

# Proposta de Tecnologia Assistiva para auxiliar pessoas com Deficiência Visual na detecção de obstáculos

Carlos Almeida<sup>1</sup>, Petrucio Filho<sup>1</sup>, Iury Rosal<sup>1</sup>, Rafael Gonçalves<sup>1</sup>, Paulo Aguilar<sup>1</sup>,  
M. Simone M. Nunes<sup>2</sup>, Marcelo Martins<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará - Campus Quixadá - Quixadá - CE- Brazil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pará - UFPA

{eduardoalmeida8246,petruciofilho, rafagomes53}@alu.ufc.br

{iuryrosal,cavacante.aguilar,simone.mnunes martins2016eng}@gmail.com

**Abstract.** *The World Health Organization indicates that globally there are 39.5 million blind people and 246 million with low vision. In Brazil, 500 thousand are blind, according to research by IBGE. Social inclusion and accessible tools are crucial to support this population with limited mobility; however, obstacles above waist level (such as walls and branches) pose challenges for visually impaired individuals, causing frequent accidents. One solution is a wearable glasses prototype that detects such obstacles using a position detection sensor, with a filter to reduce noise. An Android application provides three types of feedback on obstacles, while laboratory experiments demonstrated specificity of 65.62%, sensitivity of 78.12%, and precision of 69.44%.*

**Resumo.** *A Organização Mundial da Saúde indica que globalmente há 39,5 milhões de pessoas cegas e 246 milhões com baixa visão. No Brasil, 500 mil são cegas, conforme pesquisa do IBGE. A inclusão social e ferramentas acessíveis são cruciais para apoiar essa população com mobilidade limitada, porém, obstáculos acima da cintura (como paredes e galhos), são desafios para deficientes visuais, causando acidentes frequentes. Uma solução é um protótipo de óculos que detecta tais obstáculos usando um sensor de detecção de posição, com um filtro para reduzir ruídos. Um aplicativo Android oferece três tipos de feedback sobre obstáculos, enquanto experimentos em laboratório demonstraram especificidade de 65,62%, sensibilidade de 78,12% e precisão de 69,44%.*

## 1. Introdução

Cerca de 285 milhões de pessoas no mundo têm algum tipo de deficiência visual, isso inclui 37 milhões de pessoas que são totalmente cegas [Nandyal et al. 2023]. Já no Brasil, segundo uma pesquisa do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) realizada em 2010 [IBGE 2010], 23,9% da população possuía pelo menos uma das deficiências investigadas: visual, auditiva, motora ou intelectual. Nesse contexto, a maior incidência foi observada na deficiência visual, que impactou 18,6% da população [Zen et al. 2023].

O desenvolvimento do computador na década de 1960 levou a uma explosão de tecnologias que poderiam ser usadas para permitir pessoas com deficiência acessarem informações [Kelly and Smith 2011]. Os sistemas ubíquos são exemplos que a tecnologia desenvolveu para

apoiar várias atividades do dia-a-dia e, a partir dela, surgiu o que é conhecido hoje como Internet das Coisas (IoT), que é uma coleção de objetos inteligentes que usamos diariamente e são conectados à internet para fornecer aplicações mais relevantes [Carvalho 2019]. No âmbito dos Sistemas Computacionais, ao explorar a acessibilidade, observamos as adaptações que usuários com necessidades especiais podem fazer para interagir com os sistemas. No entanto, a escassez de acessibilidade apresenta-se como um desafio significativo para diversos tipos de deficiências, sendo uma lacuna persistente em muitos contextos [Melo et al. 2009].

As pessoas com deficiência visual enfrentam no dia-a-dia uma série de desafios, mas eles podem ser amenizados com o uso dessas tecnologias desenvolvidas como, por exemplo, as Tecnologias Assistivas e a disponibilidade de muitas formas de tecnologias adaptativas [Nandyal et al. 2023]. Nesse campo, a Tecnologia Assistiva (TA) é definida como o conjunto de recursos e serviços que colaboram para a expansão das habilidades funcionais deficitárias, oferecendo à pessoa com deficiência independência, qualidade de vida e inclusão social [Bersch and Tonolli 2006].

Nas últimas décadas, houve uma expansão do interesse de pesquisa no campo das Tecnologias Assistivas e o desenvolvimento significativo de produtos para esse público, como, bengalas inteligentes, *wearables* (vestíveis), dispositivos baseados em *smartphones* e aplicativos, telas táteis e interfaces e retinianos (olhos biônicos), entre outros [Bhowmick and Hazarika 2017, Torres et al. 2021]. Outro tipo de Tecnologia Assistiva com várias aplicações é o *smartglass* (óculos inteligente), um tipo de dispositivo vestível que pode ser usado no rosto e permite uma visão mais clara, suporta tecnologias de comunicação sem fio, como *bluetooth* e Wi-Fi [Kim and Choi 2021]. Numerosos estudos foram conduzidos sobre o uso dos *smartglasses* em variadas áreas, e vários artigos de revisão avaliaram a adequação deles para propósitos de pesquisa [Kim and Choi 2021]. Na revisão sistemática de [Kim and Choi 2021], a maioria dos trabalhos sobre *smartglasses* investigados tinham o objetivo de usar a tecnologia para visualizar, informar, e notificar os usuários dos perigos e compartilhamento de informações.

O presente trabalho busca oferecer uma proposta de solução composta por um *smartglass*, para o uso das pessoas com deficiência visual para detecção de obstáculos acima do nível da cintura de forma complementar às bengalas tradicionais. A solução consiste em sensores capazes não apenas de detectar obstáculos, mas também de monitorar os movimentos da cabeça.

## 2. Trabalhos Relacionados

É possível identificar várias propostas vestíveis com o objetivo de auxiliar as pessoas no dia-a-dia. O trabalho de [PANDELO 2016], por exemplo, é aplicado à área da saúde e tem como objetivo desenvolver uma solução para dispositivos vestíveis que seja capaz de converter os dados coletados em informações relevantes para o usuário, auxiliando-o na tomada de decisões em situações de quedas. O sistema criado neste projeto consistiu em duas aplicações: uma destinada a smartphones com Sistema Operacional Android e outra para *smartwatches* com Sistema Operacional Android *Wear*. Essas aplicações são responsáveis por coletar dados, gerar relatórios diários e enviar alertas no caso de detecção de uma queda. O produto resultante desse desenvolvimento foi nomeado *Ideen Healthcare*.

O estudo em [da Silva et al. 2021] apresenta um protótipo de dispositivo vestível em forma de óculos para detecção de obstáculos acima da cintura. Utilizando um sensor infravermelho, um sensor de posição e um filtro de Kalman para suavização de ruídos, o dispositivo

alcançou 93% de sensibilidade e 95% de especificidade. Experimentos de laboratório e testes de usabilidade foram realizados, demonstrando sua eficácia como ferramenta para auxiliar pessoas com deficiência visual.

Já em [Chen et al. 2019], os autores desenvolveram uma solução que envolve um aplicativo, bengala, óculos e uma plataforma online para informações. O sistema proposto funciona detectando eventos dos usuários como quedas ou colisões com a ajuda do óculos e bengala por meio de sinal *bluetooth*. Os óculos detectam os obstáculos pelo sensor IR, enquanto a bengala não tem um sensor de detecção, apenas alguns módulos de posição, como GPS e MPU. Ao detectar esses eventos, o sistema envia essas informações à plataforma online, que as distribui aos aplicativos cadastrados. A solução tem a proposta de avisar a parentes e amigos se a pessoa caiu ou colidiu em algo. No trabalho, os autores também não fizeram nenhum tipo de avaliação.

Em relação ao presente trabalho, a principal diferença com os trabalhos relacionados mencionados nessa seção é que o dispositivo é avaliado com voluntários. Outro aspecto importante é que nesta pesquisa também possui uma aplicação mobile associada ao óculos, diferindo dos trabalhos relacionados por ser desenvolvida a partir de diretrizes de acessibilidade, havendo incorporações de comandos para auxiliar na navegação e utilização das funcionalidades, como o comando de voz que orienta o usuário. Em [Chen et al. 2019] há a bengala e óculos como dispositivos físicos, assim como neste artigo. Ademais, foi empregado Filtro Complementar para melhorar a performance com a filtragem de ruídos.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Óculos Inteligente

O dispositivo proposto combina um par de óculos com sensores de posição e detecção de presença, permitindo a identificação de obstáculos enquanto o usuário se desloca. Quando um obstáculo é detectado e considerando a posição da cabeça do usuário, um sinal é enviado via *bluetooth* para o aplicativo em seu *smartphone*. Esse sinal tem o objetivo de alertar o usuário sobre a proximidade de um obstáculo (dentro de 1 metro), por meio de áudio, vibração ou ambos. Vale ressaltar que os óculos são uma adição às bengalas, não as substituindo. A Figura 1 dispõe da visão geral do funcionamento do dispositivo.

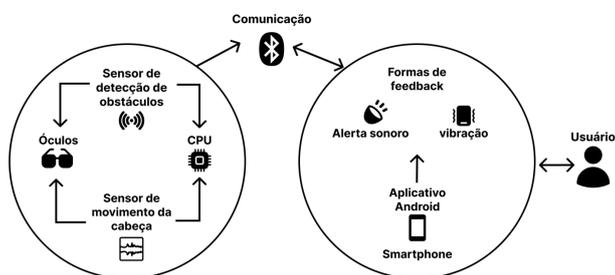


Figura 1. Visão Geral

Um elemento crucial na proposta é a obtenção da posição da cabeça do usuário. A aplicação possui um módulo composto por acelerômetro e giroscópio, os quais capturam a direção na qual possíveis obstáculos podem estar presentes. Isso assegura que o usuário não seja incomodado por situações de obstáculos incorretos ou desconfortáveis. A determinação da posição da cabeça é realizada através dos sensores acelerômetro e giroscópio

do módulo MPU 6050. Esses sensores permitem o cálculo do ângulo de inclinação da cabeça do usuário, aplicando o conceito de *Complementary Filter*, modelado matematicamente pela Equação 1 [Gui et al. 2015]:

$$\theta_{Angle} = \alpha * (\theta_{Angle} + \omega_{Gyro} * dt) + (1 - \alpha) * (a_{Acc}) \quad (1)$$

Na equação,  $\theta_{Angle}$  é o ângulo de inclinação,  $\alpha$  é o coeficiente do filtro,  $\omega_{Gyro}$  é a velocidade angular do giroscópio e  $a_{Acc}$  é o ângulo obtido a partir dos dados do acelerômetro. Esse filtro emprega uma combinação de filtros passa-baixa, que são responsáveis por atenuar flutuações de curto prazo, permitindo apenas a passagem de sinais de longa duração, e filtros passa-alta, que operam de maneira inversa, eliminando sinais estáveis ao longo do tempo e garantindo a passagem de sinais de curta duração. Essa estratégia conjunta resulta em uma filtragem eficaz, capaz de preservar os dados relevantes enquanto suprime o ruído indesejado [Gui et al. 2015]. Após serem filtradas, as informações são preservadas com mínimo de ruído possível, garantindo a precisão dos dados relacionados à posição da cabeça do usuário. Isso se mostra crucial em situações onde podem ocorrer potenciais obstáculos, como quando a cabeça está inclinada para a direita, esquerda ou para cima. No entanto, ao baixar a cabeça, a detecção de obstáculos pode não ser precisa, sendo interpretada como um falso positivo.

### 3.2. Dispositivos e Plataformas

No presente trabalho propõe-se um sistema de detecção de obstáculos em conjunto com um sistema de detecção de movimentos da cabeça do usuário, que é composto por duas partes principais: o sistema embarcado, constituído por um microcontrolador e os sensores para captura de posição e detecção de objetos; uma aplicação *Android*, responsável por fornecer uma interface de usuário, para o que o mesmo recebe um feedback de acordo com sua escolha. Os componentes, selecionados para a composição da arquitetura, foram escolhidos seguindo critérios de preço, facilidade de programação e disposição de componentes.

Para a alimentação do circuito, foi escolhido o módulo *LilyPad Power Supply*. Trata-se de uma fonte de alimentação com pequenas dimensões, porém, suficiente para a demanda energética do sistema. O *LilyPad Power Supply* utiliza uma pilha AAA comum e amplifica a sua tensão para até 5V, podendo ter uma tensão de entrada variável de 1,2 até 5V. Para a detecção de movimentos da cabeça, foi selecionado o módulo acelerômetro e giroscópio MPU6050, o qual captura dados de informação da posição da cabeça da pessoa que está usando o óculos. O módulo possui no mesmo invólucro um acelerômetro e um giroscópio de alta precisão com tecnologia de sensor de movimento inercial. Para a detecção de obstáculos, foi escolhido o sensor de distância VL53L0X que é caracterizado por usar uma fonte de luz laser fina e invisível, e um circuito para detectar quanto tempo a luz levou para atingir um objeto e retornar para o sensor. O VL53L0X pode medir distâncias entre 30 e 2000mm com alto grau de precisão, tem interface I2C e aceita alimentação entre 2.6V e 5.5V.

Para a comunicação foi escolhido o módulo *bluetooth* HC 05 que oferece uma forma simples e de baixo custo de comunicação e suporta tanto o envio quanto o recebimento de informações com alcance de até 10m. Por fim, para o processamento das informações, foi selecionado o Arduino Micro é uma placa microcontroladora baseada no ATmega32U4, desenvolvida em conjunto com a Adafruit.

### 3.3. Implementação

Para implementar o sistema de detecção de obstáculos, foi escolhida a linguagem da plataforma Arduino, que é semelhante às linguagens C/C++. Criamos um algoritmo que realiza a detecção de obstáculos, seguindo um fluxo semelhante ao apresentado na Figura 2.

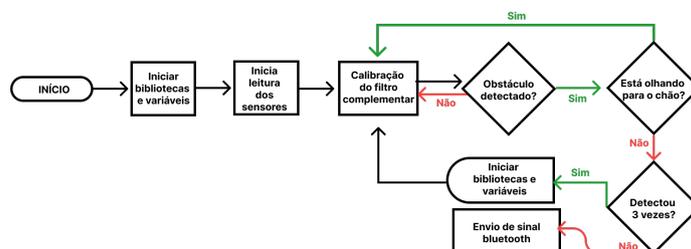


Figura 2. Fluxograma de Funcionamento da detecção dos obstáculos

O algoritmo começa inicializando as bibliotecas e as variáveis necessárias. Essa inicialização é responsável por habilitar as funções de comunicação entre os periféricos, bem como o Filtro Complementar. Após a inicialização, começam as leituras dos sensores que constituem o sistema, que são sensores de dois tipos: um acelerômetro e giroscópio – para capturar a posição adequada – e um sensor VL530X – para realizar a detecção de obstáculos. Dois casos de falsos positivos foram identificados: (1) **O chão**: Um algoritmo de Filtro Complementar analisa os ângulos X e Y para distinguir se o obstáculo é o chão. Em caso positivo, as leituras normais são retomadas. (2) **Usuário parado perto de objeto/pessoa**: Se um obstáculo é detectado três vezes seguidas e o usuário não se move em direção ao chão, após 3 segundos, o sistema retoma a leitura. Caso contrário, o alerta *Bluetooth* é enviado. A pesquisa está em estágio preliminar, com planos de adicionar reconhecimento de padrões como andar e sentar.

### 3.4. Desenvolvimento do Protótipo

Para explorar as funcionalidades e a proposta do projeto, foi desenvolvido um protótipo composto pelos componentes selecionados para a arquitetura do sistema. O processo de idealização do protótipo iniciou com uma sessão de *brainstorming*, baseada nos princípios de [Barbosa et al. 2021], em que todos os membros da equipe participaram, incluindo estudantes de Design e Engenharia, além dos estudantes de Mestrado em Computação. O resultado dessa etapa foi a concepção de um dispositivo adaptado com duas caixas 3D. Em uma dessas caixas, encontra-se o sensor de detecção de obstáculos disposto na Figura 3. Para a modelagem do protótipo, optou-se pelo programa Fusion 360, desenvolvido pela Autodesk, um software de design assistido por computador. Já para a impressão 3D, foi utilizado o Poliacido Láctico (PLA), um polímero termoplástico obtido a partir de matérias-primas de fontes renováveis [Oliveira 2016], devido à sua disponibilidade e acesso nos laboratórios. A Figura 3 exibe o protótipo desenvolvido com todos esses componentes em conjunto.



Figura 3. Protótipo Desenvolvido

### 3.5. Aplicativo Android

Em referência ao trabalho [Guerra et al. 2018], uma versão de aplicativo para dispositivos *Android* foi proposta, visando proporcionar uma experiência de interação aprimorada entre o usuário e o sistema. Essa aplicação foi cuidadosamente desenvolvida com foco no atendimento às necessidades dos deficientes visuais, adotando rigorosas diretrizes de acessibilidade e incorporando comandos de voz para orientar o usuário nas ações necessárias e na localização de elementos interativos. O funcionamento do aplicativo pode ser descrito da seguinte maneira:

- Ao iniciar o aplicativo, o usuário é direcionado para a tela apresentada na Figura 4A. Nessa tela, ele tem a opção de escolher sua preferência em relação à forma de receber os avisos sobre a detecção de obstáculos. Existem três opções disponíveis: alerta por voz, alerta por vibração ou ambas as opções combinadas.
- Posteriormente, o usuário é redirecionado para a tela mostrada na Figura 4 B, na qual é necessário estabelecer uma conexão via *bluetooth* entre o aplicativo e os óculos. Para realizar essa conexão, é essencial que o *bluetooth* do dispositivo esteja ativado.
- Quando o sensor dos óculos detectar a presença de algum objeto que possa representar um obstáculo para o usuário, é enviada uma notificação ao dispositivo *Android*. Essa notificação informa ao usuário sobre a presença desse empecilho em seu caminho, permitindo que ele tome as medidas adequadas para evitar possíveis colisões ou outros incidentes.



Figura 4. (A) Tela inicial; (B) Tela de funcionalidade

### 3.6. Avaliação de Desempenho

Para explorar as funcionalidades do dispositivo, conduzimos uma avaliação de desempenho por meio de experimentos planejados e realizados em um ambiente de laboratório controlado. O objetivo dessa avaliação foi verificar a resposta e a eficiência do algoritmo do Filtro Complementar, uma etapa importante que precisava ser testada antes de sua integração com os demais sensores do sistema. Durante a avaliação, foram testadas situações distintas, proporcionando uma análise abrangente do dispositivo em várias configurações.

A primeira situação envolveu a coleta e utilização exclusiva dos dados fornecidos pelos sensores MPU6050 e VL53L0X, sem a aplicação do Filtro de Complementar, restringindo o uso somente às informações do giroscópio. Essa abordagem permitiu avaliar a precisão e a confiabilidade das medições baseadas nos sensores específicos escolhidos. Durante a primeira situação, apenas os pesquisadores realizaram os testes.

Na segunda situação, foram realizados os testes utilizando as informações processadas pelo Filtro de Complementar. Essa etapa foi essencial para entender como o filtro aprimorava a qualidade dos dados obtidos pelos sensores, combinando-os de maneira sinérgica para melhorar

a precisão geral do dispositivo. Durante a segunda situação de teste, 8 participantes voluntários que não são pessoas com deficiência visual, 5 do sexo masculino e 3 do sexo feminino, com alturas variando de 1,54m a 1,73m e idades entre 23 e 35 anos participaram do estudo. Para que os experimentos ocorressem, preocupações éticas foram consideradas, de acordo as diretrizes da resoluções 466/2012 e 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde. O termo de consentimento foi apresentado e assinado pelos participantes.

Durante todas as situações de teste, os participantes foram instruídos a realizar movimentos da cabeça em diversas direções, tais como para frente, para cima, para baixo, para a direita e para a esquerda. Essa abordagem diversificada permitiu examinar a capacidade do dispositivo em lidar com diferentes posições de movimento, replicando cenários de uso em seu dia a dia. Os testes aconteceram em dois tipos de cenários: (i) os que tinham obstáculos e (ii) cenários em que se encontravam situações com falso positivo e falso negativo. Os Cenários do ambiente controlado são:

Com obstáculos:

- Cenário 1: Caminhar pela copa (geladeira, porta do armário aberta, cadeira em cima da mesa), o usuário está caminhando em direção ao banheiro da copa, mas ao passar pela copa, terá que identificar obstáculos como geladeira, a cadeira que estará em cima da mesa e a porta superior do armário que está aberta.
- Cenário 2: Lousa e coluna, o usuário tenta passar nas dependências da sala, inicialmente em sua direção tem uma coluna na qual o mesmo terá que desviar, e ir em direção ao próximo obstáculo que será uma lousa.
- Cenário 3: Portas, parede e janela, o usuário está sentado em uma cadeira no ambiente de trabalho, o mesmo levanta e vai em direção à outra sala, no trajeto ao ir em direção a outra sala o usuário terá que identificar a janela como um obstáculo e depois o mesmo vai até outra sala.

Sem obstáculos:

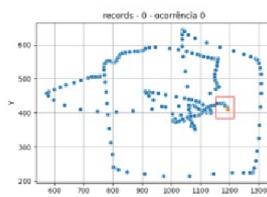
- Cenário 1: Corredor da sala de reuniões (corredor estreito), o usuário irá andar pelo corredor que o direciona a sala de reuniões.
- Cenário 2: Caminhando sozinho e acompanhado, o usuário vai caminhando com outro usuário em direção livremente.
- Cenário 3: Gestos /movimentação para os lados, em baixo, pegando no celular, comendo em uma mesa, leitura de livro, o usuário vai caminhar e vai coçar o braço ou fazer algum gesto, logo após ele vai simular que está comendo.

Os cenários também seguiam um roteiro para avaliação e cada teste foi repetido 8 vezes com todos os usuários para verificar a funcionalidade do sistema. Dentro dos cenários descritos, foram realizadas um total de 128 repetições, das quais 64 foram com obstáculos e 64 sem obstáculos.

### **3.7. Análise dos dados do Módulo Acelerômetro e Giroscópio sem o Filtro Complementar**

A primeira análise dos experimentos foi feita em laboratório sobre o Sensor de Posição, identificando as situações de movimento da cabeça do usuário, como olhar para frente, para baixo, para cima, para direita e para a esquerda. Utilizou-se a IDE do Arduino para capturar os dados dos usuários em formato JSON. Para analisar os *logs* de interação, recorreu-se a linguagem

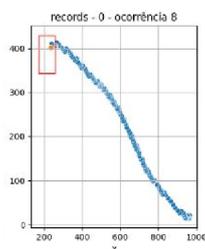
Python, empregando as seguintes bibliotecas: Pandas (para processamento e manipulação dos dados), Matplotlib e Seaborn (para visualização). Observou-se que, em todos os casos, existiam muitos ruídos e inconstância na captura dos movimentos sem a utilização do Filtro Complementar, o que pode causar um problema de inconstância na informação lida e gerar falsos positivos e negativos. Na Figura 5, pode-se ver, por meio do Plotter Serial, os dados capturados no momento do teste da primeira situação, que é o usuário movimentando a cabeça, na qual é possível observar a variação na saída do sensor. O ruído identificado é caracterizado pelas pequenas oscilações e grandes variações no gráfico que fazem com que a informação lida pelo sensor seja instável.



**Figura 5. Saída do sensor de posição sem o Filtro Complementar, na situação em que o usuário está movimentando a cabeça**

### 3.8. Análise dos dados do Módulo Acelerômetro e Giroscópio com o Filtro Complementar

Uma segunda análise dos experimentos foi feita em laboratório sobre o Sensor de Posição, mas agora com a aplicação do Filtro Complementar, identificando as situações de movimento da cabeça do usuário, como olhar para frente, para baixo, para cima, para a direita e para a esquerda. Novamente, utilizou-se a IDE do Arduino para capturar os dados dos usuários em formato JSON. Para analisar os *logs* de interação recorreu-se a linguagem Python, empregando as seguintes bibliotecas: Pandas (para processamento e manipulação dos dados), Matplotlib e Seaborn (para visualização). Com a aplicação do filtro, foi visto que, ao comparar com os resultados sem o filtro, houve uma melhoria, pois os ruídos foram suavizados, fazendo com que a informação capturada em cada situação fosse mais precisa, uma vez que foram identificados padrões na variação do sinal, diferente de antes, quando constantes variações e oscilações apareciam. A Figura 6 apresenta o resultado da saída do sensor de posição com utilização do Filtro Complementar na situação em que o usuário está movimentando a cabeça.



**Figura 6. Saída do sensor de posição com o Filtro Complementar, na situação em que o usuário está movimentando a cabeça**

Ao analisar as saídas dos algoritmos, observou-se que a aplicação com Filtro Complementar teria impacto maior para fins de comparação na pesquisa. Para extrair índices de desempenho do protótipo, comparou-se a situação com o sensor de detecção de obstáculos. Todos

os resultados coletados na avaliação foram mensurados em uma matriz de confusão. Uma matriz de confusão resume os resultados dos experimentos realizados. Esse tipo de representação é uma ferramenta importante para avaliar os resultados das previsões, pois facilita a compreensão e reage aos efeitos de previsões erradas [Monard and Baranauskas 2003]. Ao exibir a quantidade e as porcentagens em cada célula dessa matriz, pode-se ver rapidamente com que frequência o modelo é previsto com precisão. Dessa forma, estarão à disposição três tipos de dados relacionados ao desempenho do sistema, que são precisão, especificidade e a sensibilidade, calculadas através de uma amostragem.

#### 4. Resultados

A avaliação de desempenho durou em média em 40 minutos para cada usuário. Notou-se que eles apresentaram algumas dificuldades iniciais para a utilização da tecnologia. Ao iniciar, os participantes fizeram interrupções para saber qual era o momento certo para iniciar o teste, pois os usuários da avaliação não eram cegos, mas estavam vendados. Sempre tinham dois avaliadores participando, nos quais um estava exclusivamente ao lado do voluntário para prevenção de acidentes com obstáculos do cenário. Não foi necessário realizar a troca de pilha durante os testes. A Figura 7 apresenta momentos do teste.



Figura 7. Testes do Protótipo

Extraindo índices de desempenho do protótipo nas duas situações abordadas, a primeira situação sem a utilização desse filtro, utilizando somente o sensor de detecção VL530X em conjunto com MPU6050, e uma segunda com o sensor de posição (MPU6050) utilizando o Filtro Complementar, é possível comparar e encontrar diferenças entre as abordagens para melhorias. Para isso, uma matriz de confusão resume os resultados dos experimentos realizados, como mostra a Figura (8), para os testes sem o sensor de posição e a Figura (9) para os testes com o sensor de posição, utilizando o Filtro Complementar. Dessa forma, tem-se para a situação em que se utilizou somente a detecção do sensor VL530X o seguinte: Foram analisados 16 objetos em 128 testes. A sensibilidade do dispositivo, indicando sua habilidade em detectar obstáculos verdadeiros, alcançou 59,37%, enquanto a especificidade, que avalia sua capacidade de evitar falsas detecções, foi de 48,43%. A precisão das detecções positivas do dispositivo atingiu 53,52%. As definições incluem verdadeiros positivos (TP), falsos negativos (FN), falsos positivos (FP) e verdadeiros negativos (TN).

SITUAÇÃO DETECTADA	SITUAÇÃO DETECTADA		
	COM OBSTÁCULOS	SEM OBSTÁCULOS	TOTAL
	COM OBSTÁCULOS	59,37% TP: 38	40,63% FN: 26
SEM OBSTÁCULOS	51,57% FP: 33	48,43% TN: 31	100% 64

Figura 8. Matriz de Confusão com os resultados sem o Filtro Complementar

Nesse primeiro momento dos testes, tem-se os seguintes resultados: todos os usuários

do sistema apresentaram dificuldade com a utilização devido a detecção e a quantidade de falsos positivos identificados; observou-se que isso refletiu nos resultados obtidos pela matriz de confusão, como é possível observar a sensibilidade de 59,37%, especificidade de 48,43% e precisão de 53,52%. Talvez um dos fatores que tenha influenciado nesse resultado seja a calibração dos sensores, já que este dispõe de ajuste para o raio de detecção. Já para a aplicação com o sensor de posição utilizando o Filtro Complementar, realizou-se os mesmos cálculos apresentou os seguintes resultados: Foram examinados 16 objetos em um total de 128 testes. A sensibilidade do dispositivo, indicando sua capacidade de detectar obstáculos verdadeiros, foi calculada em 78,12%. Já a especificidade, medindo sua habilidade em evitar falsas detecções, atingiu 65,62%. A precisão das detecções positivas do dispositivo foi de 69,44%. Os valores para verdadeiros positivos (TP), falsos negativos (FN), falsos positivos (FP) e verdadeiros negativos (TN) foram utilizados nas fórmulas de cálculo.

SITUAÇÃO DETECTADA	SITUAÇÃO DETECTADA		
	COM OBSTÁCULOS	SEM OBSTÁCULOS	TOTAL
	COM OBSTÁCULOS	78,12% TP: 50	21,88% FN: 14
SEM OBSTÁCULOS	34,38% FP: 22	65,62% TN: 42	100% 64

**Figura 9. Matriz de Confusão com os resultados com o Filtro Complementar**

Já no segundo momento dos testes, tem-se os seguintes resultados: todos os usuários do sistema apresentaram um nível de dificuldade bem menor com relação a utilização no primeiro teste. Observou-se que isso refletiu nos resultados obtidos pela matriz de confusão, pois, como é possível ver, a sensibilidade de 59,37% subiu para 78,12%, especificidade de 48,43% subiu para 65,62% e a precisão subiu de 53,52% para 69,44%. Os fatores que podem ter influenciado nesse resultado são, primeiramente, o nível de detecção que, agora, apresentou respostas melhores, e a queda na quantidade de falsos positivos e falsos negativos. Além disso, também destacamos que a velocidade de movimentação no ambiente aumentou gradativamente à medida que os usuários se familiarizaram e passaram a confiar no equipamento. Durante a avaliação, notou-se que os usuários tiveram maior dificuldade nos cenários sem obstáculos, outro ponto notado foi, que o dispositivo precisa de ajustes em sua estrutura (por estar com o protótipo considerado grande e o peso ainda gerou incômodo para os participantes), pontos de usabilidade (funcionalidades para iniciar o funcionamento do dispositivo) e ergonomia (usuário precisa estar confortável ao utilizar o dispositivo).

## 5. Considerações Finais

Pessoas com deficiência visual enfrentam diariamente dificuldades na locomoção e na detecção de obstáculos fora do alcance da bengala tradicional. A segurança ao se movimentar é essencial para evitar acidentes, e Tecnologias Assistivas como as propostas neste trabalho ajudam a prevenir tais situações desconfortáveis. A partir da análise bibliográfica realizada, observou-se que o desenvolvimento de Tecnologias Assistivas está avançando e tornando-se cada vez mais relevante e com impacto tecnológico ao introduzir a inovação em artefatos do cotidiano [Chen et al. 2019, PANDELO 2016, Guerra et al. 2018, da Silva et al. 2021]. Em nossa abordagem apresentamos a inovação, combinando um par de óculos convencionais com sensores de detecção de obstáculos e em seu software com algoritmo de filtro complementar.

Na pesquisa, foram conduzidos testes com indivíduos de olhos vendados em um ambiente controlado. O cenário de teste envolveu 8 participantes que não estavam familiarizados com o ambiente. Notou-se um progresso na curva de aprendizado e melhoria ao longo do uso. A avaliação de desempenho, embora limitada por não ter sido conduzida com pessoas cegas, e por não ter avaliado superfícies reflexivas, desempenhou um papel crucial ao identificar problemas e aprimorar a estrutura do projeto. Dentre as contribuições deste trabalho, destaca-se o dispositivo em si, uma ferramenta de acessibilidade promissora que auxilia usuários cegos a identificar obstáculos na região facial de forma complementar as bengalas tradicionais. Isso proporciona a possibilidade de impacto social na vida daqueles que necessitam desse tipo de tecnologia. Outra contribuição está na possibilidade de integração de filtros com sensores para a detecção de obstáculos, uma vez que os resultados de sensibilidade, especificidade e precisão foram promissores, porém precisam de um estudo avançado.

O presente trabalho ainda necessita de melhorias e em trabalhos futuros serão implementadas novas funções para reconhecimento como andar e sentar. Em outro momento será feita uma avaliação no qual serão avaliados fatores ambientais como o calor e verificação das superfícies reflexivas. Além disso, é previsto também a integração com o reconhecimento da situação de detecção de quedas do usuário. Em relação ao *Hardware*, será desenvolvida uma placa de circuito minimizada e possa ser mais leve para o usuário, além de questões ergonômicas. Também serão feitos estudos técnicos com a finalidade de avaliar a durabilidade da parte elétrica/eletrônica do circuito. Ademais, é possível pensar em outro estudo detalhado focando em filtros e algoritmos de inteligência artificial, aprendizagem máquina e visão computacional. Após todas as modificações novos experimentos serão feitos com usuários reais para uma avaliação de IHC.

## Referências

- Barbosa, S. D. J., Silva, B. d., Silveira, M. S., Gasparini, I., Darin, T., and Barbosa, G. D. J. (2021). Interação humano-computador e experiência do usuário. *Auto publicação*.
- Bersch, R. D. C. R. and Tonolli, J. C. (2006). Introdução ao conceito de tecnologia assistiva e modelos de abordagem da deficiência. Recuperado em 11 de agosto de 2022, de <http://www.bengalalegal.com/tecnologia-assistiva>.
- Bhowmick, A. and Hazarika, S. M. (2017). An insight into assistive technology for the visually impaired and blind people: state-of-the-art and future trends. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 11:149–172.
- Carvalho, R. M. (2019). Correlate & lead: process and catalog of non-functional requirements correlations in ubicomp and iot systems.
- Chen, L.-B., Su, J.-P., Chen, M.-C., Chang, W.-J., Yang, C.-H., and Sie, C.-Y. (2019). An implementation of an intelligent assistance system for visually impaired/blind people. In *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pages 1–2.
- da Silva, M. M., Chaves, L. S., Júnior, C. A. F., Guerra, C. S. D., Fernandes, S. R. L., Aguilár, P. A. C., Monteiro, I. T., and Sampaio, A. L. (2021). Wearable device in the form of glasses to assist the visually impaired in detecting obstacles. In *Proceedings of the XX Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–11.
- Guerra, C., Ferreira, C. A., Vasconcelas, G., Saraiva, L., Martins, M., Aguilár, P. A., and Dutra, R. (2018). Smart glasses: óculos inteligente para deficientes visuais. In *Tecnologia*

- Assistiva - Pesquisa e Conhecimento II*, pages 207–218. Fausto Orsi Medola e Luis Carlos Paschoarelli, Canal 6 Editora.
- Gui, P., Tang, L., and Mukhopadhyay, S. (2015). Mems based imu for tilting measurement: Comparison of complementary and kalman filter based data fusion. In *2015 IEEE 10th conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pages 2004–2009. IEEE.
- IBGE (2010). Censo demográfico, características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. *Rio de Janeiro*, 29.
- Kelly, S. M. and Smith, D. W. (2011). The impact of assistive technology on the educational performance of students with visual impairments: A synthesis of the research. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(2):73–83.
- Kim, D. and Choi, Y. (2021). Applications of smart glasses in applied sciences: A systematic review. *Applied Sciences*, 11(11):4956.
- Melo, A., Piccolo, L. S. G., Ávila, I. M. A., and Tambascia, C. (2009). Usabilidade, acessibilidade e inteligibilidade aplicadas em interfaces para analfabetos, idosos e pessoas com deficiência. *Anais do Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*, 9.
- Monard, M. C. and Baranauskas, J. A. (2003). Conceitos sobre aprendizado de máquina. *Sistemas inteligentes-Fundamentos e aplicações*, 1(1):32.
- Nandyal, S., Udgiri, P. R., and Sherikar, S. (2023). Smart glasses for visually impaired person. *Journal of Scientific Research and Technology*, pages 21–31.
- Oliveira, J. M. d. (2016). Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis de poliácido láctico (pla) reforçados com fibras de curauá.
- PANDELO, H. R. D. (2016). Iot e dispositivos vestíveis aplicados à área da saúde.
- Torres, G. G., das Neves Valadão, Y., Cruz, T. R., and Müller, I. (2021). Assistive technology for fall detection development of integrated wearable sensor to smart home system. In *Anais Estendidos do XI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais*, pages 140–145. SBC.
- Zen, E., da Silveira Siedler, M., da Costa, V. K., and Tavares, T. A. (2023). Tecnologia assistiva para auxiliar a interação entre pessoas com deficiência visual e sistemas computacionais: Um mapeamento sistemático da literatura. *iSys-Brazilian Journal of Information Systems*, 16(1):6–1.