

Utilização de Realidade Virtual para Melhoria da Percepção Cromática em Daltônicos

Leina Yoshida¹, Fabiana F. F. Peres¹, Claudio R. M. Mauricio¹

¹Centro de Engenharias e Ciências Exatas (CECE)
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)
Foz do Iguaçu – PR – Brazil

{leina.yoshida, fabiana.peres, claudio.mauricio}@unioeste.br

Abstract. *This paper addresses the ineffectiveness of assistive technologies for dyschromatopsia in the context of virtual reality. As a solution, an immersive “fair” application is proposed to optimize the chromatic perception of color-blind individuals. Following a review of related works, a prototype was developed in Unity and C# for the Meta Quest 3 headset. The implementation, focusing on deuteranopia, utilizes a tag-based system to dynamically alter colors and was validated by a user with the condition. The results confirmed the filter’s effectiveness, increasing the user’s success rate from 52.6% to 94.7%.*

Resumo. *Este artigo aborda a ineficácia das tecnologias assistivas para a discromatopsia no contexto da realidade virtual. Como solução, propõe-se uma aplicação imersiva em formato de “feira” para otimizar a percepção cromática de daltônicos. Após a revisão de trabalhos correlatos, um protótipo foi desenvolvido em Unity e C# para o óculos Meta Quest 3. A implementação, focada na deuteranopia, utiliza um sistema de tags para alterar as cores dinamicamente e foi validada por um usuário. Os resultados confirmaram a eficácia do filtro, elevando a taxa de acertos do usuário de 52,6% para 94,7%.*

1. Introdução

A discromatopsia congênita (ou daltonismo), é uma anomalia da visão que dificulta a percepção das cores. Esta condição, no Brasil, há aproximadamente 8 milhões de habitantes que portam daltonismo, que ocorre devido a um defeito nos cones (vermelho, azul e verde), presentes na retina, e na maioria dos seus casos, manifesta-se geneticamente (ou hereditariamente) e é fortemente ligada ao cromossomo X [Supremo Tribunal Federal 2018, Takata 2014]. Esta ligação explica o por que a condição é mais frequente em homens, que são afetados de 6% a 10%, enquanto mulheres, apenas 0,4% a 0,7% [Bruni and Cruz 2006]. A doença pode ser classificada em três subtipos: O tricromatismo anômalo (deuteranomalía, tritanomalía e protanomalía), dicromacia (deuteranopia, tritanopia e protanopia), como mostrado na Figura 1, e monocromacia.

Indivíduos com daltonismo enfrentam desafios significativos em diversas atividades cotidianas que exigem a distinção de cores. Em alguns casos, evitam realizar tarefas simples que podem se tornar obstáculos e para contornar essas dificuldades, muitos adotam estratégias de enfrentamento (*coping skills*), dependem da ajuda de terceiros ou recorrem a tecnologias assistivas como os óculos *EnChroma*, que aumentam o contraste vermelho-verde para certos tipos de dicromacia [Melo et al. 2014].

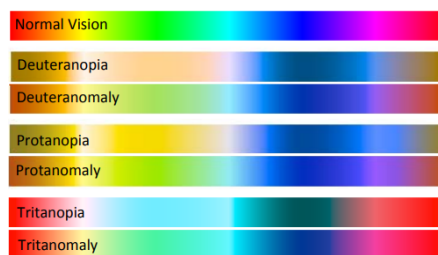


Figura 1. Comparativo entre a percepção de cores na visão normal e em diferentes tipos de discromatopsia. Fonte:[Tanuwidjaja et al. 2014]

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que, por meio de ambientes digitais gerados por computador, busca proporcionar ao usuário uma experiência imersiva. O principal objetivo é induzir uma sensação de presença, na qual o indivíduo pode interagir com o ambiente virtual para substituir a informação sensorial do mundo real por estímulos sintéticos como se este fosse real [Wohlgenannt et al. 2020]. É amplamente capacitada em diversas áreas como educação, treinamento, saúde, esporte, serviços e acessibilidade, a partir de dispositivos como *Head-Mounted Displays* (HMDs) que permitem os usuários emergirem em um mundo virtual, bloqueando o mundo real [Wohlgenannt et al. 2020]. No entanto, para que esse potencial seja plenamente realizado para indivíduos com daltonismo, é preciso superar as barreiras impostas pelas tecnologias assistivas atuais.

Soluções de acessibilidade existentes para daltônicos como filtros em dispositivos móveis, aplicações em Realidade Aumentada (RA) ou simulações de deficiência de cor mostram-se muito limitadas no contexto da RV. Essa lacuna se deve tanto à escassez de estudos na literatura que abordam essa integração quanto ao fato de que muitas dessas tecnologias são consideradas desatualizadas para ambientes imersivos no contexto atual. A principal falha é que essas ferramentas não são eficientes em proporcionar uma experiência verdadeiramente imersiva, pois frequentemente operam estaticamente ou *offline*. O dispositivo Meta Quest 3 serve como um exemplo prático das limitações atuais. Apesar de incluir filtros de correção de cor, o sistema oferece suporte apenas para as variações de tricromatismo anômalo, não contemplando os casos de dicromacia, nos quais há a ausência de um dos cones receptores de cor.

Diante do exposto, idealizou-se uma aplicação em RV, não apenas para aprimorar a distinção cromática, mas, fundamentalmente, para construir uma base de um ecossistema digital inclusivo para indivíduos daltônicos, desenvolvendo uma aplicação que otimiza a percepção cromática de um cidadão portador de daltonismo. Portanto, a proposta central consiste na concepção e desenvolvimento de uma feira, devido à diversidade de cores e tons entre frutas e vegetais.

2. Trabalhos Relacionados

O avanço e a democratização das tecnologias de RV e RA representam uma transformação fundamental na forma como os humanos interagem com o mundo digital. Para que o potencial dessas tecnologias seja expandido, é necessário que as experiências virtuais sejam inclusivas, considerando as diversas capacidades ou limitações de seus usuários. Neste contexto, a pesquisa em tecnologias assistivas para daltonismo tem explorado diversas abordagens, desde a simulação até a aplicação de RV e RA para a correção de cores.

No campo da pesquisa, trabalhos como *Uma Análise sobre Daltonismo e Realidade Virtual* apresentam uma análise bibliográfica sobre como as dificuldades cotidianas dos daltônicos podem se manifestar em ambientes de RV, buscando identificar alternativas para a criação de produtos mais acessíveis [Silva and Mota 2018]. Outras abordagens focam na simulação, como o trabalho *A Simulator to Study...* que investiga se a cor é um fator significativo na causa da cinetose em RV para pessoas daltônicas [Gusev et al. 2016]. Visando a conscientização, o jogo *“Color Blindness Bartender”* utiliza a imersão para que o usuário assuma o papel de um barman que precisa preparar bebidas com base nas cores, enfrentando os desafios da condição antes de usar um modo de auxílio [Wang et al. 2020]. Há também propostas mais técnicas, que focam no gerenciamento de cores em nível espectral para simular com alta precisão a visão de observadores daltônicos [Díaz-Barrancas et al. 2020].

Por fim, explorando a RA, o projeto *“Chroma: A Wearable Augmented-Reality Solution for Color Blindness”* propõe um sistema para o Google Glass que utiliza a câmera para capturar o ambiente e aplicar filtros de cor em tempo real [Tanuwidjaja et al. 2014]. O sistema oferece diferentes modos de filtragem, como os processos de Daltonização, que ajustam as cores para torná-las mais distinguíveis, e o modo Melhoria, que satura as cores para quem tem visão normal, visando oferecer um auxílio digital que se adapta ao tipo de daltonismo do usuário [Tanuwidjaja et al. 2014].

3. Metodologia

A solução proposta neste trabalho é baseada em um conjunto de tecnologias e ferramentas específicas, selecionadas criteriosamente por sua adequação aos requisitos do projeto. As principais tecnologias empregadas foram a *engine* de desenvolvimento Unity, a linguagem de programação C# e o *software* de simulação Color Oracle. A seguir, cada uma destas ferramentas é detalhada.

3.1. Materiais

A aplicação foi desenvolvida para o *headset* de RV Meta Quest 3, com a plataforma para o desenvolvimento da aplicação Unity, uma *engine* amplamente utilizada para a criação de jogos e aplicações interativas em 2D e 3D. A *engine* oferece suporte à linguagem de programação C#, que por sua vez, é uma linguagem orientada a objetos, versátil e segura, ideal para a criação de aplicações robustas e eficientes. A combinação dessas tecnologias, a vasta comunidade de desenvolvedores e loja de ativos (*Asset Store*) da Unity, permite que pequenas equipes criem projetos complexos de forma ágil. Para abordar os requisitos específicos de acessibilidade do projeto, foi utilizado o *software* de código aberto Color Oracle. Esta ferramenta aplica um filtro de tela inteira para simular, em tempo real, as três formas mais comuns de daltonismo (deuteranopia, protanopia e tritanopia), sendo um recurso fundamental para validar o design de interfaces e materiais gráficos acessíveis.

3.2. Pesquisa e Desenvolvimento

O desenvolvimento deste projeto demandou um aprofundamento teórico sobre o daltonismo. Para tanto, foi realizada uma consulta com a Dra. Sabrina Grassioli, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, reconhecida por sua experiência na área da saúde. A contribuição da especialista foi fundamental para a análise de riscos e o refinamento das abordagens, fornecendo conteúdos valiosos para o trabalho. Por uma questão de estratégia

e otimização de recursos, priorizou-se o desenvolvimento de uma solução voltada para uma das formas mais comuns de dicromacia, assim, esta solução beneficiaria indivíduos com deuteranomia igualmente, condição relacionada que é a mais prevalente entre os tipos de daltonismo. Dessa forma, os esforços foram concentrados na implementação de um único filtro para a deuteranopia, visando atender maior parcela possível do público-alvo.

Foi realizada uma investigação sobre as abordagens existentes para o aprimoramento da percepção cromática em indivíduos daltônicos, incluindo técnicas como *highlighting*, daltonização e ajuste de contraste [Tanuwidjaja et al. 2014]. Contudo, a análise revelou uma lacuna de soluções que combinasse simplicidade de implementação e eficiência, devido a este campo de pesquisa ser abrangente. Diante dessa constatação, a estratégia adotada foi a de realizar uma análise para identificar paletas de cores otimizadas. Utilizando o *software* Color Oracle para simular a percepção da deuteranopia, procedeu-se à investigação de diferentes semitons cromáticos. O objetivo foi maximizar a distinção entre pares de cores frequentemente confundidos, como as combinações de laranja/vermelho e verde/amarelo. A fim de iniciar o processo de desenvolvimento, dois portadores da condição visual em estudo, validaram a escolha de subtons, que viabilizou a implementação da funcionalidade principal. Para a análise, foi utilizado um arquivo com uma paleta de cores variadas, a partir do qual os participantes daltônicos apontaram os tons que possuíam a distinção mais perceptível para eles.

A fase de desenvolvimento do protótipo foi iniciada após um período de estudos em Unity e C#. O mecanismo de filtragem de cores na plataforma de desenvolvimento da Unity foi implementado através de um sistema de tags, no qual a cada fruta foi associada uma tag descritiva de sua cor. Um *script* foi implementado para atuar sobre esses objetos, extrair suas *tags* e mapear cada categoria com base em sua respectiva identificação, permitindo que a cor de cada objeto pudesse ser dinamicamente alterada, como mostrado na figura 2. Essa abordagem permitiu a manipulação cromática dos ativos em tempo real, baseada em sua classificação. Destaca-se que apenas as frutas e vegetais sofreram alterações de cor, tendo em vista o objetivo principal da atividade no cenário.

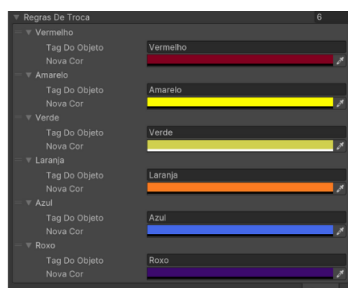


Figura 2. Interface de manipulação de cores a partir de tags. Fonte: autora.

O ambiente contém seis caixas coloridas (vermelho, verde, azul, laranja, amarelo e roxo) e diversas frutas e vegetais. O objetivo do usuário é separar cada alimento em caixas de respectiva cor, e ao finalizar, é exibida sua pontuação (número de acertos e erros), com um botão de transição para a próxima cena. Foram conceituadas duas cenas: uma de referência, sem filtros visuais, e outra idêntica, mas sob a influência de um filtro de deuteranopia dentro da simulação, como mostrado na figura 3.

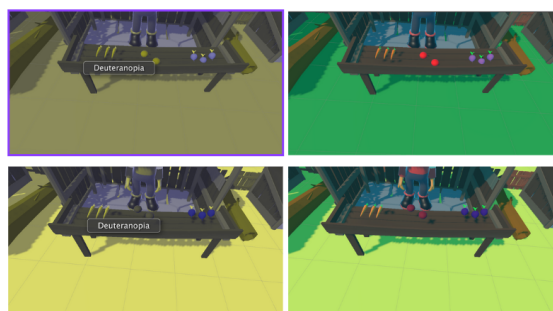


Figura 3. No painel superior, a visualização original (esquerda) é comparada com sua simulação para a percepção deuteranope (direita), onde a dificuldade em distinguir os objetos vermelhos do fundo verde é evidente. Já o painel inferior exibe a cena com o filtro ativado (esquerda) e sua respectiva simulação (direita), revelando um aumento no contraste entre os elementos. Fonte: autora.

A avaliação final da aplicação foi conduzida através de um teste de usabilidade com um dos participantes da validação inicial, que realizou uma tarefa de classificação de objetos por cor em um ambiente virtual em duas etapas distintas: uma sem e outra com o filtro aplicado. O resultado demonstrou uma melhora expressiva no desempenho, com a taxa de acertos aumentando de 52,6% (20 de 38 itens) na primeira etapa para 94,7% (36 de 38 itens) na segunda, validando quantitativamente a eficácia do filtro. Ao final da interação, o participante respondeu a questionários padronizados de usabilidade e experiência (SUS, UEQ) e forneceu um feedback qualitativo que validou a utilidade do filtro, ao mesmo tempo em que sugeriu melhorias na mecânica de movimentação da aplicação.

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho demonstrou o desenvolvimento de uma aplicação em RV para aprimorar a acessibilidade de indivíduos com daltonismo. Ao contrário do filtro do Meta Quest 3, focado em deuteranopia, esta aplicação concentra-se na deuteranopia (dicromacia). Essa abordagem estratégica permite que a solução beneficie também os usuários com deuteranopia, resultando em uma ferramenta de acessibilidade com maior alcance dentro do espectro do daltonismo. A metodologia, que partiu de uma consulta com especialista e originou no desenvolvimento de um filtro otimizado para a deuteranopia, materializou-se em um protótipo na *engine* Unity para o *headset* Meta Quest 3. O sistema de filtragem, baseado em tags para manipulação cromática em tempo real, foi validado preliminarmente por dois usuários portadores da condição, confirmando o potencial da abordagem para a experiência imersiva e construindo um ambiente virtual mais inclusivo.

Como próximos passos, a pesquisa se concentrará na validação formal e na expansão do protótipo. Pretende-se conduzir um estudo quantitativo robusto, submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), para coletar métricas de desempenho a partir da tarefa já implementada. Além disso, os trabalhos futuros explorarão o desenvolvimento de filtros para outras variações da discromatopsia, como a protanopia e tritanopia, e finalmente, a aplicação da solução em novos cenários onde a distinção de cores seja fundamental.

Referências

- Bruni, L. F. and Cruz, A. A. V. e. (2006). Sentido cromático: tipos de defeitos e testes de avaliação clínica. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, pages 767–775.
- Díaz-Barrancas, F., Cwierz, H., Pardo, P. J., Pérez, L., and Suero, M. I. (2020). Spectral color management in virtual reality scenes. *Sensors*, 20(19):5658.
- Gusev, D. A., Whittinghill, D. M., and Yong, J. (2016). A simulator to study the effects of color and color blindness on motion sickness in virtual reality using head-mounted displays. In Kim, K. et al., editors, *Mobile and Wireless Technologies 2016*, volume 391 of *Lecture Notes in Electrical Engineering*, pages 197–204. Springer.
- Melo, D. G., Galon, J. E. V., and Fontanella, B. J. B. (2014). Os “daltônicos” e suas dificuldades: condição negligenciada no brasil? *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, 24(4):1229–1253.
- Silva, J. B. A. P. e. and Mota, R. R. d. (2018). Uma análise sobre daltonismo e realidade virtual. In *Proceedings of SBGames 2018*, pages 310–319, Foz do Iguaçu, PR, Brazil. SBC. Art & Design Track Full Papers.
- Supremo Tribunal Federal (2018). Notícia STF assina acordo para uso do código ColorAdd, de acessibilidade para daltônicos. <https://portal.stf.jus.br/noticias/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=376837>. Publicado em 09 de maio de 2018. Acessado em 01 de agosto de 2025.
- Takata, A. (2014). Daltonismo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Ciências da Computação), Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo.
- Tanuwidjaja, E., Huynh, D., Koa, K., Nguyen, C., Shao, C., Torbett, P., Emmenegger, C., and Weibel, N. (2014). Chroma: A wearable augmented-reality solution for color blindness. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp ’14, pages 799–810, Seattle, WA, USA. ACM.
- Wang, Z., Liu, H., Pan, Y., and Mousas, C. (2020). Color blindness bartender: An embodied VR game experience. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, pages 519–520. IEEE.
- Wohlgenannt, I., Simons, A., and Stieglitz, S. (2020). Virtual reality. *Business & Information Systems Engineering*.