

Dispositivo inteligente para melhorar a experiência de pessoas com deficiência auditiva em Cidades Inteligentes Inclusivas

Marcos Rodrigo B. Carvalho¹, João Soares de Oliveira Neto¹

¹ Instituto de Ciência Tecnologia e Inovação – Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Camaçari – BA – Brazil

{marcosrodrigo, jn}@ufba.br

Abstract. This paper presents the development of a wearable device designed to support the mobility of deaf individuals in urban environments. The system is composed of two modules: a sensory belt equipped with directional microphones and vibration motors, and a wrist interface with an OLED display, both controlled by ESP32 microcontrollers. Communication between the modules is performed using the ESP-NOW protocol. The device detects urban sounds and converts them into visual and tactile alerts indicating direction and intensity. Initial tests demonstrated reliable detection, effective feedback, and intuitive user interaction. The project aligns with universal design principles and aims to contribute to more inclusive smart cities.

Resumo. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo vestível para auxiliar a mobilidade urbana de pessoas com deficiência auditiva. A solução é composta por dois módulos: uma cinta sensorial equipada com sensores de som e motores vibratórios, e uma pulseira com interface visual baseada em ESP32-C3. A comunicação entre os módulos é feita via protocolo ESP-NOW. Os sons detectados são convertidos em alertas tátteis e visuais, indicando direção e intensidade. Os testes iniciais demonstraram precisão na captação sonora, resposta tático eficiente e boa usabilidade. O projeto segue alinhado aos princípios de design universal e à construção de cidades inteligentes e inclusivas.

1. Introdução

A acessibilidade urbana para pessoas com deficiência é um desafio contínuo, especialmente para aquelas com deficiência auditiva, cujas limitações sensoriais comprometem a percepção de alertas sonoros cruciais para a mobilidade segura em espaços públicos. Em cidades cada vez mais conectadas, é essencial que as soluções tecnológicas também acompanhem o princípio da inclusão [Aquino 2024]. O presente artigo descreve o desenvolvimento de um dispositivo inteligente que utiliza sensores e microcontroladores para interpretar sons relevantes do ambiente urbano, convertendo essas informações em alertas visuais e tátteis, com o objetivo de auxiliar pessoas surdas em seus deslocamentos diários com mais segurança e autonomia.

Para mitigar esse problema, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo inteligente vestível voltado para auxiliar a locomoção segura de pessoas surdas no espaço urbano, desenvolvido com base em microcontroladores ESP32 e módulos de som, sendo assim capaz de detectar sons ambientais como buzinas, sirenes e

alarmes, processando essas informações em tempo real. A proposta consiste em detectar sons relevantes no ambiente urbano, processar suas características e fornecer ao usuário feedbacks em tempo real que permitam uma tomada de decisão mais segura e autônoma. Sua interface, inicialmente baseada na plataforma Blynk, permite a visualização intuitiva dos dados processados.

A proposta tecnológica, ainda em fase de testes com usuários finais, mostrou-se promissora nos ensaios preliminares, indicando um caminho viável para soluções de tecnologia assistiva em contextos urbanos. Além disso, o projeto é alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 10, que visa a redução das desigualdades, e o ODS 11, voltado à promoção de cidades inclusivas, seguras e sustentáveis. A iniciativa também se fundamenta em princípios de design universal, visando garantir que a tecnologia proposta seja funcional, intuitiva e adaptada às necessidades de seus usuários.

2. Fundamentação Teórica

A deficiência auditiva compromete significativamente a percepção de alertas sonoros cruciais para a segurança pessoal, especialmente em ambientes urbanos. De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 430 milhões de pessoas no mundo convivem com algum grau de perda auditiva, sendo que muitas delas enfrentam barreiras sensoriais que impactam diretamente sua mobilidade e autonomia [WHO 2021]. No Brasil, esse cenário reforça a necessidade de políticas públicas e soluções tecnológicas que promovam acessibilidade e participação social plena.

As tecnologias assistivas, conforme definidas por Hersh e Johnson [2008], são recursos, serviços e estratégias que promovem funcionalidade para pessoas com deficiência, contribuindo para sua inclusão nos diversos contextos sociais. Entre essas tecnologias, dispositivos vestíveis têm se destacado por sua capacidade de integração ao cotidiano dos usuários, oferecendo soluções portáteis, discretas e de resposta rápida. Com a aplicação da Internet das Coisas (IoT) em dispositivos assistivos, permite-se a coleta e o processamento de dados em tempo real, utilizando sensores acústicos e atuadores para transformar sinais sonoros em estímulos comprehensíveis por meio de vibrações ou imagens. Essa abordagem torna-se ainda mais relevante quando se integra microcontroladores como o ESP32, que oferecem conectividade via Wi-Fi e Bluetooth, baixo consumo de energia e suporte a bibliotecas de inteligência embarcada [Lee, Chen e Wang 2020].

Estudos como os de Loureiro de Almeida [2016] e Guerra [2021] já demonstraram o potencial de sistemas embarcados com foco em acessibilidade auditiva. Entretanto, muitos desses sistemas ainda são pouco adaptáveis ao contexto urbano ou exigem interfaces complexas. O presente trabalho se diferencia ao propor um dispositivo vestível, ao ser usado como uma cinta abdominal, com a sua interface de uso no pulso, sendo assim capaz de captar sons ambientais por meio dos sensores e processá-los com algoritmos de controle dinâmico.

A escolha dos componentes de hardware reflete uma preocupação com a eficiência e a portabilidade do dispositivo. A substituição do sensor de som por um modelo com ganho automático adaptativo (MAX9814), por exemplo, visa melhorar a detecção de sons em ambientes urbanos ruidosos e variados, aumentando a precisão da resposta do sistema sem necessidade de recalibração frequente. Dessa forma, este trabalho contribui de maneira significativa para o avanço da acessibilidade urbana, aliando

eletrônica e computação embarcada centrado no usuário à construção de uma cidade mais inclusiva para pessoas surdas.

3.1 Desenvolvimento do Protótipo

O projeto foi estruturado em três etapas principais: (1) revisão bibliográfica e definição dos requisitos, (2) construção modular do protótipo e (3) testes em ambiente controlado. Inicialmente, os módulos foram prototipados separadamente: a cinta sensorial com ESP32 tradicional e o módulo visual com ESP32-C3. Foram implementadas rotinas para leitura dos sensores MAX9814 e acionamento dos motores vibratórios via PWM, de acordo com a direção predominante do som detectado.

O módulo visual utiliza o protocolo ESP-NOW para receber dados em tempo real e exibir as informações no display OLED. Foram realizados testes de bancada com sons simulados por alto falantes em diferentes direções e intensidades, processo realizado para calibração e melhorias na captação e tomada de decisão dos sons detectados.

A comunicação sem fio entre os módulos apresentou baixa latência e alta confiabilidade, características essenciais para dispositivos assistivos que operam em tempo real, o sistema demonstrou capacidade de fornecer feedback simultâneo, tátil e visual. Como próximas etapas, estão previstas etapas de testes em ambientes urbanos reais, validação com usuários finais e o aprimoramento da inteligência embarcada, incluindo a implementação de algoritmos para classificação de eventos sonoros e filtragem aprimorada por frequência ou outros critérios acústicos, a fim de reduzir interferências e aumentar a precisão da resposta.

3.1 Arquitetura do Sistema

A escolha dos componentes de hardware foi guiada pela eficiência, robustez e compatibilidade com ambientes urbanos ruidosos. O microcontrolador ESP32 foi selecionado por oferecer conectividade Wi-Fi e Bluetooth, suporte ao protocolo ESP-NOW (ideal para comunicação ponto a ponto com baixa latência) e compatibilidade com bibliotecas de interface gráfica e controle PWM. Além disso, o ESP32 possui desempenho suficiente para operações de leitura de múltiplos sensores, controle de atuadores e transmissão de dados em tempo real.

Para a captação sonora, foi inicialmente utilizado o sensor MAX4466, um microfone eletreto com amplificador integrado e ajuste manual de ganho. No entanto, nos testes do módulo foi notadas limitações na faixa dinâmica de detecção, com dificuldades em captar sons de baixa intensidade e instabilidade na calibração, exigindo ajustes constantes no potenciômetro do módulo. Diante desses desafios, optou-se pela substituição pelo MAX9814, um microfone eletreto com pré-amplificador de baixo ruído e controle automático de ganho (AGC). Esse sensor se mostrou mais eficaz na detecção de sons com intensidades variáveis, mantendo uma relação sinal-ruído mais favorável e dispensando recalibração manual constante. A literatura técnica, como o estudo de [Lee, Chen e Wang 2020], destaca a importância de sensores acústicos com controle de ganho automático e boa relação sinal-ruído para sistemas auditivos embarcados, especialmente em ambientes com ruído ambiental. Essas características estão presentes no sensor MAX9814, o que reforça sua adequação para aplicações assistivas vestíveis.

A integração de motores vibratórios teve o objetivo de fornecer feedback tátil proporcional à direção e intensidade do som. A disposição dos sensores e atuadores ao redor da cintura foi baseada em estudos de ergonomia e percepção corporal tátil, permitindo ao usuário identificar a origem do som mesmo sem apoio visual. Por fim, a interface visual na pulseira foi desenvolvida com display OLED SSD1306, devido ao seu baixo consumo de energia, contraste elevado e compatibilidade com bibliotecas de renderização de gráficos simples, permitindo a exibição clara da direção sonora e intensidade em tempo real.

O sistema é dividido em dois módulos interconectados via protocolo ESP-NOW. Um ESP32 tradicional integrado à cinta abdominal é responsável pela captação e pré-processamento dos sons. A unidade sensorial é equipada com quatro sensores de som MAX9814 dispostos em posições direcionais (frente, parte de atrás, esquerda e direita), para captar a origem dos sons. Esses sensores possuem controle automático de ganho (AGC), ideal para ambientes urbanos ruidosos, e são conectados ao ESP32 tradicional, que executa a análise básica dos níveis sonoros e determina a direção predominante.

Um ESP32-C3 como interface visual, que exibe os dados e fornece retorno visual ao usuário. Na unidade de exibição (pulseira), o ESP32-C3 recebe os dados e apresenta os resultados em um display OLED de 0.96" (driver SSD1306), que mostra a direção do som e a intensidade sonora em barra gráfica. Além disso, sinais vibratórios são acionados por motores tátteis, fornecendo retorno físico imediato ao usuário.

A comunicação entre as duas unidades ocorre via ESP-NOW, um protocolo de comunicação sem fio da Espressif, que permite baixa latência e operação sem a necessidade de roteador Wi-Fi. A escolha do protocolo ESP-NOW se deu por sua capacidade de comunicação ponto a ponto com baixa latência, ideal para aplicações em tempo real e que dispensam a dependência de redes Wi-Fi tradicionais.

3.2 Módulo Sensorial e Sinal Tátil

A cinta abdominal abriga quatro sensores MAX9814, dispostos de modo a captar sons provenientes de diferentes direções, como pode ser visto na Figura 1. Cada sensor está associado a um motor vibratório específico, posicionado de forma a coincidir com a direção correspondente no corpo do usuário. Por exemplo, ao detectar um som predominante vindo da direita, o sensor MAX9814 da lateral direita ativa o motor vibratório na mesma posição. O objetivo é permitir que o usuário, mesmo sem apoio visual, consiga perceber a direção aproximada de um som com base nas vibrações recebidas no corpo.

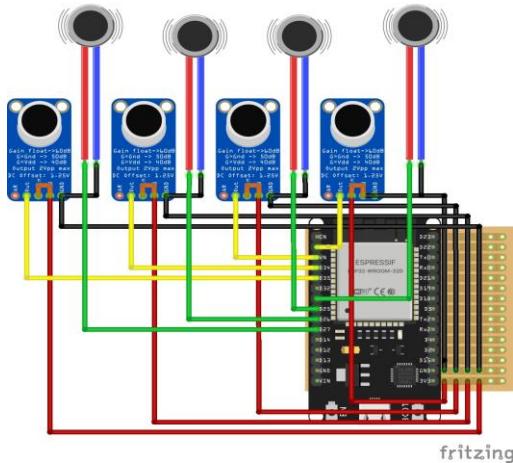


Figura 1 – Conexão do Módulo sensorial.

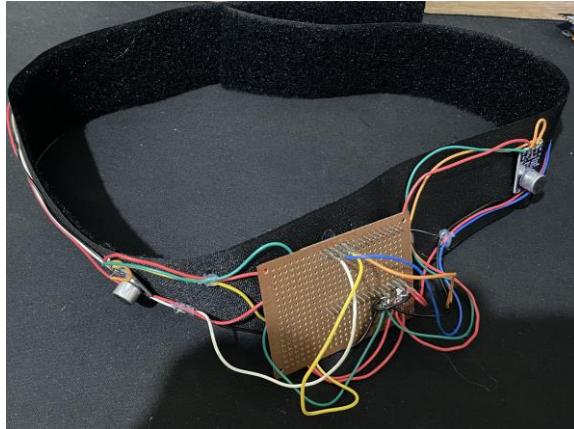


Figura 2 – Protótipo do módulo sensorial.

Essa resposta tátil é essencial em ambientes ruidosos ou quando o usuário não está visualizando a interface no pulso. Os motores vibratórios são acionados pelas portas PWM do ESP32, conforme a lógica de decisão derivada dos dados de intensidade sonora. A intensidade da vibração pode variar conforme a força do som captado, possibilitando também uma estimativa da proximidade ou urgência do evento sonoro (por exemplo, uma buzina próxima ou um som distante).

3.3 Interface Visual e Comunicação

O módulo de pulso utiliza o ESP32-C3 para exibir os dados recebidos via ESP-NOW, como ilustra a Figura 3. A interface gráfica, implementada com a biblioteca SSD1306, apresenta: a informação da direção do som (frente, parte de trás, esquerda ou direita) e uma barra de intensidade sonora, com variação gráfica proporcional ao volume captado. Esse módulo, apresentado na Figura 4, permite que o usuário consulte rapidamente o status dos sons detectados sem depender exclusivamente do retorno tátil, oferecendo assim uma redundância comunicacional inclusiva.

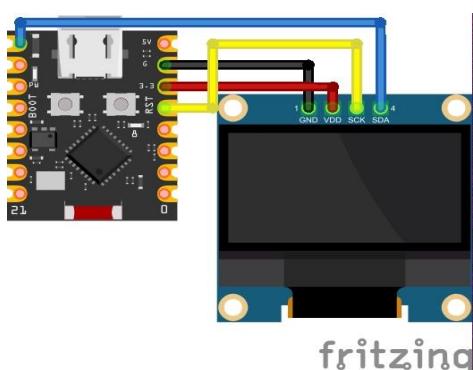


Figura 3 – Conexão do display OLED ao microcontrolador.



Figura 4 – Interface visual do dispositivo.

4. Resultados e Conclusões Parciais

Os testes realizados em ambiente controlado indicaram que o protótipo é funcional e promissor como tecnologia assistiva urbana. Os sensores MAX9814 apresentaram bom desempenho na detecção de sons em diferentes direções e níveis de intensidade, sendo eficazes mesmo em ambientes com ruído. A substituição do modelo anterior (MAX4466) pelo MAX9814 proporcionou maior estabilidade e eliminou a necessidade de ajustes manuais.

A resposta tátil da cinta abdominal, acionada por motores vibratórios, permitiu que usuários percebessem de forma clara a direção dos sons simulados. Esse retorno foi complementado pela interface visual no pulso, que exibiu com precisão a direção e intensidade sonora. A comunicação entre os módulos, realizada via ESP-NOW, manteve-se estável e com baixa latência durante os testes.

Para viabilizar o uso contínuo do dispositivo em cenários reais, será implementado um sistema de alimentação por baterias recarregáveis, incluindo reguladores de carga para garantir segurança e autonomia energética. Essa modificação é essencial para a portabilidade do sistema no cotidiano.

As próximas etapas, ou trabalhos futuros, envolvem testes práticos em ambientes urbanos, como vias públicas e locais com tráfego intenso, com foco na avaliação da usabilidade, ergonomia, conforto e percepção tátil em diferentes condições. Espera-se, com isso, coletar dados valiosos para ajustes de miniaturização, eficiência energética e adaptação a diferentes perfis de usuários.

Conclui-se que o dispositivo desenvolvido tem potencial concreto para contribuir com a autonomia e segurança de pessoas surdas no contexto urbano, reforçando o papel da tecnologia na construção de cidades verdadeiramente inclusivas.

References

ALMEIDA, Jônatas Loureiro de. *Sistema wireless de aquisição e sinalização de eventos sonoros para deficientes auditivos*. 2016. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

AQUINO, Maria Lucilene de Oliveira. *Caminhando no chão da metrópole Manaus: a Geografia dos surdos*. 2024.

GUERRA, Camila Stéfany Diógenes. *VibraSom: sistema embarcado de reprodução sonora por meio de vibração para pessoas com deficiência auditiva*. 2021. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

HERSH, Marion A.; JOHNSON, Michael A. *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People*. London: Springer, 2008.

LEE, K.; CHEN, Y.; WANG, X. A wearable IoT device using deep learning for AI-based hearing assistance automation. *arXiv preprint*, 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2005.08076>. Acesso em: 22 jun. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *World report on hearing*. Geneva: World Health Organization, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/item/world-report-on-hearing>. Acesso em: 22 jun. 2025.