

Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
Colégio Técnico de Campinas - COTUCA
Departamento de Processamento de Dados

BEATRIZ JULIATO COUTINHO
EDUARDA GRAZIELE DE PAIVA
HUGO GOMES SOARES

**BlinkVision: Desenvolvimento de um Dispositivo Tecnológico e Acessível para
Navegação Independente de Pessoas com Deficiência Visual**

Campinas - SP
2024

Beatriz Juliato Coutinho
Eduarda Grazielle de Paiva
Hugo Gomes Soares

BlinkVision: Desenvolvimento de um Dispositivo Tecnológico e Acessível para
Navegação Independente de Pessoas com Deficiência Visual

Orientador: Prof. Andréia Cristina de Souza.
Coorientador: Prof. Guilherme de Oliveira Macedo.

Colégio Técnico de Campinas - Unicamp
R. Culto à Ciência, 177 - Botafogo,
Campinas - SP, 13087-261

Campinas - SP
2024

Dedico este projeto, em primeiro lugar, aos nossos familiares, cujo apoio incondicional foi fundamental em nossa trajetória de desenvolvimento. Agradecemos também aos nossos amigos, que tornaram essa jornada mais leve e agradável. Por fim, uma homenagem especial aos nossos professores, cuja sabedoria e incentivo nos guiaram ao longo dos anos de aprendizado e foram essenciais para o sucesso deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à professora Andréia Cristina de Souza, nossa orientadora, pela valiosa assistência na documentação e execução do projeto.

Agradecemos também ao professor Guilherme de Oliveira Macedo, nosso coorientador, pelo suporte no desenvolvimento da Inteligência Artificial utilizada.

Nossa gratidão se estende ao professor Sérgio, que disponibilizou componentes essenciais e contribuiu significativamente para a criação do hardware, auxiliando na construção do circuito elétrico e na programação do ESP32-CAM.

Agradecemos ao professor Wolney Netto Júnior pela assistência na modelagem e por imprimir o envoltório do hardware utilizando impressora 3D.

Por fim, expressamos nossa gratidão ao Colégio Técnico de Campinas/ UNICAMP pelo apoio fundamental durante o desenvolvimento deste projeto.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tabela de custos.....	26
Quadro 2: Imagens obtidas nos testes experimentais para diferentes valores de qualidade e resolução.....	31
Quadro 3: Tempos de envio da imagem pela API obtidos nos testes experimentais.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Detecção de Objetos.....	12
Figura 2: Ilustração de segmentação, reconhecimento e identificação de objetos.....	12
Figura 3: Análise através de Segmentação.....	13
Figura 4: ilustração Rede Neural Convolucional.....	14
Figura 5: Classificação de Redes Neurais Convolucionais.....	15
Figura 6: Imagem tirada a partir do ESP32-CAM e analisada através do YOLO.....	16
Figura 7: Desenho de circuito de fornecimento de energia ao ESP32-CAM e carregamento.....	17
Figura 8: Imagem ilustrativa de Bateria Li-Ion 18650.....	18
Figura 9: Gráfico de capacidade de carga máxima de bateria Li-Ion(%) conforme número de ciclos de recarga.....	19
Figura 10: Imagem ilustrativa de módulo carregador TP4056 USB-C.....	20
Figura 11: Imagem ilustrativa do regulador de tensão L7805.....	21
Figura 12: Imagem ilustrativa de placa de circuito impresso (PCB).....	21
Figura 13: Imagem ilustrativa de suporte de bateria Li-Ion 18650.....	22
Figura 14: Modelagem do primeiro protótipo proposto.....	23
Figura 15: Desenho de medidas de dimensões do envoltório do protótipo.....	24
Figura 16: Imagem ilustrativa do ESP32-CAM.....	25
Figura 17: Diagrama de arquitetura de software do projeto.....	30
Figura 18: Circuito de fornecimento de energia para ESP32-CAM e carregamento.....	32
Figura 19: Foto frontal do protótipo final do dispositivo.....	34

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
RESUMO.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA.....	10
3. DESENVOLVIMENTO.....	11
3.1. Inteligência Artificial Aplicada à Visão Computacional.....	11
3.1.1. Visão Computacional.....	11
3.1.2. Técnicas de Visão Computacional.....	11
3.1.3. Redes Neurais Convolucionais (CNNs).....	13
3.1.3.1. Estrutura e Funcionamento das CNNs.....	14
3.1.3.1.1. Camada de Convolução.....	14
3.1.3.1.2. Camada de Pooling.....	14
3.1.3.1.3. Função de Ativação.....	15
3.1.3.2. YOLO (You Only Look Once).....	15
3.1.4. Ambiente de Testes e Configurações de Hardware.....	16
3.1.4.1. Hardware Utilizado para Testes da IA (YOLO).....	16
3.2. Hardware.....	17
3.2.1. Circuito.....	17
3.2.1.1. Componentes.....	18
3.2.1.1.1. Baterias de Li-ion 18650 3,7V 5500mAh.....	18
3.2.1.1.2. Módulos Carregadores de Baterias de Lítio TP4056 com Proteção - USB-C.....	19
3.2.1.1.3. Regulador de tensão 5V L7805.....	20
3.2.1.1.4. Placa de circuito impresso.....	21
3.2.1.1.5. Suporte de baterias Li-Ion 18650.....	22
3.2.2. Envolvório.....	22
3.2.3. ESP32-CAM.....	24
3.2.3.1. Programação.....	25
3.2.4. Custos.....	26
Quadro 1: Tabela de custos.....	26
3.3. Servidor e Fluxo de Dados no Sistema IoT.....	27
3.3.1. Sistema IoT.....	27
3.3.2. Servidor.....	27
3.3.2.1. Tipos de APIs.....	28
3.3.2.1.1. API Rest.....	28
3.3.2.1.2. API WebSocket.....	28
3.3.2.2. Escolha da API WebSocket.....	28
3.3.3. Fluxo de Dados do Sistema.....	29

4. RESULTADOS.....	30
4.1. Sistema de Captura de Imagem.....	30
Quadro 2: Imagens obtidas nos testes experimentais para diferentes valores de qualidade e resolução.....	31
4.2. Circuito de Alimentação Energética.....	32
4.3. YOLO - Visão Computacional.....	33
4.4. API WebSocket.....	33
Quadro 3: Tempos de envio da imagem pela API obtidos nos testes experimentais.....	33
4.5. Protótipo.....	34
5. CONCLUSÕES.....	35
6. BIBLIOGRAFIA.....	35

RESUMO

Atualmente, o Brasil conta com cerca de 7 milhões de pessoas com deficiência visual, mas apenas cerca de 200 cães-guia estão em atividade, segundo a União Nacional de Usuários de Cães Guias (UNUCG). Essa disparidade revela uma lacuna significativa na assistência a essa população. Este projeto busca utilizar a tecnologia para atender a essa necessidade, criando um dispositivo de baixo custo que auxilia deficientes visuais em suas atividades diárias de locomoção, promovendo maior autonomia e confiança. A proposta envolve o desenvolvimento de um dispositivo portátil e de fácil integração à rotina dos usuários, utilizando inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT). O dispositivo contará com uma câmera para identificar objetos e obstáculos ao redor do usuário. As imagens capturadas serão analisadas por um modelo de inteligência artificial, que fornecerá feedbacks sonoros descritivos sobre a presença de obstáculos, além de sugestões de estratégias para evitá-los, garantindo maior segurança e independência. Este dispositivo visa não apenas melhorar a mobilidade e segurança das pessoas com deficiência visual, mas também contribuir para a inovação em tecnologia assistiva, oferecendo uma solução acessível e eficaz.

PALAVRAS CHAVE: Acessibilidade, Inteligência Artificial, Internet das Coisas

1.INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o reconhecimento das necessidades das pessoas com deficiência visual em termos de acessibilidade e inclusão tem crescido de maneira expressiva. Entretanto, apesar do avanço das discussões sobre inclusão, há uma lacuna considerável no mercado de tecnologias assistivas que possam realmente promover a independência dessas pessoas, especialmente no que diz respeito à locomoção autônoma em ambientes urbanos. Esse cenário expõe um problema central: a maioria das soluções tecnológicas atuais é financeiramente inacessível, volumosa ou tecnicamente inadequada para grande parte da população que precisa delas (ORCAM, 2024). Esse problema se agrava no Brasil, onde a oferta de tecnologias assistivas de baixo custo é limitada, e o número de cães-guias disponíveis é insuficiente para atender à demanda crescente.

Nesse contexto, surge a necessidade urgente de um dispositivo assistivo que seja ao mesmo tempo acessível, eficiente e fácil de usar, proporcionando suporte diário na locomoção de pessoas com deficiência visual. Este projeto se propõe a enfrentar essa lacuna de forma direta, por meio do desenvolvimento de uma solução inovadora e acessível que aproveita a inteligência artificial integrada a um hardware portátil, com o objetivo de detectar obstáculos e fornecer orientações auditivas em tempo real.

A proposta deste projeto é revolucionar esse cenário ao desenvolver um dispositivo com uma produção de baixo custo baseado em IA que, utilizando uma câmera e sensores, reconhece obstáculos e sugere rotas seguras por meio de feedback auditivo. Isso não só representa um avanço significativo em termos de inovação tecnológica, como também coloca em pauta a necessidade de soluções que sejam economicamente viáveis e acessíveis a um maior número de pessoas. A utilização de componentes como o ESP32-CAM, que oferece versatilidade e baixo custo, viabiliza a produção em larga escala, o que é crucial para a democratização dessa tecnologia.

Ao abordar essa necessidade de forma prática e inovadora, o projeto não só contribui para a independência e inclusão social das pessoas com deficiência visual, como também impulsiona o avanço da tecnologia assistiva no Brasil. A criação de

soluções tecnológicas com foco em acessibilidade e inclusão social é fundamental para garantir a igualdade de oportunidades e melhorar a qualidade de vida dessa população.

Portanto, o projeto propõe mais do que uma solução técnica: ele é uma resposta a um problema social, ao promover autonomia, igualdade de acesso e inclusão por meio da tecnologia. A implementação bem-sucedida desse dispositivo pode marcar uma virada no cenário das tecnologias assistivas no Brasil, oferecendo novas possibilidades de locomoção segura e independente para pessoas com deficiência visual.

2.OBJETIVOS E RELEVÂNCIA

Diante da lacuna considerável no mercado de tecnologias assistivas que possam promover verdadeiramente a independência de pessoas com deficiência visual, especialmente no que se refere à locomoção autônoma em ambientes urbanos, este trabalho tem como principal objetivo desenvolver uma solução inovadora, acessível e eficiente. O sistema proposto utilizará um dispositivo portátil com inteligência artificial (IA) aplicada à visão computacional, capaz de detectar e identificar obstáculos em tempo real, oferecendo descrições auditivas para guiar o usuário de forma segura e autônoma.

A maioria das soluções tecnológicas atuais é financeiramente inacessível, volumosa ou tecnicamente inadequada para grande parte da população que delas depende. Este cenário é ainda mais crítico no Brasil, onde a oferta de tecnologias assistivas acessíveis é limitada e a demanda por cães-guias supera em muito a oferta, com longas filas de espera. Ao desenvolver uma tecnologia portátil e de baixo custo, o trabalho contribui diretamente para a promoção da inclusão social e da autonomia das pessoas com deficiência visual, oferecendo uma ferramenta que pode transformar a capacidade de movimentação com segurança em ambientes urbanos.

Em suma, o principal objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo que auxilia pessoas com deficiência visual a se locomoverem com maior autonomia e segurança em suas atividades cotidianas. Utilizando o ESP32-CAM para captura de imagens e inteligência artificial (IA) para análise e identificação de obstáculos, o

dispositivo oferecerá um feedback auditivo em tempo real, ajudando os usuários a navegar por ambientes de forma mais independente.

3.DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, as pesquisas começaram logo após a definição do tema do projeto, com foco tanto na acessibilidade para pessoas com deficiência visual quanto nos aspectos técnicos envolvidos. Foram estudados diversos tópicos relevantes para o desenvolvimento, como as necessidades e desafios enfrentados por essa população, além de uma análise aprofundada do hardware ESP32-CAM e seu potencial para capturar imagens do ambiente. Paralelamente, explorou-se a aplicação de redes neurais convolucionais (CNN), com o objetivo de implementar um sistema de reconhecimento de obstáculos eficiente e adaptado ao contexto de mobilidade assistiva.

3.1. Inteligência Artificial Aplicada à Visão Computacional

A Inteligência Artificial (IA) aplicada à Visão Computacional permite que sistemas computacionais interpretem e compreendam informações visuais de maneira similar aos seres humanos, utilizando algoritmos avançados e modelos de aprendizado de máquina.

3.1.1. Visão Computacional

A visão computacional é uma área da tecnologia que permite às máquinas interpretar e entender imagens ou vídeos de forma automatizada, simulando a percepção visual humana.

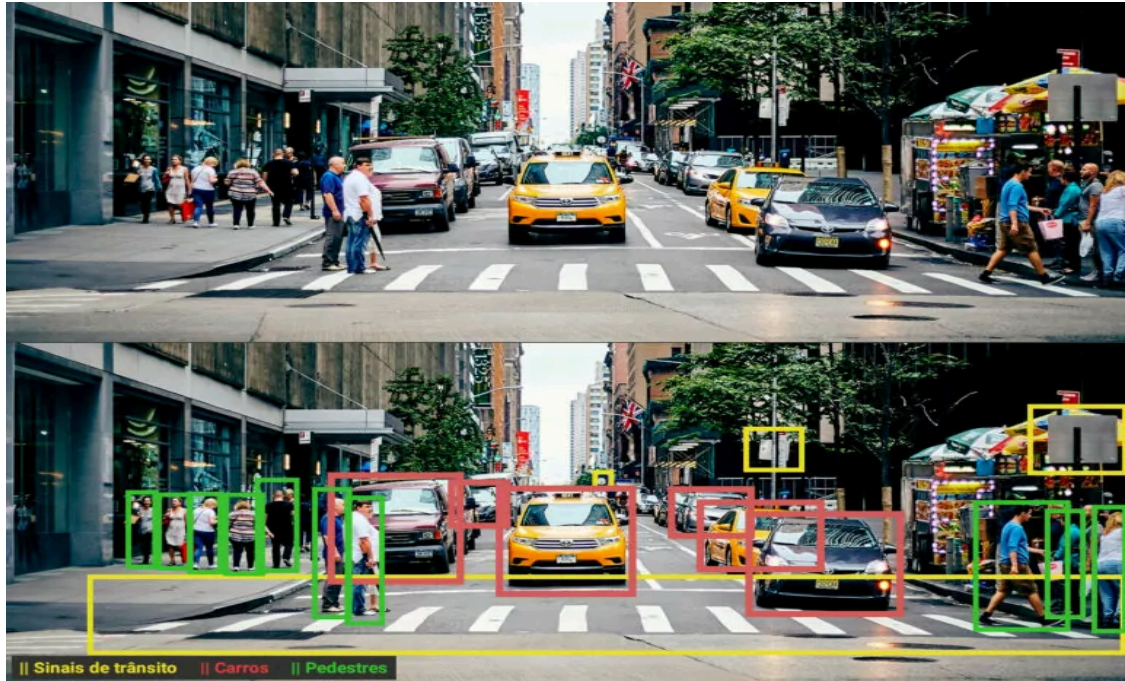
3.1.2. Técnicas de Visão Computacional

Para a prática da Visão Computacional, existem diversos tipos diferentes de visões, as técnicas que se encaixam mais no nosso propósito foram a detecção de objetos e a segmentação de imagens.

A detecção de objetos é uma tarefa em visão computacional que visa localizar e identificar objetos específicos em uma imagem ou vídeo. Ao contrário da classificação de imagens, que apenas atribui uma categoria à imagem como um todo, a detecção de objetos vai além, marcando as posições dos objetos com "caixas delimitadoras" (bounding boxes) e identificando suas categorias. Redes Neurais Convolucionais (CNNs) são amplamente utilizadas para essa tarefa, especialmente em arquiteturas

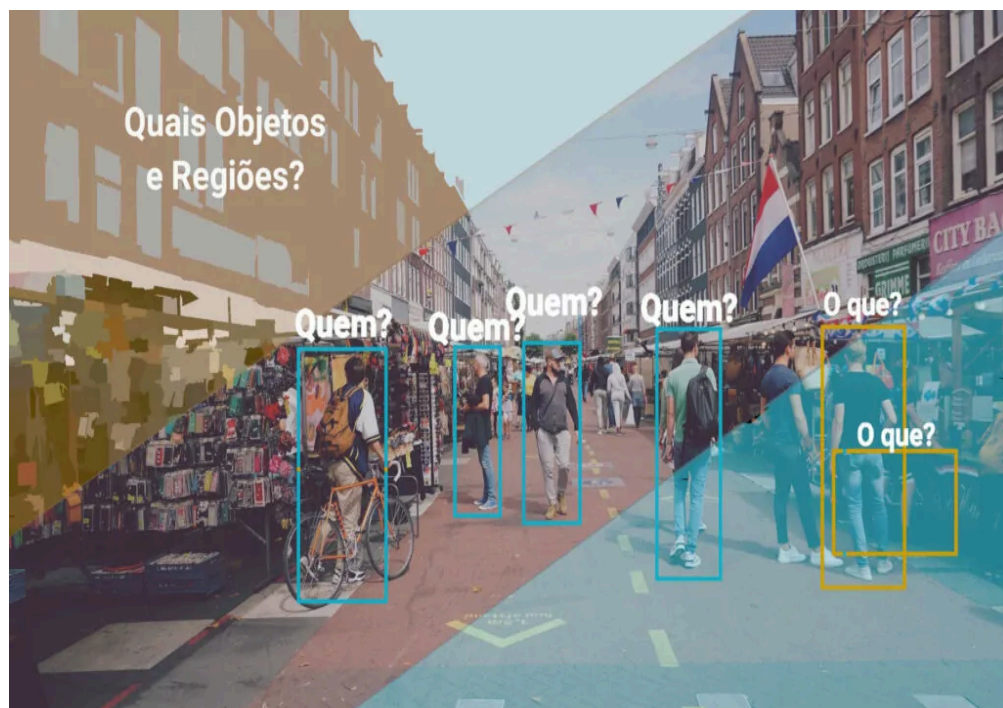
como YOLO (You Only Look Once) e Faster R-CNN, que permitem a detecção rápida e precisa de múltiplos objetos em uma única imagem. (Visão Computacional, 2022)

Figura 1: Detecção de Objetos



Fonte: (VISÃO COMPUTACIONAL, 2022)

Figura 2: Ilustração de segmentação, reconhecimento e identificação de objetos.



Fonte: (VISÃO COMPUTACIONAL, 2022)

A segmentação de imagem tem como objetivo dividir uma imagem em diferentes regiões ou objetos que a compõem, permitindo uma análise detalhada de suas partes. O nível de detalhe da segmentação depende do problema específico que se deseja resolver. Em termos práticos, o processo de segmentação deve ser concluído quando todos os objetos e regiões de interesse forem devidamente identificados. Realizar a segmentação em imagens complexas, com objetos não triviais, é uma das tarefas mais desafiadoras no processamento de imagens. A precisão na identificação correta da localização, forma e topologia dos objetos é crucial para o sucesso das análises computacionais subsequentes.

Figura 3: Análise através de Segmentação

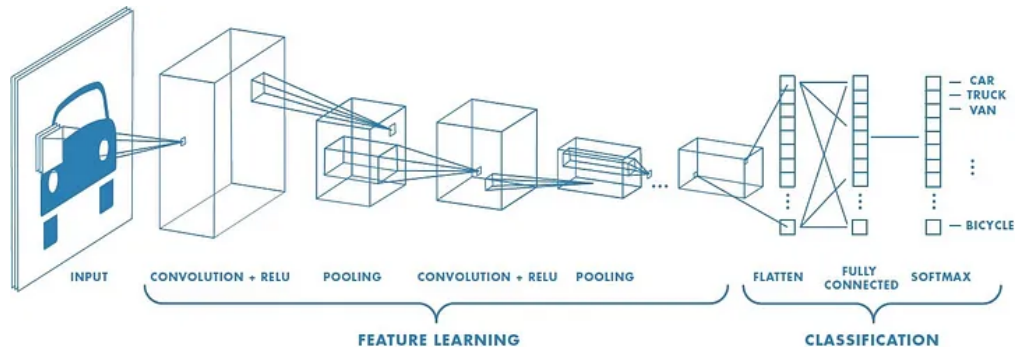


Fonte: (VISÃO COMPUTACIONAL, 2022)

3.1.3. Redes Neurais Convolucionais (CNNs)

Uma Rede Neural Convolutiva (CNN) é um algoritmo de aprendizado profundo que recebe uma imagem como entrada, atribui importância (por meio de pesos e vieses aprendidos) a diferentes aspectos ou objetos presentes na imagem, e é capaz de diferenciá-los entre si.

Figura 4: ilustração Rede Neural Convolutacional



Fonte: (MEDIUM, 2015)

3.1.3.1. Estrutura e Funcionamento das CNNs

As Redes Neurais Convolucionais (CNNs) são compostas por várias camadas, cada uma desempenhando funções específicas no processo de reconhecimento de padrões e processamento de imagens. As principais camadas de uma CNN são:

3.1.3.1.1. Camada de Convolução

A camada de convolução é a principal camada de uma rede convolutacional, responsável por detectar características locais da imagem e é onde fica localizado a maior parte dos cálculos. Consideremos que a entrada é uma imagem colorida composta por uma matriz de pixels 3D. Isso significa que a imagem possui três dimensões: uma altura, largura e profundidade, sendo esta última correspondente aos canais de cor (RGB). Ela exige alguns componentes como: dados de entrada, um filtro e um mapa de feições. Nessa camada, filtros (ou kernels) percorrem a imagem de entrada e aplicam operações de convolução para extrair padrões, como bordas, texturas e formas. A saída final da série de produtos escalares a partir da entrada e do filtro é conhecido como um mapa de feição, mapa de ativação ou uma feição convolvida. Este processo é conhecido como uma convolução. (IBM, 2024)

3.1.3.1.2. Camada de Pooling

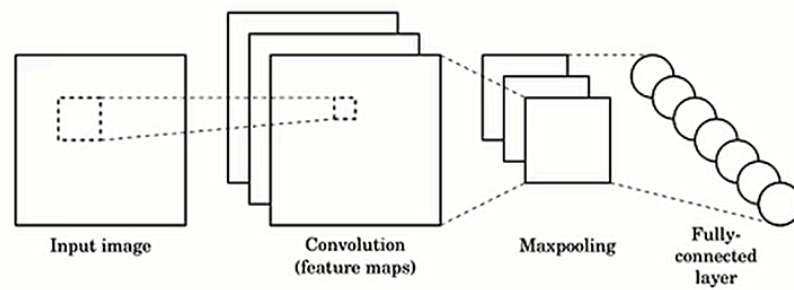
A camada de pooling é usada para reduzir a dimensionalidade dos mapas de características gerados pela convolução, diminuindo a quantidade de parâmetros e dados a serem processados. O método mais comum é o max pooling, que seleciona o valor máximo de uma região, preservando as informações mais importantes enquanto

reduz o tamanho da representação. Isso torna o modelo mais eficiente e menos sensível a pequenas variações na imagem.(IBM, 2024)

3.1.3.1.3. Função de Ativação

Após cada convolução, é aplicada uma função de ativação, que introduz não-linearidade no sistema, permitindo que a rede aprenda padrões mais complexos. A função de ativação mais utilizada em CNNs é a **ReLU (Rectified Linear Unit)**, que define os valores negativos como zero, mantendo os positivos. Isso ajuda a rede a se concentrar em características úteis e a evitar o problema do gradiente desaparecido, que pode ocorrer em redes profundas.(IBM, 2024)

Figura 5: Classificação de Redes Neurais Convolucionais

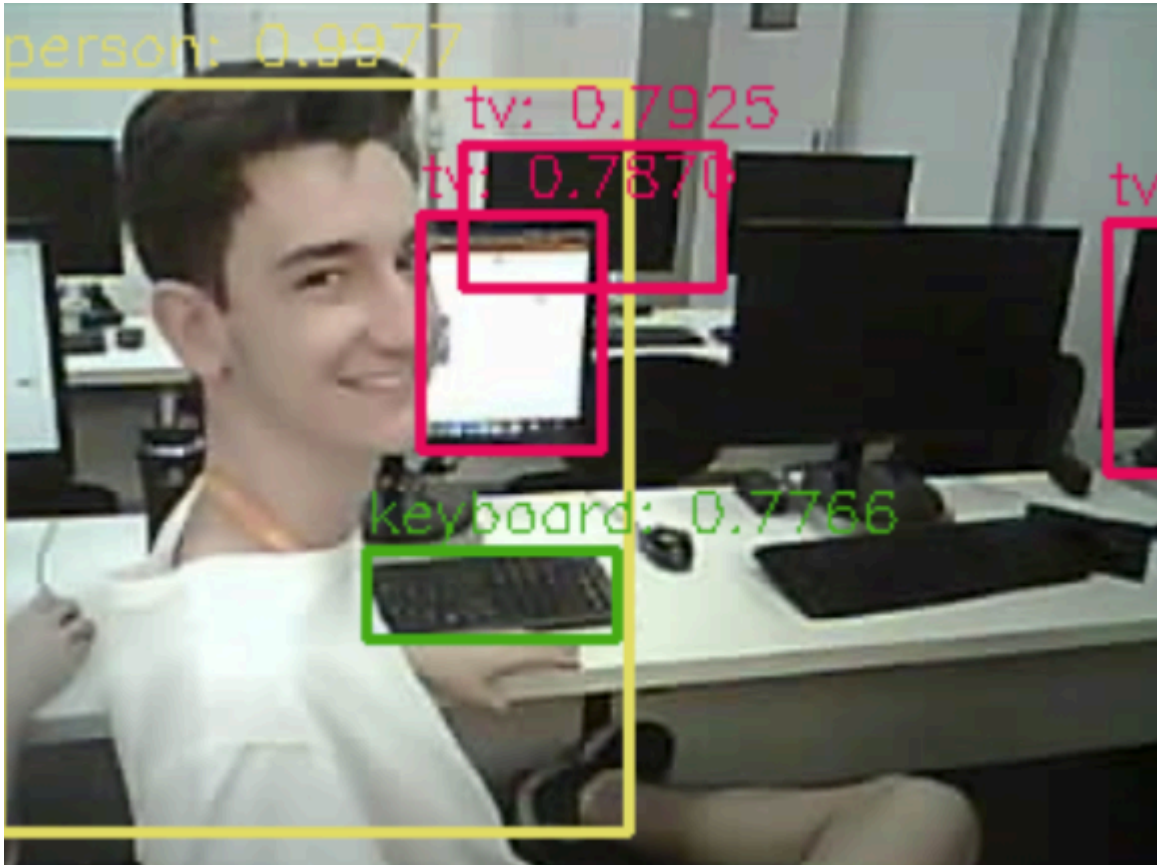


Fonte: (ROSSI, R., 2020)

3.1.3.2. YOLO (You Only Look Once)

YOLO (You Only Look Once) é uma das arquiteturas mais avançadas e populares para detecção de objetos em tempo real. Diferente de outras abordagens tradicionais, que dividem a detecção de objetos em duas etapas (proposta de regiões e classificação), o YOLO trata a detecção como um único problema de regressão, processando a imagem completa em uma única passada pela rede neural. Isso resulta em uma detecção extremamente rápida, o que torna o YOLO ideal para aplicações em tempo real, como sistemas de segurança, veículos autônomos e drones. (OpenCv, 2019)

Figura 6: Imagem tirada a partir do ESP32-CAM e analisada através do YOLO



Fonte: Autoria própria (2024)

Uma das principais vantagens do YOLO é sua velocidade. Por realizar a detecção em tempo real, ele pode ser executado em vídeos e aplicações dinâmicas com grande rapidez, sem comprometer muito a precisão. Além disso, como a rede processa a imagem inteira, o YOLO tem uma melhor visão contextual, permitindo detectar corretamente objetos que aparecem em diversas partes da imagem. Essa abordagem é vantajosa para detecção em cenários complexos ou onde há muitos objetos próximos uns dos outros. (OpenCv, 2019)

3.1.4. Ambiente de Testes e Configurações de Hardware

3.1.4.1. Hardware Utilizado para Testes da IA (YOLO)

- **Processador:** Intel Core i7 10ª geração
- **Memória RAM:** 4 GB DDR4
- **Placa de Vídeo (GPU):** NVIDIA GeForce RTX 3060 com 6 GB de RAM
- **Armazenamento:** SSD de 512 GB

- **Sistema Operacional:** Windows 10

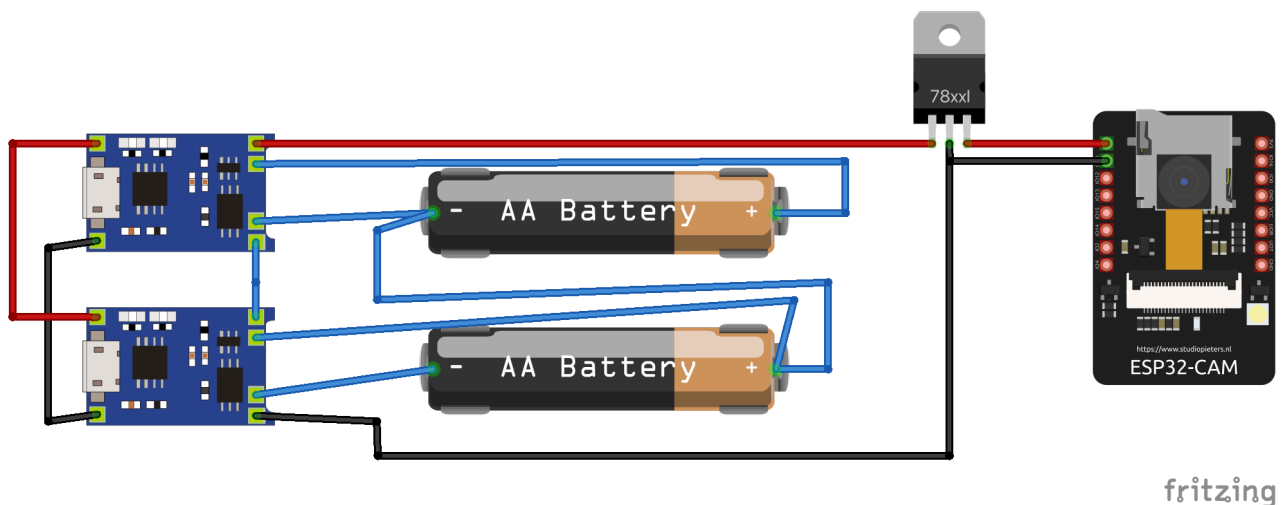
3.2. Hardware

O hardware do dispositivo abrange toda sua estrutura física e eletrônica, definindo os limites do poder de processamento e armazenamento, consumo de energia, conectividade Wi-fi/Bluetooth e tamanho físico da estrutura. A base do sistema é um microcontrolador com uma câmera integrada, o ESP32-CAM, conectado a um circuito de alimentação de duas baterias Li-Ion recarregáveis por conexão USB-C. Tudo isso é protegido por um invólucro de plástico PLA (ácido polilático), impresso em 3D.

3.2.1. Circuito

O circuito do protótipo é projetado especificamente para fornecer energia elétrica ao microcontrolador, permitindo seu funcionamento independente de uma conexão constante via USB a outras fontes de alimentação. Essa característica é essencial, considerando que o dispositivo será utilizado em diversos locais, garantindo mobilidade e praticidade.

Figura 7: Desenho de circuito de fornecimento de energia ao ESP32-CAM e carregamento



Fonte: Autoria própria (2024)

3.2.1.1. Componentes

3.2.1.1.1. Baterias de Li-ion 18650 3,7V 5500mAh

As baterias de Li-ion 18650 de 3,7V e 5500mAh são um tipo popular de bateria recarregável com diversas aplicações em eletrônicos portáteis e sistemas de armazenamento de energia. Seu modelo “18650” se refere às suas dimensões de 18mm de diâmetro e 65mm de comprimento. Elas fornecem corrente contínua (CC) com uma tensão nominal de 3,7V. Com uma capacidade de 5500mAh, essas baterias apresentam alta densidade de energia, garantindo maior durabilidade entre os ciclos de descarga e recarga.

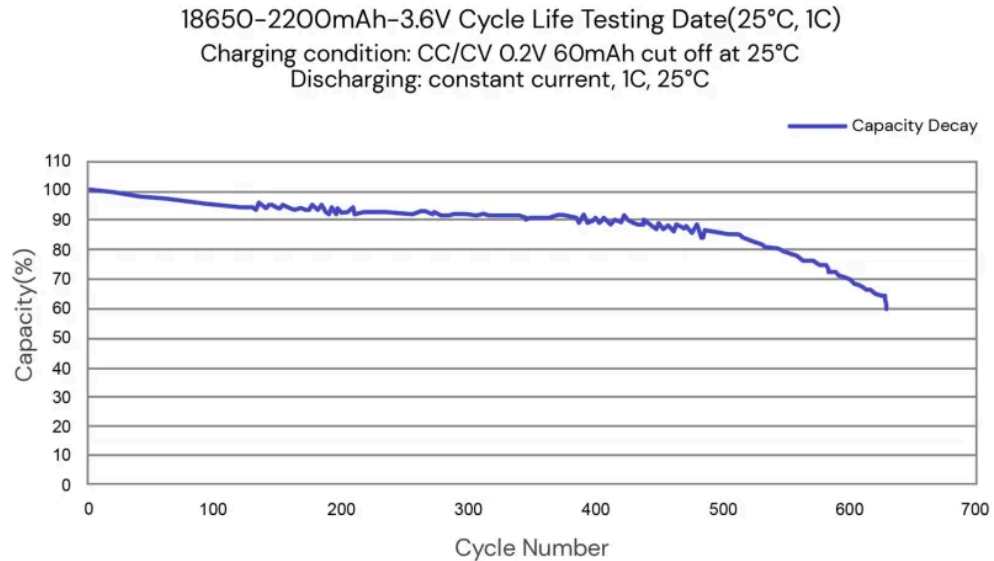
Figura 8: Imagem ilustrativa de Bateria Li-Ion 18650



Fonte: (FREEPIK, 2024)

Essas baterias têm um bom número de ciclos de carga e descarga, geralmente podendo durar de 300 a 500 ciclos, dependendo das condições de uso e cuidados. Um ciclo de vida é geralmente definido como uma carga completa da bateria (100%) seguida por uma descarga total (0%). No entanto, a maioria das aplicações não utiliza a bateria até a descarga total, então um ciclo de vida pode também ser considerado como várias cargas parciais que somam a uma descarga completa. Após atingir esse número de ciclos, a capacidade da bateria geralmente diminui para cerca de 70-80% da capacidade original, o que significa que ela não funcionará tão eficientemente quanto quando nova. (CMBATTERIES, 2024)

Figura 9: Gráfico de capacidade de carga máxima de bateria Li-Ion(%) conforme número de ciclos de recarga.

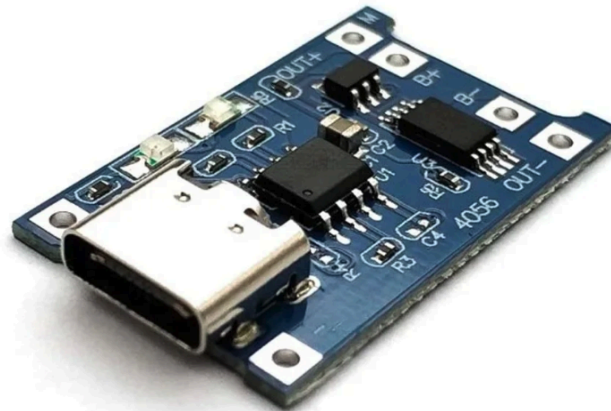


Fonte: (CMBATTERIES, 2024)

3.2.1.1.2. Módulos Carregadores de Baterias de Lítio TP4056 com Proteção - USB-C

Os módulos carregadores TP4056 são uma escolha popular para carregar baterias de íon de lítio, especialmente as células 18650. A entrada USB-C permite uma conexão mais moderna e reversível, além de ser um padrão cada vez mais comum, permitindo fornecimento de energia em maior potência, resultando em um carregamento mais rápido. Além disso, muitos módulos TP4056 vêm com proteção integrada contra sobrecarga, curto-circuito e descarga excessiva, possuindo recursos para controle de tensão e corrente durante o processo de carga. Isso ajuda a prolongar a vida útil da bateria e a prevenir acidentes.

Figura 10: Imagem ilustrativa de módulo carregador TP4056 USB-C



Fonte: (ELETROGATE, 2024)

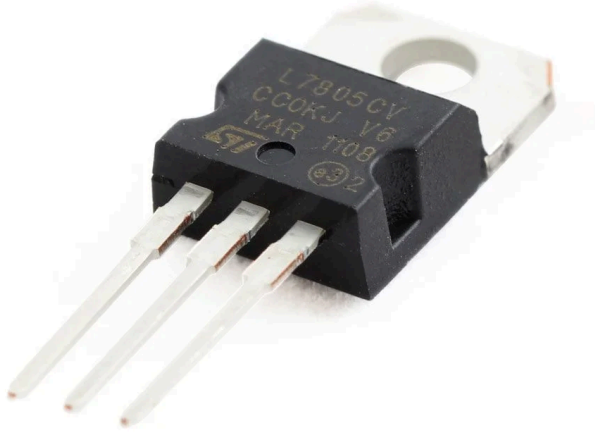
3.2.1.1.3. Regulador de tensão 5V L7805

O regulador de tensão L7805 é projetado para fornecer uma saída de tensão constante de 5V, a partir de uma tensão de entrada que pode variar entre 7V e 35V. Seu funcionamento é como um regulador linear, ou seja, converte uma tensão de entrada mais alta em uma tensão de saída mais baixa usando um princípio de resistência e dissipação de calor. Devido ao fornecimento de cerca de 8V provenientes da associação das baterias Li-Ion, sua implementação é essencial para o fornecimento adequado de 5V de tensão. O componente pode fornecer até 1A de corrente contínua, embora seja importante observar as limitações térmicas e de dissipação. Sua principal vantagem é seu baixo preço e praticidade de uso.

O L7805 tem três pinos:

- **Entrada (Vin)**: Conectado à tensão de entrada.
- **Saída (Vout)**: Fornece a tensão regulada de 5V.
- **Terra (GND)**: Conectado ao terra do circuito.

Figura 11: Imagem ilustrativa do regulador de tensão L7805

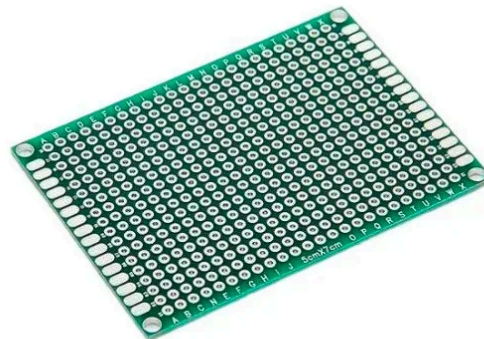


Fonte: (AUTOCOREROBOTICA, 2024)

3.2.1.1.4. Placa de circuito impresso

Para garantir uma conexão eficiente e compacta entre os componentes, optou-se pela utilização de uma placa de circuito impresso (PCB). As PCBs são geralmente formadas por camadas de material isolante, como fibras de vidro, com camadas de cobre laminadas sobre elas (ELECTRICITY MAGNETISM, 2024). Com a colaboração do professor Sérgio Marques, o circuito do protótipo foi projetado utilizando solda de estanho, aplicado sob as camadas de cobre.

Figura 12: Imagem ilustrativa de placa de circuito impresso (PCB)



Fonte: (FERMARC, 2024)

3.2.1.1.5. Suporte de baterias Li-Ion 18650

Para garantir o uso seguro e prático das baterias Li-Ion 18650, é essencial a adoção de suportes de bateria especificamente projetados para este modelo. Esses suportes desempenham um papel crucial na proteção das células, assegurando que elas estejam firmemente fixadas e devidamente conectadas ao circuito.

Figura 13: Imagem ilustrativa de suporte de bateria Li-Ion 18650



Fonte: (FERMARC, 2024)

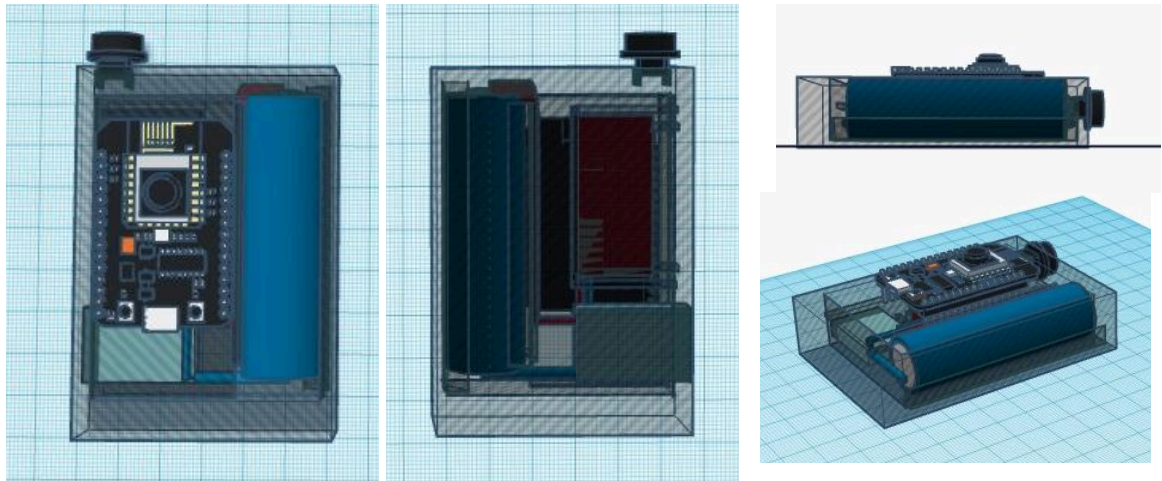
Além disso, um suporte apropriado não apenas facilita a instalação e a remoção das baterias, mas também contribui para a dissipação de calor, minimizando o risco de superaquecimento durante o funcionamento. Outro aspecto importante é que os suportes ajudam a evitar conexões incorretas, que poderiam resultar em curto-circuitos ou danos à bateria.

3.2.2. Envoltório

O envoltório do protótipo é um recipiente em formato de paralelogramo, impresso em impressora 3D com filamentos de PLA (ácido polilático), com uma abertura circular na parte frontal para encaixe da câmera, duas aberturas na face inferior para carregamento via conexão USB-C e aberturas paralelas nas faces laterais para circulação de ar.

Durante o processo de modelagem do dispositivo, diversos modelos foram propostos para a criação do envoltório. No entanto, devido às constantes mudanças realizadas no desenho do circuito para atender as necessidades do projeto, a maioria desses foram substituídos por versões que melhor se adequassem às novas demandas.

Figura 14: Modelagem do primeiro protótipo proposto

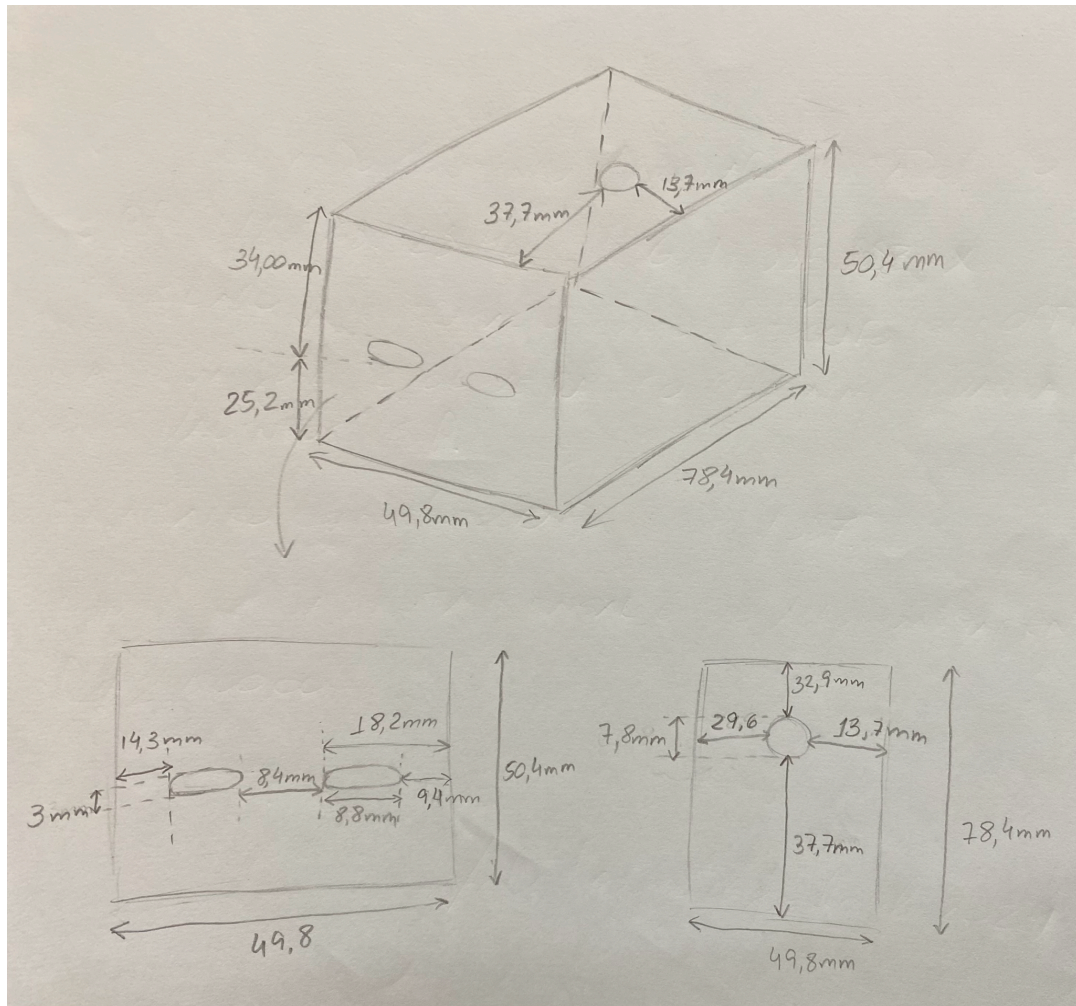


Fonte: Autoria própria (2024)

Algumas das principais alterações realizadas entre o primeiro protótipo e o modelo final foram: adição de uma bateria, para garantir maior tempo de vida entre duas recargas; adição de módulo carregador TP4056 com entrada USB-C e adição de placa de circuito impresso (PCB).

O modelo do protótipo final foi proposto a partir de cálculos de dimensões do circuito de alimentação já pré-montado, de forma que os componentes encaixem perfeitamente nos espaços disponíveis. Para as medições, foi utilizado um paquímetro e compilado as medidas observadas em um desenho do envoltório mostrando três diferentes pontos de vista notáveis. As medidas realizadas foram enviadas para o professor Wolney modelar e imprimir o envoltório na impressora 3D.

Figura 15: Desenho de medidas de dimensões do envoltório do protótipo



Fonte: Autoria própria (2024)

3.2.3. ESP32-CAM

O ESP32-CAM é um microcontrolador com uma câmera OV2640 integrada, permitindo a captura de imagens e transmissões de vídeos com resolução de até 1600x1200 pixels (WJ COMPONENTES, 2024). Por possuir câmera e conectividade Wi-Fi e Bluetooth, este dispositivo é ideal para o projeto. Além disso, ele possui um tamanho compacto (40x27x6mm), uma característica essencial para que seja atingido o objetivo de miniaturizar e tornar o dispositivo portátil.

Figura 16: Imagem ilustrativa do ESP32-CAM



Fonte: (AMAZON, 2024)

3.2.3.1. Programação

A programação do ESP32-CAM foi feita no ambiente Arduino IDE, utilizando a linguagem de programação C++, pois ela permite maior eficiência e tempo de execução mais rápido.

Para a programação, foram utilizadas as seguintes bibliotecas:

- Bibliotecas responsáveis pela câmera e captura de imagens (RANDOM NERD TUTORIALS, 2024):
 - **“esp_camera.h”**: utilizada para controlar a câmera, possui funções como inicializar a câmera e definir resolução da imagem.
 - **“WiFi.h”**: utilizada para gerenciar a conexão Wi-Fi no microcontrolador, permitindo conectar o ESP32-CAM a uma rede Wi-Fi, verificar o status da conexão e executar operações de rede, como o envio de dados.
- Bibliotecas responsáveis pelo envio das imagens para o servidor:
 - **“base64.h”**: responsável por codificar a imagem capturada pelo ESP32-CAM em dados em Base64, transformando dados binários, as fotos, em texto. Essa codificação torna mais fácil o envio da imagem para o servidor (TUTORIALS POINT, 2024).

- **“WebSocketsClient.h”**: permite a implementação de cliente WebSocket no ESP32, criando uma conexão com o servidor. Por meio dela, será enviada a imagem que será analisada pela Inteligência Artificial (LINKS2004, 2024).

O programa se inicia com a importação das bibliotecas necessárias e definição das credenciais da rede Wi-Fi, à qual o ESP32 irá se conectar, juntamente com o endereço IP e a porta do servidor WebSocket. Após as definições, o sistema tenta se conectar à rede Wi-Fi utilizando os dados fornecidos. Ao se conectar, o programa tenta estabelecer uma conexão WebSocket com o servidor através da porta e do IP fornecidos, por onde serão enviadas as imagens capturadas.

Quando a conexão é estabelecida com sucesso, o ESP32-CAM passa a capturar e enviar as fotos para o servidor a cada 500 milissegundos, recebendo como resposta um áudio descritivo sobre o ambiente. Este áudio, quando recebido, é reproduzido através de um fone bluetooth conectado ao dispositivo.

3.2.4. Custos

Quadro 1: Tabela de custos

Componente	Local ou site de compra com especificações	Custo (R\$)
ESP32-CAM		Fornecido pela escola
Regulador de tensão 5V L7805	Regulador de tensão	4,50
2 Módulos Carregadores de Baterias de Lítio TP4056 com Proteção - USB-C	Módulo carregador	6,90 cada
Suporte de baterias 18650 - 2 baterias	Suporte de baterias	5,50
2 baterias íon-Li 18650 3,7V 5500mAh	Comprado em loja física “Casa da Pilha”, em Campinas - SP	5,00 cada
Fios utilizados no circuito		Fornecido pelo Professor Sérgio Marques
Placa de circuito impresso		Fornecido pelo Professor

		Sérgio Marques
Materiais utilizados na impressão 3D do envoltório		Fornecido pelo Professor Wolney Junior
Custo total		33,80

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3. Servidor e Fluxo de Dados no Sistema IoT

3.3.1. Sistema IoT

A Internet das Coisas (IoT) é um conceito relacionado a conexão e troca de dados entre dispositivos e objetos por meio da Internet (NEVES, 2023). Esse sistema é composto por 4 elementos, sendo eles e suas relações com o presente projeto (SAP, 2023):

- **Captura de dados:** o ESP32-CAM atua como um dispositivo de captura de dados, uma vez que ele utiliza a câmera integrada para coletar imagens do ambiente em tempo real. As imagens capturadas são os dados que serão utilizados na análise;
- **Compartilhamento de dados:** este compartilhamento é realizado por meio de uma conexão WebSocket, que envia os dados, no caso, as imagens capturadas, para um servidor, onde eles serão processados. Além disso, por meio desta conexão, também é feito o envio de áudio descritivos do servidor para o ESP32-CAM;
- **Processamento de dados:** as imagens recebidas no servidor são encaminhadas para um rede neural convolucional, que processará os dados, identificando obstáculos e objetos. Após a detecção, a resposta da Inteligência Artificial é transformada em um áudio;
- **Providências tomadas com base nos dados:** com base nos dados capturados pelo ESP32 e analisados pela I.A., o sistema fornece um *feedback* em tempo real ao usuário, permitindo que ele tenha uma noção clara do ambiente ao redor.

3.3.2. Servidor

Servidor é o computador que realiza as operações, armazenamento de dados e comunicação entre os dispositivos IoT (QNAP BRASIL, 2024). Ele atua como um intermediário entre o ESP32-CAM e a Inteligência Artificial, fazendo com que os dados sejam recebidos e enviados por meio de uma API. A API (Interface de Programação de

Aplicações, do inglês) presente no servidor é um conjunto de definições que permitem que esses dois componentes se comuniquem entre si usando uma arquitetura WebSocket (AMAZON WEB SERVICES, 2023).

3.3.2.1. Tipos de APIs

Em um sistema IoT, dois tipos de APIs podem ser utilizados, a baseada em comunicação Rest e a em Web Socket.

3.3.2.1.1. API Rest

Uma API Rest é aquela que se comunica utilizando o protocolo HTTP e realiza funções como criar, ler, atualizar e excluir dados. Frequentemente, são usadas para conectar aplicações em uma arquitetura de microsserviços, na qual o cliente faz uma requisição e espera uma resposta do servidor, sendo criada, a cada requisição, uma nova conexão. Este tipo de API tem como principais características: é simples de projetá-la e implementá-la, pode ser utilizada para realizar a conexão entre uma variedade de aplicações e serviços, não oferece comunicação em tempo real e todas as requisições devem conter as informações necessárias para concluir a solicitação, podendo causar a sobrecarga da API Rest (IBM, 2023).

3.3.2.1.2. API WebSocket

Utilizando uma comunicação bidirecional, o WebSocket, este tipo de API mantém uma conexão persistente, uma vez que esta é estabelecida. O servidor chama funções do backend com base no conteúdo da mensagem recebida. Além disso, o WebSocket permite que o servidor envie mensagens ao cliente a qualquer momento, sem a necessidade de uma solicitação prévia (ROCKETSEAT, 2024). Assim, a API WebSocket é caracterizada pela maior complexidade de implementação, conexão persistente e bidirecional que oferece uma comunicação em tempo real, pouca sobrecarga da API (usam uma única conexão para transmitir os dados) e não são suportadas por todos os navegadores (GEEKSFORGEEKS, 2024).

3.3.2.2. Escolha da API WebSocket

Devido ao fato de a API WebSocket oferecer uma comunicação mais rápida e em tempo real e uma conexão persistente, esse tipo foi escolhido para ser utilizado no projeto. Para a sua implementação, foi usada a linguagem de programação Python, devido ao sua vasta opções de bibliotecas que auxiliam no desenvolvimento de uma aplicação WebSocket, além de que a Inteligência Artificial também foi desenvolvida em

Python, tornando a comunicação e passagem de dados mais direta e eficiente entre a API e a I.A, facilitando a integração do sistema.

Para o desenvolvimento, foi utilizada a biblioteca “websockets”, proporcionando uma implementação simples, robusta e eficiente para a comunicação entre o ESP32-CAM e o servidor. Esta biblioteca permite gerenciar múltiplos clientes simultaneamente, garantindo a troca de dados em tempo real. No projeto, a websockets foi responsável por estabelecer a conexão persistente com o ESP32-CAM, recebendo as imagens codificadas em Base64, processando-as e enviando o resultado em formato de áudio descritivo. A natureza assíncrona da biblioteca também possibilitou um fluxo contínuo e otimizado de dados, essencial para a detecção de obstáculos em tempo real.

Todos os testes realizados em relação ao tempo de envio da imagem pela API foram utilizando o computador com as seguintes configurações:

- **Processador:** Intel Core i5 10ª geração
- **Memória RAM:** 16 GB
- **Placa de Vídeo (GPU):** NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti
- **Armazenamento:** SSD de 1 TB
- **Sistema Operacional:** Windows 11

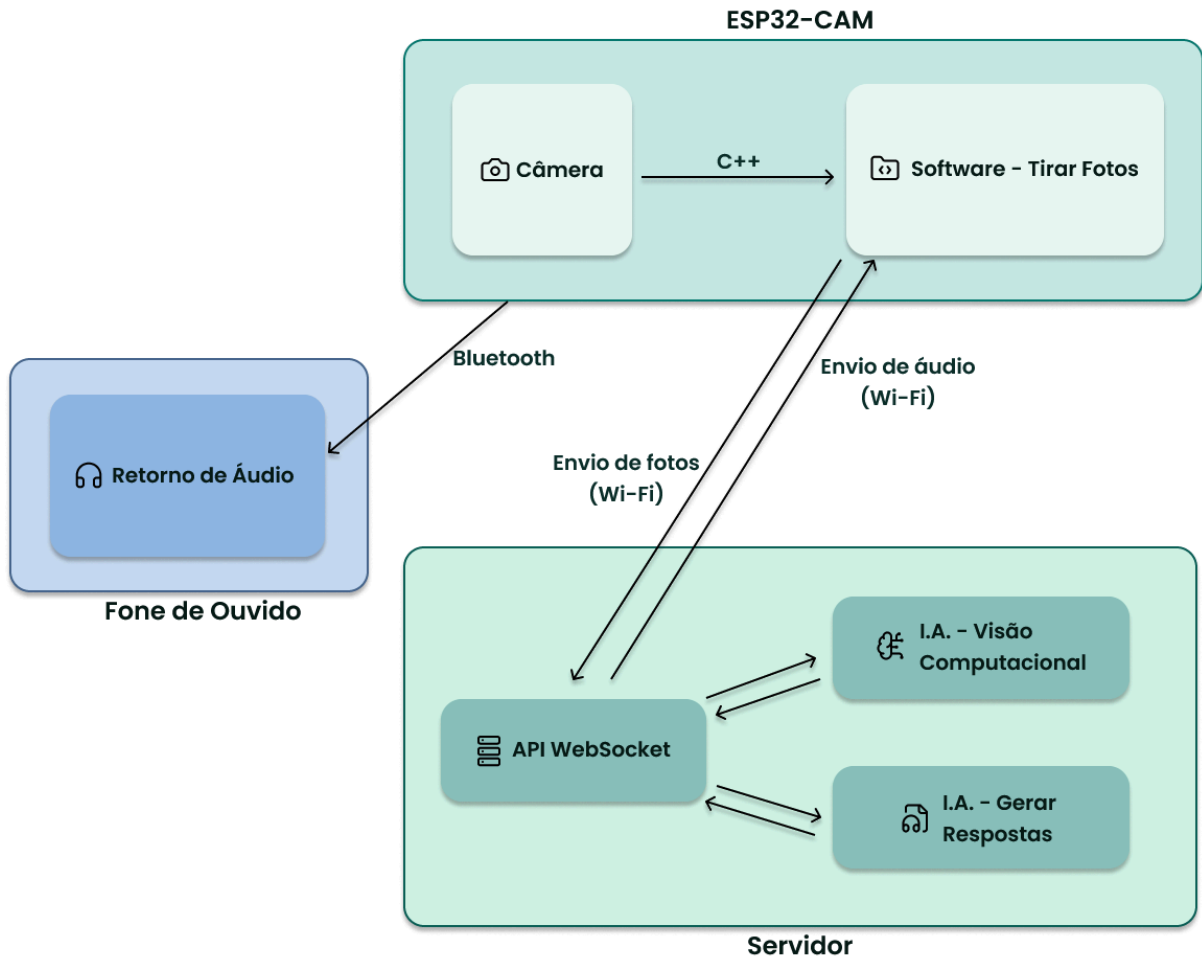
3.3.3. Fluxo de Dados do Sistema

A API foi desenvolvida de forma que ela aguarda a recepção de uma requisição e, ao receber uma, ela inicia o processo de estabelecer uma conexão. Uma vez conectada, ela espera a chegada de dados, que neste caso consistem em imagens codificadas em Base64. Ao receber uma nova mensagem, a API decodifica e a transforma em um arquivo visual, que é então enviado como parâmetro para a função responsável pela detecção de obstáculos.

A rede neural processa esta imagem e retorna uma sequência de palavras que descrevem os objetos identificados no ambiente. Esta informação é então encaminhada para outra Inteligência Artificial, que gera um áudio descritivo sobre os obstáculos detectados. Por fim, este áudio é enviado de volta para o ESP32-CAM. Esse procedimento se repete a cada nova imagem recebida.

O fluxo de dados explicado acima pode ser visualizado no diagrama de arquitetura de software.

Figura 17: Diagrama de arquitetura de software do projeto



Fonte: Autoria própria (2024)

4. RESULTADOS



A partir de testes experimentais em relação aos sistemas eletrônicos e programas computacionais utilizados no projeto, foram obtidos alguns resultados acerca da usabilidade, velocidade de resposta e durabilidade da bateria do protótipo desenvolvido.

4.1. Sistema de Captura de Imagem

A fim de encontrar o melhor equilíbrio entre a qualidade da imagem, para melhor identificação dos objetos por visão computacional, e o tempo de resposta para o feedback auditivo, foram testadas diferentes resoluções e formatos de imagens, comparando os seguintes parâmetros: fluidez (frequência entre duas imagens),

resolução e qualidade.

Quadro 2: Imagens obtidas nos testes experimentais para diferentes valores de qualidade e resolução.

Resolução	Qualidade alta	Qualidade média	Qualidade baixa
QCIF (176x144)			
HD (1280x720)			
QVGA (480x320)			
SVGA (800x600)			

Fonte: Autoria própria (2024)

Todas as imagens foram retiradas no mesmo dia, horário e local e submetidas à mesma iluminação. Foram tomadas quatro resoluções para testes, duas menores e com menor quantidade de pixels, QCIF e QVGA, e duas maiores e com maior quantidade de pixels, SVGA e HD. As fotos com maior resolução apresentaram visibilidade satisfatória para todos os níveis de qualidade de imagem, ou seja, é possível distinguir com clareza os elementos que as compõem. Já as fotos com menor

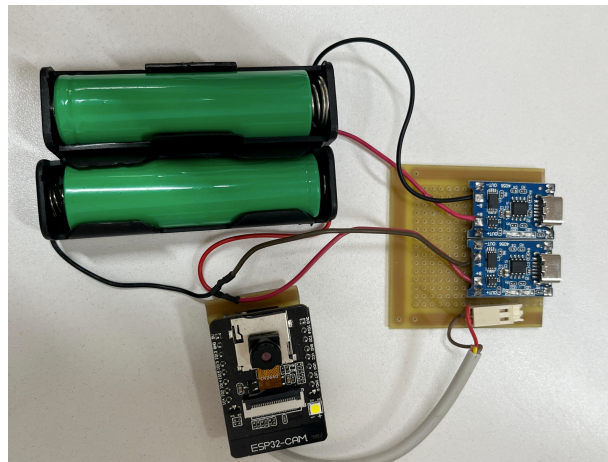
resolução apresentaram uma visibilidade mais prejudicada, sendo considerada satisfatória somente para qualidades elevadas. Em relação a fluidez, a situação é inversa, as fotos com menor resolução apresentaram maior fluidez, principalmente para as qualidades mais baixas, sendo possível tirar diversas fotos em períodos de tempo extremamente curtos, gerando vídeos com taxa de quadros relativamente constantes na faixa de 30 a 40 fps. Em contrapartida, as fotos retiradas nas maiores resoluções apresentaram fluidez baixa, especialmente as de qualidade elevada, gerando vídeos com taxa de quadros bem variáveis, estabelecendo uma média de 10 fps. Desse modo, a resolução que se demonstrou com o melhor equilíbrio entre qualidade e fluidez foi a QVGA em qualidade alta.

4.2. Circuito de Alimentação Energética

O circuito de alimentação, desenvolvido para independência do hardware de constante conexão de cabo de energia, foi projetado na plataforma Fritzing e passou por cálculos analíticos teóricos para estimação do tempo de vida esperado da bateria.

Esse é composto por 2 baterias Li-Ion de cerca de 8V conectadas a dois módulos carregadores de entrada tipo USB-C, além de um modulador de tensão para 5V em forma de garfo.

Figura 18: Circuito de fornecimento de energia para ESP32-CAM e carregamento



Fonte: Autoria própria (2024)

O circuito final não se diferenciou muito do idealizado, sendo sua principal diferença a troca da protoboard pela placa de circuito impresso, o que permitiu a

diminuição do tamanho do protótipo. No entanto, as conexões realizadas pelos fios, identificados em preto e vermelho na figura, são relativamente frágeis, não necessitando de muito esforço para rompê-las.

De acordo com uma estimativa teórica do tempo de vida das baterias Li-Ion, levando em consideração o consumo de energia médio do ESP32-CAM em atividade, de 300mA, e a capacidade máxima de armazenamento das baterias, de 5500mAh, foi possível concluir que o tempo de vida das baterias entre duas recargas é de aproximadamente 18 horas.

4.3. YOLO - Visão Computacional

A rede neural utilizada para visão computacional dos obstáculos se demonstrou bastante eficiente, conseguindo detectar diferentes tipos de objetos em diversos locais. No entanto, um problema notável é a necessidade de uma boa iluminação para seu correto funcionamento. Locais pouco iluminados ou com fontes de iluminação não-branca geralmente prejudicam a percepção da inteligência artificial dos objetos, e diminui consideravelmente a confiabilidade dos resultados gerados. O treinamento realizado, permitiu a ela identificar uma gama maior de objetos e obstáculos de relevante interesse para a locomoção em ambientes internos e externos, como portas e cones.

4.4. API WebSocket

Para avaliar a eficiência e rapidez da API desenvolvida, foram feitos três testes utilizando imagens com diferentes resoluções, todas configuradas com qualidade média.

Quadro 3: Tempos de envio da imagem pela API obtidos nos testes experimentais

Resolução	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo médio
QCIF (176x144)	19 ms	10 ms	12 ms	13,67 ms
HD (1280x720)	80 ms	97 ms	73 ms	83,33 ms
QVGA (480x320)	12 ms	13 ms	11 ms	12 ms
SVGA (800x600)	294 ms	91 ms	257 ms	214 ms

Fonte: Autoria própria (2024)

Com base nesses dados, foi possível identificar as resoluções mais viáveis para o projeto, como QCIF e QVGA, que apresentaram tempos de envio significativamente menores. Além disso, os testes demonstraram a eficiência da API WebSocket, comprovando sua capacidade de manter uma comunicação rápida e confiável, mesmo em diferentes condições de resolução.

4.5. Protótipo

O protótipo final apresenta formato de paralelograma com dimensões 50x50x78,5 (altura x comprimento x profundidade em mm) de filamentos de PLA. Apesar de pequeno, ele ainda é grande para o propósito do projeto, que visa miniaturizar o dispositivo e torná-lo portátil. Isso foi impossibilitado pelo tamanho dos componentes, principalmente, o das pilhas. Porém, apesar disso, foi possível construir

O protótipo final apresenta formato de paralelogramo com dimensões de 50x50x78,5 mm (altura x comprimento x profundidade) e foi confeccionado em filamentos de PLA. Embora suas dimensões sejam compactas, ainda são excessivas para os objetivos do projeto, que busca a miniaturização do dispositivo e sua portabilidade. Essa limitação é, em grande parte, devido ao tamanho dos componentes utilizados, especialmente das pilhas.

Porém, mesmo diante dessas restrições, foi possível desenvolver um protótipo funcional e de qualidade. O design robusto em PLA proporciona resistência e durabilidade, enquanto a precisão nas medidas assegura um encaixe adequado dos componentes internos. Além disso, a escolha do material favorece a leveza do dispositivo, contribuindo para a portabilidade desejada.

Figura 19: Foto frontal do protótipo final do dispositivo



Fonte: Autoria própria (2024)

5. CONCLUSÕES

Com base no que foi produzido e os resultados obtidos, foi possível concluir que, apesar das grandes dificuldades enfrentadas em relação às limitações do poder computacional do hardware utilizado, o desenvolvimento de um sistema de detecção de objetos em tempo real para auxílio na locomoção de ambientes externos e internos utilizando uma solução de Internet das Coisas (IoT) com o microcontrolador ESP32-CAM é possível. No entanto, apresenta algumas limitações como a necessidade constante de conexão Wi-fi e seu tamanho que, embora as tentativas de minimização, ainda é relativamente grande. Além disso, é necessário que o dispositivo seja utilizado em ambiente muito bem iluminado para extrair seu melhor desempenho. Quanto ao circuito de alimentação e a rede neural, seu desempenho é adequado e cumpre muito bem com as demandas do projeto.

6. BIBLIOGRAFIA

AMAZON. APKLVSR Wireless Bluetooth Development Board Dual Core. Disponível em: <https://www.amazon.co.uk/APKLVSR-Wireless-Bluetooth-Development-Dual-Core/dp/B0CHY9S2RK>

. Acesso em: 30 set. 2024.

AMAZON WEB SERVICES. O que é uma API?. Amazon Web Services, 2023. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/api/>. Acesso em: 9 ago. 2024.

AUTOCOREROBOTICA. Regulador de tensão L7805 5V 1.5A. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/produto/regulador-de-tensao-l7805-5v-15a>. Acesso em: 16 mai. 2024.

CAES-GUIA EM ATIVIDADE NO BRASIL. União Nacional de Usuários de Cães-Guias, 2024. Disponível em: <https://unucg.org.br/caes-guias-no-brasil/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CMBATTERIES. Como a vida útil da bateria 18650 pode ser prolongada. Disponível em: <https://cmbatteries.com/pt/como-a-vida-%C3%BAtil-da-bateria-18650-pode-ser-prolongada/>. Acesso em: 16 mai. 2024.

CMBATTERIES. Compreensão abrangente do ciclo de vida da bateria de íon de lítio. Disponível em: <https://cmbatteries.com/pt/compreens%C3%A3o-abrangente-do-ciclo-de-vida-da-bateria-de-%C3%ADon-de-l%C3%ADtio/>. Acesso em: 04 out. 2024.

ELECTRICITY MAGNETISM. Placas de circuito impresso. Disponível em: <https://www.electricity-magnetism.org/pt-br/placas-de-circuito-impresso/>. Acesso em: 28 set. 2024.

ELETROGATE. Módulo carregador de baterias de lítio TP4056 com proteção USB-C. Disponível em: [https://www.eletrogate.com/modulo-carregador-de-baterias-de-litio-tp4056-com-protecao-usb-c?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=\[MC4\]_\[G\]_\[PMax\]_Arduin oRoboticaSensoresModuloss&utm_content=&utm_term=&gad_source=1&qclid=Cj0KCQjwpP63BhDYARIsAOQkATZzplZVUtUeVEVvRjCqdYKVfPZCMKP3pZFtXzD9oJ6-q20ToeKcge8aAr3cEALw_wcB](https://www.eletrogate.com/modulo-carregador-de-baterias-de-litio-tp4056-com-protecao-usb-c?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=[MC4]_[G]_[PMax]_Arduin oRoboticaSensoresModuloss&utm_content=&utm_term=&gad_source=1&qclid=Cj0KCQjwpP63BhDYARIsAOQkATZzplZVUtUeVEVvRjCqdYKVfPZCMKP3pZFtXzD9oJ6-q20ToeKcge8aAr3cEALw_wcB). Acesso em: 28 set. 2024.

ENTENDER A DETECÇÃO DE OBJETOS. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/training/modules/detect-objects-images/2-understand-object-detection>. Acesso em: 14 mai. 2024.

FERMARC. Placa de circuito impressoilhada dupla face 5x7 cm. Disponível em: <https://www.fermarc.com/produto/placa-de-circuito-impresso-ilhada-dupla-face-5x7-cm.html>. Acesso em: 28 set. 2024.

FREEPIK. Bateria verde isolada no fundo branco: bateria 18650 de íon-lítio em branco. Disponível em: https://br.freepik.com/fotos-premium/bateria-verde-isolada-no-fundo-branco-bateria-18650-de-ion-litio-em-branco_21103774.htm. Acesso em: 28 set. 2024.

GEEKSFORGEEEKS. Difference between REST API and WebSocket API. Disponível em: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-rest-api-and-web-socket-api/>. Acesso em: 17 set. 2024.

GIL, Marta (org.). Deficiência Visual. Brasília: MEC. Secretaria de Educação a Distância, 2000. 80 p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/deficienciavisual.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2024.

IBGE (BRASIL). Estatísticas Sociais. PNS 2019: país tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência. Agência IBGE notícias, [s. l.], 26 ago. 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>. Acesso em: 17 mar. 2024.

IBM. O que é uma API REST? 3 maio 2023. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/rest-apis>. Acesso em: 17 set. 2024.

LINKS2004. Arduino WebSockets: README. Disponível em: <https://github.com/Links2004/arduinoWebSockets/blob/master/README.md>. Acesso em: 04 out. 2024.

MCTI DISCUTE POLÍTICAS PÚBLICAS COM INSTITUIÇÕES QUE TREINAM CÃES-GUIA. Gov.br, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/12/mcti-discute-politicas-publicas-com-instituicoes-que-treinam-caes-guia#:~:text=%E2%80%9Choje%2C%20tem>

[os%20cerca%20de%207,%20guia%20trabalhando%20no%20Brasil.%E2%80%9D.](#)
Acesso em: 20 mar. 2024.

MICROPROGRAMADOR. ESP32 low power: maximizando eficiência. Disponível em: <https://www.microprogramador.com.br/2023/07/esp32-low-power-maximizando-eficiencia.html>. Acesso em: 1 set. 2024.

NEVES, Mateus Aparecido Tonin. Internet das Coisas (IoT): Introdução e Visão Geral de Aplicações. Acervo Digital da UFPR, 2023. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/70452/MATEUS-APARECIDO-TONIN-NEVES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 mar. 2024.

O QUE É SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM? IBM, 16 fev. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/image-segmentation>. Acesso em: 11 set. 2024.

ORCAM DEVICE. [S. l.]: Wikipedia, The Free Encyclopedia, 19 abr. 2024. Disponível em: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=OrCam_device&oldid=1219660132. Acesso em: 15 fev. 2024.

ORCAM: MY EYE. [S. l.], [2023?]. Disponível em: <https://www.orcam.com/pt-pt/orcam-myeye>. Acesso em: 15 fev. 2024.

PESSOA, E. B.; RABELO, J. A. A.; JIMENEZ, L. F. DE S. Protótipo: Braclete Detector de Obstáculos para Deficientes Visuais / Prototype: Obstacle Detector Bracelet for the Visually Impaired. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 22872–22889, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n3-144. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/25909>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PIEMONTEZ, P. Identificação, Detecção, Reconhecimento e Segmentação de Imagem e Objetos. Disponível em: <https://visaocomputacional.com.br/identificacao-deteccao-reconhecimento-e-segmentacao-de-imagem-e-objetos/>. Acesso em: 8 set. 2024.

ROCKETSEAT. WebSocket: o que é e como usar? Disponível em: <https://www.rocketseat.com.br/blog/artigos/post/web-socket-o-que-e-e-como-usar>. Acesso em: 17 set. 2024.

RANDOM NERD TUTORIALS. ESP32 CAM: tirar foto e exibir em servidor web. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-take-photo-display-web-server/#:~:text=to%20your%20board.-,Demonstration,with%20the%20latest%20saved%20photo>. Acesso em: 20 mai. 2024.

ROSSI, R. Tópicos em IA - Aula 10 - Parte 3 - Redes Neurais Convolucionais e Filtros de Convolução. Disponível em: <https://youtu.be/6Mk0LeHvSww?si=3Ya7RT2jYZMqfia5>. Acesso em: 12 set. 2024.

SAHA, S. A comprehensive guide to convolutional neural networks — the ELI5 way. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>. Acesso em: 18 set. 2024.

SAP. O que é IoT?. SAP, 2023. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/products/artificial-intelligence/what-is-iot.html>. Acesso em: 18 mar. 2024.

OPENCV. YOLO - object detection: OpenCV tutorial 2019 documentation. Disponível em: <https://opencv-tutorial.readthedocs.io/en/latest/yolo/yolo.html>. Acesso em: 4 out. 2024.

QNAP BRASIL. O que é servidor de armazenamento de dados. Disponível em: <https://www.qnapbrasil.com.br/blog/post/o-que-e-servidor-armazenamento-de-dados>. Acesso em: 09 ago. 2024.

TOKARSKI, Jéssica. Estudantes de Engenharia Elétrica criam dispositivo de acessibilidade para cegos e deficientes visuais. Universidade Federal do Paraná, [s. l.], 27 mar. 2023. Disponível em: <https://ufpr.br/estudantes-de-engenharia-eletrica-criam-dispositivo-de-acessibilidade-para-cegos-e-deficientes-visuais/>. Acesso em: 16 fev. 2024.

TUTORIALS POINT. Arduino: codificação e decodificação Base64. Disponível em: <https://www.tutorialspoint.com/arduino-base64-encode-and-decode>. Acesso em: 26 set. 2024.

VENTURA, L. A. S. Fila para obter cão-guia no Brasil tem mais de 500 pessoas. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/brasil/vencer-limites/fila-para-obter-cao-guia-no-brasil-tem-mais-de-500-pessoas>. Acesso em: 20 fev. 2024.

WIKIPEDIA. Circuito impresso. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_impresso. Acesso em: 28 out. 2024.

WJ COMPONENTES. ESP32-CAM: O Microcontrolador com Módulo de Câmera. WJ Componentes, 2023. Disponível em: <https://www.wjcomponentes.com.br/esp32-cam#:~:text=ESP32%2DCAM%3A%20O%20Microcontrolador%20com>. Acesso em: 10 mar. 2024.