

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO  
GRANDE DO SUL – UNIJUÍ**

**PATRIK THOMÉ DA CRUZ PIACESKI**

**AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM IOT: UM ESTUDO DE  
CASO DE INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES COM A  
ESP32**

**Ijuí  
2024**

**PATRIK THOMÉ DA CRUZ PIACESKI**

**AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM IOT: UM ESTUDO DE  
CASO DE INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES COM A  
ESP32**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Engenharia Elétrica apresentado como  
requisito para obtenção do título de  
Engenheiro Eletricista.

**Orientador(a): Luana Obregon Carvalho**

**Ijuí  
2024**

**PATRIK THOMÉ DA CRUZ PIACESKI**

**AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM IOT: UM ESTUDO DE  
CASO DE INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES COM A  
ESP32**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO ELETRICISTA e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 02 de novembro de 2024

Prof. Luana Obregon Carvalho

Mestre pela UNIJUÍ - Orientadora

Prof. Fulano de Tal

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica/UNIJUÍ

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Fulano de Tal (UNIJUÍ)

Doutor pela Universidade tal

Prof. Fulano de Tal (UNIJUÍ)

Doutor pela Universidade tal

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre acreditaram no meu potencial e me apoiaram incondicionalmente em todas as etapas desta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecimento especial a minha namorada Gabryela Andressa Speroni por estar ao meu lado nos momentos em que era necessário o uso do tempo e dedicação para os estudos, por sempre me apoiar e demonstrar amor e motivação para me ajudar a alcançar minhas metas.

Agradecimento especial aos meus pais Elisandro Piacessi e Rosangela Thomé da Cruz por sempre estarem ao meu lado nos momentos de dificuldades, nos momentos de dedicação aos estudos, sempre buscando me incentivar e me motivar para atingir os bons resultados.

Agradecer ao meu orientador(a), Professor Me. Eng. Luana Obregon, pela orientação passada durante as reuniões para realizar o estudo com melhor aproveitamento e pela ajuda no decorrer do processo de organização das normas e ortografia do relatório do trabalho.

Por fim, agradecer a todos meus familiares, amigos, colegas e pessoas que de alguma forma vieram a contribuir para que conseguisse realizar esse feito onde através de pequenos momentos e gestos me incentivaram.

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse  
por elas, eu não teria saído do lugar.

*Chico Xavier*

## RESUMO

PIACESKI, PATRIK THOME DA CRUZ. **Automação Residencial com IoT: Um Estudo de Caso de Integração de Dispositivos Inteligentes com a ESP32** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2024.

A Automação Residencial é um campo promissor no Brasil, impulsionado pela crescente demanda por conforto, segurança e eficiência energética. No entanto, os sistemas atualmente disponíveis são economicamente inviáveis para fatia mais pobre da população, limitando sua adoção em larga escala. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de Automação Residencial sem fio, baseado na Internet das Coisas (IoT), com foco em viabilidade econômica e acessibilidade. A solução implementada utiliza um microcontrolador ESP32 como servidor centralizado, capaz de gerenciar e monitorar dispositivos como lâmpadas LED, condicionadores de ar e cortinas motorizadas. Entre as funcionalidades destacam-se o controle de luminosidade para otimização da climatização e a abertura/fechamento automático de cortinas em horários programados. Todos os dispositivos conectados possuem acesso direto à Internet, caracterizando uma aplicação IoT. O sistema é gerenciado via um aplicativo para smartphone, proporcionando ao usuário um controle remoto intuitivo e eficiente. Testes de alcance foram realizados para validar a capacidade do ESP32 como servidor centralizado, e uma análise de custos foi conduzida para demonstrar a viabilidade econômica do projeto. Os resultados confirmam que a solução proposta é funcional, acessível e alinhada às demandas de automação residencial no contexto brasileiro.

**Palavras-chave:** Automação Residencial; Integração de componentes inteligentes; ESP32.

PIACESKI, PATRIK THOME DA CRUZ. "**Automação Residencial com IoT: Um Estudo de Caso de Integração de Dispositivos Inteligentes com a ESP32**". 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2024.

Home Automation is a promising field in Brazil, driven by the growing demand for comfort, security, and energy efficiency. However, the systems currently available are economically unfeasible for a large portion of the population, limiting their widespread adoption. This work presents the development of a wireless Home Automation system based on the Internet of Things (IoT), with a focus on economic feasibility and accessibility. The implemented solution uses an ESP32 microcontroller as a centralized server capable of managing and monitoring devices such as LED lamps, air conditioners, and motorized curtains. Key features include brightness control for climate optimization and automatic opening/closing of curtains at scheduled times. All connected devices have direct Internet access, characterizing an IoT application. The system is managed via a smartphone app, providing users with intuitive and efficient remote control. Range tests were conducted to validate the ESP32's capability as a centralized server, and a cost analysis was carried out to demonstrate the economic viability of the project. The results confirm that the proposed solution is functional, accessible, and aligned with the demands of home automation in the Brazilian context.

**Keywords:** Home Automation; Internet of Things; ESP32.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão Geral da Automação Residencial .....	17
Figura 2 - Visão geral do conceito de Internet das Coisas .....	19
Figura 3 - Placa de desenvolvimento ESP32.....	23
Figura 4 - Arquitetura da ESP32 .....	23
Figura 5 - Tela do PlatformIO .....	28
Figura 6 - Arquitetura do Sistema de Automação Residencial Proposto .....	31
Figura 7 - Sensor de temperatura e Transceptor de Infravermelho .....	32
Figura 8 - Tuya PIR Sensor e Tuya Mini Dimmer .....	33
Figura 9 - Tuya Smart Curtain.....	33
Figura 10 Fluxograma da tarefa de controle de temperatura.....	35
Figura 11 - Fluxograma da tarefa de desliga/liga lâmpada .....	35
Figura 12 - Fluxograma da tarefa de controle de luminosidade .....	36
Figura 13 - Fluxograma da tarefa para fechar cortina .....	36
Figura 14 - Telas de app de controle: Login, Inicial e Seleção de Subsistema .....	37
Figura 15 - Telas de app de controle: Login, Inicial e Seleção de Subsistema .....	38
Figura 16 - Força de sinal Wifi vs Distância .....	40
Figura 17 - Cenário avaliado no estudo de caso .....	41

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Custos dos componentes

45

## **LISTA DE SIGLAS**

**ADC – Analog-to-Digital Converter** (Conversor Analógico para Digital)

**BLE – Bluetooth Low Energy** (Bluetooth de Baixo Consumo de Energia)

**ESP – Espressif Systems** (Sistemas Espressif)

**IoT – Internet of Things** (Internet das Coisas)

**MQTT – Message Queuing Telemetry Transport** (Transporte de Telemetria com Fila de Mensagens)

**OTA – Over-The-Air** (Atualização por Meio da Rede)

**RTOS – Real-Time Operating System** (Sistema Operacional em Tempo Real)

**Wi-Fi – Wireless Fidelity** (Fidelidade sem Fio)

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	CONTEXTO .....	13
1.2	PROBLEMA .....	14
1.3	OBJETIVOS.....	15
1.3.1	Objetivo Geral .....	15
1.3.2	Objetivos Específicos .....	15
1.4	ESTRUTURAÇÃO .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
2.1	AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL.....	16
2.1.1	Arquiteturas de Sistemas de Automação Residencial .....	18
2.2	INTERNET DAS COISAS .....	18
2.3	TRABALHOS CORRELACIONADOS.....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	21
3.2	ESP32 E A INTERNET DAS COISAS .....	22
3.2.1	TCP/IP .....	24
3.2.2	MQTT.....	25
3.3	HARDWARE.....	25
3.3.1	Subsistema de Conforto Térmico.....	26
3.3.2	Subsistema de Conforto Luminoso .....	27
3.3.3	Subsistema de Controle de Cortina .....	27
3.4	SOFTWARE .....	28
3.4.1	PlatformIO.....	28
3.4.2	FreeRTOS.....	29

3.4.3	Blynk .....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>31</b>
4.2	LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES .....	31
4.2.1	Subsistema de Conforto Térmico .....	32
4.2.2	Subsistema de Conforto Luminoso .....	32
4.2.3	Subsistema de Controle de Cortinas.....	33
4.3	SERVIDOR CENTRALIZADO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL ....	34
4.4	SUBSISTEMAS .....	34
4.4.1	Subsistema de Conforto Térmico .....	34
4.4.2	Subsistema de Conforto Luminoso .....	35
4.4.3	Subsistema de Controle de Cortinas.....	36
4.5	INTERFACE DE GRÁFICA DE USUÁRIO .....	37
4.6	ESTUDO DE VIABILIDADE.....	38
4.6.1	Custos .....	38
4.6.2	Avaliação da ESP32 como Servidor Centralizado de Automação Residencial 39	
4.6.3	Estudo de Caso .....	40
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO

Com o avanço da tecnologia, a humanidade tem se dedicado a criar e desenvolver novas ferramentas com o objetivo de melhorar a qualidade de vida, buscando proporcionar um ambiente residencial cada vez mais eficiente e confortável. Aliado a isso, surge também a preocupação com a eficiência energética e a sustentabilidade, temas que têm ganhado crescente relevância nos últimos anos. Com o objetivo de combinar qualidade de vida e eficiência energética, surgiu o conceito de automação residencial.

Automação residencial é a aplicação de tecnologias que permitem o controle inteligente de diversos dispositivos em uma residência, visando maior conforto, eficiência energética e segurança. O conceito de automação, inicialmente desenvolvido para a indústria, consiste na utilização de sistemas e equipamentos automáticos para otimizar processos, aumentar a produtividade e reduzir custos operacionais. Com o tempo, esses avanços tecnológicos transcenderam o ambiente industrial, migrando para o contexto doméstico. Assim, surgiu a automação residencial, que adapta esses sistemas para gerenciar de forma integrada equipamentos como iluminação, climatização, segurança, e eletrodomésticos, permitindo um controle mais preciso e eficiente, seja localmente ou remotamente, por meio de dispositivos conectados (MURATORI, 2017).

Equipamentos eletrônicos automatizados de uso residencial já existem há alguns anos, as primeiras soluções de automação residencial, desenvolvidas na década de 1970, utilizavam sistemas autônomos baseados em componentes de eletrônica discreta e eram exclusivas para pessoas com elevado poder aquisitivo (MURATORI, 2017). Com o avanço das tecnologias, esses dispositivos evoluíram significativamente ao longo do tempo, passando a empregar microcontroladores como base principal, o que lhes conferiu a capacidade de processar informações. Atualmente, com a popularização da Internet das Coisas (IoT) e o progresso das redes de comunicação sem fio, como WiFi e Bluetooth, os sistemas de automação residencial podem ser monitorados e operados por meio de smartphones, tablets e outros dispositivos conectados (ASADULLAH; RAZA, 2016).

## 1.2 PROBLEMA

A automação residencial e a Internet das Coisas representam áreas com grande potencial para promover melhorias na qualidade de vida, proporcionando um cotidiano mais confortável e conveniente (FADHIL; OMAR; SARHAN, 2020). Além disso, o controle de iluminação proposto neste estudo oferece vantagens como evitar que lâmpadas permaneçam acesas desnecessariamente, contribuindo para a economia de energia, e ajustar a luminosidade para níveis adequados ao conforto humano, reduzindo o consumo energético e aumentando a durabilidade das lâmpadas. De forma semelhante, o controle de sistemas de climatização apresentado neste trabalho busca otimizar a relação entre temperatura ambiente e horários do dia, garantindo maior conforto térmico, menor gasto energético e promovendo uma alternativa mais sustentável para o meio ambiente (MURATORI, 2017).

Embora ofereçam diversas vantagens aos usuários, os sistemas de automação residencial ainda não são amplamente acessíveis para a maioria da população brasileira, principalmente devido ao alto custo de aquisição. Uma pesquisa de mercado realizada pela Associação Brasileira de Automação Residencial (AURESIDE) revelou uma demanda potencial superior a 1,8 milhão de residências interessadas em sistemas automatizados. No entanto, o mesmo estudo mostrou que apenas cerca de 20% desse total já possuem equipamentos de automação instalados. Já um levantamento conduzido pela Consultoria GTK indicou que aproximadamente 60% dos brasileiros demonstram interesse em adquirir algum tipo de sistema de automação residencial.

Esses dados evidenciam a existência de um mercado promissor e ainda pouco explorado (HABITABILITY, 2021). Este estudo proporcionará o entendimento dos princípios essenciais para criar um sistema de automação residencial utilizando a Internet das Coisas, com ênfase em soluções de baixo custo. Assim, poderá servir como base para o desenvolvimento de projetos futuros e contribuir para atender à demanda de automação residencial acessível para uma parcela significativa da população brasileira.



## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Identificar os requisitos necessários para o desenvolvimento de um sistema de automação residencial versátil, sem fio e econômico, capaz de gerenciar e monitorar iluminação, climatização e o movimento de cortinas. O sistema será equipado com um servidor central de automação utilizando o ESP32, e cada unidade automatizada se comunicará com o servidor central por meio do protocolo *WiFi*.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Entender as conexões entre a automação residencial e a Internet das Coisas (IoT).
- Levantar as necessidades atuais do mercado de automação residencial no Brasil e explorar alternativas acessíveis.
- Examinar a estrutura de hardware (como sensores e atuadores) e de software (incluindo a arquitetura de *firmware*) exigida para implementar um sistema de automação residencial.
- Investigar as restrições do ESP32 em redes *WiFi* em ambientes internos, com o objetivo de validar a viabilidade do servidor central.

## 1.4 ESTRUTURAÇÃO

O presente trabalho está estruturado em 5 capítulos, o presente capítulo é a introdução do trabalho. O segundo capítulo é uma revisão bibliográfica abordando conceitos de Automação Residencial e Internet das Coisas e alguns trabalhos semelhantes encontrados. No terceiro capítulo é apresentada a metodologia do trabalho, são apresentadas as principais ideias para o desenvolvimento do trabalho, além de alguns conceitos e ferramentas que foram essenciais para a concepção do projeto. No quarto capítulo são apresentados os resultados deste trabalho, apresentando a arquitetura adotada, seleção de componentes, estrutura de código do servidor centralizado e dos subsistemas, além de um estudo de viabilidade contendo uma análise de custos, e um estudo de caso sobre uma aplicação hipotética em uma residência e avaliação dos custos da implementação. Por fim, no quinto capítulo estão contidas as considerações finais do trabalho.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

A automação pode ser definida como o uso de tecnologias e sistemas de controle para realizar tarefas de maneira autônoma, sem a necessidade de intervenção constante de um operador humano. Segundo Ogata (2010), "Automação é a aplicação de dispositivos mecânicos, elétricos e eletrônicos para realizar operações de maneira automática, melhorando a eficiência e precisão de processos". Para Groover (2016), "Automação é o uso de sistemas de controle, como computadores ou dispositivos eletrônicos, para operar equipamentos e processos com a mínima intervenção humana. Seu objetivo é aumentar a eficiência, precisão e repetibilidade das operações, ao mesmo tempo que reduz a possibilidade de erros humanos."

A aplicação da automação na indústria teve suas primeiras manifestações na Revolução Industrial, com o uso de máquinas a vapor para substituir o trabalho manual e aumentar a produtividade (MORAN, 2017). Um marco importante foi a linha de montagem de Henry Ford em 1913, que dividiu a fabricação em etapas repetitivas, acelerando a produção e reduzindo custos (GROOVER, 2016).

Nos anos 1940 e 1950, com o desenvolvimento dos primeiros controladores automáticos, a automação ganhou novos avanços, culminando com a criação dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) nos anos 1960, que tornaram o controle de processos mais preciso (PEREIRA; SILVA, 2018). A introdução dos robôs industriais, também na década de 1960, trouxe ainda mais eficiência e segurança para o setor automotivo e outros ramos (SHIH, 2020). Desde então, o avanço contínuo das tecnologias tem moldado a chamada Indústria 4.0, que utiliza sensores, inteligência artificial e IoT para integrar e otimizar processos industriais (KAGERMANN et al., 2013).

Acompanhando o avanço tecnológico, e adaptando inovações ao ambiente doméstico para proporcionar maior conforto, segurança e eficiência energética, surgiu o conceito de automação residencial. O termo Automação Residencial foi cunhado pelo engenheiro americano Jim Hill, em 1984, para se referir à integração de tecnologias que possibilitam o controle automático e inteligente de diferentes sistemas em uma residência, como iluminação, climatização, segurança e entretenimento (HILL, 1985). A ideia evoluiu a partir da aplicação das tecnologias desenvolvidas inicialmente para a automação industrial, cujo objetivo era otimizar a eficiência e a produtividade nas fábricas (GROOVER, 2016; PEREIRA; SILVA,

2018). Dessa forma, o conceito de automação industrial foi adaptado para o contexto residencial, permitindo maior conectividade e automação personalizada nas casas modernas.



Figura 1 - Visão Geral da Automação Residencial

Fonte: (EletroJun, 2024)

A história da automação residencial remonta à década de 1960, quando surgiram os primeiros experimentos voltados para a integração de sistemas automatizados nas residências, embora ainda de forma rudimentar e acessível apenas a projetos de alto custo (ALMEIDA, 2019). O avanço significativo da Automação Residencial ocorreu nas décadas de 1980 e 1990, impulsionado pela popularização dos microprocessadores e pela criação de protocolos de comunicação, como o X10, que permitiu o controle remoto de dispositivos elétricos utilizando a rede elétrica existente (HILL, 1985). Com a expansão da internet no início dos anos 2000, a automação passou a integrar sistemas mais complexos e conectados, culminando no conceito de Internet das Coisas (IoT), que possibilita o controle de dispositivos por meio de smartphones e assistentes virtuais, como Alexa e Google Assistant (ASSIS; ROCHA, 2020). Hoje, a automação residencial evoluiu para incluir tecnologias avançadas, como sensores inteligentes, aprendizado de máquina e controle preditivo, permitindo maior eficiência energética e personalização das residências modernas (SANTOS; FERREIRA, 2021).

### 2.1.1 Arquiteturas de Sistemas de Automação Residencial

As arquiteturas de sistemas de automação residencial têm evoluído significativamente para atender às demandas de conectividade, escalabilidade e segurança, e podem ser classificadas principalmente em três modelos: centralizadas, descentralizadas e híbridas. Na arquitetura centralizada, um controlador central (como um hub ou servidor) gerencia todos os dispositivos conectados, facilitando a coordenação, mas criando um ponto único de falha e um risco de sobrecarga (SILVA; PEREIRA, 2021). Já a arquitetura descentralizada distribui o controle entre múltiplos dispositivos que se comunicam entre si, aumentando a robustez e a flexibilidade, mas exigindo maior complexidade de integração (COSTA et al., 2020). A arquitetura híbrida combina elementos de ambas, proporcionando um equilíbrio entre controle central e flexibilidade descentralizada, sendo uma escolha popular para sistemas modernos que utilizam plataformas de IoT (ALMEIDA, 2023). Essas arquiteturas são frequentemente suportadas por plataformas baseadas em nuvem, permitindo o acesso remoto e a utilização de inteligência artificial para otimizar o controle e a automação dos dispositivos (MACHADO; SANTOS, 2022).

## 2.2 INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à interconexão digital de dispositivos físicos à internet, permitindo que objetos cotidianos, como eletrodomésticos, veículos e sensores, colem e troquem dados em tempo real, muitas vezes de forma autônoma (GUBBI et al., 2013). O conceito foi formalmente introduzido em 1999 por Kevin Ashton, pesquisador do MIT, que imaginou um mundo onde dispositivos poderiam interagir de forma inteligente para otimizar processos (ASHTON, 2009). No entanto, as raízes da IoT podem ser rastreadas até os anos 1980, quando surgiram as primeiras redes de dispositivos conectados, como a famosa máquina de refrigerantes da Carnegie Mellon University, que informava o status de suas bebidas pela internet (ASSIS; ROCHA, 2020). As primeiras aplicações práticas da IoT foram vistas na indústria e no comércio, especialmente para rastreamento de inventário com tecnologias de RFID (Radio-Frequency Identification), que permitiam maior controle logístico (PEREIRA; SILVA, 2018). Desde então, a IoT tem evoluído para diversas áreas, impactando setores como

saúde, agricultura, transporte e, mais recentemente, automação residencial, trazendo maior eficiência e conectividade para o dia a dia.

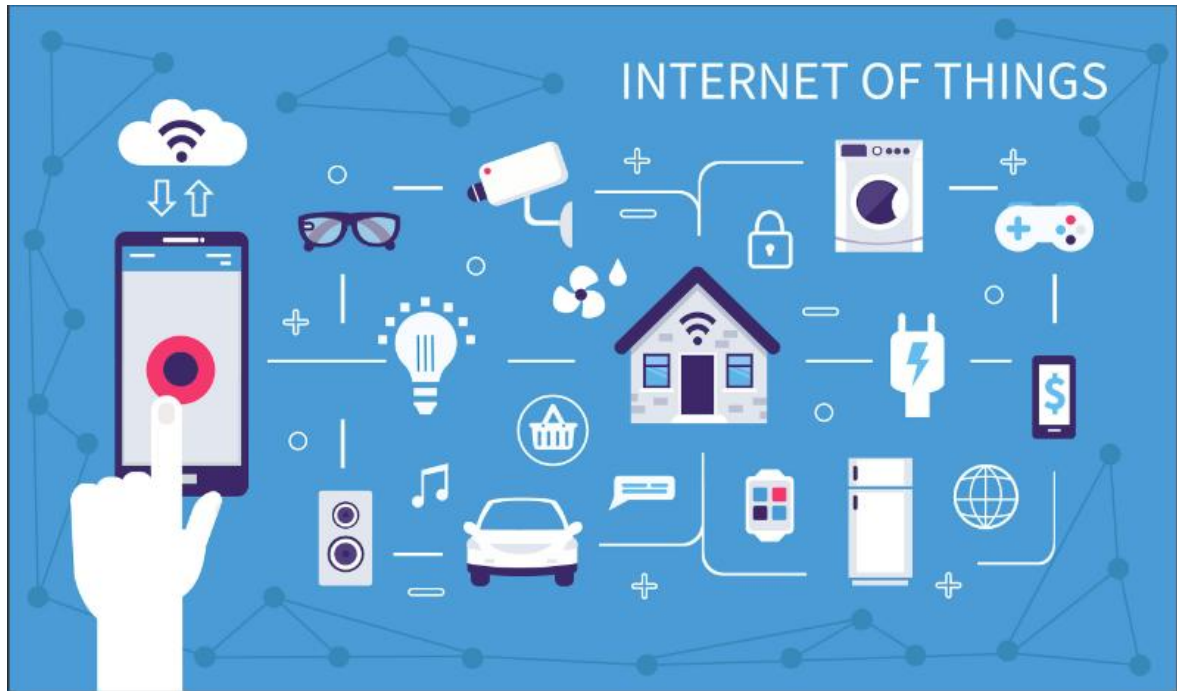


Figura 2 - Visão geral do conceito de Internet das Coisas

Fonte: (Dmexco, 2024)

Uma das áreas em que a IoT tem se destacado é a automação residencial, permitindo que dispositivos comuns se tornem inteligentes e conectados. Por meio dessa tecnologia, é possível controlar e monitorar remotamente sistemas como iluminação, climatização, segurança e eletrodomésticos utilizando smartphones ou assistentes de voz, como o Google Home e a Alexa, da Amazon (MACHADO; SANTOS, 2022). Sensores integrados detectam presença, temperatura e outras variáveis, ajustando automaticamente o ambiente para maior eficiência energética e conforto (SILVA; PEREIRA, 2021). Além disso, a IoT possibilita a integração entre dispositivos, permitindo que se comuniquem e tomem decisões autônomas, como acionar a irrigação do jardim quando o nível de umidade estiver abaixo de um valor predefinido (COSTA et al., 2020).

Os desafios da automação residencial com IoT envolvem questões como a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, a segurança cibernética e a privacidade dos usuários, uma vez que os sistemas conectados podem ser alvos de ataques (SILVA; PEREIRA, 2021). Além disso, o custo inicial ainda é um obstáculo para a adoção em

larga escala, especialmente em países em desenvolvimento (ALMEIDA, 2023). No entanto, as perspectivas são promissoras com a chegada da tecnologia 5G, que promete uma maior eficiência e conectividade entre dispositivos, além do uso de inteligência artificial para tornar os sistemas mais autônomos e personalizáveis (COSTA et al., 2020). A tendência é que, com o aumento da demanda e o avanço das regulamentações, os sistemas se tornem mais acessíveis, seguros e integrados, promovendo um uso mais sustentável dos recursos (MACHADO; SANTOS, 2022).

## 2.3 TRABALHOS CORRELACIONADOS

Foram realizadas revisões bibliográficas para identificar artigos com objetivos e contextos alinhados à proposta deste estudo. A partir dessa análise, foi possível avaliar as tecnologias e funcionalidades aplicadas nos trabalhos encontrados na literatura.

No estudo de Santos (2021), foi desenvolvido um sistema de controle para aparelhos de ar-condicionado baseado em IoT. O projeto utilizou uma Raspberry Pi 3 como servidor central, que gerenciava um serviço web, e dispositivos ESP8266 como clientes responsáveis pela comunicação direta com os aparelhos. O serviço web permitia o controle da temperatura do ambiente por meio de um smartphone.

Já em Castro (2019), foi apresentado um sistema de automação residencial que utilizava um ESP32 combinado a uma FPGA como central de automação. A solução permitia controlar um ventilador, acender ou apagar lâmpadas e abrir ou fechar cortinas. Todas as funcionalidades eram gerenciadas sem fio, utilizando a rede WiFi. O sistema também incluía uma interface baseada em um serviço web, acessível por smartphone para o controle das plantas automatizadas.

No trabalho de Carneiro (2018), foi desenvolvido um nó sensor em IoT para monitorar e alertar vários usuários, em tempo real, sobre o estado de abertura ou fechamento de uma janela. O nó sensor foi implementado utilizando o ESP8266 e empregou o protocolo MQTT para comunicação. Os dados capturados pelos sensores eram exibidos em um aplicativo comercial compatível com o protocolo MQTT.

### 3 METODOLOGIA

A etapa inicial desta pesquisa consistiu-se em uma revisão bibliográfica com o objetivo de analisar o estado da arte em temas centrais, como Automação Residencial e Internet das Coisas. Para isso, foram revisados artigos acadêmicos e livros relevantes relacionados à Automação Residencial baseada em IoT. Posteriormente, buscou-se identificar lacunas no conhecimento e oportunidades de inovação. Os artigos utilizados como base para este estudo foram extraídos das bases IEEE Xplore e Elsevier, enquanto livros, monografias e dissertações de mestrado foram acessados através do Google Scholar.

Sobre a implementação de um protótipo, a primeira etapa será a definição de requisitos funcionais e não funcionais do sistema de medição de energia inteligente, levando em conta os requisitos normativos e regulamentares relacionados à medição de energia. Após isso será proposto um conceito inicial do projeto, tomando como base as informações obtidas na revisão bibliográfica e na definição de requisitos.

O desenvolvimento do protótipo consistirá em selecionar componentes e materiais necessários para o protótipo, desenvolvimento de hardware e firmware para implementação do sistema. E por fim será realizada a avaliação de desempenho do protótipo em relação aos requisitos estabelecidos.

#### 3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa foi escolhida tomando como objetivo assegurar um embasamento teórico e prático para entendimento de forma significativa do tema proposto. A metodologia adotada abrange desde a revisão bibliográfica até o desenvolvimento de um protótipo, promovendo uma análise aprofundada do assunto. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica extensa, com o objetivo de compreender o estado da arte das tecnologias de IoT aplicadas à automação residencial. Para tanto, foram consultados no acervo da base da IEEE Xplore e da Elsevier.

Também foram utilizados livros, monografias e dissertações de mestrado, estes encontrados por meio do Google Scholar. A revisão teórica permitiu identificar lacunas no conhecimento existente, orientando o foco do estudo e fundamentando as bases teóricas do trabalho. Após essa etapa, foi conduzida uma pesquisa exploratória para obter uma visão prática sobre a aplicação de IoT na automação residencial.

Para isso, foram utilizadas técnicas como análise de estudos de caso de projetos existentes e observação de novas tecnologias no mercado. Esta fase foi essencial para compreender os desafios enfrentados na implementação de sistemas de automação residencial, bem como para identificar oportunidades de inovação com as informações coletadas, foi adotado um método experimental, que incluiu o desenvolvimento de um protótipo de sistema de automação residencial, utilizando plataformas como PlatformIO e ESP32 integradas a sensores, atuadores e controle via aplicativo em celular.

A implementação do protótipo permitiu provar conceitos e avaliar a facilidade de uso dos sistemas de automação. Além disso, foi utilizado um estudo de caso para demonstrar a aplicação do sistema proposto em uma residência simulada, avaliando métricas como custos de implementação, força de sinal entregue. Por fim, uma discussão crítica foi conduzida sobre as limitações do estudo, levando em conta a rápida evolução tecnológica na área de IoT.

### 3.2 ESP32 E A INTERNET DAS COISAS

O ESP32 é um microcontrolador de alto desempenho desenvolvido pela Espressif Systems, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT) devido à sua versatilidade e baixo custo. Equipado com um processador dual-core Tensilica Xtensa LX6, ele opera a frequências de até 240 MHz e possui 520 KB de SRAM. Entre suas principais funcionalidades, destacam-se a conectividade integrada Wi-Fi e Bluetooth (tanto classic quanto BLE), que permitem a comunicação com dispositivos e redes sem fio, tornando-o ideal para automação residencial, dispositivos inteligentes e aplicações industriais (ALMEIDA, 2023). Além disso, o ESP32 possui uma ampla gama de interfaces, como ADCs, DACs, I2C, SPI, UART e PWM, que facilitam a integração com sensores e atuadores diversos (COSTA; OLIVEIRA, 2021). Sua capacidade de operação em modo de baixo consumo (Deep Sleep), onde consome apenas alguns microamperes, torna-o uma excelente escolha para sistemas que exigem eficiência energética, como monitoramento remoto e automação de ambientes (MACHADO; SANTOS, 2022).



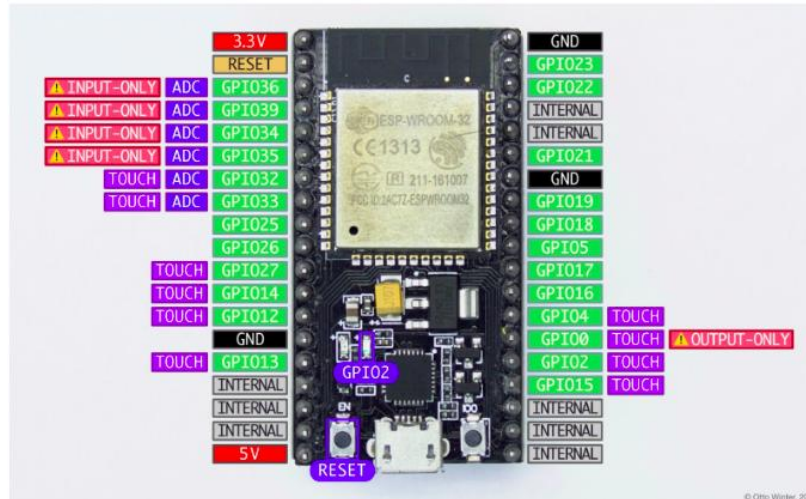


Figura 3 - Placa de desenvolvimento ESP32

Fonte: (Espressif, 2024)

O ESP32 tem se destacado como uma solução versátil em projetos de automação residencial inteligente, devido à sua conectividade Wi-Fi e Bluetooth integradas, além de sua capacidade de processamento e baixo consumo de energia.

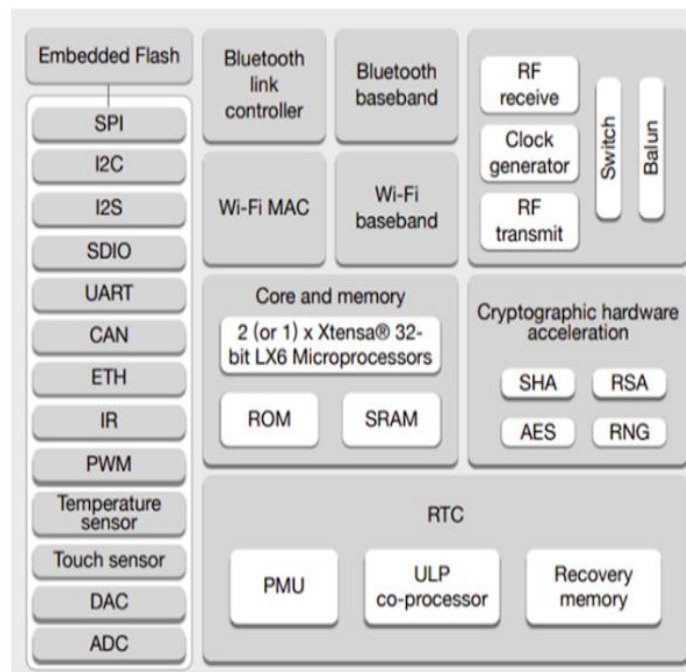


Figura 4 - Arquitetura da ESP32

Fonte: (Espressif, 2024)

Uma de suas aplicações mais comuns é no controle de sistemas de iluminação automatizados, permitindo que usuários ajustem remotamente a intensidade das luzes ou

programem o acionamento automático por meio de sensores de movimento (SILVA; PEREIRA, 2022). Também é amplamente utilizado em sistemas de climatização, como termostatos inteligentes, que monitoram a temperatura em tempo real e ajustam o ar-condicionado ou aquecedor para economizar energia (ALMEIDA, 2023).

Outra aplicação relevante é no desenvolvimento de fechaduras eletrônicas, onde o ESP32 é usado para autenticação por meio de Bluetooth, garantindo maior segurança no acesso à residência (COSTA; OLIVEIRA, 2021). Além disso, ele é essencial em sistemas de monitoramento, integrando câmeras e sensores de presença para envio de notificações em caso de detecção de movimento, promovendo maior segurança (MACHADO; SANTOS, 2022). Com essas aplicações, o ESP32 facilita a criação de casas inteligentes mais eficientes e personalizadas, alinhando conforto e economia de energia. WiFi

O protocolo Wi-Fi, padronizado pelo IEEE na série 802.11, é uma tecnologia amplamente adotada para comunicação sem fio em redes locais, permitindo a interconexão de dispositivos em ambientes domésticos, empresariais e industriais. Essa tecnologia opera em diferentes bandas de frequência, como 2,4 GHz e 5 GHz, e oferece modos de operação com suporte a múltiplos níveis de largura de banda e taxas de transmissão de dados, podendo atingir velocidades superiores a 1 Gbps em implementações avançadas, como o padrão Wi-Fi 6 (802.11ax). Além disso, o Wi-Fi utiliza mecanismos de segurança, como WPA3, para proteger dados transmitidos contra interceptações não autorizadas, destacando-se por sua flexibilidade, acessibilidade e facilidade de integração com dispositivos móveis e IoT (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

O ESP32 integra um módulo Wi-Fi compatível com os padrões 802.11 b/g/n, tornando-se uma solução ideal para projetos IoT e aplicações de automação. Por suportar modos de operação como estação (STA), ponto de acesso (AP) e simultaneamente AP+STA, o ESP32 pode conectar-se a redes Wi-Fi existentes ou criar sua própria rede, permitindo o controle remoto de dispositivos e a troca de informações em tempo real. Além disso, seu baixo consumo energético e suporte a protocolos de segurança avançados garantem confiabilidade em sistemas críticos. Em aplicações práticas, como automação residencial, o ESP32 pode gerenciar sensores e atuadores, proporcionando conectividade eficiente e contribuindo para o desenvolvimento de soluções escaláveis e acessíveis.

### 3.2.1 TCP/IP

O TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) é um conjunto de protocolos de comunicação fundamentais para a comunicação entre dispositivos em redes de computadores, incluindo a internet. O TCP é responsável pela entrega confiável de dados, garantindo que os pacotes de informações cheguem ao destino de forma íntegra e na ordem correta, enquanto o IP gerencia o endereçamento e o roteamento dos pacotes entre os dispositivos. Juntos, esses protocolos formam a espinha dorsal da internet moderna, permitindo a comunicação eficiente entre dispositivos localizados em diferentes partes do mundo.

O modelo TCP/IP é amplamente utilizado devido à sua escalabilidade, robustez e flexibilidade, além de ser a base para outras tecnologias de rede, como HTTP, FTP e MQTT (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). O Wi-Fi, por ser uma tecnologia de rede sem fio, utiliza o protocolo TCP/IP para transmitir dados entre dispositivos conectados a uma rede local ou à internet. Ao se conectar a um ponto de acesso, o dispositivo Wi-Fi recebe um endereço IP, permitindo a comunicação com outros dispositivos na rede, utilizando os protocolos de camada de transporte e de rede do modelo TCP/IP.

### 3.2.2 MQTT

O protocolo de comunicação MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um padrão amplamente utilizado em sistemas baseados na Internet das Coisas (IoT), devido à sua eficiência e leveza na transmissão de dados em redes de baixa largura de banda ou com alta latência. Desenvolvido para operar em arquitetura cliente-servidor, o MQTT utiliza um modelo de publicação e assinatura (*publish/subscribe*), permitindo que dispositivos clientes enviem e recebam mensagens mediadas por um broker central. Suas principais vantagens incluem baixo consumo de energia, simplicidade na implementação e suporte a *Quality of Service* (QoS), garantindo diferentes níveis de confiabilidade na entrega das mensagens. Além disso, o protocolo é adequado para aplicações críticas, como monitoramento remoto e automação industrial, por oferecer recursos de segurança, como autenticação e encriptação. Conforme evidenciado por Riegel e Nedbal (2018), o MQTT é fundamental para a interoperabilidade em ambientes IoT, promovendo a comunicação eficiente entre dispositivos heterogêneos.

## 3.3 HARDWARE

Em um sistema de automação dois elementos de hardware que são indispensáveis em qualquer projeto são os sensores e atuadores. Sensores e atuadores são componentes fundamentais em sistemas embarcados e automação. Sensores são dispositivos responsáveis por captar sinais ou variáveis físicas, como temperatura, pressão, ou luminosidade, e convertê-las em sinais elétricos ou digitais que podem ser processados por controladores. Já os atuadores realizam o processo inverso: recebem comandos elétricos ou digitais e transformam-nos em ações físicas, como movimento, calor ou luz. Esses elementos são essenciais para permitir a interação entre sistemas computacionais e o ambiente, formando um elo crítico na cadeia de automação industrial, robótica e dispositivos IoT (Internet das Coisas) (DOROFTEI et al., 2016).

A primeira etapa do desenvolvimento do projeto envolveu o levantamento de quais cargas deveriam ser automatizadas. Foi definido que nesse projeto, as cargas automatizadas seriam lâmpadas, ar-condicionado e cortina motorizada. Assim, para uma melhor compreensão, cada funcionalidade foi dividida em um Subsistema do Sistema de Automação Residencial. Sendo os subsistemas de Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Controle de Cortina.

### **3.3.1 Subsistema de Conforto Térmico**

O subsistema de conforto térmico será responsável por garantir o conforto térmico em ideia um ambiente da residência. A ideia geral é controlar remotamente um ar-condicionado, medindo a temperatura do ambiente constantemente por meio de um sensor de temperatura. O controle do condicionador de ar é feito por meio de um transceptor de sinal infravermelho, que comunica com outro transceptor instalado na evaporadora do equipamento. De forma que, a automação desse equipamento pode ser feita sem alterar a sua estrutura interna, mantendo a garantia do fabricante. Para a aplicação desse projeto é necessário que o transceptor de infravermelho e os sensores de temperatura possuam conexão com a rede WiFi gerada pelo servidor central baseado em ESP32.

### **3.3.2 Subsistema de Conforto Luminoso**

O subsistema de conforto luminoso tem como finalidade monitorar e ajustar o nível de iluminação de um ambiente. Na aplicação proposta neste trabalho, o usuário poderá configurar o valor desejado de luminosidade. Para gerenciar as lâmpadas, é necessário medir a intensidade luminosa e detectar a presença de pessoas no local, utilizando sensores do tipo PIR. O subsistema contará com um algoritmo que apaga as luzes automaticamente em ambientes desocupados, contribuindo para a economia de energia elétrica. Além disso, o sensor precisa estar conectado à central de automação por meio de uma rede WiFi.

O ajuste de luminosidade em lâmpadas LED é realizado por meio de um dispositivo eletrônico projetado para regular a potência fornecida à carga, conhecido como Dimmer. Este equipamento é um circuito eletrônico de estado sólido que utiliza um componente semicondutor chamado TRIAC. O TRIAC funciona como um diodo bidirecional com um terceiro terminal, que define o menor valor de tensão ou ângulo da senoide em que o dispositivo conduz, ajustando, assim, a potência entregue à carga. Para este projeto, é necessário um Dimmer com capacidade de comunicação WiFi para integração com a central de automação.

### **3.3.3 Subsistema de Controle de Cortina**

O controle de uma cortina motorizada envolve a utilização de um motor de passo acoplado ao sistema de abertura e fechamento da cortina, que será gerenciado por um driver de motor de passo com conexão WiFi e suporte a MQTT. Sensores de luminosidade, como os do tipo PIR permitem que a cortina seja acionada de forma autônoma com base na intensidade da iluminação natural, otimizando o conforto e a eficiência energética. Além disso, haverá controle remoto via aplicativo, programação de horários e integração com outros dispositivos domésticos inteligentes. Para isso, sensores de luminosidade e controlador de motor da cortina deverão ser conectados via rede WiFi do servidor central de automação.

## 3.4 SOFTWARE

### 3.4.1 PlatformIO

O PlatformIO é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) projetado para facilitar a criação de projetos embarcados, oferecendo suporte a mais de mil plataformas de hardware, incluindo microcontroladores como ESP32, STM32 e AVR. Com compatibilidade com editores populares como Visual Studio Code (VS Code), a ferramenta simplifica o gerenciamento de bibliotecas, compilações e uploads de firmware, permitindo a configuração automatizada de ambientes de desenvolvimento. Entre suas principais funcionalidades destacam-se o suporte a múltiplos sistemas de compilação, integração com controle de versão e um gerenciador de dependências eficiente. Além disso, o PlatformIO possibilita a adoção de fluxos de trabalho modernos, como o uso de testes automatizados e depuração em tempo real, tornando-se uma escolha versátil para desenvolvedores que buscam produtividade em projetos de sistemas embarcados.

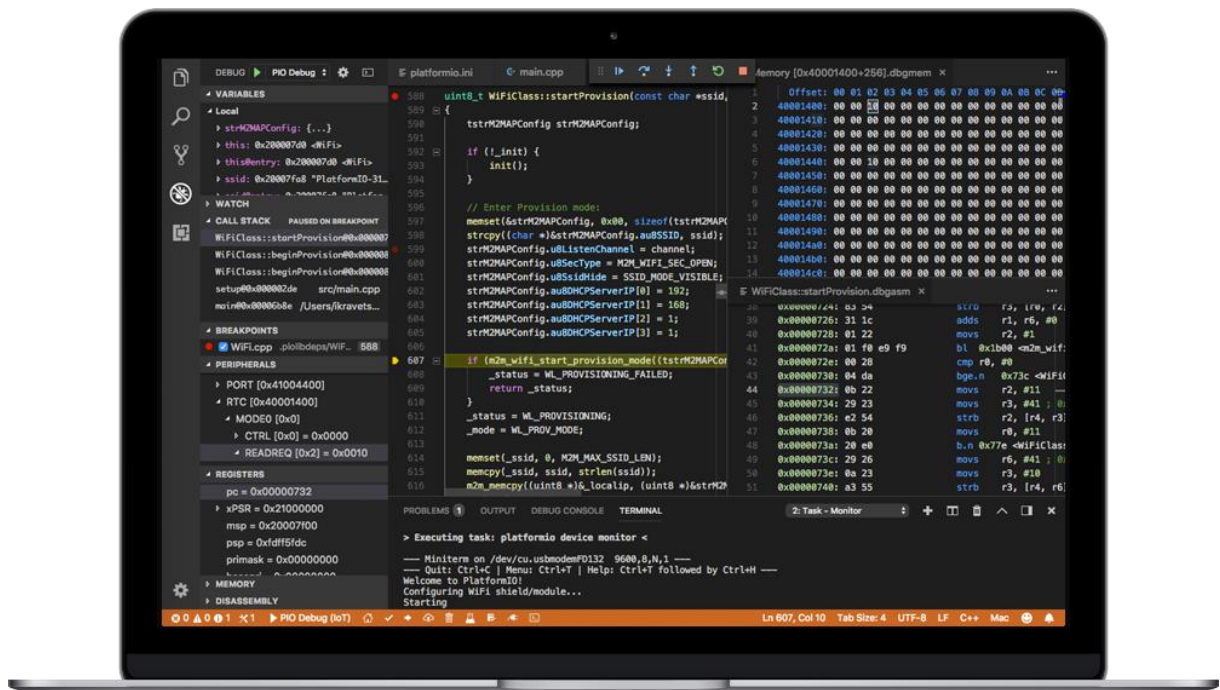


Figura 5 - Tela do PlatformIO

Fonte: (PlatformIO, 2024)

### 3.4.2 FreeRTOS

Um Sistema Operacional em Tempo Real (RTOS - Real-Time Operating System) é um tipo de sistema operacional projetado para gerenciar tarefas que requerem respostas determinísticas e previsíveis, essenciais em aplicações críticas como automação industrial, sistemas embarcados e dispositivos IoT. Diferentemente de sistemas operacionais genéricos, um RTOS utiliza escalonadores baseados em prioridades para garantir que tarefas de alta prioridade sejam executadas dentro de prazos rígidos, minimizando atrasos indesejados. Suas principais características incluem multitarefa, gerenciamento eficiente de recursos e suporte a mecanismos de sincronização e comunicação entre processos, permitindo uma operação confiável e robusta mesmo em sistemas com restrições de hardware (SILBERSCHATZ et al., 2021).

O FreeRTOS é uma implementação de RTOS de código aberto amplamente utilizada em sistemas embarcados, conhecida por sua leveza, modularidade e suporte a diversas plataformas. No caso do ESP32, o FreeRTOS pode ser facilmente integrado e utilizado através do PlatformIO, um ecossistema de desenvolvimento modular, em conjunto com o editor Visual Studio Code (VS Code). Essa integração simplifica o gerenciamento de bibliotecas e configurações do projeto, oferecendo uma experiência de desenvolvimento unificada. O PlatformIO fornece suporte direto ao ESP32 e facilita a criação de aplicações multitarefa com FreeRTOS, permitindo que desenvolvedores explorem funcionalidades como filas, semáforos e timers. A combinação do FreeRTOS com o ambiente amigável do PlatformIO e do VS Code torna o desenvolvimento de projetos IoT e embarcados mais acessível e eficiente, maximizando o uso dos recursos de hardware do ESP32, como seus dois núcleos de processamento e conectividade integrada (BARRY, 2020).

### 3.4.3 Blynk

O Blynk é uma plataforma para desenvolvimento de soluções em Internet das Coisas (IoT) que permite a criação de aplicativos móveis e interfaces web para controle e monitoramento de dispositivos conectados, com uma interface gráfica intuitiva que facilita o uso, especialmente para iniciantes. Suporta diversos protocolos de comunicação como MQTT, HTTP e WebSockets, além de permitir a integração com uma ampla variedade de hardwares, como ESP32 e Arduino. Entre suas principais funcionalidades, destacam-se o uso do Blynk

Cloud, que gerencia a comunicação entre dispositivos, e a personalização de dashboards com widgets para facilitar o controle. As vantagens do Blynk incluem a facilidade de uso, a flexibilidade de hardware e a escalabilidade proporcionada pela nuvem, sendo ideal para protótipos rápidos e projetos simples. No entanto, suas limitações incluem custos associados ao uso da nuvem em grandes projetos e a falta de recursos avançados de personalização e processamento em comparação com outras plataformas, como AWS IoT ou Azure IoT Hub, o que pode restringir seu uso em soluções mais complexas (BLYNK, 2024).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.2 LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES

Esta seção aborda os resultados obtidos com a implementação do software do projeto. A Figura 6 apresenta a arquitetura do servidor central de automação residencial desenvolvida para este estudo. Com base nessa estrutura, foram realizadas as primeiras definições para o desenvolvimento do firmware.

Conforme ilustrado na Figura 6, o servidor de automação se comunica com sete entidades: sensores, atuadores e o usuário, por meio de um aplicativo de smartphone. Para evitar atrasos na troca de mensagens, optou-se por implementar o firmware utilizando uma arquitetura baseada em sistema operacional de tempo real, sendo o FreeRTOS o sistema selecionado. Dessa forma, as tarefas executadas em paralelo incluem um servidor MQTT, responsável por garantir uma comunicação confiável entre o servidor e os dispositivos (sensores e atuadores), além de uma tarefa dedicada a cada subsistema integrado ao projeto.

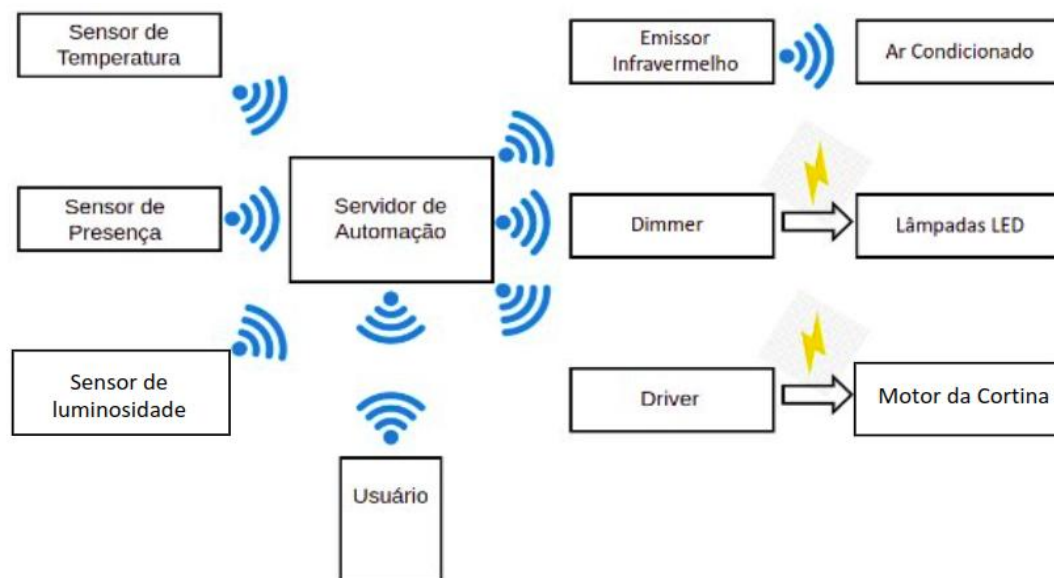


Figura 6 - Arquitetura do Sistema de Automação Residencial Proposto

Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.1 Subsistema de Conforto Térmico

Foi realizada uma análise considerando os custos e o tempo necessário para a implementação, levando à escolha do sensor de temperatura Tuya Temp Sensor, apresentado na Figura 7. Este sensor já conta com um módulo WiFi integrado, permitindo sua utilização simplesmente configurando as definições de rede do servidor de automação no ESP32. De maneira semelhante, para o transceptor de infravermelho responsável por enviar os comandos da central de automação para o ar-condicionado, a escolha seguiu os mesmos critérios, optando-se pelo Tuya Remote Control, também mostrado na Figura 7. Este dispositivo, assim como o sensor de temperatura, possui um módulo WiFi integrado e apresenta uma solução de implementação mais econômica.



Figura 7 - Sensor de temperatura e Transceptor de Infravermelho

Fonte: (Aliexpress, 2024)

#### 4.2.2 Subsistema de Conforto Luminoso

O sensor selecionado que atende às especificações do projeto é o Tuya PIR Sensor, mostrado na Figura 8. Este sensor possui um módulo WiFi integrado, permitindo sua utilização apenas com a configuração das definições de rede do servidor de automação no ESP32. Da mesma forma, o dimmer que atende aos requisitos do projeto é o Tuya Mini Dimmer, também apresentado na Figura 8. Assim como o sensor, o dimmer já conta com um módulo WiFi integrado, sendo necessário apenas configurar as definições de rede do servidor de automação no ESP32 para sua operação.



Figura 8 - Tuya PIR Sensor e Tuya Mini Dimmer

Fonte: (Aliexpress, 2024)

#### 4.2.3 Subsistema de Controle de Cortinas

O sensor para esse subsistema também será o Tuya PIR Sensor, mesmo utilizado no subsistema de conforto luminoso. Para esse caso o PIR Sensor será utilizado majoritariamente como detector de luminosidade para abrir/fechar a janela de acordo com o ponto de operação selecionado, todas essas funcionalidades estão presentes nesse modelo. Como atuador será utilizado o Tuya Smart Curtain.



Figura 9 - Tuya Smart Curtain

Fonte: (Aliexpress, 2024)

### 4.3 SERVIDOR CENTRALIZADO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

O ponto central desse trabalho foi o desenvolvimento de um servidor centralizado que comunica com os subsistemas por meio do protocolo MQTT. Esse servidor foi desenvolvido utilizando uma ESP32 e o framework Arduino. Foi necessário utilizar o FreeRTOS para implementar uma arquitetura baseada em tarefas para gerenciar a comunicação e o processamento de mensagens de forma eficiente. O ambiente de desenvolvimento foi configurado no PlatformIO.

A conexão da ESP32 a uma rede Wi-Fi é realizada por meio das funções nativas da biblioteca Arduino, o servidor MQTT foi configurado para escutar tópicos configurados para cada um dos subsistemas e gerenciar mensagens recebidas. As tarefas foram organizadas para que a comunicação MQTT permanecesse estável, independentemente de outras operações do sistema, ou seja, a manutenção da conexão Wi-Fi e o gerenciamento das mensagens MQTT, foram encapsuladas em tarefas distintas do FreeRTOS. Uma tarefa foi dedicada exclusivamente à reconexão automática à rede Wi-Fi em caso de falhas, enquanto outra foi configurada para escutar e processar mensagens no broker MQTT, acionando dispositivos conforme necessário. A sincronização entre essas tarefas foi realizada por meio de sistemas de filas e semáforos, garantindo a integridade e a eficiência do sistema.

## 4.4 SUBSISTEMAS

### 4.4.1 Subsistema de Conforto Térmico

A tarefa responsável pelo controle da climatização do ambiente é detalhada na Figura 10. Primeiramente, o usuário deve ajustar, por meio do aplicativo, a temperatura desejada para o local. A partir dessa configuração, o servidor de automação solicita periodicamente a leitura da temperatura registrada pelo sensor e analisa se há necessidade de intervir, ajustando a potência do ar-condicionado para alcançar o valor configurado.

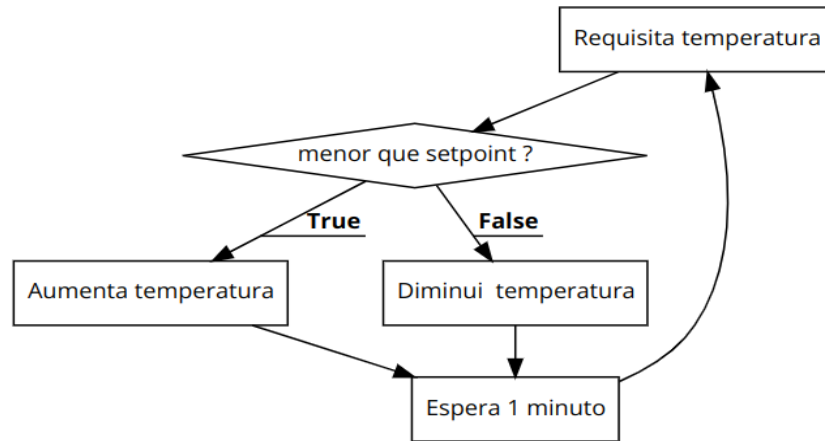


Figura 10 Fluxograma da tarefa de controle de temperatura  
Fonte: Autoria Própria

#### 4.4.2 Subsistema de Conforto Luminoso

A tarefa encarregada do controle da iluminação do ambiente realiza duas funções principais, sendo uma delas destinada ao gerenciamento de lâmpadas acesas em locais desocupados, com o objetivo de promover eficiência energética. Esse processo é ilustrado na Figura 11.

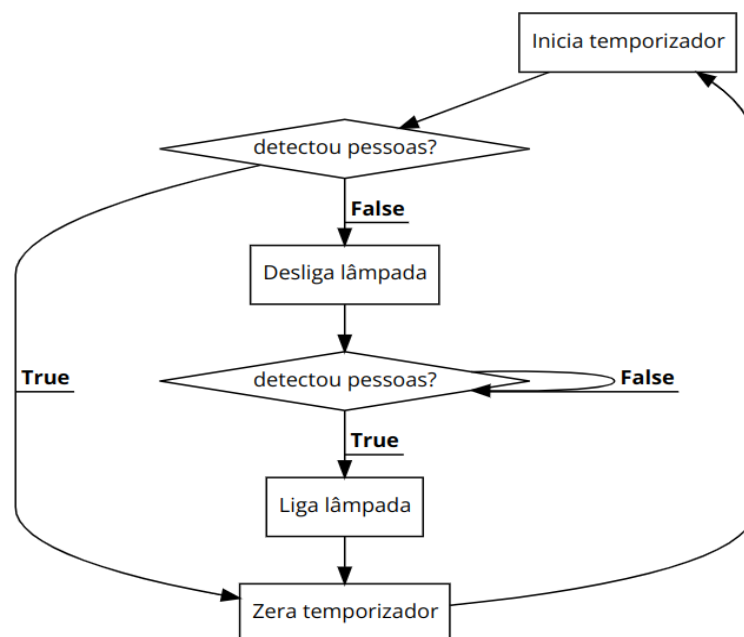


Figura 11 - Fluxograma da tarefa de desliga/liga lâmpada  
Fonte: Autoria Própria

A segunda sub-rotina gerencia o controle da luminosidade, cujo funcionamento é detalhado na Figura 12. Assim como no subsistema de climatização, o usuário define um setpoint de luminosidade. O servidor de automação, então, realiza leituras periódicas da intensidade luminosa registrada pelo sensor e avalia a necessidade de ajustar a potência da lâmpada para atingir o valor configurado.

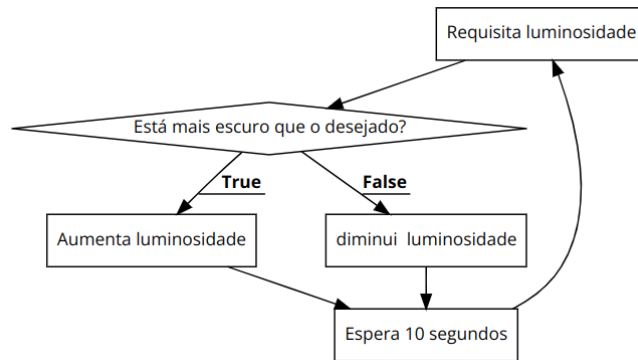


Figura 12 - Fluxograma da tarefa de controle de luminosidade

Fonte: Autoria Própria

#### 4.4.3 Subsistema de Controle de Cortinas

A tarefa responsável pelo controle das cortinas de uma janela de algum cômodo possui um algoritmo mais simples. Ela permanece em estado de espera, aguardando um alerta do sensor de luminosidade indicando a presença de luz solar. Além disso, o usuário tem a opção de fechar as cortinas diretamente pelo aplicativo. Ambos os comandos são tratados de maneira equivalente pela tarefa. O funcionamento do algoritmo está representado na Figura 12.

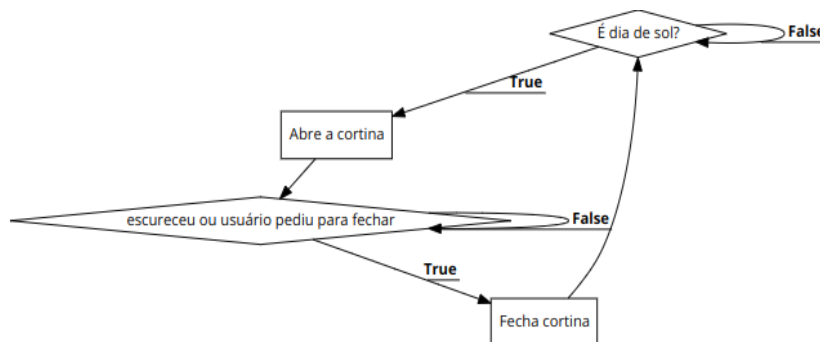


Figura 13 - Fluxograma da tarefa para fechar cortina

Fonte: Autoria Própria

## 4.5 INTERFACE DE GRÁFICA DE USUÁRIO

Nesta seção, serão apresentadas as interfaces gráficas de um aplicativo desenvolvido para o controle e monitoramento dos dispositivos automatizados descritos neste trabalho. A tela inicial do aplicativo pode ser vista na Figura 14 à esquerda. Por questões de segurança, foi decidido que o acesso ao controle dos dispositivos deve ser feito por meio de um login com senha. Também na Figura 14, ao centro, está a página inicial do aplicativo após o login, onde é possível configurar um dispositivo, ou seja, conectar o dispositivo à central de automação. Além disso, o usuário pode configurar um *setpoint* de temperatura e/ou luminosidade para que a central de automação realize o controle correspondente. Outra funcionalidade dessa página é o acesso à página de controle dos dispositivos e a opção de sair do aplicativo. A página de controle dos dispositivos, mostrada à direita na Figura 14, permite ao usuário selecionar qual tipo de dispositivo deseja controlar: subsistema de luminosidade, subsistema de temperatura ou subsistema de controle de janela.

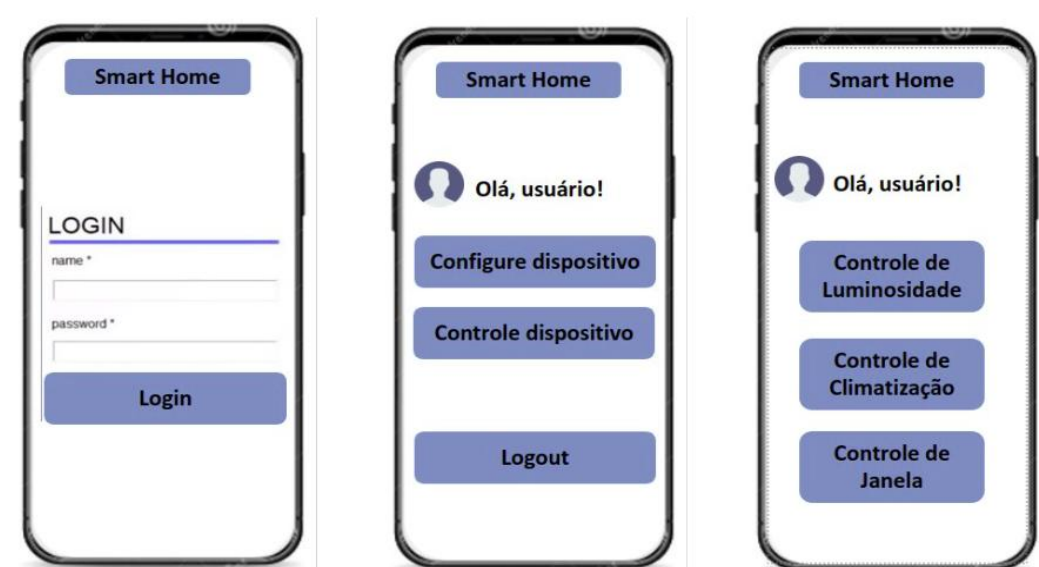


Figura 14 - Telas de app de controle: Login, Inicial e Seleção de Subistema

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 15, à esquerda, está a tela de controle de conforto luminoso, que exhibe o status da lâmpada, a luminosidade configurada, e permite ajustar a luminosidade por meio de um controle deslizante. O valor escolhido é enviado ao servidor de automação 1 segundo após a definição pelo usuário. A tela de controle de climatização, localizada ao centro da Figura 15,

mostra a temperatura ambiente e possibilita o ajuste da temperatura por meio desta página. Já o controle das cortinas também pode ser realizado pelo aplicativo. Na página de controle de cortina, à direita na Figura 15, é possível visualizar o status da cortina e enviar comandos para abrir ou fechar.

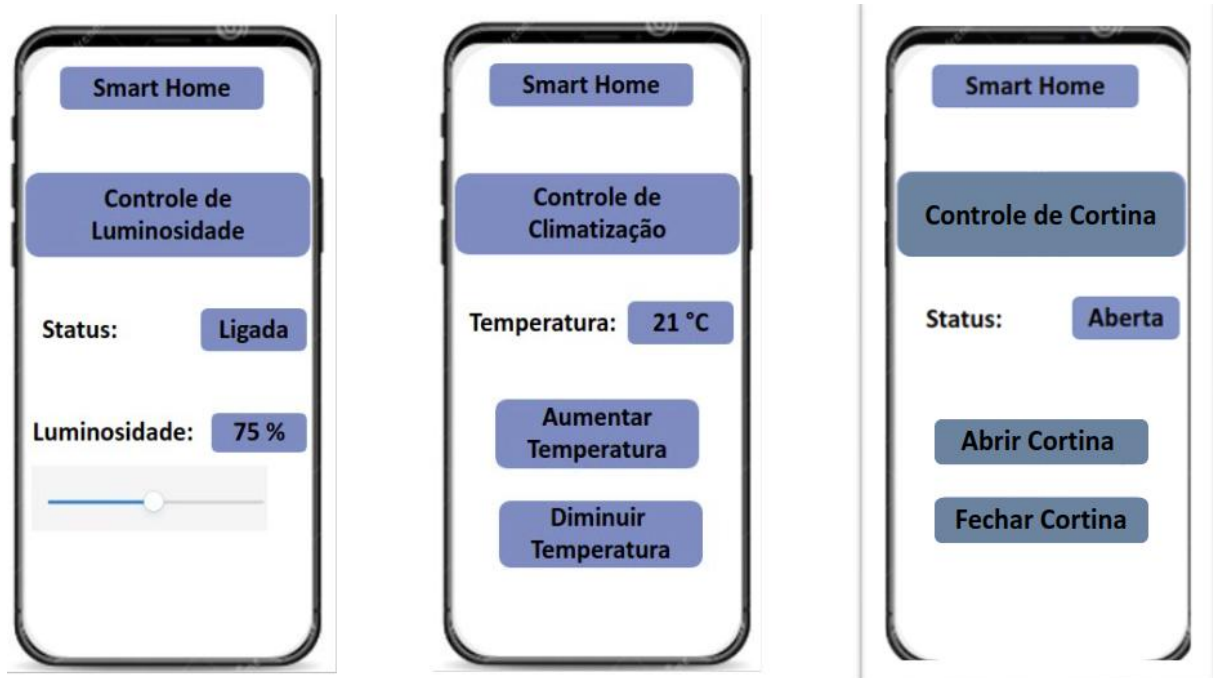


Figura 15 - Telas de app de controle: Login, Inicial e Seleção de Subistema

Fonte: Autoria Própria

## 4.6 ESTUDO DE VIABILIDADE

### 4.6.1 Custos

Durante a etapa de escolha de componentes, um fator determinante para a escolha dos dispositivos utilizados foi o menor preço possível para garantir uma funcionalidade específica. Todos os itens listados abaixo tiveram o preço de referência retirados do site Aliexpress no dia 11/11/2024. Os preços podem ser observados na Tabela 1, com destaque ao custo total dos componentes por R\$ 467,00



Tabela 1: Custos dos componentes

<b>Item</b>	<b>Função</b>	<b>Preço</b>
ESP32	Microcontrolador	R\$ 10,00
Tuya PIR Sensor WiFi	Sensor de presença e luminosidade WiFi	R\$ 35,00
Tuya Dimmer 2CH WiFi	Dimmer AC WiFi	R\$ 30,00
Tuya Temp Sensor WiFi	Sensor de temperatura e umidade WiFi	R\$ 5,00
Tuya Remote Control WiFi	Emissor de sinal infravermelho WiFi	R\$ 12,00
Tuya Smart Curtain Robot	Controlador de cortina	R\$ 340,00
	<b>Total</b>	<b>R\$ 467,00</b>

Fonte: Autoria Própria

#### 4.6.2 Avaliação da ESP32 como Servidor Centralizado de Automação Residencial

Para avaliar a viabilidade do servidor de automação residencial centralizado com ESP32, foram realizados testes de alcance do sinal Wi-Fi em um ambiente residencial. Para isso, utilizaram-se dois módulos ESP32: um foi posicionado fixamente em um ponto da residência e configurado como Access Point, enquanto o outro módulo, conectado à rede gerada pelo primeiro, foi movido para diferentes locais da casa. Em cada ponto, foi medida a distância entre os módulos e a intensidade do sinal recebido. Conforme o datasheet, a potência do sinal transmitido é de 12 dBm, com uma sensibilidade de -97 dBm. A análise da intensidade do sinal Wi-Fi foi realizada por meio de uma função da biblioteca WiFi.h. O valor do RSSI foi enviado via comunicação serial para um computador, onde os dados foram coletados e armazenados. Posteriormente, esses valores foram plotados utilizando um script em Python. Os resultados obtidos estão ilustrados na Figura 16.

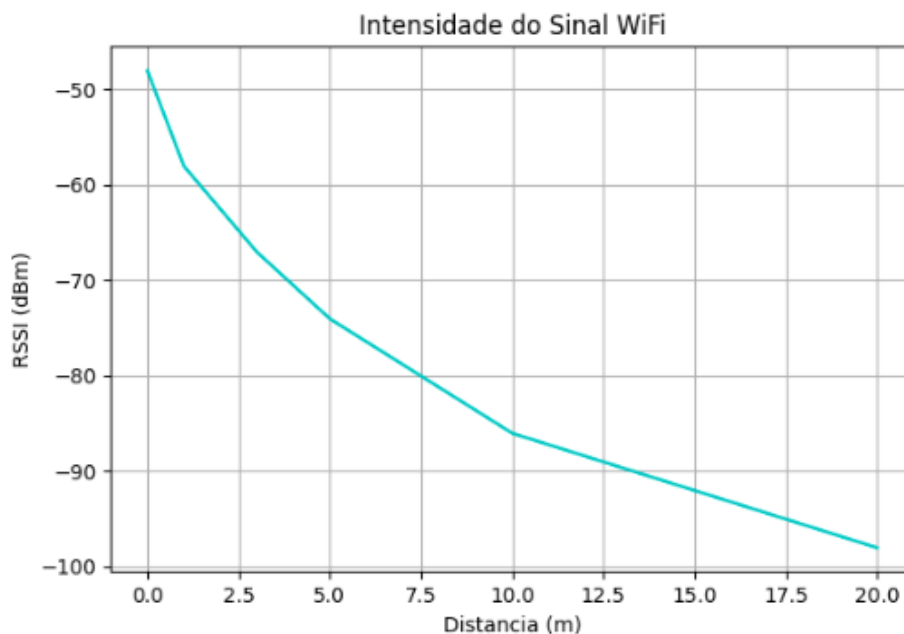


Figura 16 - Força de sinal Wifi vs Distância

Força de sinal Wifi vs Distância

A partir dos resultados obtidos, é possível aprimorar a configuração e a localização do servidor central, considerando a posição fixa dos dispositivos controlados. Isso permite a implementação de estratégias para melhorar a cobertura Wi-Fi, como a inclusão de repetidores ou a escolha de canais menos saturados. Essa análise é fundamental para assegurar que a automação residencial e outros sistemas baseados em ESP32 operem de forma estável e atendam às exigências dos usuários em ambientes internos.

### 4.6.3 Estudo de Caso

Para avaliar o uso do sistema de automação residencial proposto nesse trabalho, foi realizada uma verificação de viabilidade num cenário uma residência inteligente. Foi feita a análise em um apartamento de 60 m<sup>2</sup>, nesse contexto seriam utilizadas cinco unidades do subsistema de controle de iluminação, quatro unidade do subsistema de controle de janela e uma unidade do subsistema de climatização. O cenário avaliado está ilustrado na Figura 17.

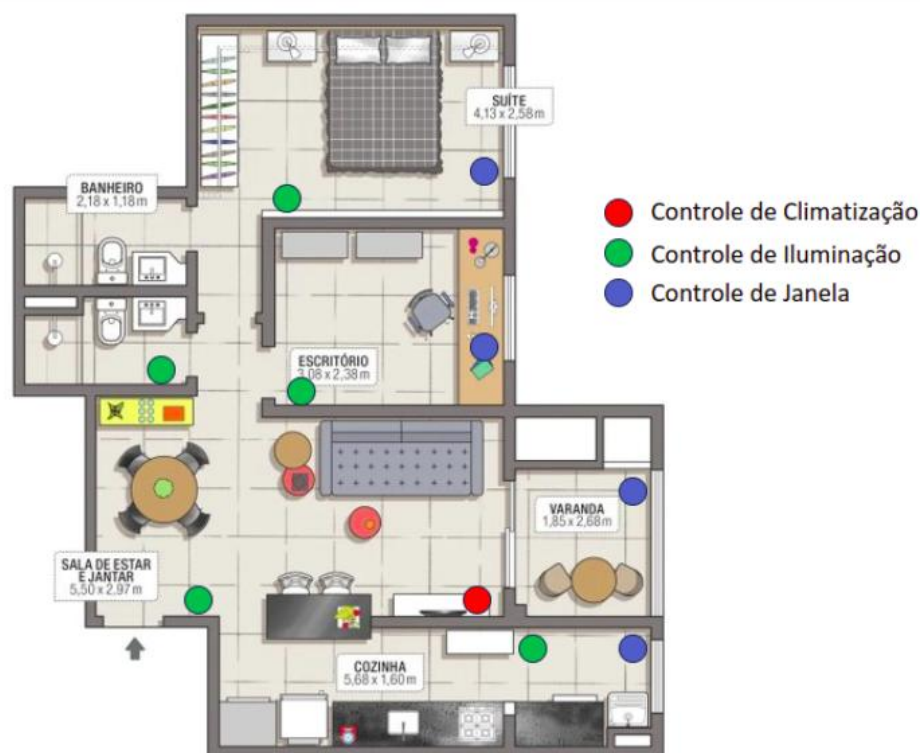


Figura 17 - Cenário avaliado no estudo de caso

Fonte: Autoria Própria

O sistema estudado pode ser classificado como uma solução avançada de automação residencial, com dez dispositivos controlados e monitorados pela central de automação. O custo total dessa aplicação, que utiliza a central de automação e os subsistemas desenvolvidos neste trabalho, seria de apenas R\$ 1842,00.

As abordagens para o controle automático de climatização, iluminação e cortinas apresentadas podem trazer benefícios significativos para a qualidade de vida dos usuários, proporcionando conforto, praticidade e bem-estar. O objetivo principal deste estudo foi apresentar uma proposta de baixo custo para um sistema de automação residencial baseado em IoT, e, conforme demonstrado, foram fornecidas ferramentas que possibilitam o desenvolvimento de um produto acessível, adequado às necessidades de residências que buscam essas tecnologias, mas não possuem recursos para investir nos sistemas comerciais existentes.

Quanto a possíveis aprimoramentos, no aspecto de hardware, a Figura 6 ilustra que o servidor se comunica com até sete dispositivos simultaneamente. Essa exigência pode representar um desafio para um sistema baseado em microcontrolador, especialmente devido à

limitação da memória volátil disponível nos microcontroladores. Uma das vantagens do ESP32 é que sua memória RAM é maior do que a de outros microcontroladores populares. Avaliar alternativas mais potentes, que não sobrecarreguem o orçamento do projeto, pode ser uma boa opção para futuras melhorias.

No que tange às melhorias no software, uma possível abordagem seria tornar o sistema mais personalizável, permitindo que os usuários adicionem novos dispositivos sem a necessidade de atualizar o firmware do sistema de automação. Além disso, poderia ser explorada a coleta de dados para implementar algoritmos de aprendizado de máquina, com o objetivo de tornar o sistema mais “inteligente”.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi realizado com o objetivo apresentar uma proposta de um sistema de automação residencial sem fio de baixo custo aplicando conceitos de Internet das Coisas, implementando controle automático de luminosidade, climatização e cortinas. O sistema proposto foi baseado no microcontrolador ESP32, bastante utilizado pela comunidade desenvolvedora de aplicações IoT, e em testes realizados mostrou-se capaz de atender os requisitos especificados nesse projeto. O sistema proposto pode ser considerado escalável e responsivo, com um desempenho consistente na comunicação MQTT e na execução de ações com base nos dados recebidos, validando a escolha da arquitetura e das tecnologias empregadas

Em relação ao custo, esse trabalho apresentou uma solução viável e funcional, com um custo total de R\$ 467,00 para os componentes. A proposta demonstrou grande potencial para se tornar um produto acessível, capaz de atender à demanda crescente por automação residencial, especialmente entre a população emergente do Brasil. Com um preço reduzido e eficiência, essa solução pode se tornar uma alternativa atraente no mercado de automação.

Com a realização desse trabalho podemos citar alguns tópicos para trabalhos futuros como uso de inteligência artificial (IA) para criar casas inteligentes que aprendem com o comportamento dos usuários para oferecer um ambiente cada vez mais personalizado e eficiente. Além de integrar ao 5G, de forma a ampliar a capacidade da IoT, permitindo uma integração mais robusta e em tempo real entre dispositivos, o que deve revolucionar a forma como as pessoas interagem com seus lares e espaços urbanos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. R. *Automação Residencial: Tecnologias e Aplicações*. São Paulo: Editora Ciência Moderna, 2019.
- ASADULLAH, M.; RAZA, A. An Overview Of Home Automation Systems. In: *2016 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI)*, Anais... IEEE, 2016.
- ASSIS, L. C.; ROCHA, P. S. *Internet das Coisas e Domótica: O Futuro das Casas Inteligentes*. Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- CASTRO, A. S. *Automação Residencial Centralizada Utilizando ESP32 em Conjunto com FPGA e Comunicação Wi-Fi*. [s.l.]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- DOROFTEI, I.; SAMOILA, C.; PAUL, C. *Sensors and Actuators in Mechatronics Design*. 1st ed. Dordrecht: Springer, 2016.
- GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2016.
- HABITABILITY. Mercado tem potencial de 1,8 milhão de residências. Disponível em: <https://habitability.com.br/mercado-potencial-de-smart-house-somaria-18-milhao-de-residencias/>. Acesso em: 2 nov. 2024.
- HILL, J. *The Future of Home Automation: Integrating Smart Technologies*. Boston: Tech House, 1985.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Munich: acatech, 2013.
- KUBOTA, L. C.; ROSA, M. B. *Internet das coisas no Brasil: análise e recomendação de políticas com ênfase no agro*. [s.l.]: Ipea, 2023.
- MORAN, T. *História da Revolução Industrial e a Era do Maquinário*. São Paulo: Editora Moderna, 2017.
- OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. 4. ed. Prentice-Hall, 2004.
- PEREIRA, J. S.; SILVA, F. H. *Automação e Controle: Princípios e Aplicações na Indústria*. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- SANTOS, F. A.; FERREIRA, J. T. *Eficiência Energética em Edificações Automatizadas*. Florianópolis: UFSC, 2021.
- SHIH, A. J. *Introduction to Manufacturing Processes and Materials*. Nova York: McGraw-Hill, 2020.