

How Misleading Can the Analysis of Human Eye Movements Be? Experiments on Dominant Eye and Cognitive Visual Perception

Quão Equivocada Pode Ser a Análise de Movimentos Oculares Humanos? Experimentos Sobre Olho Dominante e Percepção Visual Cognitiva

Alisson Moriyasu Pinto^{1*}, João Vitor Macedo Romera², Carlos Eduardo Thomaz²

Abstract: Research on the human dominant eye has existed for over 100 years, yet no consistent methodology uses dominant eye data to analyze eye movements in eye-tracking studies. This is concerning, as eye-tracking technology is increasingly important for understanding human visual perception, especially in healthcare decision-making. The aim of this project is to develop an approach for analyzing the dominant eye using Tobii TX300 eye-tracking equipment. The specific objectives are: (1) to create a fast, non-invasive test to determine the dominant eye; (2) to develop a signal acquisition system with various stimuli and pattern recognition; and (3) to analyze results based on dominant eye outcomes. Initial results show divergence between the eyes, but the mean of fixation points from both eyes provides the most accurate mathematical metric with the lowest quadratic errors compared to theoretical fixation points.

Keywords: Dominant Eye — Eye-tracking — Cognitive Visual Perception

Resumo: A pesquisa sobre o olho dominante humano existe há mais de 100 anos, mas ainda não há uma metodologia consistente que utilize dados do olho dominante para analisar os movimentos oculares em estudos de rastreamento ocular. Isso é preocupante, pois a tecnologia de rastreamento ocular está se tornando cada vez mais importante para entender a percepção visual humana, especialmente na tomada de decisões em cuidados de saúde. O objetivo deste projeto é desenvolver uma abordagem para analisar o olho dominante usando o equipamento de rastreamento ocular Tobii TX300. Os objetivos específicos são: (1) criar um teste rápido e não invasivo para determinar o olho dominante; (2) desenvolver um sistema de aquisição de sinais com diversos estímulos e reconhecimento de padrões; e (3) analisar os resultados com base nos dados do olho dominante. Resultados iniciais mostram uma divergência entre os olhos, mas a média dos pontos de fixação de ambos os olhos oferece a métrica matemática mais precisa, com os menores erros quadráticos em comparação com os pontos de fixação teóricos.

Palavras-Chave: Olho Dominante — Rastreador Ocular — Percepção Visual Cognitiva

¹Robots Engineering, Centro Universitário FEI, Brazil

²Electrical Engineering, Centro Universitário FEI, Brazil

*Corresponding author: uniealpinto@fei.edu.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.22456/2175-2745.143530> • Received: 24/10/2024 • Accepted: 28/11/2024

CC BY-NC-ND 4.0 - This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

1. Introdução

Há mais de 100 anos existem pesquisas sobre o olho dominante e práticas comportamentais relacionadas ao assunto. Acredita-se que o trabalho pioneiro para determinação do olho dominante tenha sido proposto originalmente em 1910 [1]. Porém, a primeira menção ao assunto é muito mais antiga, sendo registrada em 1593 por Giovanni Battista della Porta, em seu livro “De Refractione”, em que ele discutiu a importância de identificar o olho dominante ao apontar armas de fogo, a

fim de garantir maior precisão no tiro.

Entretanto, apesar do tempo de pesquisa extenso, ainda há muitas questões em aberto e não há, na literatura atual, nada que utilize de forma regular e explícita a informação do olho dominante nas ferramentas atuais e avançadas de movimentos oculares humanos (em inglês, “eye-tracking”). Na verdade, comparando com 100 anos atrás, hoje em dia este assunto se torna ainda mais fundamental e importante, uma vez que as tecnologias de “eye-tracking” estão cada vez sendo utilizadas com mais frequência, em aplicações diversas e muito mais

nobres que no passado distante como, por exemplo, na área da saúde. Atualmente, a solução para essa questão consiste em determinar o posicionamento de um dos olhos ou, a mais comumente utilizada, calcular a média aritmética das posições X e Y dos dois olhos, porém isto não é ideal se considerarmos que existe uma dominância de um olho sobre o outro. A média aritmética dos dois olhos pode indicar um resultado equivocado.

Neste contexto, durante um estudo sobre análise de movimentos oculares humanos que contou com a participação de 24 participantes utilizando um óculos de rastreamento ocular, alguns dos participantes, ao verem o resultado das análises [2], alegaram que as áreas onde haviam indicações de fixações oculares, isto é, áreas onde eles fixado o olhar pareciam estar “deslocadas” para direita ou para esquerda, algo que acreditávamos que acontecesse devido ao que relacionamos aqui com a questão do “olho dominante”, definida formalmente há 85 anos atrás como “that eye which performs the major function of seeing, being assisted by the less dominant fellow eye.” [3]

Foi com essa motivação que esta pesquisa se desenvolveu, explorando estes conceitos, analisando literatura relacionada ao assunto e utilizando um equipamento moderno, preciso e disponível, denominado Tobii TX300, que opera com frequência de 300Hz. Basicamente, para investigarmos a questão do olho dominante, realizamos experimentos explorando a percepção visual humana e analisando os resultados para o olho identificado como dominante, o olho seguidor e aquele calculado comumente (“default”) pela média aritmética das posições X e Y dos dois olhos.

O objetivo geral foi desenvolver uma abordagem científica para análise do olho dominante de voluntários baseada em testes dos movimentos oculares humanos por meio do equipamento de rastreamento de olhar Tobii TX300. Mais especificamente, este trabalho (1) Estudou e implementou um teste experimental, rápido e não-invasivo para determinação do olho dominante; (2) Desenvolveu um sistema de aquisição de sinais para acompanhamento visual de um alvo, enquanto os movimentos oculares do voluntário eram registrados; e (3) Analisou os resultados com base no resultado do teste do olho dominante.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção descreve os principais trabalhos relacionados ao projeto desenvolvido em ordem cronológica.

No primeiro trabalho [1] foi abordado o método pioneiro para determinação do olho dominante. Neste estudo, os autores propuseram uma técnica prática, conhecida como “Furo na Carta”, que desde então tem sido amplamente referenciada como um método clássico para identificar o olho dominante em indivíduos.

Praticamente 20 anos depois, em [4], o autor expandiu o conceito de dominância ocular, apresentando uma análise mais detalhada sobre como o olho dominante influencia a percepção visual. O estudo demonstrou que o olho dominante

desempenha um papel crucial na precisão de tarefas que envolvem foco visual, como apontar objetos ou armas, o que foi fundamental para os estudos subsequentes.

No artigo de revisão de [5], Clare Porac e Stanley Coren analisaram extensivamente o conceito de dominância ocular e suas implicações comportamentais. Este trabalho destacou as diversas abordagens usadas até então para medir a dominância ocular, como testes de alinhamento visual e rivalidade binocular. No entanto, na época em que o estudo foi conduzido, não existiam tecnologias de rastreamento ocular, o que limitava a capacidade de mensurar a interação entre os olhos com a precisão que temos hoje.

Em um estudo recente, discutiu-se como o rastreamento ocular poderia ser utilizado para medir a dominância ocular [6]. Este foi o primeiro trabalho que utilizou a tecnologia de rastreamento ocular para este fim. Eles exploraram o conceito de “gaze tracking” para avaliar a interação ocular em diferentes situações, mas o foco principal foi no movimento cíclico e não diretamente na relação entre dominância ocular e rastreamento.

Em outro trabalho recente [7], os autores contribuíram com novos achados ao quantificar a força da dominância ocular. Este estudo demonstrou assimetrias nos movimentos sacádicos, mas não investigou como essa dominância poderia ser integrada ao rastreamento ocular, deixando uma lacuna importante na pesquisa.

Todos os trabalhos mencionados estão relacionados à discussão sobre dominância ocular. O primeiro estudo foi essencial para o desenvolvimento do teste prático conhecido como “Furo na Carta”, que continua sendo uma ferramenta fundamental para identificar o olho dominante na prática, sem nenhum equipamento especial. Os demais estudos contribuíram significativamente para a compreensão da dominância ocular, e mostraram como a tecnologia de rastreamento ocular começou a ser aplicada nesse campo, oferecendo novas maneiras de analisar o comportamento visual humano. No entanto, nenhum desses trabalhos integrou a análise da dominância ocular com a captura simultânea de dados de rastreamento ocular em um contexto prático e experimental. Nossa pesquisa busca abordar essa lacuna de forma inovadora, combinando o teste tradicional de dominância ocular com um teste de rastreamento ocular detalhado. Para isso, utilizamos o equipamento Tobii TX300, que nos permite realizar uma análise precisa da percepção visual em voluntários, conforme será descrito a seguir.

3. Materiais, Métodos e Experimentos

3.1 Materiais

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre experimentos de determinação do olho dominante existentes [8, 1, 6, 4, 9, 7]. Paralelamente, foram estudadas as ferramentas de hardware e software do equipamento de rastreamento de olhar Tobii TX300. Foi utilizado o ambiente de programação Tobii Studio, que auxilia desde o desenho adequado dos ex-

perimentos a análises quantitativas de áreas de interesse para comparações entre experimentos e voluntários.

Para os experimentos iniciais de determinação do olho dominante, investigamos métodos recentes propostos e adaptamos uma metodologia histórica referenciada por pesquisas recentes [7, 9] denominada “Furo na Carta” [1].

3.2 Métodos

Foram desenvolvidos três vídeos, todos contendo um círculo vermelho (alvo visual) de 80 pixels de diâmetro, com um ponto preto de 20 pixels de diâmetro em seu centro, fazendo diferentes movimentos na tela:

- No primeiro, o círculo faz movimentos circulares em diferentes velocidades, disponibilizado no link a seguir: <https://youtu.be/wUKO8BMnavM>;
- No segundo, o círculo faz movimentos lineares, novamente em diferentes velocidades, em um formato retangular de 800 x 400 pixels, disponibilizado no link a seguir: <https://youtu.be/LLrEn4GMAMs>;
- Por último, no terceiro vídeo o círculo desaparece e reaparece em diferentes pontos na tela, disponibilizado no link a seguir: <https://youtu.be/u3C34VhUP8Y>.

3.3 Furo na Carta

Adaptamos o experimento “Furo na Carta” [1], e utilizamos uma cartolina A3 (297mm x 420mm) branca, com um alvo preto. Em nossa adaptação, os participantes seguraram a cartolina, com os dois braços esticados à frente do corpo e, através de um furo central (aproximadamente 5cm de diâmetro), focaram em um alvo (círculo preto de 5cm de diâmetro à uma distância de aproximadamente 1,5m), como indicado na Figura 1.

3.4 Synfig Studio

O software utilizado para desenvolver os vídeos foi o Synfig Studio, devido à sua capacidade de gerar e manipular diferentes formas, além da facilidade de alterar a posição e a escala do círculo em pixels. Alterando a posição e o tamanho do círculo ao longo dos vídeos, foi possível monitorar o comportamento visual dos participantes e saber exatamente, a cada milissegundo, onde seus olhares deveriam estar fixados. Dessa forma, pudemos comparar os dados teóricos esperados com os coletados pelo Tobii TX300.

3.5 Experimentos

O experimento foi realizado com 81 participantes voluntários, hígidos, cognitivamente capazes e com idades entre 15 e 64 anos. Estes voluntários foram recrutados durante um evento de confraternização da instituição denominado “FEI Portas Abertas” que ocorreu no dia 18/05/2024 no campus da instituição em São Bernardo do Campo-SP. Como critério de exclusão, foram retirados aqueles que obtiveram menos de 70% de porcentagem de captação do Tobii TX300, aqueles que não possuíam nenhum dos olhos como dominante, e aqueles que

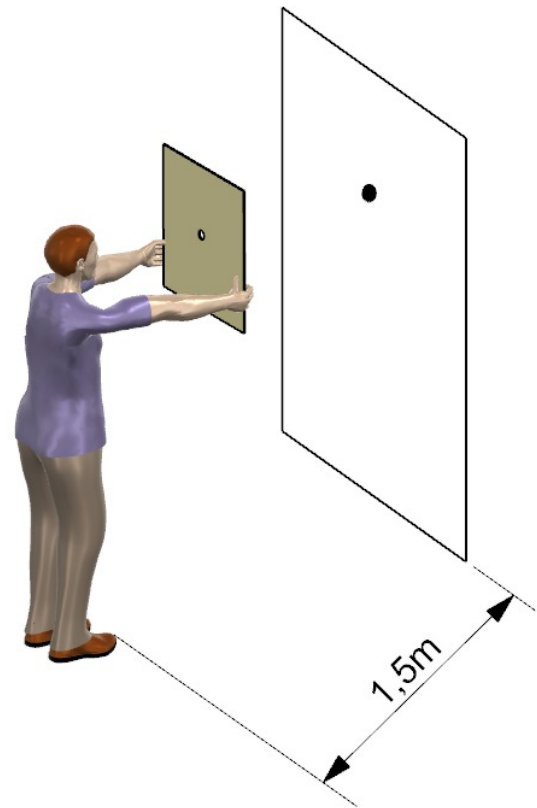


Figure 1. Método Furo na Carta.

obtiveram um valor de erro extremamente alto, indicando erro na realização do experimento, restando, portanto, apenas 67 participantes. Todos os participantes assinaram termo de consentimento livre e esclarecido.

Na primeira parte do experimento os voluntários foram expostos ao teste furo na carta e os resultados foram registrados. Logo em seguida, a próxima parte do experimento constituiu nas instruções para a realização do teste juntamente com a acomodação do participante em frente ao equipamento de rastreamento ocular. Em seguida foi ajustada a posição de cada participante dentro do alcance do medição e então foi realizada a calibração do equipamento, conforme apresentado na Figura 2. Após a etapa de calibração, foram apresentados os três vídeos aos participantes.

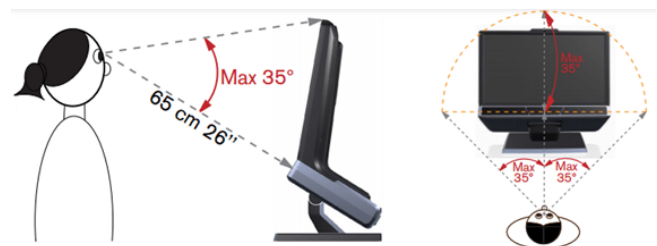


Figure 2. Parâmetros do equipamento Eye-Tracker para aquisição do sinal.

3.6 Processamento dos Dados

A primeira etapa do processamento dos dados se dá na extração dos dados gerados pelo Tobii Studio na forma de uma tabela. Em seguida, são separados os dados de cada participante, obtendo 67 tabelas ao todo.

Após a etapa de extração, os pontos de fixação são extraídos de cada tabela, se resumindo em uma matriz $4 \times n$ para cada participante, onde as duas primeiras linhas representam as coordenadas em X e Y do olho direito e as duas últimas linhas as coordenadas X e Y do olho esquerdo. Cada coluna n da matriz representa um ponto de aquisição do olhar (fixação).

Para comparar quantitativamente os resultados, conduzimos uma análise utilizando algoritmos desenvolvidos em Python para calcularmos o erro quadrático médio (MSE) entre os dados experimentais e teóricos: para cada vídeo, o MSE foi calculado comparando os pontos de fixação registrados pelo Eye-Tracker com os pontos teóricos definidos na elaboração dos vídeos, da seguinte forma:

$$MSE_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{\text{teórico},i} - X_{\text{experimental},i})^2$$

Em que n é o número total de fixações oculares, $X_{\text{teórico},i}$ o valor teórico da coordenada para o a fixação i de cada vídeo, e $X_{\text{experimental},i}$ o valor obtido experimentalmente da coordenada correspondente à mesma fixação i .

4. Resultados

O experimento "Furo na Carta" indicou que 48 participantes possuíam um olho direito dominante, enquanto os outros 19 possuíam um olho esquerdo dominante.

As posições X e Y teóricas dos alvos para os três vídeos desenvolvidos são ilustradas nas Figuras 3, 4 e 5 apresentadas a seguir.

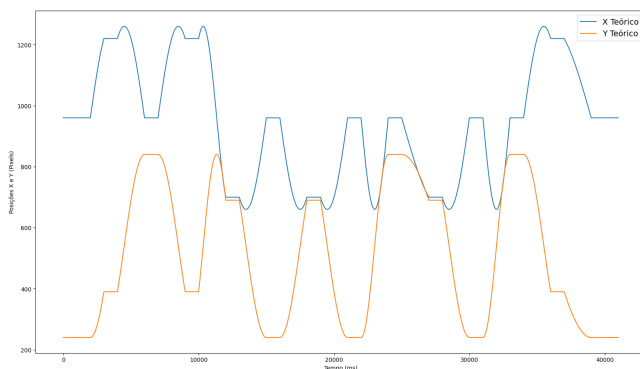


Figure 3. Valores teóricos para X e Y referentes ao primeiro vídeo.

A Figura 6 mostra a contagem de participantes que obtiveram o sinal direito, esquerdo ou média como o melhor sinal. Foi considerado o erro geral entre os três vídeos.

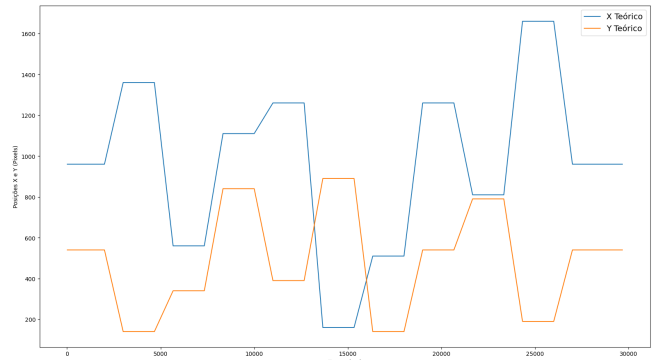


Figure 4. Valores teóricos para X e Y referentes ao segundo vídeo.

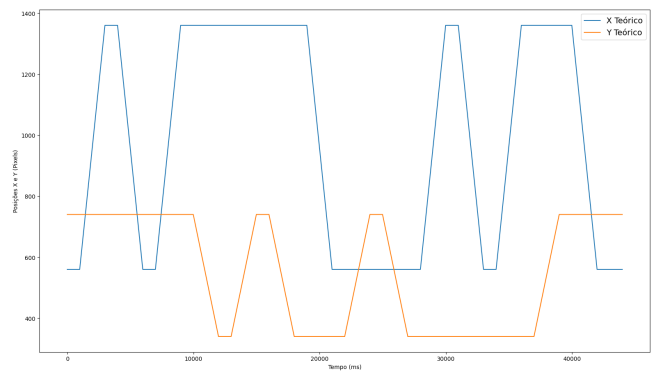


Figure 5. Valores teóricos para X e Y referentes ao terceiro vídeo.

Na Figura 7, vemos os resultados finais, ou seja, a média dos erros quadráticos entre os três vídeos, para cada par de dados oculares, sendo a linha vermelha os dados referentes a média entre os dois olhos, a linha azul ao olho direito, e a verde ao olho esquerdo. Podemos ver que a linha vermelha se aproxima mais do centro, indicando que os valores de erros quadráticos médios foram menores, ou seja, obtiveram maior precisão.

Os resultados dos três vídeos desenvolvidos são apresentados nas Figuras 8, 9 e 10. Pode-se observar que a escala dos valores de erro varia entre os vídeos, indicando que os participantes demonstraram diferentes níveis de dificuldade em acompanhar o alvo em cada cenário. Essa diferença sugere que o padrão de movimento do alvo (linear, circular ou desaparecendo/reaparecendo) influenciou diretamente a precisão dos movimentos oculares registrados.

Mais especificamente, em alguns vídeos os participantes pareceram ter maior facilidade em seguir o alvo, refletindo valores de erro quadrático médio menores. Em outros, os valores de erro foram mais elevados, sugerindo maior dificuldade. Esses achados reforçam a importância de considerar o tipo de estímulo visual ao avaliar a dominância ocular e sua influência na precisão do rastreamento ocular.

A Figura 11 mostra uma comparação entre os dados obtidos com o Eye-Tracker e os dados esperados (teóricos), sendo eles as posições oculares referentes a média entre os dois ol-

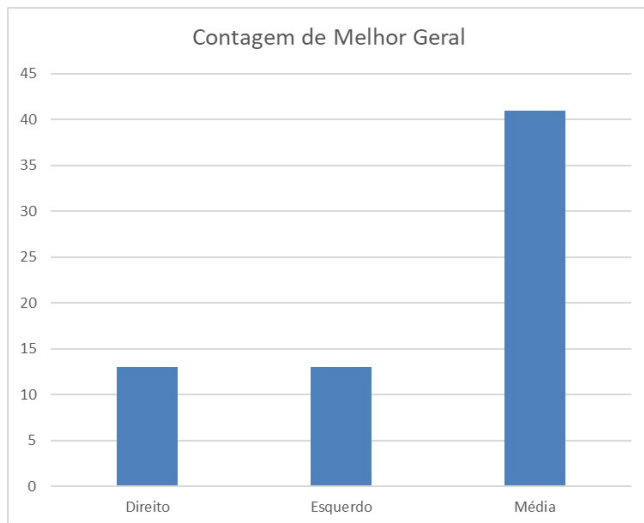


Figure 6. Contagem de participantes com o menor erro por sinal (direito, esquerdo, média).

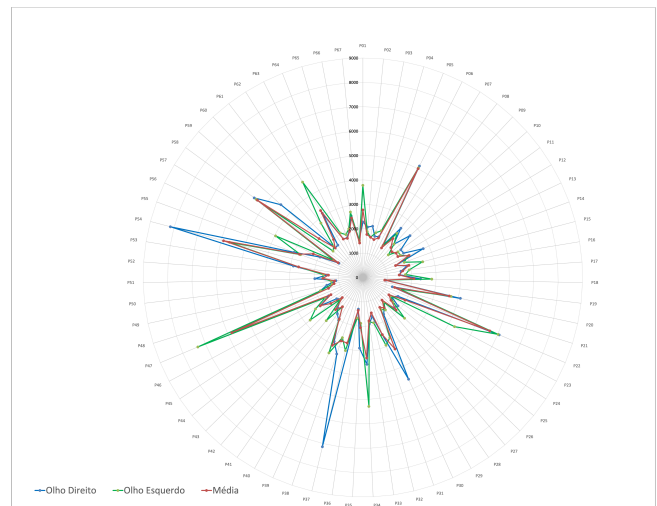


Figure 8. Valores dos erros quadráticos médios para cada participante referentes ao primeiro vídeo.

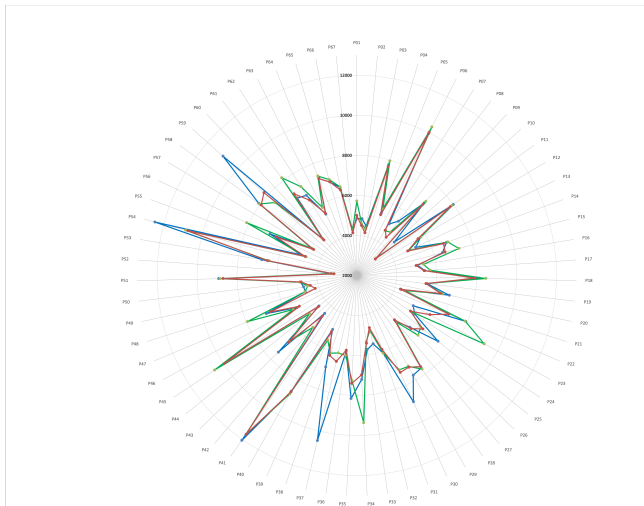


Figure 7. Valores gerais dos erros quadráticos médios para cada participante.

hos, o olho direito e o olho esquerdo. A figura referenciada ilustra os dados do participante "P14", que obteve 100% de captação no Eye-Tracker, ou seja, não houve nenhum dado perdido durante todo o decorrer do experimento. Também é importante ressaltar que o olho dominante obtido do "P14" foi o direito. Entre os conjuntos de dados analisados, a média entre os dois olhos apresentou a maior precisão em relação aos valores teóricos.

Já na Figura 12, vemos os dados obtidos para o participante "P06", que teve o mesmo resultado no experimento do "Furo na Carta" e a mesma porcentagem de captação que o "P14" para o terceiro vídeo, porém o conjunto de dados com maior precisão foi o referente ao olho direito.

Por fim, na Figura 13, vemos os dados referentes ao participante "P30" para o segundo vídeo, onde o teste do "Furo na Carta" indicou que seu olho dominante era o esquerdo, a

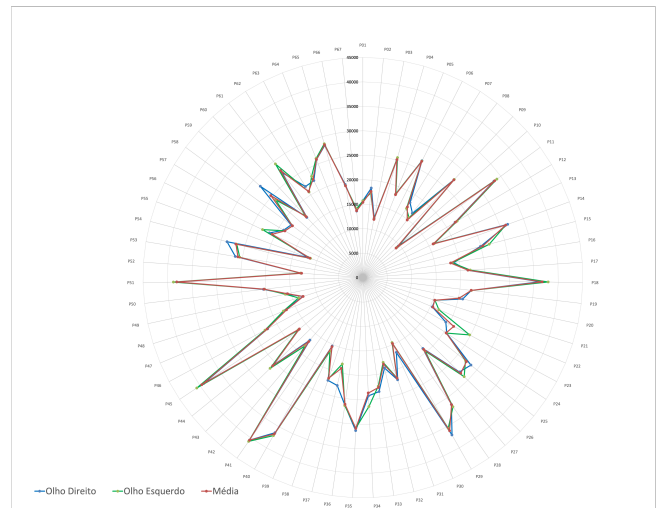


Figure 9. Valores dos erros quadráticos médios para cada participante referentes ao segundo vídeo.

porcentagem de captação também foi 100%, e o conjunto de dados com maior precisão foi o referente ao olho esquerdo.

5. Conclusão

Este estudo investigou a questão do olho dominante na precisão do rastreamento ocular. Os resultados demonstraram divergência visual entre os olhos, sugerindo que a dominância ocular pode afetar a precisão do rastreamento ocular.

No entanto, a média entre os pontos de fixação dos dois olhos, para os três vídeos investigados, ainda mostrou-se a métrica matemática com os menores erros quadráticos. Faz-se importante ressaltar, porém, que este trabalho não analisou a diferença de movimentação do alvo. Acredita-se que talvez uma análise mais detalhada destes dados levando em consideração se o alvo está parado ou em movimento pode impactar numericamente essa métrica. Além disso, uma análise

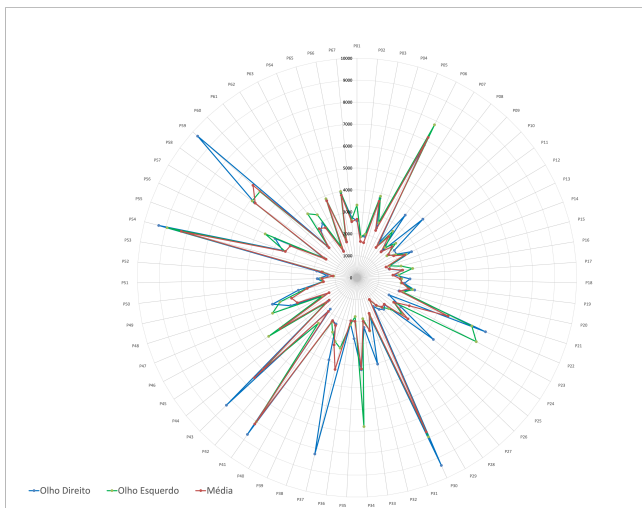


Figure 10. Valores dos erros quadráticos médios para cada participante referentes ao terceiro vídeo.

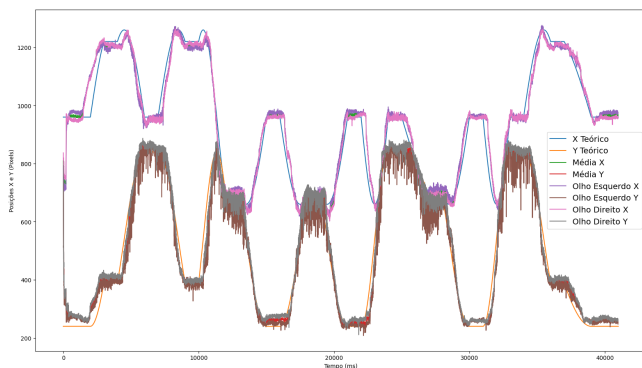


Figure 11. Dados finais do participante "P14" referentes ao primeiro vídeo.

estatística adicional considerando os resultados de cada vídeo separadamente poderia auxiliar na identificação de padrões específicos e contribuir para uma conclusão mais robusta.

Os resultados obtidos aqui fornecem possibilidades que podem auxiliar em pesquisas futuras, especialmente na aplicação de rastreamento ocular em áreas que exigem alta precisão e personalização, como interfaces adaptativas e estudos cognitivos.

Para trabalhos subsequentes, planejamos expandir o escopo do estudo, incluindo experimentos que envolvam tomadas de decisões, monitoramento da atividade pupilar, além de implementarmos novos critérios de exclusão para os participantes, como, por exemplo, a exclusão de participantes com problemas visuais. Essas mudanças visam aprofundar a compreensão da influência do olho dominante em diferentes contextos e melhorar a precisão das tecnologias de rastreamento ocular.

6. Contribuições dos autores

Alisson Moriyasu Pinto: Autor primário, responsável pela coleta de dados, análise de dados, redação do manuscrito,

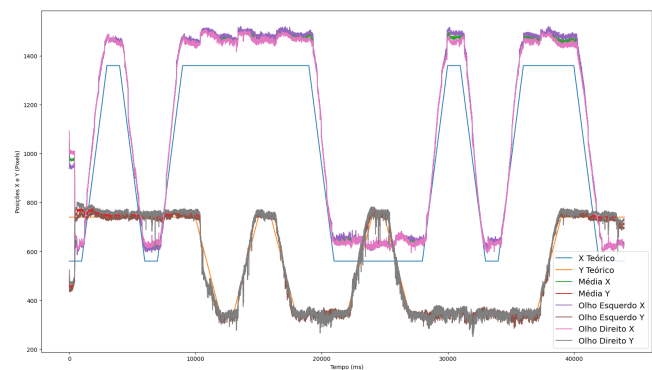


Figure 12. Dados finais do participante "P06" referentes ao segundo vídeo.

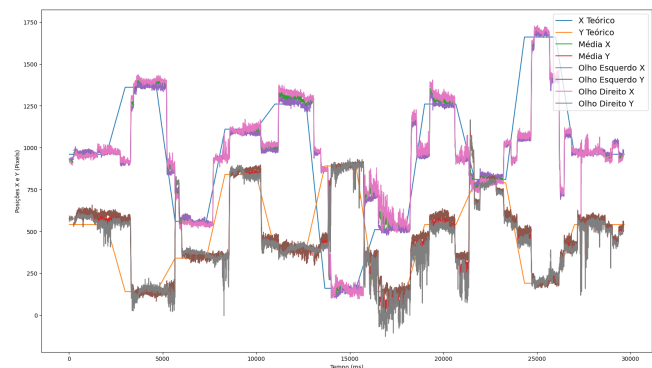


Figure 13. Dados finais do participante "P30" referentes ao terceiro vídeo.

visualização de dados e revisão da literatura; João Vitor Macedo Romera: Coautor, contribuiu para a coleta de dados com voluntários, auxiliou na visualização de dados, ajudou na estruturação do manuscrito e apoiou diversos aspectos práticos da pesquisa; Carlos Eduardo Thomaz: Atuou como supervisor deste estudo. Ele forneceu orientação ao longo do projeto, auxiliou na coleta de dados com voluntários e contribuiu para a metodologia da pesquisa e a direção geral do estudo.

References

- [1] DURAND, A. C.; GOULD, G. M. A METHOD OF DETERMINING OCULAR DOMINANCE. *Journal of the American Medical Association*, v. 55, n. 5, p. 369–370, 07 1910. ISSN 0002-9955. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jama.1910.04330050007004>.
- [2] SILVA, E. S. et al. Pediatricians' focus of sight at pain assessment during a neonatal heel puncture. *Revista Paulista de Pediatria*, SciELO Brasil, v. 42, p. e2023089, 2023.
- [3] FINK, W. H. The dominant eye: Its clinical significance. *Archives of Ophthalmology*, v. 19, p. 555–582, 1938. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:71679132>.

- [4] MILES, W. R. Ocular dominance demonstrated by unconscious sighting. *Journal of Experimental Psychology*, v. 12, p. 113–126, 1929. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:145244423>.
- [5] PORAC, C.; COREN, S. The dominant eye. *Psychological bulletin*, v. 83 5, p. 880–97, 1976. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:26501477>.
- [6] ELBAUM, T.; WAGNER, M.; BOTZER, A. Cyclopean, dominant, and non-dominant gaze tracking for smooth pursuit gaze interaction. *Journal of Eye Movement Research*, v. 10, p. 1–14, 01 2017.
- [7] TAGU, J. et al. Quantifying eye dominance strength - new insights into the neurophysiological bases of saccadic asymmetries. *Neuropsychologia*, v. 117, p. 530–540, 08 2018.
- [8] COREN, S.; KAPLAN, C. P. Patterns of ocular dominance*. *Optometry and Vision Science*, v. 50, p. 283–292, 1973. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:26367653>.
- [9] SUK, H. J.; KIM, S. J. The effect of ocular dominance on decision making in a virtual environment. In: AHRAM, T.; FALCÃO, C. (Ed.). *Advances in Usability, User Experience, Wearable and Assistive Technology*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 671–676.