

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB
Bacharelado em Engenharia da Computação

João Victor Silva de Farias

SISTEMA DE SEGURANÇA DE BAIXO CUSTO COM DETECÇÃO DE
MOVIMENTO, CAPTURA DE IMAGENS E NOTIFICAÇÕES
INSTANTÂNEAS

Campina Grande
2026

Catálogo na fonte:

Ficha catalográfica elaborada por Gustavo César Nogueira da Costa - CRB 15/479

F224s Farias, João Victor Silva de

Sistema de segurança de baixo custo com detecção de movimento, captura de imagens e notificações instantâneas / João Victor Silva de Farias. - Campina Grande, 2025.

53 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Bacharelado em Engenharia da Computação) - Instituto Federal da Paraíba, 2025.

Orientador: Prof. Fagner de Araújo Pereira.

1. Engenharia de computação 2. Internet das coisas - IoT
3. Monitoramento remoto - segurança residencial. 4. ESP32-CAM. I. Pereira, Fagner de Araújo III. Título.

CDU 004.4:351.86

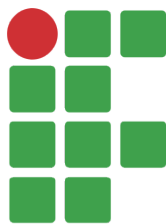
João Victor Silva de Farias

SISTEMA DE SEGURANÇA DE BAIXO CUSTO COM DETECÇÃO DE
MOVIMENTO, CAPTURA DE IMAGENS E NOTIFICAÇÕES
INSTANTÂNEAS

Monografia apresentada à Coordenação do curso de Bacharelado em Engenharia da Computação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Fagner de Araujo Pereira

Campina Grande
Fevereiro de 2026



SISTEMA DE SEGURANÇA DE BAIXO CUSTO COM DETECÇÃO DE
MOVIMENTO, CAPTURA DE IMAGENS E NOTIFICAÇÕES
INSTANTÂNEAS

João Victor Silva de Farias

Orientador: Fagner de Araujo Pereira

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE
ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO DO INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO.

:

CAMPINA GRANDE, PB – BRASIL
FEVEREIRO DE 2026

*Dedico este trabalho,
primeiramente, a Deus, por me
conceder forças nos momentos
mais difíceis. À minha família,
em especial à minha filha Laura,
à minha mãe Josenilda e minha
noiva Natane pelo apoio
incondicional, amor e incentivo
durante toda minha jornada
acadêmica. Aos amigos que
estiveram ao meu lado, me
apoando, motivando e
acreditando em mim, e a todos
que, de alguma forma,
contribuíram para a realização
deste trabalho.*

Agradecimentos

Agradeço,

primeiramente a Deus, por me conceder forças e perseverança ao longo desta jornada. À minha família, pelo apoio incondicional, paciência e encorajamento durante todo o curso. Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis, e àqueles que testaram, revisaram e até seguraram fios comigo enquanto eu lutava com a realização desse projeto. Ao meu orientador, Fagner de Araujo Pereira, por sua orientação técnica, atenção e confiança no desenvolvimento deste projeto. Agradeço também aos professores do curso, pela formação sólida e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste TCC, o meu muito obrigado!

RESUMO

VICTOR SILVA DE FARIAS, João. **Sistema de Segurança de Baixo Custo com Detecção de Movimento, Captura de Imagens e Notificações Instantâneas**. Campina Grande, 2026. Monografia (). Coordenação de Engenharia da Computação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, 2026.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de segurança residencial baseado em tecnologia IoT, utilizando um módulo ESP32-CAM, um sensor de movimento PIR HC-SR501 e um botão físico responsável por ativar o modo Access Point (AP) para configuração de rede. O objetivo do projeto é propor uma solução de vigilância automatizada, de baixo custo e fácil instalação, capaz de detectar movimentos em tempo real, capturar imagens e enviá-las imediatamente ao usuário por meio do Telegram, ampliando o controle e a segurança do ambiente monitorado. A metodologia adotada abrange o estudo de microcontroladores, sensores de presença, comunicação sem fio e integração com a API do Telegram, possibilitando o desenvolvimento de um sistema completo e eficiente. O dispositivo foi projetado para oferecer rápida resposta, baixo consumo energético e alta confiabilidade tanto na detecção quanto no envio de alertas, operando de forma contínua e permitindo ao usuário reconfigurar a rede Wi-Fi sempre que necessário por meio do modo AP. Espera-se que a solução proposta contribua para o aumento da segurança doméstica e sirva como base para futuras expansões e aprimoramentos em sistemas inteligentes de monitoramento.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Problemática	1
1.3	Proposta do Trabalho	2
1.4	Objetivo	2
1.4.1	Objetivo Geral	2
1.4.2	Objetivos Específicos	3
1.5	Metodologia	3
1.6	Organização do Documento	4
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Segurança eletrônica	5
2.1.1	Contexto da segurança moderna	5
2.1.2	Evolução da segurança eletrônica	6
2.1.3	Importância do monitoramento de ambientes	7
2.2	Sistemas embarcados	7
2.2.1	Conceito e características gerais	7
2.2.2	Evolução e aplicações	8
2.2.3	Arquitetura e componentes principais	9
2.2.4	Relevância para soluções de baixo custo	10
2.3	Microcontrolador ESP32-CAM	11
2.3.1	Visão geral do microcontrolador	11
2.3.2	Recursos e capacidades	12
2.3.3	Aplicações práticas	13
2.3.4	Considerações de uso e limitações	14
2.4	Sensor de movimento PIR (HC-SR501)	15
2.4.1	Funcionamento e princípios básicos	15
2.4.2	Características técnicas	16
2.4.3	Aplicações práticas	17
2.5	Integração com o Telegram	17
2.5.1	O App como ferramenta de comunicação	17

2.5.2	Funcionamento dos <i>bots</i>	18
2.5.3	API do Telegram	19
2.5.4	Vantagens e desafios da integração	20
2.6	Wi-Fi e modo Access Point	20
2.6.1	Redes Wi-Fi em sistemas embarcados	21
2.6.2	Funcionamento do modo Access Point (AP)	21
2.6.3	Integração entre Wi-Fi e Access Point	22
2.6.4	Benefícios e limitações	22
2.7	Interfaces de interação com o usuário	23
2.7.1	Importância das interfaces em sistemas embarcados	23
2.7.2	Feedback visual através de LEDs e flash interno	24
2.7.3	Simplicidade na interação por botões	24
2.7.4	Relevância da experiência do usuário	25
3	Metodologia e Desenvolvimento	26
3.1	Processo de desenvolvimento	26
3.2	Pesquisa bibliográfica	27
3.3	Desenvolvimento do sistema	28
3.4	Definição da arquitetura do sistema	29
3.5	Desenvolvimento do <i>Hardware</i>	31
3.5.1	Componentes utilizados	31
3.5.2	Conexões elétricas	32
3.5.3	Montagem física	32
3.6	Desenvolvimento do Software	33
3.6.1	Configuração de rede e modo Access Point	33
3.6.2	Lógica de detecção de movimento e acionamento do flash	35
3.6.3	Organização e robustez do sistema	35
3.7	Testes e validação	36
3.7.1	Testes de Funcionamento do Sistema	37
3.7.2	Validação dos Resultados	38
3.7.3	Análise de Consumo Energético	39
3.7.4	Custos de Materiais	40
4	Considerações finais e trabalhos futuros	42
4.1	Considerações Finais	42
4.2	Trabalhos Futuros	43
	Referências Bibliográficas	45

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

A segurança residencial e comercial tem se tornado uma preocupação crescente em todo o mundo, especialmente devido ao aumento de casos de furtos, invasões e situações de risco iminente. Tradicionalmente, a proteção desses ambientes depende de sistemas de vigilância complexos e de alto custo, muitas vezes inacessíveis para grande parte da população [5].

O avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) vem promovendo mudanças significativas nos comportamentos individuais e nas interações sociais, abrindo novas possibilidades para soluções inteligentes de monitoramento. Esse cenário favorece o desenvolvimento de sistemas mais eficientes, acessíveis e de baixo custo, capazes de oferecer alternativas inovadoras frente aos modelos tradicionais de segurança [2].

1.2 Problemática

Apesar da evolução tecnológica e da ampla oferta de sistemas de segurança disponíveis no mercado, muitas dessas soluções ainda apresentam limitações significativas, como elevado custo de aquisição, necessidade de instalação especializada e dependência de infraestruturas complexas. Essas características restringem o acesso a tecnologias de vigilância eficazes, especialmente para residências de pequeno porte e comércios de menor escala.

Além disso, sistemas comerciais de menor custo frequentemente carecem de funcionalidades essenciais, como notificações em tempo real, integração com dispositivos móveis ou flexibilidade de configuração, comprometendo sua eficiência na prevenção e resposta a eventos de risco. Dessa forma, observa-se uma lacuna entre soluções robustas, porém caras, e alternativas acessíveis, porém limitadas em recursos.

Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver sistemas de monitoramento que conciliem baixo custo, facilidade de uso e funcionalidades inteligentes, capazes de atender às demandas atuais de segurança de forma eficiente e acessível.

1.3 Proposta do Trabalho

No contexto da segurança eletrônica, o uso de dispositivos embarcados, como a ESP32-CAM, aliados a sensores de movimento do tipo PIR HC-SR501 e a mecanismos de comunicação via Internet, possibilita o desenvolvimento de sistemas de monitoramento inteligentes, discretos e de baixo custo.

A proposta deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema capaz de detectar movimentos em ambientes monitorados, realizar a captura automática de imagens e enviá-las em tempo real ao usuário por meio de notificações instantâneas, utilizando *bots* da plataforma Telegram. Esse recurso permite uma resposta rápida a possíveis situações de risco, ampliando a eficiência da vigilância.

Adicionalmente, o sistema incorpora um modo de configuração via *Access Point*, possibilitando que usuários sem conhecimentos avançados em redes realizem a configuração inicial de forma simples e intuitiva. A combinação de portabilidade, baixo custo, facilidade de configuração e integração com serviços de mensageria torna a solução proposta uma alternativa viável e eficiente aos sistemas tradicionais de vigilância residencial e comercial.

1.4 Objetivo

Esta seção tem como finalidade apresentar os objetivos que norteiam o desenvolvimento deste trabalho. A definição dos objetivos permite delimitar o escopo do projeto, orientar as etapas de implementação do sistema proposto e estabelecer de forma clara os resultados esperados, considerando as necessidades de segurança residencial e comercial abordadas ao longo do estudo.

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento de baixo custo, baseado em uma plataforma embarcada ESP32-CAM integrada a um sensor de movimento PIR, capaz de capturar imagens automaticamente ao detectar presença em um ambiente e enviá-las em tempo real ao usuário por meio do aplicativo Telegram. Além disso, o sistema deve possibilitar a configuração simplificada de redes Wi-Fi através do modo Access Point, garantindo praticidade, portabilidade e

acessibilidade, de forma a oferecer uma solução eficiente e economicamente viável para a segurança residencial e comercial.

1.4.2 Objetivos Específicos

Dentro desse objetivo geral, encontram-se como metas específicas:

- Implementar a integração entre a ESP32-CAM e o sensor de movimento PIR HC-SR501 para detecção de presença em ambientes.
- Desenvolver a funcionalidade de captura automática de imagens no momento da detecção de movimento.
- Configurar o envio das imagens capturadas ao usuário por meio de notificações instantâneas no aplicativo Telegram, utilizando um bot dedicado.
- Implementar um mecanismo de configuração de rede Wi-Fi por meio do modo *Access Point*, permitindo que o usuário insira novos dados de conexão de forma simples e prática.
- Adicionar sinais visuais através do *flash* da câmera para indicar os diferentes estados do sistema (captura de imagem, conexão à rede e ativação do modo *Access Point*).
- Garantir que o sistema opere de forma contínua, confiável e com tempo de resposta adequado após cada evento de detecção.
- Avaliar a aplicabilidade do sistema como solução de segurança acessível e eficiente para ambientes residenciais e comerciais.

1.5 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho possui caráter aplicado e experimental, sendo orientada ao desenvolvimento de um protótipo funcional de sistema de monitoramento. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de fundamentar teoricamente o uso de dispositivos embarcados, tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e sistemas de segurança de baixo custo.

Em seguida, procedeu-se à definição dos requisitos do sistema e à seleção dos componentes de hardware e software. O desenvolvimento envolveu a implementação do firmware da ESP32-CAM, a integração com o sensor de movimento PIR, a configuração de comunicação via Telegram e a criação de um mecanismo de configuração de rede por meio do modo Access Point. Por fim, foram realizados testes

e validações experimentais para avaliar o funcionamento, o consumo energético e a viabilidade econômica da solução proposta.

1.6 Organização do Documento

Este trabalho está organizado em capítulos de forma a apresentar, de maneira progressiva, o desenvolvimento do sistema proposto. O Capítulo 1 apresenta a contextualização do tema, a problemática abordada, os objetivos do trabalho, a metodologia adotada e a organização do documento.

O Capítulo 2 aborda os fundamentos teóricos relacionados à segurança eletrônica, Internet das Coisas, dispositivos embarcados e tecnologias utilizadas no desenvolvimento do sistema.

O Capítulo 3 descreve detalhadamente a metodologia e o desenvolvimento do projeto, incluindo a arquitetura do sistema, o desenvolvimento do hardware e do software, bem como os testes e validações realizados.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta as conclusões do trabalho, destacando os resultados obtidos, as limitações do sistema e as possibilidades de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica tem como objetivo apresentar e discutir os principais conceitos, abordagens e tecnologias que servem de base para o desenvolvimento deste trabalho. Nesta etapa, são explorados aspectos relacionados à segurança eletrônica, à evolução dos sistemas de monitoramento e ao papel da tecnologia na proteção patrimonial e residencial. A revisão da literatura permite contextualizar o problema abordado, bem como justificar as escolhas técnicas e metodológicas adotadas no projeto, estabelecendo um embasamento sólido para a proposta apresentada.

2.1 Segurança eletrônica

A segurança eletrônica engloba soluções tecnológicas voltadas à proteção de pessoas e patrimônios, utilizando dispositivos eletrônicos e sistemas de comunicação para prevenção e detecção de eventos indesejados. Essas tecnologias têm se tornado cada vez mais presentes em ambientes residenciais, impulsionadas pela necessidade de maior eficiência, rapidez e acessibilidade.

2.1.1 Contexto da segurança moderna

O crescimento acelerado das cidades, aliado ao aumento da densidade populacional, trouxe consigo novos desafios relacionados à segurança pública e privada. Em ambientes residenciais, a sensação de insegurança é frequentemente alimentada por estatísticas de furtos, assaltos e invasões domiciliares, que, mesmo variando entre regiões, se mantêm como preocupação recorrente das famílias. O modelo tradicional de segurança, pautado em barreiras físicas (como muros e grades) ou em soluções humanas, como vigilância presencial, mostra-se insuficiente para responder à complexidade das ameaças atuais. [9]

Além disso, fatores sociais e econômicos contribuem para esse cenário. A escassez de recursos públicos para policiamento ostensivo, aliada à sofisticação das ações

criminosas, reforça a necessidade de soluções complementares, capazes de prevenir e, principalmente, responder com agilidade a incidentes [6]. Nesse contexto, os sistemas de monitoramento eletrônico deixam de ser considerados um luxo ou privilégio de grandes empresas e passam a se consolidar como ferramentas acessíveis para a proteção residencial.

Outro ponto relevante é a mudança no perfil do consumidor moderno, que busca não apenas segurança, mas também praticidade e integração com outras dimensões de sua vida cotidiana. Dessa forma, a evolução tecnológica permitiu que a proteção patrimonial fosse incorporada ao conceito do inglês *smart home*, em que dispositivos conectados oferecem ao usuário controle e informação em tempo real, fortalecendo o papel da tecnologia como aliada da segurança pessoal e familiar.[11]

2.1.2 Evolução da segurança eletrônica

Os primeiros sistemas de segurança eletrônica residencial surgiram de forma rudimentar, com alarmes de circuito simples que disparavam sons quando havia uma violação em portas ou janelas. Embora úteis como dissuasores, essas tecnologias apresentavam limitações: não havia registro do evento, não existia comunicação imediata com os moradores ausentes e muitas vezes os alarmes eram falsos, reduzindo sua efetividade.[10]

Com a disseminação das câmeras de circuito fechado (CFTV), o monitoramento ganhou novas possibilidades. Ainda assim, as primeiras gerações dessas câmeras apresentavam baixa resolução, exigiam cabos para transmissão e dependiam de operadores humanos para vigiar imagens em tempo real. Era um recurso caro e restrito a empresas ou residências de alto padrão.[13]

A partir dos anos 2000, a digitalização e o avanço da Internet das Coisas (do inglês, Internet of Things - IoT) transformaram esse cenário. Hoje, sensores de presença, câmeras IP de alta definição, detectores de fumaça, fechaduras inteligentes e aplicativos móveis podem ser integrados em sistemas completos de monitoramento. O usuário pode não apenas visualizar as imagens de sua residência em tempo real por meio de um *smartphone*, mas também configurar alertas automáticos em caso de movimentação suspeita, permitindo respostas rápidas e precisas.[12]

O armazenamento em nuvem e a inteligência artificial elevaram ainda mais o nível da segurança eletrônica. Recursos como detecção de padrões, reconhecimento facial e análise preditiva permitem que o sistema diferencie atividades normais de potenciais ameaças. Dessa forma, evita-se que o usuário seja sobrecarregado por falsos alarmes, além de aumentar a confiabilidade do monitoramento.

2.1.3 Importância do monitoramento de ambientes

A função principal do monitoramento residencial vai além da simples vigilância. Ele atua de maneira preventiva, oferecendo uma camada adicional de proteção ao identificar riscos em tempo real e reduzir a vulnerabilidade dos moradores. Por exemplo, a detecção imediata de um movimento suspeito na entrada de uma residência pode gerar um alerta automático ao proprietário e, em alguns casos, acionar autoridades de segurança.

Além da prevenção de crimes, os sistemas de monitoramento desempenham papel fundamental em situações emergenciais. Sensores de fumaça ou temperatura podem identificar princípios de incêndio antes que eles se tornem incontroláveis, enquanto sensores de gás detectam vazamentos que poderiam resultar em acidentes graves. Em um cenário de sociedade conectada, essa capacidade de resposta rápida é um diferencial que pode salvar vidas.

Outro ponto de destaque é o valor jurídico do monitoramento. O registro histórico em fotos ou vídeos pode servir como evidência em investigações criminais, auxiliando na identificação de suspeitos ou na comprovação de fatos. Essa função documental amplia a utilidade do sistema, justificando ainda mais sua adoção em ambientes residenciais.[4]

Também é importante considerar o aspecto psicológico. A presença de câmeras ou sensores visíveis atua como fator de dissuasão, reduzindo a probabilidade de uma tentativa de invasão. Ao mesmo tempo, para os moradores, a sensação de estar protegido aumenta a percepção de bem-estar e tranquilidade, fatores diretamente ligados à qualidade de vida.[7]

2.2 Sistemas embarcados

Os sistemas embarcados desempenham papel fundamental no desenvolvimento de soluções tecnológicas modernas, estando presentes em diversas aplicações do cotidiano, como automação residencial, dispositivos médicos, sistemas automotivos e equipamentos de segurança eletrônica. Sua utilização permite a implementação de funções específicas de forma eficiente, confiável e com baixo custo, tornando-se especialmente relevantes em projetos que demandam integração entre sensores, atuadores e comunicação em tempo real.

2.2.1 Conceito e características gerais

Sistemas embarcados podem ser compreendidos como dispositivos computacionais especializados, projetados para executar funções específicas dentro de um sistema maior, diferentemente de computadores de uso geral, que processam múltiplas tarefas

de forma genérica. Esses sistemas são otimizados para atender a requisitos muito particulares, muitas vezes com restrições severas de energia, espaço físico e custo de produção. [8]

A integração entre *hardware* e *software* em uma arquitetura compacta é uma característica marcante. Essa integração permite que o dispositivo realize controle, automação e processamento local de informações, sem depender exclusivamente de recursos externos. Além disso, sistemas embarcados são projetados para operar de forma confiável e contínua, frequentemente em condições adversas ou em tempo real, ou seja, com respostas imediatas a estímulos do ambiente. Entre suas principais características, destacam-se:

- **Baixo consumo de energia:** essencial para aplicações portáteis ou sistemas que operam continuamente sem fonte de alimentação robusta.
- **Operação em tempo real:** tarefas críticas, como detecção de movimento em sistemas de segurança, exigem resposta instantânea.
- **Confiabilidade:** falhas podem gerar prejuízos financeiros ou riscos à vida, especialmente em setores automotivo e médico.
- **Autonomia e integração:** a capacidade de funcionar de forma independente ou em conjunto com outros dispositivos amplia a versatilidade desses sistemas.

Essas características tornam os sistemas embarcados fundamentais para soluções modernas de automação residencial, industrial e comercial, onde precisão, eficiência e custo-benefício são requisitos indispensáveis.

2.2.2 Evolução e aplicações

A trajetória dos sistemas embarcados está intimamente ligada ao avanço da microeletrônica e ao desenvolvimento de microprocessadores e microcontroladores. Inicialmente, eram restritos a aplicações industriais, militares ou aeroespaciais, devido ao custo elevado e à complexidade de implementação. Com a redução do tamanho dos componentes e a popularização de placas de desenvolvimento, esses sistemas passaram a integrar dispositivos do dia a dia, revolucionando a forma como vivemos e interagimos com a tecnologia. Hoje, sua presença é onipresente, por exemplo:

- **Eletrodomésticos:** máquinas de lavar, fornos micro-ondas e refrigeradores utilizam sistemas embarcados para controlar processos de forma automática.
- **Veículos:** controle de injeção eletrônica, sistemas de frenagem ABS, airbag, monitoramento do motor e assistência à condução dependem de sistemas embarcados para garantir segurança e desempenho. Além disso, no contexto da

Internet dos Veículos (IoV), esses sistemas possibilitam a comunicação entre veículos, infraestrutura e serviços em nuvem, ampliando funcionalidades relacionadas à segurança, eficiência e mobilidade inteligente.

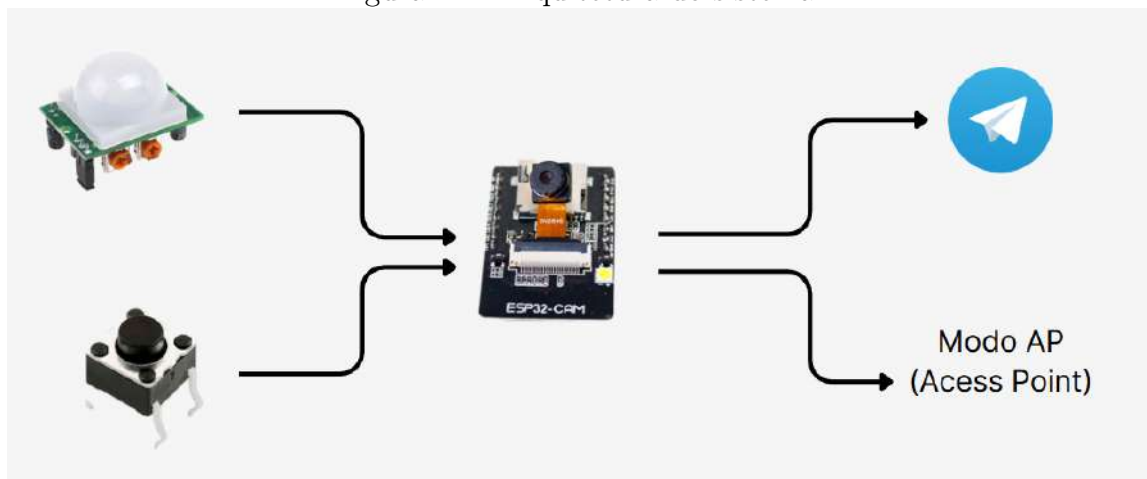
- Telecomunicações e redes: roteadores, *switches* e dispositivos IoT usam sistemas embarcados para gerenciar comunicação e processamento local de dados.
- Segurança residencial: sensores de movimento, câmeras IP e controladores de automação residencial dependem de microcontroladores para a integração de dispositivos e resposta em tempo real a eventos, compondo o ecossistema de casas inteligentes (*Smart Home*), no qual diferentes sistemas se comunicam para aumentar a segurança, o conforto e a eficiência do ambiente.

A diversidade de aplicações evidencia que sistemas embarcados não são apenas componentes tecnológicos, mas elementos centrais na automação, conectividade e digitalização de processos em diferentes setores da sociedade.

2.2.3 Arquitetura e componentes principais

A arquitetura típica de um sistema embarcado é composta por três blocos fundamentais: hardware, software e interface com o ambiente externo. A Figura 2.1 apresenta de forma conceitual a arquitetura do sistema proposto, evidenciando a interligação entre seus principais componentes e os fluxos de comunicação estabelecidos.

Figura 2.1: Arquitetura do sistema



Fonte: Elaborada pelo autor.

- **Hardware:** inclui microcontroladores ou microprocessadores, sensores para coleta de dados do mundo físico, atuadores para realizar ações e módulos de comunicação (Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, etc.). A escolha do hardware é

determinada pela aplicação específica, levando em consideração requisitos de processamento, memória, energia e custo.

- **Software:** desenvolvido de forma enxuta e otimizada, muitas vezes com sistemas operacionais de tempo real (RTOS), que garantem que tarefas críticas sejam executadas dentro de prazos específicos. O software gerencia o fluxo de dados, processa informações recebidas dos sensores e coordena a atuação de atuadores, mantendo o sistema eficiente e confiável.
- **Interface com o ambiente:** transforma sinais físicos (como temperatura, luz, movimento ou pressão) em informações digitais que podem ser processadas pelo sistema, e permite a interação reversa, atuando sobre variáveis físicas quando necessário. Essa interface é fundamental para aplicações de monitoramento e automação, como em sistemas de segurança residencial, onde sensores detectam intrusões e o sistema aciona alarmes ou notifica o usuário via aplicativo.

A integração entre esses três blocos possibilita que o sistema embarcado funcione como um cérebro local, tomando decisões imediatas e garantindo resposta eficiente mesmo em situações críticas.

2.2.4 Relevância para soluções de baixo custo

Uma das maiores vantagens dos sistemas embarcados é sua capacidade de fornecer soluções econômicas sem sacrificar desempenho ou confiabilidade. Microcontroladores acessíveis, como os da família ESP32, oferecem recursos avançados de conectividade Wi-Fi e *Bluetooth* integrados, reduzindo a necessidade de módulos adicionais e simplificando projetos de automação e monitoramento.

Além disso, a popularização de plataformas de hardware aberto, como Arduino e ESP-IDF, permite que desenvolvedores e pesquisadores implementem soluções personalizadas de forma rápida e econômica. Essas plataformas oferecem ampla documentação, bibliotecas de software e suporte comunitário, tornando viáveis projetos complexos mesmo para iniciantes.

No contexto da segurança residencial, essa combinação de baixo custo, conectividade e flexibilidade tecnológica possibilita criar sistemas compactos, discretos e eficientes, capazes de competir com soluções comerciais mais caras. Por exemplo, é possível montar uma rede de sensores de movimento conectados a câmeras e alarmes, controláveis via aplicativo, gastando uma fração do valor de sistemas proprietários tradicionais.

Outro benefício é a escalabilidade. Sistemas embarcados permitem a adição de novos sensores, atuadores ou funcionalidades sem a necessidade de reformular

toda a infraestrutura, tornando-os ideais para soluções modulares e adaptáveis às necessidades específicas do usuário ou da residência [17].

2.3 Microcontrolador ESP32-CAM

No contexto de sistemas embarcados aplicados à segurança e à Internet das Coisas, a escolha da plataforma de hardware é um fator determinante para o desempenho, custo e viabilidade do sistema. Dentre as diversas opções disponíveis no mercado, a ESP32-CAM destaca-se por integrar recursos de processamento, comunicação sem fio e captura de imagens em um único módulo, tornando-se especialmente adequada para aplicações de monitoramento inteligente.

2.3.1 Visão geral do microcontrolador

A ESP32-CAM é uma das soluções mais acessíveis e versáteis no universo de sistemas embarcados com captura de imagens, combinando conectividade sem fio, capacidade de processamento local e captura visual em um módulo extremamente compacto. Baseada no microcontrolador ESP32, a placa integra conectividade Wi-Fi e Bluetooth, múltiplos pinos de entrada e saída (GPIO) e suporte a sensores externos, permitindo criar sistemas de monitoramento e automação que vão desde pequenos protótipos até aplicações residenciais ou comerciais de médio porte. O módulo de câmera integrado, compatível com sensores da série OV, oferece a possibilidade de capturar fotos e vídeos em tempo real, permitindo não apenas a vigilância, mas também a coleta de dados visuais que podem ser analisados e processados localmente ou enviados a servidores e aplicativos móveis. Essa integração de funções torna a ESP32-CAM uma ferramenta extremamente poderosa em projetos de IoT, pois combina o monitoramento físico do ambiente com capacidade de decisão e comunicação em tempo real, algo que antes demandava sistemas muito mais complexos e caros. [16]

Além da versatilidade técnica, a ESP32-CAM se destaca por sua acessibilidade e facilidade de prototipagem. Por ser uma plataforma de baixo custo, ela permite que estudantes, pesquisadores e desenvolvedores iniciantes experimentem conceitos avançados de sistemas embarcados, automação e IoT sem a necessidade de investimentos altos em equipamentos ou infraestrutura. A flexibilidade de programação da placa é outro ponto forte, pois suporta diversos ambientes de desenvolvimento, incluindo Arduino IDE, ESP-IDF e MicroPython, facilitando a adaptação de projetos às necessidades específicas do desenvolvedor. Essa capacidade de integração e adaptação torna a ESP32-CAM não apenas uma ferramenta prática para prototipagem rápida, mas também uma plataforma capaz de suportar soluções finais funcionais,

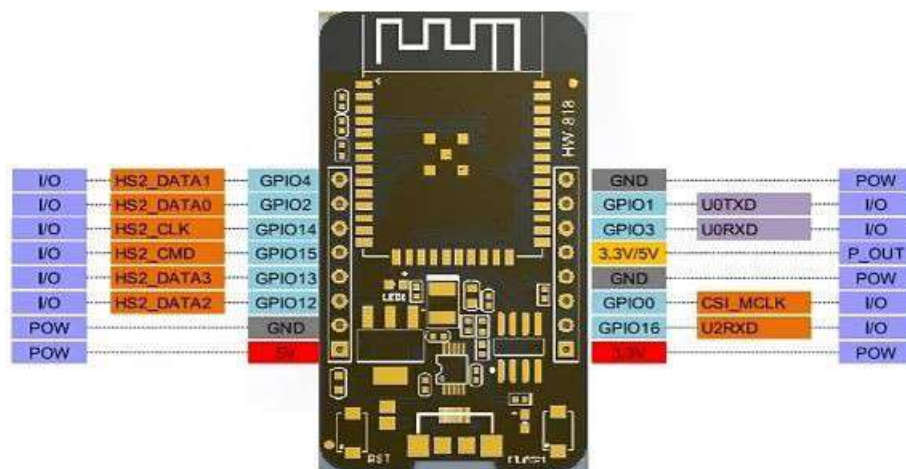
que podem ser aplicadas diretamente em residências, empresas ou ambientes educacionais.

2.3.2 Recursos e capacidades

A ESP32-CAM apresenta um conjunto de recursos que a tornam altamente adequada para projetos de monitoramento e automação. A conectividade Wi-Fi e *Bluetooth* integrada permite que a placa se comunique com redes locais, envie dados em tempo real para servidores ou aplicativos móveis e interaja com outros dispositivos IoT, como sensores adicionais ou sistemas de automação residencial. Essa capacidade de comunicação torna possível o monitoramento remoto de ambientes, permitindo que o usuário receba alertas instantâneos, visualize imagens capturadas pela câmera e até acione dispositivos conectados, mesmo quando não está fisicamente presente no local. O módulo de câmera integrado, embora não alcance a qualidade de câmeras profissionais de vigilância, oferece resolução suficiente para capturar imagens nítidas e realizar detecção de movimento, reconhecimento básico de objetos e monitoramento ambiental, funções que são fundamentais em sistemas residenciais ou comerciais de baixo custo.

Os múltiplos pinos GPIO da ESP32-CAM, como é possível observar na figura 2.2, permitem a conexão com uma ampla variedade de sensores e atuadores, incluindo sensores de movimento (PIR), sensores de temperatura, sensores de luminosidade, LEDs, buzzer e outros dispositivos. Essa capacidade de integração transforma a placa em um verdadeiro controlador embarcado, capaz não apenas de coletar dados, mas também de executar ações automáticas com base nas informações recebidas. A memória incorporada e o processador dual-core do ESP32 permitem executar tarefas complexas de captura, compressão e transmissão de imagens em tempo real, garantindo respostas rápidas e confiáveis mesmo em sistemas compactos. Além disso, a ESP32-CAM, por meio de sua interface Wi-Fi e da pilha de protocolos *Transmission Control Protocol* (TCP/IP) disponibilizada pelo ambiente de desenvolvimento, permite a implementação de aplicações que utilizam protocolos de camada de aplicação, como *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) e *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Essa característica viabiliza a integração do sistema com serviços em nuvem, aplicativos móveis e servidores locais, ampliando suas possibilidades de aplicação.

Figura 2.2: Pinos da ESP32 CAM



Fonte: Elaborada pelo autor.

A plataforma também se destaca por sua capacidade de processamento local, permitindo que tarefas de detecção de movimento ou análise básica de imagens sejam realizadas diretamente na placa, sem a necessidade de enviar todos os dados para servidores externos. Isso reduz a latência, aumenta a confiabilidade do sistema e diminui a dependência de conexões de internet estáveis. Além disso, a ESP32-CAM permite a utilização de cartões SD para armazenamento local de imagens ou dados, o que é útil em cenários onde a transmissão em tempo real não é viável ou quando é necessário manter um registro de eventos para consulta futura.

2.3.3 Aplicações práticas

A ESP32-CAM é amplamente utilizada em diversos contextos, sendo uma ferramenta essencial para sistemas de segurança e automação. Em ambientes residenciais, permite a criação de sistemas de vigilância que capturam imagens quando há detecção de movimento, enviando alertas imediatos ao usuário e registrando eventos para posterior análise. Em pequenas empresas ou estabelecimentos comerciais, a placa pode ser usada para monitoramento de áreas internas e externas, substituindo sistemas de segurança mais caros e complexos, sem comprometer a funcionalidade ou confiabilidade.

Outro campo de aplicação relevante é o monitoramento de áreas remotas ou de difícil acesso. Devido ao seu tamanho reduzido e baixo consumo de energia, a ESP32-CAM pode ser integrada em dispositivos portáteis ou discretos, como drones de inspeção, câmeras móveis, sensores de campo e até robôs de monitoramento, per-

mitindo coleta de dados visuais em locais onde o acesso humano é limitado. Além disso, a placa é extremamente útil em projetos acadêmicos e de pesquisa, oferecendo aos estudantes a oportunidade de explorar conceitos de programação embarcada, IoT, integração de sensores, automação e análise de dados visuais. Essa aplicabilidade prática facilita a compreensão de conceitos teóricos, incentiva a experimentação e estimula a inovação em soluções de baixo custo.

A ESP32-CAM também se mostra eficiente em projetos de automação residencial, permitindo integrar sistemas de iluminação, controle de portas, sensores ambientais e alarmes, criando soluções inteligentes que respondem automaticamente a mudanças no ambiente. A capacidade de executar tarefas localmente e comunicar-se com aplicativos móveis ou servidores garante que mesmo sistemas relativamente simples possam oferecer alto grau de autonomia e confiabilidade, aproximando a tecnologia embarcada de soluções acessíveis e práticas para o usuário final.

2.3.4 Considerações de uso e limitações

Apesar de suas vantagens, a ESP32-CAM apresenta limitações que devem ser consideradas durante o desenvolvimento de projetos. A memória restrita pode limitar a resolução das imagens e o número de arquivos armazenados temporariamente, exigindo a implementação de técnicas de compressão de dados ou o envio imediato para armazenamento externo, seja em servidores, aplicativos móveis ou cartões SD. O consumo de energia, embora relativamente baixo, pode ser um fator crítico em aplicações alimentadas por baterias, especialmente em projetos que exigem monitoramento contínuo, sendo recomendável o uso de modos de economia, como *deep sleep*, ou a captura periódica de imagens para prolongar a autonomia do sistema.

A conectividade Wi-Fi, fundamental para transmissão de dados em tempo real, também precisa ser gerenciada de forma eficiente, implementando reconexão automática e buffers de dados para minimizar perdas de informação. A segurança da transmissão de dados é outro ponto crítico, pois sistemas de monitoramento residencial lidam com informações sensíveis que exigem criptografia robusta, utilizando protocolos seguros como HTTPS ou MQTT com TLS. Além disso, tarefas mais complexas, como análise avançada de imagens, reconhecimento facial ou processamento de grandes volumes de dados, podem superar a capacidade de processamento da ESP32-CAM, exigindo a utilização de servidores externos ou serviços em nuvem, mantendo a placa como ponto inicial de coleta e processamento local de informações.

Mesmo com essas limitações, a ESP32-CAM se destaca pelo equilíbrio entre custo, flexibilidade e funcionalidade. Ela permite a criação de sistemas completos de monitoramento e automação, compactos, eficientes e acessíveis, aproximando a tecnologia embarcada de soluções práticas para residências, empresas e ambientes

acadêmicos. Sua combinação de conectividade, processamento local e capacidade de captura de imagens a torna uma plataforma estratégica para desenvolvimento de projetos inovadores em IoT e automação, consolidando-se como uma ferramenta indispensável para profissionais, pesquisadores e entusiastas da área [2].

2.4 Sensor de movimento PIR (HC-SR501)

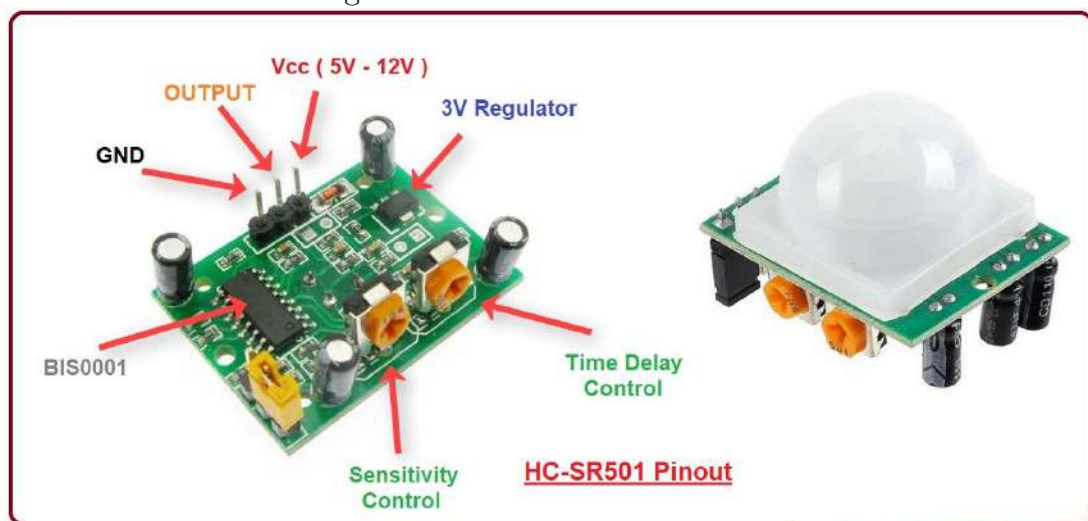
Sensores de movimento desempenham papel fundamental em sistemas de segurança eletrônica, pois permitem identificar a presença de pessoas ou objetos em um ambiente de forma automática. Entre as diversas tecnologias disponíveis, os sensores do tipo PIR destacam-se por sua simplicidade, baixo consumo de energia e ampla aplicação em projetos de monitoramento e automação residencial.

2.4.1 Funcionamento e princípios básicos

O sensor PIR (*Passive Infrared Sensor*) é um dispositivo eletrônico amplamente utilizado para a detecção de movimento em sistemas de automação e segurança. Seu funcionamento está diretamente relacionado à detecção de variações na radiação infravermelha emitida por corpos quentes, como seres humanos e animais. O modelo HC-SR501, em particular, tornou-se um dos mais populares no mercado devido ao seu baixo custo, simplicidade de operação e elevada eficiência em ambientes internos. [3]

A Figura 2.3 apresenta o sensor PIR HC-SR501, destacando seus principais componentes e elementos de configuração, como os pinos de conexão, o ajuste de sensibilidade e o controle de tempo de disparo (*delay*).

Figura 2.3: Sensor PIR HC-SR501



Fonte: Elaborada pelo autor.

O princípio fundamental de operação do sensor baseia-se em um material piroelétrico sensível ao infravermelho, que gera pequenas cargas elétricas quando exposto a mudanças na intensidade de radiação térmica. O dispositivo é equipado com uma lente do tipo Fresnel, que amplia sua área de detecção e concentra a radiação infravermelha sobre o elemento sensor. Quando um corpo em movimento atravessa essa área, ocorre uma variação brusca na quantidade de radiação captada, o que resulta em uma alteração na carga elétrica produzida pelo sensor. Essa alteração é processada por um circuito interno, que gera como saída um sinal digital, indicando a presença de movimento.

A simplicidade desse processo faz com que o HC-SR501 seja altamente confiável e adequado para sistemas embarcados. Sua saída digital facilita a integração com microcontroladores e placas como a ESP32-CAM, dispensando a necessidade de circuitos adicionais complexos. Dessa forma, ele atua como um “gatilho” para diversas ações em sistemas automatizados, desde o acionamento de alarmes até o registro de imagens e envio de notificações em tempo real.

2.4.2 Características técnicas

O HC-SR501 apresenta especificações técnicas que o tornam versátil para diferentes aplicações. Ele opera em uma faixa de tensão relativamente ampla, entre 4,5 V e 20 V, o que o torna compatível com diversos microcontroladores e placas de desenvolvimento, incluindo Arduino, ESP8266 e ESP32. Essa característica é importante porque permite sua utilização em diferentes contextos sem a necessidade de circuitos reguladores de tensão adicionais.

Sua distância de detecção pode ser ajustada por meio de potenciômetros presentes no módulo, variando geralmente entre 3 e 7 metros. Esse ajuste garante flexibilidade na adaptação do sensor a diferentes cenários, desde pequenos cômodos até corredores maiores. Outro parâmetro relevante é o ângulo de detecção, que gira em torno de 120 graus, possibilitando a cobertura eficiente de ambientes internos, reduzindo pontos cegos e ampliando a área monitorada.

O tempo de disparo, ou seja, o intervalo durante o qual o sinal de saída permanece ativo após a detecção de movimento, também pode ser configurado pelo usuário. Esse recurso é especialmente útil em aplicações como sistemas de iluminação, onde se deseja manter a luz acesa por um determinado período mesmo após o movimento cessar, ou em alarmes, onde é necessário garantir que o evento seja devidamente registrado. Em resumo, essas especificações técnicas garantem que o HC-SR501 possa ser adaptado a diferentes tipos de projetos de automação, segurança e monitoramento, aumentando sua versatilidade e confiabilidade [1].

2.4.3 Aplicações práticas

A utilização do HC-SR501 se estende por diversas áreas, sendo um dos sensores mais comuns em projetos de automação residencial e segurança eletrônica. Em sistemas de alarme, ele desempenha a função de identificar movimentações em áreas restritas, acionando sirenes, luzes ou câmeras para alertar o usuário sobre a possível presença de intrusos. Na automação residencial, é amplamente empregado no controle de iluminação inteligente, em que a lâmpada é acionada automaticamente ao detectar a presença de pessoas em determinado ambiente, trazendo conforto e economia de energia elétrica.

No contexto do presente trabalho, o HC-SR501 é parte essencial do sistema de monitoramento. Ao detectar a presença de um intruso, ele envia um sinal para a ESP32-CAM, que imediatamente aciona a captura de imagens do ambiente. Essas imagens podem ser armazenadas localmente ou enviadas em tempo real para o usuário por meio de aplicativos de mensagens, como o Telegram, ampliando a segurança e permitindo uma resposta rápida diante de situações de risco. Essa integração entre o sensor PIR e a ESP32-CAM evidencia o potencial da tecnologia embarcada para oferecer soluções de baixo custo, mas altamente funcionais, em contextos reais de segurança residencial.

Além de aplicações residenciais, o sensor PIR também é encontrado em ambientes comerciais, em sistemas de controle de acesso, iluminação de emergência, monitoramento de corredores e até mesmo em projetos acadêmicos e prototipagem. Sua simplicidade de uso e confiabilidade fazem dele um recurso didático valioso para o ensino de sistemas embarcados e automação, já que permite aos estudantes experimentarem conceitos práticos de detecção de movimento e integração com microcontroladores.

2.5 Integração com o Telegram

Em sistemas de monitoramento e segurança, a comunicação eficiente entre o dispositivo embarcado e o usuário final é um requisito essencial. A capacidade de transmitir alertas e informações em tempo real permite respostas rápidas a eventos detectados, aumentando a efetividade do sistema e a sensação de segurança. Nesse contexto, aplicativos de mensagens instantâneas surgem como alternativas práticas e acessíveis para a implementação dessa comunicação.

2.5.1 O App como ferramenta de comunicação

O Telegram consolidou-se nos últimos anos como uma das principais plataformas de mensagens instantâneas, conquistando espaço pela sua eficiência, flexibilidade e

conjunto de recursos voltados tanto para usuários comuns quanto para desenvolvedores. Ao contrário de alguns aplicativos tradicionais, que priorizam apenas a troca de mensagens entre indivíduos, o Telegram aposta em um ecossistema aberto, permitindo o desenvolvimento de *bots*, canais de comunicação em larga escala e integração com sistemas externos. Essa característica o torna especialmente atrativo para projetos de monitoramento e automação, nos quais a necessidade de envio de informações rápidas, seguras e confiáveis é fundamental.

Além disso, o Telegram se destaca pelo seu modelo multiplataforma, estando disponível em *smartphones*, computadores pessoais e até navegadores *web*. Isso amplia significativamente a acessibilidade do sistema, pois o usuário não depende de um único dispositivo para receber alertas ou acompanhar o status do monitoramento. A rapidez na entrega das mensagens e a robustez de sua infraestrutura também garantem que as notificações sejam recebidas em tempo quase instantâneo, sem atrasos significativos, o que é essencial em sistemas que envolvem segurança residencial ou empresarial [14].

Outro fator que reforça a escolha do Telegram para este projeto é a sua política de suporte a desenvolvedores. A plataforma disponibiliza uma API completa, bem documentada e gratuita, o que facilita a criação de soluções customizadas, eliminando custos adicionais com servidores ou licenciamento. Assim, o Telegram não é apenas um aplicativo de mensagens, mas sim uma ponte tecnológica entre o usuário e dispositivos conectados, como a ESP32-CAM, tornando-se uma peça central no ecossistema IoT.

2.5.2 Funcionamento dos *bots*

Um dos grandes diferenciais do Telegram em relação a outros mensageiros é o funcionamento dos *bots*, que nada mais são do que contas automatizadas capazes de interagir diretamente com os usuários ou grupos. Esses bots não exigem um número de telefone vinculado, o que aumenta sua flexibilidade e evita a dependência de múltiplas linhas móveis para cada aplicação desenvolvida. O processo de criação de um bot é relativamente simples e passa pelo uso do *BotFather*, o bot oficial do Telegram que gera um *token* de autenticação exclusivo. Esse token é a chave que permite a comunicação entre o sistema implementado pelo desenvolvedor e os servidores do Telegram, garantindo a segurança no tráfego de informações. [15]

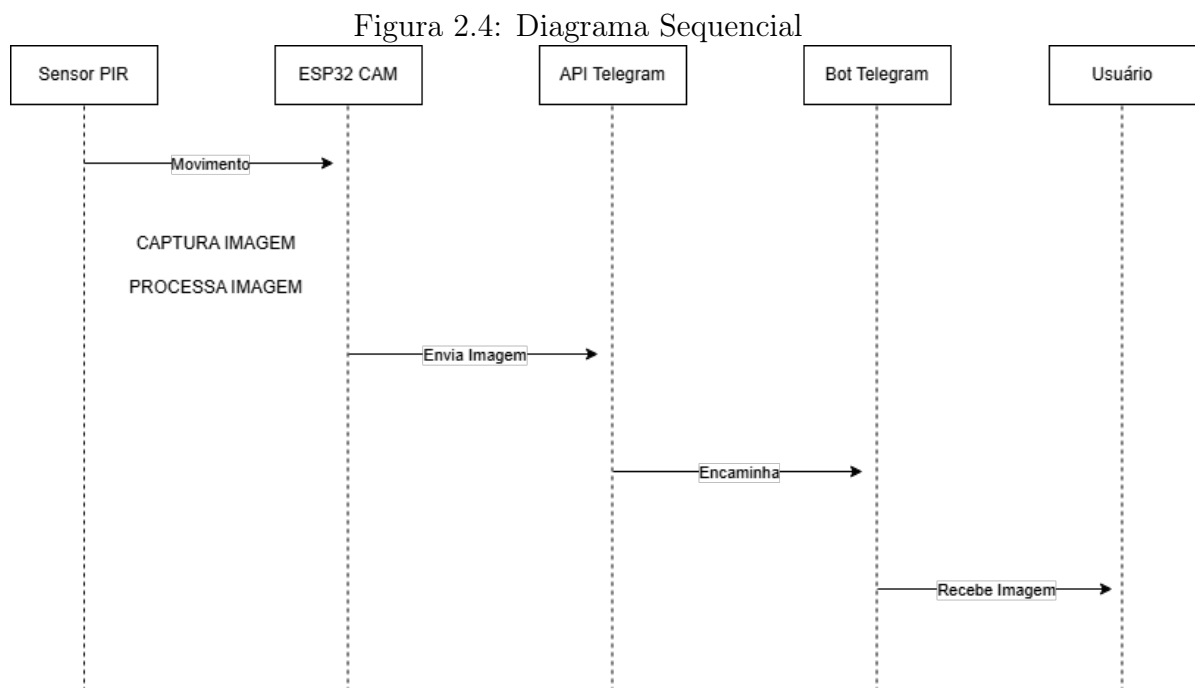
No contexto deste trabalho, o bot atua como elo entre o sensor e a plataforma de comunicação. Quando o sensor PIR detecta movimento e a ESP32-CAM realiza a captura da imagem, o bot é imediatamente acionado para transmitir esse conteúdo ao usuário final. Esse fluxo automatizado elimina a necessidade de intervenção humana, garantindo que o processo seja rápido, objetivo e eficiente.

A utilização dos bots reforça ainda mais a praticidade do Telegram, já que eles podem ser integrados a grupos familiares ou corporativos, de modo que mais de um usuário receba simultaneamente as notificações. Isso amplia a segurança e a abrangência do monitoramento, garantindo que várias pessoas estejam cientes de qualquer ocorrência.

2.5.3 API do Telegram

A API do Telegram é o recurso técnico que possibilita a integração direta com aplicações externas, e sua principal vantagem está na variedade de conteúdos que pode transmitir. Diferentemente de outros serviços que restringem o envio apenas a mensagens de texto, a API do Telegram aceita múltiplos formatos, como áudios, vídeos, documentos e imagens. No caso deste projeto, o envio de imagens é o recurso mais explorado, visto que a captura realizada pela ESP32-CAM precisa ser transmitida em tempo real para o usuário. [14]

Como mostra a figura 2.4, o processo funciona de maneira bastante objetiva: a câmera realiza a captura, o microcontrolador processa a imagem e, em seguida, faz o envio direto para o bot via API, que a encaminha ao usuário. Esse fluxo elimina a necessidade de servidores dedicados para armazenar temporariamente os arquivos, reduzindo custos e simplificando a arquitetura do sistema. Além disso, a comunicação é realizada de forma segura e criptografada, o que confere maior confiabilidade à solução.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro ponto relevante é a possibilidade de complementar o envio das imagens com mensagens de texto adicionais. Por exemplo, além da foto, o sistema pode enviar informações como horário da detecção, status da conexão com a rede ou até alertas configurados pelo próprio usuário. Essa combinação de recursos torna o monitoramento mais completo e informativo, agregando valor à experiência do usuário e permitindo um acompanhamento detalhado dos eventos detectados.

2.5.4 Vantagens e desafios da integração

A escolha do Telegram como interface de comunicação em projetos de segurança e automação traz uma série de vantagens práticas. Primeiramente, destaca-se a facilidade de implementação, já que a API é de simples utilização e não requer servidores intermediários complexos. O baixo custo é outro fator relevante, uma vez que todo o ecossistema do Telegram pode ser utilizado de forma gratuita, o que reduz significativamente os gastos com infraestrutura. A disponibilidade multiplataforma também garante que o usuário esteja sempre conectado ao sistema, independentemente do dispositivo que esteja utilizando, aumentando a conveniência e a acessibilidade.

No entanto, a integração com o Telegram também impõe alguns desafios que precisam ser considerados no desenvolvimento do sistema. Um dos principais é a dependência da conexão com a internet, já que tanto a ESP32-CAM quanto o usuário precisam estar online para que a comunicação ocorra. Em ambientes com instabilidade de rede, isso pode comprometer a confiabilidade do monitoramento. Além disso, existe a questão das restrições de envio de mensagens em grande volume, que podem afetar sistemas com múltiplas câmeras ou em locais com alta frequência de eventos detectados.

Outro desafio importante envolve a segurança e a privacidade dos dados. Embora o Telegram ofereça comunicação criptografada, o tratamento das imagens capturadas precisa ser feito de forma responsável, evitando armazenamento indevido ou compartilhamento não autorizado. Isso é essencial em um sistema de segurança residencial, onde informações sensíveis podem estar em jogo. Portanto, o uso do Telegram representa uma solução prática e eficiente, mas que exige planejamento cuidadoso e atenção a detalhes técnicos e éticos para alcançar todo o seu potencial.

2.6 Wi-Fi e modo Access Point

A conectividade é um elemento essencial em sistemas embarcados voltados ao monitoramento e à Internet das Coisas, pois possibilita a troca de informações entre dispositivos e usuários de forma remota. Nesse contexto, as redes Wi-Fi destacam-se por sua ampla disponibilidade, facilidade de implementação e compatibilidade com

diferentes plataformas e serviços.

2.6.1 Redes Wi-Fi em sistemas embarcados

A comunicação sem fio por meio de redes Wi-Fi consolidou-se como a principal forma de integrar sistemas embarcados à internet, especialmente em aplicações que demandam conectividade em tempo real. Essa tecnologia permite que microcontroladores e dispositivos inteligentes estabeleçam uma ponte direta com servidores, serviços em nuvem e aplicativos móveis, eliminando a necessidade de cabos ou interfaces adicionais. Nos últimos anos, o avanço dos microcontroladores com conectividade Wi-Fi integrada, como a família ESP32, democratizou o acesso a essa solução, tornando-a viável mesmo em projetos de baixo custo. Isso abriu caminho para que a automação residencial, o monitoramento remoto e outras áreas ligadas à IoT se expandissem rapidamente, alcançando tanto ambientes industriais quanto residenciais.

No caso específico da ESP32-CAM, a conectividade Wi-Fi desempenha um papel central, pois é por meio dela que o dispositivo consegue transmitir as imagens capturadas ao usuário final. Essa transmissão pode ser feita diretamente para aplicativos de mensagens, como o Telegram, ou para plataformas em nuvem responsáveis por armazenar e organizar os dados. Dessa forma, a utilização do Wi-Fi não se limita apenas a fornecer acesso à internet, mas se torna a base de toda a funcionalidade do sistema, garantindo que as informações coletadas estejam disponíveis de maneira ágil, confiável e acessível em qualquer lugar do mundo.

2.6.2 Funcionamento do modo Access Point (AP)

O modo Access Point (AP), é um recurso que permite transformar o próprio microcontrolador em um ponto de acesso de rede sem fio. Nesse modo de operação, a ESP32-CAM cria sua própria rede Wi-Fi local, à qual outros dispositivos, como smartphones, notebooks ou tablets, podem se conectar. Esse tipo de configuração é especialmente útil em cenários onde não há uma rede Wi-Fi convencional disponível ou quando o objetivo é oferecer ao usuário um meio simples de interagir diretamente com o sistema embarcado.

Uma vez conectado à rede criada pelo dispositivo, o usuário pode acessar uma interface web hospedada pelo próprio microcontrolador. Essa interface geralmente é projetada para permitir a configuração de parâmetros essenciais, como o identificador da rede (*Service Set Identifier* – *SSID*), a senha de acesso e até mesmo opções de controle do funcionamento do sistema. Dessa forma, o modo Access Point elimina a necessidade de procedimentos técnicos complexos, dispensando a utilização de cabos de comunicação ou softwares especializados. O usuário pode, por meio de um navegador comum, configurar e personalizar o funcionamento da ESP32-CAM

de forma prática e intuitiva.

2.6.3 Integração entre Wi-Fi e Access Point

A integração entre os modos Wi-Fi cliente e AP confere ao sistema um grau elevado de versatilidade, tornando-o mais autônomo e amigável ao usuário. Em condições normais de funcionamento, a ESP32-CAM atua como cliente de uma rede Wi-Fi já existente, conectando-se ao roteador doméstico ou corporativo. A partir dessa conexão, as imagens capturadas pela câmera são enviadas diretamente ao usuário final, por meio do aplicativo Telegram, garantindo comunicação em tempo real. Esse processo depende da estabilidade da rede, mas foi projetado para ocorrer de maneira transparente e contínua, sem necessidade de intervenção manual.

Entretanto, é natural que em determinadas situações a conexão com a rede principal seja interrompida. Isso pode ocorrer devido a falhas no roteador, alterações nas credenciais de acesso, queda de energia ou até mesmo quando o sistema é instalado em um novo ambiente. Para evitar que a perda de conectividade comprometa o funcionamento do monitoramento, o dispositivo conta com uma funcionalidade adicional que permite alternar para o modo Access Point.

No presente projeto, essa alternância é realizada de forma prática por meio de um botão físico conectado ao microcontrolador. Quando o usuário pressiona esse botão por aproximadamente três segundos, a ESP32-CAM interpreta o comando e reinicia sua operação em modo AP. Nesse estado, o dispositivo cria sua própria rede Wi-Fi local, disponibilizando um ponto de acesso ao qual o usuário pode se conectar diretamente. Uma vez conectado, o acesso a uma interface web simples hospedada pelo microcontrolador permite inserir novos parâmetros de rede, como SSID e senha, sem necessidade de cabos ou softwares auxiliares.

Após a atualização das credenciais, a ESP32-CAM retorna automaticamente ao modo cliente, reconectando-se à rede principal e retomando o envio das imagens para o Telegram. Essa abordagem, além de facilitar a manutenção do sistema, garante maior independência do usuário, já que não é preciso recorrer a procedimentos técnicos avançados ou a um computador para reconfigurar o dispositivo. O botão de ativação do modo AP, portanto, se torna um elemento essencial para a usabilidade do sistema, permitindo ajustes rápidos e intuitivos sempre que necessários.

2.6.4 Benefícios e limitações

O uso combinado da conectividade Wi-Fi e do modo Access Point proporciona uma série de benefícios para projetos de monitoramento e automação. Em primeiro lugar, garante maior flexibilidade e conveniência, uma vez que qualquer dispositivo com suporte a redes sem fio pode interagir com a ESP32-CAM sem a necessidade de

softwares adicionais. A simplicidade do processo de configuração via navegador web amplia a acessibilidade, tornando a solução adequada para usuários com diferentes níveis de conhecimento técnico. Além disso, o Wi-Fi é uma tecnologia consolidada e amplamente difundida, o que significa que sua integração em sistemas embarcados tende a ser estável, segura e de baixo custo.

Entretanto, é preciso considerar também as limitações desse tipo de abordagem. A principal delas está na dependência de uma rede Wi-Fi estável para que o envio das notificações e imagens ocorra de forma eficiente. Em locais com sinal fraco ou instabilidade constante, o desempenho do sistema pode ser comprometido. Outro aspecto crítico envolve a segurança: redes mal configuradas podem se tornar vulneráveis a acessos não autorizados, colocando em risco tanto os dados coletados quanto a privacidade do usuário. Por fim, o alcance limitado do Wi-Fi, especialmente em ambientes extensos ou com muitas barreiras físicas, pode restringir a cobertura do sistema, exigindo o uso de repetidores ou ajustes na infraestrutura de rede para garantir sua plena funcionalidade.

2.7 Interfaces de interação com o usuário

A forma como o usuário interage com um sistema embarcado é um fator determinante para sua aceitação e uso contínuo. Em projetos voltados à automação e à segurança, essas interfaces devem ser projetadas de modo a facilitar a operação, permitir configurações básicas e fornecer retorno claro sobre o estado do sistema, mesmo com recursos limitados de hardware.

2.7.1 Importância das interfaces em sistemas embarcados

As interfaces de interação em sistemas embarcados cumprem um papel central na experiência do usuário, já que são responsáveis por estabelecer a comunicação direta entre o dispositivo e quem o utiliza. Diferentemente de sistemas convencionais que contam com telas ou periféricos dedicados, os sistemas embarcados geralmente necessitam de soluções mais enxutas, que ofereçam simplicidade e clareza no processo de operação. Uma interface eficiente deve ser intuitiva, de rápida compreensão e adaptada ao perfil do usuário final, evitando a necessidade de treinamento ou de conhecimento técnico avançado.

No contexto dos sistemas de monitoramento, essa importância é ainda maior, pois a interação muitas vezes ocorre em situações de urgência ou demanda imediata. O usuário deve ser capaz de identificar rapidamente o status do sistema e de realizar ajustes básicos sem precisar recorrer a equipamentos externos ou a processos complexos. Portanto, a definição da interface de interação deve considerar

tanto a usabilidade quanto a confiabilidade do dispositivo, equilibrando praticidade e eficiência.

2.7.2 Feedback visual através de LEDs e flash interno

O projeto em questão adota uma abordagem diferenciada ao utilizar o flash integrado da ESP32-CAM como principal forma de feedback visual. Essa escolha elimina a necessidade de adicionar LEDs externos, o que reduz a quantidade de componentes eletrônicos e, conseqüentemente, o espaço físico ocupado pelo protótipo. Esse fator é relevante em sistemas embarcados, especialmente quando a proposta envolve portabilidade e discrição, como ocorre em um sistema de monitoramento residencial.

O uso do flash vai além de sua função tradicional, sendo reaproveitado como canal de comunicação visual com o usuário. Por meio de diferentes padrões de piscadas, o sistema transmite informações imediatas sobre seu estado de funcionamento. No protótipo desenvolvido, três padrões foram estabelecidos para garantir clareza:

- Três piscadas curtas: indicam que o dispositivo entrou no modo Access Point, permitindo a reconfiguração da rede Wi-Fi.
- Duas piscadas curtas: sinalizam que a conexão com a rede Wi-Fi foi realizada com sucesso.
- Uma piscada única: ocorre no momento da captura da imagem, funcionando como um “indicador de disparo” para o usuário.

Esses sinais, mesmo simples, cumprem a função de traduzir o estado interno do sistema em uma linguagem visual universal, de fácil interpretação e sem necessidade de dispositivos auxiliares.

2.7.3 Simplicidade na interação por botões

Outro aspecto essencial da interface é o uso de um botão físico, que garante ao usuário uma forma prática de interagir com o sistema. Apesar de ser um recurso simples, ele agrega grande valor ao permitir a alternância de modos de operação sem exigir conexão com computadores ou aplicativos adicionais. Esse tipo de solução está alinhado ao conceito de sistemas embarcados minimalistas, que buscam oferecer máximo controle com o menor número de elementos.

No projeto, o botão desempenha papel crucial ao permitir que, quando pressionado por 3 segundos, o dispositivo entre no modo Access Point. Essa funcionalidade garante que o usuário possa reconfigurar a rede Wi-Fi de forma autônoma, prática e intuitiva. Além disso, o tempo de pressão definido evita ativações acidentais,

equilibrando simplicidade com confiabilidade. Quando essa ação é realizada, o sistema também confirma a mudança por meio do padrão de três piscadas do flash, reforçando a integração entre interação física e feedback visual.

2.7.4 Relevância da experiência do usuário

A decisão de utilizar interfaces compactas e de fácil compreensão reflete uma preocupação direta com a experiência do usuário. Em vez de sobrecarregar o sistema com telas, botões adicionais ou softwares auxiliares, a solução concentra-se em proporcionar interações claras e acessíveis. Essa abordagem traz benefícios que vão desde a redução dos custos de implementação até a maior durabilidade do dispositivo, já que menos componentes significam menos pontos de falha.

Além disso, a experiência do usuário é fortalecida pela previsibilidade das respostas do sistema. Cada ação realizada pelo usuário é confirmada por um padrão visual específico, o que transmite segurança e reduz incertezas. A clareza das respostas — como as duas piscadas para a confirmação de conexão Wi-Fi ou a piscada única na captura da foto — evita ambiguidades e garante que o usuário compreenda exatamente o que ocorreu.

Por fim, a simplicidade das interfaces contribui para que o sistema alcance maior aceitação em contextos reais, como residências ou pequenos comércios. A combinação entre *feedback* visual direto e interação física mínima garante que o dispositivo seja percebido como prático, eficiente e confiável, atributos indispensáveis para o sucesso de uma solução embarcada de monitoramento.

Capítulo 3

Metodologia e Desenvolvimento

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do sistema proposto, descrevendo as etapas seguidas desde a fundamentação teórica até a implementação prática e validação do protótipo. São abordadas a organização do trabalho, as escolhas técnicas realizadas e os métodos utilizados para garantir o funcionamento eficiente e confiável do sistema.

3.1 Processo de desenvolvimento

O desenvolvimento deste projeto foi estruturado de forma sequencial e organizada, contemplando todas as etapas necessárias para a concepção de um sistema de monitoramento de baixo custo e fácil configuração, utilizando a plataforma embarcada ESP32-CAM em conjunto com um sensor de movimento PIR.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa teórica sobre os princípios da Internet das Coisas (IoT), automação residencial e tecnologias de monitoramento com microcontroladores conectados à rede. Essa etapa teve como finalidade compreender os fundamentos que sustentam o funcionamento da ESP32-CAM, o protocolo de comunicação do aplicativo Telegram, e o comportamento dos sensores de movimento infravermelho passivo, assegurando a base técnica necessária para o desenvolvimento do sistema.

Na sequência, deu-se início à fase de planejamento e escolha dos componentes, considerando critérios como custo-benefício, disponibilidade no mercado, consumo energético, facilidade de integração e desempenho em ambientes residenciais e comerciais. Optou-se pela ESP32-CAM devido à sua capacidade de processamento aliada ao módulo de câmera embutido e conectividade Wi-Fi, e pelo sensor PIR pela sua confiabilidade e baixo consumo.

Com os componentes definidos, passou-se à etapa de desenvolvimento do firmware, que consistiu na implementação da lógica de detecção de movimento, captura de imagem, comunicação com o bot do Telegram e gerenciamento da rede

Wi-Fi. Nessa etapa, foi adicionado o modo Access Point (AP), que permite ao usuário configurar o SSID e a senha de uma rede local sem a necessidade de reprogramar o dispositivo, tornando o sistema portátil e de fácil uso. Além disso, é possível enviar um novo token do Telegram indicando dessa forma o novo bot que receberá as notificações. Na figura 3.4 isso fica mais evidente.

Em seguida, realizou-se a montagem do protótipo e os testes de validação, a fim de verificar o correto funcionamento de cada módulo. Foram avaliados aspectos como tempo de resposta entre a detecção do movimento e o envio da imagem, estabilidade da conexão Wi-Fi, confiabilidade do envio de mensagens e consumo energético em operação contínua.

Por fim, os resultados obtidos foram analisados e comparados com os objetivos estabelecidos inicialmente, de modo a verificar a eficácia da solução proposta em termos de custo, eficiência e praticidade. Essa organização metodológica assegurou uma condução lógica e integrada do projeto, desde a concepção teórica até a implementação prática e validação experimental.

3.2 Pesquisa bibliográfica

A primeira etapa deste trabalho consistiu em uma ampla pesquisa bibliográfica sobre o uso de dispositivos embarcados e tecnologias de IoT aplicadas à segurança residencial e comercial e seus respectivos custos. Além das pesquisas de mercado sobre os preços atuais dos sistemas de monitoramento que apresentam notificação instantânea mediante a detecção de presença, também foram analisados artigos científicos, trabalhos acadêmicos, publicações técnicas e documentações oficiais voltadas ao estudo de microcontroladores ESP32, sensores de movimento PIR e integrações com serviços de mensagens em nuvem, como o Telegram.

Durante essa pesquisa, observou-se um crescente interesse na utilização de plataformas de baixo custo para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de monitoramento. Diversos autores destacam que o ESP32-CAM vem se consolidando como uma alternativa acessível e eficiente para aplicações que envolvem captura e transmissão de imagens, principalmente quando associada a sensores de presença e protocolos de comunicação sem fio.

Também foram estudados trabalhos relacionados à automação residencial, ao uso de bot APIs em sistemas IoT e às práticas de configuração remota via AP, que permitem maior flexibilidade na instalação de dispositivos conectados. Esses estudos contribuíram para a definição da arquitetura do sistema e auxiliaram na escolha dos métodos de comunicação e das ferramentas de software utilizadas.

Através da Tabela 3.1, é possível visualizar o alto custo de sistemas com essa proposta, tornando-os inviáveis para pequenos empreendedores ou para pessoas de

baixa renda. Ressalta-se que os valores apresentados correspondem a preços médios praticados no mercado no período de realização da pesquisa. Além de fundamentar a viabilidade técnica do projeto, a pesquisa bibliográfica também evidenciou a importância social e prática de soluções de monitoramento automatizado, especialmente em contextos onde o custo e a simplicidade de uso são fatores determinantes. O levantamento teórico demonstrou que é possível unir eficiência, portabilidade e acessibilidade em um único dispositivo, tornando-o aplicável em diversos cenários de segurança doméstica e empresarial.

Tabela 3.1: Tabela para comparativo de custo

Câmeras inteligentes com sensor de movimento e envio de notificações	
Modelo	Preço médio (R\$)
Câmera Intelbras IM7	409,00
Câmera Intelbras IM4C	349,00
TP-Link Tapo C500	298,90
Positivo Smart Câmera	369,00
Intelbras iME360	261,12

3.3 Desenvolvimento do sistema

O desenvolvimento do sistema proposto baseou-se em uma abordagem prática e iterativa, estruturada em etapas que integraram *hardware*, *software* e conectividade de rede.

Inicialmente, foram definidos os requisitos do sistema, considerando os objetivos de capturar imagens automaticamente mediante a detecção de movimento e enviá-las ao usuário por meio do aplicativo Telegram. A partir desses requisitos, o projeto foi dividido em módulos independentes — detecção de movimento, captura de imagem, comunicação com o bot do Telegram, e configuração de rede — de forma a facilitar o desenvolvimento, os testes e a integração gradual dos componentes.

¹

O microcontrolador ESP32-CAM foi programado utilizando o Arduino IDE, explorando suas capacidades de conexão Wi-Fi, captura de imagem e controle do *flash* interno. Para garantir a confiabilidade do sistema, foi implementado um modo Access Point, ativado manualmente por meio de um botão físico, para configuração de novas redes Wi-Fi quando a conexão é perdida.

¹Site do Arduino IDE

A comunicação com o usuário foi viabilizada pelo *bot* do Telegram, configurado para receber mensagens do microcontrolador, tornando o sistema interativo e intuitivo. Durante o desenvolvimento, foram aplicadas boas práticas de escrita de código, otimização de memória e testes incrementais, assegurando a estabilidade e a eficiência do protótipo.

Além disso, recursos visuais foram adicionados para aprimorar a experiência do usuário: o LED embutido da placa foi utilizado para indicar estados do sistema — como o início do modo Access Point (três piscadas curtas), sucesso de conexão à rede (duas piscadas) e captura de imagem (uma piscada).

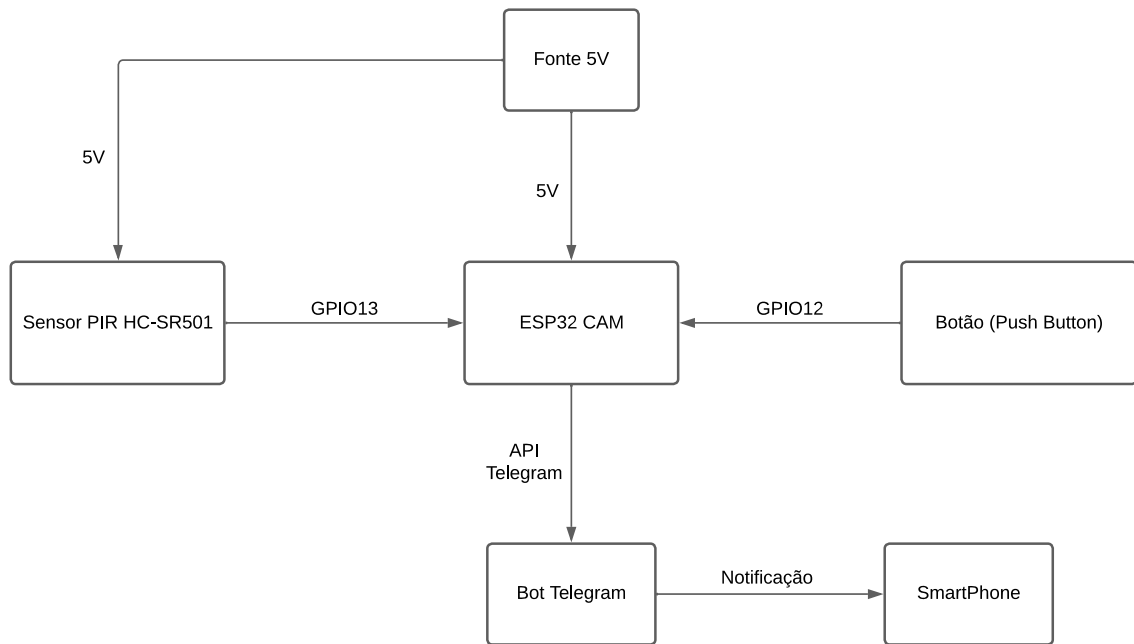
Dessa forma, a metodologia aplicada neste trabalho priorizou a integração modular, a clareza na comunicação com o usuário e a confiabilidade das operações, resultando em uma solução embarcada eficiente e de baixo custo.

3.4 Definição da arquitetura do sistema

A arquitetura do sistema de monitoramento proposto foi estruturada para garantir integração eficiente entre os módulos de detecção de movimento, captura de imagem, comunicação com o usuário e controle do hardware. O sistema é composto pelos seguintes módulos principais:

- Sensor PIR (*Passive Infrared Sensor*): Responsável por detectar a presença de movimento no ambiente. Ao identificar variações de calor típicas de um corpo humano, envia um sinal digital à ESP32-CAM, acionando o restante do fluxo.
- ESP32-CAM: Atua como unidade central de processamento. Recebe o sinal do PIR, controla a captura de imagens pela câmera integrada e gerencia a comunicação com o Telegram. Também gerencia o *flash* da câmera e o modo Access Point para configuração de rede.
- *Flash* da câmera: É acionado de forma sincronizada com a captura de imagem para garantir melhor iluminação quando necessário.
- Módulo de comunicação Wi-Fi: Permite que a ESP32-CAM se conecte a redes existentes para envio de imagens e mensagens, ou ative um Access Point para configuração quando a conexão não estiver disponível.
- Botão (*Push Button*): Ativa o modo Access Point para configuração quando a conexão com a rede não estiver disponível.
- Integração com Telegram via API: Permite o envio automático de imagens e notificações para o usuário, garantindo monitoramento remoto em tempo real.

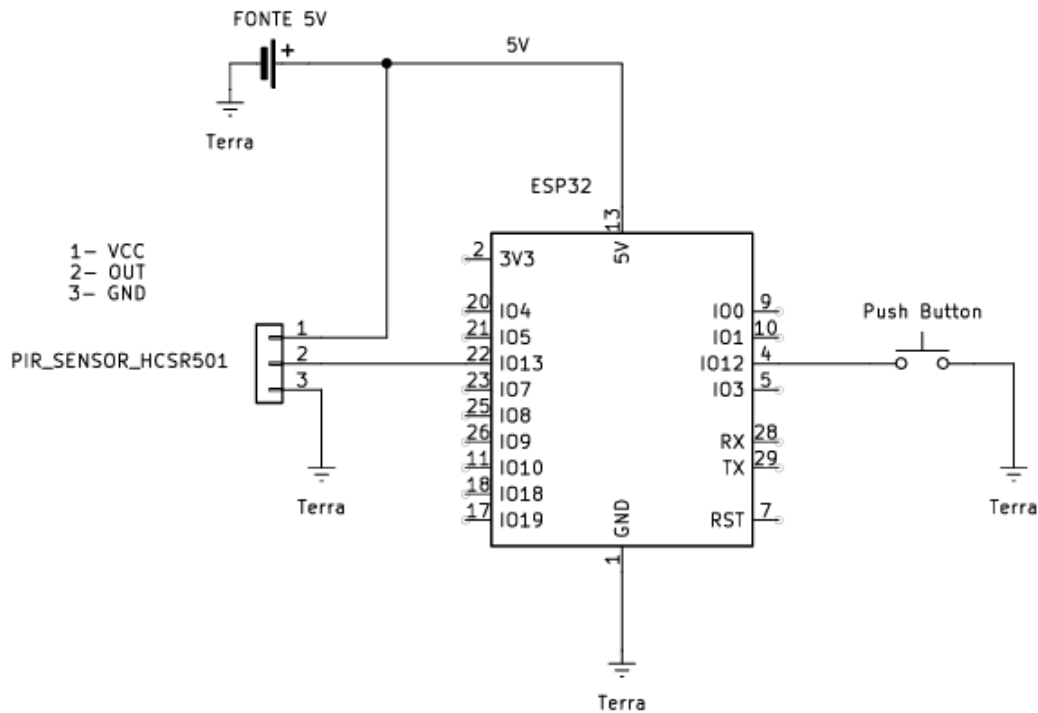
Figura 3.1: Diagrama de Blocos



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 3.2 apresenta o diagrama esquemático do sistema de monitoramento, elaborado a partir da arquitetura funcional representada anteriormente no diagrama de blocos da figura 3.1. Este esquema detalha as conexões elétricas e os sinais de interligação entre os principais componentes do projeto, incluindo a ESP32-CAM, o sensor de movimento PIR, o botão físico responsável pela ativação do modo Access Point e o circuito de alimentação. O diagrama permite compreender de forma clara como os elementos de *hardware* se comunicam e são alimentados, evidenciando o papel central da ESP32-CAM na coordenação das entradas e saídas do sistema, bem como na integração com os módulos periféricos.

Figura 3.2: Diagrama elétrico do sistema



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 Desenvolvimento do *Hardware*

O desenvolvimento do *hardware* do sistema de monitoramento foi realizado com foco em modularidade, confiabilidade e facilidade de montagem. O protótipo utiliza a ESP32-CAM como núcleo central, integrando sensores e atuadores de forma compacta e eficiente.

3.5.1 Componentes utilizados

O desenvolvimento do hardware do sistema de monitoramento baseou-se na utilização de componentes de baixo custo, fácil aquisição e ampla aplicação em projetos de sistemas embarcados. A escolha dos dispositivos considerou critérios como compatibilidade elétrica, consumo energético, confiabilidade e facilidade de integração com a ESP32-CAM. Os principais componentes utilizados são apresentados a seguir:

- ESP32-CAM: Microcontrolador responsável pelo funcionamento principal do sistema.

- Sensor PIR HC-SR501: Detecta movimento através de variações de calor e envia sinal digital à ESP32-CAM.
- Botão *Push Button*: Responsável por ativar o modo Access Point para que seja possível realizar uma nova configuração de rede.
- *Jumpers*: Permite a conexão elétrica dos componentes.
- *Flash* Interno: Flash do próprio microcontrolador responsável pela comunicação visual com o usuário.
- Placa Perfurada: Responsável por sustentar todos os componentes em uma única plataforma física.
- Fonte 5V: Responsável pela alimentação da ESP32 e do sensor de movimento.
- Carcaça (*Case*): Destinado à envoltura de todo o sistema físico.

3.5.2 Conexões elétricas

As conexões elétricas do sistema foram projetadas de forma simples e funcional, garantindo a correta comunicação entre os componentes e a estabilidade da alimentação. A interligação dos dispositivos seguiu as recomendações dos fabricantes, respeitando os níveis de tensão e os pinos de entrada e saída da ESP32-CAM. As principais conexões realizadas no protótipo são descritas a seguir:

- O sensor PIR é conectado a um pino digital da ESP32-CAM (GPIO 13) e à alimentação de 5V e GND (Terra).
- O botão é conectado a um outro pino digital diferente (GPIO 12), além disso ele também possui uma outra conexão com o GND (Terra).
- A ESP32 possui duas conexões com a fonte 5V - A primeira conexão, seria o pino digital da placa (5V) conectado com o polo positivo da fonte. A segunda conexão seria o outro pino digital (GND) conectado com o polo negativo da fonte.

3.5.3 Montagem física

A montagem do protótipo foi realizada priorizando organização e estabilidade:

- A ESP32-CAM foi fixada na placa perfurada, e posteriormente dentro da carcaça (*case*), garantindo acesso aos pinos e proteção contra curto-circuitos.

- O sensor PIR foi posicionado em local estratégico na placa perfurada (na parte de cima), garantindo ampla cobertura da área monitorada.
- O push button foi posicionado na parte inferior da placa perfurada tornando assim, um local de fácil acesso.

3.6 Desenvolvimento do Software

O software do sistema foi desenvolvido em C++ para a ESP32-CAM, utilizando o Arduino IDE e suas respectivas bibliotecas, com o objetivo de controlar a captura de imagens, detecção de movimento, envio de mensagens ao Telegram e gerenciamento de rede Wi-Fi.

O desenvolvimento foi estruturado em módulos lógicos que refletem as principais funcionalidades do sistema:

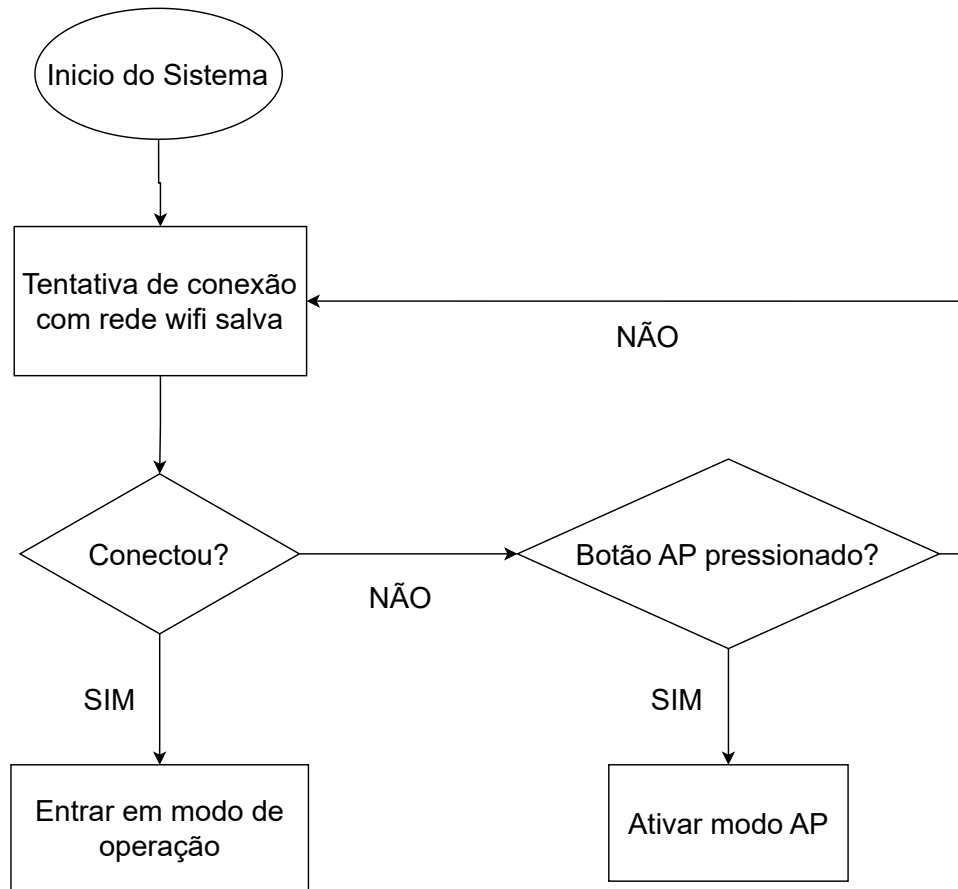
3.6.1 Configuração de rede e modo Access Point

O software gerencia a conexão Wi-Fi de forma automática:

- Ao iniciar, a ESP32-CAM tenta se conectar à rede previamente salva na memória.
- O botão de modo AP possui verificação não-bloqueante, permitindo que qualquer função crítica interrompa a execução normal e ative imediatamente o modo AP, garantindo controle manual rápido.
- No modo AP (Figura 3.4) , um servidor web interno é iniciado (página HTML simplificada) , permitindo ao usuário configurar SSID e a senha da rede Wi-Fi a ser conectada. Além disso, também há um campo na qual é possível enviar um novo token do bot do telegram para indicar qual dispositivo receberá as notificações.
- As credenciais são armazenadas na memória não volátil (Preferences), permitindo reconexão automática após reinicialização.
- O armazenamento e recuperação de credenciais são feitos de forma transparente, sem intervenção do usuário.

A Figura 3.3 apresenta o fluxograma do processo de gerenciamento da conexão Wi-Fi e ativação do modo Access Point, ilustrando as decisões tomadas pelo sistema desde a inicialização até o armazenamento das credenciais e o retorno ao funcionamento normal.

Figura 3.3: Fluxograma do gerenciamento de rede Wi-Fi



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 3.4 apresenta a página HTML utilizada para a configuração da rede Wi-Fi do sistema quando a ESP32-CAM está operando em modo Access Point.

Figura 3.4: Página HTML de configuração de rede



The image shows a web form for WiFi configuration. At the top, the title 'Configuração WiFi' is displayed in a large, bold, black font. Below the title, there are three input fields, each preceded by a label: 'Nome da Rede (SSID):', 'Senha:', and 'Token do Chat:'. Each label is in a standard black font, and the corresponding input field is a rounded rectangle with a thin grey border. At the bottom of the form is a green rectangular button with the text 'Salvar e Reiniciar' in white, bold font.

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.6.2 Lógica de detecção de movimento e acionamento do flash

- O sensor PIR envia um sinal digital quando detecta presença humana.
- O *software* implementa uma lógica de debounce e atraso, evitando múltiplos disparos consecutivos em curtos intervalos.
- O *flash* é acionado de forma sincronizada com a captura da imagem final, garantindo iluminação adequada.

3.6.3 Organização e robustez do sistema

O código foi estruturado para ser modular e tolerante a falhas:

- O loop principal verifica continuamente o sensor PIR, o estado da conexão Wi-Fi e o botão de modo AP.

- Cada operação crítica (como envio de foto ou mensagem) verifica se o botão foi pressionado para permitir interrupção e reconfiguração imediata.
- O sistema implementa timeouts e verificações de conexão, garantindo que falhas na rede ou no Telegram não travem a execução.

Essa estrutura garante que o sistema opere de forma automática, segura e confiável, atendendo aos objetivos do monitoramento remoto.

3.7 Testes e validação

Nesta seção, são apresentados os testes realizados no protótipo desenvolvido, bem como a análise dos resultados obtidos. O objetivo é comprovar o funcionamento do sistema em todas as suas etapas — desde a detecção de movimento até o envio de imagens e mensagens via Telegram — além de avaliar o desempenho energético e o custo total de implementação do projeto.

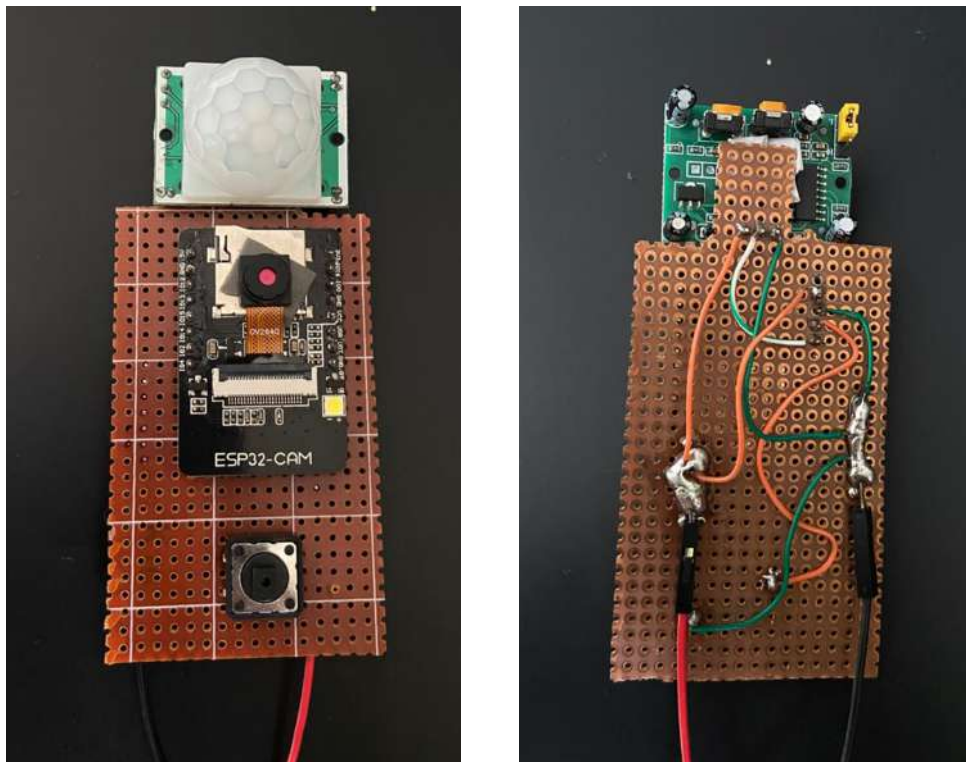
Inicialmente, foram realizados testes de hardware para verificar a integração entre os módulos da ESP32-CAM, o sensor PIR e os demais componentes. Em seguida, procedeu-se com medições de corrente e tensão para estimar o consumo energético do sistema em diferentes modos de operação (repouso, detecção e transmissão). Por fim, são apresentadas tabelas de custo, fotos do protótipo montado e gráficos comparativos que reforçam a eficiência e viabilidade do projeto

3.7.1 Testes de Funcionamento do Sistema

Os testes de funcionamento foram conduzidos com o protótipo completamente montado. A alimentação do sistema foi feita por uma fonte de 5 V/2 A, garantindo estabilidade durante os testes.

O primeiro teste consistiu na detecção de movimento através do sensor PIR HC-SR501. Quando um objeto em movimento era identificado dentro do campo de detecção, o microcontrolador (ESP32-CAM) era imediatamente acionado para capturar uma imagem. Essa imagem, por sua vez, era processada e enviada automaticamente ao bot do Telegram configurado no sistema.

Figura 3.5: Foto do protótipo



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 3.5 apresenta o protótipo montado durante os testes, mostrando a integração entre os módulos e a disposição dos componentes no circuito. Durante os testes, verificou-se que o sistema respondeu corretamente em todas as tentativas de detecção. A latência entre a detecção e o envio da imagem variou entre 3 e 6 segundos, dependendo da qualidade da conexão Wi-Fi.

Além disso, o modo Access Point (AP) foi testado com sucesso: ao manter o botão pressionado por aproximadamente 3 a 4 segundos, a ESP32-CAM entrou em modo AP e criou uma rede local para configuração de SSID e senha via página web, conforme previsto no projeto.

Figura 3.6: Foto da carcaça



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 3.6 apresenta o protótipo devidamente montado com a sua carcaça, tornando-se dessa forma discreto e compacto.

3.7.2 Validação dos Resultados

Os resultados obtidos ao longo da fase de testes demonstraram de forma consistente que o sistema desenvolvido atendeu plenamente aos requisitos funcionais estabelecidos durante a etapa de projeto. Cada funcionalidade foi verificada individualmente, considerando tanto o comportamento esperado quanto as possíveis variações em condições reais de uso. Dessa forma, foi possível confirmar a estabilidade do sistema, sua capacidade de resposta e a eficiência na execução das tarefas propostas.

A tabela a seguir (figura 3.2), apresenta um resumo dos principais testes realizados, descrevendo as condições esperadas, os resultados efetivamente observados e o status final de aprovação de cada um deles, permitindo uma visão clara e objetiva do desempenho geral do sistema.

Tabela 3.2: Testes realizados e resultados

Teste	Condição esperada	Resultado obtido	Status
Detecção de movimento	Disparo imediato do módulo de captura	Detecção correta e disparo em 90% dos casos	Aprovado
Captura e envio de imagem	Envio ao bot do Telegram em até 6 s	Envio médio em 5 s	Aprovado
Modo Access Point	Ativado ao segurar botão por 3 s	Ativação e página web acessível	Aprovado
Reconexão Wi-Fi automática	Retomar credenciais após inicialização	Inicialização bem-sucedida	Aprovado

Com base nos resultados apresentados, o sistema demonstrou alta confiabilidade e consistência operacional, confirmando a validade da proposta.

3.7.3 Análise de Consumo Energético

Com o intuito de avaliar a eficiência do sistema proposto, foram realizados testes de medição de consumo energético em diferentes etapas de operação. Os valores apresentados na Tabela 3.3 foram obtidos a partir de medições práticas complementadas por dados de referência fornecidos nos *datasheets* dos componentes utilizados, especialmente da ESP32-CAM e do sensor PIR HC-SR501.

Tabela 3.3: Testes realizados e resultados

Modo de Operação	Corrente (mA)	Tensão (V)	Potência (mW)
Repouso (standby)	80	5.0	400
Detecção de movimento	95	5.0	475
Captura de imagem	160	5.0	800
Envio ao Telegram	210	5.0	1050

Durante o modo de repouso, no qual o sistema permanece em espera sem captura de imagem ou transmissão de dados, o consumo médio registrado foi de aproximadamente 80 mA, o que representa uma potência de cerca de 400 mW considerando a tensão de alimentação de 5 V. Esse valor demonstra a eficiência da placa em condições de inatividade, mantendo-se operacional para pronta resposta a eventos.

No modo de detecção, com o sensor PIR ativo, o consumo aumenta levemente para 95 mA, devido ao acionamento do circuito de detecção infravermelha. Já durante a captura de imagem, o consumo se eleva de forma mais expressiva, alcançando 160 mA, resultado da ativação simultânea do sensor de imagem e do flash integrado. O pico máximo é observado no momento do envio da imagem via rede Wi-Fi para o Telegram, atingindo aproximadamente 210 mA, o que corresponde a uma potência de 1,05 W.

Esses resultados indicam que o sistema apresenta um perfil de consumo eficiente, visto que a maior parte do tempo é dedicada ao modo de repouso, com picos de corrente apenas durante eventos de detecção e transmissão. Considerando uma fonte de 5 V e 2000 mAh, a autonomia estimada do protótipo ultrapassa várias horas de operação contínua, podendo ser ampliada mediante otimizações no firmware, como o uso de modos de economia de energia (*deep sleep*) entre detecções.

De modo geral, os testes demonstraram que o consumo energético do sistema está de acordo com o esperado para aplicações IoT de monitoramento, combinando desempenho satisfatório, baixo consumo e possibilidade de operação autônoma por longos períodos.

Considerando o consumo energético médio obtido durante os testes, foi possível estimar o custo de operação contínua do protótipo. Com potência média aproximada de 0,6 W (valor ponderado entre os diferentes modos de funcionamento) e funcionamento ininterrupto durante 24 horas por dia, o consumo diário seria de aproximadamente 0,0144 kWh. Em um período de 30 dias, isso corresponde a 0,432 kWh. Tomando como base uma tarifa média de R\$0,90 por kWh, o custo mensal estimado de operação do sistema é de apenas R\$0,39. Esse valor demonstra que, além de baixo custo de implementação, o projeto apresenta excelente eficiência energética, podendo permanecer ativo continuamente sem representar impacto significativo no consumo elétrico residencial.

3.7.4 Custos de Materiais

A Tabela 3.4 apresenta o levantamento dos principais componentes utilizados na montagem do protótipo, juntamente com seus respectivos custos estimados.

Tabela 3.4: Custo de materiais utilizados

Componente	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
ESP32-CAM	1	65,00	65,00
Sensor PIR HC-SR501	1	5,00	5,00
Fonte 5V	1	10,00	10,00
Cabos e conectores diversos	–	5,00	5,00
Protoboard e jumpers	–	10,00	10,00
Carcça 3D	–	10,00	10,00
Total Geral	–	–	105,00

O custo total estimado para a montagem do protótipo foi de aproximadamente R\$105,00, valor que demonstra a viabilidade econômica da solução proposta frente ao conjunto de funcionalidades implementadas. Considerando que o sistema é capaz de realizar detecção automática de movimento, captura e envio de imagens em tempo real e comunicação direta com o usuário por meio do Telegram, o investimento apresenta excelente relação custo-benefício. Além disso, todos os componentes utilizados como o microcontrolador ESP32-CAM, o sensor PIR HC-SR501 e os módulos auxiliares de alimentação e conexão, são facilmente encontrados no mercado nacional, o que torna o projeto acessível para replicação e aperfeiçoamento por estudantes, pesquisadores e entusiastas da área de Internet das Coisas (IoT).

Capítulo 4

Considerações finais e trabalhos futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento do sistema, destacando os principais resultados alcançados e a eficiência das soluções implementadas. Também são discutidas as perspectivas de trabalhos futuros, indicando possíveis melhorias e extensões que podem ampliar as funcionalidades e o desempenho do projeto, bem como novas abordagens que podem ser exploradas a partir dos resultados obtidos.

4.1 Considerações Finais

O desenvolvimento do sistema de monitoramento baseado na plataforma ESP32-CAM permitiu demonstrar a viabilidade de um dispositivo compacto, de baixo custo e com capacidade de operar de forma autônoma em diferentes cenários residenciais. Ao longo deste trabalho, foram implementadas funcionalidades essenciais, como detecção de movimento via sensor PIR, captura de imagens, envio de notificações e fotografias por meio do bot do Telegram, além da configuração dinâmica de rede utilizando o modo Access Point integrado.

A análise dos resultados experimentais evidenciou que o sistema atendeu plenamente aos requisitos definidos na etapa de proposta do trabalho. Os testes realizados mostraram que o módulo de captura responde de forma rápida ao estímulo do sensor PIR, enviando as imagens dentro do intervalo esperado e mantendo estabilidade mesmo após múltiplas execuções. A implementação do modo Access Point também se mostrou eficiente, possibilitando ao usuário redefinir as credenciais de Wi-Fi sem necessidade de reprogramação do dispositivo, aumentando a flexibilidade e facilitando o uso em ambientes variados.

O processo de desenvolvimento permitiu observar a robustez da ESP32-CAM

para aplicações de monitoramento embarcado, bem como os benefícios da integração entre serviços externos, como o Telegram, e sistemas embarcados de baixo custo. Além disso, a etapa de validação reforçou a importância do controle de estados e da utilização de mecanismos de armazenamento não volátil para garantir funcionamento contínuo e confiável.

Em síntese, o trabalho demonstra que soluções acessíveis podem desempenhar papéis relevantes em sistemas de segurança residencial e comercial, oferecendo funcionalidades encontradas em dispositivos comerciais, porém com maior possibilidade de personalização, entendimento da lógica interna e extensibilidade.

4.2 Trabalhos Futuros

O presente projeto abre caminho para diversas possibilidades de aprimoramento e expansão. Algumas das principais direções de trabalhos futuros incluem:

- Otimização da qualidade de imagem: Investigar ajustes de parâmetros da câmera, como resolução, compressão JPEG e controle automático de ganho, para melhorar a nitidez das capturas sem comprometer o tempo de envio.
- Armazenamento avançado de dados: Expandir o uso do cartão microSD para registrar séries temporais de eventos, armazenar múltiplas imagens ou criar um histórico de uso acessível via página web.
- Interface Web mais completa: Desenvolver um painel acessível pelo modo Access Point com visualização de imagens, alteração de parâmetros de sensibilidade, tempo de captura, reinicialização remota e leitura de logs.
- Reconhecimento inteligente de eventos: Integrar técnicas de visão computacional embarcada ou modelos leves de IA para diferenciar tipos de movimento (humano, animal, objeto), reduzindo falsos positivos.
- Integração com serviços em nuvem: Conectar o dispositivo a plataformas como Firebase, AWS IoT ou serviços MQTT para monitoramento remoto contínuo e armazenamento seguro.
- Aplicativo móvel dedicado: Desenvolver um aplicativo próprio para configuração, notificação e monitoramento, oferecendo maior usabilidade em comparação ao uso exclusivo do Telegram.

De forma geral, o sistema desenvolvido estabelece uma base sólida para implementações futuras na área de monitoramento residencial inteligente, demonstrando que a combinação entre microcontroladores modernos, sensores acessíveis e serviços

de comunicação pode resultar em soluções eficazes, escaláveis e totalmente personalizáveis.

Referências Bibliográficas

- [1] Lady ada. Pir motion sensor. <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf>. Acesso em: 10/09/2025.
- [2] ADT. Iot na segurança. <https://www.adt.com.br/blog/iot-na-seguranca/>, set 2024. Acesso em: 22/10/2025.
- [3] AI-Thinker. Esp32 - cam module. <https://icorptechnologies.co.za/wp-content/uploads/2018/10/113990580-ESP32-CAM-Product-Specification.pdf>. Acesso em: 29/10/2025.
- [4] Marcelo Mendes Arigony, Letícia Thomasi Jahnke Botton, and Ana Luiza Ortiz Arigony. Persecução penal digital: a prova na era da informação. <https://www.direitoeti.com.br/direitoeti/article/download/268/173/1006>, jan 2025. Acesso em: 23/10/2025.
- [5] Sala da notícia. Brasil registra mais de 5.200 invasões a imóveis no primeiro semestre de 2025. <https://portal.saladanoticia.com.br/noticia/1583/brasil-registra-mais-de-5-200-invasoes-a-imoveis-no-primeiro-semester-de-2025>, jul 2025. Acesso em: 20/09/2025.
- [6] Gazeta do Povo. Vigilância às avessas: rede de monitoramento do crime espiona policiais por câmeras. <https://www.gazetadopovo.com.br/parana/vigilancia-as-avessas-rede-de-monitoramento-do-crime-espiona-policiais-cameras/>, ago 2024. Acesso em: 22/10/2025.
- [7] Locacess e Locatronic. A psicologia da segurança: o efeito do cftv no comportamento humano. <https://locacess.com.br/blog/psicologia-da-seguranca-e-feito-cftv-comportamento-humano/>, set 2024. Acesso em: 22/09/2025.
- [8] Embarcados. Sistema embarcado – o que é? qual a sua importância? <https://embarcados.com.br/sistema-embarcado/>, set 2013. Acesso em: 23/10/2025.
- [9] Mohammad Ali Khaliqi. Urban security challenges in major cities, with a specific emphasis on privacy management in the metropolises. https://link.springer.com/10.1007/978-1-4939-9888-8_10.

inger.com/article/10.1007/s44274-024-00116-3, jul 2024. Acesso em: 23/10/2025.

- [10] World Net. A evolução da segurança eletrônica: Das câmeras analógicas às câmeras ip. <https://worldnetdobrasil.com/evolucao-da-seguranca-e-letronica-das-cameras-analogicas-cameras-ip>, out 2023. Acesso em: 25/09/2025.
- [11] Economia PR. Plataforma destaca como a automação residencial pode reforçar a segurança. <https://eonomiapr.com.br/2025/07/09/plataforma-destaca-como-a-automacao-residencial-pode-reforcar-a-seguranca/>, jul 2025. Acesso em: 24/10/2025.
- [12] Casa Protegida. Segurança residencial com iot: benefícios e informações. <https://casaprotegida.seg.br/seguranca-residencial-com-iot/>, jun 2024. Acesso em: 22/10/2025.
- [13] Alarme Tech. Das câmeras de segurança analógicas à automação de casas inteligentes. <https://alarmetech.com.br/a-evolucao-da-seguranca-residencial/>. Acesso em: 24/10/2025.
- [14] Telegram. Telegram bot api. <https://core.telegram.org/bots/api>. Acesso em: 10/10/2025.
- [15] Telegram. What can you do with bots? <https://core.telegram.org/bots>. Acesso em: 10/10/2025.
- [16] ThinkRobotics. Esp32-cam: A comprehensive guide. <https://thinkrobotics.com/blogs/learn/esp32-cam-a-comprehensive-guide?srsltid=AfmBOoqltc3p5OiLOTyO2tebtsQ9uK7u5GgrFxxvEYnTTelWPoFO7-u24>, dez 2024. Acesso em: 23/10/2025.
- [17] V/Sure. Nexus de sistemas embarcados: poder de integração hardware-software. <https://visuresolutions.com/pt/solutions/embedded-systems-software/>, - -. Acesso em: 28/09/2025.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409
R. Tranquilino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Versão Final do TCC

Assunto:	Versão Final do TCC
Assinado por:	Joao Farias
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- João Victor Silva de Farias, ALUNO (201911250016) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - CAMPINA GRANDE, em 25/02/2026 08:14:16.

Este documento foi armazenado no SUAP em 25/02/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1779208

Código de Autenticação: 7261a1bb9e

