir o controle mesmo a grandes distâncias, o sistema faz uso da tecnologia LoRa, que possibilita a comunicação eficiente entre os dispositivos, mesmo que a propriedade esteja localizada a vários metros ou até quilômetros do ponto de controle. Dessa forma, o usuário pode gerenciar o sistema não apenas de dentro de sua casa, mas também em locais mais afastados.

### 4.3 Circuito elaborado

O circuito implementado neste trabalho pode ser alimentado por uma bateria de 5 V ou pela saída de energia de uma porta USB do computador ou de outro dispositivo que forneça essa tensão.

O ESP32 fornece 3,3 V para os dispositivos conectados a ele, incluindo os LEDs, a chave seletora de três estados e o LDR. Cada atuador está conectado a uma porta do microcontrolador, o LDR está conectado ao pino analógico 6, enquanto os LEDs laranja, verde e vermelho estão nos pinos digitais 42, 41 e 40, respectivamente. A chave seletora está conectada ao pino digital 39. A Figura 24 ilustra a conexão desses dispositivos ao microcontrolador ESP32 em suas respectivas portas digitais e analógica.

Figura 24 – Conexão dos dispositivos ao microcontrolador ESP32.



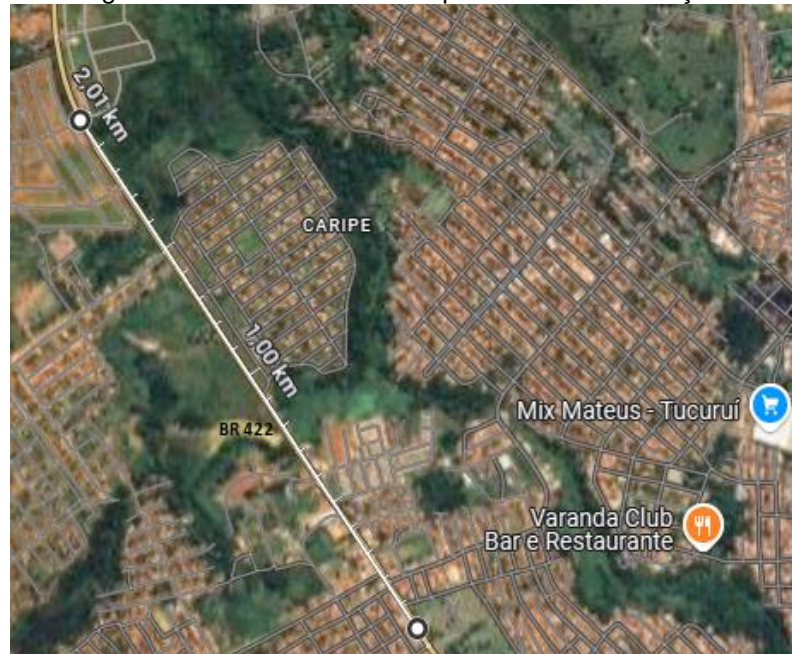
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.4 Testes práticos

Neste estudo, foram conduzidos dois experimentos práticos para avaliar o alcance de comunicação e, simultaneamente, monitorar e controlar o sistema via *Home Assistant*. O primeiro teste ocorreu em um trecho da BR-422, na cidade de Tucuruí - Pará, em um ambiente aberto e em linha reta, minimizando interferências. Este cenário resultou em um alcance de comunicação superior a dois quilômetros. A

Figura 25 ilustra a distância entre os pontos de comunicação, destacada por uma linha traçada no mapa.

Figura 25 – Distância entre os pontos de comunicação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo experimento foi realizado na Universidade Federal do Pará - Campus de Tucuruí. Um dos microcontroladores ESP32 LoRa, atuando como *gateway* e integrado ao *Home Assistant*, foi posicionado em uma sala fechada, enquanto o outro dispositivo ESP32 LoRa remoto se afastou por mais de 360 metros, atingindo seu limite máximo de comunicação.

Essa limitação decorre do fato de ambos os dispositivos enfrentarem não apenas as barreiras físicas das paredes, mas também uma área de vegetação, que absorve significativamente os sinais transmitidos. A Figura 26 ilustra os pontos de comunicação entre os dispositivos, destacando as barreiras de concreto e vegetação presentes no trajeto.

Figura 26 – Pontos de comunicação e obstáculos no trajeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dois testes realizados evidenciaram uma diferença significativa no alcance de comunicação entre os cenários testados. Isso demonstra que, ao instalar o LoRa utilizando suportes ou estruturas que elevem a altura de sua posição, o alcance de comunicação pode ser expandido de maneira considerável. Essa abordagem pode ser especialmente vantajosa em áreas com muitos obstáculos naturais ou construídos, como edifícios e vegetação densa, pois facilita uma transmissão mais eficiente, melhorando a qualidade do sinal, tanto em ambientes urbanos quanto em ambientes rurais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo explorou o potencial da tecnologia LoRa como uma solução eficaz para automação residencial e em propriedades rurais, destacando suas vantagens em termos de alcance e eficiência energética em comparação com outras tecnologias de comunicação sem fio.

A implementação do sistema de automação utilizando LoRa demonstrou ser viável, especialmente em cenários onde a comunicação a longas distâncias é essencial. A escolha do modelo ESP32 LoRa V3 da Heltec como plataforma de desenvolvimento, em conjunto com o Home Assistant e o protocolo MQTT, proporcionou uma base robusta para a criação de um sistema de monitoramento e controle remoto. A integração desses componentes permitiu não apenas a automação de funções básicas, como iluminação e segurança, mas também a implementação de um sistema que pode ser adaptado a diferentes necessidades e ambientes.

Os testes realizados confirmaram que o uso do LoRa, em ambientes urbanos ou rurais, oferece maior alcance e eficiência de comunicação quando comparado a outras tecnologias. O trabalho também destacou a importância de interfaces intuitivas e acessíveis, como as oferecidas pelo *Home Assistant*, para garantir que os usuários possam interagir de maneira eficaz com os sistemas automatizados.

Para desenvolvimentos futuros, seria interessante explorar a integração de mais sensores e atuadores, além de expandir as funcionalidades do sistema para incluir inteligência artificial e reforçar a segurança na comunicação, implementando criptografia para garantir que as mensagens enviadas permaneçam protegidas contra interceptações e sejam ilegíveis por terceiros, isso tornaria a automação ainda mais responsiva, confiável e adaptativa às necessidades dos usuários.

Além disso, outra melhoria futura seria a implementação de uma rede mesh no sistema, permitindo que os dispositivos se comuniquem de nó á nó, ampliando significativamente o alcance da comunicação.

Em conclusão, a tecnologia LoRa se mostrou uma escolha promissora para automação residencial e rural, apresentando-se como uma solução para desafios de comunicação em longas distâncias e contribuindo para o avanço das casas inteligentes e da automação de propriedades.

## REFERÊNCIAS

- ADAFRUIT. ESP32-S3-WROOM-2. Disponível em:  
< <https://www.adafruit.com/product/5364>>. Acesso em: 16 nov. 2024.
- ELETROGATE. Sensor fotoresistor LDR de 5mm. Disponível em:  
<<https://www.eletrogate.com/sensor-fotoresistor-ldr-de-5mm>>. Acesso em: 09 mar. 2025.
- ELETROGATE. Sensor magnético MC-38. Disponível em: <  
<https://www.eletrogate.com/sensor-magnetico-mc-38> >. Acesso em: 09 mar. 2025.
- ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-C3-MINI-1 & MINI-1U Datasheet v1.8. 2025.  
Disponível em: < [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-mini-1\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-mini-1_datasheet_en.pdf) >. Acesso em: 18 de jan. 2025.
- ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Hardware Design Guidelines. 2024. Disponível em:  
<<https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines/en/latest/esp32/index.html>>. Acesso em: 24 out. 2024.
- HELTEC AUTOMATION. WiFi LoRa 32(V3). Disponível em:  
< <https://heltec.org/project/wifi-lora-32-v3/>>. Acesso em: 17 nov. 2024.
- HOME ASSISTANT. DASHBOARDS. Disponível em: < <https://www.home-assistant.io/dashboards/>>. Acesso em: 28 de fev. 2025.
- HOME ASSISTANT. Home Assistant Core. Disponível em: <https://github.com/home-assistant/core?tab=readme-ov-file>. Acesso em: 28 de dez. 2024.
- HOME ASSISTANT. Installation. Disponível em: <<https://www.home-assistant.io/installation/>>. Acesso em: 06 de jan. 2025.
- HOME ASSISTANT. MQTT. Disponível em: < <https://www.home-assistant.io/integrations/mqtt/>>. Acesso em: 28 de fev. 2025.
- OLIVEIRA, Caio Cesar Giannini. **Conceitos básicos de design de interação**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2021. ISBN 978-65-5983-091-6. DOI: 10.22533/at.ed.916211405.
- ROBOCORE. Introdução a chaves e botões. Disponível em:  
<<https://www.robocore.net/tutoriais/introducao-a-chaves-e-botoes>>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- SEMTECH. Products: Wireless RF. Semtech, 2024. Disponível em:  
<<https://www.semtech.com/products/wireless-rf#featured-products>>. Acesso em: 14 nov. 2024.
- SEMTECH. What is LoRa? Disponível em:  
<<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

WORTMEYER, Charles; FREITAS, Fernando; CARDOSO, Líuam. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2005, Resende. **Anais Eletrônicos** [...]. Resende: Associação Educacional Dom Bosco, 2005. p. 1064-1067.