

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

**PAULO VINICIUS ARAUJO FEITOSA
GUILHERME MARCATO MENDES JUSTIÇA**

**DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE SOM AMBIENTE PARA AUXÍLIO
DOMÉSTICO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

São Bernardo do Campo
2025

PAULO VINICIUS ARAUJO FEITOSA
GUILHERME MARCATO MENDES JUSTIÇA

**DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE SOM AMBIENTE PARA AUXÍLIO
DOMÉSTICO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de Bacharel em
Ciência da Computação. Orientado pelo Prof. Dr.
Plinio Thomaz Aquino Junior.

São Bernardo do Campo
2025

PAULO VINICIUS ARAUJO FEITOSA
GUILHERME MARCATO MENDES JUSTIÇA

**DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE SOM AMBIENTE PARA AUXÍLIO
DOMÉSTICO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de Bacharel em
Ciência da Computação.

Comissão julgadora

Prof. Dr. Plinio Thomaz Aquino Junior

Prof. Dr. Arthur Charles Clarke

Profa. Dra. Mary Shelley

São Bernardo do Campo

xx/xx/2024

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema inteligente voltado a auxiliar pessoas com deficiência auditiva em ambientes domésticos, por meio da detecção e identificação de sons relevantes. O problema abordado é a dificuldade que pessoas com deficiência auditiva enfrentam para manter independência e autonomia em seu cotidiano ao não perceberem alertas sonoros essenciais, necessitando do auxílio da convivência de pessoas ouvintes ou de percepções visuais por toda a casa. A solução proposta combina o uso da *Raspberry Pi* com um microfone de saída I2S digital, permitindo a detecção do som, e o modelo de inteligência artificial *Yet Another Mobile Network* (YAMNet), possibilitando a sua identificação, para alertar o usuário por meio de alertas visuais e vibratórios em seu celular. O microfone é conectado à *Raspberry Pi*, que, ao detectar um som, envia as informações do som ao sistema do hardware, que processa o áudio recebido e o classifica. Uma vez identificado, o som tem seus dados enviados para um banco de dados, que gerencia as informações do usuário e aciona o aplicativo no celular, responsável por notificá-lo em tempo real com o horário, o local e o tipo de som identificado. Espera-se que o desenvolvimento desse sistema contribua significativamente para a autonomia de pessoas com deficiência auditiva, promovendo acessibilidade, segurança e qualidade de vida por meio da tecnologia embarcada, inteligência artificial e um aplicativo acessível.

Palavras-chave: Acessibilidade, Detecção de som, Identificação de som, *Raspberry Pi*.

ABSTRACT

This work presents the development of an intelligent system aimed at assisting people with hearing impairments in domestic environments through the detection and classification of relevant sounds. The addressed problem is the difficulty that people with hearing impairments face in maintaining independence and autonomy in their daily lives due to the inability to perceive essential auditory alerts, often relying on the presence of hearing individuals or the installation of visual indicators throughout the house. The proposed solution combines the use of a Raspberry Pi with a digital microphone featuring an I2S output, enabling sound detection, and the artificial intelligence model Yet Another Mobile Network (YAMNet), responsible for sound classification, to notify the user through visual and vibratory alerts on their smartphone. The microphone is connected to the Raspberry Pi, which, upon detecting a sound, sends the audio to the embedded system for processing and classification. Once classified, the sound data is sent to a cloud database that manages user information and triggers the mobile application, which promptly notifies the user of the time, location, and type of sound detected. The system is expected to significantly enhance the autonomy of people with hearing impairments by promoting accessibility, safety, and quality of life through embedded technology, artificial intelligence, and an inclusive mobile application.

Keywords: Accessibility, Sound Detection, Sound Identification, Raspberry Pi.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVO	8
3	CONCEITOS FUNDAMENTAIS	9
3.1	HARDWARES	9
3.1.1	Raspberry Pi	9
3.1.2	Microfone Adafruit	9
3.2	SOFTWARES E BIBLIOTECAS	10
3.2.1	BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE)	10
3.2.2	DESKTOP BUS (D-BUS)	10
3.2.3	BlueZ	10
3.2.4	Generic Attributes (GATT)	10
3.2.5	ESPECTROGRAMA MEL	11
3.2.6	Rede Neural	11
3.2.7	Yet Another Mobile Network (YAMNet)	11
3.2.8	SoundDevice	12
3.2.9	Tensorflow	12
3.2.10	Firebase	12
3.2.11	Flutter	12
4	TRABALHOS RELACIONADOS	13
4.1	<i>A Personalizable Mobile Sound Detector app Design for Deaf and Hard-of-Hearing Users</i>	13
4.2	<i>Exploring Sound Awareness in the Home for People who are Deaf or Hard of Hearing</i>	14
4.3	<i>Radio frequency fingerprint-based drone identification and classification using Mel spectrograms and pre-trained YAMNet neural</i>	14
4.4	<i>IoT-Based Elderly Health Monitoring System Using Firebase Cloud Computing</i>	15
4.5	<i>A Deep Dive into Flutter's Accessibility Widgets</i>	16
5	METODOLOGIA	17
5.1	Pesquisa de Campo	17
5.1.1	Instrumento e Análise	17
5.2	Desenvolvimento do <i>hardware</i>	18

5.2.1	Escolha do componentes	18
5.2.2	Detecção de Som e pré-processamento	18
5.2.2.1	<i>Captação do som</i>	18
5.2.2.2	<i>Pré-processamento</i>	19
5.2.3	Identificação do som	20
5.2.3.1	<i>Classificação do som com o YAMNet</i>	20
5.2.3.2	<i>Filtragem de sons relevantes</i>	21
5.2.4	Comunicação com o banco de dados	21
5.2.5	Desenvolvimento da Interface do Usuário	22
5.2.5.1	<i>Cadastro do usuário e da Raspberry Pi no aplicativo</i>	22
5.2.5.2	<i>Envio de notificações</i>	23
5.3	Validação e usabilidade do sistema	24
5.4	Cronograma	24
	REFERÊNCIAS	30
	APÊNDICE A – QUESTÕES DA PESQUISA DE CAMPO	33

1 INTRODUÇÃO

A deficiência auditiva consiste em uma privação sensorial caracterizada pela perda parcial ou total da capacidade de percepção dos sons, que pode ser causada por fatores genéticos ou ambientais, como má-formação ou lesões que afetam as estruturas do aparelho auditivo. A classificação segue critérios como o grau de perda auditiva, medido em decibéis, e a influência dessa perda no desenvolvimento cognitivo, social e educacional do indivíduo (DESEN; BRITO, 1997).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2019, 2,3 milhões de pessoas no Brasil (1,1% do índice populacional) viviam com alguma dificuldade para identificar sons, seja de modo leve ou severo, e espera-se que esse número aumente ao longo dos anos (NOTÍCIAS, 2021).

A comunidade surda enfrenta inúmeros desafios relacionados à sua deficiência, como falta de acessibilidade e de sinalização visual nos ambientes comuns; exclusão social por falta de comunicação inclusiva ou legendas precisas; dependência de pessoas ouvintes para se localizarem ou se comunicarem, entre outros fatores que impactam social, psicológica e economicamente esses indivíduos. Em paralelo aos ambientes externos, os surdos também enfrentam grandes dificuldades de independência em suas moradias, destacando a ausência de mecanismos de conscientização sonora e preocupações sobre sua privacidade ao tentarem usar a tecnologia a seu favor (TOWLE, 2023). Por conta disso, muitos estão interessados em ter acesso aos sons domésticos importantes, como: alarmes emergenciais, pedidos de ajuda, animais, micro-ondas, aspirador de pó, entre outros eletrodomésticos (JAIN et al., 2019).

A capacidade tecnológica de gerar técnicas associadas à necessidade de conhecimento e comportamento social é alta e as configurações digitais atuais, já inseridas na comunidade, permitem a relação interpessoal e a conexão do indivíduo com o ambiente que o cerca. Nesse sentido, é imprescindível avaliar a tecnologia no contexto de acessibilidade, permitindo que pessoas com qualquer deficiência se incluam nas dinâmicas sociais e econômicas atuais (HOTT; FRAZ, 2019). De acordo com o Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (e-MAG) (Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, 2011), um ambiente digital que busca gerar acessibilidade deve levar em consideração a escolaridade, idade, experiência com a tecnologia, bem como o tipo e grau de deficiência. Para que pessoas com deficiência (PcD) possam viver de forma independente e participar plenamente em todos os aspectos da vida, medidas apropriadas devem ser feitas para oferecer melhores condições coti-

dianas, como o acesso ao meio físico, ao transporte, à informação e comunicação, eliminando obstáculos e barreiras à acessibilidade (NATIONS, 2025).

O termo Internet das Coisas (IoT) foi criado por Kevin Ashton em 1999, propondo dispositivos que poderiam detectar o ambiente usando sensores e softwares (SALUNKE; MAHAJAN, 2024), ou seja, são dispositivos com sensores que se comunicam a computadores, via internet a cabo ou *Wi-Fi*, e permitem que o mundo físico seja monitorado e controlado pelo digital, sendo capazes de verificar a temperatura, detectar movimento, som ou qualquer mudança no ambiente e por receber os sinais e reagirem conforme a função do dispositivo (MCKINSEY-COMPANY, 2024).

É considerando os direitos individuais e coletivos associados à necessidade de sobrevivência em uma sociedade globalizada e tecnológica que surge a necessidade de técnicas e ferramentas inclusivas para todos. A evolução do IoT tem possibilitado o desenvolvimento de tecnologias voltadas para o aprimoramento da qualidade de vida em ambientes residenciais e, no caso das pessoas com deficiência auditiva, para a resolução da ausência de estímulos auditivos, que representam limitações e riscos a tal grupo demográfico, permitindo a percepção de sons como campainhas, alarmes de incêndio ou sinais sonoros de eletrodomésticos (KARMEL et al., 2019). Apesar dos avanços em tecnologias assistivas voltadas à percepção sonora, pesquisas prévias que abordavam o tema apresentavam limitações significativas. Entre os principais desafios estão a dependência de dispositivos modernos, a falta de tecnologia específica no momento do desenvolvimento e a baixa adaptabilidade em diferentes ambientes acústicos, problemas estes que serão citados na seção quatro. Nesse cenário, IoT surge como uma oportunidade promissora, oferecendo meios de desenvolver sistemas distribuídos, de baixo custo e altamente conectados, capazes de monitorar eventos do ambiente e fornecer respostas ágeis e personalizadas.

Em decorrência das dificuldades observadas e do aumento do número de indivíduos com essa condição, esse projeto contribuirá com a comunidade surda focando em abordar as questões de acessibilidade e inovação tecnológica para resolver problemas relacionados diretamente à autonomia, segurança e conforto nos seus ambientes domésticos e, por conseguinte, com novos avanços na área de acessibilidade por meio do uso de IoT, por meio do desenvolvimento de um sistema embarcado capaz de detectar e identificar sons importantes em ambiente residencial com conectividade a um aplicativo acessível para notificações pontuais ao usuário.

2 OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é ajudar os deficientes auditivos a conquistarem maior independência doméstica por meio do uso de novos hardwares e avanços na área de inteligência artificial. O projeto visa desenvolver e validar um sistema com capacidade de detecção e classificação em tempo real de sons ambientais relevantes em residências, utilizando técnicas de pré-processamento de áudio com inteligência artificial *Yet Another Mobile Network* (YAMNet), para informar aos usuários a urgência da situação, por meio de vibrações e alertas visuais de um aplicativo acessível em um tempo máximo de 1 segundo, mantendo a segurança e independência do usuário, e a confiabilidade do sistema por meio de métricas de precisão da identificação do som e de *feedbacks* dos usuários.

3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

3.1 HARDWARES

3.1.1 Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um computador de placa única (*single-board computer*) que oferece funcionalidades essenciais de um computador completo em um formato compacto e acessível. A placa é amplamente utilizada em projetos de IoT, automação de tarefas e monitoramento de mudanças de eventos envolvendo processamento local (MAKERHERO, 2024).

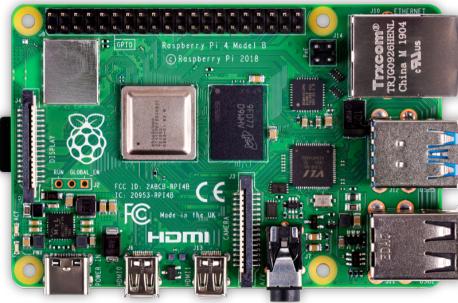


Figura 1 – *Raspberry Pi 4* - Fonte: openSUSE

3.1.2 Microfone Adafruit

O Microfone Adafruit Inter-Integrated Circuit Sound (*I2S*) é um microfone Micro-Electro-Mechanical Systems (*MEMS*) pequeno e de baixo custo com saída digital (ADAFRUIT, 2025). O padrão eletrônico I2S é uma interface de barramento serial usada para conectar dispositivos de áudio digitais. Esse microfone fornece um arquivo de fluxo contínuo de dados digitais, representando o sinal de áudio captado (STAFF, 2023).



Figura 2 – Microfone AdaFruit I2S MEMS SPH0645LM4H - Fonte: Amazon

3.2 SOFTWARES E BIBLIOTECAS

3.2.1 ***BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE)***

Operando em 2.4 GHz, o BLE é uma tecnologia de comunicação criada para transmitir pequenas quantidades de dados. Diferentemente do *Bluetooth* tradicional, o BLE estabelece conexões frequentes e curtas, entrando em modo de baixo consumo quando não houver mais necessidade de transmissão (PROCTOR, 2022).

3.2.2 ***DESKTOP BUS (D-BUS)***

O D-Bus é um sistema de barramento de mensagens que possibilita a comunicação entre diferentes aplicações. Ele permite tanto o envio de mensagens entre duas aplicações de forma direta (comunicação um-para-um), quanto o uso de um barramento central para distribuir eventos do sistema, como a detecção de novos dispositivos de *hardware* por perto (SEIGO, 2007).

3.2.3 **BlueZ**

BlueZ é a implementação completa do protocolo *Bluetooth*, que oferece suporte tanto ao *Bluetooth* Clássico quanto ao *Bluetooth Low Energy* (BLE). Ele fornece ferramentas e bibliotecas para a comunicação e gerenciamento de dispositivos *Bluetooth*. Entre suas funcionalidades, destacam-se os utilitários de linha de comando para varredura, emparelhamento, troca de dados e depuração desse tipo de conexão. (KORUCUOĞLU, 2025).

3.2.4 ***Generic Attributes (GATT)***

O GATT é o nome da interface usada para conectar dispositivos *Bluetooth Low Energy*. Ele organiza as informações em serviços, que contêm características identificadas por IDs únicos (UUIDs). Um cliente GATT permite procurar por dispositivos disponíveis, conectar ao dispositivo escolhido, descobrir os serviços e as características e, então, configurar uma conexão para receber as informações do *Bluetooth* (WIKI, 2020).

3.2.5 ESPECTROGRAMA MEL

O espectrograma Mel é uma ferramenta essencial no processamento de áudio, criada para simular a forma como o som é percebido, utilizando a escala Mel. Essa escala foi desenvolvida para mapear as frequências de modo que distâncias da amplitude do som correspondam a distâncias percebidas igualmente pelo ouvido humano. O espectrograma Mel se torna uma representação mais verídica da percepção auditiva humana.

3.2.6 Rede Neural

Em geral, o conceito de rede neural pode ser definido como técnicas computacionais e matemáticas, em que seus modelos estruturais são fortemente inspirados no sistema nervoso dos seres humanos (RAIMUNDO, 2022). A rede neural, em resumo, funciona em três etapas:

- a) Camada de entrada, onde os dados são oferecidos à rede;
- b) Camadas intermediárias (também chamadas de camadas ocultas), responsáveis pelo processamento e extração de características dos dados;
- c) Camada de saída, responsável por computar e apresentar o resultado final.

3.2.7 Yet Another Mobile Network (YAMNet)

YAMNet é um modelo pré-treinado baseado em redes neurais profundas com 521 classes de som previamente definidas. Sua arquitetura é voltada para o reconhecimento acústico por meio da análise de espectrogramas, permitindo identificar uma ampla variedade de sons presentes em ambientes do cotidiano. O YAMNet destaca-se por sua eficiência no processamento de áudio em tempo real e por sua flexibilidade de aplicação, sendo facilmente adaptável a contextos específicos, como a identificação de sons domésticos, além de possuir um baixo custo computacional. Isso torna viável sua execução diretamente na *Raspberry Pi 4*, sem comprometer significativamente o desempenho geral do sistema (YAMNET, 2025).

Técnicas de normalização e padronização de áudio são frequentemente aplicadas na etapa de preparação dos dados, com o intuito de reorganizá-los em um intervalo de valores comuns entre 0 e 1 ou -1 e 1, caso haja valores negativos, sem distorcer as diferenças nas faixas de valores (DUTRA, 2021).

..

3.2.8 *SoundDevice*

A biblioteca *sounddevice* fornece interfaces (*bindings*) baseadas na *API* da biblioteca *PortAudio*, oferecendo funções convenientes para gravar e reproduzir sinais de áudio em arrays *NumPy* em tempo real (SOUNDDEVICE, 2024).

3.2.9 *Tensorflow*

O *TensorFlow* é um *framework open-source* criado pela Google, voltado para computação numérica, aprendizado de máquina em larga escala, aprendizado profundo (*deep learning*) e análises estatísticas preditivas. Ele oferece suporte a redes neurais convolucionais, execução embarcada por meio do *TensorFlow Lite*, além de facilitar a implementação de modelos de aprendizado de máquina, auxiliando na aquisição de dados, na realização de previsões em escala e no refinamento dos resultados (DATABRICKS, 2025).

3.2.10 *Firebase*

O *Firebase* é a plataforma de desenvolvimento de aplicativos móveis da *Google*, projetada para ajudar a criar, aprimorar e expandir aplicações. Ele oferece um conjunto de ferramentas que cobre muitos dos serviços que os desenvolvedores normalmente precisariam criar do zero, como autenticação, banco de dados, armazenamento de arquivos, envio de notificações (*push*) e integração com aplicações móveis. Entre esses serviços, destacam-se o *Firebase Authentication*, *Firebase Realtime Database* e o *Firebase Cloud Messaging* (STEVENSON, 2018).

3.2.11 *Flutter*

Flutter é um *framework* de código aberto para desenvolvimento *mobile* que utiliza a linguagem *Dart*. Ele usa a biblioteca gráfica para renderizar a interface do usuário, garantindo visuais consistentes das aplicações em diferentes plataformas (AMAZON, 2024).

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, abordam-se estudos prévios voltados à conscientização sonora para pessoas com deficiência auditiva, com foco em tecnologias de detecção, inteligência artificial, feedback audiovisual e aplicações móveis. A análise busca identificar inspirações para a solução proposta, as limitações das abordagens existentes e a forma como este trabalho pretende superá-las. A seguir, detalham-se, para cada artigo, seus objetivos, bem como suas semelhanças e diferenças em relação ao trabalho atual.

4.1 A PERSONALIZABLE MOBILE SOUND DETECTOR APP DESIGN FOR DEAF AND HARD-OF-HEARING USERS

O artigo “*A Personalizable Mobile Sound Detector app Design for Deaf and Hard-of-Hearing Users*” (BRAGG; HUYNH; LADNER, 2016) conduz o desenvolvimento do design de um aplicativo que tem como objetivo detectar o som de interesse de pessoas com deficiência auditiva, treinar o modelo e armazenar a gravação do som para futuras detecções. O aplicativo é treinado pelos próprios usuários que gravam sons de exemplo de seu interesse e os registram no aplicativo. As representações visuais dos sons captados em tempo real e dos sons gravados pelo usuário fornecem *feedback* visual a pessoas com deficiência auditiva, tornando-as independentes para treinar o aplicativo. O design foi projetado para atender às necessidades dos participantes, relatadas por meio de pesquisa sobre critérios de usabilidade e preferências sonoras dos mesmos.

A principal limitação do artigo está na implementação do Modelo de Mistura Gaussiana (GMM) para detecção de sons no próprio aplicativo, pois não se alcançou alta acurácia na detecção de diversos sons em ambientes ruidosos, como ruas movimentadas, nem em situações em que o celular estava guardado no bolso ou na mochila. Além disso, a dependência do usuário para registrar sons de seu interesse gera imprecisões na captação. Assim, propõe-se focar na detecção de som em residências por meio do modelo de *deep learning YAMNet*, deixando essa tarefa a um hardware separado do aplicativo, de modo a distribuir a responsabilidade e evitar sobrecarregar o aplicativo.

4.2 EXPLORING SOUND AWARENESS IN THE HOME FOR PEOPLE WHO ARE DEAF OR HARD OF HEARING

O artigo “*Exploring Sound Awareness in the Home for People who are Deaf or Hard of Hearing*” (JAIN et al., 2019) realizou um estudo com pessoas com deficiência auditiva, avaliando quais sons, quando ausentes, mais impactam suas rotinas, e também testando protótipos de interface que ofereciam maior conforto e praticidade como apoio. A pesquisa realizou dois estudos diferentes para entender as necessidades e dificuldades de pessoas com deficiência auditiva em suas casas. O primeiro estudo caracterizou as percepções e experiências de pessoas com deficiência auditiva em relação aos sons domésticos e suas adaptações, por meio de entrevistas formais com 12 participantes. Com base nas respostas do primeiro estudo, o segundo estudo envolveu o desenvolvimento de três protótipos de *web-design* para identificação de sons, avaliados por meio de um experimento *Wizard-of-Oz* com 10 participantes. Com os dados dos dois estudos, avaliaram-se aspectos como acessibilidade, flexibilidade, personalização, privacidade e informações sonoras, fornecendo diretrizes para pesquisas futuras sobre tecnologia de detecção de sons residenciais.

A pesquisa apresenta limitações que dificultaram o desenvolvimento do projeto, como o número limitado de participantes, que não permitiu coletar informações suficientes para representar amplamente a diversidade de contextos de uso, e a falta de tecnologias para criar um produto robusto e de escala global. No entanto, foi possível identificar quais sons os participantes mais necessitavam e, por outro lado, quais ruídos preferiam não monitorar continuamente, a menos que indicassem um problema mecânico (por exemplo, vazamento de água) ou uma emergência. Este estudo teórico reforça a necessidade de soluções personalizadas e contextualizadas, justificando o foco do presente trabalho em detectar sons domésticos e fornecer notificações adaptadas por meio das tecnologias atualmente disponíveis.

4.3 RADIO FREQUENCY FINGERPRINT-BASED DRONE IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION USING MEL SPECTROGRAMS AND PRE-TRAINED YAMNET NEURAL

O artigo “*Radio frequency fingerprint-based drone identification and classification using Mel spectrograms and pre-trained YAMNet neural*” (MOHAMMED et al., 2023) apresenta um sistema de identificação e classificação de drones a partir de suas impressões digitais de rádiofrequência (RF), utilizando espectrogramas Mel como padrão distintivo. A proposta consiste em converter sinais de RF em sinais de áudio e, em seguida, gerar espectrogramas Mel para

alimentar a rede neural YAMNet. Para gerar o espectrograma Mel, o áudio é dividido em janelas de 25 ms, com 95% de sobreposição, e processado pela Transformada de Fourier de Curta Duração (STFT). O resultado é o espectrograma Mel, que reflete a distribuição de energia nas diversas bandas de frequência ao longo do tempo. Na etapa de classificação, as imagens dos espectrogramas Mel são empregadas como entrada no modelo pré-treinado YAMNet. Por meio de o uso de técnicas de aprendizado por transferência, as camadas finais da rede são reajustadas para realizar três etapas de classificação: primeiro, a rede identifica se o espectrograma corresponde ou não a um drone; em seguida, caso positivo, classifica seu tipo; e, por fim, determina o modo de operação do drone.

Em conclusão, os resultados revelam elevada acurácia nas etapas, comprovando que o combinação de espectrogramas Mel e YAMNet possibilita identificação confiável e bom desempenho ao longo das várias camadas de classificação.

4.4 IOT-BASED ELDERLY HEALTH MONITORING SYSTEM USING FIREBASE CLOUD COMPUTING

O estudo “IoT-Based Elderly Health Monitoring System Using Firebase Cloud Computing” propõe um sistema de monitoramento de idosos baseado em IoT, detalhando sua arquitetura, componentes de hardware e software, métodos de coleta e análise de dados, e implementação. A expectativa é que a combinação de tecnologia embarcada e computação em nuvem ofereça uma solução eficiente para o monitoramento contínuo da saúde da população idosa. Os dados de saúde coletados são transmitidos pelos dispositivos e armazenados em formato JSON. O *Firebase* permite o acesso seguro ao banco de dados a partir do código *client-side*, facilitando a criação de aplicações complexas e colaborativas. Os usuários finais terão experiência responsável, pois os dados são armazenados localmente e os eventos em tempo real permanecem ativos mesmo quando o dispositivo está offline, com sincronização automática assim que ele voltar a ficar online (EFENDI et al., 2025).

O artigo demonstra a eficiência do *Firebase* para armazenamento e sincronização em tempo real, incluindo suporte a dados offline. Isso reforça a escolha da plataforma para aplicações como o sistema de alertas de som, que também requer baixíssima latência e sincronização ágil, além de utilizar o JSON para armazenar dados, garantindo compatibilidade entre sistemas baseados em eventos. Contudo, mesmo sendo baseada em IoT, a solução não detalha como ocorre a configuração inicial ou o pareamento com o aplicativo, aspecto que o presente projeto visa resolver por meio da conectividade *Bluetooth* diretamente no aplicativo.

4.5 A DEEP DIVE INTO FLUTTER'S ACCESSIBILITY WIDGETS

O trabalho de Muhammed Salih Guler, “*A Deep Dive into Flutter’s Accessibility Widgets*” (GULER, 2019), explora como utilizar os recursos de acessibilidade do *Flutter* para tornar aplicativos mais inclusivos. O autor destaca que o *Flutter* ajusta automaticamente o tamanho dos textos conforme as preferências do usuário e reforça a importância do contraste de cores para garantir leitura acessível em diferentes condições visuais. O foco principal está no uso do *widget* (componente) “*Semantics*”, que interpreta e descreve o conteúdo e a função de cada elemento da interface. Além disso, o autor apresenta outros *widgets* importantes, tais como: *MergeSemantics*, que agrupa ícones e textos para que sejam lidos como uma única informação; o *ExcludeSemantics*, que exclui da leitura elementos puramente decorativos, evitando a leitura de conteúdo desnecessário; e, por fim, *IndexedSemantics*, que informa a posição de um item em uma lista, indicando ao usuário um contexto de progresso e localização do conteúdo.

Esse trabalho se conecta ao nosso projeto de detecção de sons para pessoas surdas, pois reforça a importância dos componentes de acessibilidade oferecidos pelo *Flutter*. Como inspiração prática, cita-se tamanhos de texto ajustáveis e bom contraste nos alertas visuais, descrições claras nos botões e notificações e a implementação de *index* no histórico de alertas, facilitando a navegação. Essas práticas ampliam o alcance e a usabilidade do aplicativo, tornando-o mais inclusivo para diferentes tipos de usuários.

5 METODOLOGIA

Com a utilização dos componentes e conceitos citados na seção 3, a metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho compreende três etapas principais: pesquisa feita sobre quais sons domésticos são relevantes no cotidiano, porém não captados pelas pessoas com deficiência auditiva; o desenvolvimento da detecção e identificação do som no hardware; e o desenvolvimento do aplicativo para o usuário. A seguir, detalham-se as etapas.

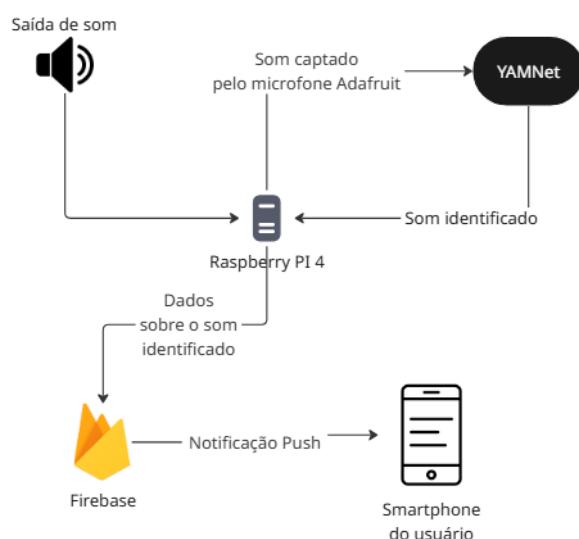


Figura 3 – Diagrama do funcionamento do protótipo - Fonte: Autores

5.1 PESQUISA DE CAMPO

5.1.1 Instrumento e Análise

A primeira etapa do projeto consistiu na realização de uma pesquisa com deficientes auditivos conhecidos pelos autores do projeto por meio da criação de um formulário via *Google Forms* contendo quatro perguntas, duas quantitativas e duas qualitativas, com o objetivo de compreender a percepção dos participantes em relação a sons domésticos e suas dificuldades cotidianas. Ao todo, obteve-se respostas de sete participantes. A pesquisa pode ser verificada no apêndice (5.4).

Em conjunto, foram utilizadas informações complementares obtidas a partir da pesquisa bibliográfica, com base em estudos prévios, como o artigo "*Exploring Sound Awareness in the Home for People who are Deaf or Hard of Hearing*"(JAIN et al., 2019), que discute desafios

semelhantes enfrentados pela comunidade surda. Com o formulário concluído e em conformidade com as pesquisas prévias realizadas, foi possível identificar as principais preocupações e necessidades das pessoas com deficiência auditiva em suas casas, podendo citar:

- a) A dificuldade de ouvir visitas, sendo por meio de campainha, interfone ou palmas;
- b) Temporizadores de eletrodomésticos;
- c) Presença de outras pessoas e de animais;
- d) Medo de morar em casa por questões de segurança, por não ouvirem barulho de invasão;
- e) Dependência de pessoas ouvintes para auxiliá-los, alegando não quererem atrapalhá-los;
- f) Som de água corrente e alarmes de incêndio.

5.2 DESENVOLVIMENTO DO *HARDWARE*

5.2.1 Escolha do componentes

Optou-se pela escolha da *Raspberry Pi 4 Model B* (8GB) como unidade principal de processamento devido à sua capacidade de rodar modelos de redes neurais leves, pela sua conectividade sem fio à rede, tendo suporte a *Wi-Fi* e *Bluetooth Low Energy*, além da estabilidade e praticidade de comunicação com serviços externos necessários, como o banco de dados e aplicativo. Outro fator determinante foi o fato de a placa ser ideal para projetos de prototipação, especialmente por seu tamanho compacto, que permite instalá-la em locais estratégicos conforme as necessidades do projeto.

5.2.2 Detecção de Som e pré-processamento

5.2.2.1 *Captação do som*

O microfone Adafruit I2S MEMS (SPH0645LM4H) é conectado aos pinos GPIO da *Raspberry Pi 4* usando a interface I2S, esta interface permite a transmissão de áudio digital em tempo real, com maior imunidade a ruído em comparação com microfones analógicos tradicio-

nais. Embora não ofereça a facilidade de *Plug-and-play* como um microfone USB, o microfone selecionado tem a grande vantagem de dispensar um conversor digital (IOT, 2024).

- a) **Faixa de frequência:** O microfone *Adafruit SPH0645LM4H* opera na faixa de frequência de aproximadamente 50 Hz a 15 kHz, cobrindo a maior parte do espectro audível pelo ser humano, o que é essencial para identificar sons comuns do cotidiano.
- b) **Formato compacto e baixo consumo:** Como se trata de um microfone MEMS, ele possui dimensões reduzidas e um baixo consumo de energia, o que o torna mais adequado para aplicações embarcadas, como dispositivos IoT (ADAFRUIT, 2025).

5.2.2.2 *Pré-processamento*

A biblioteca *sounddevice* permite a gravação de áudio diretamente da entrada do sistema, convertendo os dados em *arrays NumPy*, o que facilita a integração com algoritmos de processamento digital de sinais. Ao captar um som, ela cria o fluxo do áudio que é lido pela *Raspberry Pi* e os transforma em arrays de amostras. Isso facilita sua integração em projetos de processamento de som, especialmente quando comparada ao *PyAudio*, que exige uma implementação mais trabalhosa para lidar com *arrays* de áudio. Esses dados são, então, submetidos a um processo de pré-processamento necessário para sua posterior análise por redes neurais, como a YAMNet.

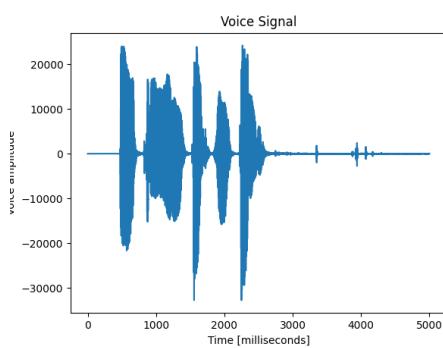


Figura 4 – Exemplo de fluxo da entrada de som - Fonte: [geeksforGeeks.org](https://www.geeksforgeeks.org/python-plot-audio-signal/)

Antes que o áudio possa ser analisado pelo modelo YAMNet, é necessário ajustá-lo para o formato exigido pela rede. Esse pré-processamento ocorre localmente na *Raspberry Pi* e envolve duas etapas principais:

- a) **Reamostragem:** o sinal de áudio é convertido para uma taxa de amostragem de 16 kHz, valor exigido pela YAMNet. A taxa de amostragem define o número de amostras

capturadas por segundo, sendo fundamental para manter a compatibilidade com os parâmetros de entrada da rede neural.

b) **Normalização:** o sinal é convertido para o formato *float32* do NumPy, com valores normalizados no intervalo entre -1.0 e 1.0. Essa normalização:

- Garante uma escala padronizada entre diferentes capturas de áudio;
- Facilita o processamento numérico, com ganhos de desempenho e precisão;
- Evita saturação e perda de informação durante a inferência no modelo.

Após essas etapas, o áudio está devidamente preparado para ser analisado pela YAMNet, que identificará padrões acústicos e classificará o som detectado.

5.2.3 Identificação do som

5.2.3.1 Classificação do som com o YAMNet

O YAMNet é um modelo pré-treinado baseado em redes neurais profundas fornecido pelo *TensorFlow*, que permite a identificação de sons em tempo real, eliminando a necessidade de treinar um modelo do zero, o que seria comum ao utilizar *frameworks* como o PyTorch (CHANDRA, 2023).

Com o áudio pré-processado, o YAMNet realiza os seguintes passos:

a) Extração do spectrograma Mel: o áudio é dividido em janelas de 25 ms (400 amostras), com deslocamento de 10 ms entre elas (160 amostras). Cada janela passa por uma Transformada de *Fourier*, e as frequências resultantes são convertidas para a escala Mel, que aproxima a percepção humana do som. Esse spectrograma é utilizado internamente pelo modelo para extração de características do som.

b) Classificação: com base no spectrograma, o modelo gera três saídas:

- Embeddings: vetores intermediários que representam características do som;
- Scores: matriz com as probabilidades de o som pertencer a cada uma das 521 classes treinadas;
- Espectrograma: O Espectrograma Mel pode ser exportado e visualizado para fins de análise e depuração do sistema, embora não seja necessário para a lógica de notificação.

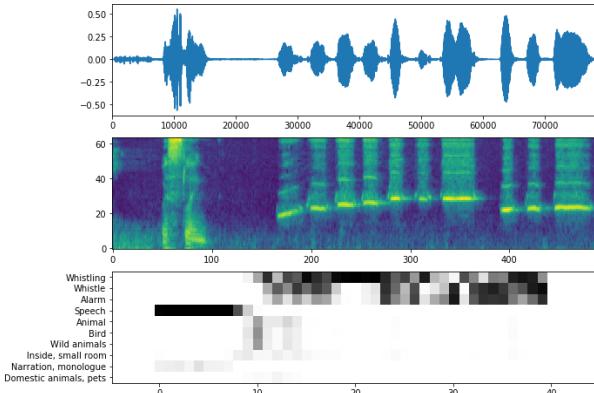


Figura 5 – *Output* do YAMNet

A classificação final do som é feita com base na média das pontuações durante o intervalo de áudio analisado. O modelo retorna o *Top-10* das classes com maiores *scores* que representam as categorias sonoras mais prováveis.

5.2.3.2 *Filtragem de sons relevantes*

Embora o YAMNet retorne uma lista ampla de possíveis sons, o sistema precisa filtrar apenas os eventos relevantes para este projeto. Para isso, são aplicados dois critérios:

- a) A classe identificada deve estar presente em uma lista pré-definida contendo sons relevantes para o contexto residencial (ex.: 'alarme de incêndio', 'bebê chorando', 'campainha')
- b) a pontuação média da classe identificada precisa ultrapassar um limiar de confiança, como 0,70. Isso ajuda a evitar falsos positivos causados por sons comuns do ambiente, como buzinas ou conversas

Com essa abordagem, o sistema garante que apenas eventos realmente significativos gerem notificações para o usuário, tornando o processo mais confiável e útil no contexto de assistência a pessoas com deficiência auditiva.

5.2.4 *Comunicação com o banco de dados*

Após o YAMNet concluir o seu processo, o som identificado será enviado para o banco de dados *Firebase Realtime Database* através da biblioteca *firebase_admin*, que integra o *Firebase* à serviços e aplicações. No banco são registradas as informações do evento detectado,

como data, hora e categoria do som dentro de um JSON e armazenadas as credenciais e o ID de cada *Raspberry Pi*, permitindo a troca de informações entre o dispositivo e o aplicativo em tempo real e garantindo que cada registro esteja associado ao usuário correto.

5.2.5 Desenvolvimento da Interface do Usuário

Para o desenvolvimento da interface do usuário, optou-se por utilizar o *Flutter* pela oportunidade na criação de aplicativos para *Android* e *iOS* a partir de uma única base de código. Isso contrasta com outras linguagens, como Kotlin/Java e Swift, que exigem desenvolvimento separado para cada aplicação nativa. Além de ser mantido pela *Google*, o *Flutter* oferece integração facilitada com diversos serviços da empresa, como *Firebase Authentication*, *Firebase Realtime Database* e *Firebase Cloud Messaging*, o que representa uma vantagem em relação a outros frameworks como o *React Native*, mantido pela *Meta*.

5.2.5.1 Cadastro do usuário e da Raspberry Pi no aplicativo

Para utilizar o sistema, o usuário deve se cadastrar no aplicativo fornecendo nome, número de telefone e uma senha. Esses dados são registrados no *Firebase Authentication*, criando uma conta única que será vinculada a uma *Raspberry Pi* específica, assim, o usuário poderá receber notificações dos sons detectados em seu telefone. A fim de efetuar a conexão da *Raspberry Pi 4* com o aplicativo móvel, utiliza-se a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE), com o stack *BlueZ* rodando na *Raspberry Pi* e a biblioteca *flutterblueplus* do *Flutter*, que permite a detecção e comunicação com dispositivos BLE diretamente. Esse processo é essencial para integrar o dispositivo à rede doméstica do usuário e permitir a comunicação eficiente com o aplicativo.

No primeiro uso, a *Raspberry Pi* inicializa seu serviço de *Bluetooth* por meio do stack *BlueZ*, que gerencia a ativação do adaptador *Bluetooth* e coloca o *hardware* em modo de emparelhamento, permitindo que o dispositivo fique visível para o aplicativo, que realiza buscas constantes por dispositivos BLE próximos.

A comunicação entre o sistema *BlueZ* e o software em desenvolvimento ocorre via o barramento de mensagens D-bus, que permite a troca eficiente de informações entre diferentes componentes do sistema. Para facilitar essa interação, utiliza-se a biblioteca *Bluezero*, responsável por simplificar a complexidade do D-Bus e por possuir uma interface simples para expor serviços BLE.

Com a utilização da *bluezero*, a *Raspberry Pi* expõe um serviço BLE baseado no padrão GATT, que contém características específicas para receber os dados de configuração. Isso permite que o aplicativo encontre o *hardware* e, quando o usuário selecionar a *Raspberry Pi*, o aplicativo estabelecerá conexão via GATT e enviará, em sequência, o Identificador de Conjunto de Serviços (*SSID*) e a senha da rede *Wi-Fi* doméstica, bem como o ID do usuário no *Firebase*. A *Raspberry Pi* armazenará essas credenciais, reiniciará seu serviço de rede e se conectará automaticamente à rede *Wi-Fi* fornecida. Nesse momento, a placa se registrará no banco e concluirá o emparelhamento, passando a ficar pronta para detectar sons e repassar eventos ao usuário.

5.2.5.2 Envio de notificações

Sempre que a *Raspberry Pi* identificar um som considerado relevante, ela gerará um alerta em formato JSON, contendo os dados de identificador do usuário, o tipo de som detectado, o *timestamp* e o identificador do próprio *hardware*. Essas informações são enviadas ao *Firebase Realtime Database* por meio da biblioteca *firebaseadmin*, garantindo que a notificação esteja corretamente vinculada ao usuário responsável por aquele dispositivo. Para que o aplicativo receba notificações em tempo real, o *Flutter* utiliza o *Firebase Cloud Messaging* (FCM).

No primeiro acesso do usuário ao aplicativo, um *token* único FCM é gerado automaticamente e armazenado no banco de dados junto ao cadastro do usuário. Esse *token* serve para identificar de forma exclusiva o dispositivo móvel durante o envio de notificações. Assim que a *Raspberry Pi* envia um novo alerta ao *Firebase*, o sistema consulta o *token* do usuário e realiza uma requisição à *API* do *Firebase Cloud Messaging*.

Com isso, o serviço FCM permite que a notificação *push* apareça imediatamente no celular do usuário, mesmo que o aplicativo esteja em segundo plano ou fechado. Esse processo garante que o usuário seja avisado rapidamente sobre os sons importantes no ambiente.

De forma resumida, o fluxo completo ocorre da seguinte maneira:

- a) O som é detectado pelo microfone e classificado localmente na *Raspberry Pi* pelo YAMNet ;
- b) Um alerta com os dados relevantes é gerado e enviado ao *Firebase*;
- c) *Raspberry* consulta o *token* FCM do usuário e envia a notificação *push*;
- d) O aplicativo recebe e exibe a notificação imediatamente ao usuário.

Todo esse ciclo, desde a detecção do som até o envio da notificação para o usuário, foi projetado para ocorrer em no máximo 1 segundo, garantindo uma resposta ágil e eficaz para o usuário em situações críticas do ambiente doméstico.

Para ilustrar a forma como o usuário interage com o sistema e visualiza as notificações recebidas, a seguir são apresentados os protótipos de tela desenvolvidos para o aplicativo móvel:

5.3 VALIDAÇÃO E USABILIDADE DO SISTEMA

A validação do sistema será conduzida com base em três critérios principais: precisão da classificação dos sons, tempo de resposta e *feedback* dos usuários. Para verificar a precisão, serão realizados testes em ambiente doméstico com sons reais, avaliando se o sistema consegue identificar corretamente os eventos relevantes definidos previamente. O tempo de resposta será medido como o intervalo entre a captação do som pela *Raspberry Pi* e o recebimento da notificação no aplicativo móvel, buscando manter esse tempo inferior a 1 segundo. Por fim, será coletado *feedback* de usuários por meio de testes de usabilidade com o aplicativo, avaliando a clareza das notificações, a facilidade de uso da interface e a confiabilidade geral do sistema. Esses testes fornecerão os dados necessários para ajustes e validações finais antes da conclusão do projeto.

5.4 CRONOGRAMA

Cronograma das etapas de desenvolvimento do TCC2	
Tarefa	Data
Análise de <i>feedback</i> do TCC 1	Junho/2025
Desenvolvimento do <i>Hardware</i>	Julho/2025
Desenvolvimento <i>Mobile</i>	Agosto/2025
Testes e Melhorias	Outubro/2025

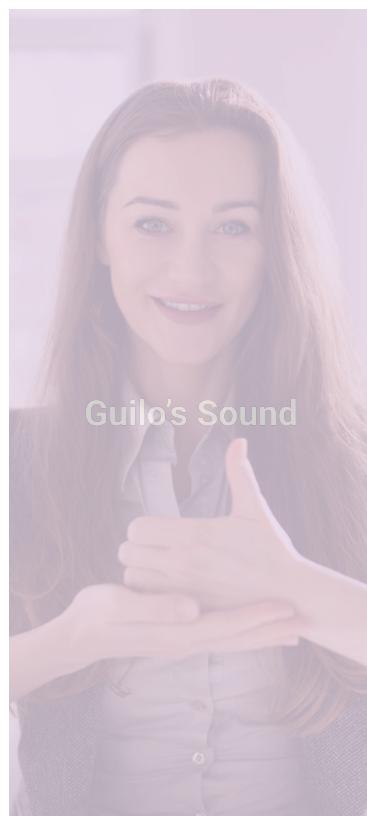


Figura 6 – SplashScreen



Figura 7 – Cadastro



Figura 8 – Login

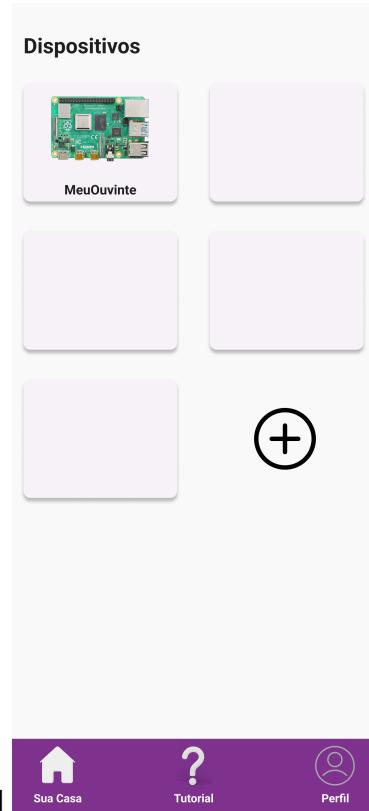


Figura 9 – Home



Figura 10 – Informações do Hardware

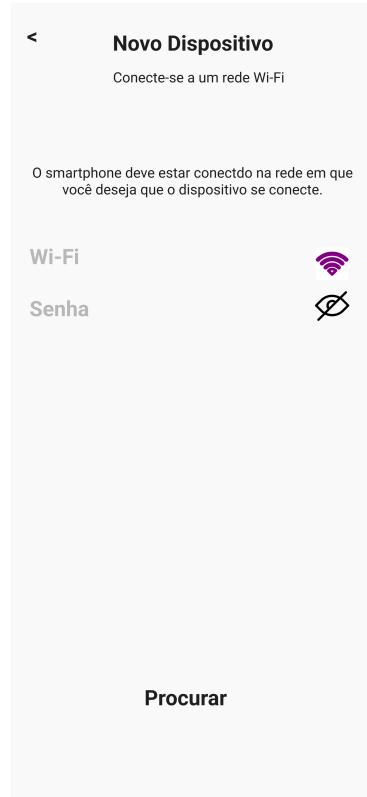


Figura 11 – Diagrama do funcionamento do protótipo



Figura 12 – Conexão do Hardware

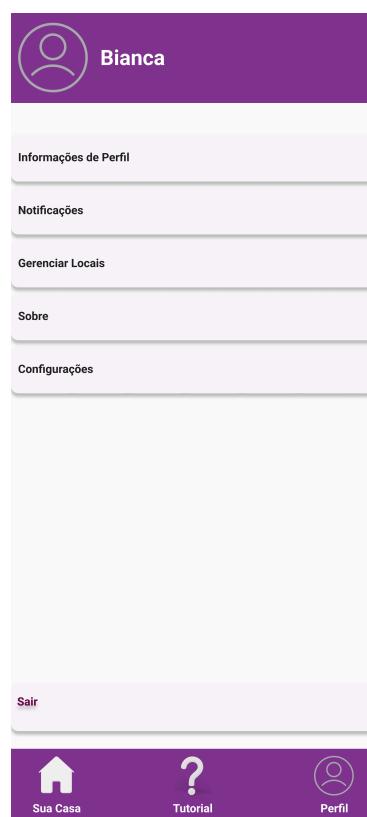


Figura 13 – Perfil

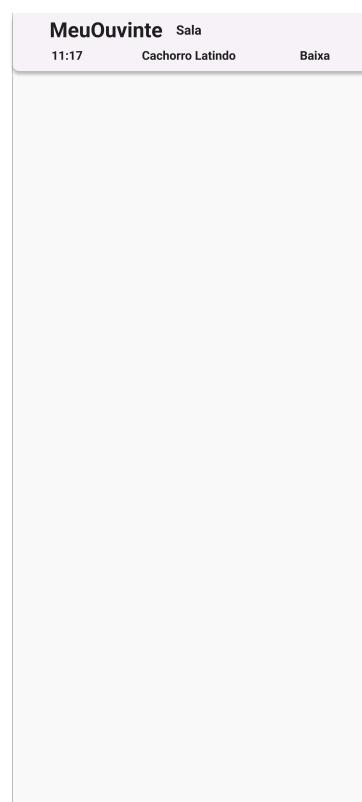


Figura 14 – Exemplo de Notificação

REFERÊNCIAS

- ADAFRUIT. Microfone Adafruit I2S MEMS Microphone Breakout - SPH0645LM4H.** 2025. <<https://www.adafruit.com/product/3421>>. [Acessed 23-Maio-2025].
- AMAZON. Flutter documentation.** 2024. <<https://docs.flutter.dev>>. [Accessed 23-Maio-2025].
- BRAGG, D.; HUYNH, N.; LADNER, R. E. A personalizable mobile sound detector app design for deaf and hard-of-hearing users. In: **Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (ASSETS '16), p. 3–13. ISBN 9781450341240. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2982142.2982171>>.
- CHANDRA, R. **PyTorch vs TensorFlow.** 2023. <<https://docs.kanaries.net/pt/articles/pytorch-vs-tensorflow>>. [Accessed 31-Maio-2025].
- DATABRICKS. Tensorflow.** 2025. <<https://www.databricks.com/glossary/tensorflow-guide>>. [Accessed 31-Maio-2025].
- DESEN, M. A.; BRITO, A. M. W. d. Reflexões sobre a deficiência auditiva e o atendimento institucional de crianças no brasil. **Paidéia (Ribeirão Preto)**, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Programa de Pós-Graduação em Psicologia, n. 12-13, p. 111–134, Feb 1997. ISSN 0103-863X. [Accesses 1-Junho-2025]. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-863X1997000100009>>.
- DUTRA, B. A importância da normalização e padronização dos dados em Machine Learning.** 2021. <<https://medium.com/ipnet-growth-partner/padronizacao-normalizacao-dados-machine-learning-f8f29246c12>>. [Accessed 31-Maio-2025].
- EFENDI, A. et al. IoT-based elderly health monitoring system using firebase cloud computing. **Health Science Reports**, v. 8, n. 3, p. e70498, 2025. [Accessed 1-Maio-2025]. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hsr2.70498>>.
- GULER, M. S. A deep dive into Flutter's accessibility widgets.** 2019. <<https://medium.com/flutter-community/a-deep-dive-into-flutters-accessibility-widgets-eb0ef9455bc>>. [Accessed 1-Junho-2025].
- HOTT, D. F. M.; FRAZ, J. N. Acessibilidade, tecnologia assistiva e unidades de informação: articulações à realidade da inclusão. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Escola de Ciência da Informação da UFMG, v. 24, n. 4, p. 199–210, Oct 2019. ISSN 1413-9936. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1981-5344/4194>>.

IOT, A. **A Comprehensive Guide to Choosing a Microphone for Raspberry Pi.** 2024. <<https://www.aboutiot.com/blogs/raspberry-pi/how-to-choose-microphone-for-raspberry-pi>>. [Accessed 17-Maio-2025].

JAIN, D. et al. Exploring sound awareness in the home for people who are deaf or hard of hearing. In: **Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.** New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. (CHI '19), p. 1–13. ISBN 9781450359702. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3290605.3300324>>.

KARMEL, A. et al. Iot based assistive device for deaf, dumb and blind people. **Procedia Computer Science**, v. 165, p. 259–269, 2019. ISSN 1877-0509. 2nd International Conference on Recent Trends in Advanced Computing ICRTAC -DISRUP - TIV INNOVATION , 2019 November 11-12, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920300880>>.

KORUCUOĞLU İbrahim. **Exploring the BlueZ Stack: Bluetooth Essentials in Kali Linux.** 2025. <https://www.siberoloji.com/exploring-bluez-stack-bluetooth-essentials-kali-linux/#google_vignette>. [Accessed 31-Maio-2025].

MAKERHERO. **o-que-e-raspberry-pi.** 2024. <https://www.makerhero.com/guia/raspberry-pi/o-que-e-raspberry-pi/?srsltid=AfmBOorfhMNjzgr2TyStORih_gz5Rof-YCOJI_yLw2w2XGV9Xh849jRd>. [Accessed 23-Maio-2025].

MCKINSEYCOMPANY. **What is the Internet of Things (IoT)?** 2024. <<https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-the-internet-of-things>>. [Accessed 30-Maio-2025].

Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, B. **. Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico e-MAG 3.0.** Brasília, DF, 2011. 69 p. [Accessed 1-Junho-2025]. Disponível em: <<http://www.governoeletronico.gov.br/acoes-e-projetos/padroes-brasil-e-gov>>.

MOHAMMED, K. K. et al. Radio frequency fingerprint-based drone identification and classification using mel spectrograms and pre-trained yamnet neural. **Internet of Things**, v. 23, p. 100879, 2023. ISSN 2542-6605. [Accessed 1-Junho-2025]. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542660523002020>>.

NATIONS, U. **Department of Economic and Social Affairs Social Inclusion - Article 9 - Accessibility.** 2025. <<https://social.desa.un.org/issues/disability/crpds/article-9-accessibility>>. [Accessed 31-Maio-2025].

NOTÍCIAS, A. I. **PNS 2019: país tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência.** 2021. <<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#:~:text=Um%20em%20cada%20quatro%20idosos,9%20milh%C3%A5es%20em%20domic%C3%A1rios%>>.

20rurais.> [Accessed 16-Maio-2025].

PROCTOR, B. Bluetooth Low Energy. 2022. <<https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy#:~:text=What%20Is%20Bluetooth%20Low%20Energy,that%20only%20periodically%20exchange%20data.>> [Accessed 30-Maio-2025].

RAIMUNDO, B. A. d. P. Redes Neurais: Estruturas De Um Mundo Moderno. 2022. Monografia (Projeto Supervisionado) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas. Orientador: João Batista Florindo.

SALUNKE, V.; MAHAJAN, S. The evolution and implications of the Internet of Things. 2024.

SEIGO, A. DBus. 2007. <https://develop.kde.org/docs/features/d-bus/introduction_to_dbus/>. [Accessed 31-Maio-2025].

SOUNDDEVICE. Play and Record Sound with Python. 2024. <<https://python-sounddevice.readthedocs.io/en/0.5.1/>>. [Accessed 31-Maio-2025].

STAFF, M. What is the I2S Communication Protocol? 2023. <<https://www.digikey.com.br/en/maker/tutorials/2023/what-is-the-i2s-communication-protocol#:~:text=I2S%20is%20a%20synchronous%2C%20serial,audio%20in%20a%20serial%20fashion.>> [Accessed 31-Junho-2025].

STEVENSON, D. Flutter documentation. 2018. <<https://medium.com/firebase-developers/what-is-firebase-the-complete-story-abridged-bcc730c5f2c0>>. [Accessed 31-Maio-2025].

TOWLE, A. Where's the Accessibility for the Deaf Community? 2023. <<https://fourteeneastmag.com/index.php/2023/01/27/wheres-the-accessibility-for-the-deaf-community/>>. [Accessed 17-Maio-2025].

WIKI, B. L. Generic Attributes. 2020. <[https://bluetoothle.wiki/gatt#:~:text=The%20Generic%20Attributes%20\(GATT\)%20is,receive%20notifications%20from%20the%20characteristic.](https://bluetoothle.wiki/gatt#:~:text=The%20Generic%20Attributes%20(GATT)%20is,receive%20notifications%20from%20the%20characteristic.)> [Accessed 31-Maio-2025].

YAMNET. Classificador de som YAMNet. 2025. <<https://www.tensorflow.org/hub/tutorials/yamnet?hl=pt-br>>. [Accessed 23-Maio-2025].

APÊNDICE A – QUESTÕES DA PESQUISA DE CAMPO

1 Qual é o seu grau de surdez?

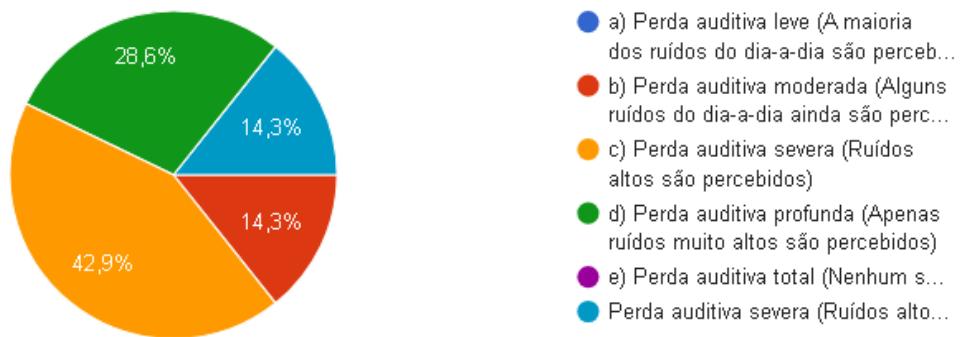


Figura 15 – Gráfico sobre o grau de Surdez dos participantes da pesquisa

- a) Perda auditiva leve (A maioria dos ruídos do dia-a-dia são percebidos)
- b) Perda auditiva moderada (Alguns ruídos do dia-a-dia ainda são percebidos)
- c) Perda auditiva severa (Ruídos altos são percebidos)
- d) Perda auditiva profunda (Apenas ruídos muito altos são percebidos)
- e) Perda auditiva total (Nenhum som é percebido)

2 Com base na resposta anterior, descreva sua rotina em casa, e, caso haja dificuldades domésticas, mesmo que pequenas, cite-as. (Caso more em prédio/condomínio, cite problemas que podem estar acontecendo na parte externa também).

(As respostas qualitativas foram mantidas anônimas)

3 Você mora:

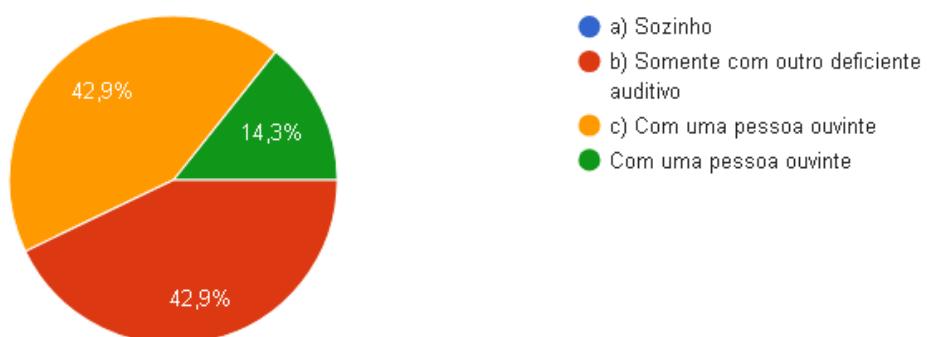


Figura 16 – Gráfico sobre com quem o participante da pesquisa mora

- a) Sozinho

b) Somente com outro deficiente auditivo

c) Com uma pessoa ouvinte

4 Caso more com um ouvinte, quais situações que ele te ajuda, e em que momentos você enfrentaria mais dificuldades sem esse apoio?

(As respostas qualitativas foram mantidas anônimas)