

Head-Mounted Displays e IA para Acessibilidade: Ferramentas de Inclusão Sensorial

Leina Yoshida
Unioeste
Foz do iguaçu, Brasil
leinayoshida2004@gmail.com

Gustavo Camargo Domingues
Unioeste
Foz do iguaçu, Brasil
cdomingues.gustavo@gmail.com

Fabiana Frata Furlan Peres
Unioeste
Foz do iguaçu, Brasil
fabiana.peres@unioeste.br

Claudio Roberto Marquette Mauricio
Unioeste
Foz do iguaçu, Brasil
claudio.mauricio@unioeste.br

Abstract—This article explores the use of Head-Mounted Displays, with and without artificial intelligence integration, to enhance accessibility for people with sensory disabilities. Three main applications are analyzed: color perception enhancement for colorblind individuals, audio description for the visually impaired, and real-time translation for the hearing impaired. The discussion includes the challenges and opportunities in implementing these solutions, highlighting the potential of open-source technologies and the collaboration between developers and the scientific community.

Keywords—Head-Mounted Displays; Assistive technology; Sensory accessibility; Open-source assistive solutions; Wearable technology for accessibility.

Resumo—Este artigo explora o uso de *Head-Mounted Displays*, com e sem integração de inteligência artificial, para melhorar a acessibilidade de pessoas com deficiências sensoriais. São analisadas três aplicações principais: ampliação da percepção cromática para daltônicos, audiodescrição para deficientes visuais e tradução em tempo real para deficientes auditivos. A discussão inclui os desafios e oportunidades na implementação dessas soluções, destacando o potencial de tecnologias open-source e a colaboração entre desenvolvedores e a comunidade científica.

Palavras-chave—Dispositivos Montados na Cabeça; Tecnologia Assistiva; Acessibilidade Sensorial; Soluções Assistivas de Código Aberto; Tecnologia Vestível para Acessibilidade.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), milhões de pessoas em todo o mundo vivem com deficiências auditivas e visuais, enfrentando barreiras significativas em sua vida cotidiana. As dificuldades variam desde a navegação em espaços públicos até a compreensão de sinais críticos no ambiente, como sinais de trânsito e alarmes sonoros. Indivíduos com deficiência auditiva, por exemplo, frequentemente enfrentam obstáculos na comunicação e na percepção de sons importantes,

enquanto os daltônicos podem ter dificuldades com a distinção de cores essenciais para tarefas diárias [1], [2].

Diante dessas dificuldades, várias ferramentas de acessibilidade foram desenvolvidas para mitigar esses desafios. Entre elas, as soluções desenvolvidas em dispositivos *Head-Mounted Displays* (HMDs) destacam-se como promissoras, oferecendo interfaces imersivas que ampliam a percepção dos usuários em diferentes sentidos [3]. Esses dispositivos têm mostrado grande potencial em aplicações assistivas, permitindo maior interação com o ambiente ao redor, especialmente quando integrados com tecnologias de inteligência artificial (IA).

Nos últimos anos, a integração de IA em HMDs trouxe melhorias significativas no processamento de dados em tempo real, permitindo o desenvolvimento de soluções cada vez mais acessíveis e eficazes. A IA, combinada com os avanços em sensores e câmeras de alta precisão, aprimora a detecção de objetos, audiodescrição e até a tradução em tempo real de linguagens de sinais [4].

Neste contexto, este artigo explora três principais aplicações de HMDs para a acessibilidade: o aumento da percepção cromática para daltônicos, audiodescrição para deficientes visuais e tradução em tempo real para deficientes auditivos. Essas soluções demonstram o potencial dos HMDs como ferramentas inclusivas, com impacto direto na qualidade de vida de milhões de pessoas. Para identificar essas aplicações, foi realizada uma busca exploratória livre utilizando palavras-chave específicas para cada tema, a fim de localizar as ferramentas relevantes na literatura científica.

II. HEAD MOUNTED DISPLAYS

O conceito de HMDs surgiu na década de 1960, quando Ivan Sutherland desenvolveu o primeiro visor montado na cabeça,

que utilizava uma interface rudimentar de realidade aumentada (AR). Esse dispositivo marcou o início de uma longa trajetória de desenvolvimento tecnológico, culminando nos dispositivos modernos de alta resolução e maior capacidade de interação [3]. Ao longo dos anos, os HMDs passaram de equipamentos volumosos e com baixa resolução para dispositivos mais leves e portáteis, muitos dos quais suportam tanto Realidade Aumentada quanto Realidade Virtual (VR) [5]. Nos últimos anos, essas tecnologias têm se tornado cada vez mais acessíveis ao público devido a preços mais baixos, democratizando o acesso.

Atualmente, encontram aplicações nos HMDs em diversas áreas, incluindo entretenimento, medicina e, particularmente, acessibilidade. No contexto da acessibilidade, esses dispositivos têm se mostrado úteis para enfrentar desafios sensoriais, permitindo que pessoas com deficiências visuais, auditivas e cromáticas interajam de forma mais eficiente com o ambiente ao seu redor. Dispositivos de AR, por exemplo, estão sendo adaptados para fornecer *feedback* visual e auditivo em tempo real, o que representa uma inovação relevante para essas populações [2], [6], [7].

Esses dispositivos são amplamente utilizados para melhorar a percepção e a interação com o ambiente, especialmente em aplicações assistivas. Exemplos como o Oculus Rift e o Meta Quest 3 mostram como as tecnologias imersivas estão permitindo uma integração mais abrangente entre os usuários e o mundo ao redor. Essas plataformas oferecem interfaces personalizadas e imersivas, facilitando a interação de usuários com limitações sensoriais e aprimorando sua experiência com o ambiente.

A evolução dos HMDs, portanto, não se limita ao aumento de desempenho técnico, mas também à sua adaptação a novas áreas, como a acessibilidade. O desenvolvimento dessas tecnologias possibilita que usuários com deficiências sensoriais interajam de maneira mais intuitiva com o mundo físico, e a integração com tecnologias de inteligência artificial, como discutido a seguir, potencializa ainda mais essas soluções.

III. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Nos últimos anos, a IA experimentou um crescimento significativo em diversas áreas, incluindo aplicações assistivas e interativas. O conceito de IA envolve a capacidade de sistemas computacionais em realizar tarefas que tradicionalmente requerem inteligência humana, como reconhecimento de padrões, processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina. Com a popularização de tecnologias como as redes neurais profundas, o aprendizado de máquina supervisionado e o aprendizado não supervisionado, a IA tornou-se parte integral de diversas soluções tecnológicas, proporcionando maior precisão e eficiência em sistemas complexos [8], [9].

O avanço de APIs e ferramentas de IA facilitou a integração de soluções anteriormente inacessíveis a uma grande parte da população. Tecnologias como GPT 4o¹ e DALL-E 2², inicialmente destacadas em áreas criativas, têm sido adaptadas para resolver problemas práticos, como a acessibilidade visual e auditiva. Além disso, técnicas de detecção de objetos em tempo real, como o YOLO³, também contribuíram para a criação de sistemas mais responsivos. O uso de plataformas de código aberto e APIs acessíveis promoveu o desenvolvimento colaborativo, permitindo a aplicação dessas ferramentas em uma ampla gama de contextos [9], [10].

O impacto mais recente da IA se destaca pela capacidade de transformar dispositivos em soluções mais interativas e adaptáveis, proporcionando uma nova camada de inteligência a sistemas que antes eram estáticos. A integração de redes neurais e algoritmos de aprendizado de máquina em tecnologias assistivas possibilita uma resposta mais rápida e precisa às necessidades dos usuários. Essas inovações estão abrindo caminho para novas possibilidades, com a promessa de otimizar a comunicação, a percepção sensorial e a interação em diversos contextos. O contínuo desenvolvimento dessas ferramentas aponta para um futuro onde a IA estará profundamente conectada às soluções de acessibilidade, tornando-as cada vez mais eficazes e acessíveis [9], [10].

IV. SOLUÇÕES USANDO HMDs PARA DALTÔNICOS

A discromatopsia congênita, também conhecida como daltonismo, é uma condição genética geralmente afetando mais homens. Os tipos de discromatopsia incluem o tricromatismo anômalo, onde uma das fotorreceptores funciona de forma anômala, dicromacia, caracterizada pela ausência de um tipo de cone, e monocromacia, que resulta na incapacidade total de distinguir cores. Há também formas adquiridas da condição, como a acromatopsia cerebral, resultante de lesões cerebrais. Dirigir, aprender e até atividades do cotidiano, são dificuldades apresentadas pelos daltônicos. No Brasil, por exemplo, os daltônicos sofrem ao distinguir cores com sinais de trânsito devido à discromatopsia. O direito das pessoas com essa condição de obter a carteira de habilitação é debatido nos tribunais brasileiros, alguns indivíduos reprovados no exame de habilitação buscaram justiça, com resultados variados. Houve também casos de reconhecimento de discromatopsia como deficiência, resultando em apoio em ambientes educacionais. Essas mudanças são vistas como medidas de inclusão social e progresso [11]. Recursos como o óculos Enchroma, desenvolvido pela empresa de mesmo nome que produz uma tecnologia de lentes melhorando a percepção de cores de indivíduos daltônicos, não são

¹<https://openai.com/index/hello-gpt-4o/>

²<https://openai.com/index/dall-e-2/>

³https://pjreddie.com/darknet/yolo/#google_vignette

considerados acessíveis no território brasileiro devido ao seu alto custo e a falta de inclusão de outras variações da doença, já que o produto em si é focado para deficiência cromática de verde e vermelho (protanopia e deuteranopia).

Para lidar com essas limitações, soluções imersivas têm sido desenvolvidas, como o eXPirience⁴, uma aplicação que utiliza o Oculus Rift para simular diferentes tipos de daltonismo em uma exposição de arte, adaptando a experiência de acordo com a deficiência visual do usuário. De forma semelhante, o Chroma oferece ferramentas interativas em Realidade Aumentada através do Google Glass. Este artigo relata vários testes (a partir de imagens, artes, roupas, entre outros) com 23 participantes e utiliza algoritmos (desenvolvidos pelo sistema Google Development Kit, OpenCV Android Library e RGBA to HSVA, um corversor de cores) de daltonização, representado na figura 1, *highlighting mode*, *contrast mode* e *outlining*, que ajustam automaticamente o contraste, destacam e contornam áreas relevantes, facilitando a distinção de cores em diversas situações do cotidiano [12]. Algumas limitações de hardware, processamento e entre outros foram identificadas, entretanto, apesar de ser apenas um protótipo de uso diário, o projeto mostrou-se inovador nesta área e bem recebido pelos participantes [12].

Dessa forma, o desenvolvimento contínuo de soluções em realidade aumentada e virtual tem demonstrado potencial significativo para melhorar a acessibilidade e a experiência de pessoas com daltonismo, oferecendo tanto simulações de deficiência visual quanto ferramentas de apoio para o dia a dia. A aplicação dessas tecnologias visa a uma integração mais fluida entre os usuários e seus ambientes, permitindo que eles interajam de maneira mais natural e intuitiva com o mundo ao seu redor. Outra abordagem interessante é o artigo "Color Blindness Bartender", que simula a visão de pessoas com daltonismo em um jogo de realidade virtual desenvolvido por processamento de imagens, algoritmos de conversão e pela plataforma Unity, utiliza o HTC-Vive head-mounted display e HTC-Vive base como equipamento físico. Nesta aplicação, os usuários devem preparar coquetéis com base em cores e embora não testado, este projeto visa aumentar a conscientização sobre os desafios enfrentados por essas pessoas, ao permitir que o jogador alterne entre diferentes condições visuais [13]. No contexto de exibição de conteúdo em realidade virtual, o estudo "A Simulator to Study the Effects of Color and Color Blindness on Motion Sickness in Virtual Reality" que utilizou o Samsung Gear VR e a plataforma Unity (juntamente com uma extensão para daltônicos) para investigar o impacto do daltonismo na indução de cinetose, permitindo ajustes de cor e simulação de diferentes deficiências visuais para evitar desconforto, com dois

⁴<http://www.infinite.cz/projects/experience-colorblindness>



Fig. 1. Daltonização do Chroma. Para pessoas com deuteranopia, um campo de rosas parece um campo de grama e lírios. Ao aplicar daltonização, a visão das rosas é ajustada para que sejam claramente visíveis, mesmo para quem tem essa condição. Fonte [12]

padrões de imagem (circular e quadriculado) e demonstrando em seus resultados que enjoo em ambientes virtuais podem ser afetadas pela deficiência de cores, impactando positivamente em desenvolvimento de aplicações que considerem limitações visuais de usuários daltônicos. [6].

V. SOLUÇÕES USANDO HMDs PARA DEFICIÊNTES VISUAIS

O avanço nas tecnologias de IA, aliado ao aumento da capacidade dos microcomputadores e à redução de custos dos componentes de *hardware*, permitiu a implementação de sistemas compactos equipados com sensores sofisticados [2]. Esses sensores superam as tecnologias assistivas convencionais, que se baseavam principalmente em sensores de proximidade, oferecendo uma análise mais abrangente dos obstáculos ao redor dos usuários com deficiência visual. Tecnologias que antes eram limitadas pela precisão e pelo *feedback* limitado agora conseguem identificar e fornecer informações detalhadas sobre os obstáculos em tempo real, o que tem contribuído para uma navegação mais segura e autônoma [1], [4].

Soluções recentes, como as apresentadas por Sae-jia et al. [1], utilizam dispositivos montados na cabeça que incorporam câmeras estéreo e sensores ultrassônicos para detectar obstáculos em tempo real. Esses dispositivos não apenas identificam a proximidade de objetos, mas também fornecem estimativas precisas de profundidade, melhorando a percepção espacial do usuário. O *feedback* é dado por motores de vibração acoplados à cabeça do usuário, que vibram de acordo com a localização e proximidade dos objetos, facilitando a navegação mesmo em ambientes complexos. Outro estudo, liderado por Xu et al. [4], explora um sistema similar que utiliza o algoritmo

YOLOv4 para detecção de objetos e câmeras estéreo para estimativa de profundidade. Embora a eficiência desses sistemas tenha sido demonstrada em ambientes controlados, onde o tempo de resposta e a precisão da detecção permitiram uma navegação fluida e segura, ambos trabalhos não envolveram validação com usuários finais, o que limita a compreensão dos desafios e da eficácia em cenários reais de uso.

Além da detecção de obstáculos, outra aplicação importante de HMDs é a geração de audiodescrição em tempo real. Um exemplo relevante é o estudo de Mauricio et al. [2], que explora o uso do Meta Quest 3 para capturar cenas do ambiente ao redor do usuário e convertê-las em descrições auditivas detalhadas. Este sistema utiliza IA, na nuvem, para processar as imagens capturadas e fornecer descrições em tempo real, facilitando a navegação e a interação com o ambiente de maneira inclusiva e segura. O cenário de teste do trabalho, para validação, foi realizado com um voluntário com deficiência visual, cegueira completa, em um evento de tecnologia movimentado. Apesar de não conter uma alta gama de teste com diferentes usuários finais, o teste foi suficiente para trazer importantes feedbacks e observações sobre aplicações dessa natureza.

Outros dispositivos como o Ray-Ban Meta Smart Glasses⁵ oferecem uma solução que permite ao usuário solicitar audiodescrição via comandos de voz, aproveitando uma IA integrada na nuvem para interpretar e descrever o ambiente. A OrCam MyEye⁶, outra tecnologia relevante, oferece funcionalidades semelhantes com a vantagem de funcionar *offline*, garantindo acessibilidade mesmo em áreas sem conectividade com a internet.



Fig. 2. OrCam MyEye 3 Pro (esquerda), Meta Quest 3 (meio) e Ray-Ban Meta Smart Glasses (direita)

A combinação de sensores avançados com tecnologias de processamento de IA integradas em HMDs demonstrou um avanço significativo na acessibilidade para deficientes visuais. Dispositivos como o Meta Quest 3, Ray-Ban Meta Smart Glasses e OrCam MyEye (Fig. 2) mostram como o uso de câmeras e sistemas de detecção pode melhorar a independência dos usuários, fornecendo descrições precisas do ambiente e avisos sobre obstáculos [2], [14], [15]. O desenvolvimento contínuo dessas tecnologias, especialmente em soluções de código aberto, abre novas oportunidades para a criação de

⁵<https://www.meta.com/smart-glasses/>

⁶<https://www.orcam.com/pt-pt/orcam-myeye>

sistemas assistivos acessíveis e de baixo custo, promovendo uma maior inclusão social.

VI. SOLUÇÕES USANDO HMDs PARA DEFICIENTE AUDITIVO

As pessoas com deficiência auditiva enfrentam desafios recorrentes em sua interação com o mundo ao seu redor, especialmente no que diz respeito à comunicação e percepção de sons do ambiente. A incapacidade de perceber sinais auditivos críticos, como sirenes, alarmes ou até conversas, cria barreiras significativas para sua inclusão em diversos contextos. Esses desafios incluem a falta de um *feedback* sensorial adequado que substitua os sons perdidos, o que pode afetar diretamente a capacidade de responder a estímulos do ambiente e participar de atividades cotidianas [7], [16]. Em resposta a esses problemas, surgiram soluções sensoriais, como dispositivos que utilizam vibrações para fornecer um retorno tátil ao usuário, possibilitando a percepção de eventos sonoros importantes por meio de estímulos físicos. Embora soluções aplicadas em HMDs estejam ganhando tração, as soluções sensoriais, como o uso de vibrações, ainda são mais comuns na literatura [16], [17].

O estudo de Menezes [17] propôs um sistema tátil vestível que utiliza motores de vibração distribuídos pelo torso e braços do usuário para transmitir diferentes sinais táteis em resposta a eventos sonoros em jogos eletrônicos. A interface possui um design modular e ajustável, permitindo adaptações para diferentes tamanhos de corpo, sendo montada com a ajuda de elásticos e velcro. No contexto do jogo, os motores foram programados para simular eventos como luzes piscantes, batimentos de ansiedade e aproximação de monstros, aprimorando a percepção dos perigos e desafios durante a experiência. Os testes foram realizados com 12 participantes, incluindo quatro voluntários surdos, que forneceram feedback sobre a eficácia das vibrações, ressaltando que o sistema foi validado apenas em um ambiente controlado e em um jogo específico.

O dispositivo vestível desenvolvido por Goyal [16] visa facilitar a comunicação entre deficientes auditivos e seus familiares por meio de um sistema de vibração controlado por um microcontrolador compacto, que oferece suporte a comunicação sem fio usando tecnologia de baixo consumo. Para aumentar a eficiência do dispositivo e a duração da bateria, foram feitas otimizações no consumo de energia, além de considerações práticas como a miniaturização dos componentes. O cenário de teste incluiu a validação do protótipo em um ambiente de laboratório, onde foram simuladas interações com familiares, mas não houve uma avaliação direta em um contexto real de uso com diferentes perfis de usuários finais, limitando a generalização dos resultados e o entendimento das aplicações em situações cotidianas.

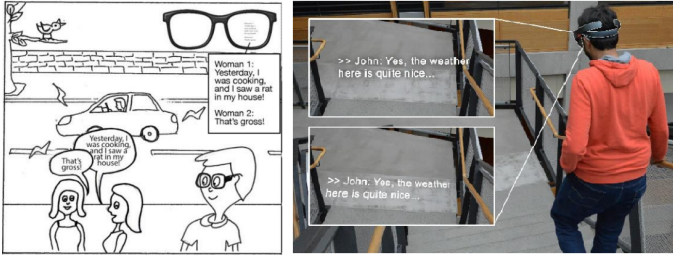


Fig. 3. Exemplos de conceito de ferramentas de transcrição em tempo real do som do ambiente. Fonte [7]

Além das soluções táteis, há também propostas voltadas para a utilização de HMDs. Um exemplo disso é o estudo de Jain [7], que explora o uso de HMDs para exibir legendas em tempo real diretamente no campo de visão do usuário (Fig 3). Essa abordagem permite que pessoas surdas ou com deficiência auditiva acompanhem conversas enquanto caminham ou se movimentam, sem a necessidade de dividir sua atenção visual entre o ambiente e a pessoa com quem estão conversando. Embora essas tecnologias não sejam amplamente aplicadas, elas podem ser potencialmente aprimoradas com o uso de sistemas de tradução em tempo real baseados em IA [18], [19].

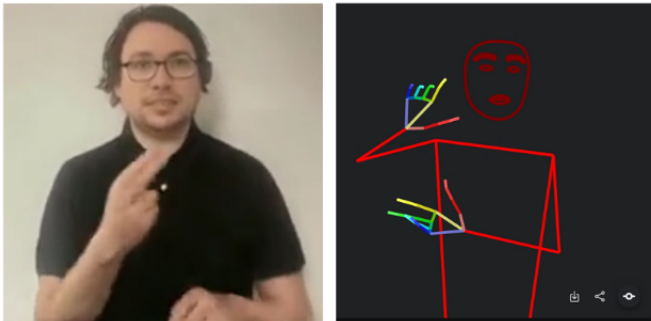


Fig. 4. Diferentes avatares virtuais: Sign-Speak (esquerda) e Sign.mt (direita)

Ferramentas como o Sign-Speak ⁷, que usa IA para traduzir linguagem de sinais em tempo real e exibir um avatar virtual (Fig. 4) no campo de visão do usuário, podem ser integradas a HMDs para facilitar a comunicação. Da mesma forma, o Sign.mt ⁸, uma aplicação *open-source* que realiza tradução bidirecional entre linguagem de sinais e texto ou fala, também pode ser adaptado para esses dispositivos, aprimorando a comunicação de pessoas com deficiência auditiva de forma mais direta e acessível.

⁷<https://www.sign-speak.com>

⁸<https://sign.mt>

A combinação dessas tecnologias de tradução em tempo real com HMDs que exibem o mundo por meio de displays transparentes pode representar um grande avanço para a inclusão de pessoas com deficiência auditiva. Ao integrar essas soluções, seria possível proporcionar aos usuários um *feedback* visual contínuo, eliminando a necessidade de trocar de foco entre o ambiente físico e um dispositivo externo para acompanhar as conversas. Com a evolução da IA e das tecnologias assistivas, há um grande potencial para a criação de sistemas cada vez mais precisos e acessíveis, capazes de oferecer uma experiência fluida e integrada aos usuários em uma ampla gama de contextos. A aplicação de soluções sensoriais, como vibrações, juntamente com tecnologias mais avançadas baseadas em HMDs equipados com IA para tradução de linguagem de sinais, oferece inúmeras possibilidades para aprimorar a acessibilidade de pessoas com deficiência auditiva. Apesar de as soluções sensoriais estarem bem consolidadas, as abordagens envolvendo HMDs ainda estão em estágios iniciais. No entanto, as ferramentas de tradução em tempo real e a integração dessas tecnologias têm o potencial de transformar a forma como pessoas com deficiência auditiva interagem e se comunicam, promovendo maior autonomia e inclusão social.

VII. DESAFIOS E OPORTUNIDADES

No caso de soluções voltadas para o aumento da percepção cromática em daltônicos, o desafio central reside na capacidade de simular diferentes tipos de deficiência visual de forma precisa e adaptável em HMDs. A aplicação em dispositivos como o Samsung Gear VR evidenciou a necessidade de otimizações para evitar desconforto visual, como cinetose, que ainda pode ocorrer durante o uso prolongado de HMDs [6]. Para superar esses desafios, é fundamental o desenvolvimento de tecnologias que permitam ajustes em tempo real das configurações visuais, garantindo que a experiência seja personalizada conforme as necessidades de cada usuário. A implementação de soluções tecnológicas em HMDs para acessibilidade enfrenta diversos desafios, especialmente no que diz respeito à acessibilidade dos dispositivos e à integração de soluções *open-source*. Um dos principais obstáculos está na otimização de *hardware* para suportar funcionalidades complexas, como a ampliação da percepção cromática, audiodescrição em tempo real e tradução de linguagem de sinais, sem comprometer a usabilidade e o conforto dos usuários [2], [6]. Além disso, o desenvolvimento dessas soluções exige uma infraestrutura de código aberto mais robusta, permitindo que a comunidade contribua com melhorias e garanta a adaptabilidade das tecnologias assistivas para diferentes contextos.

Já em relação à tradução em tempo real para deficientes auditivos, o maior desafio envolve a integração de ferramentas como o Sign-Speak e o sign.mt em dispositivos que permitam uma

comunicação visual intuitiva, sem sobrecarregar o campo de visão do usuário [7]. Embora ambas as soluções tenham demonstrado potencial em sistemas independentes, a implementação em HMDs exige que os modelos de IA consigam processar os gestos e traduzir para texto ou fala de forma rápida, sem prejudicar a interação com o ambiente ao redor [7], [18]. O uso de avatares ou esqueletos virtuais para visualização de sinais pode ser uma oportunidade promissora, desde que a latência e a precisão sejam otimizadas, permitindo uma comunicação mais fluida. A audiodescrição para deficientes visuais também apresenta desafios significativos, especialmente na integração de sistemas de IA que possam fornecer descrições precisas e em tempo real do ambiente ao redor. Embora dispositivos como o OrCam MyEye ofereçam soluções *offline* eficazes, a limitação de processamento e a necessidade de uma infraestrutura robusta de IA podem dificultar a adaptação dessas tecnologias para HMDs que precisam capturar e descrever ambientes complexos de forma contínua [2]. Uma oportunidade importante está no aprimoramento dos modelos de IA e no uso de algoritmos de visão computacional mais avançados, possivelmente em nuvem, que podem detectar e interpretar o ambiente de maneira mais eficiente, minimizando o impacto no desempenho do *hardware* [20].

Portanto, as oportunidades para avançar nessas tecnologias estão diretamente ligadas ao desenvolvimento de soluções mais leves, modulares e colaborativas. Vale ressaltar que, a utilização de plataformas *open-source*, como o sign.mt, permite que a comunidade científica e desenvolvedores de tecnologia assistiva colaborem para melhorar a precisão dos algoritmos e a experiência do usuário. Ao mesmo tempo, dispositivos como o Meta Quest 3 e o Ray-Ban Meta Smart Glasses já demonstraram que a integração de IA com HMDs é viável, desde que haja um equilíbrio entre desempenho e conforto para o usuário [2], [14], [15]. O avanço dessas tecnologias permitirá que as soluções se tornem mais acessíveis, promovendo uma inclusão mais ampla para pessoas com deficiência sensorial.

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As soluções discutidas, como a ampliação da percepção cromática, a audiodescrição e a tradução em tempo real, ilustram o impacto positivo que dispositivos vestíveis podem ter na inclusão social de pessoas com deficiências visuais e auditivas. O desenvolvimento dessas tecnologias, em conjunto com a integração de inteligência artificial, possibilita a criação de ferramentas mais dinâmicas e adaptáveis, que atendem às necessidades específicas de cada indivíduo. A utilização de plataformas colaborativas, como os sistemas de código aberto, também desempenha um papel fundamental ao fomentar a inovação e a personalização dessas soluções, proporcionando

uma experiência de interação mais inclusiva e acessível para os usuários.

Apesar dos desafios, as oportunidades de avanço são substanciais. O uso de plataformas *open-source* e a colaboração entre desenvolvedores e a comunidade científica prometem acelerar o desenvolvimento de soluções mais eficientes e acessíveis. Com a evolução contínua das tecnologias de HMDs, espera-se que essas soluções se tornem cada vez mais acessíveis, promovendo uma inclusão mais ampla e significativa para pessoas com deficiência sensorial.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Sae-jia, R. L. Paderon, and T. Srimuninnimit, "A head-mounted assistive device for visually impaired people with warning system from object detection and depth estimation," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2550, no. 1. IOP Publishing, 2023, p. 012034.
- [2] C. Mauricio, G. Domingues, I. Padua, F. Peres, and J. Teixeira, "What if hmds could generate audio descriptions of real scenes for visually impaired people?" in *Proceedings of the 26th Symposium on Virtual and Augmented Reality*, 2024, pp. 203–212.
- [3] J. P. Rolland and H. Hua, "Head-mounted display systems," *Encyclopedia of optical engineering*, vol. 2, pp. 1–14, 2005.
- [4] P. Xu, A. Song, and K. Wang, "Intelligent head-mounted obstacle avoidance wearable for the blind and visually impaired," *Sensors*, vol. 23, no. 23, p. 9598, 2023.
- [5] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani, and M. Ivkovic, "Augmented reality technologies, systems and applications," *Multimedia tools and applications*, vol. 51, pp. 341–377, 2011.
- [6] D. A. Gusev, D. M. Whittinghill, and J. Yong, "A simulator to study the effects of color and color blindness on motion sickness in virtual reality using head-mounted displays," in *Mobile and Wireless Technologies 2016*, K. J. Kim, N. Wattanapongsakorn, and N. Joukov, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2016, pp. 197–204.
- [7] D. Jain, R. Franz, L. Findlater, J. Cannon, R. Kushalnagar, and J. Froehlich, "Towards accessible conversations in a mobile context for people who are deaf and hard of hearing," in *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 2018, pp. 81–92.
- [8] S. Feuerrriegel, J. Hartmann, C. Janiesch, and P. Zschech, "Generative ai," *Business & Information Systems Engineering*, vol. 66, no. 1, pp. 111–126, 2024.
- [9] T. Liu, P. Fazli, and H. Jeong, "Artificial intelligence in virtual reality for blind and low vision individuals: Literature review," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2024, p. 10711813241266832.
- [10] M. R. Morris, "Ai and accessibility," *Communications of the ACM*, vol. 63, no. 6, pp. 35–37, 2020.
- [11] D. G. Melo, J. E. V. Galon, and B. J. B. Fontanella, "Os 'daltônicos' e suas dificuldades: condição negligenciada no brasil?" *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, vol. 24, no. 4, p. 1229–1253, Oct 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/S0103-73312014000400011>
- [12] E. Tanuwidjaja, D. Huynh, K. Koa, C. Nguyen, C. Shao, P. Torbett, C. Emmenegger, and N. Weibel, "Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness," in *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, ser. UbiComp '14. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2014, p. 799–810. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/2632048.2632091>
- [13] Z. Wang, H. Liu, Y. Pan, and C. Mousas, "Color blindness bartender: An embodied vr game experience," in *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 2020, pp. 519–520.



- [14] F. Amore, V. Silvestri, M. Guidobaldi, M. Sulfaro, P. Piscopo, S. Turco, F. De Rossi, E. Rellini, S. Fortini, S. Rizzo *et al.*, “Efficacy and patients’ satisfaction with the orcam myeye device among visually impaired people: a multicenter study,” *Journal of Medical Systems*, vol. 47, no. 1, p. 11, 2023.
- [15] E. Waisberg, J. Ong, M. Masalkhi, N. Zaman, P. Sarker, A. G. Lee, and A. Tavakkoli, “Meta smart glasses—large language models and the future for assistive glasses for individuals with vision impairments,” *Eye*, vol. 38, no. 6, pp. 1036–1038, 2024.
- [16] M. Goyal and G. Basavarajappa, “A wearable iot based assistive device to aid communication with hearing impaired,” in *2023 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference (MAPCON)*, 2023, pp. 1–4.
- [17] E. C. de Menezes and M. V. Lamar, “Haptic system as an accessibility mechanic for hard of hearing and deaf people on video games,” in *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. SBC, 2023, pp. 276–281.
- [18] S. Ozarkar, R. Chetwani, S. Devare, S. Haryani, and N. Giri, “Ai for accessibility: Virtual assistant for hearing impaired,” in *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE, 2020, pp. 1–7.
- [19] T. Fathima, A. Alam, A. Gangwar, D. K. Khetan, and K. Ramya, “Real-time sign language recognition and translation using deep learning techniques,” *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, vol. 2, no. 02, pp. 93–97, 2024.
- [20] H. K. Mistry, C. Mavani, A. Goswami, and R. Patel, “The impact of cloud computing and ai on industry dynamics and competition,” *Educational Administration: Theory and Practice*, vol. 30, no. 7, pp. 797–804, 2024.