

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ABNER VASCONCELOS GRABOSKI - GRR20182017

DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES INTEGRADAS DE CONTROLE PARA
AUTOMATIZAÇÃO RESIDENCIAL

CURITIBA

2024

ABNER VASCONCELOS GRABOSKI - GRR20182017

DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES INTEGRADAS DE CONTROLE PARA
AUTOMATIZAÇÃO RESIDENCIAL

Relatório Final Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Elétrica, Ênfase em Sistemas Eletrônicos Embarcados, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná – *Campus* Curitiba, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicio Haas Rambo

CURITIBA

2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Lúcia Helena Vasconcelos e Cláudio Graboski, por seu amor incondicional, apoio constante e por todos os sacrifícios feitos ao longo da minha jornada acadêmica. Sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Dr. Marcos Vinicio Haas Rambo, agradeço pela orientação sempre atenta, pelos valiosos feedbacks e pela paciência durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação foi essencial para o meu crescimento acadêmico e profissional, e serei eternamente grato por sua contribuição.

Aos amigos, que estiveram ao meu lado compartilhando momentos de descontração, apoio mútuo e palavras de incentivo, meu muito obrigado. Vocês tornaram essa jornada mais leve e memorável.

Por fim, agradeço a Deus, por me conceder força, resiliência e sabedoria para superar os desafios encontrados ao longo desta caminhada.

RESUMO

A automação residencial tem se tornado cada vez mais acessível e relevante, mas ainda enfrenta desafios relacionados à instalação e integração de dispositivos em ambientes existentes. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de interruptor inteligente que busca superar essas barreiras, oferecendo uma solução de baixo custo, fácil instalação e compatível com infraestruturas residenciais convencionais. A proposta combina hardware, como o microcontrolador ESP32, e software, incluindo o banco de dados Supabase e o framework Flutter. Após a análise de diferentes alternativas tecnológicas, foi implementada uma solução baseada em um único microcontrolador conectado via Wi-Fi, permitindo o controle remoto da iluminação por meio de um aplicativo móvel e integração com assistentes virtuais como Alexa, além de manter o acionamento manual pelo interruptor físico já existente na residência. Os resultados demonstram que o protótipo é funcional e apresenta potencial de mercado devido ao custo acessível e à simplicidade de instalação, embora melhorias sejam sugeridas para reduzir o tamanho e o consumo de energia do dispositivo. Este estudo contribui para a popularização da automação residencial, tornando-a mais acessível, prática e alinhada às necessidades dos usuários.

Palavras-chave: automação residencial, interruptor inteligente, ESP32, controle remoto, integração tecnológica.

ABSTRACT

Home automation has become increasingly accessible and relevant, but it still faces challenges related to the installation and integration of devices into existing environments. This work presents the development of a smart switch prototype that aims to overcome these barriers by offering a low-cost, easy-to-install solution compatible with conventional residential infrastructures. The proposal combines hardware, such as the ESP32 microcontroller, and software, including the Supabase database and the Flutter framework. After analyzing different technological alternatives, a solution based on a single microcontroller connected via Wi-Fi was implemented, enabling remote control of lighting through a mobile application and integration with virtual assistants such as Alexa, while maintaining manual operation through the existing physical switch in the residence. The results show that the prototype is functional and has market potential due to its affordability and ease of installation, although improvements are suggested to reduce the device's size and power consumption. This study contributes to the popularization of home automation, making it more accessible, practical, and aligned with user needs.

Keywords: home automation, smart switch, ESP32, remote control, technological integration.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mini Interruptor Inteligente - Shelly 1L	15
FIGURA 2 - Mini Interruptor Inteligente - Sonoff ZBMINI-L2	17
FIGURA 3 - Mini Interruptor Inteligente - Fibaro Double Switch 2	19
FIGURA 4 - Microcontrolador ESP32	24
FIGURA 5 - Estrutura Global do Projeto	30
FIGURA 6 - Arquitetura de Desenvolvimento do Projeto	31
FIGURA 7 - Mudança na Etapa de Hardware para Alternativa 2	34
FIGURA 8 - Mudança na Etapa de Hardware para Alternativa 3	36
FIGURA 9 - Máquina de Estados do Protótipo	37
FIGURA 10 - Diagrama do Banco no Supabase	39
FIGURA 11 - Arquitetura Final do Projeto	45
FIGURA 12 - Modelo Final na Protoboard	46
FIGURA 13 - Dispositivo Final na Placa de Fenolite Operando	47
FIGURA 14 - Aplicativo Mobile com o Dispositivo Conectado	48
FIGURA 15: Esquemático da placa protótipo	54
FIGURA 16: PCB da placa protótipo	55

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

- AC** Corrente Alternada
- API** *Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicações)
- BLE** *Bluetooth Low Energy*
- CAGR** *Compound Annual Growth Rate* (Taxa de Crescimento Anual Composta)
- IoT** *Internet of Things* (Internet das Coisas)
- JSON** *JavaScript Object Notation*
- LED** *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)
- MQTT** *Message Queuing Telemetry Transport*
- PCB** *Printed Circuit Board* (Placa de Circuito Impresso)
- RAM** *Random Access Memory* (Memória de Acesso Aleatório)
- RLS** *Row Level Security* (Segurança em Nível de Linha)
- SoC** *System on Chip*
- UL** *Underwriters Laboratories*
- Wi-Fi** *Wireless Fidelity*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. OBJETIVOS.....	10
1.1.1. Objetivos Gerais.....	10
1.1.2. Objetivos Específicos.....	10
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL.....	12
2.2. CENÁRIO ATUAL DAS SOLUÇÕES DE MERCADO.....	13
2.2.1. Histórico e Evolução da Automação Residencial.....	13
2.2.2. Análise de Soluções Atuais de Automação Residencial.....	14
2.2.3. Limitações e Desafios das Tecnologias Atuais.....	23
2.3. HARDWARE.....	24
2.3.1. Microcontroladores ESP32 e ESP8266.....	24
2.3.2. Módulo HLK-PM03.....	25
2.4. SOFTWARE.....	26
2.4.1. Comunicação ESP-NOW.....	26
2.4.2. Comunicação Bluetooth Low Energy.....	27
2.4.3. Supabase Realtime.....	27
2.4.4. Flutter.....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1. PESQUISA.....	29
3.2. ETAPA DE HARDWARE.....	31
3.2.1. Alternativa 1 – ESP-NOW com Dois Microcontroladores.....	31
3.2.2. Alternativa 2 – BLE com Dois Microcontroladores.....	33
3.2.3. Alternativa 3 – Wi-Fi com um Microcontrolador.....	35
3.3. ETAPA DE INTEGRAÇÃO COM BANCO DE DADOS.....	39
3.4. ETAPA DE ACIONAMENTO REMOTO.....	41
4. RESULTADOS.....	44
5. CONCLUSÃO.....	49
5.1. TRABALHOS FUTUROS.....	50
6. BIBLIOGRAFIA.....	52
APÊNDICE A – ESQUEMÁTICOS PROTÓTIPO INTERRUPTOR INTELIGENTE.....	54

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a automação residencial tem sido significativamente impulsionada pelo desenvolvimento e popularização dos interruptores inteligentes, dispositivos que permitem o controle remoto e a programação de iluminação e outros aparelhos elétricos. Esses dispositivos são fundamentais para transformar lares em ambientes mais inteligentes e eficientes, contribuindo para a otimização do consumo de energia e o aumento do conforto dos moradores.

O mercado global de automação residencial está projetado para crescer substancialmente nos próximos anos, com uma taxa de crescimento anual composta de 25,30% entre 2024 e 2029, atingindo um valor de USD 370,95 bilhões até 2029 (CAGR, 2024). Esse crescimento é impulsionado pela crescente demanda por soluções que aumentem a conveniência, a segurança e a eficiência energética nas residências.

Apesar dos avanços tecnológicos, a integração de interruptores inteligentes em residências existentes ainda apresenta desafios consideráveis. Muitos desses desafios estão relacionados à interoperabilidade entre diferentes dispositivos, à complexidade da instalação e à compatibilidade com as diversas configurações elétricas presentes nas residências. A Engenharia Elétrica desempenha um papel crucial na concepção e implementação de sistemas que superem essas barreiras, oferecendo soluções práticas e inovadoras.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema integrado de controle para a automação residencial, focando na eficiente integração de interruptores inteligentes. A proposta é criar um sistema que permita aos usuários incorporar esses dispositivos em suas residências de maneira fácil e eficaz, considerando as necessidades e preferências individuais de cada usuário.

A pesquisa abordará as principais tecnologias e técnicas de automação residencial, avaliando suas características, vantagens e limitações. Além disso, será explorado o processo de design e implementação do sistema proposto, incluindo testes e simulações em um ambiente real para avaliar sua eficácia e desempenho.

A relevância deste estudo está na potencial contribuição para a área de automação residencial, proporcionando uma solução acessível e eficiente para consumidores que buscam modernizar suas casas com tecnologia de ponta. O desenvolvimento de um protótipo funcional de interruptor inteligente sem a necessidade de fio neutro, compatível com diversas instalações elétricas, representa um avanço significativo, facilitando a adoção dessa tecnologia em larga escala.

Ao longo deste trabalho, serão discutidos os desafios enfrentados na integração de interruptores inteligentes, as soluções desenvolvidas para superá-los e as oportunidades futuras de pesquisa e desenvolvimento nesta área em constante evolução. O objetivo final é entregar uma solução prática e inovadora que possa ser facilmente implementada por consumidores comuns e iniciantes no mundo da automação residencial.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos Gerais

Desenvolver um sistema integrado de controle para automação residencial, com foco na integração eficiente de interruptores inteligentes em diferentes ambientes residenciais, que seja de fácil e simples instalação, utilizando conceitos e técnicas da Engenharia Elétrica. Além disso, o sistema será conectado a um aplicativo móvel, permitindo ao usuário controlar os dispositivos remotamente, ligando e desligando-os conforme desejado.

1.1.2. Objetivos Específicos

- **Analisar as Tecnologias Existentes:** Realizar uma análise crítica das características, vantagens e limitações das tecnologias disponíveis de interruptores inteligentes e sistemas de automação residencial, explorando soluções para possíveis desafios de integração.
- **Desenvolver o Módulo Eletrônico:** Projetar e desenvolver um módulo eletrônico composto por um microcontrolador, que controle o funcionamento do interruptor inteligente, com foco na utilização do interruptor físico e da lâmpada já existentes na residência.
- **Desenvolver a Aplicação Móvel:** Criar uma aplicação em Flutter, capaz de se conectar ao módulo eletrônico e controlar o funcionamento do interruptor a partir de um celular, permitindo ao usuário acionar a lâmpada remotamente.
- **Avaliar o Protótipo e Resultados:** Avaliar os resultados dos testes realizados com o protótipo, identificando as melhorias necessárias e propondo soluções para aprimorar o sistema. Além disso, avaliar a viabilidade econômica do sistema, comparando com soluções existentes no mercado, levando em consideração os custos de produção, os benefícios para os usuários finais e o potencial de mercado.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este está estruturado de forma a organizar e apresentar o desenvolvimento do protótipo de automação residencial de maneira clara e sequencial. Cada capítulo foi elaborado para detalhar as etapas, métodos e resultados alcançados, além de fundamentar teoricamente as escolhas feitas ao longo do projeto.

O trabalho inicia com a Introdução, onde é apresentado o contexto da automação residencial, os objetivos gerais e específicos do estudo, bem como a justificativa para a realização do projeto. Em seguida, a Revisão Bibliográfica oferece um panorama das tecnologias disponíveis no mercado, explorando suas vantagens, limitações e as inovações recentes aplicáveis ao tema.

Posteriormente, o capítulo de Materiais e Métodos detalha as abordagens adotadas no desenvolvimento do hardware e software, assim como os processos de integração e testes. Na sequência, o capítulo de Resultados apresenta os principais achados e as validações obtidas com o protótipo desenvolvido, evidenciando sua funcionalidade e potencial de mercado.

Por fim, a Conclusão sintetiza os principais resultados alcançados e propõe direções para trabalhos futuros, destacando as possibilidades de melhorias e as implicações para a popularização da automação residencial. Complementando o conteúdo, são incluídas referências e apêndices que auxiliam na compreensão técnica do projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

A automação residencial, também conhecida como domótica, refere-se ao uso de sistemas e dispositivos eletrônicos para automatizar e controlar diversas funções dentro de uma residência. Isso inclui o controle de iluminação, temperatura, segurança, e eletrodomésticos, tudo gerenciado remotamente através de smartphones, tablets ou assistentes de voz. A automação residencial tem suas raízes nas tecnologias de controle industrial e de construção, que foram adaptadas e miniaturizadas para uso doméstico. Com o avanço das tecnologias sem fio e da Internet das Coisas (IoT), a automação residencial tornou-se mais acessível e popular entre os consumidores (Levy, 2016).

Historicamente, os sistemas de automação residencial eram complexos e caros, geralmente limitados a projetos de construção de alto padrão. No entanto, com o advento de dispositivos inteligentes mais acessíveis, como interruptores inteligentes, câmeras de segurança conectadas e assistentes virtuais como Amazon Alexa e Google Home, a automação residencial passou a ser viável para um público mais amplo. Esses dispositivos não só melhoraram a conveniência e o conforto dos moradores, mas também contribuíram para a eficiência energética, permitindo o controle preciso do consumo de energia em uma casa (Smith, 2018).

Os benefícios da automação residencial são amplos e variados. Eles incluem a conveniência de controlar dispositivos remotamente, a possibilidade de programar eventos automáticos (como desligar todas as luzes à noite), a segurança aumentada através de sistemas de monitoramento e alarmes, e a eficiência energética ao otimizar o uso de iluminação e aquecimento. Além disso, sistemas automatizados podem monitorar a qualidade do ar, detecção de fumaça, e até mesmo a irrigação do jardim, proporcionando um ambiente doméstico mais seguro e saudável (Johnson, 2020).

No entanto, a automação residencial também enfrenta desafios significativos. A interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes ainda é uma preocupação, pois muitos sistemas não são compatíveis entre si, o que pode dificultar a criação de uma solução integrada. Além disso, a complexidade da instalação e configuração desses sistemas pode ser um obstáculo para muitos consumidores, especialmente aqueles sem um conhecimento técnico profundo. Questões de segurança e privacidade também são cruciais, uma vez que dispositivos conectados à internet podem ser vulneráveis a ataques cibernéticos (Brown, 2019).

Ao longo dos anos, a automação residencial continua a evoluir, impulsionada por inovações tecnológicas e a crescente demanda dos consumidores por soluções inteligentes e conectadas. A pesquisa e o desenvolvimento nesta área focam em melhorar a interoperabilidade, a facilidade de uso, e a segurança dos sistemas automatizados, além de explorar novas aplicações e funcionalidades que possam beneficiar os usuários finais (Davis, 2021).

2.2. CENÁRIO ATUAL DAS SOLUÇÕES DE MERCADO

2.2.1. Histórico e Evolução da Automação Residencial

A automação residencial é um campo em rápida evolução, com avanços tecnológicos que buscam melhorar a eficiência energética, a conveniência e a segurança dos lares modernos. Este estado da arte tem como objetivo explorar as tecnologias atuais, identificar suas limitações e desafios, e justificar a necessidade de desenvolver novos protótipos que superem essas barreiras.

A automação residencial tem suas raízes nos sistemas de controle industrial e de construção que começaram a ser adaptados para o uso doméstico na década de 1970. A primeira geração de dispositivos de automação residencial utilizava tecnologias como X10, que permitia a comunicação entre dispositivos via linhas elétricas. Embora pioneira, essa tecnologia apresentava limitações significativas em termos de confiabilidade e velocidade.

Com o avanço da tecnologia, surgiram novos protocolos sem fio como Zigbee e Z-Wave, que trouxeram maior flexibilidade e confiabilidade para os sistemas de automação residencial. Zigbee, lançado em 2003, e Z-Wave, lançado em 2004, permitiram a criação de redes mesh robustas que melhoraram a cobertura e a resiliência das comunicações. Essas tecnologias se tornaram padrões em automação residencial, permitindo a integração de uma ampla gama de dispositivos, desde interruptores de luz até termostatos e fechaduras inteligentes.

A popularização da Internet das Coisas (IoT) na última década trouxe uma nova onda de inovação para a automação residencial. Microcontroladores como o ESP8266 e, mais recentemente, o ESP32, possibilitaram a criação de dispositivos inteligentes mais acessíveis e eficientes. O ESP32, em particular, oferece conectividade Wi-Fi e Bluetooth de baixo consumo de energia, tornando-o ideal para aplicações de automação residencial (Smith, 2018).

2.2.2. Análise de Soluções Atuais de Automação Residencial

Com a crescente demanda por automação residencial, os interruptores inteligentes têm se tornado uma peça-chave na modernização das casas, proporcionando maior conveniência, eficiência energética e segurança. Nesta análise, exploraremos as soluções oferecidas pelos modelos Sonoff ZBMINI-L2, Shelly 1L e Fibaro Single Switch 2, cada um representando diferentes abordagens e tecnologias de comunicação, como Zigbee, Wi-Fi e Z-Wave, respectivamente. Avaliaremos o desempenho, a eficiência e as características únicas de cada dispositivo, destacando suas vantagens, limitações e as oportunidades de melhoria que eles representam para o campo da automação residencial.

- **Shelly 1L**

Descrição Geral

O Shelly 1L é um módulo de interruptor inteligente compacto que resolve o problema de muitos interruptores de luz difíceis de automatizar devido à ausência do fio neutro. Este dispositivo permite o controle remoto de aparelhos conectados através de um smartphone, tablet, PC ou sistemas de automação residencial. Ele pode operar de forma independente em uma rede Wi-Fi local ou através de serviços de automação na nuvem.

FIGURA 1: Mini Interruptor Inteligente - Shelly 1L



Fonte: <https://kb.shelly.cloud/knowledge-base/shelly-1l>

Características Técnicas

- **Protocolo de Comunicação:** Wi-Fi 802.11 b/g/n
- **Compatibilidade:** Funciona com Amazon Alexa, Google Assistant, SmartThings, Home Assistant e MQTT.
- **Instalação:** Não requer fio neutro, mas suporta ambos os modos (com e sem neutro). Instalado dentro da tomada.
- **Controle:** Controle remoto via aplicativo Shelly Cloud, suporte para automação e cronogramas.
- **Dimensões:** 38 x 43 x 14 mm
- **Capacidade de Carga:** Até 4.1A
- **Carga Mínima de Uso sem Neutro:** 20W

Custo

- **Preço do módulo unitário:** Em média, R\$ 60,00
- **Necessidade de hub (central de conexão):** Não.
- **Preço do hub (central de conexão):** Sem custo, R\$ 0,00

Vantagens

- **Instalação Flexível:** Pode ser instalado sem fio neutro, ideal para sistemas elétricos antigos.
- **Ampla Compatibilidade:** Suporte a diversas plataformas de automação residencial.
- **Interface Direta Wi-Fi:** Não necessita de hub adicional para funcionamento.
- **Tamanho Compacto:** Facilmente adaptável a caixas de interruptores padrão.
- **Custo benéfico:** Ótimo valor de implementação pela funcionalidade oferecida

Desvantagens

- **Capacidade de Carga Limitada:** Suporta uma carga menor comparado a alguns outros módulos.
- **Requisitos de Configuração:** Pode necessitar de configuração adicional para integração com alguns sistemas.

- **Sonoff ZBMINI-L2**

Descrição Geral

O Sonoff ZBMINI-L2 é um módulo de interruptor inteligente Zigbee extremamente compacto, projetado para ser instalado atrás de interruptores de parede existentes sem a necessidade de fio neutro. Este dispositivo é ideal para transformar interruptores convencionais em dispositivos inteligentes, permitindo controle remoto e automação.

FIGURA 2: Mini Interruptor Inteligente - Sonoff ZBMINI-L2



Fonte: <https://sonoff.tech/product-document/diy-smart-switches-doc/zbmini-l2-doc/>

Características Técnicas

- **Protocolo de Comunicação:** Zigbee 3.0
- **Compatibilidade:** Funciona com Amazon Alexa, Google Assistant e SmartThings.
- **Instalação:** Não requer fio neutro, não dá a opção de usar o fio Neutro caso possível. Instalado dentro da tomada.
- **Controle:** Controle remoto via aplicativo eWeLink, suporte para automação e cronogramas.
- **Dimensões:** 39.5 x 32 x 18.4 mm
- **Capacidade de Carga:** Até 6A
- **Carga Mínima de Uso sem Neutro:** 3W

Custo

- **Preço do módulo unitário:** Em média, R\$ 90,00
- **Necessidade de hub (central de conexão):** Sim.
- **Preço do hub (central de conexão):** Em média, R\$ 200,00

Vantagens

- **Tamanho Ultra-Compacto:** Facilmente adaptável a caixas de montagem pequenas.
- **Sem Necessidade de Fio Neutro:** Ideal para instalações onde o fio neutro não está disponível.
- **Controle Externo Suportado:** Funciona com diferentes tipos de interruptores externos.
- **Confiável e Simples:** Opera normalmente com lâmpadas de baixa potência (a partir de 3W), sem necessidade de módulo anti-flicker.
- **Automação e Controle por Voz:** Compatível com comandos de voz via Alexa e Google Home.

Desvantagens

- **Dependência de Hub Zigbee:** Requer um hub Zigbee para funcionar, o que pode adicionar custos adicionais.
- **Capacidade de Carga Limitada:** Pode não ser adequado para dispositivos de alta potência.

- **Fibaro Single Switch 2**

Descrição Geral

O Fibaro Single Switch 2 é um módulo de interruptor inteligente Z-Wave, projetado para ser instalado em caixas de interruptores de parede padrão ou em qualquer outro local onde seja necessário controlar dispositivos elétricos. Este módulo permite o controle remoto de dispositivos conectados, além de monitorar o consumo de energia.

FIGURA 3: Mini Interruptor Inteligente - Fibaro Double Switch 2



Fonte: <https://www.fibaro.com/pt/products/switches/>

Características Técnicas

- **Protocolo de Comunicação:** Z-Wave Plus (500 series chip)
- **Compatibilidade:** Funciona com qualquer controlador Z-Wave ou Z-Wave+
- **Instalação:** Requer fio neutro. Instalado dentro da tomada.
- **Controle:** Controle remoto via aplicativo Fibaro Home Center ou qualquer controlador Z-Wave compatível
- **Dimensões:** 42.5 x 38.25 x 20.3 mm
- **Capacidade de Carga:**
 - **Carga Resistiva:** 8A (IEC), 6.5A (UL)
 - **Carga Incandescente:** 5A (UL)
 - **Potência Máxima:** 1.8 kW (230V) ou 2 kW com margem de segurança
- **Carga Mínima de Uso sem Neutro:** Não opera sem o Neutro

Custo

- **Preço do módulo unitário:** R\$ 250,00 a R\$ 300,00 (aproximadamente 50 a 60 dólares).
- **Necessidade de hub (central de conexão):** Sim.
- **Preço do hub (central de conexão):** R\$ 650,00 a 700,00 (aproximadamente 110 a 120 euros o modelo light mais simples).

Vantagens

- **Monitoramento de Energia:** Permite monitorar o consumo de energia dos dispositivos conectados, ajudando na redução de custos.
- **Controle Flexível:** Compatível com uma variedade de interruptores de parede, incluindo interruptores de alavanca e de botão momentâneo.
- **Segurança Integrada:** Proteção contra superaquecimento, sobrecarga e sobretensão.
- **Confiabilidade Z-Wave:** Benefícios do Z-Wave Plus, incluindo maior alcance, melhor duração da bateria e maior imunidade ao ruído.

Desvantagens

- **Dependência de Hub Z-Wave:** Requer um hub Z-Wave para funcionamento, o que pode adicionar custos adicionais.
- **Requisito de Fio Neutro:** A instalação requer um fio neutro, o que pode não estar disponível em todas as caixas de interruptor.

Desempenho e Eficiência

Os interruptores inteligentes Sonoff ZBMINI-L2, Shelly 1L e Fibaro Single Switch 2 destacam-se por suas características únicas e seu desempenho robusto. O Sonoff ZBMINI-L2, utilizando Zigbee 3.0, é conhecido por sua rápida resposta e eficiência em redes de automação residencial. Sua instalação sem fio neutro facilita a implementação em diversas configurações elétricas, enquanto a capacidade de operar com cargas de até 6A o torna versátil para várias aplicações. O Shelly 1L, operando via Wi-Fi, oferece flexibilidade e controle direto sobre a rede doméstica, permitindo automações e controle remoto eficiente, além de suportar cargas de até 4.1A, sendo ideal para ambientes residenciais. O Fibaro Single Switch 2, utilizando Z-Wave Plus, proporciona um controle confiável e seguro, com recursos avançados de monitoramento de energia e proteção integrada, suportando até 8A em cargas resistivas, destacando-se por sua eficiência energética e robustez.

A eficiência energética é uma preocupação central para esses dispositivos. O Sonoff ZBMINI-L2 e o Fibaro Single Switch 2, ambos operando em redes de malha, são projetados para minimizar o consumo de energia, sendo ideais para dispositivos alimentados por bateria. O Shelly 1L, embora tenha um consumo de energia relativamente maior devido à conexão Wi-Fi, compensa com sua facilidade de integração e controle direto através de aplicativos móveis. A capacidade de operar sem fio neutro, presente nos modelos Sonoff e Shelly, representa um avanço significativo, permitindo a instalação em ambientes onde a infraestrutura elétrica é limitada.

Em termos de latência, o Z-Wave Plus do Fibaro Single Switch 2 oferece uma comunicação rápida e estável, essencial para aplicações que requerem respostas imediatas. O Zigbee 3.0 do Sonoff ZBMINI-L2 também proporciona baixa latência e alta confiabilidade, especialmente em redes densas com muitos dispositivos. O Wi-Fi do Shelly 1L, embora mais suscetível a interferências e variações de desempenho devido ao congestionamento da rede, oferece uma taxa de dados elevada, útil para integrações complexas e transmissão de grandes volumes de dados.

Custo e Acessibilidade

Ao comparar os custos dos três modelos de interruptores inteligentes analisados, é evidente que há variações significativas tanto no preço dos módulos unitários quanto na necessidade e custo dos hubs de conexão. O Shelly 1L apresenta o menor custo entre os três, com um preço unitário de aproximadamente R\$ 60,00 e não requer a utilização de um hub, resultando em um custo total de aquisição de R\$ 60,00. Esta característica o torna uma opção altamente econômica e acessível para consumidores que desejam uma solução de automação residencial simples e direta.

Por outro lado, o Sonoff ZBMINI-L2 e o Fibaro Single Switch 2 apresentam custos mais elevados devido à necessidade de um hub central de conexão. O Sonoff ZBMINI-L2 tem um preço unitário médio de R\$ 90,00 e requer um hub que custa aproximadamente R\$ 200,00, elevando o custo total para cerca de R\$ 290,00. Já o Fibaro Single Switch 2 é o mais caro, com um preço unitário variando entre R\$ 250,00 e R\$ 300,00, além de necessitar de um hub que custa entre R\$ 650,00 e R\$ 700,00, totalizando um investimento de até R\$ 1.000,00. Esta análise de custos demonstra que, embora os modelos Sonoff e Fibaro ofereçam funcionalidades avançadas, a solução da Shelly se destaca por seu custo-benefício, especialmente para usuários com orçamentos mais limitados ou que preferem evitar a complexidade adicional de hubs centrais.

Formas de Comunicação

Zigbee, Z-Wave e Wi-Fi são as principais formas de comunicação utilizadas pelos interruptores inteligentes analisados. Zigbee 3.0, utilizado pelo Sonoff ZBMINI-L2, opera na banda de 2.4 GHz, oferecendo uma topologia de rede em malha que permite a comunicação redundante e aumento do alcance através de dispositivos intermediários. Sua alta densidade de dispositivos suportados (até 65.000) e baixa latência tornam-no ideal para ambientes com muitos dispositivos.

Z-Wave, utilizado pelo Fibaro Single Switch 2, opera em frequências sub-gigahertz (868/915 MHz), oferecendo menor interferência e maior alcance interno. Com suporte para até 232 dispositivos, é altamente eficiente em termos de consumo de energia e oferece uma comunicação segura e confiável, sendo especialmente adequado para aplicações que requerem alta estabilidade e segurança.

Wi-Fi, utilizado pelo Shelly 1L, é amplamente disponível e conhecido pela alta taxa de dados e facilidade de integração com redes domésticas existentes. Embora tenha um consumo de energia mais elevado e seja mais suscetível a interferências, o Wi-Fi permite controle direto e alta velocidade de transmissão, tornando-o ideal para dispositivos que requerem acesso rápido e direto à internet.

2.2.3. Limitações e Desafios das Tecnologias Atuais

Os interruptores inteligentes enfrentam desafios significativos, especialmente relacionados à energia e instalação. A operação sem fio neutro, embora inovadora, pode enfrentar problemas de estabilidade em redes elétricas mais antigas, onde a variação de tensão pode afetar o desempenho. O consumo de energia residual em dispositivos sem fio neutro é outra preocupação, pois pode levar a um consumo contínuo, mesmo quando o dispositivo está "desligado".

A interoperabilidade também é um desafio, já que dispositivos de diferentes fabricantes nem sempre se comunicam de maneira eficiente. A necessidade de hubs adicionais para dispositivos Zigbee e Z-Wave aumenta a complexidade e o custo de instalação, enquanto a dependência de Wi-Fi pode levar a problemas de latência e interferência, afetando a performance geral dos dispositivos.

2.3. HARDWARE

2.3.1. Microcontroladores ESP32 e ESP8266

Um dos microcontroladores SoC (System on Chip) escolhido foi o ESP32, desenvolvido pela Espressif Systems, é amplamente utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT) devido à sua alta capacidade de processamento e conectividade. Equipado com um processador dual-core Tensilica LX6, o ESP32 opera a uma velocidade de até 240 MHz, o que permite executar tarefas complexas e simultâneas de maneira eficiente. Ele também possui uma memória SRAM de 520 KB e suporte para armazenamento externo através de SPI Flash. Uma característica distintiva do ESP32 é sua conectividade, que inclui Wi-Fi 802.11 b/g/n e Bluetooth v4.2 BR/EDR e BLE, tornando-o ideal para dispositivos conectados que requerem comunicação sem fio de alta velocidade e baixa latência (SMITH, 2021).

Além de suas capacidades de processamento e conectividade, o ESP32 é conhecido por suas características de baixo consumo de energia, que são cruciais para aplicações IoT. Ele suporta vários modos de economia de energia, incluindo deep sleep, light sleep e modem sleep, que ajudam a prolongar a vida útil da bateria em dispositivos alimentados por bateria. O ESP32 também oferece uma variedade de interfaces periféricas, como GPIOs, ADCs, DACs, UART, SPI, I2C, entre outras, que permitem a fácil integração com sensores e outros componentes externos. Esta versatilidade e eficiência energética tornam o ESP32 uma escolha popular para desenvolvedores que buscam construir soluções IoT robustas e de baixo custo (JONES, 2020).

FIGURA 4: Microcontrolador ESP32



Fonte:

<https://www.usinainfo.com.br/esp32/esp32-wroom-32u-devkitc-v4-com-wifi-e-bluetooth-7077.html>

O outro microcontrolador escolhido foi o ESP8266, também desenvolvido pela Espressif Systems, que é uma solução integrada de Wi-Fi que revolucionou o mercado de dispositivos IoT devido ao seu custo acessível e facilidade de uso. O ESP8266 contém um processador Tensilica L106 Diamond Series de 32 bits, que opera a uma velocidade de até 160 MHz, e 64 KB de RAM, o que o torna capaz de lidar com diversas tarefas em aplicações de IoT. Uma de suas características mais notáveis é o suporte integrado para Wi-Fi 802.11 b/g/n, que permite a fácil conexão de dispositivos à rede sem fio. Além disso, o ESP8266 inclui um conjunto completo de protocolos TCP/IP, que facilita o desenvolvimento de aplicações que exigem comunicação com a internet (BROWN, 2019).

O ESP8266 também se destaca por suas capacidades de economia de energia, possuindo modos de operação como *deep sleep* e *light sleep*, que são essenciais para prolongar a vida útil de dispositivos alimentados por bateria. Este microcontrolador possui várias interfaces periféricas, incluindo GPIOs, UART, SPI e I2C, que permitem a fácil integração com diversos sensores e atuadores, tornando-o uma escolha versátil para projetos de automação residencial e industrial. Apesar de suas limitações em termos de capacidade de processamento e memória em comparação com o ESP32, o ESP8266 continua a ser uma escolha popular devido à sua simplicidade, eficiência energética e forte suporte pela comunidade de desenvolvedores (JOHNSON, 2018).

2.3.2. Módulo HLK-PM03

O módulo HLK-PM03 é um conversor AC/DC compacto e eficiente que transforma tensões de 110V ou 220V da rede elétrica para 3,3V de saída, ideal para alimentar dispositivos como o ESP32. Este módulo é amplamente utilizado em aplicações que requerem alimentação direta a partir da rede elétrica devido à sua confiabilidade e baixo consumo de energia em modo de espera, menor que 0,1W. Além disso, ele oferece proteção contra curto-circuito, sobrecarga e superaquecimento, sendo encapsulado em uma estrutura plástica que atende ao padrão UL94V-0, oferecendo isolamento e segurança durante o uso.

O HLK-PM03 também é valorizado por sua ampla faixa de entrada (85-264VAC) e eficiência de conversão. Seu design robusto permite uso em diferentes condições ambientais, como temperaturas entre -25°C e 60°C. Além disso, devido à sua certificação UL e CE, ele atende a rigorosos padrões de segurança e confiabilidade, tornando-se uma solução popular em projetos de automação residencial e dispositivos IoT (Internet das Coisas)

2.4. SOFTWARE

2.4.1. Comunicação ESP-NOW

ESP-NOW é um protocolo de comunicação sem fio desenvolvido pela Espressif que permite controle direto, rápido e de baixo consumo de dispositivos inteligentes, sem a necessidade de um roteador. Funciona em conjunto com Wi-Fi e Bluetooth LE, sendo compatível com as séries ESP8266, ESP32, ESP32-S e ESP32-C de SoCs da Espressif. Este protocolo é amplamente utilizado em eletrodomésticos inteligentes, controle remoto, sensores e outras aplicações que exigem resposta rápida e comunicação eficiente (Espressif, 2024).

A principal característica do ESP-NOW é a sua capacidade de comunicação bidirecional estável entre dispositivos master e slave, com uma taxa de resposta extremamente rápida, normalmente dentro de 150 ms após o acionamento do comando. Ele opera na data-link layer (camada de enlace de dados), reduzindo as camadas do modelo OSI para apenas uma, o que elimina a necessidade de cabeçalhos de pacotes em cada camada, resultando em respostas rápidas e menor atraso (Espressif, 2024).

2.4.2. Comunicação Bluetooth Low Energy

A comunicação Bluetooth Low Energy (BLE) entre dispositivos ESP32 configurados como mestre e escravo oferece uma solução eficiente e de baixo consumo para troca de dados entre dispositivos. No modo mestre, o ESP32 inicia a conexão e se comunica com o dispositivo escravo, que aguarda comandos. O mestre pode enviar comandos estruturados em formatos como JSON, permitindo a troca de dados flexível e expansível, o que é ideal para controlar dispositivos periféricos conectados ao escravo, como LEDs ou relés. Essa abordagem reduz a necessidade de fios, tornando-a adequada para aplicações móveis ou sistemas distribuídos em ambientes de baixo consumo energético

Essa configuração de comunicação é amplamente utilizada em projetos de automação e Internet das Coisas (IoT), onde dispositivos devem operar de forma autônoma e com mínima intervenção humana. O protocolo BLE, integrado ao ESP32, não apenas possibilita uma comunicação eficiente, mas também é fácil de programar e escalar. Em particular, o controle remoto de hardware, como o acionamento de pinos GPIO do dispositivo escravo, é facilitado pela simplicidade do código de implementação e pela flexibilidade do protocolo de dados

2.4.3. Supabase Realtime

O Supabase Realtime é uma funcionalidade que permite a captura de mudanças em bancos de dados Postgres em tempo real. Por meio de um sistema de comunicação baseado em WebSockets, ele é capaz de transmitir eventos como inserções, atualizações e exclusões de dados diretamente para os clientes conectados. Isso possibilita a criação de aplicações altamente responsivas, como dashboards dinâmicos, chats ao vivo e sistemas colaborativos, eliminando a necessidade de atualizações constantes via API. O Realtime integra-se às políticas de segurança de nível de linha (RLS) para garantir que apenas clientes autorizados recebam as atualizações relevantes, oferecendo flexibilidade e segurança (SUPABASE REALTIME, 2024).

Entre os principais recursos, destacam-se a capacidade de filtrar eventos específicos, segmentar tabelas ou esquemas, e gerenciar múltiplas assinaturas de forma simultânea. Além disso, o sistema simplifica o desenvolvimento de aplicações com atualizações em tempo real, reduzindo a complexidade arquitetural ao evitar a necessidade de soluções de mensageria independentes. Segundo a documentação oficial, o Realtime é particularmente útil em sistemas que exigem sincronização imediata de dados, como plataformas de análise em tempo real e ferramentas colaborativas baseadas na nuvem (SUPABASE REALTIME, 2024).

2.4.4. Flutter

Flutter é um framework de código aberto desenvolvido pelo Google para criar aplicativos móveis multiplataforma a partir de um único código-fonte. Ele permite o desenvolvimento simultâneo para Android, iOS e outras plataformas, o que reduz custos e acelera o tempo de produção. Utilizando a linguagem Dart, o Flutter compila diretamente para código nativo, garantindo alta eficiência e desempenho. Um dos seus recursos mais destacados é a recarga em tempo real (Hot Reload), que permite ao desenvolvedor visualizar alterações no aplicativo quase instantaneamente, sem necessidade de reinicialização, facilitando ajustes rápidos e aumentando a produtividade (FLUTTER, 2024).

Outro diferencial do Flutter é sua abordagem baseada em componentes reutilizáveis (widgets), que permitem criar interfaces de usuário consistentes e altamente customizáveis. Esses componentes são renderizados de forma independente do sistema operacional, garantindo uniformidade entre plataformas e desempenho fluido, mesmo em dispositivos com menor capacidade de hardware. Essa característica torna o Flutter uma escolha ideal para aplicativos modernos que demandam alta qualidade visual e interatividade, sendo amplamente utilizado em projetos de design sofisticado e aplicativos de grande escala (FLUTTER, 2024).

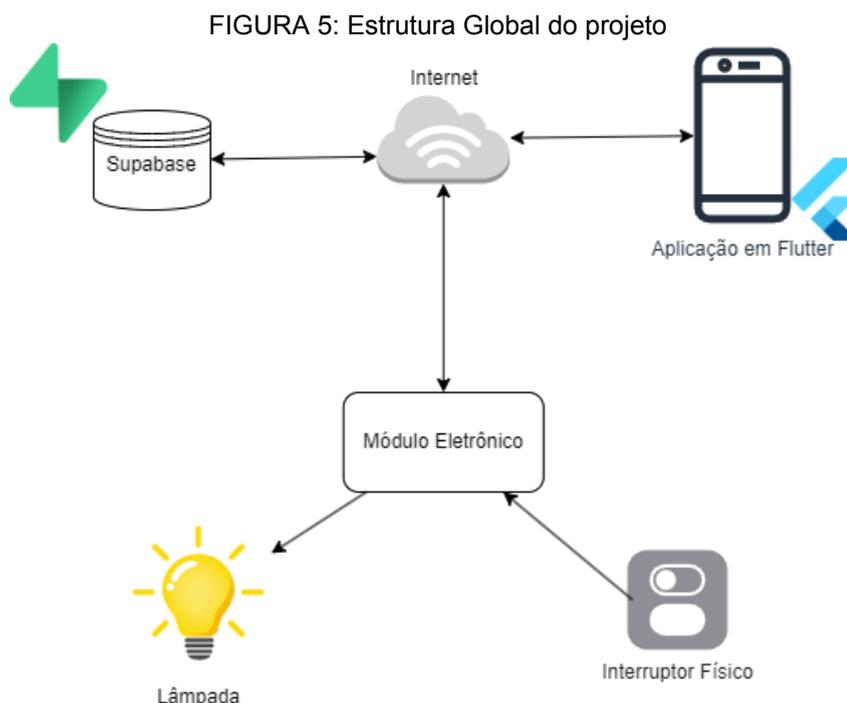
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PESQUISA

A primeira etapa do projeto consistiu na realização de uma revisão bibliográfica, considerada indispensável em virtude da complexidade da proposta. Além disso, buscou-se garantir que as soluções desenvolvidas fossem viáveis do ponto de vista financeiro. Esse levantamento teórico foi essencial para analisar as soluções atualmente disponíveis no mercado, compreender seu funcionamento, as tecnologias empregadas, bem como suas respectivas vantagens e limitações.

A partir desse estudo, foi possível adquirir o conhecimento necessário para embasar as decisões relacionadas ao desenvolvimento do projeto. Isso incluiu a identificação de pontos críticos, a seleção de tecnologias e ferramentas mais adequadas e a definição dos recursos a serem utilizados. O objetivo principal dessa etapa foi viabilizar a entrega de uma aplicação robusta, funcional e economicamente acessível.

Como resultado da análise das tecnologias e opções disponíveis no mercado, consolidou-se o esquema global do projeto, apresentado na figura 5.



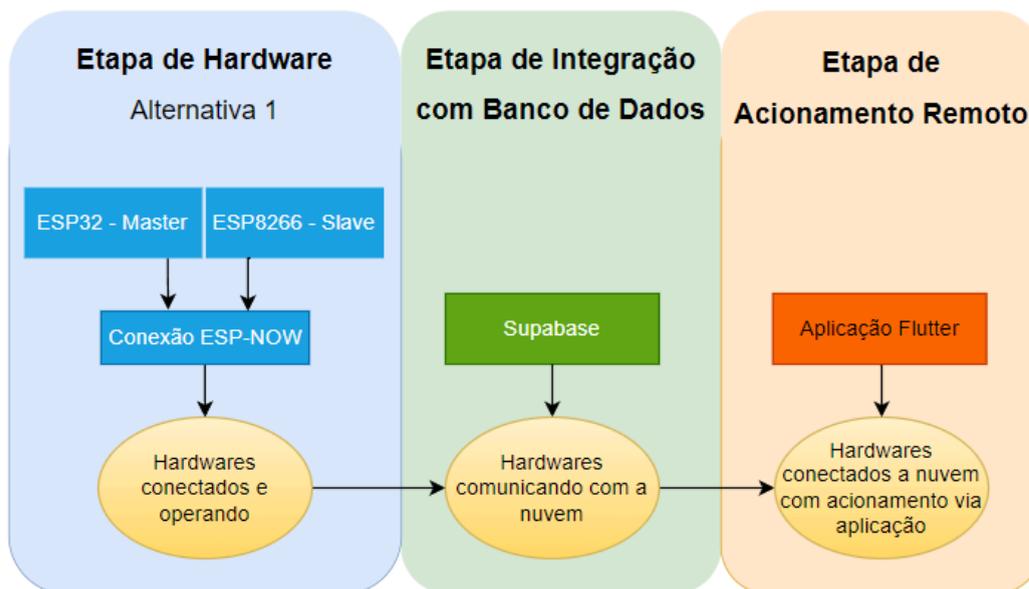
Fonte: Autor (2024)

O projeto propõe o desenvolvimento de uma aplicação mobile utilizando o framework Flutter, com o objetivo de proporcionar ao usuário a possibilidade de acessar e controlar sua lâmpada remotamente, tanto dentro quanto fora de sua residência. Para isso, a aplicação será conectada à internet e integrada a um banco de dados hospedado no Supabase, que funcionará como o ponto central para armazenar as informações sobre o estado da lâmpada e gerenciar os comandos de acionamento remoto necessários para o módulo eletrônico.

O módulo eletrônico, por sua vez, também será conectado à internet, permitindo o recebimento de comandos remotos enviados pela aplicação. Além disso, será responsável por enviar o estado atual da lâmpada ao banco de dados, uma vez que monitora diretamente a entrada do interruptor físico instalado na residência. Essa integração garante que tanto os comandos via aplicativo quanto as interações físicas com o interruptor sejam sincronizados corretamente.

Com base no esquema global de funcionamento do sistema, foi elaborado um plano detalhado para a construção e integração das suas partes. O desenvolvimento foi dividido em três etapas principais: Etapa de Hardware, Etapa de Integração com o Banco de Dados e Etapa de Acionamento Remoto, conforme ilustrado na figura 6.

FIGURA 6: Arquitetura de desenvolvimento do Projeto



Fonte: Autor (2024)

3.2. ETAPA DE HARDWARE

A primeira etapa do projeto consiste na construção completa do módulo eletrônico, que será responsável pelo controle do estado da lâmpada. Essa etapa tem como objetivo principal o desenvolvimento do hardware capaz de receber e interpretar o sinal de entrada proveniente do interruptor físico existente na residência. O módulo será projetado para integrar-se ao sistema de automação, garantindo o correto funcionamento e sincronização entre os comandos físicos e remotos.

3.2.1. Alternativa 1 – ESP-NOW com Dois Microcontroladores

No início do projeto, foi considerada a utilização do protocolo de comunicação ESP-NOW como premissa principal. Esse protocolo, exclusivo para dispositivos ESP, apresenta baixa latência na comunicação e baixo consumo energético, características ideais para sistemas de automação residencial. A implementação dessa alternativa exigiria o uso de dois microcontroladores: um atuando como Master e outro como Slave.

Para o Master, optou-se pelo microcontrolador ESP32, responsável por estabelecer conexão com a internet, atuando como um gateway. Sua função era enviar comandos ao dispositivo Slave, além de receber o status do interruptor físico para atualização do banco de dados. Já para o Slave, decidiu-se pelo uso do ESP8266 no módulo ESP-01, devido ao seu baixo custo, tamanho reduzido e à ausência de necessidade de múltiplas portas lógicas. O módulo eletrônico baseado no ESP-01 seria instalado dentro do interruptor físico da residência, aproveitando suas dimensões compactas. Essa configuração de dois microcontroladores conectados pelo protocolo ESP-NOW foi definida como a Alternativa 1 para a etapa de hardware.

Durante o desenvolvimento dessa alternativa, foi possível estabelecer a comunicação entre os módulos Master e Slave utilizando o protocolo ESP-NOW. O Master enviava comandos de acionamento ao Slave, que executava as ações correspondentes, como ligar ou desligar a lâmpada.

O acionamento da lâmpada física, no caso uma lâmpada de LED, foi realizado com o auxílio de um módulo de relé de estado sólido de 5V, amplamente comercializado para integração com microcontroladores ESP. O microcontrolador ESP enviava sinais lógicos altos ou baixos ao módulo de relé, que, por sua vez, aciona ou desliga a lâmpada conectada à rede elétrica residencial de 127V.

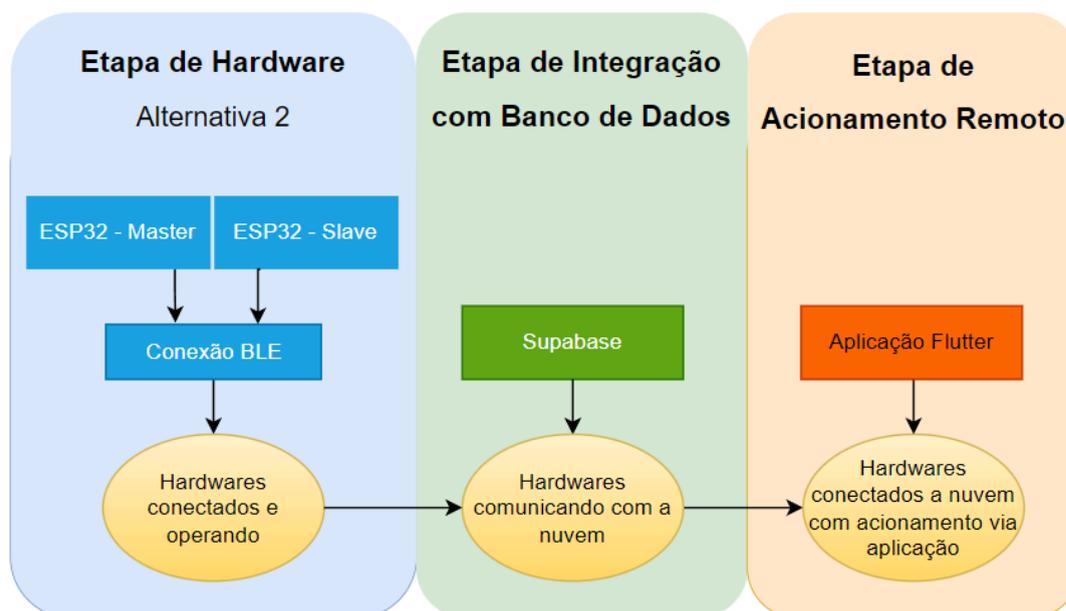
Apesar do funcionamento inicial entre os módulos Master e Slave via ESP-NOW, dificuldades surgiram durante a tentativa de conectar o módulo Master à internet via Wi-Fi, etapa necessária para a integração com o banco de dados. O principal problema identificado foi a instabilidade no pareamento dos módulos. Após análises e testes, constatou-se que o ESP-NOW requer a utilização do mesmo canal da rede Wi-Fi à qual o Master está conectado. Em um ambiente controlado, como uma residência com apenas uma rede Wi-Fi, foi possível forçar o pareamento e garantir a comunicação no mesmo canal. No entanto, em locais com mais de uma rede Wi-Fi disponível, a comunicação entre os módulos tornou-se altamente instável, dificultando o funcionamento do sistema.

Diante dessa limitação, concluiu-se que a Alternativa 1 não era viável para o projeto em questão, principalmente devido à instabilidade em cenários reais com múltiplas redes Wi-Fi. Assim, optou-se por uma abordagem diferente para a etapa de hardware, utilizando o protocolo de comunicação Bluetooth Low Energy (BLE), que será detalhado na próxima seção.

3.2.2. Alternativa 2 – BLE com Dois Microcontroladores

Na transição para a Alternativa 2, a escolha do protocolo Bluetooth Low Energy (BLE) foi adotada para viabilizar a comunicação entre os módulos Master e Slave. Essa mudança foi considerada uma opção viável e prática, uma vez que não seria necessário hardware adicional para possibilitar a comunicação entre os dispositivos. A única alteração necessária para implementar o BLE foi substituir o microcontrolador utilizado no módulo Slave. Anteriormente, o módulo Slave era o ESP-01, que utiliza o chip ESP8266 e não possui suporte nativo ao Bluetooth. Portanto, foi necessário substituí-lo por outro microcontrolador ESP32, que oferece compatibilidade com o protocolo BLE e seria capaz de controlar o acionamento da lâmpada com base nos sinais do interruptor ou comandos enviados pelo Master, conforme ilustrado na figura 7.

FIGURA 7: Mudança na Etapa de Hardware para Alternativa 2 - conexão BLE



Fonte: Autor (2024)

O módulo de relé, responsável pelo acionamento da lâmpada em corrente alternada, foi mantido o mesmo utilizado na Alternativa 1.

Após essa mudança, foi necessário reiniciar o processo de desenvolvimento para garantir a comunicação entre os dois módulos, o que foi alcançado com sucesso. Ambos os módulos estavam operando corretamente, trocando informações e realizando os acionamentos desejados. No entanto, ao tentar integrar o módulo Master à rede Wi-Fi para conectar-se ao banco de dados, surgiram novos problemas.

O principal obstáculo foi o estouro de memória no microcontrolador ESP32 ao tentar utilizar simultaneamente as bibliotecas de Wi-Fi e BLE. O microcontrolador ESP32-WROOM-32, utilizado no projeto, possui 4MB de memória, e ao tentar compilar o código com as bibliotecas necessárias para ambas as comunicações, a memória foi excedida em 160% de sua capacidade. Esse problema inviabilizou o uso dessas duas funcionalidades (Wi-Fi e BLE) no mesmo microcontrolador.

Embora existam versões mais recentes do ESP32, como o ESP32-S3 com 16MB de memória, a aquisição desse modelo geraria um aumento considerável no custo do protótipo, o que ultrapassaria o limite orçamentário previsto para a construção de um dispositivo de baixo custo. Portanto, decidiu-se por abandonar essa abordagem e partir para a Alternativa 3, que envolveria o uso de apenas um microcontrolador para gerenciar tanto a comunicação via Wi-Fi quanto o controle do interruptor, sem a necessidade de dois módulos interagindo entre si.

3.2.3. Alternativa 3 – Wi-Fi com um Microcontrolador

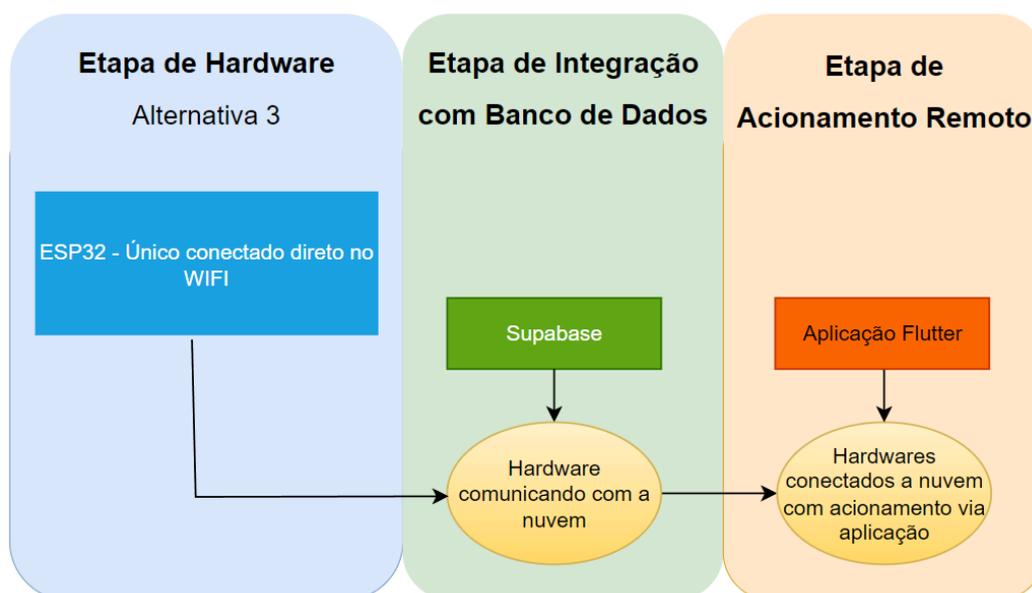
Para a Alternativa 3 na Etapa de Hardware, optou-se por simplificar a solução utilizando apenas um microcontrolador, o ESP32, que seria conectado diretamente ao interruptor e à rede Wi-Fi, permitindo que o dispositivo receba atualizações sobre o estado da lâmpada a partir do banco de dados. Essa abordagem é semelhante à utilizada por muitos interruptores inteligentes mais antigos, em que o microcontrolador, já conectado ao interruptor local, mantém uma conexão constante com a internet, sem a necessidade de outro módulo eletrônico para realizar a comunicação com o banco de dados.

O principal ponto negativo dessa alternativa é o alto consumo energético. Para manter o módulo Wi-Fi sempre conectado, o consumo de energia chega a aproximadamente 170mA de forma constante, o que obriga a utilização de um fio neutro para alimentar o sistema, dificultando a implementação em algumas instalações residenciais.

Em comparação com as alternativas anteriores, o consumo do módulo eletrônico quando utilizado com o protocolo ESP-NOW foi de 22mA, e, no caso do BLE, segundo a documentação, o consumo deve ficar em torno de 5mA no Modo de Espera (Idle Mode). Contudo, esse valor não pôde ser confirmado, uma vez que o código não pôde ser compilado devido ao estouro de memória do microcontrolador ESP32.

Com essa configuração de um único microcontrolador ESP32, foi possível integrar corretamente o controle da lâmpada, utilizando o módulo de relé já mencionado, e a integração direta com o banco de dados. Esse arranjo possibilita uma resposta eficiente aos acionamentos externos, o que será explicado de forma mais detalhada na Etapa de Acionamento Remoto, conforme ilustrado na figura 8.

FIGURA 8: Mudança na Etapa de Hardware para Alternativa 3 - único módulo no WIFI direto

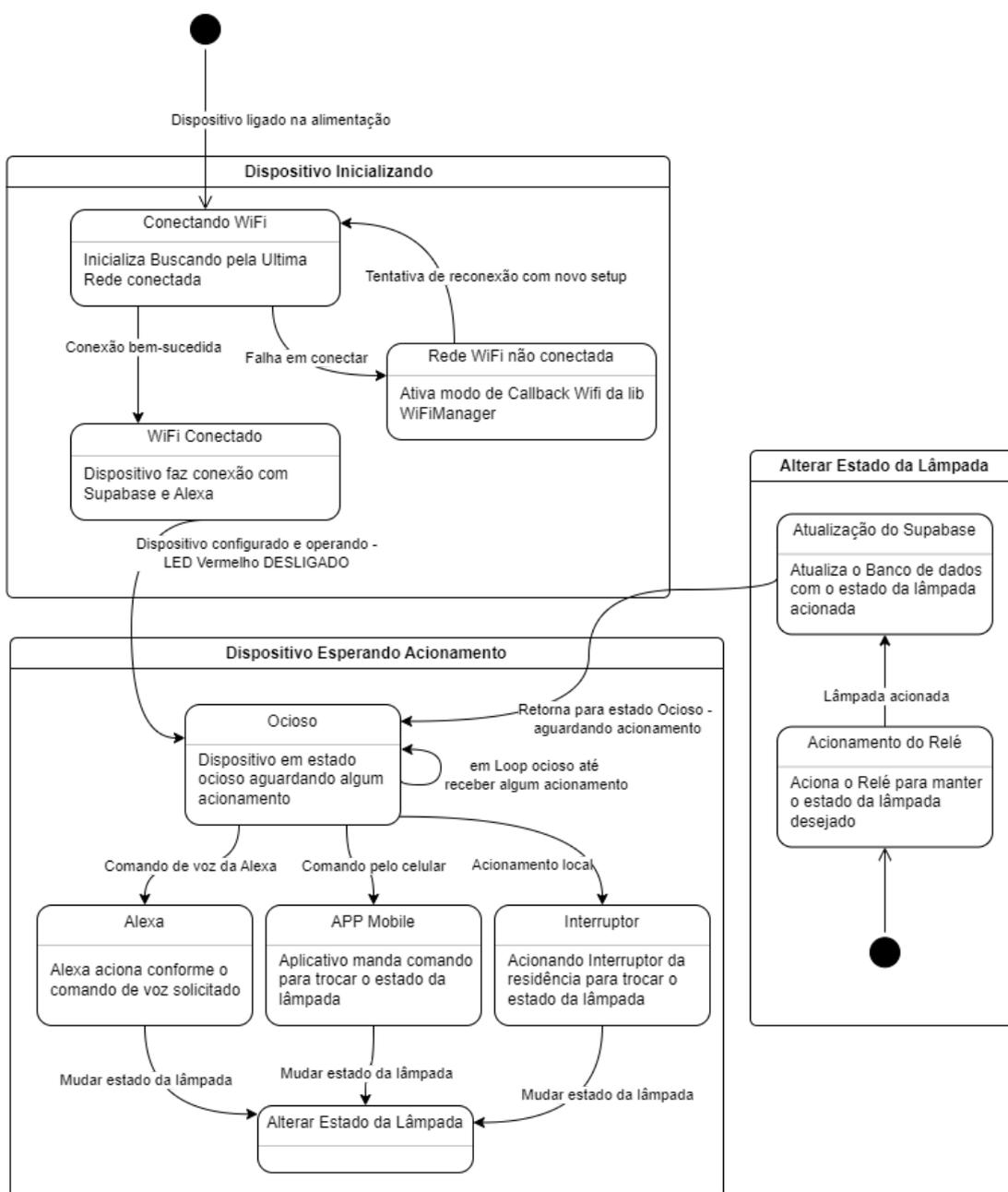


Fonte: Autor (2024)

Além disso, nesse hardware final, foi implementado um sistema de controle e gerenciamento de conexões em diferentes redes Wi-Fi, utilizando a biblioteca WiFiManager. Esse recurso permite que o módulo eletrônico troque de rede Wi-Fi sem dificuldades, garantindo maior flexibilidade para o dispositivo se adaptar a diferentes ambientes de conectividade.

Com o desenvolvimento completo dessa etapa, foi possível visualizar a integração total do projeto, como ilustrado no diagrama de máquina de estados apresentado na figura 9. Este diagrama proporciona uma visão geral de como o microcontrolador ESP32 deve ser programado para desempenhar as funções desejadas.

FIGURA 9: Máquina de estados do protótipo



O funcionamento do protótipo inicia com a sua inicialização, momento em que o microcontrolador tenta se conectar automaticamente à última rede Wi-Fi cujas informações estejam salvas em sua memória interna. Caso essa rede não esteja disponível ou nenhuma configuração anterior tenha sido registrada, o dispositivo entra em modo de pareamento. Esse processo é gerenciado pela biblioteca **WiFiManager**, que permite ao usuário conectar-se ao ponto de acesso (Access Point) criado pelo ESP32 para configurar a rede Wi-Fi e a respectiva senha. Após o salvamento dessas informações, o microcontrolador tenta estabelecer conexão com a rede fornecida até obter sucesso.

Uma vez conectado à rede Wi-Fi, o dispositivo prossegue conectando-se ao banco de dados e ao serviço da Alexa, conforme detalhado nos capítulos subsequentes. Após o término dessas conexões e estando o dispositivo pronto para uso, o LED de estado de operação será desligado, indicando que o sistema está em pleno funcionamento.

Quando operacional, o dispositivo permanece em estado ocioso até que algum acionamento externo seja realizado. Esse acionamento pode ocorrer pelo interruptor físico local da residência, pelo aplicativo móvel ou por comando de voz via Alexa.

- **Interruptor local:** Ao detectar uma mudança no estado lógico do interruptor, o microcontrolador altera o estado da lâmpada, baseando-se no estado anterior.
- **Aplicativo móvel:** Nesse caso, o comando é primeiramente registrado no banco de dados, sendo então enviado ao dispositivo, que atualiza o estado da lâmpada de acordo.
- **Comando de voz via Alexa:** A troca de estado é executada pelo sistema da Alexa, que envia o comando diretamente ao dispositivo já previamente pareado e conectado ao seu sistema.

Independentemente da origem do comando, a troca do estado da lâmpada é efetuada através do acionamento ou desativação do relé de estado sólido. Esse processo, por sua vez, atualiza o banco de dados, garantindo a sincronização completa do sistema e mantendo a consistência entre os estados físico e lógico da lâmpada.

3.3. ETAPA DE INTEGRAÇÃO COM BANCO DE DADOS

Na segunda etapa do projeto, foi realizada a integração do dispositivo de hardware com o banco de dados, sendo escolhido o Supabase como plataforma para essa comunicação, com base em sua robustez e na simplicidade para montar um banco de dados que atendesse às necessidades do projeto. O Supabase foi selecionado por oferecer uma solução prática para registrar a informação física do dispositivo, como seu número MAC, utilizado como chave primária, garantindo um controle único de cada dispositivo, com uma entrada distinta na tabela do banco. Além disso, a tabela mantém o nome do dispositivo (que pode ser alterado via aplicação mobile) e o status da lâmpada (ligada ou apagada). Dessa forma, tanto o acionamento físico direto no hardware quanto o acionamento remoto garantem que ambos os pontos vejam o mesmo estado real da lâmpada, independentemente da localização.

Para a estruturação do banco de dados, foi criado um diagrama simples, conforme ilustrado na figura 10:

FIGURA 10: Diagrama Banco no Supabase

Dispositivos	
PK	<u>Endereço MAC</u>
	Nome Dispositivo
	Estado da Lâmpada

O Endereço MAC do microcontrolador ESP32 foi adotado como a chave primária, pois é único e já definido de fábrica, conforme padrões globais. Com isso, não há possibilidade de conflitos de acionamento entre dispositivos no banco de dados.

Um ponto importante na utilização do banco de dados foi a implementação da funcionalidade de atualização em tempo real (Realtime), através da biblioteca Supabase Realtime. Esse recurso permite que o dispositivo receba notificações instantâneas sempre que ocorre qualquer tipo de evento no banco de dados, como inserção, atualização ou exclusão de dados. O tempo de resposta é praticamente imediato, o que é essencial para garantir a eficácia do acionamento remoto da lâmpada.

A vantagem desse modelo de integração é que as chamadas ao banco de dados ocorrem apenas quando há alterações. Em comparação com métodos tradicionais, em que era necessário realizar chamadas constantes (a cada 100ms, por exemplo) para monitorar o estado da lâmpada, a solução com Supabase Realtime reduz drasticamente o número de acessos ao banco. Isso proporciona uma economia significativa de custo, já que o plano gratuito do Supabase permite a operação de centenas de dispositivos simultaneamente sem problemas de desempenho.

Um aspecto relevante que demandou atenção foi a ativação da funcionalidade de Realtime para a tabela específica no Supabase, o que requer a habilitação de Políticas de Controle de Acesso (Policies) para Inserção (Insert), Seleção (Select) e Atualização (Update). Sem a implementação dessas três políticas, a integração com o Supabase Realtime não seria possível. Esse requisito tem sido um desafio e foi reportado como um problema que pode ser corrigido em versões futuras da plataforma, já que, nesse cenário, o evento de Deletar (Delete) poderia ser recebido, mas sem as demais funções de inserção, seleção e atualização, a integração completa não seria viável.

Com a integração do Supabase Realtime concluída com sucesso, foi possível observar a troca do status da lâmpada remotamente, ao realizar modificações diretamente no banco de dados. A próxima etapa consiste em integrar uma aplicação externa, que realizará a atualização do banco de dados, refletindo as mudanças diretamente no dispositivo conectado.

3.4. ETAPA DE ACIONAMENTO REMOTO

Na última etapa do projeto, intitulada Etapa de Acionamento Remoto, o objetivo foi desenvolver formas mais amigáveis para que a atualização do banco de dados fosse realizada pelo usuário final. O cenário mais comum para esse tipo de interação seria um aplicativo mobile, que se conectasse ao banco de dados e permitisse a alteração do estado da lâmpada conforme o usuário interagisse com o dispositivo celular.

Para isso, foi desenvolvido um aplicativo simples utilizando o framework Flutter, com a funcionalidade de se conectar automaticamente ao banco de dados, o qual já estava integrado ao recurso de Realtime. Dessa forma, sempre que houver uma alteração no banco de dados do lado do interruptor, o estado da lâmpada será atualizado na aplicação, evitando qualquer tipo de conflito no status do dispositivo. Quando o usuário clicar na interface do celular para acionar a lâmpada, o novo estado será refletido no banco de dados, que por sua vez notificará o hardware para realizar o acionamento correto, ligando ou desligando a lâmpada.

Essa sincronização direta com o banco de dados proporciona uma funcionalidade de alta qualidade, permitindo que o usuário visualize e controle o estado da lâmpada de qualquer lugar do mundo, desde que tenha acesso à internet. Não é necessário estar no mesmo local ou conectado à mesma rede, o que torna o sistema extremamente flexível e prático.

Além da interação por meio do aplicativo mobile, foi implementada também uma integração com a assistente virtual Alexa, utilizando a biblioteca EspAlexa. Essa biblioteca foi projetada especificamente para integrar microcontroladores ESP8266 e ESP32 ao ecossistema da Alexa, facilitando o controle de dispositivos por meio de comandos de voz. A EspAlexa possibilita que dispositivos baseados nesses microcontroladores sejam descobertos e registrados automaticamente no sistema da assistente, eliminando a necessidade de configurações manuais complexas.

A biblioteca EspAlexa utiliza um servidor web interno para simular dispositivos compatíveis com a API da Alexa, permitindo que os microcontroladores sejam controlados diretamente pela assistente de voz. Por padrão, ela suporta até 10 dispositivos por microcontrolador, e cada dispositivo pode ter funcionalidades como ligar, desligar e ajustar o brilho, com valores que variam de 0 a 255. Esses comandos são mapeados e gerenciados pela biblioteca de maneira eficiente, garantindo uma integração responsiva.

A configuração inicial da EspAlexa exige que o dispositivo esteja conectado à mesma rede Wi-Fi de um dispositivo Echo ou do aplicativo da Alexa. Após a conexão, métodos como “addDevice()” são utilizados para registrar dispositivos na rede. Uma vez configurados, eles aparecem automaticamente no aplicativo da Alexa, permitindo ao usuário renomeá-los e ajustar suas funções conforme necessário. Esse processo simples e intuitivo facilita a adoção por usuários finais, mesmo os menos familiarizados com tecnologias de automação residencial.

Um ponto importante a ser considerado é que a EspAlexa utiliza uma API cuja estabilidade pode depender de atualizações no sistema da Amazon. Por isso, embora seja uma solução eficiente para projetos de prototipagem e uso pessoal, seu emprego em ambientes de produção deve ser planejado com cautela.

Com a integração bem-sucedida da EspAlexa ao protótipo, o dispositivo desenvolvido foi capaz de responder a comandos de voz, além de manter a funcionalidade já implementada de controle pelo aplicativo mobile. Essa versatilidade amplia as possibilidades de uso, tornando o sistema mais atrativo para consumidores que buscam soluções práticas e acessíveis para a automação residencial.

4. RESULTADOS

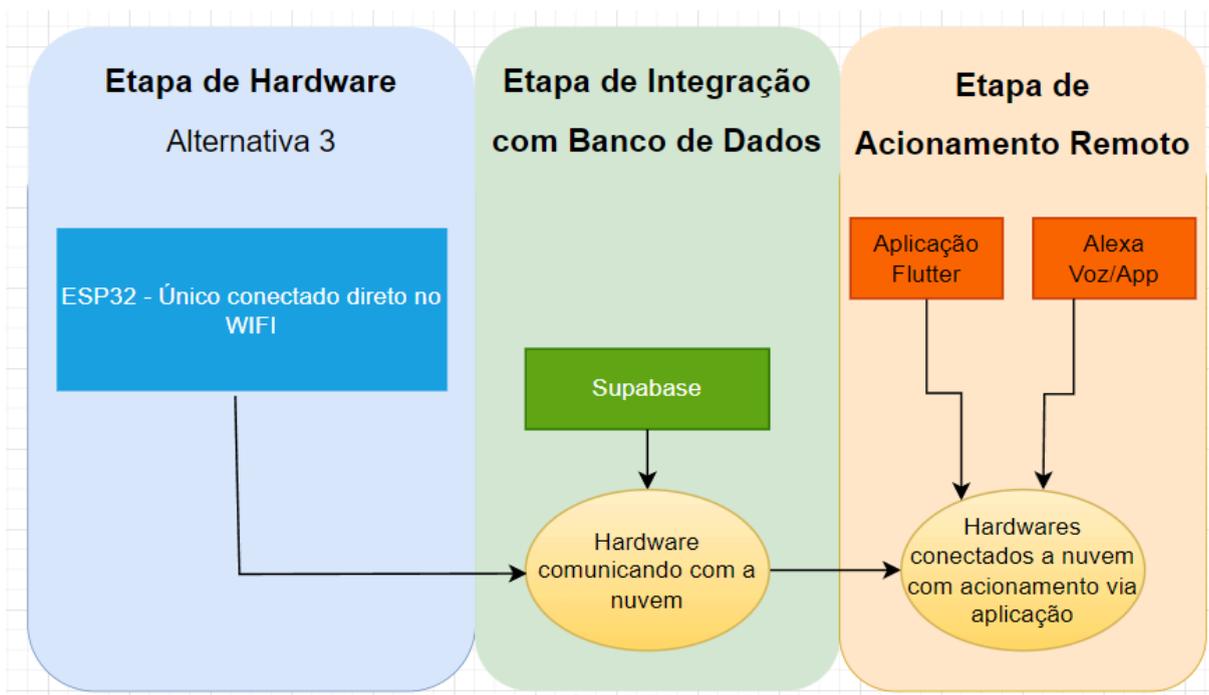
Na primeira parte prática deste projeto, o objetivo foi implementar a ideia utilizando os recursos desejados e avaliar se o microcontrolador seria capaz de executar as funções necessárias. Além disso, essa etapa já antecipou a próxima fase: a integração do hardware com o banco de dados. Esse foi um passo crucial, pois, uma vez que o hardware estivesse funcionando de maneira estável e integrado ao banco de dados, a etapa de acionamento remoto seria significativamente simplificada, com maior garantia de funcionamento.

Como já foi discutido no capítulo de Materiais e Métodos, a Alternativa 1 do projeto, que envolvia dois módulos de microcontroladores se comunicando através do protocolo ESP-NOW, apresentou falhas na conexão com o banco de dados via rede Wi-Fi. A falha na ideia inicial obrigou a busca por alternativas para garantir que o dispositivo fosse funcional e atendesse ao objetivo principal do projeto: criar um interruptor inteligente de baixo custo e fácil instalação, utilizando a lâmpada e o interruptor já presentes na residência.

Diante disso, foi tentada a Alternativa 2, que utilizava dois módulos de microcontroladores se comunicando via protocolo BLE. No entanto, essa alternativa também falhou devido a limitações do dispositivo. Com isso, foi necessário avançar para a Alternativa 3, que abandonou a ideia de ter dois módulos e utilizou apenas um microcontrolador. Esse microcontrolador seria responsável tanto pelo acionamento da lâmpada quanto pela conexão Wi-Fi. Embora essa alternativa não permitisse a redução do consumo de energia, pois ambos os recursos estavam concentrados no mesmo módulo, ela proporcionava uma solução mais robusta e com menor probabilidade de falhas ocasionais. A eliminação de uma comunicação redundante simplificou o projeto e aumentou a confiabilidade do sistema.

A seguir, foi desenvolvido todo o ciclo do projeto utilizando a Alternativa 3, com um único módulo microcontrolador conectado à rede Wi-Fi e integrado ao banco de dados para permitir o acionamento remoto da lâmpada. O esquema final das etapas do projeto pode ser visualizado na figura 11:

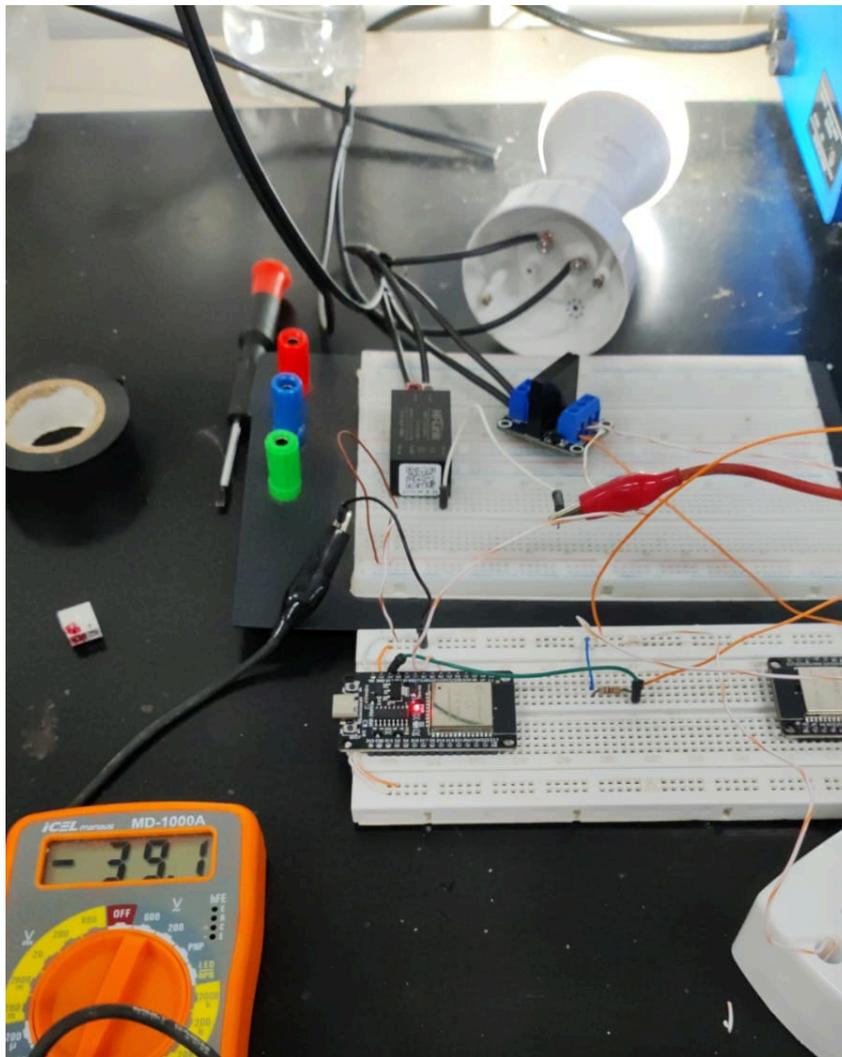
FIGURA 11: Arquitetura final do projeto



Fonte: Autor (2024)

O desenvolvimento prático ocorreu inicialmente em uma protoboard, sendo implementado etapa por etapa para garantir que todas as funcionalidades trabalhassem corretamente em conjunto. Após diversos ajustes, como a integração com a Alexa, o código foi revisado e adaptado para que todas as modificações fossem aplicadas corretamente, conforme mostrado na figura 12.

FIGURA 12: Modelo final na protoboard

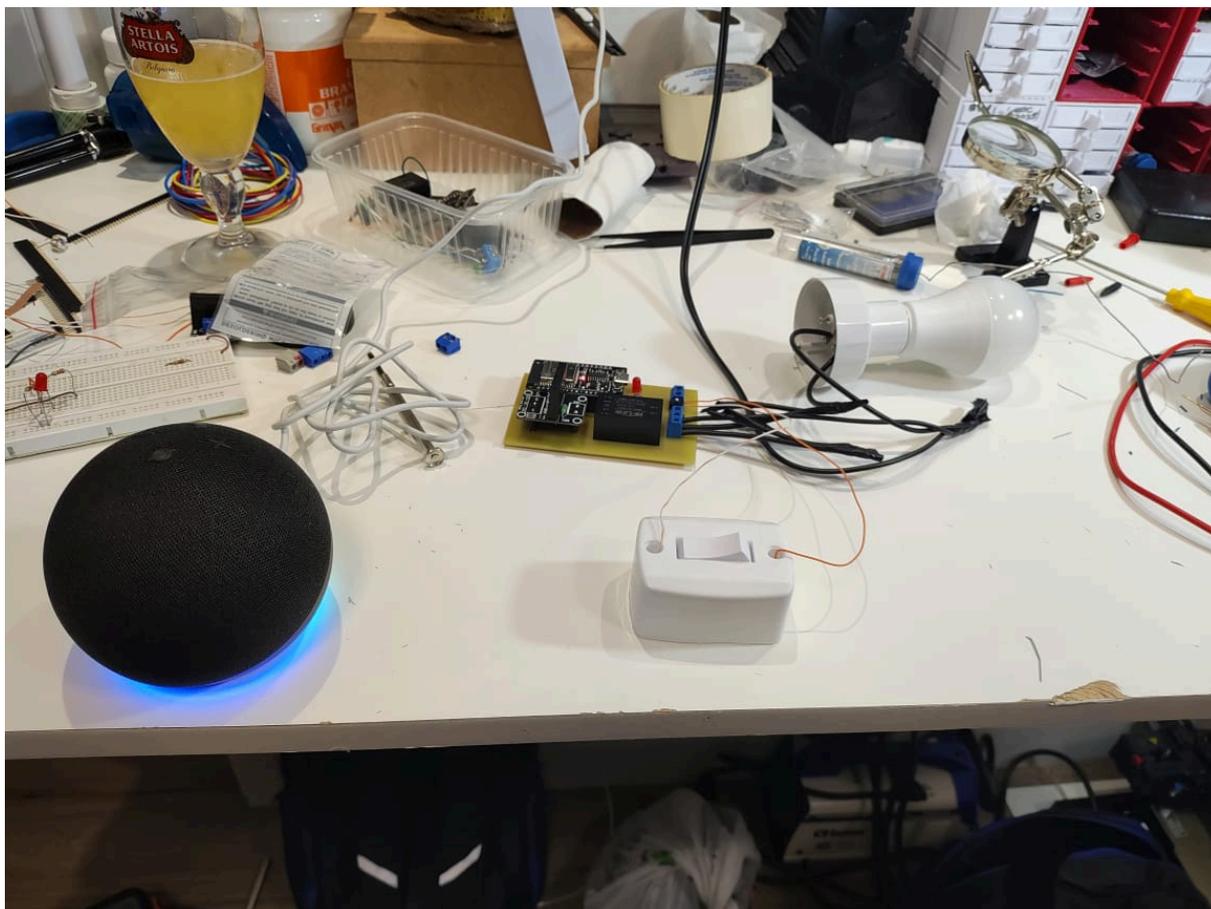


Fonte: Autor (2024)

Com os ajustes finais no código do microcontrolador, iniciou-se a confecção da placa de fenolite para o dispositivo. Considerando que se tratava de um protótipo para prova de conceito, a placa foi projetada utilizando os módulos existentes comercialmente, que já estavam disponíveis. A foto do dispositivo final na placa pode ser vista na figura 13.

O esquemático e PCB foram projetados utilizando o software EasyEDA, o qual projeto da placa eletrônica montada segue exposto no Apêndice A.

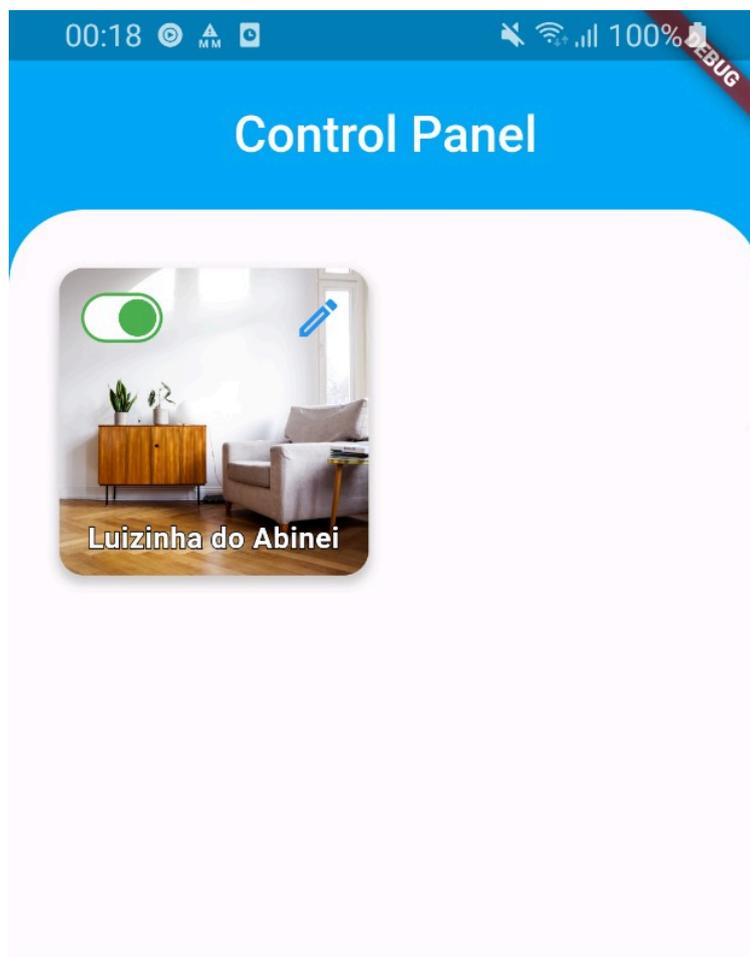
FIGURA 13: Dispositivo final na placa de fenolite operando



Fonte: Autor (2024)

Após a montagem da placa, foram feitas as conexões necessárias para alimentação do protótipo, incluindo os cabos Fase, Neutro e o Retorno da lâmpada, conectados ao primeiro borne. Um borne adicional foi utilizado para a entrada dos fios do interruptor físico. Após esses ajustes, o teste final de operação foi realizado. Ao ligar o dispositivo e conectá-lo a uma nova rede Wi-Fi, ele conseguiu acessar corretamente o banco de dados e o servidor da Alexa. O protótipo estava totalmente operacional, permitindo que a lâmpada fosse acionada tanto pelo interruptor físico quanto por comandos de voz da Alexa. Além disso, o controle da lâmpada via aplicação mobile também foi validado, conforme mostrado na figura 14:

FIGURA 14: Aplicativo mobile com o dispositivo conectado



Fonte: Autor (2024)

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste protótipo de interruptor inteligente atendeu ao objetivo principal deste trabalho, que foi proporcionar um dispositivo para automação residencial simples e fácil de instalar, utilizando os periféricos já existentes na residência, como a lâmpada e o interruptor. Assim, buscou-se integrar o melhor de ambos os mundos: a modernidade da automação, permitindo o acionamento remoto da lâmpada por meio de uma aplicação ou por comandos de voz com a Alexa, sem perder a aparência e usabilidade do interruptor físico tradicional, que sempre esteve presente na residência. Dessa forma, o usuário tem a possibilidade de uma casa mais automatizada, mantendo ao mesmo tempo o ambiente visualmente familiar.

Com relação aos objetivos específicos, o primeiro foi a pesquisa sobre as tecnologias existentes no mercado, suas vantagens e limitações, realizada no início do projeto para definir o desenvolvimento do protótipo. Foram exploradas alternativas, como a comunicação via ESP-NOW e BLE, mas não foi possível implementá-las conforme o esperado. No entanto, essas opções ainda são viáveis, desde que possam ser aprimoradas e os problemas solucionados, tornando-se uma possibilidade para trabalhos futuros.

A aplicação mobile desenvolvida em Flutter para o acionamento remoto do interruptor inteligente também atingiu o resultado esperado. Embora a aplicação tenha cumprido sua função, ainda há muitas melhorias a serem feitas para torná-la mais amigável e prática para o usuário final. Assim, também há espaço para desenvolvimentos futuros nesse aspecto.

Ao comparar o protótipo desenvolvido com outros interruptores inteligentes disponíveis no mercado, considero que ele obteve um bom desempenho em termos de operação e usabilidade, especialmente pela integração com a Alexa, o que expande significativamente as possibilidades de uso no contexto de automação residencial. Sem essa integração, acredito que o dispositivo ficaria aquém das opções disponíveis no mercado.

No entanto, em relação ao hardware, o protótipo ainda tem algumas limitações. O tamanho final ficou maior do que o esperado, e com um melhor gerenciamento dos componentes e o uso de uma placa dedicada, o tamanho poderia ser reduzido significativamente, permitindo que o dispositivo fosse integrado diretamente na caixa elétrica do interruptor físico da residência, como é o padrão no mercado.

Quanto ao custo, o protótipo desenvolvido ficou na faixa de 60 a 70 reais, utilizando módulos comerciais prontos. Com a consolidação dos componentes em um único módulo, acredito que o custo unitário poderia ser significativamente reduzido, tornando o dispositivo mais acessível.

Em resumo, este projeto demonstrou boas alternativas para a criação de um interruptor inteligente para automação residencial, com foco na redução de custos e na facilidade de implementação, buscando tornar o produto mais acessível para o público em geral e facilitar a entrada dos usuários no mundo da automação residencial.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Dada a relevância do tema abordado e considerando as limitações enfrentadas durante o desenvolvimento deste projeto, sugere-se a continuidade da pesquisa em diferentes vertentes, conforme descrito a seguir:

1. **Desenvolvimento de Hardware Próprio com Componentes Dedicados:** Recomenda-se a não utilização de módulos prontos, como os kits de microcontrolador ESP32, módulo de relé e módulo de alimentação. Isso se deve a dois fatores principais: a melhoria no custo unitário do dispositivo final e a redução do tamanho do hardware, o que pode resultar em um produto mais compacto e acessível.

2. **Melhoria na Segurança da Aplicação e Banco de Dados:** Sugere-se a implementação de mecanismos de autenticação tanto para a aplicação móvel quanto para o controle do banco de dados, a fim de garantir maior integridade do sistema como um todo e assegurar que apenas os usuários autorizados possam acessar e controlar os dispositivos. Esse aprimoramento traria mais confiabilidade ao sistema.

3. **Alimentação do Hardware sem o Fio Neutro:** Recomenda-se a realização de estudos para encontrar uma solução estável e confiável para alimentar o dispositivo sem a utilização do fio neutro passando pela caixa elétrica do interruptor. Isso simplificaria ainda mais a instalação, especialmente em residências antigas que não possuem o fio neutro, facilitando a adoção do dispositivo por um número maior de usuários.

4. **Busca pela Redução do Consumo Energético do Hardware:** Sugere-se mais pesquisa nas tecnologias e possibilidades de operar o microcontrolador ESP32 de forma mais eficiente em termos de consumo energético. Isso pode incluir o uso de protocolos de comunicação como ESP-NOW ou BLE, entre outros, para otimizar o desempenho e reduzir o consumo de energia, especialmente em dispositivos que funcionam continuamente, como os de automação residencial.

6. BIBLIOGRAFIA

SCHERZ, Paul; MONK, Simon. **Practical Electronics for Inventors**. 4. ed. New York, N.Y.: McGraw-Hill Education, 2016.

MARWEDEL, Peter. **Embedded System Design**. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006.

WILMSHURST, Tim. **Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers: Principles and Applications**. Amsterdam: Newnes, 2007.

LEVY, S. **Domótica: A evolução da automação residencial**. *Revista de Tecnologia Doméstica*, 2016.

SMITH, A. **Dispositivos Inteligentes e a Popularização da Automação Residencial**. *Journal of Smart Home Technology*, 2018.

JOHNSON, R. **Benefícios e Desafios da Automação Residencial**. *Home Automation Journal*, 2020.

BROWN, T. **Segurança e Privacidade em Sistemas de Automação Residencial**. *Cybersecurity Review*, 2019.

DAVIS, L. **Inovações Tecnológicas na Automação Residencial**. *International Journal of Home Automation*, 2021.

SMITH, A. **Emerging Technologies in Home Automation**. *Journal of Smart Home Technology*, 2023.

SMITH, J. **Understanding the Capabilities of the ESP32 Microcontroller**. *Journal of Embedded Systems*, v. 15, n. 3, p. 123-130, 2021.

JONES, R. **Low Power Design Techniques for ESP32 Based IoT Applications**. *International Journal of Internet of Things*, v. 9, n. 2, p. 45-53, 2020.

BROWN, A. **The Impact of ESP8266 on IoT Development**. *International Journal of Embedded Systems*, v. 12, n. 1, p. 34-40, 2019.

JOHNSON, P. **Power Management Strategies in ESP8266 Based IoT Devices**. *Journal of Internet Technology and Applications*, v. 7, n. 4, p. 210-217, 2018.

HOLMQVIST, B. **Understanding RESTful APIs**. *Journal of Web Development*, v. 10, n. 2, p. 45-60, 2021.

FIELDING, R. T. **Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures**. Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.

SU, Shun-Feng; CHEN, Chi-Yuan; WEI, Tzung-Chen. **Power Management Techniques for IoT Devices with Supercapacitors: A Comprehensive Review**. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 7, n. 3, p. 2312-2321, mar. 2020.

HUANG, Jianxin; CHEN, Guangsheng; GUO, Mingyu. **Energy Storage Systems for Internet of Things: A Perspective on Supercapacitors**. *Journal of Energy Storage*, v. 28, art. 101229, dez. 2020.

COLLOTTA, M.; PAU, G. **A Novel Energy Management Approach for Smart Homes Using Bluetooth Low Energy**. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 33, n. 12, p. 2988–2996, dez. 2015.

COLLOTTA, M.; PAU, G. **A Power Management Solution for Bluetooth Low Energy in Smart Homes of Internet of Things**. *International Journal of Internet Protocol Technology*, v. 9, n. 2/3, p. 53, 2016.

COLLOTTA, M.; PAU, G. **An Innovative Approach for Forecasting of Energy Requirements to Improve a Smart Home Management System Based on BLE**. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, v. 1, n. 1, p. 112–120, mar. 2017.

SU, Shun-Feng; CHEN, Chi-Yuan; WEI, Tzung-Chen. **Power Management Techniques for IoT Devices with Supercapacitors: A Comprehensive Review**. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 7, n. 3, p. 2312–2321, mar. 2020.

HUANG, Jianxin; CHEN, Guangsheng; GUO, Mingyu. **Energy Storage Systems for Internet of Things: A Perspective on Supercapacitors**. *Journal of Energy Storage*, v. 28, art. 101229, dez. 2020.

SHELLY. **Shelly 1L**. Disponível em: <https://kb.shelly.cloud/knowledge-base/shelly-1l>. Acesso em: 24 jun. 2024.

ALL ABOUT CIRCUITS. **Introduction to Supercapacitors**. Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-supercapacitors/>. Acesso em: 24 jun. 2024.

Supabase Docs. Disponível em: <https://supabase.com/docs/guides/api>. Acesso em: 24 jun. 2024.

HLKTECH. **HLK-PM03: AC-DC Module**. Disponível em: <https://hlktech.net/index.php?id=106>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SUPABASE REALTIME. **Realtime PostgreSQL Changes**. Disponível em: <https://supabase.com/features/realtime-postgres-changes>. Acesso em: 26 nov. 2024.

FLUTTER. **Development**. Disponível em: <https://flutter.dev/development>. Acesso em: 26 nov. 2024.

TZAPU. **WiFiManager**. Disponível em: <https://github.com/tzapu/WiFiManager>. Acesso em: 26 nov. 2024.

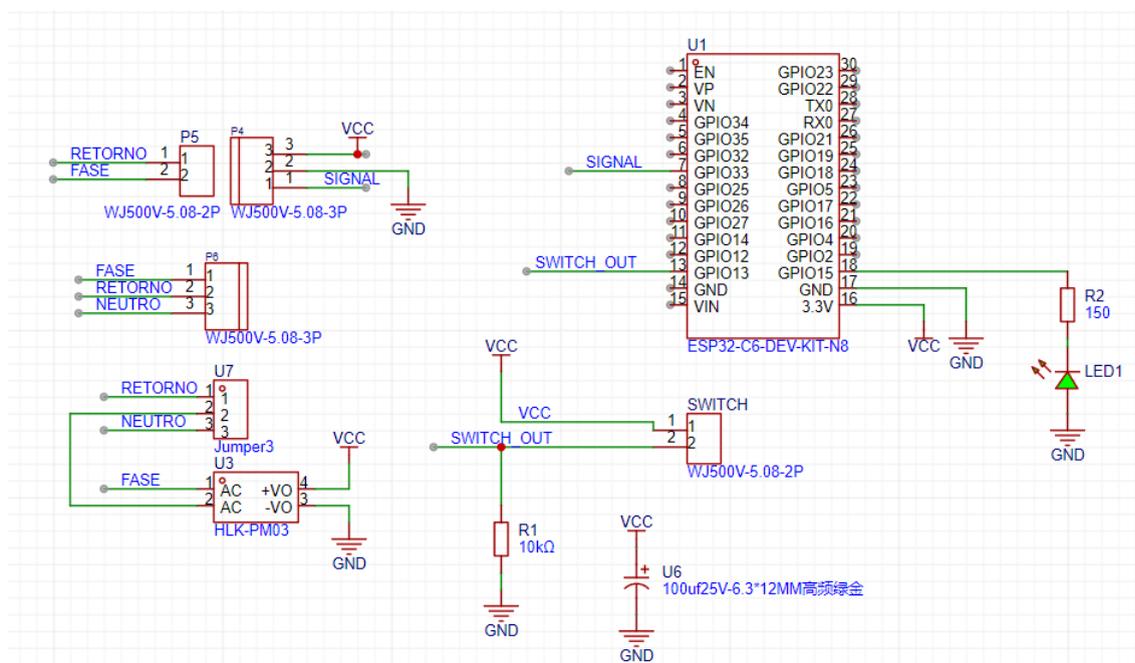
APÊNDICE A – ESQUEMÁTICOS PROTÓTIPO INTERRUPTOR INTELIGENTE

Este protótipo foi projetado e montado com foco na praticidade, utilizando módulos prontos e comerciais para sua construção. Por essa razão, foi empregado o módulo HLK-PM03 para a alimentação isolada do circuito, além do módulo de relé de estado sólido já pronto para operar com o ESP32. No módulo de relé, os bornes originais foram substituídos por barras de pinos, permitindo sua integração na placa do protótipo.

Adicionalmente, o ESP32 não foi soldado diretamente à placa, mas conectado por meio de barras de pinos, possibilitando sua remoção e reconexão sempre que necessário, sem causar danos ao componente.

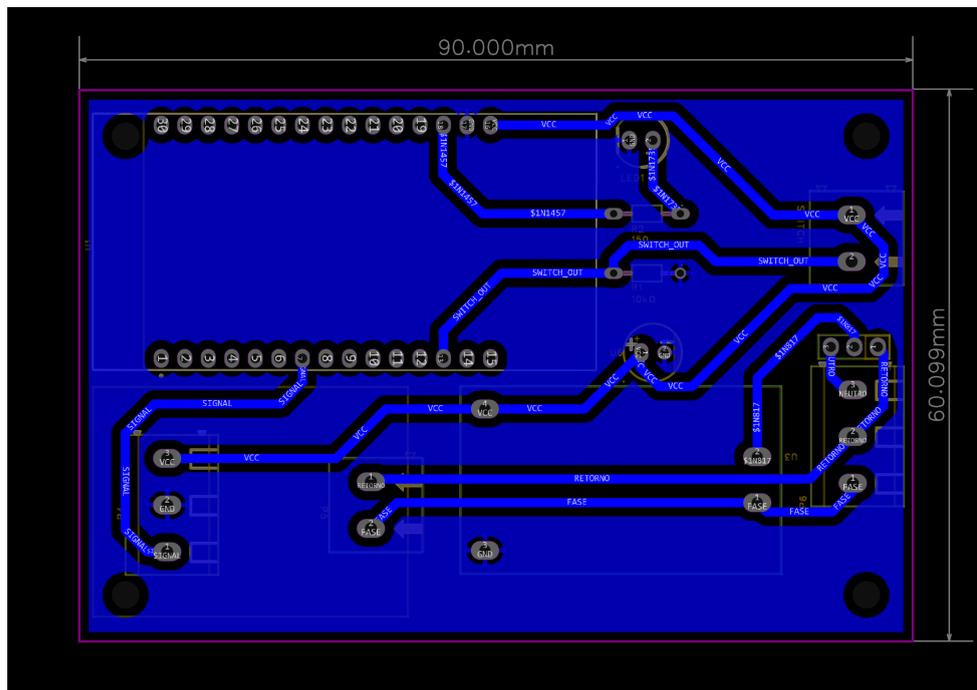
O esquemático e a PCB deste circuito estão apresentados nas Figuras 15 e 16 a seguir.

FIGURA 15: Esquemático da placa protótipo



Fonte: Autor (2024)

FIGURA 16: PCB da placa protótipo



Fonte: Autor (2024)

Os componentes utilizados na placa, seguem na Tabela 1:

TABELA 1: Componentes da placa protótipo

Designação	Descrição	Valor
P5 e P4	Barra de Pinos para conectar módulo Relé a placa	-
P6	Borne 1x3	-
U7	Barra de pinos 1x3	
U3	Módulo HLK-PM03	127-240V,10A para 3.3V,1A
U1	ESP32-WROOM-32 - colocado barra de pinos	-
SWITCH	Borne 1x2 - conexão interruptor externo	
R1	Resistor	10 kΩ; ¼ W
R2	Resistor	150 Ω; ¼ W
LED1	LED Vermelho	2,5V
U6	Capacitor	100 uF; 25V