

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOSÉ BARRETO DOS SANTOS JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA CONTROLE DE ACESSO  
UTILIZANDO RECONHECIMENTO FACIAL**

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

**JOSÉ BARRETO DOS SANTOS JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA CONTROLE DE ACESSO  
UTILIZANDO RECONHECIMENTO FACIAL**

**Development of a prototype for access control using facial recognition**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Eduardo Giometti Bertogna

**CAMPO MOURÃO  
2023**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

[4.0 Internacional](#)

**JOSÉ BARRETO DOS SANTOS JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA CONTROLE DE ACESSO  
UTILIZANDO RECONHECIMENTO FACIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24/novembro/2023

---

Marcio Rodrigues da Cunha  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Osmar Tormena Junior  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Eduardo Giometti Bertogna  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO  
2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Bertonha, pelo apoio e tempo dedicado nesta trajetória e por sempre compartilhar conhecimento e experiência durante a elaboração do trabalho.

Aos meus colegas de sala, à minha esposa, e à meus pais, por sempre confiarem e acreditarem em mim, sem o apoio de vocês seria mais difícil superar este desafio.

## **RESUMO**

A biometria, em sistemas de segurança, tem sido amplamente utilizada devido sua confiabilidade, sendo empregada para acessar contas bancárias, autenticação de estabelecimentos, pagamento em dispositivos móveis, controle de acesso, etc. Dentre as biometrias disponíveis, o reconhecimento facial se destaca pela sua praticidade e por ser uma das biometrias mais estudadas e utilizadas, podendo ser aplicada sem a necessidade de um contato físico. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um protótipo de reconhecimento facial para controle de acesso. Nesse processo, empregou-se uma placa ESP32-CAM para realizar o reconhecimento facial, em conjunto com um *display LCD* para simplificar a interação do usuário com o protótipo. Em termos gerais, o protótipo atendeu às expectativas, proporcionando a criação de um *hardware* compacto e de fácil utilização, permitindo a autenticação de usuários em tempo real.

**Palavras-chave:** biometria; processamento de imagem; esp32.

## **ABSTRACT**

Biometrics, widely utilized in security systems, is known for its reliability and finds applications in accessing bank accounts, authenticating establishments, enabling mobile device payments, and managing access control, among other uses. Facial recognition, among the various biometric methods available, stands out due to its practicality and extensive study and usage. Moreover, it can be applied without the need for physical contact. In light of this context, the present study aims to develop a facial recognition prototype for access control. In this process, an ESP32-CAM board was employed to execute facial recognition, complemented by an LCD display to enhance user interaction with the prototype. In overall terms, the prototype has met expectations, delivering a compact and user-friendly hardware solution that facilitates real-time user authentication.

**Keywords:** biometry; image processing; esp32.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método de Bertillon . . . . .	15
Figura 2 – Modelo de impressão digital . . . . .	16
Figura 3 – Reconhecimento baseado na localização dos olhos e nariz . . . . .	17
Figura 4 – Escala de cinza . . . . .	18
Figura 5 – Escala de cinza binarizada . . . . .	18
Figura 6 – Fluxo de trabalho do MTNM . . . . .	22
Figura 7 – Rostos em diferentes iluminações . . . . .	23
Figura 8 – Pontos de referência a partir de características faciais . . . . .	24
Figura 9 – Fluxograma do funcionamento do método <i>recognize face</i> . . . . .	24
Figura 10 – ESP32-DevKitC. . . . .	25
Figura 11 – Fluxograma do <i>firmware</i> . . . . .	26
Figura 12 – Diagrama de blocos do <i>hardware</i> . . . . .	27
Figura 13 – ESP32-CAM . . . . .	28
Figura 14 – GPIO disponíveis do ESP32-CAM . . . . .	28
Figura 15 – <i>Display LCD TFT 1.8"</i> . . . . .	29
Figura 16 – Módulo Relé . . . . .	29
Figura 17 – Telas de inicialização . . . . .	31
Figura 18 – Fluxo de telas do login . . . . .	32
Figura 19 – Fluxo de telas do cadastro . . . . .	32
Figura 20 – Fluxo de telas para deletar usuário . . . . .	33
Figura 21 – Módulo Adaptador ESP32-CAM MB . . . . .	33
Figura 22 – Diagrama elétrico do protótipo . . . . .	34
Figura 23 – Diagrama elétrico do ESP32-CAM . . . . .	35
Figura 24 – Diagrama elétrico do <i>Display TFT</i> . . . . .	35
Figura 25 – Diagrama elétrico dos botões . . . . .	36
Figura 26 – Diagrama elétrico do módulo relé . . . . .	36
Figura 27 – Projeto da placa de circuito impresso do protótipo . . . . .	37
Figura 28 – Placa manufaturada . . . . .	37
Figura 29 – Placa montada . . . . .	38
Figura 30 – Transformações monótonas em escala de cinza . . . . .	39

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Portas de Entrada/Saída ESP32-CAM . . . . . 29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>11</b>
1.1.1	Objetivo geral . . . . .	12
1.1.2	Objetivos específicos . . . . .	12
<b>1.2</b>	<b>Justificativa . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Biometria . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>História da biometria . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Tipos de biometria . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Reconhecimento facial . . . . .</b>	<b>17</b>
2.4.1	Processamento de imagem . . . . .	18
2.4.2	Redes neurais . . . . .	19
2.4.3	Redes neurais convolucionais . . . . .	19
2.4.4	Classificador em cascata . . . . .	20
2.4.5	Redes convolucionais em cascata de multitarefas . . . . .	20
2.4.6	Redes móveis de multitarefas . . . . .	20
<b>2.5</b>	<b>Biometria facial para controle de acesso . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>Microcontrolador . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Microcontrolador ESP32-CAM . . . . .</b>	<b>27</b>
3.1.1	Pinos de Entrada/Saída (E/S) . . . . .	27
<b>3.2</b>	<b>Interface gráfica . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Módulo de acionamento . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>3.4</b>	<b>Desenvolvimento do <i>software</i> . . . . .</b>	<b>30</b>
3.4.1	PlatformIO . . . . .	30
3.4.2	Biblioteca ESP-DL . . . . .	30
3.4.3	Fluxo de telas . . . . .	31
3.4.4	Gravação do código . . . . .	33
<b>3.5</b>	<b>Desenvolvimento do protótipo . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>39</b>

5	<b>CONCLUSÃO</b>	41
	<b>REFERÊNCIAS</b>	42
	<b>APÊNDICE A – CÓDIGO PRINCIPAL</b>	45
	<b>APÊNDICE B – ESQUEMA ELÉTRICO ESP32-CAM</b>	48

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o nascimento, os seres humanos desenvolvem habilidades de reconhecimento e identificação de objetos. Logo na primeira semana de vida, os bebês estabelecem rapidamente reconhecimentos individuais, discriminando e demonstrando preferência pela face, voz e odor de sua própria mãe (VIEIRA; OLIVA, 2017).

O termo biometria, do grego bios (vida) e metron (medida), pode ser definida como ramo da ciência que estuda a identificação de aspectos físicos, biológicos e até comportamentais dos seres vivos. Na qual, são utilizados para distinguir indivíduos, a partir de suas características únicas (FERREIRA, 2009). Como, por exemplo, a face, retina, íris, impressões digitais, geometria da mão, etc. A biometria se tornou uma nova área de estudo a partir do antropologista francês Alphonse Bertillon, em 1890, quando utilizou conceitos de biometria para a identificação de criminosos (MORAES, 2006).

Dentre as tecnologias atuais de segurança, a biometria tem sido amplamente utilizada, seja para acessar contas bancárias, aplicativos e até controlar o acesso a locais públicos e privados. Atualmente, o reconhecimento facial é uma das biometrias mais estudadas, pois além da praticidade, é considerada uma das formas mais seguras de identificação (ZHAO; CHELLAPPA; PHILLIPS, 2003).

Embora a identificação facial seja uma tarefa simples para os seres humanos, representa um desafio considerável para os computadores. Isso se deve em parte às restrições impostas pelo sistema biométrico facial, que abrangem o controle da iluminação e dos ângulos das imagens utilizadas. Além disso, várias variáveis estéticas, como barba, cabelo, uso de óculos e bonés, problemas na lente da câmera e até mesmo a possibilidade de inserção de dados incorretos, podem ocasionar falhas no processo de reconhecimento (CAVALCANTI, 2005).

Assim, aprimorar a precisão de um sistema biométrico requer atenção durante o desenvolvimento, com foco na minimização de falsos positivos e falsos negativos no reconhecimento facial. Para superar esse desafio, é essencial encontrar uma abordagem que seja mais adequada ao sistema de autenticação por imagem. Entre as várias abordagens disponíveis, é fundamental avaliar a taxa de identificações incorretas e a taxa de casos não detectados (VIOLA; JONES, 2004).

Diante disso, o objetivo deste estudo é abordar o desenvolvimento de um protótipo que visa simplificar o controle de acesso através de um sistema de reconhecimento facial compacto e acessível, tornando-o de fácil utilização para qualquer pessoa. E também permitindo a integração com sistemas já existentes.

### 1.1 Objetivos

Nesta seção serão apresentados os objetivos deste trabalho e as etapas necessárias para o desenvolvimento do protótipo. Na qual, além da implementação do *hardware*, também

serão necessárias algumas etapas para a elaboração do *software*, tendo como finalidade, obter uma alta assertividade no controle de acesso por reconhecimento facial.

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo realizar o estudo e desenvolvimento de um protótipo para controle de acesso por meio de reconhecimento facial. Para isso, serão utilizados algoritmos de processamento de imagens e aprendizagem profunda no microcontrolador ESP32-CAM.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja atingido, alguma etapas essenciais deverão ser realizadas:

- Desenvolver o *hardware* para aquisição de imagens, considerando a luminosidade local e a qualidade da câmera, garantindo assim, bons resultados para a etapa de reconhecimento facial;
- Implementar um código, que seja otimizado e organizado o suficiente, para conseguir processar as imagens em tempo real;
- Criar uma interface gráfica e física que permita aos usuários interagir e utilizar de maneira intuitiva e simples;
- Por último, desenvolver o módulo de controle de acesso, que permitirá ao administrador gerenciar e cadastrar novos usuários, concedendo ou limitando o acesso conforme as necessidades.

## 1.2 Justificativa

Os sistemas de reconhecimento facial foram uma grande solução durante a retomada das atividades presenciais após a pandemia do coronavírus, ajudando empresas a promoverem uma maior segurança física, como também segurança sanitária, evitando contaminações e agilizando os processos. Ao contrário dos sistemas manuais, onde normalmente geram atrasos e demandam contato físico (TERRA, 2020).

No cotidiano, uma das formas mais comuns de garantir a segurança é por meio de chaves físicas, utilizadas tanto em fechaduras mecânicas quanto em fechaduras eletrônicas, onde essas chaves podem assumir a forma de dispositivos metálicos ou tags de proximidade. No entanto, apesar de sua praticidade, essas chaves apresentam vulnerabilidades relacionadas à possibilidade de fraudes, seja através de cópias não autorizadas ou do uso de técnicas como o “*Bump Key*”, uma ameaça frequente em diversos tipos de chaves. Um exemplo atual é o caso

do Flipper Zero, um dispositivo projetado para clonar frequências de NFC, Bluetooth e RFID. De acordo com a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), esse aparelho possui um "potencial lesivo" aos usuários, permitindo a reprodução não autorizada de controles remotos de portões eletrônicos, sistemas de segurança residencial, chaves de carro, entre outros (CANALTECH, 2023). Essa capacidade de clonagem destaca a necessidade de abordagens mais seguras e avançadas no desenvolvimento de tecnologias de acesso e segurança.

Quanto ao reconhecimento facial, um aspecto a ser considerado é a automação de processos. Embora a redução de custos seja um diferencial destacado por muitos gestores ao abordar a automação, é igualmente crucial ponderar sobre o potencial dessa tecnologia em proporcionar benefícios mais significativos para toda a cadeia produtiva. Isso implica não apenas em otimizar a eficiência operacional, mas também em maximizar as recompensas globais para os diversos setores envolvidos (TIINSIDE, 2023).

Por último, destaca-se a praticidade desse sistema, uma vez que elimina a necessidade de memorizarem senhas ou carregarem chaves consigo. Esse fator tem um impacto positivo de forma geral para a maioria das pessoas, mas vem sendo especialmente benéfico para grupos de pessoas com Déficit de Atenção. Ao considerar que pessoas com Déficit de Atenção muitas vezes enfrentam dificuldades em lembrar-se de compromissos, extraviam chaves (casa ou carro) com facilidade e podem esquecer de tarefas cotidianas (ABDA, 2023), desta forma, sistemas de reconhecimento facial são soluções que favorecem e os ajudam em seu cotidiano.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos importantes para o entendimento do trabalho, sendo abordados assuntos como biometria, processamento de imagens, aprendizado profundo e reconhecimento facial.

### 2.1 Biometria

Com o avanço da tecnologia, hoje é possível realizar transações e pagamentos de qualquer lugar, ou até mesmo, sem sair de casa, apenas com o uso de um dispositivo conectado à internet. Entretanto, também tornaram-se indispensáveis o uso de mecanismos de segurança, principalmente os que são capazes de identificar e comprovar quem realmente está utilizando esses serviços.

Por mais que existam outros processos de identificação, como por exemplo, cartões magnéticos, senhas, tags, etc., atualmente o processo considerado mais seguro é o baseado em biometria.

A biometria pode ser definida como o processo de identificação dos seres vivos e tem por intuito distinguir os indivíduos por meio de suas características únicas. É uma técnica que foi utilizada até mesmo pelos egípcios para o processo de identificação, baseando-se em características da aparência dos indivíduos, como cor dos olhos e cicatrizes (SANTOS, 2007).

Os sistemas biométricos podem ser divididos em dois grupos distintos: 1) os métodos invasivos, que requerem a colaboração ativa do sujeito para a identificação; e 2) os métodos não invasivos, que podem ser aplicados sem que o indivíduo identificado tenha conhecimento disso. Entre os métodos, incluem-se técnicas amplamente conhecidas, como a biometria da impressão digital, do rosto, da íris, da assinatura, entre outras (TEIXEIRA, 2011).

O foco deste estudo será um método de biometria não invasivo, mais precisamente no processo de identificação e reconhecimento de características faciais, um tema que tem atraído crescente interesse de pesquisadores e cientistas na área de visão computacional.

### 2.2 História da biometria

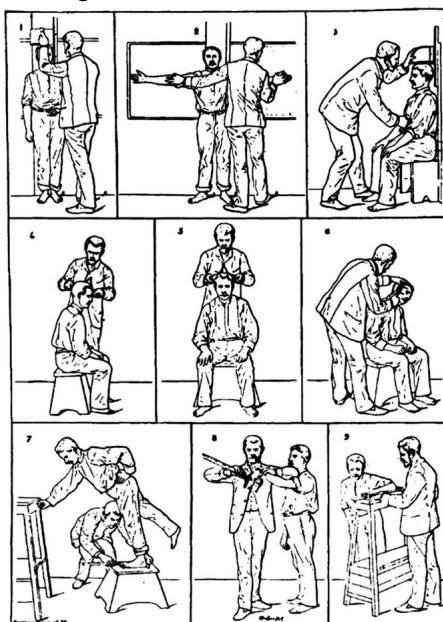
Contrariando o senso comum, é importante notar que o conceito de biometria não é algo recente, o que realmente se tornou inédito foi a sua aplicação em sistemas computacionais. Na verdade, práticas de identificação com base em características físicas datam de muito tempo atrás. Um exemplo notório é o uso que os faraós do Egito faziam de características como cicatrizes, cor dos olhos, arcada dentária e outros detalhes para distinguir indivíduos (BOECHAT, 2008).

Na Europa, por volta de 1890, o antropologista e delegado policial parisiense Alphonse

Bertillon viu na biometria uma maneira de identificar criminosos e a transformou em uma nova área de estudo (MORAES, 2006). Bertillon, com um profundo interesse em pesquisas criminológicas, começou a medir diversas partes do corpo humano, incluindo o diâmetro transversal da cabeça, comprimento dos pés, dedos, antebraços, estatura, entre outros e, registrou essas medidas em cartões. Embora os resultados obtidos por Bertillon não tenham sido conclusivos, a ideia de relacionar medidas do corpo humano para a identificação continuou a ser usada por autoridades policiais em todo o mundo, sendo conhecida como "Bertillonage" (BOECHAT, 2008).

Na Figura 1, podem ser observadas várias técnicas de medição desenvolvidas por meio do método de Bertillon, abrangendo aferições dos braços, pernas, cabeça e até mesmo das orelhas.

**Figura 1 – Método de Bertillon**



**Fonte:** Adaptado de (MORAES, 2006).

Na Suíça, com a introdução da fotografia, essa técnica começou a ser usada de maneira exclusiva nos procedimentos de identificação criminal. Na Índia, um indivíduo chamado William James Hersche, insatisfeito com a falta de cumprimento de contratos por parte dos comerciantes locais, passou a exigir que as assinaturas fossem acompanhadas pela impressão digital nos documentos (BOECHAT, 2008).

Por fim, nas últimas décadas, novos sistemas biométricos começaram a surgir à medida que novas aplicações biométricas eram desenvolvidas e se tornavam uma realidade comercial.

### 2.3 Tipos de biometria

De acordo com Moraes (2010), os principais tipos de biometria são:

- Orelhas: usa a anatomia da orelha para identificar indivíduos, abordagem incomum.
- Termograma da face e das mãos: o padrão de calor emitido pelo corpo humano é uma característica de cada pessoa e pode ser captado por infravermelho. Sistemas baseados em imagens termográficas não requerem contato ou cooperação individual. No entanto, a captura de imagem continua sendo um desafio em ambientes não controlados, pois é afetada por fontes de calor que possivelmente podem estar próximas ao indivíduo. Seus pontos fortes são a universalidade, a impostura e a singularidade.
- Impressão digital: como pode ser observado na Figura 2, recurso mais comumente usado em credenciais automatizadas em grande escala. Sua popularidade se deve em parte a dispositivos de coleta de baixo custo e desempenho de processo razoável. Embora a impressão digital não se modifique naturalmente ao longo dos anos, ela é sensível aos fatores ambientais aos quais os indivíduos estão submetidos, o que pode levar à sua alteração e deterioração. Trabalhadores manuais, por exemplo, podem ver suas impressões digitais constantemente alteradas devido a cortes profundos ou outros cortes em seus dedos.

**Figura 2 – Modelo de impressão digital**



**Fonte:** Adaptado de (BOECHAT, 2008).

- Íris: formada durante o desenvolvimento fetal, estabiliza-se durante os dois primeiros anos de vida. Sua textura é extremamente complexa e fornece informações a serem utilizadas no reconhecimento facial. Tem um baixo grau de impostura, pois é difícil até cirurgicamente alterar a textura da íris. Seu ponto fraco está em sua capacidade de recuperação, requer equipamentos caros e complexos, bem como cooperação individual.
- Voz: união de biometria comportamental e fisiológica. Ele não muda em curtos períodos de tempo, mas é afetado por fatores como um simples frio, estado emocional e ruído de fundo. Possui baixa exclusividade e não é recomendado para identificação em larga escala. O ponto forte é a capacidade de coleta e aceitabilidade, além do baixo custo dos coletores. Geralmente indicado para verificação de identidade em conversas.

## 2.4 Reconhecimento facial

Desde a infância, o ser humano adquire e desenvolve sua capacidade de reconhecer traços faciais, que é uma particularidade da visão e fundamental para relações sociais (ROUHANI, 2019).

Existem estudos sobre automatização do reconhecimento facial desde os anos 60. Os projetos iniciais nessa área dependiam do administrador encontrar manualmente as características faciais nas imagens, só então o sistema calculava as distâncias entre elas e comparava suas dimensões normalizadas com as referenciadas.

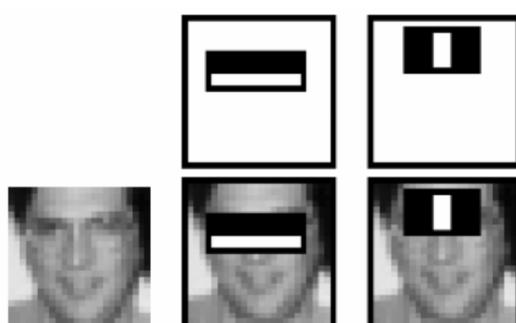
Hoje o processo de reconhecimento facial pode ser descrito a partir de uma imagem ou vídeo estático, identificando um ou múltiplos indivíduos a partir de um banco de dados de rostos previamente cadastrados. Assim, existem três abordagens conhecidas para reconhecimento:

- Imagem a imagem: a amostra e a base de dados composta por imagens estáticas;
- Vídeo para vídeo: a amostra e o banco de dados que consiste em vídeos;
- Imagem para vídeo: o exemplo é um vídeo. O vídeo é comparado a um banco de dados de imagens estáticos.

Após a imagem ter sido lida e transformada, a mesma é duplicada e redimensionada proporcionalmente para uma altura fixa. A imagem original é mantida para ser utilizada posteriormente, em seguida, na cópia da imagem é realizado alguns processamentos para extrair suas características.

A seguir, é feita a detecção das faces utilizando o classificador de objetos treinados. Removendo o fundo ao redor da face, pois pode atrapalhar os algoritmos de reconhecimento. As abordagens mais populares usadas no problema de reconhecimento facial são baseadas na localização e análise de atributos faciais como olhos, nariz e boca (Figura 3), ou em análise global destes.

**Figura 3 – Reconhecimento baseado na localização dos olhos e nariz**



**Fonte:** Adaptado de Viola e Jones (2004).

Ao comparar as informações extraídas com aquelas já conhecidas, complementadas por uma breve análise estatística, é possível categorizar o objeto e determinar com grande precisão sua natureza ou identidade (GONZALEZ; WOODS, 2010).

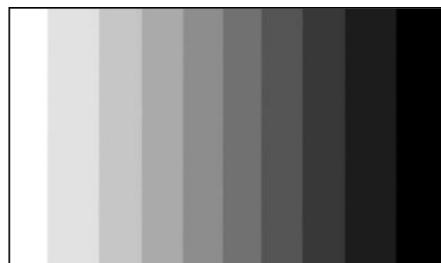
#### 2.4.1 Processamento de imagem

As técnicas de processamento de imagens começaram a surgir no final da década de 1960, para serem utilizadas no realce e restauração de imagens capturadas do espaço, como por exemplo, as imagens da missão Apollo. Logo em seguida, essa tecnologia começou a ser empregada para processar imagens em diagnósticos médicos e, com o aumento do poder de processamento dos computadores, essas técnicas agora são empregadas nas mais diversas áreas de conhecimento (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Em processamento de imagens, um conceito bastante utilizado é a binarização de imagens, que consiste em duas classes distintas, o fundo e o objeto, esse processo serve para separar ambas as classes.

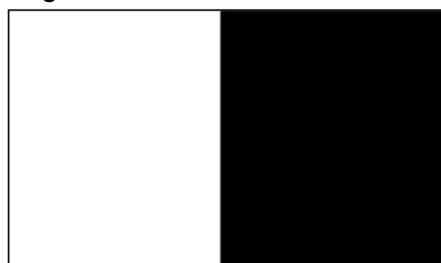
Sendo assim, a forma mais simples de processamento consiste na bipartição do histograma, dando valores iguais a 0 (branco) aos *pixels* que estiverem abaixo do valor de *threshold* (*T*) e iguais a 255 (preto) aos *pixels* que estiverem acima desse valor. Na Figura 4 é possível observar uma escala de tons de cinza e na Figura 5 verifica-se essa mesma escala pós-processamento, exemplificando o processo de binarização.

**Figura 4 – Escala de cinza**



Fonte: Autoria própria (2023).

**Figura 5 – Escala de cinza binarizada**



Fonte: Autoria própria (2023).

Especialmente durante o processo de reconhecimento de objetos, a segmentação é uma ferramenta indispensável para fins de análise e interpretação. A segmentação de uma imagem

é um procedimento importante no que tange ao reconhecimento e extração objetos, uma vez que ela subdivide uma imagem em regiões que posteriormente serão ou não tidas como de interesse, o que pode variar muito de acordo com a aplicação (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Os principais algoritmos de segmentação de imagem têm suas bases em duas abordagens: descontinuidade e similaridade. A abordagem da descontinuidade envolve a divisão de uma imagem com base em mudanças abruptas de intensidade, como as que ocorrem nas bordas. Por outro lado, a técnica de similaridade segmenta a imagem com base na identificação de regiões que compartilham semelhanças de acordo com critérios predefinidos (GONZALEZ; WOODS, 2010).

#### 2.4.2 Redes neurais

As Redes Neurais Artificiais (ANN) representam modelos computacionais compostos por conjuntos de neurônios artificiais, desenvolvidos para identificar padrões em dados de entrada mediante um processo de treinamento prévio. Essas redes podem variar em complexidade, desde estruturas simples com um único neurônio até configurações mais sofisticadas com múltiplas camadas totalmente conectadas. O emprego de redes neurais desempenha um papel fundamental na solução de diversos problemas, destacando-se notadamente na área de classificação (NOE, 2021).

A tarefa de classificação envolve o cálculo das probabilidades associadas a um determinado dado de entrada pertencente aos conjuntos de saídas possíveis para um dado problema. No contexto do aprendizado supervisionado, uma abordagem comum para gerar um modelo de classificação é a coleta experimental de características. Nesse processo, são apresentadas entradas (na camada de entrada) com seus valores de saída correspondentes (na camada de saída). A rede, então, busca representar as características comuns identificadas nos parâmetros treinados, localizados na camada oculta (NOE, 2021).

#### 2.4.3 Redes neurais convolucionais

Quando se aborda o reconhecimento de padrões em imagens, é comum que cada amostra contenha uma quantidade significativa de *pixels* irrelevantes para a classificação desejada. Além disso, devido às possíveis variações na iluminação, angulação e até distorções, uma abordagem de amostragem simples demandaria uma quantidade exorbitante de amostras, tornando-se impraticável para aplicações de aprendizado computacional. Por esses motivos, as Redes Neurais Convolucionais (CNN) oferecem metodologias e arquiteturas específicas para efetivamente reduzir o número de parâmetros que precisam ser ajustados pela rede (NOE, 2021).

A CNN foi inicialmente apresentada pela arquitetura *LeNet*, porém apenas recebeu mais destaque posteriormente pela arquitetura *AlexNet*. Esta rede pode ser definida como uma rede

neural que utiliza a operação matemática convolução no lugar da multiplicação geral da matriz em pelo menos uma de suas camadas (LECUN *et al.*, 1998).

#### 2.4.4 Classificador em cascata

O classificador em cascata é caracterizado por características semelhantes às de *Haar-like*, que são essencialmente quadros retangulares escaláveis, usados para comparar e analisar como os *pixels* se relacionam entre si, essa técnica é conhecida como "*Haar-like features*". O classificador em cascata é chamado assim porque combina vários classificadores fracos, ou seja, são classificadores que sozinho não pode classificar uma imagem, porém uma soma ponderada desses classificadores é capaz de formar um classificador mais forte, que é chamado de método de reforço. Até 200 recursos fornecem detecção com 95 (porcento) de precisão. A principal vantagem deste método é sua baixa complexidade computacional e sua paralelização, sendo uma das técnicas mais utilizadas na indústria ou no meio científico para detecção de faces ou objetos (VIOLA; JONES, 2004).

#### 2.4.5 Redes convolucionais em cascata de multitarefas

Diferentemente das abordagens manuais, as Redes Neurais Convolucionais (CNNs) desenvolvem descritores automaticamente a partir das imagens de treino, sem fazer qualquer pré-suposição sobre padrões ou características específicas da imagem a ser analisada (ZAFIROU; ZHANG; ZHANG, 2015). Embora seja verdade que o número de camadas está diretamente relacionado à qualidade das previsões da rede, é importante ressaltar que esse aumento na complexidade também resulta em um significativo incremento no custo computacional (MUKHERJEE *et al.*, 2017).

O algoritmo *Multitask Cascaded Convolutional Neural Networks* (MTCNN) é um modelo fundamentado em cascata de Redes Neurais Convolucionais (CNN), adotando uma estrutura sequencial composta por três redes neurais convolucionais. Essas redes são capazes de prever a localização de um rosto e seus pontos-chave em uma imagem (ZHANG *et al.*, 2016). Embora o modelo MTCNN alcance elevadas taxas de precisão, é importante notar que sua implementação pode exigir considerável poder computacional.

#### 2.4.6 Redes móveis de multitarefas

O modelo utilizado neste projeto foi o MTMN (*Multi-Task Mobile Nets*), ou simplesmente Redes Móveis de Multitarefas. Esse modelo foi especificamente projetado para microcontroladores, apresentando uma operação eficiente que se baseia na arquitetura móvel *MobileNetV2* e tem como base o algoritmo MTCNN (ESPRESSIF SYSTEMS, 2019b).

O *MobileNetV2* faz parte de uma nova geração de redes neurais convolucionais profundas voltadas para a visão computacional. Essa arquitetura permite a implementação em tempo real de aplicativos de classificação, detecção e alinhamento de objetos em dispositivos móveis, destacando-se por sua capacidade de processamento leve (LUNA *et al.*, 2022).

Uma característica distintiva do MTMN é sua estrutura multitarefa de aprendizagem em cascata. Essa abordagem permite que o modelo resolva desafios encontrados em ambientes diversos, como variações de iluminação, oclusões e poses variadas. O MTMN é composto por três estágios de redes convolucionais profundas que preveem a localização de faces e pontos de referência, proporcionando uma detecção precisa que varia de informações gerais a detalhes específicos (LUNA *et al.*, 2022).

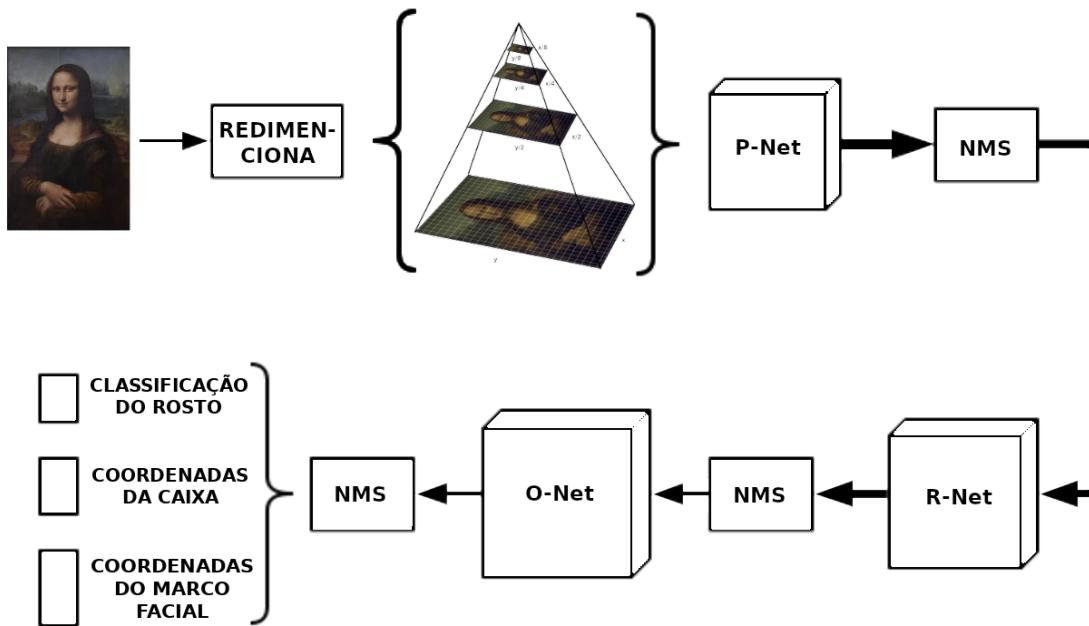
Conforme o fluxo de trabalho do MTNM, demonstrado na Figura 6, inicialmente uma imagem é redimensionada em diferentes escalas para formar uma pirâmide e que servirá de entrada para os três estágios da rede. No primeiro estágio o P-Net (*Proposal Network*) utiliza uma rede convolucional sem as camadas densas e tem o propósito de obter quadros com vetor da caixa delimitadora, que são as coordenadas do quadrado onde engloba a face detectada. Após isso é executado o método NMS (*Non-Maximum Suppression*) para juntar os quadros que possuem mais sobreposição e com isso a saída será utilizada para alimentar o próximo estágio. O R-Net (*Refine Network*) recebe todas os quadros escolhidas pela P-Net, que agora possui camadas densas após as convoluções, essa etapa é responsável por diminuir o número de falsos quadros e calibrar o vetor da caixa delimitadora e também o NMS como no estágio anterior. A ultima etapa, o O-Net (*Output Network*) é uma etapa similar a R-Net, porém foca em descrever a face em mais detalhes e com isso atualizar o NMS. Como resultado do treinamento, terá como saída 3 elementos (classificação do rosto, coordenadas da caixa delimitadora e as coordenadas das referências faciais) (ZHANG *et al.*, 2016).

A MTNM é treinada a partir de conjuntos de amostras que abrangem imagens positivas e uma quantidade substancial de imagens negativas:

- Amostras positivas: Estas consistem em imagens que destacam o objeto de interesse, apresentando diversas representações do objeto em diferentes perspectivas, condições de iluminação, tamanhos, entre outros.
- Amostras negativas: Englobam imagens que não incluem o objeto de interesse.
- O número de imagens necessárias para o treinamento é influenciado por diversos fatores, como a qualidade das imagens, as características específicas do objeto de interesse e a capacidade de processamento disponível.

O MTMN se beneficia de redes neurais pré-treinadas, que foram desenvolvidas com base em um vasto banco de dados contendo mais de um milhão de imagens do *ImageNet*. Essas redes aprenderam representações de recursos de mais de 1.000 categorias de objetos, fornecendo uma base sólida para a detecção de rostos (LUNA *et al.*, 2022).

**Figura 6 – Fluxo de trabalho do MTNM**



Fonte: Adaptado de Espressif Systems (2019b).

## 2.5 Biometria facial para controle de acesso

Os sistemas de identificação baseados em biometria são essencialmente sistemas de reconhecimento que, dadas informações biométricas, são capazes de distinguir padrões e classificá-los em diferentes classes ou categorias (MORAES, 2010).

Ainda de acordo com o autor, algumas das principais características anatômicas, fisiológicas e comportamentais utilizadas em sistemas biométricos incluem impressão digital, impressão da mão, aparência facial, temperatura da face, retina, voz, assinatura, entre outras.

A biometria facial representa a técnica biométrica mais adotada atualmente. Embora o reconhecimento de rostos seja uma tarefa simples para as pessoas, ela se revela notavelmente complexa para os computadores. Mesmo em condições desafiadoras, o cérebro humano é capaz de identificar com precisão uma pessoa com base em sua imagem facial, apesar das variações na iluminação, distorções ou deformações.

Embora os sistemas biométricos faciais apresentem um desempenho aceitável em ambientes comerciais, ainda estão sujeitos a restrições relacionadas ao ambiente, como variações na iluminação (Figura 7) e ângulos das imagens. Segundo Cavalcanti (2005), alterações estéticas, como cabelo e barba, uso de acessórios, como óculos e bonés, são fatores que aumentam as chances de falha no processo de reconhecimento facial.

Para utilizar a face em sistemas biométricos é preciso seguir três etapas fundamentais. São elas:

**Figura 7 – Rostos em diferentes iluminações**



Fonte: Adaptado de OpenCV (2023c).

- Detecção facial: responsável por definir e localizar uma ou mais faces;
- Extração de características: esta fase é responsável por remover o excesso de informações que rodeiam as faces detectadas, assim como selecionar as melhores características para serem utilizadas na próxima etapa;
- Reconhecimento facial: esta fase compara as características selecionadas pela fase anterior com outras previamente cadastradas em um banco de dados, sendo responsável por encontrar um registro que se assemelhe ao que precisa ser identificado.

Essas etapas desempenham um papel fundamental na avaliação da imagem, eliminando informações redundantes e irrelevantes. Por exemplo, se o algoritmo identifica uma ou mais faces na imagem, essas são extraídas da imagem original para análise individual. É importante notar que, quando a entrada do sistema é uma sequência de vídeo, a dimensão temporal também é considerada, tornando essencial que o algoritmo opere em tempo real, com desempenho crítico, para permitir a detecção em tempo real (BOECHAT, 2008).

Os algoritmos de reconhecimento facial têm a capacidade de identificar indivíduos com base em características específicas, como o tamanho dos olhos, nariz e boca. Essas características são usadas para localizar imagens correspondentes que se assemelham à imagem da face capturada. Além disso, os algoritmos desse tipo normalmente armazenam informações relevantes apenas da região da imagem que contém as características de interesse, conforme pode ser observado na Figura 8. De acordo com (VIOLA; JONES, 1993), um dos primeiros sistemas de reconhecimento facial baseava-se em um modelo de técnicas aplicadas a um conjunto de características faciais, resultando em uma representação facial compacta e correspondente.

O modelo de reconhecimento utilizado neste trabalho foi o FRMN (*Face Recognition Mobile Nets*), que também se baseia na arquitetura *MobileNetV2* e emprega o algoritmo *ArcFace*. Para otimizar a complexidade computacional, as imagens foram treinadas em dimensões reduzidas (56x56). Na Figura 9, é possível visualizar todas as etapas do algoritmo no processo de reconhecimento facial.

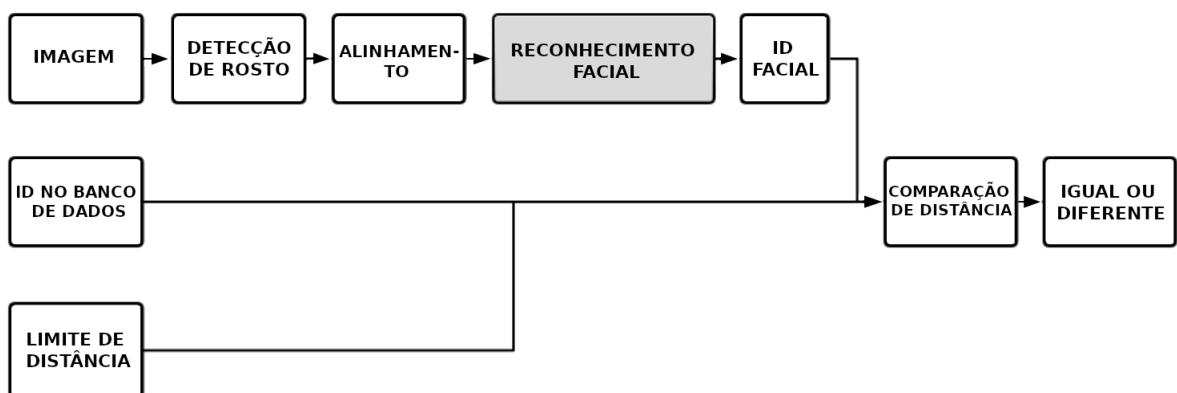
Esse procedimento não apenas proporciona uma eficiente capacidade de reconhecimento facial, mas também viabiliza uma comparação precisa entre o rosto identificado e as informações previamente cadastradas. Tal abordagem contribui significativamente para soluções

**Figura 8 – Pontos de referência a partir de características faciais**



Fonte: Adaptado de OpenCV (2023a).

**Figura 9 – Fluxograma do funcionamento do método *recognize face***



Fonte: Adaptado de Espressif Systems (2019a).

de alta qualidade em sistemas de identificação e autenticação. Contudo, a execução desse procedimento demanda o uso de um dispositivo ou microcontrolador com a capacidade de processar esses dados em tempo real.

## 2.6 Microcontrolador

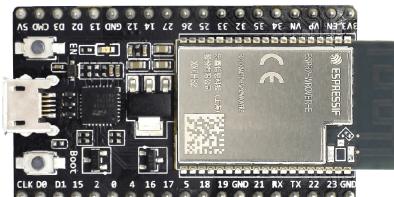
Microcontrolador é um computador em um único *chip* que incorpora: processador, memória, periféricos de entrada e saída, temporizadores e dispositivos de comunicação serial. Eles surgiram como uma evolução natural dos circuitos digitais devido à crescente complexidade. Chegou um ponto em que foi mais prático e econômico substituir a lógica das portas digitais por um conjunto de processador e *software* (PENIDO; TRINDADE, 2013).

O primeiro microcontrolador, o "8048", foi lançado pela Intel em 1977 e evoluiu para a família "8051". Esses *chips* são programados em linguagem *Assembly* e possuem um conjunto

de instruções poderoso (PENIDO; TRINDADE, 2013).

Atualmente, quando se trata de microcontrolador, uma boa opção é o ESP32 (Figura 10). Mesmo não sendo o modelo mais potente, nem o mais compacto, ainda assim, possui um ótimo custo-benefício ao considerar sua simplicidade e poder de processamento (ESPRESSIF SYSTEMS, 2022a).

**Figura 10 – ESP32-DevKitC.**



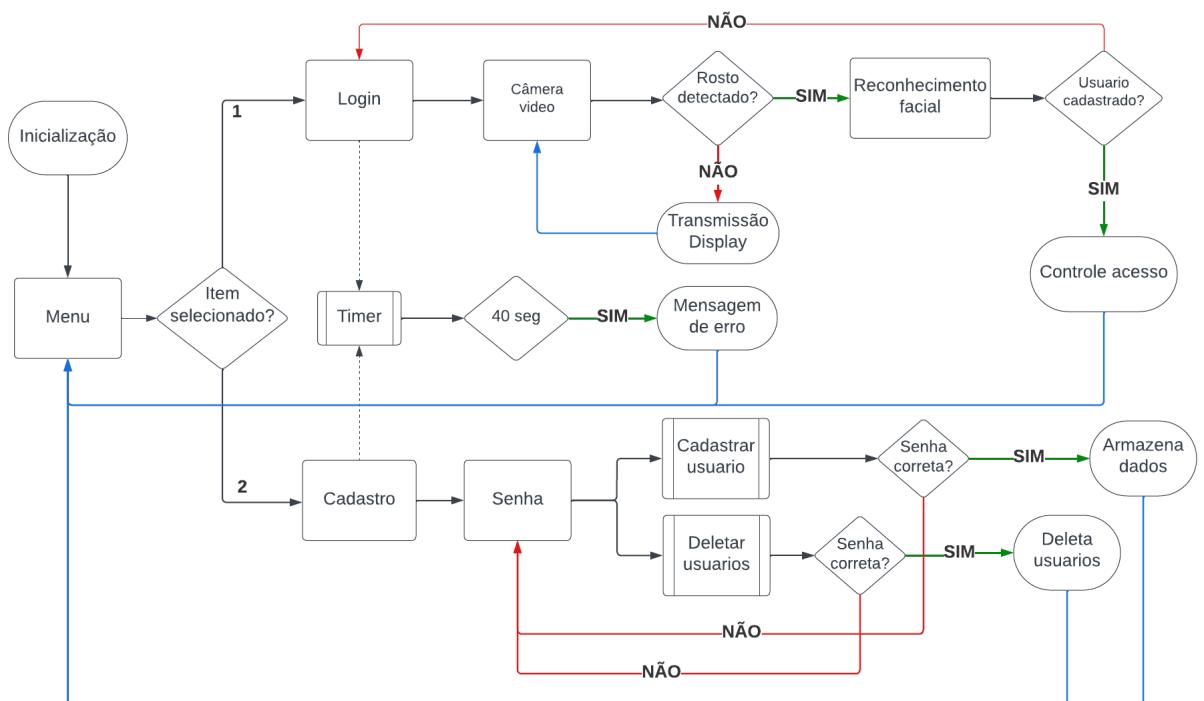
**Fonte:** Adaptado de Espressif Systems (2022c).

### 3 METODOLOGIA

O projeto foi estruturado em duas etapas principais: o desenvolvimento da infraestrutura de *hardware* e a criação do *software*. Além da criação do protótipo físico, foi elaborado um código com o objetivo de alcançar desempenho otimizado, atendendo a todos os requisitos do projeto. Isso incluiu desde a fase inicial de inicialização até a implementação de uma interface gráfica para os usuários, a entrada de dados, o reconhecimento facial, o cadastro e exclusão de usuários, por fim, o módulo de acionamento.

O fluxograma apresentado na Figura 11 oferece uma visão simplificada do funcionamento do *software* do projeto. O sistema de controle de acesso por biometria facial opera em dois ciclos principais: o primeiro é dedicado à autenticação do usuário, enquanto o segundo é responsável pelo cadastro de usuários. Além disso, há um ciclo obrigatório com um temporizador em execução em segundo plano. Esse ciclo é ativado automaticamente sempre que um dos ciclos principais é iniciado, com o intuito de encerrar quaisquer atividades pendentes e prevenir possíveis *loops* dentro do sistema.

**Figura 11 – Fluxograma do *firmware***

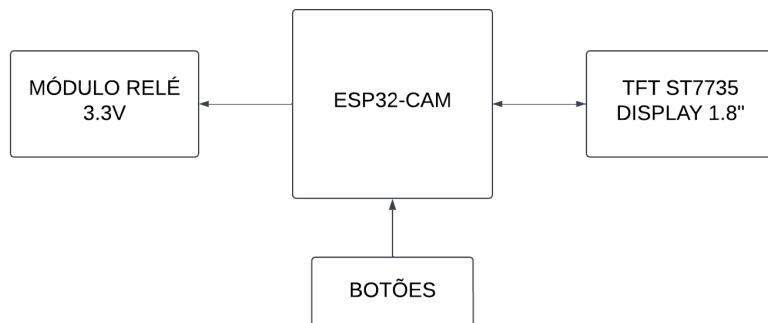


**Fonte:** Autoria própria (2023).

Para a execução desse programa, é necessário o uso de um *hardware* capaz de processá-lo. Portanto, a primeira etapa do projeto foi dedicada à construção do protótipo físico. E com o intuito de facilitar a compreensão desta parte do projeto, foi criado o diagrama apresentado na Figura 12. Conforme evidenciado, o ESP32-CAM é o módulo central, encar-

regado do processamento de dados e da coordenação das informações aos demais módulos. Para melhorar a interação com os usuários, é adicionado o módulo com botões e uma interface gráfica (*display*). Por fim, o módulo relé é responsável pelo controle de acesso, podendo acionar diferentes tipos de fechaduras elétricas.

**Figura 12 – Diagrama de blocos do hardware**



**Fonte:** Autoria própria (2023).

Como um dos objetivos do projeto é o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo, a versão selecionada para essa finalidade é o ESP32-CAM, que se destaca por integrar um *chip* ESP32, uma câmera, uma entrada para cartão SD e LED de alto brilho.

### 3.1 Microcontrolador ESP32-CAM

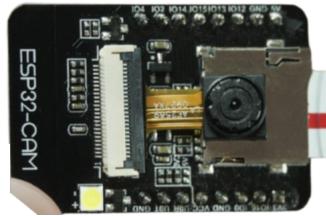
O ESP32-CAM (conforme ilustrado na Figura 13) é um microcontrolador de alto desempenho, desenvolvido pela empresa *Espressif Systems®* e que se destaca por sua acessibilidade. Embora compacto, é uma escolha ideal para este projeto devido à sua rica variedade de recursos e vantagens. Ele apresenta uma câmera integrada à placa, um processador dual-core de 32 bits capaz de executar tarefas em tempo real e disponibiliza 16 pinos de Entrada/Saída (E/S).

Neste projeto, o ESP32-CAM desempenhou um papel central, sendo responsável pelo processamento de dados, análise das informações e controle dos demais componentes de *hardware*. Isso incluiu o gerenciamento de dispositivos adicionais e a coordenação das funções necessárias para a aplicação proposta.

#### 3.1.1 Pinos de Entrada/Saída (E/S)

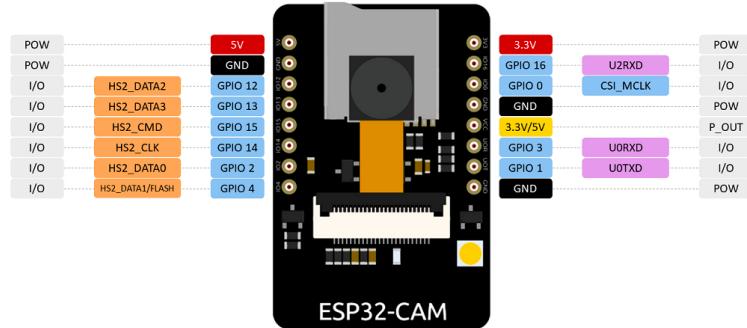
Os 16 pinos de Entrada/Saída (E/S) do ESP32-CAM (Figura 14) desempenham um papel crucial na versatilidade e funcionalidade deste microcontrolador. Esses pinos oferecem uma interface flexível para conectar o ESP32-CAM a uma ampla variedade de dispositivos e periféricos externos, permitindo que ele interaja com o ambiente e execute tarefas específicas de acordo com as necessidades do projeto.

**Figura 13 – ESP32-CAM**



Fonte: Adaptado de Espressif Systems (2022b).

**Figura 14 – GPIO disponíveis do ESP32-CAM**



Fonte: Adaptado de Random Nerd Tutorials (2023).

Esses pinos são fundamentais para a comunicação com sensores, atuadores, dispositivos de armazenamento, *displays* e muitos outros componentes eletrônicos, tornando o ESP32-CAM adequado para inúmeras aplicações, desde sistemas de segurança e monitoramento, até projetos de automação residencial.

No quadro a seguir (Quadro 1), são detalhadas as funcionalidades dos 16 pinos de Entrada/Saída (E/S) disponíveis no ESP32-CAM. O entendimento destes pinos, possibilita aos desenvolvedores a flexibilidade de personalizar e expandir suas aplicações de acordo com suas necessidades específicas.

### 3.2 Interface gráfica

O *Display LCD TFT (Thin-Film Transistor)* de 1.8 polegadas, com resolução de 128x160 pixels e driver ST7735 (Figura 15) é um componente popular utilizado em uma variedade de aplicações eletrônicas, devido à sua capacidade de fornecer uma interface visual clara e interativa. Esse tipo de *display* é frequentemente empregado em projetos que requerem a exibição de informações, gráficos e interação direta com o usuário.

Neste contexto, o uso deste *display* no projeto tem o propósito de aprimorar a experiência do usuário, fornecendo uma representação visual clara da aplicação. Além disso, sua biblioteca de fácil utilização simplifica o processo de desenvolvimento do projeto, tornando-o mais acessível e eficaz.

**Quadro 1 – Portas de Entrada/Saída ESP32-CAM**

<b>Pinos</b>	<b>Descrição</b>
5V	Pino de entrada para alimentação do circuito do ESP32.
3GND	3 pinos de aterramento, usado para referência de potencial zero.
GPIO12	Pino de propósito geral.
GPIO13	Pino de propósito geral.
GPIO15	Pino de propósito geral.
GPIO14	Pino de propósito geral.
GPIO2	Pino de propósito geral.
GPIO4	Pino de propósito geral e pode ser utilizado para acionar o Flash do ESP32.
3.3V	Pino de fornecimento de energia de 3,3V.
GPIO16	Este pino sempre fica em nível lógico alto e é utilizado para alimentar o circuito de PSRAM.
GPIO0	Pino de propósito geral, entretanto este pino é responsável pelo clock da câmera.
3.3V/5V	Pode fornecer energia de 3,3V ou 5V para outros dispositivos.
GPIO3	Pino de entrada de dados UART (RX) para comunicação serial.
GPIO1	Pino de saída de dados UART (TX) para comunicação serial.

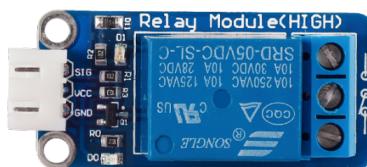
**Fonte:** Autoria própria (2023).

**Figura 15 – Display LCD TFT 1.8"**

**Fonte:** Adaptado de LCD wiki (2023).

### 3.3 Módulo de acionamento

Um módulo relé, como apresentado na Figura 16, é um componente eletrônico amplamente utilizado em projetos que envolvem controle e automação de dispositivos elétricos. Ele desempenha um papel essencial ao permitir o controle de circuitos de alta potência por meio de sinais de baixa potência.

**Figura 16 – Módulo Relé**

**Fonte:** Sunfounder (2022)

Quando se trata de fechaduras eletrônicas, os módulos relé desempenham um papel crucial, facilitando o funcionamento e a segurança do sistema de controle de acesso. Geral-

mente, essas fechaduras incluem um mecanismo de trinco que pode ser controlado eletronicamente. O módulo relé é utilizado para controlar a ativação e desativação desse mecanismo, quando um usuário autorizado fornece uma credencial válida (como uma senha, cartão RFID ou impressão digital), o sistema eletrônico de controle gera um sinal de baixa potência para acionar o módulo relé. O relé fecha seu contato, permitindo a passagem de energia para o mecanismo de destravamento da fechadura, liberando assim o acesso.

### **3.4 Desenvolvimento do *software***

Para o desenvolvimento do *software*, foi essencial escolher uma plataforma de desenvolvimento capaz de programar e gravar códigos nos microcontroladores ESP32. Duas opções amplamente conhecidas são o Arduino IDE e o PlatformIO. Além disso, o desenvolvimento exigiu um estudo aprofundado das bibliotecas disponíveis para atender aos requisitos do projeto, tais como o reconhecimento facial, transmissão em tempo real de imagens em um *display LCD*, implementação de um *timer* e a manipulação dos dados de entrada e saída.

#### **3.4.1 PlatformIO**

A plataforma escolhida para esse projeto foi o PlatformIO, que é uma ferramenta indispensável para quem trabalha com dispositivos microcontrolados, como o ESP32. Projetado para simplificar o processo de desenvolvimento e programação de microcontroladores, o PlatformIO oferece uma ampla gama de recursos e uma abordagem unificada que facilita o trabalho com diferentes plataformas de *hardware* e ambientes de desenvolvimento.

Quando se trata do ESP32, o PlatformIO desempenha um papel crucial, permitindo que desenvolvedores e entusiastas de eletrônica programem e depurem suas aplicações de maneira eficiente. O PlatformIO é projetado para funcionar com diversos editores de código populares, como *Visual Studio Code* (VSCode), Atom e CLion. Isso permite que os desenvolvedores escolham a IDE que melhor se adapte às suas preferências.

Por fim, outros dois outros pontos fortes da ferramenta PlatformIO podem ser citados: a plataforma possui um gerenciador de bibliotecas embutido que facilita a pesquisa, instalação e atualização de bibliotecas de código-fonte aberto. Isso é particularmente útil para reutilizar código existente e acelerar o desenvolvimento, como também sua simplificação no processo de compilação e carregamento de código para o *hardware* de destino.

#### **3.4.2 Biblioteca ESP-DL**

Para identificação de rostos e reconhecimento facial, foram utilizados os recursos disponíveis da biblioteca ESP-DL.

O ESP-DL é uma biblioteca de alto desempenho dedicada ao ESP32, ESP32-S2, ESP32-S3 e ESP32-C3, projetada para recursos de aprendizagem profunda.

O ESP-DL (2023) disponibiliza APIs para tarefas como inferência de redes neurais (NN), processamento de imagens, operações matemáticas e inclui alguns modelos de aprendizado profundo. Com essa biblioteca, os desenvolvedores podem aproveitar os SoCs (System-on-Chip) da *Espressif* de maneira simples e ágil para a implementação de uma ampla variedade de aplicações.

Dentre os recursos disponíveis do ESP-DL, se encontra o ESP-Face, componente que fornece funções de detecção e reconhecimento facial e também operações de rede neural. O método *face detect* utiliza o modelo MTMN (*Multi-Task Mobile Nets*).

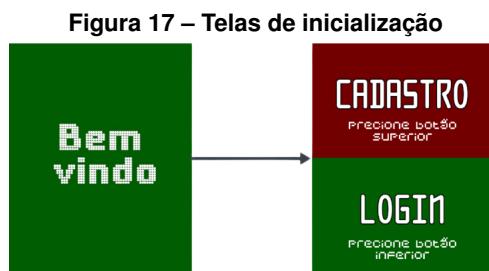
No contexto do reconhecimento facial, uma vez que um rosto humano tenha sido detectado por meio do procedimento mencionado anteriormente, é possível realizar uma verificação comparando-o com os rostos previamente cadastrados. A entrada para esse processo é a imagem original juntamente com os resultados obtidos na etapa de detecção facial.

O método de reconhecimento facial, denominado *recognize face* faz uso do modelo FRMN (*Face Recognition Memory Network*), que também se baseia na arquitetura móvel *MobileNetV2* e emprega o algoritmo *ArcFace*.

### 3.4.3 Fluxo de telas

Os recursos gráficos fornecidos pelo *display LCD* desempenham um papel fundamental na usabilidade da aplicação. Nesse contexto, a elaboração do fluxo de telas se torna essencial para proporcionar aos usuários uma experiência eficiente. Todos os fluxos foram planejados e projetados com o objetivo de guiar o usuário por meio de diferentes interações e funcionalidades.

O primeiro conjunto de telas (Figura 17), referente à inicialização dos recursos utilizados no programa do protótipo, abrange o momento em que a câmera, os sensores e o SPIFFS (Sistema de Arquivos Flash de Interface Serial Periférica) são ativados. Além disso, a lista de usuários cadastrados é inicializada antes de exibir a tela de menu.

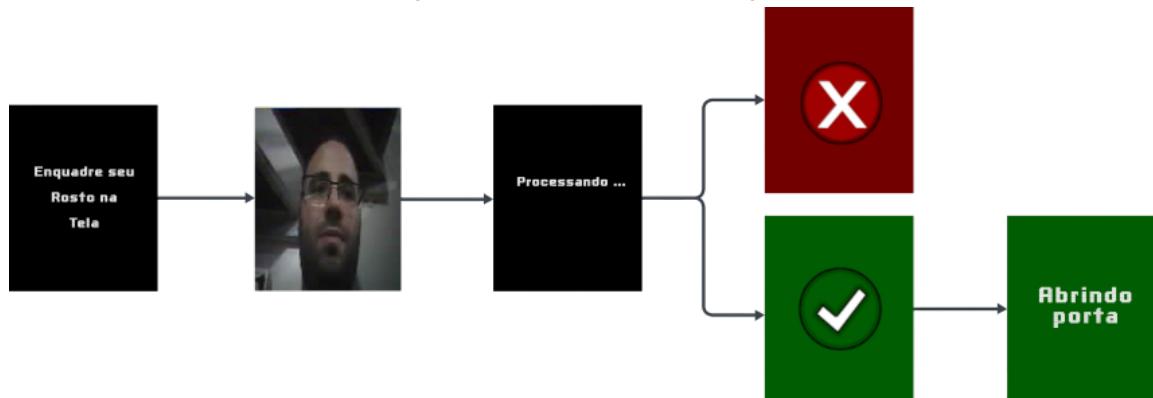


**Fonte:** Autoria própria (2023).

Ao chegar no menu e selecionar a opção de login, o usuário inicia o fluxo de telas de login. Inicialmente, é exibida uma mensagem de orientação para enquadrar o rosto dentro do campo de visão da câmera. Se o usuário estiver cadastrado, uma mensagem de sucesso é

exibida e em seguida, o módulo do relé é acionado. Caso contrário, o *timer* é executado em segundo plano e quando o tempo se esgota, uma mensagem de erro é exibida, como representado na Figura 18.

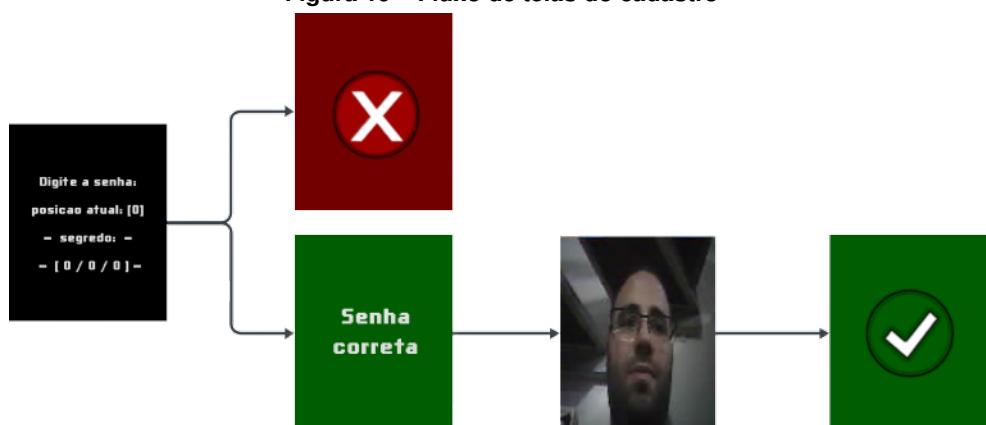
**Figura 18 – Fluxo de telas do login**



Fonte: Autoria própria (2023).

No entanto, se o usuário escolher a opção de cadastro no menu, ele deverá seguir o fluxo descrito na Figura 19. Na primeira etapa, é solicitado ao usuário para digitar a senha. Se a senha estiver correta, uma mensagem de "senha correta" é exibida e o processo de identificação e reconhecimento facial é iniciado. Se tudo ocorrer conforme o esperado, os dados são armazenados na memória RAM ou na memória flash. Caso contrário, o usuário visualizará uma mensagem de erro.

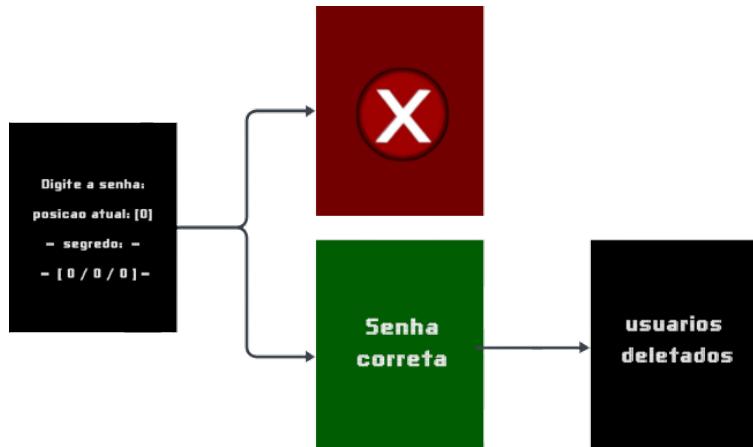
**Figura 19 – Fluxo de telas do cadastro**



Fonte: Autoria própria (2023).

Por fim, o último fluxo principal é o processo de exclusão de usuários (Figura 20), que se assemelha ao fluxo de cadastro. Como observado, em ambos os casos, a primeira tela solicita a inserção da senha e o usuário tem aproximadamente 40 segundos para descobrir ou digitar a senha correta. Durante esse processo, podem ser exibidas mensagens de erro ou sucesso. Se tudo ocorrer conforme o esperado, a mensagem "usuários deletados" é exibida.

**Figura 20 – Fluxo de telas para deletar usuário**



**Fonte:** Autoria própria (2023).

#### 3.4.4 Gravação do código

Para a gravação do código no ESP32-CAM, foi essencial o uso do módulo adaptador ESP32-CAM MB (conforme representado na Figura 21). Este módulo desempenhou um papel importante, estabelecendo uma conexão entre o ESP32-CAM e um computador por meio do cabo USB.

Para desenvolvimento do protótipo, elaborou-se um diagrama elétrico detalhado, conforme ilustrado na Figura 22. Este diagrama foi construído com base em um circuito previamente testado e montado em uma placa de prototipagem ("protoboard"). A escolha dos conectores do tipo borne KRE para as conexões de entrada e saída se justifica pela praticidade e segurança que oferecem, devido ao seu encaixe lateral que simplifica a conexão com os componentes eletrônicos.

**Figura 21 – Módulo Adaptador ESP32-CAM MB**

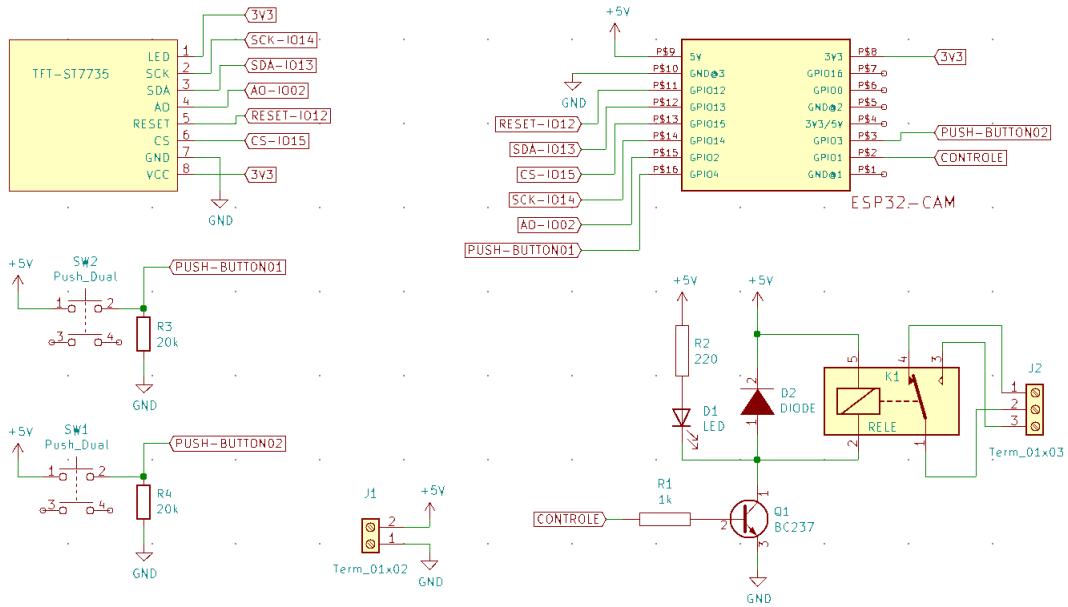


**Fonte:** Adaptado de Robo Builders (2023).

#### 3.5 Desenvolvimento do protótipo

Para desenvolvimento do protótipo, foi fundamental criar um diagrama elétrico detalhado para guiar a montagem do circuito. O diagrama apresentado na Figura 22, foi elaborado com base no circuito pré-testado e montado em uma placa de prototipagem ("protoboard").

Figura 22 – Diagrama elétrico do protótipo



Fonte: Autoria própria (2023).

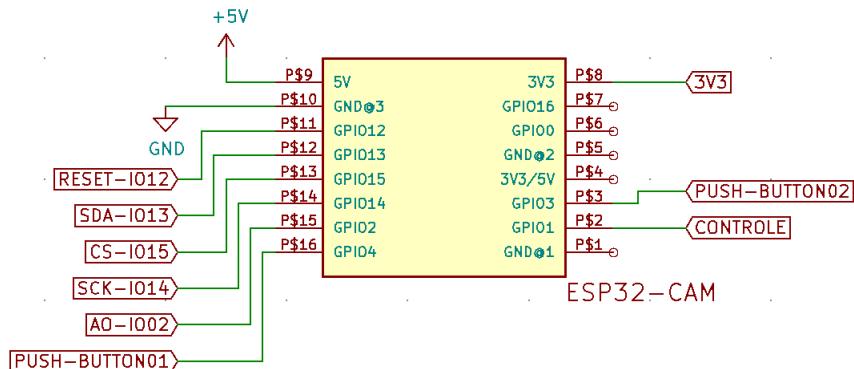
O diagrama elétrico do protótipo divide o circuito em quatro blocos principais: o ESP32-CAM, o TFT ST7735, o módulo de relé e o módulo de botões (*push button*). O bloco principal, que é o ESP32-CAM, possui 16 pinos de entrada/saída (GPIOs), como representado na Figura 23 e desempenha o papel de controle e coordenação do sistema como um todo. Dos 16 pinos disponíveis, 7 são dedicados ao *display* TFT (GPIOs 2, 12, 13, 14 e 15), 2 são reservados para os botões (GPIOs 4 e 3) e 1 pino é utilizado como saída para controlar o módulo do relé (GPIO 1).

Importante mencionar que algumas GPIOs têm funções específicas. Por exemplo, a GPIO 16 permanece em nível lógico alto e é utilizada para habilitar a memória PSRAM. Além disso, a GPIO 0 é designada como *clock* da câmera e não pode ser realocada para outras finalidades, uma vez que isso afetaria o funcionamento adequado da captura de imagens. Essas atribuições de GPIOs foram cuidadosamente planejadas para garantir o correto funcionamento de cada componente do protótipo.

O segundo bloco corresponde ao controlador ST7735 (Figura 24), um componente projetado para o gerenciamento de *displays* TFT de tamanho reduzido e com capacidade de exibir cores. A principal função desse controlador é administrar a apresentação de informações na tela, permitindo a criação de gráficos e a exibição de texto colorido.

A tela em si é composta por uma matriz de *pixels* coloridos, em que cada *pixel* é formado por subpixels nas cores vermelha, verde e azul (RGB), possibilitando a exibição de uma vasta gama de cores. Os pinos SCK (*Serial Clock*), SDA e CS (*Chip Select*) são utilizados para a comunicação serial com o microcontrolador. Por sua vez, o pino de *reset* é designado para

**Figura 23 – Diagrama elétrico do ESP32-CAM**

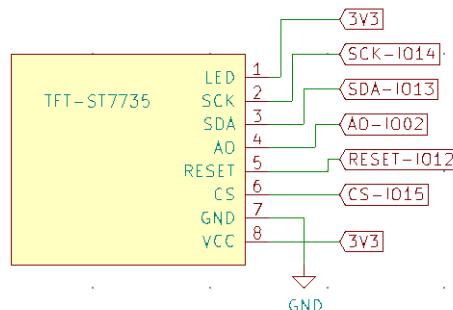


Fonte: Autoria própria (2023).

reiniciar o *display* em caso de falhas ou erros.

Adicionalmente, o pino A0 desempenha um papel fundamental ao indicar se os dados transmitidos se referem a comandos de controle (estado *LOW*) ou a dados de *pixel* (estado *HIGH*), desempenhando um papel crucial no funcionamento adequado do controlador ST7735.

**Figura 24 – Diagrama elétrico do Display TFT**



Fonte: Autoria própria (2023).

O bloco que comprehende os botões desempenha um papel fundamental na interatividade do projeto, pois permite a seleção de itens no menu e a inserção dos valores da senha.

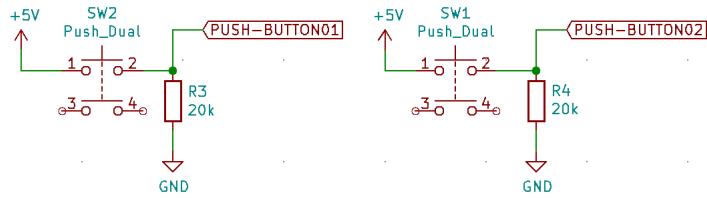
A estrutura dos botões é ilustrada no circuito apresentado na Figura 25, e cada botão é capaz de enviar um sinal de nível lógico baixo quando não pressionado e de nível lógico alto quando acionado, transmitindo esses sinais ao microcontrolador.

Devido a mudança de estado do botões ao alterar o sinal elétrico conforme são pressionados ou soltos, permite ao microcontrolador reconhecer as ações do usuário, possibilitando a navegação no aplicativo de forma eficiente e prática. Isso torna esses componentes essenciais para a interatividade do protótipo e contribuem significativamente para a experiência do usuário.

O relé é um dispositivo eletromecânico amplamente utilizado para o controle de circuitos elétricos, permitindo a comutação (abertura ou fechamento) por meio de um sinal elétrico aplicado à sua bobina.

O módulo de relé, conforme apresentado na (Figura 26), consiste em um circuito que

**Figura 25 – Diagrama elétrico dos botões**

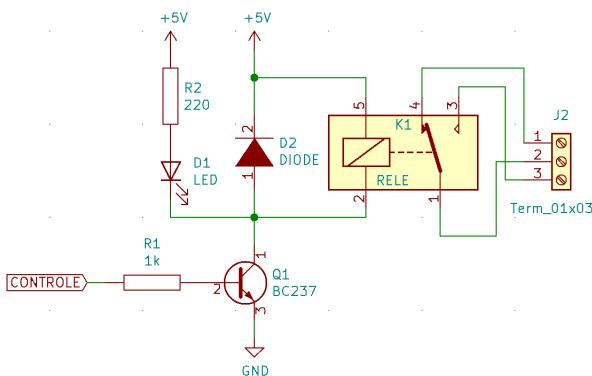


**Fonte:** Autoria própria (2023).

viabiliza que um microcontrolador envie um sinal de baixa potência para a base de um transistor. A conexão do coletor do transistor à bobina do relé viabiliza o seu acionamento quando o transistor entra em estado de saturação. Isso, por sua vez, permite que o ESP32 controle dispositivos de alta potência por meio de sinais de baixa potência. Um elemento crucial nesse circuito é o diodo em paralelo ao relé, que também é conhecido como diodo de roda livre.

O diodo de roda livre desempenha um papel essencial na proteção do circuito contra picos de tensão e corrente gerados quando a bobina do relé é desativada. Esse fenômeno ocorre devido à interrupção abrupta da corrente que fluía através da bobina, criando uma sobretensão reversa que poderia potencialmente danificar os componentes do circuito. O diodo age como um caminho de baixa resistência para a corrente, permitindo um caminho controlado para a dissipação da energia excedente, evitando danos aos componentes sensíveis do circuito. Portanto, o diodo de roda livre é crucial para garantir a integridade e a confiabilidade do sistema elétrico.

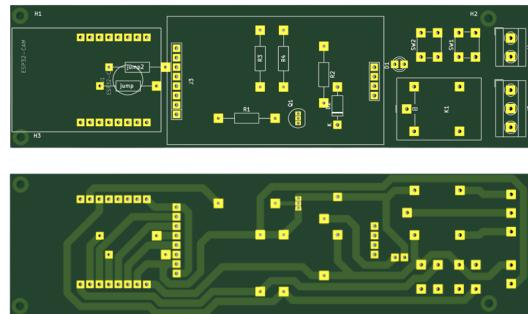
**Figura 26 – Diagrama elétrico do módulo relé**



**Fonte:** Autoria própria (2023).

Com base no esquema elétrico e na necessidade de criar um protótipo compacto e eficiente, o projeto da PCB (*Printed Circuit Board* ou Placa de Circuito Impresso) foi concebido com o objetivo de otimizar o aproveitamento de espaço, como pode ser observado na Figura 27. Nessa placa, os componentes estão dispostos de forma organizada, seguindo uma lógica de uso e, ao mesmo tempo, minimizando o espaço ocupado para garantir uma solução compacta e funcional. A disposição estratégica dos componentes na PCB é crucial para a eficiência e o desempenho do protótipo.

**Figura 27 – Projeto da placa de circuito impresso do protótipo**



**Fonte:** Autoria própria (2023).

Após a conclusão do projeto da PCB, procedeu-se à fabricação da placa e à integração dos componentes eletrônicos. Como ilustrado na Figura 28, foram adicionados os componentes de acordo com o projeto. Uma escolha estratégica foi a inclusão de barras de pinos fêmea no lugar dos conectores do ESP32-CAM e do *Display TFT*. Essa decisão visou possibilitar a remoção e substituição desses componentes com facilidade. Esse recurso é especialmente útil para o ESP32, permitindo a conexão a um gravador de código externo sempre que necessário, proporcionando maior flexibilidade e versatilidade ao protótipo.

**Figura 28 – Placa manufaturada**



**Fonte:** Autoria própria (2023).

Como parte final do processo, uma caixa foi projetada e fabricada para cumprir dois propósitos essenciais: proteger o circuito eletrônico e oferecer um acabamento esteticamente agradável para o usuário. A caixa, como ilustrada na Figura 29, foi dimensionada a partir das dimensões da placa já confeccionada. A modelagem 3D foi realizada para que a caixa pudesse ser impressa em 3D e posteriormente acoplada à placa. Esse invólucro não apenas protege o protótipo, mas também contribui para uma apresentação mais profissional e amigável ao usuário, resultando em uma experiência mais agradável de uso.

**Figura 29 – Placa montada**



**Fonte:** Autoria própria (2023).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

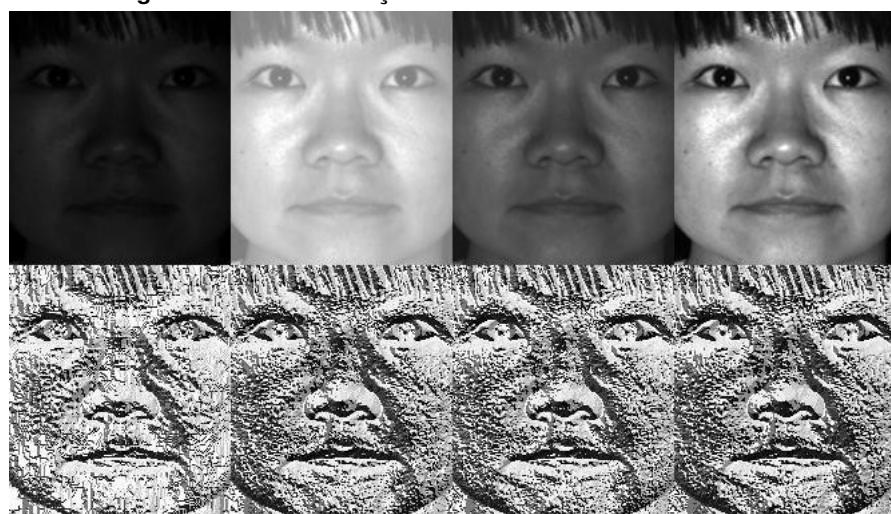
Para alcançar resultados ainda mais satisfatórios, especialmente no que diz respeito ao processo de identificação e reconhecimento facial, seriam necessários recursos de processamento de imagem adicionais para o ESP32. Apesar de o *chip* ESP32 apresentar considerável poder de processamento, ele nem sempre oferece recursos de *hardware* suficientes para tarefas intensivas de processamento de imagem e visão computacional. Como resultado, a maioria das bibliotecas de visão computacional e seus métodos não estão disponíveis para o ESP32.

No entanto, é possível realizar processamento de imagem básico e funções relacionadas à detecção e reconhecimento facial no ESP32, devido a otimizações de código de aprendizado profundo (ESP-DL) e implementações específicas voltadas para dispositivos com menor capacidade de processamento.

Para uma comparação qualitativa dos resultados atuais com outras implementações, a disponibilidade de bibliotecas de visão computacional, como o OpenCV, seria altamente benéfica. Embora as bibliotecas oficiais sejam limitadas, é possível encontrar bibliotecas não oficiais desenvolvidas por colaboradores que possuem métodos de processamento de imagem inspirados nas bibliotecas já existentes. Avaliar a influência da luminosidade nas imagens e a eficácia de parâmetros ou funções específicas é importante para combinar métodos alternativos visando obter melhores resultados.

Na Figura 30, é possível observar as imagens com níveis de luminosidade diferentes. O cenário ideal seria que, independentemente da iluminação estar alta ou baixa, o resultado do processo de reconhecimento fosse igualmente eficaz, assemelhando-se ao desempenho em condições ideais de luminosidade. No entanto, é fundamental considerar que outros tipos de erros ainda podem ocorrer.

**Figura 30 – Transformações monótonas em escala de cinza**



Fonte: Adaptado de OpenCV (2023b).

O protótipo atual satisfaz praticamente todas as necessidades do projeto, como detec-

ção e reconhecimento facial, cadastro de usuários e implementação do temporizador. Portanto, atende aos requisitos estabelecidos durante o desenvolvimento.

No entanto, há espaço para melhorias a curto e longo prazo. Isso inclui atualizações contínuas, como a possibilidade de configurar o número de usuários cadastrados, a exibição de IDs de usuários e a adição de métodos para excluir usuários por ID. Além disso, a funcionalidade de permitir que um usuário administrador altere senhas de cadastro e a de remover todos os usuários.

Outra melhoria relevante seria a integração do protótipo em aplicativos e servidores da web, ampliando suas possibilidades de aplicação prática, como em sistemas de controle de acesso residencial ou empresarial totalmente baseados na web.

Por último, uma melhoria significativa envolveria a criação de uma placa personalizada, partindo do zero, usando inicialmente apenas o *chip* ESP32. Isso permitiria a liberação do I2C para uso geral, possibilitando a integração de novos recursos devido ao aumento da quantidade de portas (GPIO) disponíveis.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho, de forma geral, apresentou bons resultados. O desenvolvimento e implementação do protótipo de controle de acesso por reconhecimento facial utilizando o ESP32-CAM mostraram-se promissores, atendendo aos requisitos do projeto. Desta forma, o sistema demonstrou a capacidade de detectar e reconhecer rostos, além de executar com sucesso tarefas como cadastro de usuários e a implementação de um temporizador.

No entanto, algumas limitações foram identificadas durante a elaboração do protótipo. Notavelmente, a falta de recursos de processamento do ESP32 limitou a plena capacidade de processamento de imagem e visão computacional. A ausência de bibliotecas de visão computacional amplamente disponíveis para o ESP32 também representou um desafio. No entanto, soluções alternativas foram aplicadas, permitindo o reconhecimento facial com relativo sucesso.

Para aprimorar ainda mais o sistema, seria essencial a inclusão de bibliotecas de visão computacional mais abrangentes, como o OpenCV, que ofereceriam mais opções e métodos de processamento de imagem. Além disso, a avaliação da influência da luminosidade na precisão do reconhecimento é um tópico importante a ser investigado, bem como a otimização dos parâmetros para melhorar a taxa de assertividade.

Apesar das limitações, o protótipo atendeu a praticamente todos os requisitos do projeto e mostrou-se uma base sólida para desenvolvimentos futuros. A implementação de melhorias, como a possibilidade de configurar o número de usuários cadastrados, exibir o ID do usuário e permitir a exclusão de usuários por ID, tornaria o sistema ainda mais flexível e prático.

Além disso, a perspectiva de integrar o protótipo em aplicativos e servidores web expandiria suas aplicações práticas, tornando-o útil em sistemas de controle de acesso online.

Conforme mencionado anteriormente, uma melhoria substancial poderia ser alcançada ao desenvolver uma placa personalizada, utilizando apenas o chip ESP32. Isso permitiria uma maior flexibilidade na alocação de recursos, liberando GPIOs adicionais para integração de novos recursos e funcionalidades.

Em resumo, o protótipo de controle de acesso por reconhecimento facial demonstrou ser uma solução viável e suas limitações podem ser superadas com melhorias no *hardware*, *software* e integração em sistemas mais amplos. Com uma abordagem contínua de desenvolvimento e aprimoramento, esse sistema tem o potencial de se tornar uma ferramenta poderosa para controle de acesso em diversas aplicações.

## REFERÊNCIAS

- ABDA. **TDAH NO ADULTO – ALGUMAS ESTRATÉGIAS PARA O DIA A DIA.** 2023. Disponível em: <https://tdah.org.br/tdah-no-adulto-algumas-estrategias-para-o-dia-a-dia/>. Acesso em: 23 nov. 2023.
- BOECHAT, G. C. **Proposta de um modelo de arquitetura biométrica para identificação pessoal com estudo da dinâmica da digitação.** 2008. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pernambuco, Ciências da Computação, Campinas, 2008.
- CANALTECH. **Flipper Zero: Anatel barra dispositivo que clona radiofrequências.** 2023. Disponível em: <https://canaltech.com.br/seguranca/flipper-zero-anatel-barra-dispositivo-que-clona-radiofrequencias-244192>. Acesso em: 22 nov. 2023.
- CAVALCANTI, G. D. da C. **Composição de biometria para sistemas multimodais de verificação de identidade pessoal.** 2005. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - PPGCC, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2005.
- ESP-DL. **ESP-DL User Guide.** 2023. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/esp-dl/en/latest/esp32/index.html>. Acesso em: 23 set. 2023.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **FRMN.** 2019. Disponível em: [https://github.com/espressif/esp-dl/blob/v0.6.0/face\\_recognition/README.md](https://github.com/espressif/esp-dl/blob/v0.6.0/face_recognition/README.md). Acesso em: 25 out. 2023.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **MTMN.** 2019. Disponível em: [https://github.com/espressif/esp-dl/blob/v0.6.0/face\\_detection/README.md](https://github.com/espressif/esp-dl/blob/v0.6.0/face_detection/README.md). Acesso em: 25 out. 2023.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32: A feature-rich MCU with integrated Wi-Fi and Bluetooth connectivity for a wide-range of applications.** 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 26 nov. 2022.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-CAM and Other Cool Projects on RNT.** 2022. Disponível em: [https://www.espressif.com/en/news/ESP32\\_CAM](https://www.espressif.com/en/news/ESP32_CAM). Acesso em: 04 nov. 2022.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-S Series.** 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/devkits>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- FERREIRA, A. B. de H. **Dicionário Aurélio Eletrônico.** 5. ed. Curitiba: Positivo, 2009.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens.** 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- LCD WIKI. **1.8inch Arduino SPI Module ST7735S.** 2023. Disponível em: [http://www.lcdwiki.com/1.8inch\\_Arduino\\_SPI\\_Module\\_ST7735S\\_SKU:MAR1801](http://www.lcdwiki.com/1.8inch_Arduino_SPI_Module_ST7735S_SKU:MAR1801). Acesso em: 12 out. 2023.
- LECUN, Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition. **Proceedings of the IEEE**, v. 86, n. 11, p. 2278–2324, 1998. Acesso em: 27 nov. 2023.
- LUNA, J. I. V. et al. System for opening cabinets and equipment containers based on facial recognition. **International Research Journal of Advanced Engineering and Science**, v. 7, p. 7, 7 2022. Disponível em: <https://irjaes.com/wp-content/uploads/2022/07/IRJAES-V7N3P58Y22.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

- MORAES, A. F. de. **Método para avaliação da tecnologia biométrica na segurança de aeroportos.** 2006. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação e Sistemas Digitais - PPGECS, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MORAES, J. L. de. **Controle de acesso baseado em biometria facial.** 2010. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGI, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- MUKHERJEE, S. *et al.* In: **2017 1st International Conference on Electronics, Materials Engineering and Nano-Technology (IEMENTech).** [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–5.
- NOE, I. T. **Redes neurais convolucionais aplicadas ao reconhecimento facial em indivíduos com máscara.** 2021. TCC (Graduação) — Engenharia de Computação, Departamento de Computação e Sistemas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2021.
- OPENCV. **Face landmark detection in an image.** 2023. Disponível em: [https://docs.opencv.org/4.x/d2/d42/tutorial\\_face\\_landmark\\_detection\\_in\\_an\\_image.html](https://docs.opencv.org/4.x/d2/d42/tutorial_face_landmark_detection_in_an_image.html). Acesso em: 27 set. 2023.
- OPENCV. **Face Recognition with OpenCV.** 2023. Disponível em: [https://docs.opencv.org/3.4/da/d60/tutorial\\_face\\_main.html](https://docs.opencv.org/3.4/da/d60/tutorial_face_main.html). Acesso em: 25 set. 2023.
- OPENCV. **Introduction to Java Development.** 2023. Disponível em: [https://docs.opencv.org/4.x/d9/d52/tutorial\\_java\\_dev\\_intro.html](https://docs.opencv.org/4.x/d9/d52/tutorial_java_dev_intro.html). Acesso em: 26 set. 2023.
- PENIDO Édilus de C. C.; TRINDADE, R. S. **Microcontroladores.** 1. ed. Ouro Preto: Rede e-Tec Brasil, 2013.
- RANDOM NERD TUTORIALS. **ESP32-CAM AI-Thinker Pinout Guide: GPIOs Usage Explained.** 2023. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-ai-thinker-pinout/>. Acesso em: 28 set. 2023.
- ROBO BUILDERS. **Módulo Adaptador Esp32 Cam MB Com Conversor Usb Serial.** 2023. Disponível em: <https://www.robobuilders.com.br/produto/modulo-adaptador-esp32-cam-mb-com-conversor-usb-serial-nfe.html>. Acesso em: 29 out. 2023.
- ROUHANI, S. **Reconhecimento de face e de “prova de vida” com Tensorflow para criação de um sistema de segurança voltado a residências e a ambientes de acesso restrito.** 2019. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Matemática Estatística e Computação Aplicadas à Indústria - PPGMECAI, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- SANTOS, A. L. dos. **Gerenciamento de identidades: Segurança da informação.** 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.
- SUNFOUNDER. **Relay(HIGH) for Arduino and Raspberry Pi.** 2022. Disponível em: [http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=Relay\(HIGH\)\\_for\\_Arduino\\_and\\_Raspberry\\_Pi](http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=Relay(HIGH)_for_Arduino_and_Raspberry_Pi). Acesso em: 22 nov. 2022.
- TEIXEIRA, R. F. da S. **Transformação Multi-escala para Segmentação de Impressões digitais.** 2011. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação, Campinas, 2011.
- TERRA. **Soluções de reconhecimento facial ajudarão na reabertura da economia após a pandemia.** 2020. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/dino/solucoes-de-reconhecimento-facial-ajudarao-na-reabertura-da-economia-apos-a-pandemia,e5458ffd1885519a92fec6be1b64671ftnn9amkk.html>. Acesso em: 19 set. 2022.

- TIINSIDE. **Além da redução de custos: como a automação transforma a cadeia produtiva?** 2023. Disponível em: <https://tiinside.com.br/12/04/2023/alem-da-reducao-de-custos-como-a-automacao-transforma-a-cadeia-produtiva/>. Acesso em: 23 nov. 2023.
- VIEIRA, M. L.; OLIVA, A. D. **Evolução, Cultura e Comportamento Humano**. 1. ed. Florianópolis: Edições do Bosque/CFH/UFSC, 2017.
- VIOLA, P.; JONES, M. J. Face recognition: Features versus templates. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 15, p. 1, 11 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>. Acesso em: 27 set. 2023.
- VIOLA, P.; JONES, M. J. Robust real-time face detection. **International Journal of Computer Vision**, v. 57, p. 18, 1 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- ZAFEIRIOU, S.; ZHANG, C.; ZHANG, Z. A survey on face detection in the wild: Past, present and future. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 138, p. 24, 9 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2015.03.015>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- ZHANG, K. *et al.* Joint face detection and alignment using multi-task cascaded convolutional networks. **IEEE Signal Processing Letters**, v. 23, p. 5, 10 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/LSP.2016.2603342>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- ZHAO, W.; CHELLAPPA, R.; PHILLIPS, J. Face recognition: a literature survey. **ACM Computing Survey**, v. 35, p. 61, 12 2003. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/954339.954342>. Acesso em: 04 nov. 2022.

## APÊNDICE A – CÓDIGO PRINCIPAL

Abaixo, apresenta-se o código do arquivo principal (main.cpp), fornecendo uma visão dos principais métodos empregados no projeto. Para acessar a implementação completa, por favor, visite o repositório no *GitHub* disponível em: <https://github.com/JoseBarreto1/projeto-tcc-software>.

```

1 #include "face_recognition.h"
2 #include "face_detect.h"
3 #include "constants.h"
4 #include "display.h"
5 #include "camera.h"
6 #include "debug.h"
7 #include "timer.h"
8 #include "user.h"
9
10 // variaveis globais
11 static face_id_list id_list = {0};
12 static bool enroll_enabled = true;
13 static bool reset_password = true;
14 static int user_number = 0;
15 static int selected_option = MENU_OPTION;
16 camera_fb_t *fb = NULL;
17
18 void setup()
19 {
20     // inicializando o pinos de entrada e saída
21     pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
22     pinMode(PUSH_BUTTON_1, INPUT);
23     pinMode(PUSH_BUTTON_2, INPUT_PULLDOWN);
24     digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
25     debug_init();
26     camera_init();
27     init_sensor_camera();
28     display_init();
29     init_SPIFFS();
30     user_number = find_last_number_user_save();
31     init_face_id(&id_list, user_number);
32 }
33
34 void return_menu(void *arg)
35 {
36     selected_option = MENU_DEFAULT;
37     delay(100);
38     if (fb != NULL)
39     {
40         esp_camera_fb_return(fb);
41         fb = NULL;
42     }
43     digitalWrite(FLASH_PIN, LOW);

```

```

44     display_error();
45     pinMode(PUSH_BUTTON_2, INPUT_PULLDOWN);
46     selected_option = MENU_OPTION;
47     return;
48 }
49
50 void open_door()
51 {
52     if (digitalRead(RELAY_PIN) == LOW)
53     {
54         digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
55         display_write_string("Abrindo \n \n porta ", TEXT_SIZE_MEDIUM,
56         TFT_DARKGREEN);
57         delay(2000);
58         digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
59     }
60     selected_option = MENU_OPTION;
61     return;
62 }
63 void success_face_detected()
64 {
65     stop_timer();
66     display_success();
67     digitalWrite(FLASH_PIN, LOW);
68     pinMode(PUSH_BUTTON_2, INPUT_PULLDOWN);
69     selected_option = OPEN_DOOR;
70     return;
71 }
72
73 void menu_option()
74 {
75     display_menu();
76     if (digitalRead(PUSH_BUTTON_1) == HIGH)
77     {
78         init_timer(TIME_DEFAULT, &return_menu);
79
80         display_write_string("Enquadre seu\n \n Tela \n", TEXT_SIZE_DEFAULT);
81         delay(4000);
82         pinMode(FLASH_PIN, OUTPUT);
83         digitalWrite(FLASH_PIN, HIGH);
84
85         selected_option = LOGIN_OPTION;
86         enroll_enabled = false;
87         return;
88     }
89     else if (digitalRead(PUSH_BUTTON_2) == HIGH)
90     {
91         init_timer(TIME_DEFAULT, &return_menu);
92         reset_password = true;
93         selected_option = REGISTER_OPTION;

```

```

93         return ;
94     }
95 }
96
97 void login()
98 {
99     if (!processing_face(fb , &id_list , &user_number , &enroll_enabled , &
100    success_face_detected) && selected_option != MENU_DEFAULT)
101    {
102        camera_live_stream(fb );
103    }
104
105 void registration()
106 {
107     bool push_button_up = digitalRead(PUSH_BUTTON_1) == HIGH;
108     bool push_button_down = digitalRead(PUSH_BUTTON_2) == HIGH;
109     bool is_correct = enter_password(push_button_up , push_button_down , &
110    reset_password);
111     if (is_correct)
112    {
113         init_timer(TIME_DEFAULT, &return_menu);
114         display_initial_count();
115         pinMode(FLASH_PIN, OUTPUT);
116         digitalWrite(FLASH_PIN, HIGH);
117         selected_option = LOGIN_OPTION;
118         enroll_enabled = true;
119         return;
120     }
121 }
122
123 void loop()
124 {
125     switch (selected_option)
126     {
127     case MENU_OPTION:
128         menu_option();
129         break;
130     case LOGIN_OPTION:
131         login();
132         break;
133     case REGISTER_OPTION:
134         registration();
135         break;
136     case OPEN_DOOR:
137         open_door();
138         break;
139     default:
140         break;
141     }
}

```

## APÊNDICE B – ESQUEMA ELÉTRICO ESP32-CAM

