

Tecnologia Assistiva de Detecção de Obstáculos Por Ultrassom para Pessoas Com Deficiência Visual

Diego Oliveira da Cruz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Cubatão, SP, Brasil.

Fernando da Silva Paulo Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Cubatão, SP, Brasil.

Bruno da Silva Alves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Cubatão, SP, Brasil.

Me. Anderson Alves de Oliveira

Laboratório de Inteligência Artificial Embarcada (EAILAB)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Cubatão, SP, Brasil.

Dr. Arnaldo de Carvalho Junior

Laboratório de Inteligência Artificial Embarcada (EAILAB)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) – Campus Cubatão, SP, Brasil.

Resumo: Estudos da ONU afirmam que cerca de 22% da população mundial sofrem de alguma deficiência visual. O desenvolvimento de tecnologias assistivas para a inserção desta população na vida em sociedade é fundamental. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema de detecção de obstáculos por ultrassom para pessoas com deficiência visual, compacto, utilizando microcontrolador Arduino Nano, motor de vibração e botão de seleção de modo de operação, para ser instalado em óculos escuros convencionais. Nos testes realizados o protótipo apresentou desempenho satisfatório para detecção e alerta ao usuário para obstáculos de porte médio e grande e dificuldade de detecção de obstáculos de porte pequeno como arbustos e fiação elétrica solta, representando potencial de aperfeiçoamento.

Palavras-chave: Deficiente Visual, Detecção de Obstáculos, Sonar, Tecnologia Assistiva

Abstract: United Nations studies indicate that approximately 22% of the global population has some form of visual impairment. The development of assistive technologies is essential to promote the inclusion of this population in society. This article presents the development of a compact prototype for an ultrasonic obstacle detection system designed for people with visual impairment. The device uses an Arduino Nano microcontroller, a vibration motor, and a mode selection button, and is intended to be integrated into conventional dark glasses. In the tests performed, the prototype demonstrated satisfactory performance in detecting and alerting users to medium and large-sized obstacles, while showing limitations in detecting small objects such as loose wires and shrubs, highlighting opportunities for further improvement.

Keywords: Visually Impaired, Obstacle Detection, Sonar, Assistive Technology

1. INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), pelo menos 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo apresentam algum grau de deficiência visual, incluindo casos de cegueira. O crescimento populacional, o envelhecimento e o estilo de vida, provocaram um aumento significativo no número de pessoas com deficiência visual ou cegueira nas próximas décadas, com ônus mais relevante em populações carentes e em desenvolvimento (WHO, 2019).

Tarefas que são fáceis para a maioria da sociedade em sua rotina diária podem ser bastante desafiadoras para pessoas com deficiência visual (Huang; Wu; Liu, 2022). A tecnologia assistiva tem o potencial de promover autonomia e inclusão em diversas áreas da vida dessas pessoas, como mobilidade, educação, trabalho, atividades físicas e lazer (WHO, 2019; WHO, 2022).

As tecnologias de assistência visual tornaram-se possíveis graças ao avanço da microeletrônica. Essas tecnologias podem oferecer o sentido do ambiente externo e auxiliar na mobilidade mediante o uso de sensores, permitindo que as pessoas com deficiência visual possam detectar, localizar, determinar dimensão e a altura dos objetos (Dakopoulos; Bourbakis, 2009; Elmannai; Elleithy, 2017).

As tecnologias de assistência visual podem ser divididas em 3 categorias principais: as que aprimoram a visão, as que atuam pela visão e as que substituem completamente a visão, sendo esta última a mais complexa. A substituição completa da visão exige tecnologia e medicina complexas, enviando informações diretamente para o córtex visual do cérebro ou através de um nervo ocular. As tecnologias de aprimoramento da visão são aquelas utilizadas por pessoas com deficiência visual parcial, como lentes de aumento, óculos para diferentes deficiências visuais, câmeras com processamento de imagens etc. Já as tecnologias que atuam pela visão utilizam uma sinalização não visual que pode ser vibração, auditiva ou ambos com base nos sentidos de audição e tato, podendo facilmente serem sentidos e operados pelo usuário com deficiência visual (Elmannai; Elleithy, 2017).

Dentre as tecnologias que atuam pela visão, destacam-se acessórios vestíveis como óculos, mochilas, cintos e bengalas, com diferentes tipos de sensores, sinalização sonora e sistemas de localização como o de posicionamento global (*global positioning system* – GPS) (Csapó; Werséni; Nagy; *et al*, 2015). Vários sistemas de tecnologia assistiva utilizam sensores ultrassônicos e motores de vibração (Elmannai; Elleithy, 2017). Das tecnologias assistivas vestíveis, aquelas embarcadas em óculos vêm ganhando destaque pela praticidade, conforto, ergonomia e design.

O artigo de Tode, Mahajan e Gadekar (2024) apresenta uma revisão sobre o desenvolvimento e a aplicação de óculos inteligentes voltados à orientação de pessoas com deficiência visual, com base no uso de sensores ultrassônicos e microcontroladores. O estudo oferece uma visão abrangente dos avanços tecnológicos e metodologias adotadas na criação desses dispositivos, destacando os óculos ultrassônicos como um avanço significativo no campo da tecnologia assistiva.

O artigo de Abreu *et al.* (2021) apresenta um sistema de tecnologia assistiva voltado a pessoas com deficiência visual, baseado em sensores ultrassônicos. O estudo inclui uma análise detalhada do ângulo e do alcance de detecção, bem como um design focado na satisfação do usuário final e na viabilidade de baixo custo.

Outras funcionalidades podem ser adicionadas, como sensor de fumaça (para incêndios) e claridade (dia ou noite), conforme estudo utilizando plataforma Arduino e apresentado por Samuda *et al* (2022), desde que não comprometam a praticidade e ergonomia do dispositivo.

Inspirado no estudo de Agarwal *et al* (2017), este artigo apresenta o desenvolvimento e teste de um protótipo de óculos com tecnologia assistiva para detecção de obstáculos à frente por ultrassom para pessoas com deficiência visual. O projeto adota uma arquitetura simples e de baixo custo. Entre as principais contribuições destacam-se a utilização de um microcontrolador Arduino Nano V3, o reaproveitamento de um motor de vibração proveniente de dispositivos móveis, a implementação de um filtro de média para suavização das medições do sensor ultrassônico e, principalmente, a adoção de múltiplos modos de funcionamento, que permitem ao usuário selecionar o tipo de resposta tátil mais adequada a diferentes ambientes e situações de mobilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentados os materiais, métodos e algoritmos empregados no desenvolvimento dos óculos assistivos com retorno (*feedback*) vibratório para pessoas com deficiência visual.

2.1. Circuito Eletrônico

Para o desenvolvimento foram selecionados componentes eletrônicos de baixo custo, fácil acesso no mercado e integração. O sistema utiliza um sensor ultrassônico HC-SR04, responsável pela medição da distância de obstáculos. De acordo com os documentos disponibilizados pelo fabricante do sensor, o ângulo de atuação é de aproximadamente 30°, conforme ilustrado na Figura 1 (EDN. 2010).

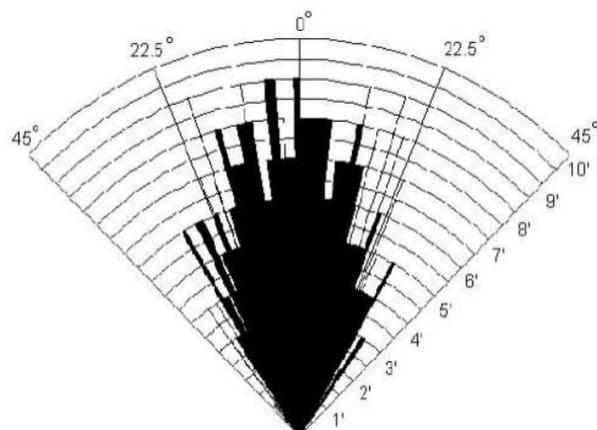


Figura 1. Especificação do ângulo de detecção do sensor ultrassônico HRC-SR04.
Fonte: Adaptado de EDN (2010).

Um módulo Arduino Nano V3 com microcontrolador ATmega328P realiza o controle do sistema, devido ao seu tamanho reduzido, de apenas 17,6mm x 43,2mm, bibliotecas disponíveis e ambiente de desenvolvimento integrado (*integrated development environment* - IDE). A Figura 2 apresenta o módulo do microcontrolador utilizado, bem como a indicação da pinagem da placa.

Um motor desbalanceado de vibração, do tipo utilizado em dispositivos móveis, é responsável por fornecer o *feedback* tátil. Adicionalmente, um botão de seleção foi incorporado para a alternância entre os modos de operação, junto com os fios e uma bateria retangular padrão de 9 volts como fonte de alimentação, acoplados na estrutura de um par óculos

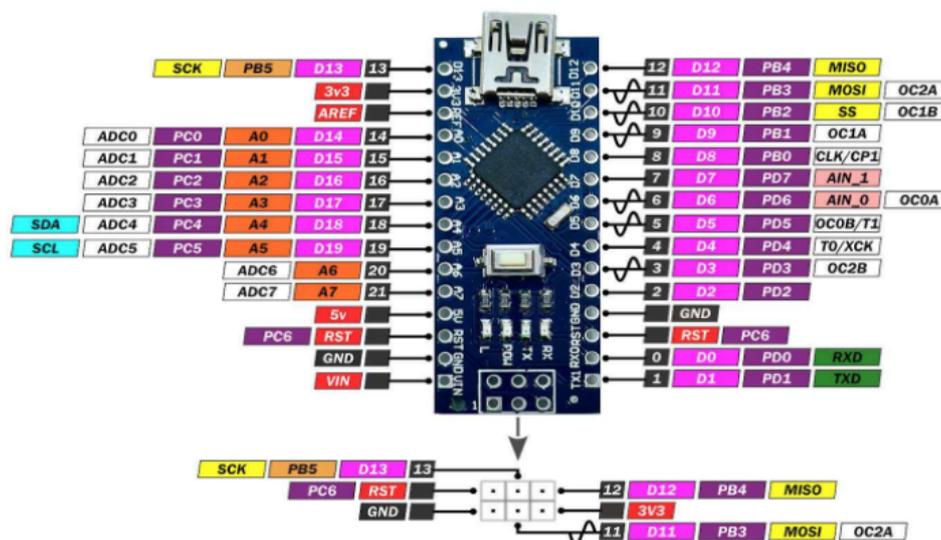


Figura 2. Módulo microcontrolador Arduino Nano.
 Fonte: Adaptado de MISCHIANTI (2024).

Os pinos “*trigger*” e “*echo*” do sensor ultrassônico foram conectados, respectivamente, às portas digitais D12 e D11 do microcontrolador. O terminal “*input*” do módulo de motor de vibração foi ligado à porta D3, enquanto o botão utilizado para a troca de modos foi conectado à porta D8.

A Figura 3 apresenta o diagrama de interconexão entre o sensor ultrassônico, o Arduino Nano e o motor de vibração, ilustrando como os componentes se comunicam no sistema.

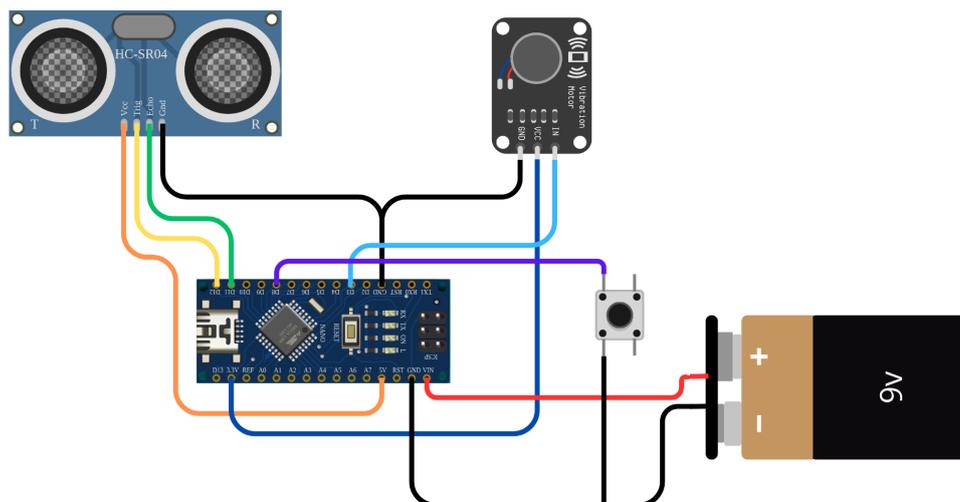


Figura 3. Diagrama de interconexão entre o sensor, o microcontrolador e o motor de vibração.
Fonte: Os autores (2025).

2.2. Algoritmos e Software

Para o funcionamento do dispositivo, foi desenvolvido e implementado um software utilizando a plataforma Arduino IDE, com a linguagem de programação C++. A Figura 4 apresenta um fluxograma do algoritmo desenvolvido.

A principal responsabilidade do código é realizar a leitura da distância do sensor ultrassônico, aplicar um filtro de ruído para suavizar as leituras e, com base na distância medida, vibrar o motor em diferentes intervalos de tempo, oferecendo um *feedback* tátil do espaço. O código também inclui a lógica para alternar entre os diferentes modos de operação, controlados por um botão, permitindo ao usuário ajustar o comportamento do sistema.

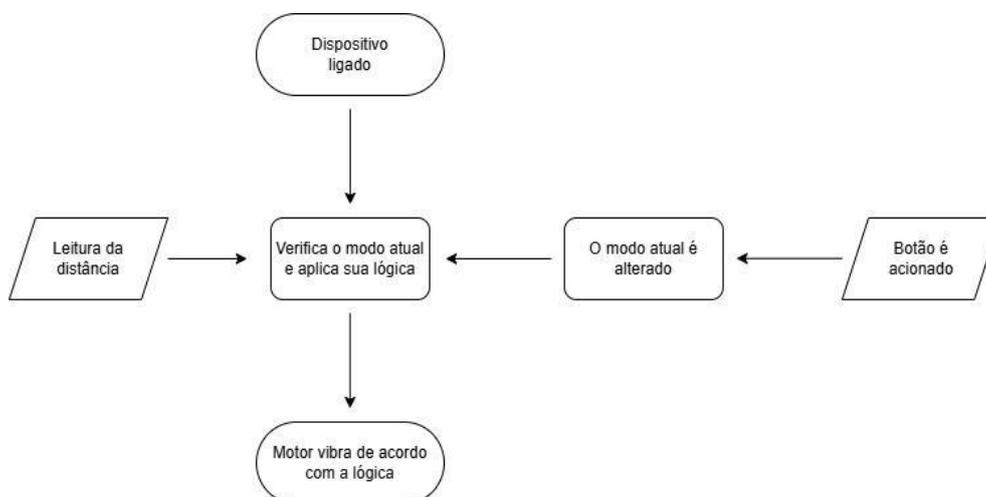


Figura 4. Diagrama de fluxo do funcionamento do sistema.
Fonte: Os autores (2025).

A leitura de distância é realizada por meio da emissão de um pulso ultrassônico e da medição do tempo até que o eco seja detectado novamente pelo sensor. Esse tempo, denominado *pingTime*, representa o intervalo entre o envio e o retorno do pulso. Para o cálculo da distância aproximada até o objeto (*targetDistance*), utiliza-se a velocidade do som no ar, considerada como 343 m/s. O valor de *pingTime* deve ser dividido por dois, uma vez que o sinal percorre o trajeto de ida e volta até o obstáculo, além de ser convertido para segundos. A equação utilizada está representada na Eq. 1 (Santos, 2023).

$$targetDistance = \frac{1}{10000} \times \frac{pingTime}{2} \times soundSpeed \quad (1)$$

Para suavizar as leituras do sensor ultrassônico e reduzir o impacto de flutuações ou ruídos, foi aplicado um filtro de média móvel simples (*Simple Moving Average - SMA*) sobre as últimas cinco leituras consecutivas (Nirmal *et al*, 2016). Esse filtro permite obter uma estimativa mais estável da distância, atenuando variações abruptas. O cálculo é apresentado na Eq. 2, onde x representa cada leitura individual de distância, n o número de amostras consideradas ($n = 5$), e \underline{x} o valor filtrado, conforme a Eq. 2.

$$\underline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

O sistema de *feedback* tátil foi projetado para oferecer diferentes formas de interação com o usuário. Para isso, foram implementados três modos distintos de operação, cada um com uma lógica específica de ativação do motor vibratório, visando atender a diferentes necessidades de percepção do ambiente. A alternância entre os modos é feita por meio do botão, e a lógica de ativação e desativação do motor vibratório, assim como a verificação do modo selecionado, é gerenciada dentro da sub-rotina de *void loop()*.

O Modo 0 oferece um *feedback* contínuo ao usuário, variando a frequência da vibração do motor de acordo com a distância medida. À medida que o objeto se aproxima, o motor vibra com maior frequência. Para isso, o sistema alterna o estado

do motor entre ligado e desligado com base em temporizações configuradas dinamicamente. A Figura 5 apresenta o código referente ao Modo 0.

```
if (modoAtual == 0) {  
  // Verifica se o motor está desligado e se já passou o tempo do intervalo OFF  
  if (!motorActive && currentMillis - lastMotorTime >= offInterval) {  
    motorActive = true;           // Ativa o estado de vibração  
    motorStartTime = currentMillis; // Salva o tempo de início da vibração  
    digitalWrite(MOTOR, HIGH);    // Liga o motor de vibração  
  }  
  
  // Verifica se o motor está ligado e se já passou o tempo do pulso ON  
  if (motorActive && currentMillis - motorStartTime >= onDuration) {  
    motorActive = false;         // Desativa o estado de vibração  
    lastMotorTime = currentMillis; // Salva o tempo em que o motor foi desligado  
    digitalWrite(MOTOR, LOW);    // Desliga o motor de vibração  
  }  
  
  return; // Encerra a execução para este modo  
}
```

Figura 5. Parte de código responsável pela ativação do motor vibratório no Modo 0.
Fonte: Os autores (2025).

No Modo 1, cujo código é apresentado na Figura 6, o motor vibra apenas quando a distância medida estiver abaixo de um valor limiar pré-definido, no caso, de 30 cm. Isso permite ao usuário receber um aviso direto e constante somente quando estiver próximo de um obstáculo.

```
if (modoAtual == 1) {  
  // Verifica se a distância medida é válida e menor ou igual ao limite definido  
  if (distancia > 0 && distancia <= DIST_THRESHOLD) {  
    digitalWrite(MOTOR, HIGH); // Liga o motor continuamente  
  } else {  
    digitalWrite(MOTOR, LOW); // Desliga o motor  
  }  
}
```

Figura 6. Parte de código responsável pela ativação do motor vibratório no Modo 1.
Fonte: Os autores (2025).

O Modo 2 serve como estado de repouso, desativando completamente o motor de vibração, permitindo desativar temporariamente o feedback tátil, sem a necessidade de desligar o sistema por completo, conforme parte do código apresentado na Figura 7.

```
if (modoAtual == 2) {  
    digitalWrite(MOTOR, LOW); // Garante que o motor está desligado  
    return; // Sai da sub-rotina loop para não executar mais comandos  
}
```

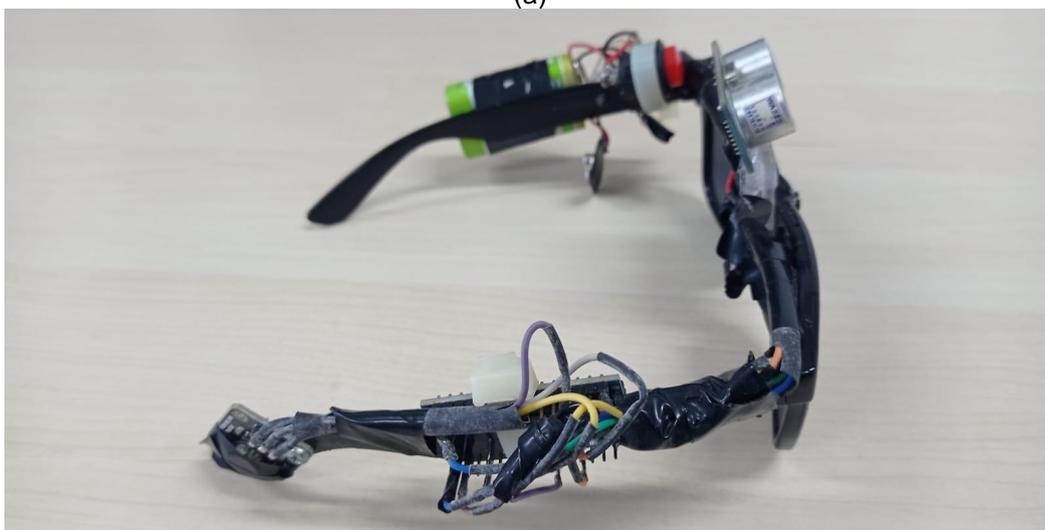
Figura 7. Trecho de código responsável pela ativação do motor vibratório no Modo 2.
Fonte: Os autores (2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

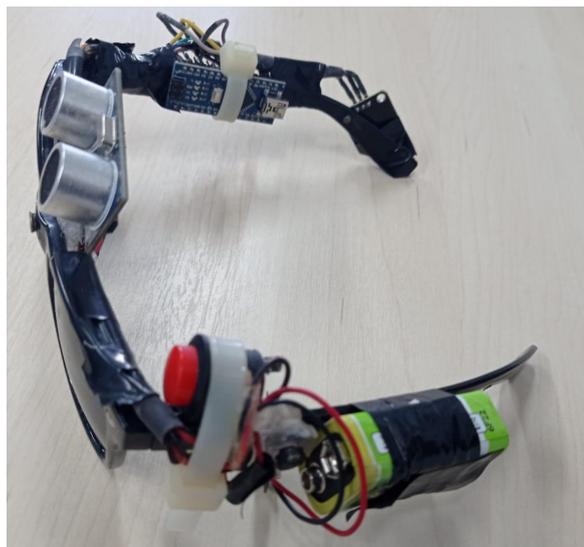
Nesta seção, são apresentados e analisados resultados obtidos a partir de testes. Inicialmente, foi conduzida uma avaliação de desempenho e limitações técnicas. Em seguida, foram realizados testes em cenários reais, selecionando ambientes representativos. A Figura 8 apresenta o protótipo montado.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. Protótipo montado nos óculos, com detalhe para o sensor de ultrassom na parte frontal (a), vista lateral esquerda com o microcontrolador e motor de vibração (b) e vista lateral direita com botão de seleção de modo e bateria de 9V (c).

Fonte: Os autores (2025).

3.1. Avaliação de Desempenho e Limitações Técnicas

A Figura 9 apresenta o protótipo final pronto para ser testado.



Figura 9. Protótipo final dos óculos assistivo montado em uma pessoa

Fonte: Os autores (2025)

Para a medição da distância foram realizados testes posicionando o sensor frente a uma parede plana, utilizando uma fita métrica como referência real. As distâncias obtidas pelo sensor foram então comparadas com as leituras da fita

métrica. Os resultados foram organizados em um gráfico, Figura 10, com a relação entre a distância medida pelo sensor e a margem de erro correspondente.

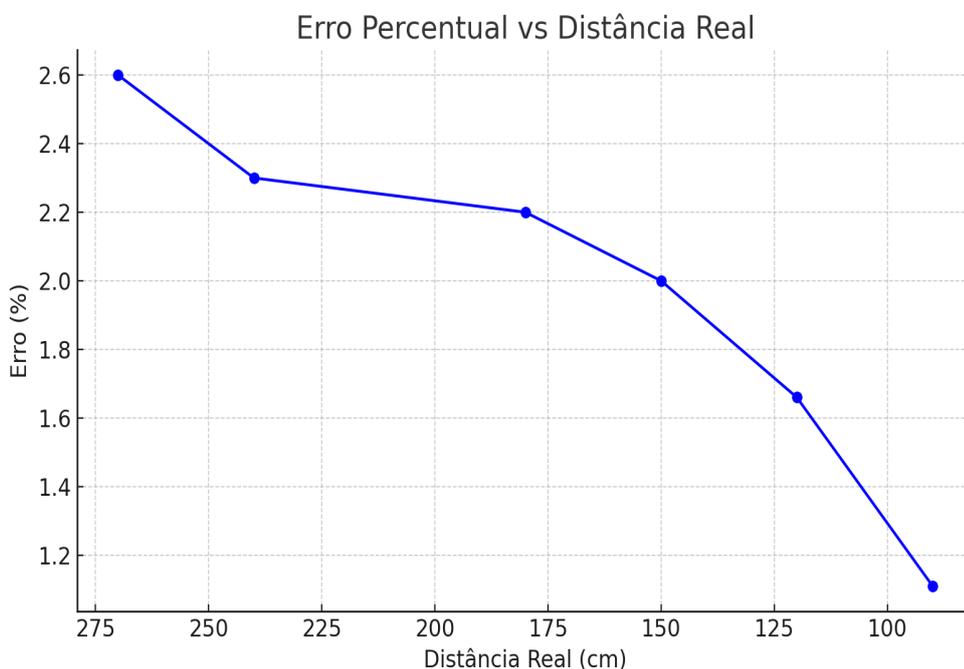


Figura 10. Erro do sensor ultrassônico em função da distância medida.
Fonte: Os autores (2025).

As limitações de campo de detecção e distância máxima do sensor utilizado foram analisadas com base nas informações técnicas disponibilizadas pelo fabricante.

3.2 Testes de Campo

Para avaliar o desempenho do dispositivo em condições práticas, foram realizados testes em cenários reais, abrangendo ambientes internos (residência), ambientes naturais (área com vegetação) e urbanos (rua). Durante as avaliações, foram considerados fatores como a eficácia na detecção de obstáculos e a identificação do modo de funcionamento que melhor se enquadra a cada tipo de cenário, levando em conta a variedade e a complexidade dos objetos presentes. O procedimento de avaliação para todos os ambientes, consiste em percorrer as áreas testadas e seus obstáculos. Ressalta-se que os testes foram realizados por uma pessoa vidente. As observações obtidas nesses testes estão organizadas na TABELA 1.

TABELA 1.

Resultados dos testes de detecção e modos de operação em diferentes cenários reais.

Ambiente	Obstáculos Típicos	Modo Mais Eficaz	Objetos Detectados	Observações
Sala Residencial	Sofás, mesas, cadeiras, estantes	Modo 0 (contínuo) ou Modo 1 (threshold)	Majoritariamente sim	O modo 0 favorece a percepção espacial; o modo 1 é adequado em ambientes previamente conhecidos.
Área Natural	Árvores, troncos, galhos, folhagens	Modo 0 (contínuo)	Parcial	O modo 0 é mais adequado devido à imprevisibilidade e variações naturais do cenário.
Rua Residencial	Postes, calçadas, veículos, parede	Modo 1 (threshold)	Sim	O modo 1 proporciona maior estabilidade e precisão na detecção de obstáculos fixos.

Fonte: Os autores (2025).

O primeiro ambiente de teste escolhido foi uma sala residencial. O local possuía obstáculos variados, como sofás, mesas, cadeiras e estantes, conforme Figura 11. Contando com uma combinação variável de superfícies, e materiais, de formas retas e complexas. O modo de detecção contínua (Modo 0) demonstrou melhor desempenho ao proporcionar uma percepção espacial constante das distâncias, característica especialmente útil em ambientes fechados e dinâmicos. Contudo, caso a percepção espacial contínua não seja necessária, o modo baseado em *threshold* (Modo 1) também se mostrou eficaz.



Figura 11. Ambiente da sala de casa, com obstáculos variados como móveis e estantes.

Fonte: Os autores (2025).

O segundo teste foi realizado em uma área natural aberta, caracterizada por vegetação rasa com árvores de diversos tamanhos, composto por diversos materiais e formas variáveis, como troncos, galhos e folhagens, conforme Figura 12.



Figura 12. Ambiente natural, com presença de árvores.
Fonte: Os autores (2025).

De modo geral, objetos de grande porte, como troncos de árvores grossas, foram detectados. Porém objetos de menor porte como, galhos finos e folhagens, demonstraram uma dificuldade em serem detectados. Considerando a imprevisibilidade do ambiente natural, com elementos dinâmicos como o balançar das árvores e a variabilidade nas formas dos obstáculos, o modo de detecção contínua (Modo 0) comportou-se com maior eficácia em detectar este cenário.

O terceiro ambiente de teste foi uma rua residencial, apresentando obstáculos urbanos como postes, árvores etc., conforme Figura 13.



(a)



(b)

Figura 13. Ambiente de rua em área residencial, com obstáculos urbanos como postes e veículos.
Fonte: Os autores (2025).

No terceiro ambiente de teste, superfícies predominantemente retas e lisas facilitaram a identificação de objetos fixos e de maior porte. Embora elementos mais elevados, como fios, ainda apresentassem certa limitação para detecção, a maioria dos obstáculos relevantes ao deslocamento foi reconhecida de forma eficiente. Devido à natureza mais estática do ambiente urbano e à uniformidade das superfícies,

o modo de detecção por *threshold* (Modo 1) demonstrou melhor desempenho, proporcionando uma resposta mais precisa e reduzindo leituras inconsistentes.

De acordo com os testes de consumo de corrente elétrica em stand-by e durante acionamento de obstáculos, utilizando uma bateria retangular de 9V facilmente encontrada no mercado brasileiro projeta-se uma autonomia de 8 a 14 horas. A autonomia do sistema depende do tipo de bateria e do ambiente utilizado, uma vez que a energia da bateria é mais exigida cada vez que um obstáculo é detectado e o motor de vibração é acionado. Assim sendo, sugere-se utilizar bateria recarregável para menor despesa com este item, bem como que o usuário tenha sempre uma bateria reserva ao utilizar o dispositivo por longos períodos.

Material suplementar desta pesquisa, como código completo, figuras, entre outras informações está disponível em: <<https://github.com/dirgogoo/Oculos-Sonar>>.

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento e montagem do protótipo funcionou de acordo com o previsto, sendo possível incorporá-lo à estrutura de um par óculos escuro convencional. A estrutura foi dividida em três partes, de modo a equilibrar o peso e não sobrecarregar o design. O sensor de ultrassom foi posicionado à frente dos óculos, sobre a armação das lentes, enquanto módulo de controle e motor de vibração foram posicionados em uma lateral e botão de seleção de modo e bateria na outra lateral. Os modos de seleção permitem adaptar o dispositivo para diferentes ambientes e cenários de obstáculos. Entretanto, obstáculos pequenos como fiação derrubada de postes de iluminação e árvores com galhos com poucas folhas mostraram-se desafiadores. A continuidade da pesquisa contempla a possibilidade de incorporar novos sensores, incluir sinalização sonora além da vibração, explorar diferentes fontes de energia e métodos de recarga, desenvolver um gabinete impresso em 3D compatível com diferentes tipos de armações de óculos, bem como realizar testes de campo com pessoas com deficiência visual.

REFERÊNCIAS

ABREU, D.; et al. Low-cost ultrasonic range improvements for an assistive device. *Sensors*, v. 21, n. 12, p. 4250, 2021. DOI: 10.3390/s21124250.

AGARWAL, R.; et al. Low cost ultrasonic smart glasses for blind. In: 2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). IEEE, 2017. p. 210-213. DOI: 10.1109/IEMCON.2017.8117194.

CSAPÓ, Á., WERSÉNYI, G., NAGY, H. *et al.* A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: a review and foundation for research. J Multimodal User Interfaces Vol. 9, pp. 275–286, 2015. DOI: 10.1007/s12193-015-0182-7.

DAKOPOULOS, Dimitrios; BOURBAKIS, Nikolaos G. Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: a survey. IEEE Transactions on Systems, Man., and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), v. 40, n. 1, p. 25-35, 2009. DOI: 10.1109/TSMCC.2009.2021255.

EDN. HC-SR04 Ultrasonic Sensor Datasheet, ITead Studio, 2010. Disponível em: <<https://www.edn.com/electroschematics/wp-content/uploads/2013/07/HC-SR04-datasheet-version-2.pdf>>. Acesso em: Abril 27, 2025.

ELMANNAI, W.; ELLEITHY, K. Sensor-based assistive devices for visually-impaired people: Current status, challenges, and future directions. Sensors, v. 17, n. 3, p. 565, 2017. DOI: 10.3390/s17030565.

HUANG, C-Y; WU, C-K; LIU, P-Y. Assistive technology in smart cities: A case of street crossing for the visually-impaired. Technology in Society, v. 68, p. 101805, 2022. DOI: 10.1016/j.techsoc.2021.101805.

MISCHIANTI, R. Arduino Nano: high-resolution pinout, datasheet and specs, Renzo Mischianti Electronic, 3D Printing and Embedded Programming, 2024. Disponível em: <<https://mischianti.org/arduino-nano-high-resolution-pinout-datasheet-and-specs/>>. Acesso em: Maio 02, 2025.

SAMUDA, P.; et al. Arduino based Customized Smart Glasses for the Blind People. In: 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS). IEEE, 2022. p. 1136-1141. DOI: 10.1109/ICAIS53314.2022.9742799.

Santos, V. B. S., et al. Gêmeo Digital com Detecção de Distância e Cores em Tempo Real e Representação em Ambiente Virtual, 14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP, 2023, ISSN: 2178-9959. Disponível em: <<https://ocs.ifsp.edu.br/conict/xivconict/paper/view/9421/3415>>. Acesso em Maio 02, 2025.

TODE, W. A.; MAHAJAN, J. R.; GADEKAR, S. S. Glasses for Guiding Visually Impaired Using Ultrasonic Sensor and Microcontroller: A Review, Innovative Research in Technology (IJIRT), Vol. 11, Issue 1, pp 2512-2514, 2024. Disponível em: <<https://ijirt.org/Article?manuscript=165974>>. Acesso em: Maio 02, 2025.

NIRMAL, K. et al. Noise modeling and analysis of an IMU-based attitude sensor: Improvement of performance by filtering and sensor fusion. In: Advances in optical and mechanical technologies for telescopes and instrumentation II. SPIE, 2016. p. 2138-2147. DOI: 10.1117/12.2234255.



WHO, World report on vision, Department of Noncommunicable Diseases, World Health Organization, 2019. Disponível em: <<https://www.who.int/docs/default-source/documents/publications/world-report-on-vision-accessible-executive-summary.pdf>>. Acesso em: Abril 23, 2025.

WHO, Global report on assistive technology, World Health Organization & United Nations Children's Fund, 2022. Disponível em: <<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/354357/9789240049451-eng.pdf>>. Acesso em: Abril 23, 2025.