CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

JOÃO VITOR MACEDO ROMERA

ESTUDO DA VARIAÇÃO PUPILAR DURANTE A LEITURA DE TEXTOS DA LÍNGUA PORTUGUESA COM DISTORÇÕES VISUAIS SIMULADAS ARTIFICIALMENTE

São Bernardo do Campo

2023

JOÃO VITOR MACEDO ROMERA

ESTUDO DA VARIAÇÃO PUPILAR DURANTE A LEITURA DE TEXTOS DA LÍNGUA PORTUGUESA COM DISTORÇÕES VISUAIS SIMULADAS ARTIFICIALMENTE

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Orientada pelo Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz.

São Bernardo do Campo

2023

Macedo Romera, João Vitor .
Estudo da variação pupilar durante a leitura de textos da língua portuguesa com distorções visuais simuladas artificialmente / João Vitor Macedo Romera. São Bernardo do Campo, 2023.
76 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz.

1. Pupila. 2. Cognição. 3. Síndrome de Meares-Irlen. 4. Rastreamento Ocular. I. Thomaz, Carlos Eduardo , orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

centro universitário FEI

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA EXAMINADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica

Mestrado

PGE-10

Aluno(a): João Vitor Macedo Romera **Matrícula:** 120308-2

Título do Trabalho: ESTUDO DA VARIAÇÃO PUPILAR DURANTE A LEITURA DE TEXTOS DA LÍNGUA PORTUGUESA COM DISTORÇÕES VISUAIS SIMULADAS ARTIFICIALMENTE

Área de Concentração: Processamento de Sinais e Imagens

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

Data da realização da defesa: 16/02/2023

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

Inicialmente, o candidato João Romera fez uma apresentação oral de 35 minutos sobre a sua dissertação. Depois, os examinadores fizeram questionamentos sobre o trabalho como um todo e específicos sobre redação científica, metodologia, experimentos e resultados obtidos. O aluno respondeu de forma satisfatória esses questionamentos e anotou as sugestões para aperfeiçoamento do texto final. O candidato foi aprovado por unanimidade.

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☐ REPROVADO ☐

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

Prof. Dr. Luiz Antonio Pereira Neves

Profª. Drª. Ana Isabel Arroyave

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

À minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, meus pais, João Romera Vasques Junior e Alessandra Perucchetti Macedo Romera e minha irmã, Marina Macedo Romera, por toda a orientação, ensinamentos e educação, que contribuíram na formação dos meus princípios e valores, me formando como cidadão.

Aos meus amigos, que me apoiaram durante períodos difíceis, incentivando-me sempre, contribuindo para que me qualificasse cada vez mais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz, pelos ensinamentos e aulas ministradas, por toda a confiança e incentivo e excelente orientação, para a elaboração desta dissertação.

Aos professores do Centro Universitário FEI, pelo incentivo e pelas aulas ministradas: Prof. Dr. Paulo Sergio Silva Rodrigues, Prof. Dr. Guilherme Wachs Lopes, Prof. Dr. Reinaldo Bianchi e Prof. Dr. Raúl Cesar Gouveia Fernandes.

Aos meus amigos do mestrado, Prof. Me. Rafael Nobre Orsi e Dra. Tatiany Marcondes Heiderich, por toda a ajuda e compartilhamento de conhecimentos. E a todos os voluntários que contribuíram para o desenvolvimento dos experimentos.

RESUMO

Ações simples como ler um livro requer múltiplos processos cognitivos, que vão desde o movimento dos olhos e reconhecimento das letras até a compreensão da mensagem em si. Entretanto, essa tarefa pode não ser tão simples assim para alguns indivíduos, pois estudos mostram que a aquisição do conhecimento pode ser comprometida devido a déficits sensoriais que dificultam a emissão das informações pelas vias aferentes, causando distorções na informação visual, como é o caso da Síndrome de Meares-Irlen (SMI). Este trabalho investiga os padrões de variação do diâmetro da pupila e mapas de atenção visual durante a leitura de textos com base nos efeitos visuais artificialmente simulados da SMI usando informações de rastreamento ocular para estimar a carga de trabalho mental necessária. Os resultados indicam que há um aumento da carga mental nos momentos em que os textos mostrados apresentam maior intensidade de distorção visual, revelando experimentalmente a dificuldade implícita nesse contexto de leitura, além de mostrar, por meio de técnicas estatísticas multivariadas, que o olhar e o esforço cognitivo apresentam padrões diferentes, quando a informação visual está prejudicada.

Palavras-chave: Pupila. Cognição. Síndrome de Meares-Irlen. Rastreamento Ocular.

ABSTRACT

Simple actions like reading a book require multiple cognitive processes, ranging from eye movement and letter recognition to understanding the message. However, this task may not be as simple as that for some individuals, as studies show that the acquisition of knowledge can be compromised due to sensory deficits that hinder the processing of information through afferent pathways, causing distortions in visual information, as is the case of Meares-Irlen Syndrome (MIS). This work investigates patterns of pupil diameter variation and visual attention maps during text reading based on the visual effects of SMI using eye tracking information to estimate the required mental workload. The results show that there is an increase in mental load at times when the texts highlighted present a greater intensity of visual distortion, experimentally revealing the difficulty implicit in this reading context, as well as showing, through multivariate statistical techniques, that the gaze and the cognitive effort show different patterns when visual information is impaired.

Keywords: Pupil. Cognition. Meares-Irlen Syndrom. Signal processing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Anatomia do olho humano 15
Figura 2 – Músculos presentes na íris 16
Figura 3 – Absorção das diferentes frequências da luz pela retina 17
Figura 4 – Efeito Blurry 18
Figura 5 – Efeito Ripple 19
Figura 6 – Efeito Rivers 19
Figura 7 – Equipamento de rastreamento ocular Tobii Pro TX300. 31
Figura 8 – Normalização do diâmetro da pupila. 37
Figura 9 – Comparação dos sinais original e processado. 38
Figura 10 – Comparação entre sinal completo e sinal cortado. 39
Figura 11 – Demonstração do "Change"do sinal 39
Figura 12 – Processamento das imagens de entrada 40
Figura 13 – Exemplo da redução de dimensionalidade com o uso de componentes principais, do ponto de vista geométrico. 45
Figura 14 – Exemplo de separação de classes, no ponto de vista geométrico. 46
Figura 15 – Diagrama (PCA + MLDA). 48
Figura 16 – Texto utilizado para efeito Neutro. 50
Figura 17 – Pergunta realizada ao final da primeira etapa do teste. 51
Figura 18 – Texto utilizado para efeito Blurry. 51
Figura 19 – Pergunta realizada ao final da segunda etapa do teste. 51
Figura 20 – Texto utilizado para efeito Washout. 52
Figura 21 – Pergunta realizada ao final da terceira etapa do teste. 52
Figura 22 – Exemplo de calibração do equipamento de rastreamento ocular. 53
Figura 23 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Neutro) com a intensidade do efeito (Neutro). 54
Figura 24 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) com a intensidade do efeito (Blurry). 54
Figura 25 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) com a intensidade do efeito (Washout). 55
Figura 26 – Representação da variância dos dados 55

Figura 27 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com um acerto, com a intensidade do efeito (Blurry) 56
Figura 28 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com dois acertos, com a intensidade do efeito (Blurry) 56
Figura 29 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com três acertos, com a intensidade do efeito (Blurry) 57
Figura 30 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com um acerto, com a intensidade do efeito (Washout) 57
Figura 31 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com dois acertos, com a intensidade do efeito (Washout) 58
Figura 32 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com três acertos, com a intensidade do efeito (Washout) 58
Figura 33 – Comparação da variância do diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com um, dois e três acertos 59
Figura 34 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com um, dois e três acertos 59
Figura 35 – Análise em frequência do sinal médio do efeito "Blurry". 60
Figura 36 – Análise em frequência do sinal da intensidade do efeito "Blurry". 60
Figura 37 – Análise em frequência do sinal médio do efeito "Washout". 61
Figura 38 – Análise em frequência do sinal da intensidade do efeito "Washout". 61
Figura 39 – Dispersão das três classes (Neutro, Blurry e Washout). 62
Figura 40 – Separação das três classes (Neutro, Blurry e Washout). 62
Figura 41 – Dispersão das três classes (Neutro, Blurry e Washout). 63
Figura 42 – Separação das três classes (Neutro, Blurry e Washout). 63
Figura 43 – Teste de validação cruzada para os sinais pupilares 64
Figura 44 – Teste de validação cruzada para os mapas de rastreamento ocular 64
Figura 45 – Matriz de confusão das três classes (Neutro, Blurry e Washout), para os sinais pupilares. 65
Figura 46 – Matriz de confusão das três classes (Neutro, Blurry e Washout), para os mapas de rastreamento ocular. 66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 OBJETIVOS 13
1.2 ESTRUTURA DO TEXTO 13
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS 15
2.1 FISIOLOGIA DA VISÃO 15
2.2 SÍNDROME DE MEARES-IRLEN (SMI) 18
2.3 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES 20
3 TRABALHOS RELACIONADOS 21
3.1 COGNIÇÃO E MENSURAÇÃO PUPILAR 21
3.2 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES 30
4 MATERIAIS E MÉTODOS 31
4.1 TOBII PRO TX300 31
4.2 ESTÍMULO VISUAL 32
4.2.1 Seleção dos Textos para os Estímulos Visuais 32
4.2.2 Produção do Estímulo Visual 34
4.3 PROCESSAMENTO DE SINAIS 35
4.3.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DO SINAL PUPILAR 36
4.3.1.1 Separação dos Sinais 36
4.3.1.2 Normalização do Diâmetro Pupilar 36
4.3.1.3 Filtragem do Sinal 37
4.3.1.4 Corte do sinal 38
4.3.1.5 Obtenção do Change do Sinal Pupilar 39
4.3.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS MAPAS DE RASTREAMENTO OCULAR 40
4.3.3 PROCESSAMENTO DOS ESTÍMULOS VISUAIS 40
4.3.4 PROCESSAMENTO DOS SINAIS EM FREQUÊNCIA 42
4.3.4.1 Transformada de Fourier 42
4.3.4.2 Processamento do sinal médio 43
4.3.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SINAIS E MAPAS DE RASTREAMENTO OCULAR 44
4.3.5.1 Análise de Componentes Principais (PCA) 44
4.3.5.2 Análise de Discriminantes Lineares (LDA) 45

4.3.5.3 Análise de Discriminantes Lineares de Máxima Incerteza (MLDA) 47
4.3.5.4 Teste de Validação Cruzada 49
5 EXPERIMENTO E RESULTADOS 50
5.1 EXPERIMENTO DE LEITURA 50
5.2 AQUISIÇÃO DO SINAL 52
5.3 RESULTADOS 53
5.4 MÉDIAS DA VARIAÇÃO DO DIÂMETRO PUPILAR 54
5.5 MÉDIAS DOS GRUPOS DE ACERTOS 56
5.6 MÉDIAS DA VARIAÇÃO PUPILAR NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA . . 59
5.7 RECONHECIMENTO DE PADRÕES 61
6 DISCUSSÃO 67
6.1 ANÁLISE VISUAL DOS DADOS 67
6.1.1 Análise das Médias da Variação do Diâmetro Pupilar 67
6.1.2 Análise das Médias dos Grupos de Acertos 68
6.2 ANÁLISE DOS SINAIS NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA 69
6.3 ANÁLISE DO RECONHECIMENTO DE PADRÕES 69
6.3.1 Padrões nos Sinais de Variação do Diâmetro Pupilar 69
6.3.2 Padrões nos Mapas de Rastreamento Ocular 70
7 CONCLUSÃO 71
7.1 TRABALHOS FUTUROS 71
REFERÊNCIAS 73

1 INTRODUÇÃO

O homem, desde seus primórdios, busca entender a natureza do universo por meio da introspecção, ou seja, da avaliação das informações externas por meio de experiências internas. Tal ideia foi aprimorada ao decorrer de séculos, se estruturando em diversas abordagens que buscavam explicar como o pensamento humano era construído em diversas situações, como o estruturalismo e o comportamentalismo entre outras escolas de pensamento (STERNBERG; STERNBERG; MIO, 2012). Porém, a partir de 1950, por meio de experimentos empíricos, Noam Chomsky revolucionou a Psicologia, dando atenção a análises quantitativas do comportamento humano, que posteriormente seriam todas fundamentadas dentro do campo da Ciência Cognitiva (STERNBERG; STERNBERG; MIO, 2012).

A cognição humana se concentra em estudar o funcionamento dos processos cognitivos, ou seja, o processo humano de aquisição e processamento do conhecimento, algo ainda muito controverso e desafiador. Entender como um indivíduo percebe o universo é uma porta para compreender como este entende o universo em que vive, possibilitando desenvolver métodos mais eficientes de pesquisa. Entretanto, a própria aquisição do conhecimento pode ser comprometida, devido a déficits na percepção do universo por um indivíduo. Um caso, relatado pela primeira vez em 1980 por Olive Meares, descrevia alguns indivíduos que apresentavam dificuldades quando liam textos em papéis com o fundo branco (MEARES, 1980). Nove anos mais tarde, a Síndrome de Meares-Irlen, ou Síndrome da Sensibilidade Escotópica, seria fundamentada em um artigo escrito por Helen Irlen (IRLEN; LASS, 1989).

A Síndrome de Meares-Irlen (SMI), ou Síndrome da Sensibilidade Escotópica, é caracterizada pela deficiência na capacidade visual-perceptiva humana, originada pela insuficiência adaptativa à luz, produzindo alterações no processamento do córtex visual, as quais, prejudicam diretamente a visão de um indivíduo (IRLEN, H., 1983). Dentre os efeitos, as habilidades humanas relacionadas à visão, como a leitura e a escrita, podem ser terminantemente prejudicadas, influenciando diretamente o processo de aprendizagem, sendo refletido no baixo rendimento escolar e problemas em relações interpessoais (DUARTE; FIGUEIREDO; OLIVEIRA, 2021). Tal problema se estende, quando tratamos de outros déficits relacionados à leitura e ao aprendizado, como a Dislexia. É comum portadores da SMI serem diagnosticados de maneira equivocada, por conta da equivalência com os sintomas da Dislexia, ou, até mesmo, em determinados casos, serem rotulados de preguiçosos ou desmotivados (BICALHO et al., 2015). Sob esta perspectiva, os indivíduos portadores da SMI apresentam maior esforço cognitivo para

realizar tarefas relacionadas à leitura e, consequentemente, gastam mais energia que indivíduos que não portam a síndrome (IRLEN; LASS, 1989).

Com o avanço da tecnologia, diversos equipamentos foram desenvolvidos para auxiliar a coleta e processamento das informações biológicas de um indivíduo, possibilitando quantificar informações que anteriormente eram abstratas, como a carga de trabalho do sistema cognitivo. O rastreador ocular (eye-tracker) permite a captura do diâmetro pupilar de um indivíduo ao realizar uma tarefa, informação que se relaciona diretamente com o esforço cognitivo utilizado pelo mesmo (ORSI, 2018).

O presente trabalho se concentra em desenvolver um estudo sobre o esforço cognitivo de voluntários durante a atividade de leitura, utilizando o equipamento de rastreamento ocular Tobii TX300, disponível no Laboratório de Processamento de Imangens da FEI (LPI). O estudo analisa a variação do diâmetro pupilar, sinal que evidencia a carga cognitiva exigida em uma tarefa, em um experimento inédito sobre os efeitos visuais da SMI em textos com contraste branco apresentados na tela de um computador (ROMERA et al., 2019).

1.1 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo principal descrever como a pupila se comporta durante os efeitos visuais gerados artificialmente em um experimento de leitura de textos da língua portuguesa, revelando: 1) a relação entre a dilatação pupilar e o esforço cognitivo durante a tarefa de leitura; 2) os padrões que os sinais pupilares apresentam para cada tipo de efeito visual inspirado na SMI. O trabalho possui como objetivo secundário analisar os padrões dos mapas de rastreamento ocular de adolescentes (12 a 18 anos) (FEDERAL, 1990) que participaram do experimento considerado.

1.2 ESTRUTURA DO TEXTO

Esta dissertação está estruturada em 7 capítulos. No capítulo 2, estão apresentados os conceitos fundamentais para compreensão do desenvolvimento do trabalho. No capítulo 3, estão apresentados os trabalhos que se relacionam com o presente trabalho, realizando uma revisão de 1960 até o momento atual. O capítulo 4 descreve os materiais e métodos utilizados para a realização do experimento e técnicas utilizadas para processar os sinais oculares. O capítulo 5

apresenta os resultados experimentais obtidos para que no capítulo 6, sejam estes discutidos. O último capítulo, capítulo 7, apresenta a conclusão do presente trabalho.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

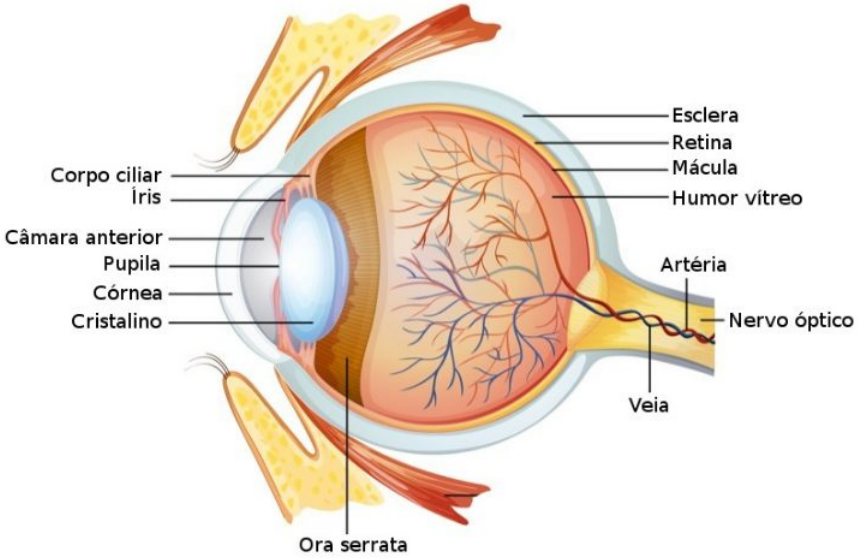
Este capítulo tem como objetivo descrever os conceitos básicos utilizados para o desenvolvimento desta dissertação. O capítulo está dividido em 3 seções principais, sendo essas: 1) Fisiologia da Visão; 2) Síndrome de Meares-Irlen (SMI) e 3) Considerações Complementares.

2.1 FISIOLOGIA DA VISÃO

A percepção visual está relacionada ao processamento de inúmeras informações captadas pela retina, por meio de estímulos de células fotossensíveis, em que são enviados sinais elétricos pelos nervos ópticos até o córtex visual primário. Por meio deste processo nós conseguimos distinguir formas, cores, detectar movimento, noção de profundidade e etc (ORSI, 2018).

O órgao responsável pela aquisição destas informações é o olho, sendo dividido anatomicamente em diversos componentes. Neste trabalho, serão enfatizados 3 desses componentes: íris, pupila e retina, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Anatomia do olho humano

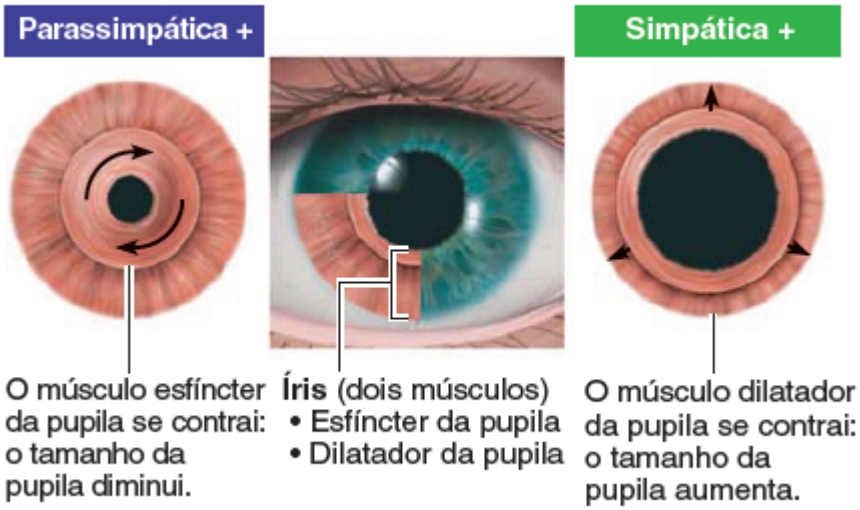


Fonte: (MOLÉSTIAS OCULARES (IMO), 2021)
Legenda: Esquema da anatomia do olho humano, visto a partir do corte lateral

Inicialmente, a luz incide sobre a córnea, parte da camada externa do olho, que por ser transparente, permite que a luz atinja a íris, pupila e cristalino (ORSI, 2018). A íris corresponde à parte colorida dos olhos, em que a abertura no centro é denominada pupila. A pupila possui

processos de constrição (miose) e dilatação (midríase), que se dão por dois fatores: (1) para controlar a luminosidade que entra no olho, protegendo as células fotorreceptoras presentes na retina, que são responsáveis pela emissão das informações por meio de impulsos elétricos para o cérebro por meio dos nervos ópticos e, (2) para regular o processamento de informações durante estados de repouso e atenção de um indivíduo durante a realização de alguma tarefa (ORSI, 2018). Para o segundo caso, os sinais de diâmetro pupilar podem se tornar um sinal que indica os estados mentais do indivíduo, refletindo o esforço cognitivo demandado na realização de alguma tarefa. No caso do aumento do esforço mental, a pupila revela o estado de atenção, recebendo o sinal simpático do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) para dilatação pupilar, adquirindo maior quantidade de informações visuais durante a realização da tarefa, ao passo que quando diminui, a pupila revela o estado de repouso e economia de energia, recebendo um sinal parassimpático para a constrição pupilar, adquirindo menor quantidade de informações visuais, conforme apresentado na Figura 2 (ORSI, 2018).

Figura 2 – Músculos presentes na íris



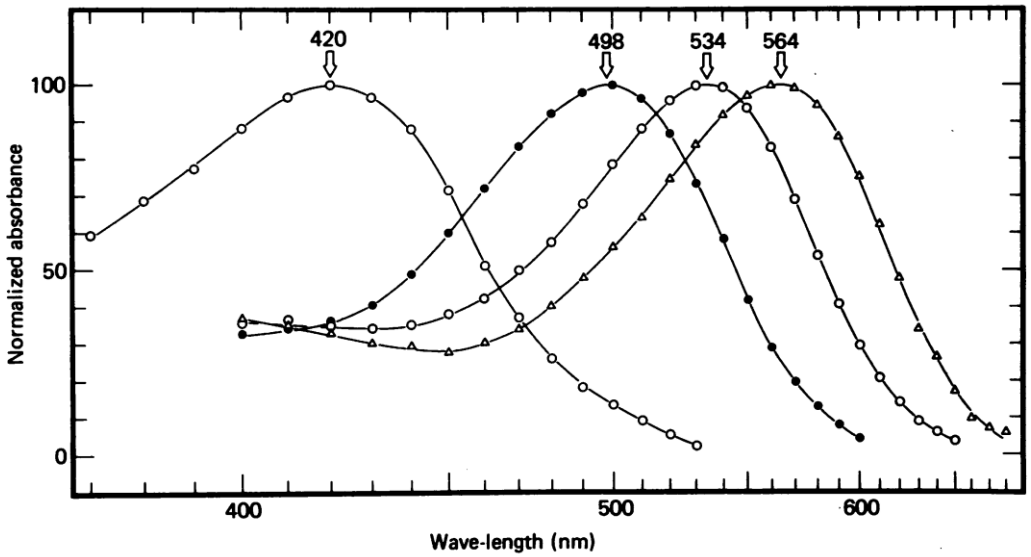
Fonte: (MARIEB; KELLER, 2011)
Legenda: Esquema dos músculos da íris, responsáveis pela contração e dilatação pupilar

A retina é a parte que reveste o globo ocular internamente com células fotorreceptoras, compostas por cones e bastonetes (ARROYAVE GUZMAN, 2019). Estas possuem substâncias (Rodopsina e Iodopsina) que sofrem reações quando estimuladas pela energia da luz, que quando ativadas, hiperpolarizam as células, excitando as células horizontais e amácrinas, que, por sua vez, excitam as células ganglionares via sinapse, sofrendo descargas contínuas com frequência de aproximadamente 5 potenciais (de hiperpolarização dos cones e bastonetes) por segundo (MAIA, 2019).

Existem dois tipos de células ganglionares: células do tipo M (magnocelulares, com grande velocidade de condução dos sinais elétricos relacionadas à detecção de movimento) e do tipo P (parvocelulares, com baixa velocidade de condução dos sinais e relacionadas a detecção de formas e cores) (FARIA, 2011). A propósito, uma das hipóteses, é que a causa da SMI pode estar relacionada a uma deficiência na emissão dos estímulos pelas células do tipo M (GUMARÂES, 2011). A identificação das cores é realizada pela ativação de cones e bastonetes de diferentes pigmentos fotossensíveis em diferentes proporções, em que a sensibilidade à luz é diretamente proporcional à concentração de rodopsina (ARAÚJO VILHENA, s.d.). Os cones podem ser classificados em três tipos, sendo que cada um deles responde com estímulos elétricos quando sujeitos a determinados comprimentos de onda (BOWMAKER; DARTNALL, 1980). A junção dos estímulos dos três tipos gera a faixa de cores visível para o ser humano, indo do violeta (380 nm) ao vermelho (740 nm). Os tipos de classificação são:

a) Cones tipo L : respondem a comprimentos de onda grandes (verde-amarelado);
b) Cones tipo M: respondem a comprimentos de onda médios (verde);
c) Cones tipo S: respondem a comprimentos de onda pequenos (violeta).

Figura 3 – Absorção das diferentes frequências da luz pela retina



Fonte: (BOWMAKER; DARTNALL, 1980)
Legenda: A curva da esquerda do gráfico representa a absorção dos bastonetes, enquando as demais, a absorção pelos cones. A curva sinalizada com o valor 498 representa os cones tipo L, a curva sinalizada com 534 representa os cones tipo M e a curva sinalizada com o valor 564 representa os cones tipo S.

2.2 SÍNDROME DE MEARES-IRLEN (SMI)

A SMI pode ser definida como um déficit na capacidade visual-perceptiva, revelada na década de 80 por Olive Meares e definida em 1983 por Helen Irlen, responsável por causar problemas na aquisição das informações luminosas pelos olhos, causando um mal processamento dessas informações (SOARES; GONTIJO, 2016). Esse déficit prejudica várias habilidades visuais humanas, tais como ler, escrever, dirigir automóveis e praticar esportes.

Dentre as habilidades citadas, uma das mais evidenciadas atualmente é a habilidade de leitura, que se torna lenta e descontínua, dificultando a compreensão de uma frase ou texto. Indivíduos portadores de SMI relatam cansaço visual, dor nos olhos, lacrimejamento e fadiga visual após períodos de no máximo 15 minutos de esforço (IRLEN, H. L., 1990).

As principais manifestações da SMI durante o processo de leitura estão na alta sensibilidade do indivíduo para a luz, ocasionando nas distorções devido ao contraste branco/preto de impressões em papel sulfite, embaçamento das letras, sensação de letras em movimento e espaçamento irregular entre as palavras (FARIA, 2011; GUIMARAES; GUIMARAES, s.d.). As Figuras 4 - 6 mostram alguns exemplos de distorções em textos causadas pela SMI.

Figura 4 – Efeito Blurry

BY ANDREW I. SOSTEK
AND RICHARD I. WYATT

A any parent, grandparent, or baby-sitter knows, some babies are adaptable, placid, and regular in their habits, while others are difficult and unpredictable. Differences in temperament show up from the first day of life: some infants sleep very little, others sleep a lot, some infants are highly sensitive and cranky, others are quiet and unresponsive.

Since newborns have not been exposed to the world for long, environmental forces beyond the womb can hardly account for such differences in temperament. Rather, the differences must be largely a result of genetic influences. Yet there have been few, if any, attempts to relate different biological endowments at birth to newborns' behavior.

We have found in research at the National Institute of Mental Health (NIMH) that behavioral differences in newborns are associated with an enzyme that circulates in both the blood and the brain, monoamine oxidase (MAO). By comparing the amounts of MAO in the blood of newborns with their performance on behavioral tests, we established that those with lower levels of MAO tended to be more excitable and uncooperative than those with high MAO. The lower-MAO newborns were also more active and performed better on items relating to motor functioning.

In the brain, researchers believe that MAO influences behavior by breaking down the chemical neurotransmitters that carry messages between neurons. By preventing neurotransmitters from building up, MAO quiets the brain cells that would otherwise be activated. Low levels of MAO thus mean more active—rather agitated—in the brain.

We believe that some of our colleagues at NIMH might profitably search for a connection between levels of MAO and adult behavior. Dorrine Murphy and its associates had found that many schizophrenics and depressives had lower-than-normal amounts of MAO in their blood. In a study of normal adults, Monte Buchsbaum and his associates uncovered an association between low MAO and a variety of distinctive personality traits, including gregariousness, a tendency to drink and experiment with drugs, an active, varied sex life, and a preference for activities such as motorcycle riding.

Was MAO present in the blood of infants in the same relative amounts, and could it similarly influence their behavior? To find out, we first examined the blood of 23 newborns. Seven days after birth, blood is routinely taken from the feet of the infants' unbuffed and cured that is attached to the placenta to determine blood type. We removed permission to analyze the remaining fetal blood.

We found approximately the same variation in the range of MAO levels among our 23 infants as among the 880 adults examined in previous studies. The MAO levels were also similar regardless of the type of delivery, sex, gender, birth weight, or medication given the mother during delivery. Previous research has shown that the blood of MAO found in the blood of different people follows genetic laws. For example, identical (same-egg) twins have very similar amounts and people in the same family generally have quite similar amounts. Thus, we assume that the MAO levels found in the blood at birth are biologically fixed.

To measure behavioral differences among our sample, we gave the Neonatal Behavior Assessment Scale (NBAS) to the 23 infants on their second day of life. The NBAS assesses infants' reactions to a range of sights and sounds and provides an evaluation of their motor functioning and arousal patterns. In one group of items, for example, the examiner rings a bell, shakes a rattle, and shines a flashlight at sleeping newborns to assess their ability to screen out stimuli; infants who wake easily or cannot stop responding are either more arousable or have less efficient information-processing skill.

To see how MAO related to the infants' NBAS scores, we compared the infants who had the most MAO to those with the least MAO. The most notable difference was in arousability. During the 30 minutes of testing, low-MAO newborns were much more active and easily aroused, they cried more often, took longer to calm down, and required more holding and rocking to quiet down. They also displayed better muscular coordination.

Our research shows that one enzyme in the blood and brain seems tied to individual differences among newborns. We don't know whether other brain chemicals—such as the endorphins—are present in sufficient quantities at birth and also influence infant behavior. It is also an open question whether these biological predispositions are constant throughout the life span—that is, whether the more active infants grow up to be outgoing, sensation-seeking, while the placid ones become quieter, more introverted adults.

Andrew I. Sostek is a senior staff fellow in the Adult Psychiatry Branch, Intramural Mental Health Research, NIMH. Richard J. Wyatt is chief of the branch.

Fonte: (IRLENCLINIC, 2017)

Legenda: Exemplo de visualização dos indivíduos que se queixam do efeito Blurry

Figura 5 – Efeito Ripple

When Sampler CPU 1 boots up "Code Meter" automatically loads. This is a Wibu application (free online from Wibu.com). This is essential to recognize the DVZ-RT/Space/Library authorization USB key (dongle). This may be immediately visible because it's in the Windows Task Tray. This runtime program is actually installed on all the DVZ-RT computers (Center), and Samplers).

If the Code Meter task Tray icon is green, this means the authorization key is present on the computer being viewed. On those computers where the key is not installed, the icon will be gray, but it will work because the program accesses the valid key over the network.

Also, On all Samplers, you will see an AI Crypt VST Host (Helix) icon. That also loads automatically upon boot up. This AI Crypt info pertains only to beta turn-key systems, and will change later.

If the icon is not present, launch it from the desktop icon, or look in the Start Menu - Programs/Audio Impressions/AI Strings and launch AI Crypt. If it isn't there, it failed to load or the Wibu key is not connected so please make sure it's present on one of the computers, that they're all networked correctly together, etc.

If it's loaded, right-click on the icon and a context menu will come up. The first item will be Dismount if all loaded correctly. Don't select this. If the first item is "Mount" then select this (this mounts the library). If you Mount, you have to choose the image, and that's located on the sample drive and named "aisi" (Audio Impressions Symphonic Image). You select it and mount it to x (using the dropdown menu). No letter other than x will function correctly. Note: All this will occur automatically in the final release and even in beta you shouldn't have to do the mounting if the boot process works correctly.

Fonte: (IRLENCLINIC, 2017)
Legenda: Exemplo de visualização dos indivíduos que se queixam do efeito Ripple

Figura 6 – Efeito Rivers

However,bytheend oftheday hehad decidedthat this schoolwasbetter than the last oneeventhough he didn'tlikeit. Nobodyhad offeredto pullhishead off,riphiscoat orthrow hisshoes overtheroof. on theotherhand, nobody hadspoken tohimeither By Thursdayafter noon, nothinghad changedBill was notentirely surprisednoonespoke tohimbecause no oneknewhewas thereeverydayhewas witanother group. Heonly sawhisclasstogether atergistration after thatthey weresplitupforall theirlessons. Maths withlx Englishwithlcgames with2yalesson which was mysteriouslycalled GSwithlz.Atthe endof that periodhewasnowiser aboutGSthanhehad been atthe beginning,Itseemed thatthe classwas on page135 ofbook2whilethe teacherwas onpage 135 ofbook 3asbothbookshad identical covers the lesson wasoverbeforeany onenoticed Billhad had nobook anywaybeingadvised toshare withaboy in apink shirtwhokepthiselbow firmly between Bill and thebook.Whenthebellrang Bill grabbed the boy inthepinkshirtbeforehe could leave.
However,bytheend oftheday hehad decidedthat this schoolwasbetter than the last oneeventhough he didn'tlikeit. Nobodyhad offeredto pullhishead off,riphiscoat orthrow hisshoes overtheroof. on theotherhand, nobody hadspoken tohimeither By Thursdayafter noon, nothinghad changedBill was notentirely surprisednoonespoke tohimbecause no oneknewhewas thereeverydayhewas witanother group. Heonly sawhisclasstogether atergistration after thatthey weresplitupforall theirlessons.

Fonte: (IRLENCLINIC, 2017)
Legenda: Exemplo de visualização dos indivíduos que se queixam do efeito Rivers

É estimado que a SMI afete aproximadamente 15% da população mundial, e que 45% das pessoas que apresentam dificuldades de leitura possuem a SMI (BICALHO et al., 2015). No entanto, por possuir sintomas muito próximos a outros transtornos relacionados à leitura e, muitas vezes, vem acompanhada destes transtornos como Dislexia e TDAH, o diagnóstico da SMI se torna uma tarefa difícil, pois é realizado, analisando-se fundamentalmente o desempenho de cada indivíduo durante a leitura.

Neste contexto, os estudos que analisam novas métricas, como o movimento dos olhos por meio de equipamento de rastreamento ocular (em inglês, eye-tracking) têm revelado achados inéditos que permitem uma análise mais específica das pessoas portadoras da síndrome. Basicamente, essas métricas revelam o comportamento do olhar durante o processo de leitura de um indivíduo, qualificando e quantificando métricas como o número de regressões (movimentos da direita para a esquerda), fixações (fixações do olhar da esquerda para a direita), a relação de palavras lidas por minuto durante a leitura, a tendência de se ler da esquerda para a direita, o alcance do reconhecimento (número de palavras lidas por fixação), entre outras (BICALHO et al., 2015).

2.3 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

As métricas atuais, no estágio em que se encontram, não descrevem informações discriminantes sobre padrões de leitura impactados por distorções distintas no processamento visual destas informações, trazendo resultados cientificamente questionáveis que não têm sido reconhecidos como válidos por várias organizações, tais como a Academia Americana de Pediatria e a Sociedade Brasileira de Oftalmologia Pediátrica (TARTARELLA; VASCONCELOS; EJZENBAUM, s.d.).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre a variação do diâmetro pupilar, sob o olhar da ciência cognitiva, além do desenvolvimento de técnicas de mensuração pupilar, com publicações de 1960 até o período atual, com olhar atento aos artigos que relacionam o esforço cognitivo com estímulos visuais. Este capítulo apresenta também como as pesquisas e tecnologias evoluíram ao decorrer do tempo para contextualizar o estado da arte do tema.

3.1 COGNIÇÃO E MENSURAÇÃO PUPILAR

Em 1960, os professores de psicologia da Universidade de Chicago, Eckhard Heinrich Hess e James Martin Polt, publicaram um dos primeiros trabalhos que relacionavam o controle do diâmetro da pupila com fatores cognitivos. Hess e Polt observaram, a partir da discussão de Albert Kuntz (1929) e dos experimentos de E.L. Gibbs e F.A. Gibbs (1936), que o controle da constrição e dilatação da pupila não dependia apenas do nível de luminosidade incidente no olho, mas também de sinais simpáticos e parassimpáticos do sistema nervoso. Kuntz descreveu que fatores emocionais, assim como o medo, que geralmente são associados a estímulos simpáticos, são acompanhados por variações no diâmetro pupilar. A partir desta discussão, E.L. Gibbs e F.A. Gibbs realizaram um experimento para comparar o diâmetro da pupila de gatos reconhecendo objetos e alimentos comuns e estranhos em seu dia a dia, observando que a pupila dos animais se dilatava ao se deparar com objetos estranhos e voltava ao normal ao reconhecer tais objetos. Tais resultados levaram Hess e Polt a realizar um experimento com 3 homens e 3 mulheres, apresentando 5 imagens em sequência para ambos, sendo essas de um bebê, uma mãe segurando um bebê no colo, um homem seminu, uma mulher seminua e uma paisagem. Foi observado que o interesse nas imagens variou conforme o gênero do participante, apresentando uma grande variação pupilar quando homens viam a imagem da mulher seminua e quando mulheres viam a imagem do homem seminu, ao passo que a pupila variava em menor grau quando mulheres viam a imagem da mulher seminua e quando homens viam a imagem do homem seminu. Este experimento evidenciou que o fator emocional, representado pelo interesse do indivíduo nas imagens, estimula a parte parassimpática do sistema nervoso, assim como os músculos que controlam a dilatação e constrição da pupila (HESS; POLT, 1960).

Quatro anos depois, em 1964, Hess e Polt realizaram outro experimento com humanos, para analisar se além do interesse, o esforço mental requirido na realização de tarefas poderia influenciar o controle do diâmetro da pupila. O experimento contava com 4 homens e uma

mulher com altos níveis intelectuais, sendo realizado em um ambiente com luminosidade controlada para não haver variações pupilares causadas pelos sinais parassimpáticos do sistema nervoso. Cada participante devia responder quatro questões de aritmética, cada uma apresentada separadamente, contendo um cálculo de multiplicação que tinha seu grau de complexidade aumentado ao passo que as questões eram apresentadas, sendo essas 7 X 8, 8 X 13, 13 X 14 e 16 X 23. A cada cálculo apresentado, o participante devia responder a solução em voz alta, para que fosse anotada a taxa de acertos. Foi constatado que o diâmetro pupilar aumentava quando o indivíduo realizava cada tarefa, atingindo um valor máximo e apresentando uma queda acentuada logo na sequência, voltando ao seu valor inicial, representando o momento que o participante encontrava a resposta da questão. Também, foi constatado um aumento gradual do diâmetro pupilar conforme o nível de complexidade de cada questão (HESS; POLT, 1964).

No ano seguinte, em 1965, Hess publicou um trabalho contendo uma série de experimentos a fim de evidenciar sua hipótese. Conforme havia descrito em 1964, o sistema parassimpático controlava a intensidade que a luz adentrava os olhos enquanto o sistema simpático respondia para estados emocionais e atividade mental de um indivíduo. Para isso, realizou quatro experimentos, diversificando o tipo de estímulo em cada um, para que fosse analisada a variação do diâmetro pupilar em relação a luminosidade, emoções, motivações e interesses. O equipamento utilizado no experimento se estruturava em uma caixa que continha uma tela em uma de suas faces, para que fossem projetadas as imagens, além de um suporte ajustável para apoiar a cabeça dos participantes na face oposta da tela. Dentro da caixa, havia uma lâmpada de 100 watts apontada para os olhos do participante, fora da linha de visão para que esta não influenciasse as condições de luminosidade do experimento. Além da lâmpada, havia um espelho direcionando o foco de uma câmera aos olhos do participante, tirando fotos a cada 0.5 segundos. O primeiro experimento se concentrou em analisar a variação do diâmetro pupilar em relação à luminosidade, apresentando 4 imagens na tela do projetor e aumentando a intensidade da luz. Hess observou que por mais que o sistema parassimpático dos indivíduos agisse de forma a constringir a pupila por conta do aumento da luminosidade, os efeitos do sistema simpático se manifestaram de maneira mais significativa. Em todos os participantes, foi possível observar a constrição da pupila em imagens que anteriormente não lhes despertavam interesse, apresentando resultados de variações negativas, enquanto as imagens que lhes causavam interesse, as variações pupilares tiveram resultados positivos, evidenciando que as variações pupilares causadas pelo sistema simpático se sobressaem às variações do sistema parassimpático. O segundo experimento se concentrou em analisar a variação pupilar em relação

a fatores emocionais, apresentando uma série de imagens positivas e negativas, que representavam imagens familiares e chocantes, respectivamente. Hess observou que nas imagens que continham cenas de violência explícita, como soldados mortos em campo de batalha, pilhas de corpos em campos de concentrações e um gangster assassinado, a variação pupilar foi positiva, pois de alguma forma causava comoção nos participantes do experimento, indicando que o fator emocional influencia diretamente no controle do diâmetro pupilar. Para evidenciar esta hipótese, foram instalados eletrodos na pele dos participantes, para que ondas de choque fossem detectadas a partir da resposta galvânica da pele, indicando um aumento no nível emocional. Conforme proposto, a pele apresentava altos níveis de resposta quando a pupila estava dilatada. O terceiro experimento teve como objetivo analisar a relação entre a motivação dos participantes e suas respectivas variações pupilares. Para tal, foram apresentadas imagens atrativas de comidas para dois grupos, um deles contendo 10 pessoas que não se alimentavam há quatro ou cinco horas e outro com 10 pessoas que se alimentaram até uma hora antes. As variações do primeiro grupo tiveram média de 11.3 por cento enquanto o segundo grupo, 4.4 por cento, indicando que a pupila também varia em relação a outros sentidos. O quarto experimento contou com uma adaptação do equipamento para relacionar a variação do diâmetro pupilar com um estímulo não-visual, o paladar. O experimento contou, em sua primeira parte, com o participante focando em um ponto fixo da tela de projeção enquanto bebia líquidos considerados agradáveis como bebidas carbonatadas, achocolatados e leite e líquidos desagradáveis como suco de limão concentrado e soluções de quinina. Hess constatou que a pupila variava de forma similar em resposta aos dois tipos de estímulo, utilizando a ingestão de água pelos indivíduos, como controle. A segunda parte desse quarto experimento se manteve em relacionar o sentido do paladar com a variação pupilar, solicitando que os participantes dessem um gole em cinco diferentes sucos de laranja, intercalados com um gole em um recipiente contendo água. Foi constatado que em um dos casos, a pupila dos indivíduos se dilatou consideravelmente, estando de acordo com a preferência do participante (HESS, 1965).

Após os resultados de Hess e Polt, Daniel Kahneman e Jackson Beatty realizaram uma série de experimentos que indicavam que a variação do diâmetro pupilar se relaciona com o esforço mental necessário para armazenar informações na memória de curto prazo (KAHNEMAN; BEATTY, 1966). Em outras palavras, a hipótese era que a pupila se dilatava na aquisição de informação e se constringia durante a verbalização da resposta. O experimento realizado contou com cinco participantes do sexo feminino e possuía quatro blocos de sete ensaios, em que em cada bloco, era apresentado sonoramente uma sequência numérica de três a sete dí-

gitos, sendo solicitado que o participante a memorizasse e após uma pausa de dois segundos, verbalizasse a sequência memorizada. Em seguida, eram apresentados sonoramente quatro substantivos monossilábicos não-relacionados para que também fossem memorizados e verbalizados após a pausa de dois segundos. A última parte consistia em transformar uma sequência numérica de quatro dígitos, somando uma unidade a cada dígito e verbalizando a sequência logo em seguida. Nos resultados da primeira parte do experimento, Kahneman e Beatty observaram duas fases distintas no sinal pupilar adquirido, a primeira de dilatação gradual da pupila durante a leitura dos números (fase de carga) e segunda de constrição gradual da pupila durante a verbalização da sequência numérica (fase de recuperação) (KAHNEMAN; BEATTY, 1966). Também foi observado que o pico do sinal adquirido, que representa o valor máximo atingido pela pupila, tem seu valor aumentado conforme a sequência numérica apresentada também aumenta, evidenciando a relação da dilatação pupilar com o esforço cognitivo exigido pela tarefa. Assim como na primeira parte do experimento, a parte de memorização e verbalização dos substantivos apresentou uma curva similar ao primeiro experimento, distinguindo claramente a fase de carga da fase de recuperação, porém com magnitudes diferentes. Observando as médias das curvas, pode-se constatar que a carga cognitiva para memorizar a sequência de 6 dígitos é muito similar a carga cognitiva para memorizar os substantivos. A terceira parte do experimento, de transformação da sequência numérica, apresentou um valor de pico muito mais elevado que os demais experimentos, além da curva da fase de carga muito mais acentuada que as demais. Outro fator observado, foi que durante a pausa de dois segundos, a dilatação da pupila continuou se intensificando, indicando a carga cognitiva utilizada para realizar o cálculo de transformação solicitado (KAHNEMAN; BEATTY, 1966).

No ano seguinte, em 1967, Kahneman, Beatty e Pollack refizeram o experimento de transformação de sequências numéricas de quatro dígitos, variando a quantidade de unidades que deveria ser somada a cada algarismo, a quantidade de dígitos da sequência e definindo um tempo de exposição de cada número da sequência, por meio de um metrônomo (KAHNEMAN; BEATTY; POLLACK, 1967). Foi observado que conforme a dificuldade da tarefa se intensificava, a pupila dos indivíduos participantes do experimento se dilatava gradualmente, conforme o aumento da sequência numérica, com exceção da parte que a sequência continha sete dígitos. No caso, os participantes desistiam da tarefa por conta do alto nível de complexidade, notando-se uma queda no sinal pupilar adquirido (constrição pupilar). Também, foi constatado que variando os valores a serem somados nos algarismos, a dilatação da pupila tende a se comportar de maneira diferente. Comparando a parte que era solicitado que cada participante adicionasse

três unidades a cada algarismo, da parte que era solicitado que adicionasse uma unidade, a pupila chegou a se dilatar 50 por cento do tamanho inicial (KAHNEMAN; BEATTY; POLLACK, 1967).

Em 1969, Daniel Kahneman, Bernard Tursky, David Shapiro e Andrew Crider conduziram um experimento a fim de evidenciar a relação do diâmetro pupilar com outras atividades do sistema autônomo simpático: a frequência cardíaca e a resistência da pele. O experimento era dividido em três partes, cada uma contendo uma tarefa mental de dificuldade diferente das demais. Foi constatado que além da variação do diâmetro pupilar, as funções do sistema simpático observadas também se alteravam, evidenciando-se uma relação direta entre o esforço cognitivo e os sinais do sistema simpático (KAHNEMAN et al., 1969).

Durante as décadas seguintes de 70, 80 e 90, pesquisadores debruçaram-se em evidenciar a variação do diametro pupilar em relação a fatores que excluíam a carga cognitiva, portanto, grande parte desses trabalhos encontrados foram desconsiderados para o desenvolvimento desta dissertação. Os trabalhos que possuíam este tema tinham teor descritivo das evidências já encontradas anteriormente, com exceção do trabalho publicado por Sylvia Ahern e Jackson Beatty em 1979. O trabalho tinha interesse em investigar o diâmetro pupilar em relação a aptidão escolar de diversos estudantes de graduação, realizando um experimento com 39 participantes, 22 com pontuações mais elevadas em avalições escolares e 17 com pontuações mais baixas. Foram apresentadas 38 problemas aritméticos, constituídos de multiplicações entre dois valores, apresentados sonoramente a cada indivíduo com intervalo de 2 segundos, dispondo 5 segundos para a verbalização da resposta. O experimento contava com um equipamento que utilizava o reflexo da luz infravermelha para aquisição do sinal pupilar, permitindo mensurar e processar o sinal pupilar. Foi observado que, em ambos os grupos, o sinal pupilar variava com as mesmas características durante a aquisição das informações (números a serem multiplicados), mas se diferiam durante a verbalização da resposta. O grupo com melhor desempenho escolar apresentava uma menor dilatação da pupila em relação ao grupo com pior desempenho, possibilitando classificar indivíduos considerados mais "inteligentes"que outros (AHERN; BEATTY, 1979).

Em outro trabalho relacionado publicado em 1971, Ronald P. Carver realizou um experimento para analisar a variação pupilar em indivíduos realizando tarefas de leitura contando com 24 participantes, todos de ensino médio. O experimento consistia em apresentar três textos de diferentes dificuldades de compreensão, capturando o sinal pupilar por uma câmera para ser medido posteriormente. O autor concluiu que não existia evidência entre a dificuldade de

compreensão dos textos e a dimensão da pupila, pois não apresentou variações significativas (CARVER, 1971).

Além dos trabalhos publicados por Ahern e Beatty, em 1982, e Carver em 1971, Michael Schluroff da Universidade de Konztanz, na Alemanha, conduziu um experimento para analisar a resposta pupilar em indivíduos realizando tarefas de compreensão gramatical em sentenças. Foram apresentadas sonoramente 21 sentenças, contendo de 5 a 29 palavras, com diferentes tipos de estrutura sintática (SCHLUROFF, 1982). Após a apresentação da frase, era aguardado 2 segundos para que o participante classificasse o nível de compreensibilidade da frase. Schluroff observou que as frases classificadas como mais complexas apresentaram resultados de diâmetros pupilares maiores que as demais.

Paralelamente na década de 80, surgiram os primeiros trabalhos relacionados à SMI. Olive Meares, em 1980, notou que alguns pacientes de uma clínica infantil na Nova Zelândia, todos considerados inteligentes, apresentavam severas dificuldades ao ler textos impressos em folhas em branco. Olive Meares relatou o fato em forma de artigo, sugerindo que a disfunção poderia ter caráter perceptual e poderia ser causada pelo contraste das letras impressas em preto com o fundo branco, da folha de papel (MEARES, 1980). Paralelamente à observação de Meares, Bowmaker e Dartnall deram continuidade a dois estudos realizados em 1964 por Paul K. Brown e George Wald (BROWN; WALD, 1964) e Marks, Dobelle e MacNichol (MARKS; DOBELLE; MACNICHOL, 1964), investigando a sensibilidade escotópica a determinados comprimentos de onda, por diferentes cones e bastonetes, células presentes na retina. O artigo, publicado em 1980, definia as diferentes concentrações de três tipos de cones, classificados como sensíveis à cor azul (420 nm), verde (534 nm) e vermelho (564 nm), além dos bastonetes, com pico em absorção em 498 nm (BOWMAKER; DARTNALL, 1980).

Em 1982, John S. Werner realizou um estudo sobre a relação entre a sensibilidade escotópica e a absorção do espectro pelo sistema visual humano. Analisando nove indivíduos, com idades entre 4 meses e 66 anos, durante a exposição a estímulos visuais com diferentes comprimentos de onda, Werner observou que a sensibilidade escotópica se manifestava mais em determinados comprimentos de onda, em função da idade dos indivíduos participantes (WERNER, 1982). No ano seguinte, Philipp Russel e Thomas Wheeler também realizaram um estudo posterior ao de Bowmaker e Dartnall, relacionando os mesmos temas, concluindo que a sensibilidade dos cones e bastonetes era maior quando se tratava de estímulos visuais com comprimentos de onda menores que 620 nm (RUSSELL; WHEELER, 1983).

Também no início da década de 80, a psicóloga americana Helen Irlen observou a melhora do desempenho na leitura e redução da sensibilidade escotópica em indivíduos considerados analfabetos funcionais, utilizando cores. Foram encontradas evidências que os portadores da síndrome possuem má distribuição das células fotoreceptoras da retina (cones e bastonetes) apresentando hipersensibilidade a determinadas faixas do espectro visível, além de utilizarem mais informações da região parafoveal, em relação a individuos considerados normais. Esta má distribuição causa alterações na transmissão dos sinais pelas vias Magno e Parvocelulares ao cérebro, gerando distorções no processamento visual (IRLEN, H., 1983). A partir desta descoberta, referida como 'síndrome de sensibilidade escotópica', foi desenvolvido o primeiro tratamento para a síndrome, originando as primeiras lâminas espectrais, chamadas Irlen Overlays, compostas de uma película transparente levemente tingida, com um lado fosco e outro brilhante, que, aplicando-as sobre a folha com o texto em questão, aumentava o desempenho da leitura destes indivíduos (IRLEN, H., 1983). Foram disponibilizadas 10 cores distintas, pois foi relatado que cada indivíduo somente apresentava tais melhorias em determinadas tonalidades das películas, quando escolhidas de forma idiossincrática, específica e consistente (GUIMARÃES et al., 2021).

Após a definição da síndrome de sensibilidade escotópica, diversos trabalhos, relacionando déficits perceptuais a diferentes habilidades humanas, começaram a surgir. Trabalhos que relacionavam a evolução e intensidade da sensibilidade escotópica com bases bioquímicas e genéticas, como a concentração de rodopsina nos bastonetes (FULTON; HANSEN, 1987), além de trabalhos que reproduziam o tratamento proposto por Helen Irlen em 1989 (ROBINSON; MILES, 1987) (SWAN, 1983).

Os trabalhos publicados em sequência sobre a SMI se concentraram em avaliar a eficácia do uso das lentes em atividades de leitura, observando a redução dos efeitos de estresse visual e do aumento do desempenho na leitura. Em 1987, Sam Winter, da Universidade de Cambridge, realizou um experimento para avaliar se o desempenho na leitura de 20 crianças que utilizavam as lentes de Irlen realmente era superior. Winter classificou os sintomas da síndrome, sendo: 1) Problemas na resolução da informação visual (distorções); 2) Espaço limitado de foco; 3) Fotofobia; 4) Problemas na sustentação de foco. O experimento induziu as crianças a pensarem que lentes de coloração cinza melhorariam o desempenho na leitura, algo que foi confirmado pelas mesmas. Winter concluiu que não existiam evidencias da melhoria do desempenho na leitura utilizando as lentes de Irlen (WINTER, 1987).

Nos anos seguintes, até 1993, Blaskey et al. (1990), O'Connor et al. (1990), Gregory Robinson e Robert Conway (1990), Martin et al. (1993), desenvolveram experimentos em ambientes com luminosidade controlada e observaram que o aumento do desempenho não era significativo, sugerindo que o aumento do desempenho relatado pelos indivíduos que utilizavam as lentes poderia ser gerado pelo efeito placebo. Em 1994, Wilkins realizou um experimento para avaliar esta condição, observando que dos 68 participantes, 26 optaram por lentes placebo e 23 não sabiam definir claramente a diferença, concluindo que a manifestação dos sintomas da SMI não poderiam ser facilmente interpretados a partir das lentes placebo.

No final da década de 1990, Gregory L Robinson e Robert NF Conway realizaram um experimento de longo prazo para avaliar a melhora do desempenho de leitura dos indivíduos que utilizavam as lentes espectrais, observando variação da velocidade de leitura e compreensão durante 12 meses. O autor observou uma melhora significativa no desempenho dos participantes nos primeiros três meses, concluindo que as lentes podem aumentar o desempenho da leitura (ROBINSON; CONWAY, 1990).

Retomando as pesquisas relacionadas ao diâmetro pupilar, o ano 2000 foi marcado pelo desenvolvimento da patente que estabelecia os métodos e aparatos necessários para monitorar a variação do diâmetro pupilar e rastreamento ocular. A partir desta data, tornou-se possível obter valores mais precisos destas variáveis, ocasionando o abandono das antigas técnicas de mensuração pupilar. A patente, registrada por Marshall, estimulou o desenvolvimento de novos estudos sobre a SMI e rastreamento ocular, além do diâmetro pupilar e demais tarefas relacionadas à cognição (MARSHALL, 2000).

Em junho de 2005, Bruce J. W. Evans publicou um trabalho contendo três estudos de caso, de três indivíduos que o procuraram por estarem com suspeita de serem portadores da SMI, por apresentarem diversos sintomas da síndrome. O autor definiu como "preocupante"a ausência de trabalhos sobre a síndrome utilizando investigações optométricas, sugerindo que o tema fosse investigado (EVANS, 2005).

Em 2008, Vu, Larson e Chandler publicaram um trabalho pela Universidade de Oklahoma que utilizava o rastreador ocular para analisar alterações nas fixaçoes de pessoas quando visualizavam imagens com efeitos de borramento, ruídos brancos e mudanças de coloração. O experimento contou com duas etapas, sendo a primeira delas a apresentação de imagens originais (sem efeitos) e a segunda, as imagens com as distorções visuais. O trabalho concluiu que as diferenças entre as fixações de imagens originais e com efeitos não possuía variações significativas, pois os efeitos visuais eram distribuídos de maneira uniforme, não apresentando variações

evidentes que possibilitaria a atenção visual dos participantes (VU; LARSON; CHANDLER, 2008).

Diversos trabalhos subsequentes da publicação de Evans se concentraram em investigar a SMI utilizando o equipamento de rastreamento ocular, mas com olhar sob diversos parâmetros além do diâmetro pupilar. Os estudos mais recentes qualificam e quantificam métricas como número de regressões (movimentos da direita para a esquerda), fixações (fixações do olhar da esquerda para a direita), a relação de palavras lidas por minuto durante a leitura, a tendência de se ler da esquerda para a direita, o alcance do reconhecimento (número de palavras lidas por fixação), entre outras. Em 2011, Marina Eurides Alves Guimarães publicou um trabalho sobre a eficiência das lentes de Irlen utilizando o equipamento de rastreamento ocular, analisando o desempenho de 20 indivíduos no ato de ler, durante 12 meses de intervenção. Os resultados demonstraram que a eficiência na leitura após a intervenção foi aprimorada em 95 por cento dos casos, evidenciando a redução da quantidade de fixações, indicando o aumento na velocidade de leitura (GUMARÂES, 2011).

Em 2015, Bernal desenvolveu um experimento para identificar indivíduos que apresentam déficits na aquisição da informação visual e desconfortos durante o ato de leitura. Para tal, utilizou uma amostra de 267 alunos do ensino fundamental e foi observado que 37.59% dos alunos utilizavam um marcador ou dedo para realizar a leitura, além de apresentarem pausas e dificuldades para ler o texto em voz alta, indicando problemas na visualização do texto. O autor concluiu que a identificação dos relatos mais frequentes de distorções e desconfortos durante o ato de leitura pode auxiliar os profissionais da área de educação a identificarem alunos que possuem déficits visuais (BERNAL, 2015).

Em 2019, desenvolvemos no Laboratório de Processamento de Imagens da FEI um experimento que simulou os efeitos visuais da SMI com base nos efeitos visuais mais frequentes relatados pelos portadores da síndrome. O experimento, que contou com 70 participantes saudáveis lendo três textos contendo efeitos distintos na tela de um rastreador ocular, demonstrou uma grande diferença no padrão de visualização dos individuos entre os textos normais e os textos com simulações dos efeitos da síndrome, possibilitando classificá-los com acurácia de 98,57%. Concluiu-se que é possível utilizar métodos de estatística e classificação de dados para identificar possíveis sinais que indicam a presença de distorções visuais em indivíduos saudáveis (ROMERA et al., 2019).

Em 2020, Ana Isabel Arroyale Guzmán publicou sua tese de doutorado desenvolvendo um algoritmo que descrevia o funcionamento do sistema visual humano, a fim de analisar as

possíveis causas do estresse e distorções visuais presentes nos portadores da síndrome, por meio de simulações computacionais de funções visuais. Foram analisados parâmetros como fixações e sacadas, criando exemplos de distorções visuais a partir destes dados (ARROYAVE GUZMAN, s.d.).

3.2 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Nesta revisão bibliográfica são encontrados, em grande maioria, artigos que relacionam a variação do diâmetro pupilar em relação a tarefas relacionadas a cognição, não sendo encontrados trabalhos que associem o diâmetro pupilar com a visualização de textos com distorções visuais. Por conta disso, a presente dissertação tem como interesse buscar respostas neste contexto, investigando o esforço cognitivo pode ser influenciado pela qualidade das informações visuais adquiridas pelo indivíduo, por meio dos materiais e métodos a serem descritos no próximo capítulo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados, apresentando o equipamento usado e descrevendo a modelagem do experimento (ROMERA et al., 2019) com o desenvolvimento dos seguintes algoritmos (ROMERA et al., 2023): 1) processamento do sinal pupilar de cada participante, relacionando-os com um método de processamento de imagens que obtém o grau de intensidade de cada distorção visual apresentada; 2) análise dos sinais no domínio da frequência, relacionando-os com as intensidades dos efeitos visuais e; 3) classificação dos sinais pupilares e mapas de rastreamento ocular com técnicas estatísticas multivariadas.

4.1 TOBII PRO TX300

O equipamento de rastreamento ocular utilizado para a aquisição do sinal visual dos participantes foi o Tobii Pro TX300. O equipamento em questão possui uma tela de 23 polegadas, acoplado a dispositivo de rastreamento ocular, com frequência de amostragem de 300Hz e latência total menor que 10ms (SILVA, 2021). O dispositivo ilumina o olho humano com luz infravermelha, refletindo a córnea para detectar a dimensão e o centro pupilar, possibilitando a aquisição das coordenadas das fixações oculares e dimensão da pupila. A Figura 7 apresenta uma foto do equipamento.

Figura 7 – Equipamento de rastreamento ocular Tobii Pro TX300.

Fonte: Tobii Pro 2021

Para a captura dos sinais, é utilizado o software oficial do equipamento, o Tobii Studio, permitindo a aquisição dos pontos de fixação para geração dos mapas de rastreamento ocular e dos sinais bidimensionais que representam o diâmetro pupilar em relação ao tempo. No primeiro caso, os mapas de rastreamento ocular são exportados pelo software em forma de imagens, enquanto para o segundo caso, os sinais adquiridos são exportados na forma de uma tabela em que as linhas representam as aquisições e as colunas o diâmetro pupilar dos olhos esquerdo e direito, em milímetros.

O mapa de rastreamento ocular é gerado a partir de duas medidas: 1) Limiar de espaço que indica área máxima em pixels para computar uma fixação e; 2) Limiar de tempo que indica o tempo mínimo para que seja reconhecida a fixação (DUCHOWSKI, 2017). Os limiares utilizados foram 40 pixels e 60 milisegundos para gerar fixações em forma de mapa de calor (heatmap), variando do vermelho (ponto de maior tempo de fixação do olhar) ao verde (ponto de menor tempo de fixação do olhar) (SILVA, 2017). A partir desses dados, o mapa de rastreamento ocular é gerado com as coordenadas de todos os pontos de fixação ocular do voluntário durante cada etapa de leitura do experimento.

4.2 ESTÍMULO VISUAL

A concepção do experimento está concentrada em simular os dois efeitos visuais que os portadores da SMI relatam, o efeito "Blurry"(embaçado) e o efeito "Washout"(borrado) (EVANS; ALLEN; WILKINS, 2017). Para isso, a primeira parte do desenvolvimento do estímulo visual conta com a seleção de textos para aplicação de tais efeitos. Os textos selecionados têm baixa dificuldade de compreensão para evitar que substantivos desconhecidos ou sentenças gramaticais complexas influenciem o diâmetro pupilar e movimentação ocular durante a aquisição do sinal, removendo, assim, uma variável que não se encaixa no escopo do presente trabalho. Esta seção apresenta os textos selecionados e a transformação dos mesmos em efeitos visuais.

4.2.1 Seleção dos Textos para os Estímulos Visuais

A partir das condições descritas anteriormente, são selecionados três textos de literatura infantil, um deles para ser apresentado sem qualquer efeito visual (para análise do padrão natural de leitura dos participantes) e dois deles para receber os efeitos Blurry e Washout, para que se

possa analisar as variações oculares a partir do padrão natural de leitura. Para cada texto, é realizada uma pergunta referente ao mesmo, também de baixa complexidade para análise da compreensão e interesse de cada participante.

O primeiro texto é um fragmento de um livro de literatura infantil escrito por Adélia Prado (PRADO, 2006). O texto selecionado é o seguinte: "Papai trabalhava numa ferraria e em nossa casa quase tudo era de ferro: colheres de amassar feijão, tesouras, panelas, moinho de café. Eu achava uma beleza casas que tinham sofá. O que meu pai aprontou? Fez um joquinho de quarto e sala para eu brincar, sofá, poltronas, mesa, cadeirínhas, tudo de ferro. Para a caminha, mamãe fez colchão e travesseiro de palha. Papai pintou os brinquedos com tinta verde. Para Alberto, fez um jóquei montado, também de ferro, cavalo e cavaleiro pintados com tinta de outra cor. Quando já estávamos crescidos, o jóquei morava enfiado no bambu da cerca, tomava sol e chuva e não estragava. Brinquedo de ferro é para toda a vida."

Para o primeiro texto, a pergunta a ser realizada ao final da leitura é a seguinte: "Qual cor da tinta que foi utilizada para pintar os brinquedos?"na qual espera-se a resposta "verde".

O segundo texto, obtido também de um livro de literatura infantil escrito por Sylvia Orthof (ORTHOF, 1983) está apresentado a seguir: "Maria era uma ovelha. Onde as outras ovelhas iam, Maria ia também. As ovelhas iam pra cima. Maria ia para cima. Maria ia sempre com as outras. Um dia todas as ovelhas foram para o Pólo Sul. Maria foi também. As ovelhas pegaram uma gripe! Maria pegou também. "Atchim!". Maria ia sempre com as outras. Um dia, as ovelhas resolveram comer salada de jiló. Maria detestava jiló. Mas como todas as ovelhas comiam jiló, Maria comia também. Que horror!."

Para o segundo texto, a pergunta a ser realizada ao final da leitura é: "Qual comida Maria detestava?"na qual espera-se a resposta "jiló".

O terceiro texto também é um fragmento de um livro de literatura infantil escrito por Russel Ash e Bernard Higton (ASH; HIGTON, 2004), apresentado a seguir: "Um leão, cansado de tanto caçar, dormia espichado à sombra de uma boa árvore. Vieram uns ratinhos passear em cima dele e ele acordou. Todos conseguiram fugir, menos um, que o leão prendeu embaixo da pata. Tanto o ratinho pediu e implorou que o leão desistiu de esmagá-lo e deixou que fosse embora. Algum tempo depois, o leão ficou preso numa rede de caçadores. Não conseguia se soltar e fazia a floresta inteira tremer com seus urros de raiva. Nisso, apareceu o ratinho. Com seus dentes afiados, roeu as cordas e soltou o leão."

Para o terceiro texto, a pergunta a ser realizada ao final da leitura é: "Onde o leão dormia?"na qual, a resposta correta é "na sombra de uma árvore".

4.2.2 Produção do Estímulo Visual

Após a etapa de seleção dos textos, os mesmos passam por uma etapa de processamento para serem apresentados na tela do rastreador ocular Tobii Pro TX300. O equipamento de rastreamento ocular suporta a apresentação de imagens e vídeos para aquisição dos sinais visuais dos participantes. Para tal, foi desenvolvido um código que gera uma animação dinâmica de um texto se distorcendo gradualmente, em formato .avi, a fim de simular o que uma pessoa diagnosticada pela SMI visualiza ao ler um texto estático. A seguir, está apresentado o pseudocódigo que explica o procedimento utilizado para gerar os efeitos.

Algoritmo 1 – Pseudocódigo para geração dos efeitos

Entrada: Texto, Tipo de efeito, Tempo de duração, Fonte, Tamanho etc
Leia: Parâmetros de entrada
Inicio:
Organiza variáveis de configuração
Imprime imagem raiz
Aplica efeito de animação com as funções da biblioteca "ImageMagick"
Agrupa imagens com efeito de animação
Renderiza vídeo da animação
Fim
Saída: Texto com efeito dinâmico no formato .avi

O pseudocógico se aplica para os três textos apresentados na subseção 4.2.1 (Seleção dos Textos para os Estímulos Visuais). O efeito selecionado para o primero texto é definido como "Neutro", gerando um vídeo estático, sem qualquer efeito cíclico. Para o segundo texto, é aplicado o efeito "Blurry", enquanto para o terceiro texto é aplicado o efeito "Washout". No segundo e terceiro casos, os efeitos se alteram de maneira cíclica, se intensificando até um valor máximo e retornando ao texto normal, definidos pelas variáveis de tempo de duração dos ciclos.

Para o efeito "Neutro", o tempo de exibição do vídeo é definido em 32 segundos sem efeitos cíclicos. No caso do texto com efeito "Blurry", define-se o valor de ciclo igual a 8 segundos, oscilando quatro vezes, completando o total de 32 segundos de vídeo. Para o efeito "Washout", o valor de ciclo é de 9 segundos, oscilando 4 vezes, completando 36 segundos. Os períodos pré-definidos são concebidos por meio do tempo médio de leitura do texto, para que não ocorra casos no quais os participantes não tenham o tempo necessário para ler o texto por completo. Os tempos de exibição utilizados neste trabalho foram obtidos empiricamente, a partir de testes de leitura realizados no Laboratório de Processamento de Imagens da FEI.

O software utilizado para realizar o processamento das imagens utilizadas no experimento é o RStudio, por possibilitar de maneira gratuita a aplicação de efeitos que simulam os efeitos relatados pelos portadores da SMI (Blurry e Washout) além de possibilitar a renderização de vídeos no formato GIF. As bibliotecas necessárias para o processamento são entituladas "Magick" e "ggplot2" para realizar ambas as tarefas respectivamente (WHITEHOUSE, 1998) (WICKHAM; CHANG; WICKHAM, 2016).

Após a etapa de processamento do estímulo visual, são obtidos três vídeos no formato .avi. Um deles sem qualquer efeito (Neutro) e dois deles contendo os efeitos Blurry e Washout, respectivamente. Além desta etapa, são processados mais quatro textos, nesse caso, gerando quatro imagens. A primeira imagem contém o texto com as instruções para a realização do experimento. As três demais imagens possuem as perguntas relacionadas aos textos, também apresentadas na subseção 4.2.1 (Seleção dos Textos para os Estímulos Visuais).

Obtidos os estímulos visuais, o software Tobii Studio permite organizar a apresentação dos vídeos e imagens para os participantes. Os estímulos são organizados na seguinte ordem:

a) Imagem contida das intruções para realização do experimento.
b) Texto 1 (Neutro)
c) Pergunta referente ao texto 1 (Neutro)
d) Texto 2 (Blurry)
e) Pergunta referente ao texto 2 (Blurry)
f) Texto 3 (Washout)
g) Pergunta referente ao texto 3 (Washout)
h) Agradecimentos

4.3 PROCESSAMENTO DE SINAIS

A seguir serão apresentadas as técnicas que são utilizadas para o processamento dos sinais deste trabalho. Estão descritos os métodos de pré-processamento dos sinais pupilares e dos mapas de rastreamento ocular, além dos métodos para quantificação de ciclos em sinais periódicos (Transformada Rápida de Fourier (FFT)) e para classificação dos sinais e imagens.

4.3.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DO SINAL PUPILAR

Esta subseção apresenta os passos necessários para obtenção dos sinais pupilares individuais de cada participante durante a leitura de cada texto.

4.3.1.1 Separação dos Sinais

A primeira etapa de pré-processamento do sinal se estrutura na extração dos dados da pupila direita de cada participante a partir da tabela obtida pelo software Tobii Studio. Após essa etapa, é obtido um vetor $1xn$ para cada participante, representando a variável do sinal pupilar contínuo no tempo, com duração n, representando o total de aquisições durante a leitura de todos os textos. A partir desse vetor, são selecionados os períodos que representam a leitura apenas dos estímulos visuais, excluindo os períodos de leitura das intruções e perguntas, gerando três sinais para cada participante, sendo eles: 1) Sinal de leitura do texto Neutro; 2) Sinal de leitura do texto Blurry; e 3) Sinal de leitura do Texto Washout. Considerando um número k de participantes, a quantidade de sinais obtida após esta etapa será de $3xk$.

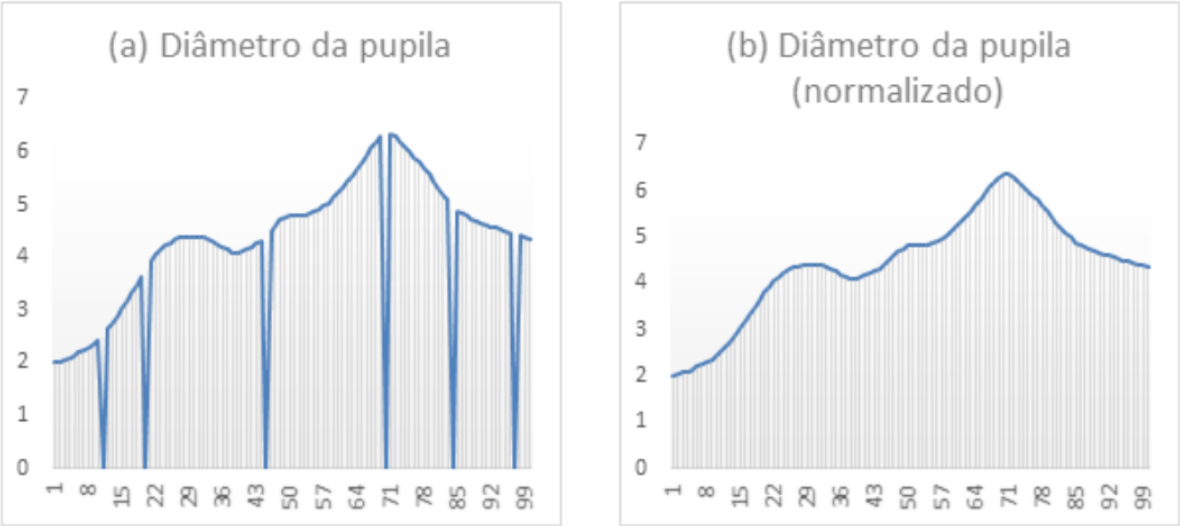
4.3.1.2 Normalização do Diâmetro Pupilar

Considerando que durante a aquisição do sinal no experimento os participantes piscavam os olhos, a primeira etapa de processamento constitui na reconstrução dos sinais pupilares para os momentos de falha de aquisição utilizando a técnica de interpolação linear para reconstruir os pontos ausentes nos sinais extraídos, conforme apresentado na equação 1 a seguir (OLSEN, 2012).

$$Vi = Va \cdot \left(1 - \frac{Pi - Pa}{Pp - Pa}\right) + Vp \cdot \left(1 - \frac{Pp - Pi}{Pp - Pa}\right), \tag{1}$$

em que Vi é o valor da falha de aquisição (valor ausente), Va é o valor adquirido anteriormente aos pontos ausentes, Vp é o valor adquirido posteriormente aos pontos ausentes, Pi é a posição da amostra Vi no vetor, Pa é a posição da amostra Va no vetor e Pp é a posição da amostra Vp no vetor (ORSI, 2018). A Figura 8 exemplifica visualmente essa etapa de processamento.

Figura 8 – Normalização do diâmetro da pupila.



Fonte: Adaptado de (ORSI, 2018)
Legenda: É possível notar que a interpolação linear remove as falhas de aquisição do sinal pupilar.

4.3.1.3 Filtragem do Sinal

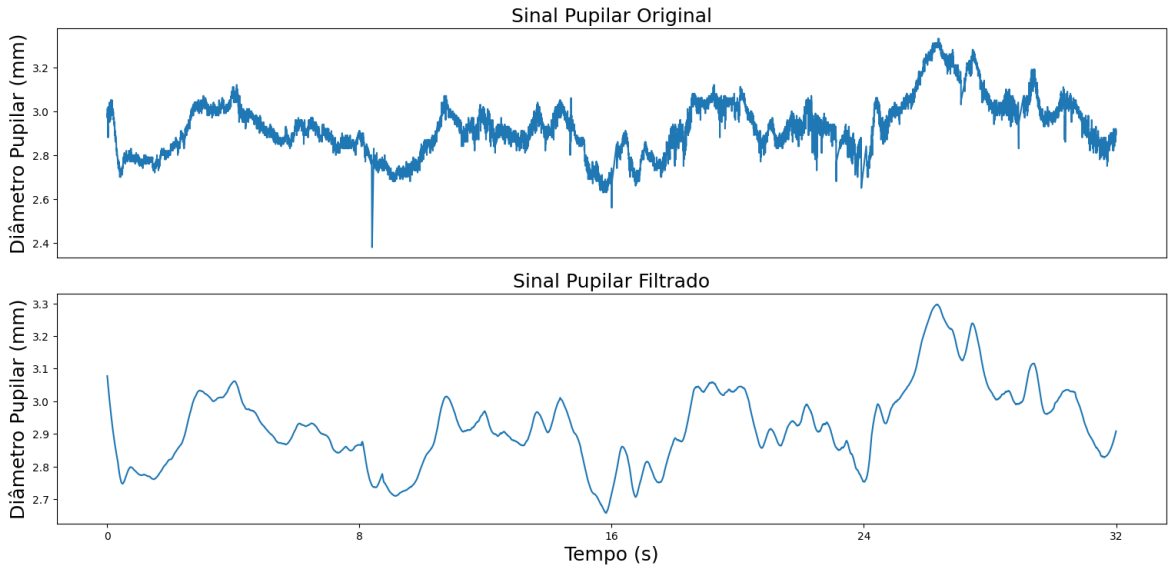
Em vários campos que utilizam processamento de sinais como técnica, a filtragem para a suavização e diferenciação de curvas é uma técnica amplamente utilizada. O filtro em questão, descrito por Savisky e Golay em 1964 (SAVITZKY; GOLAY, 1964), pode ser definido como um método de ajuste não-linear de mínimos quadrados por um polinômio de ordem n, no ponto central da janela definida. O filtro pode ser descrito pela equação a seguir (NISHIDA, 2017):

$$x_i = \frac{1}{2m+1} \sum_{j=-m}^{m} w_j x_{i+j} \tag{2}$$

Após a etapa de interpolação linear, é aplicado o filtro Savitzky-Golay, de ordem 2 e com janela de tamanho 200, para suavizar a curva dos sinais, removendo os ruídos capturados durante aquisição do sinais pupilares (SAVITZKY; GOLAY, 1964). A Figura 9 mostra a comparação do sinal pupilar capturado pelo equipamento de rastreamento ocular com o resultado do sinal após a etapa de pré-processamento de um dos participantes do experimento.

Após a etapa de filtragem, devem ser excluídos 2 sinais pupilares, que mesmo passando pela primeira etapa de processamento, resultam em sinais com grandes divergências dos demais, indicando falhas na aquisição do sinal ou desinteresse do participante ao decorrer da pesquisa. Além disso, as aquisições do rastreador ocular (300 Hz) são convertidas para segundos

Figura 9 – Comparação dos sinais original e processado.



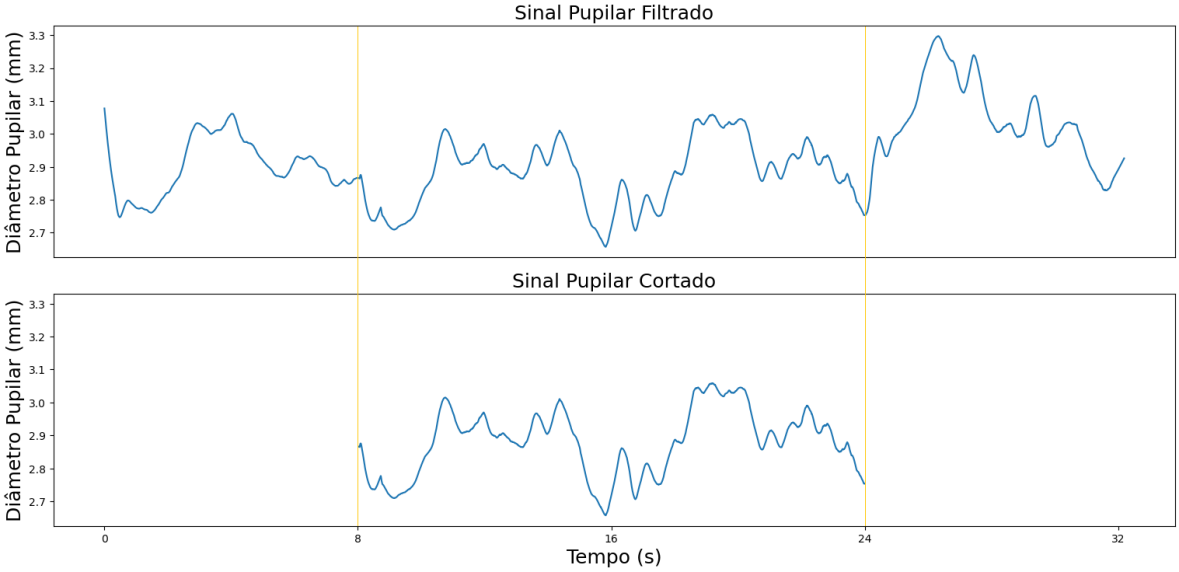
Fonte: Autor
Legenda: É possível notar que o filtro remove todos os ruídos captados durante a aquisição.

de tempo, passando de 9600 aquisições para 32 segundos no caso do efeito "Neutro"e "Blurry"e de 10800 aquisições para 36 segundos no caso do efeito "Washout".

4.3.1.4 Corte do sinal

Na próxima etapa de pré-processamento, o primeiro e último ciclo são removidos, removendo os 8 segundos iniciais e finais dos sinais "Neutro"e "Blurry"e os 9 segundos iniciais e finais dos sinais "Washout", resultando em um sinal de apenas 16 segundos para o efeito "Neutro"e "Blurry"e 18 segundos para o efeito "Washout". O corte do sinal pupilar no primeiro ciclo se dá pelo efeito de constrição pupilar presente em todos os sinais, causada pela variação da luminosidade da tela no momento que o vídeo é exibido. O corte do último ciclo se dá pelo tempo fixo pré-definido para a leitura do texto por completo, podendo resultar em casos nos quais os voluntários finalizaram a leitura antes do tempo se esgotar, resultando em ruídos que representam o olhar desatento dos participantes, aguardando a próxima etapa do experimento. A Figura 10, mostra a comparação do sinal filtrado e do sinal cortado de um dos participantes como exemplo.

Figura 10 – Comparação entre sinal completo e sinal cortado.



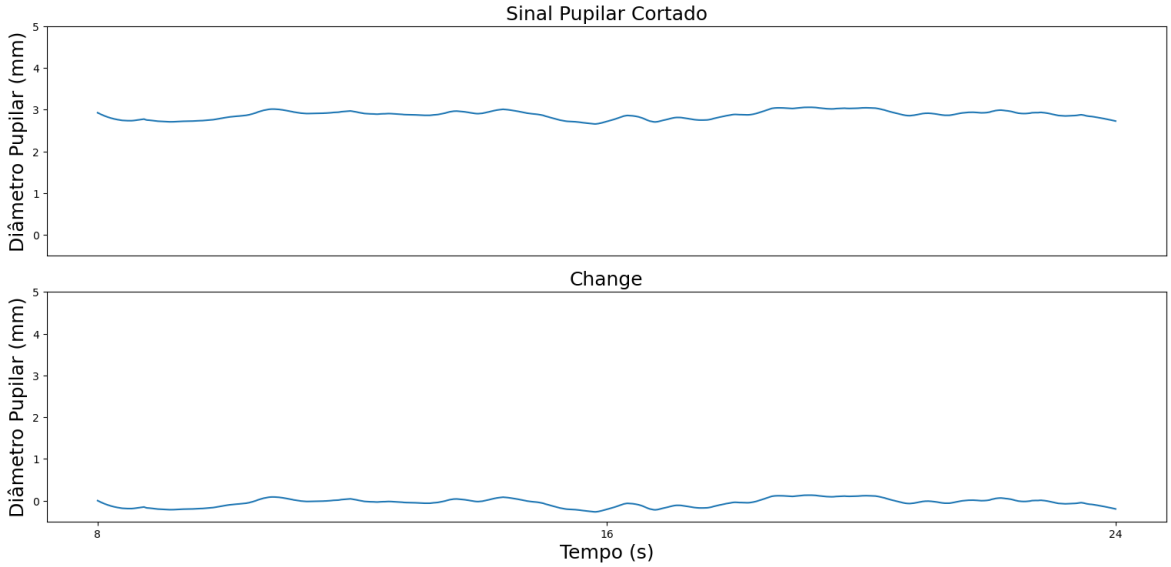
Fonte: Autor

Legenda: O sinal cortado representa os dois ciclos intermediários do sinal original.

4.3.1.5 Obtenção do Change do Sinal Pupilar

Na próxima etapa de pré-processamento, é obtido o "change"de cada sinal, que representa a variação do diâmetro pupilar de cada participante a partir do valor inicial em cada leitura. Esta etapa é implementada subtraíndo-se o valor da primeira aquisição das demais aquisições, resultando em sinais que sempre iniciam-se em zero, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Demonstração do "Change"do sinal



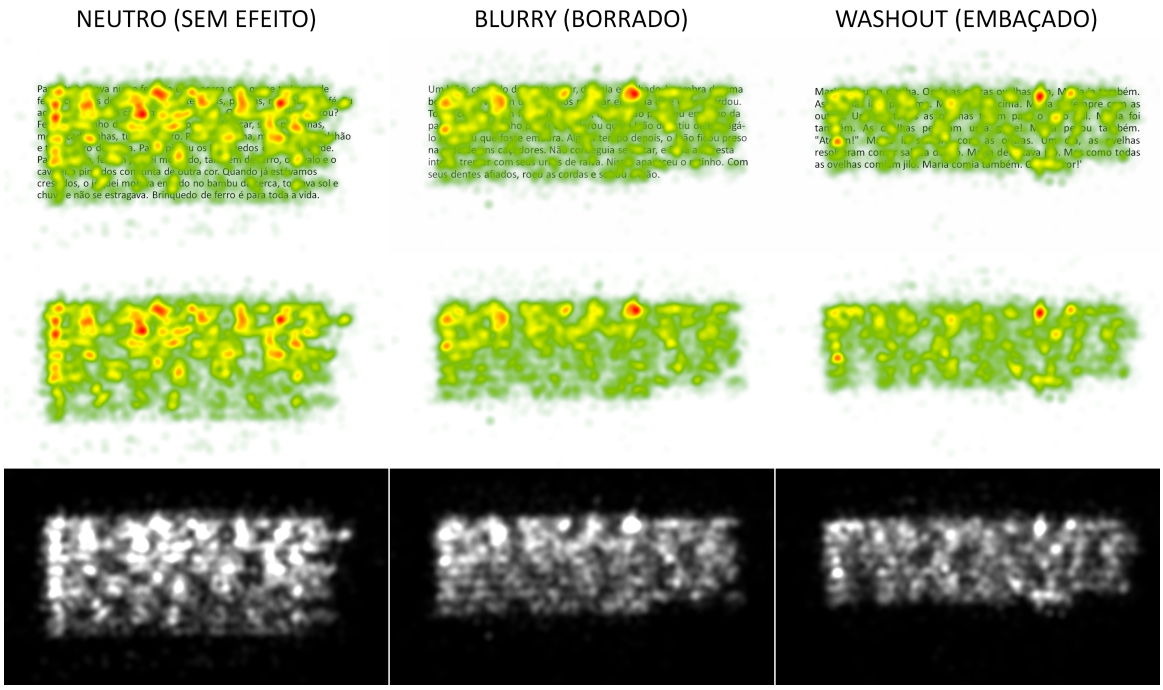
Fonte: Autor

Legenda: O change normaliza o sinal, representando apenas sua variação.

4.3.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS MAPAS DE RASTREAMENTO OCULAR

Além do sinal pupilar descrito na seção 4.3.1 (Pré-Processamento do Sinal Pupilar), o Tobii Studio, software oficial do Tobii TX300, também exporta as imagens dos mapas de rastreamento ocular, conforme apresentado nos três primeiros quadros da parte superior da Figura 12.

Figura 12 – Processamento das imagens de entrada



Fonte: (ROMERA et al., 2019)
Legenda: Cada coluna representa uma classe dos sinais (Neutro, Blurry e Washout) enquanto cada linha representa uma etapa do processamento.

A partir destes dados, a primeira etapa do processamento das imagens se dá pela extração da imagem de fundo, conservando apenas os pontos de fixação ocular, conforme apresentado nos quadros intermediários da Figura 12. Após obtidas as imagens, os mapas são convertidos para mapas de opacidade, contendo apenas tons de cinza, conforme apresentado nos três ultimos quadros da Figura 12.

4.3.3 PROCESSAMENTO DOS ESTÍMULOS VISUAIS

Os efeitos visuais produzidos para a realização do experimento também são processados para quantificar a intensidade de cada efeito durante as oscilações. O método consiste na

detecção da quantidade de bordas nos frames de cada vídeo, obtendo um único valor para cada frame, podendo ser dispostos em seguida na forma gráfica, no domínio de tempo (s).

As duas animações dinâmicas (Blurry e Washout) são divididas em 960 frames e, em seguida, é calculado, por meio de um algoritmo, a variância do laplaciano de cada frame. Considerando a imagem do frame como I, de dimensões m e n, o método consiste na aplicação da segunda derivada para detectar bordas negativas presentes na imagem, representadas pelas altas frequências. O operador Laplaciano pode ser aproximado utilizando a seguinte máscara (PECH-PACHECO et al., 2000):

$$L = \frac{1}{6}\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}. \tag{3}$$

Em sequência, é calculada a soma de todos os valores absolutos, para agrupar os dados em cada ponto:

$$LAP(I) = \sum_{m}^{\mathrm{M}} \sum_{n}^{\mathrm{N}} |L(m,n)| \tag{4}$$

em que L(m,n) é a convolução da imagem do frame, utilizando a máscara L.

Logo em seguida é calculada a variância dos valores absolutos, conforme apresentado a seguir:

$$LAPVAR(I) = \sum_{m}^{\mathrm{M}} \sum_{n}^{\mathrm{N}} [|L(m,n)| - \bar{L}]^2 \tag{5}$$

em que a média é dada por:

$$\bar{L} = \frac{1}{NM} \sum_{m}^{\mathrm{M}} \sum_{n}^{\mathrm{N}} |L(m,n)|. \tag{6}$$

O resultado descreve a variação da intensidade de cada efeito, sendo adaptados para esta dissertação os valores variando de zero (valor mínimo, no momento que o texto não apresentava distorções) até um (valor máximo, no momento que o texto apresenta a maior distorção). Os resultados são utilizados para comparar a média da variação pupilar com a intensidade de cada efeito. Assim como foi feito com os sinais pupilares, os sinais dos efeitos visuais também são cortados, removendo o primeiro e último ciclo de ambos os sinais, definindo o período de 8 a 24 segundos para o efeito visual "Blurry"e 9 a 27 segundos para o efeito "Washout", para possibilitar a análise visual da comparação entre os sinais.

A partir dos dados obtidos, são realizadas mais duas etapas de processamento: 1) Análise em frequência dos sinais, para mostrar a relação cíclica entre a variação média do sinal pupilar e a intensidade do efeito, respectivamente, por meio da aplicação da FFT (Fast Fourier Transform) em ambos os sinais. 2) Implementação de uma técnica computacional baseada em estatística multivariada para o reconhecimento de padrões. A técnica consiste em aplicar a Análise de Componentes Principais (PCA) (FUKUNAGA, 2013) e Análise de Discriminantes Lineares de Máxima Incerteza (MLDA) (THOMAZ et al., 2007) para extrair informações discriminantes dos sinais pupilares e classifica-los (THOMAZ et al., 2007).

4.3.4 PROCESSAMENTO DOS SINAIS EM FREQUÊNCIA

A partir de um sinal obtido, a técnica em questão quantifica a periodicidade de um sinal, possibilitando sua análise em frequêcia. A seguir, será apresentada essa técnica.

4.3.4.1 Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier é um método matemático que realiza a transformação dos sinais no domínio do tempo para o domínio da frequência (espectro de frequência), maneira mais comum de representar as características de um sinal, por possibilitar a análise das componentes de frequência e suas amplitudes que reconstroem o sinal original. Esta subseção aborda os conceitos para a determinação da Transformada de Fourier para sinais discretos (DFT, do inglês "Discrete Fourier Transform") e um de seus algoritmos rápidos (FFT, do inglês "Fast Fourier Trannsform").

Em 1822, Jean Baptiste Joseph Fourier descreveu como qualquer função periódica no domínio do tempo pode ser representada por meio da soma de senos e cossenos, definidas as amplitudes, fases e períodos dos mesmos (FOURIER; DARBOUX et al., 1822). Qualquer função $f(x)$ pode ser escrita desta maneira conforme a equação apresentada a seguir:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n cos\frac{n\pi x}{L} + b_n sin\frac{n\pi x}{L}) \tag{7}$$

em que a_n e b_n representam os coeficientes do sinal e a_0 representa a média do sinal.

A Transformada de Fourier para um sinal $x(t)$ é definida pela seguinte equação:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{i\omega t}dt \tag{8}$$

em que $X(\omega)$ representa a função no domínio da frequência e $x(t)$ representa a função no domínio de tempo.

No caso de sinais discretos, a equação anterior dificulta a análise no domínio da frequência pela ausência de uma função definida $f(x)$. Nesse caso, a solução é utilizar a Transformada Discreta de Fourier (DFT) para obter o espectro do sinal, conforme apresentado na equação a seguir:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{\text{N-1}} x(n)e^{\frac{i2\pi nm}{N}} \tag{9}$$

em que $x(n)$ constitui o conjunto de pontos que representa o sinal no tempo e N é o número de pontos amostrados. Além disso, m é dado por:

$$m = 0,1,2,3,...,N-1 \tag{10}$$

Em 1965, Cooley e Tukey desenvolveram um algoritmo que possibilita executar a equação 9 de maneira rápida, otimizando o processamento das análises, nomeando-a de Transformada Rápida de Fourier (FFT) (COOLEY; TUKEY, 1965). O algorimo tem como idéia principal a divisão da sequência de valores discretos x(n) em duas sequências, sendo uma delas de coeficientes pares e outra de coeficientes ímpares. Após esta etapa é calculada a DFT de cada sequência para posteriormente serem combinadas para obter a sequência completa.

Portanto, a FFT possibilita que as análises das frequências que compõem um sinal sejam realizadas de forma muito mais eficiente (MARTINS et al., s.d.).

4.3.4.2 Processamento do sinal médio

Para realizar a análise no domínio da frequência o sinal a ser considerado é obtido a partir da média dos sinais pupilares durante a leitura dos textos apresentados no rastreador ocular.

Nessa etapa de processamento, os sinais pupilares pré-processados são separados em três grupos: 1) Sinais pupilares adquiridos durante a leitura do texto com efeito "Neutro"; 2) Sinais pupilares adquiridos durante a leitura do texto com efeito "Blurry"e; 3) Sinais pupilares adquiridos durante a leitura do texto com efeito "Washout". Para cada grupo, é calculada a

média aritmética entre todos os sinais, realizando o cálculo de média para todos os valores obtidos na primeira aquisição, seguido do cálculo para a segunda aquisição e assim por diante. Os resultados são três sinais pupilares, que representam a variação média do diâmetro pupilar durante a leitura de cada estímulo visual.

A partir dos sinais médios, é calculada a FFT de cada sinal, obtendo por fim o espectro de cada sinal médio, permitindo a análise dos harmônicos necessários para reconstriui-los.

4.3.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SINAIS E MAPAS DE RASTREAMENTO OCULAR

Esta subseção apresenta os métodos utilizados para realizar a classificação de ambos os sinais armazenados no equipamento de rastreamento ocular, os sinais pupilares e os mapas de rastreamento ocular.

4.3.5.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais é uma técnica baseada em estatística multivariada utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados sem perder informações, explicando a estrutura de covariância de um conjunto de variáveis através da combinação entre elas. Algebricamente, os componentes principais são combinações lineares dessas variáveis, buscando uma melhor representação dos dados (ABDI; WILLIAMS, 2010) (TENORIO; THOMAZ, 2011).

Inicialmente, é obtida a matriz de covariância a partir de uma matriz de treinamento de N observações, representada por vetores n-dimensionais. As equações 11 e 12 a seguir, descrevem esta etapa:

$$S = \frac{1}{N-1}(X - \bar{X})(X - \bar{X})^T \tag{11}$$

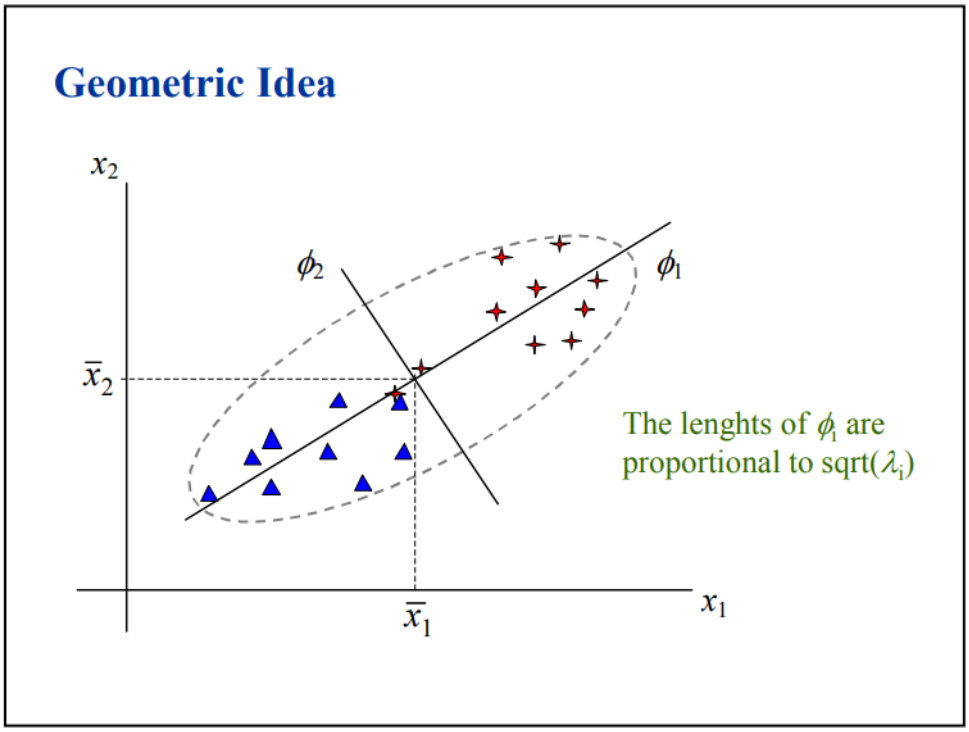
$$S = \frac{1}{N-1}\sum_{j=1}^{\mathrm{N}}(x_j - \bar{x})(x_j - \bar{x})^T, \tag{12}$$

em que a média $\bar{x}$ é obtida por meio da seguinte equação:

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{\mathrm{N}} x_j \tag{13}$$

Portando a decomposição espectral de S define um novo sistema de coordenadas descritas como m componentes principais (autovetores), podendo substituir as n variáveis originais conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Exemplo da redução de dimensionalidade com o uso de componentes principais, do ponto de vista geométrico.

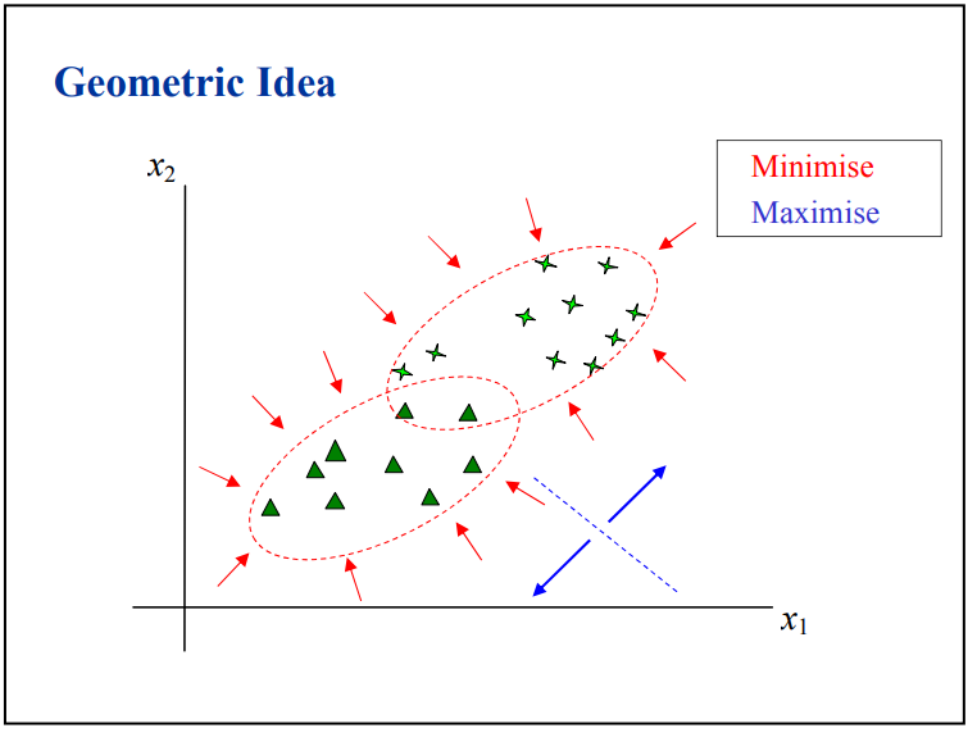


Fonte: (THOMAZ, 2022)
Legenda: No diagrama é possível observar as componentes principais que reduzem a dimensionalidade dos dados

4.3.5.2 Análise de Discriminantes Lineares (LDA)

A Análise de Discriminantes Lineares é uma técnica proposta originalmente por Fisher que permite extrair as características presentes nos dados, separando-os em duas ou mais classes, utilizada para reconhecimento de padrões em estatística (FISHER, 1936). A técnica consiste em minimizar a variabilidade dos dados, agrupando as amostras de uma classe e maximizar a separabilidade das classes, distanciando os grupos de amostras, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Exemplo de separação de classes, no ponto de vista geométrico.



Fonte: (THOMAZ, 2022)
Legenda: No diagrama é possível observar o objetivo da técnica

Uma matriz de dispersão entre classes S_b pode ser definida como:

$$S_b = \sum_{i=1}^{g} Ni(\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{x}_i - \bar{x})^T, \tag{14}$$

Enquanto a matriz de dispersão dentro da classe S_w, é definida por:

$$S_w = \sum_{i=1}^{g}(N_i - 1)S_i = \sum_{i=1}^{g}\sum_{j=1}^{N_i} Ni(x_{i,j} - \bar{x}_i)(x_{i,j} - \bar{x}_i)^T, \tag{15}$$

em que $x_{i,j}$ é o padrão n-dimensional j da classe π_i, Ni é o número de exemplos de treinamento da classe π_i e g é o número total de classes ou grupos. As equações da média amostral $\bar{x}_i$, a covariância amostral S_i e o vetor médio global é definido pelas equações 16, 17 e 18 apresentadas a seguir, respectivamente (FUKUNAGA, 2013):

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N_i}\sum_{j=1}^{N_i} x_{i,j} \tag{16}$$

$$S_i = \frac{1}{N_i - 1}\sum_{j=1}^{N_i}(x_{i,j} - \bar{x}_i)(x_{i,j} - \bar{x}_i)^T \tag{17}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{g} N_i \bar{x}_i = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{g}\sum_{j=1}^{N_i} x_{i,j}, \tag{18}$$

em que N é definido por:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + ... + N_g \tag{19}$$

O principal objetivo do LDA é encontrar uma matriz de projeção P_{lda} que maximize a razão do determinante de S_b ao determinante de S_w (FISHER, 1936; THOMAZ et al., 2007). Esta razão representa o Critério de Fisher, que é representado pela equação a seguir:

$$P_{lda} = arg\,\underset{p}{max}\frac{|P^T S_b P|}{|P^T S_w P|}. \tag{20}$$

.

O critério de Fisher é atendido quando os autovalores que correspondem aos autovetores de $S_w^{-1}S_b$ da matriz de projeção P_{lda} são não-nulos (FUKUNAGA, 2013). Pode-se observar que em problemas estatísticos que possuem duas classes de dados , a matriz de projeção P_{lda} possui apenas um autovetor, possibilitando a separação das duas classes (TENORIO; THOMAZ, 2011).

4.3.5.3 Análise de Discriminantes Lineares de Máxima Incerteza (MLDA)

A Análise de Discriminantes Lineares de Máxima Incerteza é uma técnica que consiste em substituir a matriz de dispersão S_w por uma matriz de dispersão modificada S_w^*. Essa matriz, pode ser obtida, inicialmente, calculando os autovetores Φ e os autovalores λ de S_p, onde S_p é definido por:

$$S_p = \frac{S_w}{N-g} \tag{21}$$

Em sequência, calcula-se o autovalor médio $\bar{\lambda}$ de S_p, dado por:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i = \frac{Tr(S_p)}{n}; \tag{22}$$

Após essa etapa, é formada uma matriz de autovalores com base nos maiores valores entre os autovalores, conforme apresentado a seguir:

$$\Lambda^* = diag[max(\lambda_1,\bar{\lambda}),max(\lambda_2,\bar{\lambda}),...,max(\lambda_m,\bar{\lambda}); \tag{23}$$

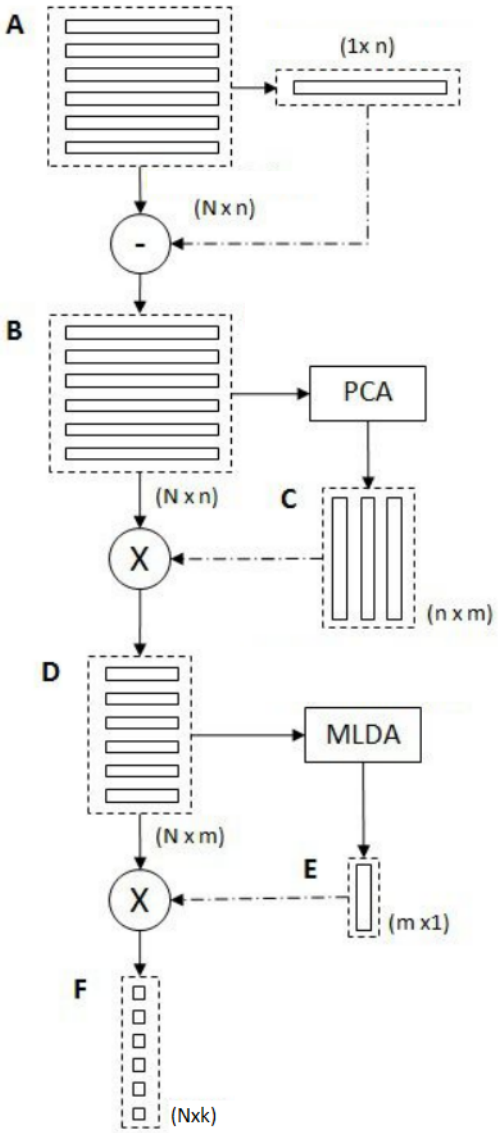
Por fim, é formada a matriz de dispersão dentro da classe estabilizada, conforme apresentado a seguir:

$$S_w^* = S_p^*(N-g) = (\Phi\Lambda^*(\Phi)^T)(N-g). \tag{24}$$

O algoritmo expande os autovalores menores (menos confiáveis) de S_w e mantém a maioria de seus autovalores maiores inalterados.

A seguir, a Figura 15 apresenta o arcabouço computacional utilizado para realizar a classificação dos sinais obtidos.

Figura 15 – Diagrama (PCA + MLDA).



Fonte: Autor

Legenda: O diagrama acima representa o arcabouço computacional utilizado para a redução e classificação dos dados.

4.3.5.4 Teste de Validação Cruzada

Para validar o desempenho das classificações foi considerado o método de validação cruzada k-fold (BENGIO; GRANDVALET, 2003). O método consiste em dividir o conjunto de dados em k subconjuntos de mesma dimensão. A partir disso, um dos subconjuntos separados é utilizado para teste enquanto os demais, utilizados para treinamento do classificador. Esse processo é repetido k vezes (10 vezes no presente experimento) alternando o subconjunto de teste. Ao final do processo, é calculada a média aritmética dos acertos em cada teste.

5 EXPERIMENTO E RESULTADOS

Este capítulo descreve os experimentos de leitura realizado em 2019 pelo LPI (Laboratório de Processamento de Imagens) da FEI (ROMERA et al., 2019) e os resultados das etapas de processamento descritos no Capítulo 4 (ROMERA et al., 2023), divididos em 7 seções.

5.1 EXPERIMENTO DE LEITURA

O experimento, realizado em 2019 (ROMERA et al., 2019), contou com 70 participantes voluntários, sendo eles 30 homens e 40 mulheres, com idades entre 8 e 52 anos, todos saudáveis e cognitivamente capazes. Para o presente trabalho, a amostra fora reduzida, mantendo-se apenas os sinais de adolescentes (voluntários cujas idades estão entre 12 e 17 anos, segundo o ECA) (FEDERAL, 1990), finalizando 52 participantes. Todos participantes responderam um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

A parte inicial do experimento constitui nas instruções para a realização do teste juntamente com a acomodação do participante em frente ao equipamento de rastreamento ocular. Posteriormente, o experimento se divide em 3 partes, cada uma contendo duas etapas. Em cada parte, é apresentado na tela do eye-tracker um texto contendo um dos efeitos gerados (Neutro, Blurry ou Washout) durante os tempos de exibição pré-definidos. Após o tempo de exibição se esgotar, o texto é removido da tela e uma pergunta referente ao texto recém apresentado é exibida.

As Figuras 16 e 17 apresentam as duas etapas da primeira parte do experimento; a exibição do texto sem efeito algum (Neutro) por 32 segundos seguido pela pergunta referente com tempo livre para a verbalização da resposta, para análise do padrão natural de leitura de cada participante.

Figura 16 – Texto utilizado para efeito Neutro.

Papai trabalhava numa ferraria e em nossa casa quase tudo era de ferro: colheres de amassar feijão, tesouras, panelas, moinho de café. Eu achava uma beleza casas que tinham sofá. O que meu pai aprontou? Fez um joguinho de quarto e sala para eu brincar, sofá, poltronas, mesa, cadeirinhas, tudo de ferro. Para a caminha, mamãe fez o colchão e travesseiro de palha. Papai pintou os brinquedos com tinta verde. Para Alberto, fez um jóquei montado, também de ferro, o cavalo e o cavaleiro pintados com tinta de outra cor. Quando já estávamos crescidos, o jóquei morava enfiado no bambu da cerca, tomava sol e chuva e não se estragava. Brinquedo de ferro é para toda a vida.

Fonte: Autor

Legenda: O texto acima, em forma de imagem, é disposto por 32 segundos para cada participante.

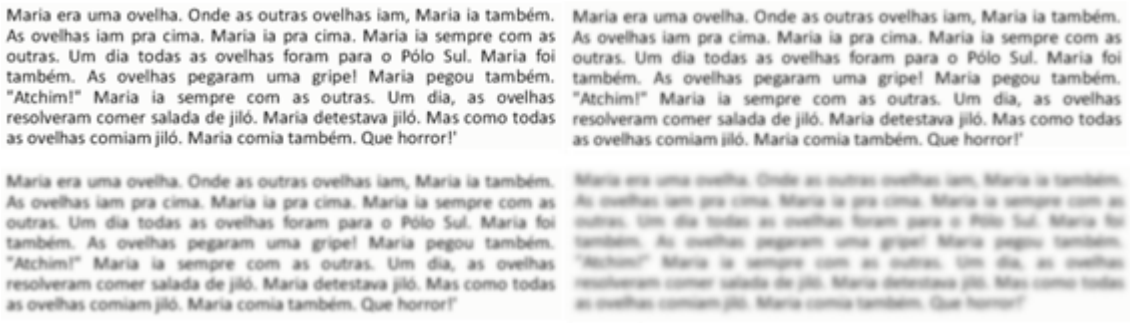
Figura 17 – Pergunta realizada ao final da primeira etapa do teste.

Qual a cor da tinta que foi utilizada para pintar os brinquedos?

Fonte: Autor
Legenda: A pergunta acima, em forma de imagem, é disposta com tempo livre para cada participante.

Na segunda parte do experimento, é exibido o texto com o efeito Blurry também por 32 segundos, seguido por sua pergunta referente com tempo livre para a verbalização resposta, conforme apresentado a seguir nas Figuras 18 e 19:

Figura 18 – Texto utilizado para efeito Blurry.



Fonte: Autor
Legenda: O texto acima, em forma de vídeo, é disposto por 32 segundos para cada participante.

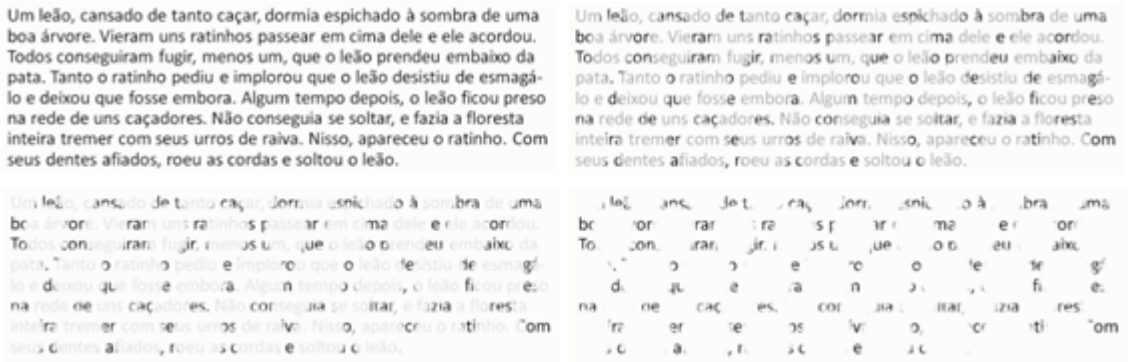
Figura 19 – Pergunta realizada ao final da segunda etapa do teste.

Qual comida a Maria detestava?

Fonte: Autor
Legenda: A pergunta acima, em forma de imagem, é disposta com tempo livre para cada participante.

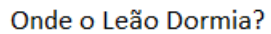
Na terceira parte do experimento, é exibido o texto com o efeito Washout por 36 segundos, seguido também de sua pergunta referente com tempo livre para a verbalização da resposta, conforme apresentado a seguir nas Figuras 20 e 21:

Figura 20 – Texto utilizado para efeito Washout.



Fonte: Autor
Legenda: O texto acima, em forma de vídeo, é disposto por 36 segundos para cada participante.

Figura 21 – Pergunta realizada ao final da terceira etapa do teste.



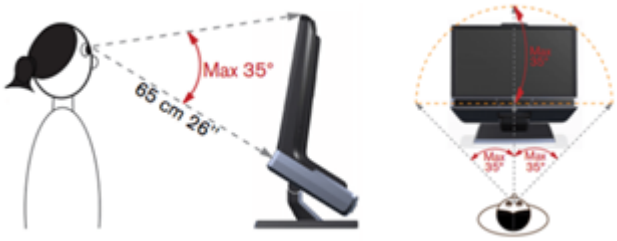
Fonte: Autor
Legenda: A pergunta acima, em forma de imagem, é disposta com tempo livre para cada participante.

5.2 AQUISIÇÃO DO SINAL

A aquisição do sinal deve ser realizada em ambiente fechado com iluminação artificialmente controlada dentro das especificações ideais entre 300 e 1000lux (BERGSTROM; SCHALL, 2014). Os equipamentos utilizados são o rastreador de olhar (eye-tracker) Tobii TX300 ja mencionado juntamente com um notebook com processador core i7 e 16 Gb de RAM e sistema operacional Windows 7, para que fosse utilizado o software Tobii Studio durante a aquisição.

Primeiramente, cada participante tem sua posição ajustada dentro do alcance de medição do rastreador ocular, para realização da calibração do equipamento, conforme apresentado na Figura 22 a seguir:

Figura 22 – Exemplo de calibração do equipamento de rastreamento ocular.



Fonte: (ORSI, 2018)
Legenda: Exemplo de posicionamento do participante do experimento.

Posteriormente, são apresentados os três textos distintos na tela do eye-tracker, conforme descrito anteriormente. As respostas das perguntas ao final de cada texto são realizadas em voz alta, para a anotação dos acertos e erros para cada voluntário. Os textos possuem tempos de exibição pré-definidos, enquanto as perguntas e respostas não. Ao responder a uma pergunta em voz alta, é solicitado ao participante que pressione qualquer tecla presente em um teclado disposto à sua frente, para a próxima parte do experimento ser exibida.

Ao final de cada experimento, são realizadas perguntas sobre o teste: se houve algum desconforto no ato de leitura (se positivo, em quais textos) e se o tempo de exibição dos textos é adequado.

5.3 RESULTADOS

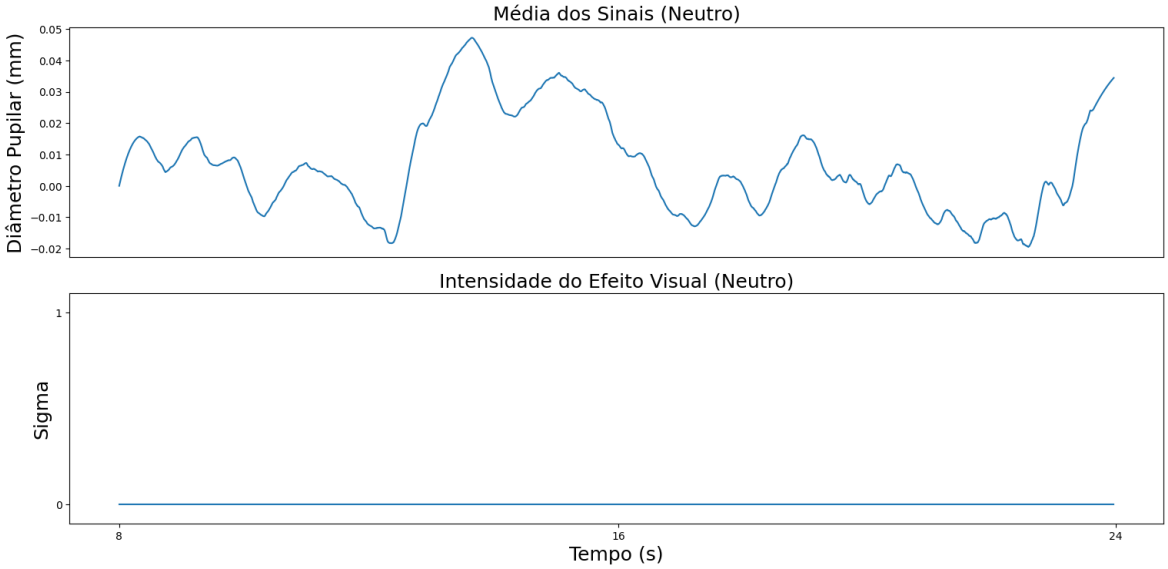
A partir da proposta de análise da relação entre os sinais pupilares e os efeitos visuais, são gerados gráficos comparativos entre ambos os sinais. Nesta seção, estão apresentados os gráficos para os sinais médios de cada efeito e para os sinais médios de cada grupo de acerto das respostas referentes aos textos (1 acerto, 2 acertos e 3 acertos). Para cada categoria, também foram gerados os Box Plots destes sinais, representando a média e variância de cada sinal.

Em sequência estão apresentados os gráficos que representam as análises no domínio da frequência, mostrando os harmônicos necessários para a reconstrução dos sinais de variações médias do diâmetro pupilar e dos sinais de intensidades dos efeitos visuais, além da dispersão e curvas de dispersão dos sinais pupilares e mapas de rastreamento ocular.

5.4 MÉDIAS DA VARIAÇÃO DO DIÂMETRO PUPILAR

Os resultados das médias descritos anteriormente estão apresentados a seguir, nas Figuras 23, 24 e 25. Os gráficos estão dispostos relacionando o sinal médio da variação do diâmetro pupilar (change) em milímetros com a intensidade do efeito visual, para cada efeito.

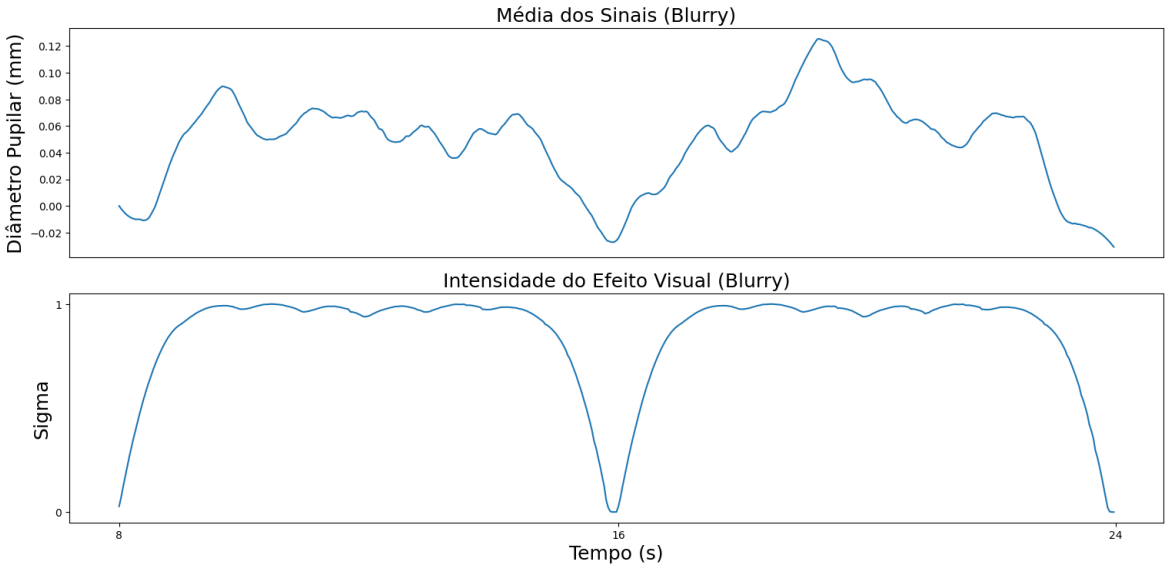
Figura 23 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Neutro) com a intensidade do efeito (Neutro).



Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

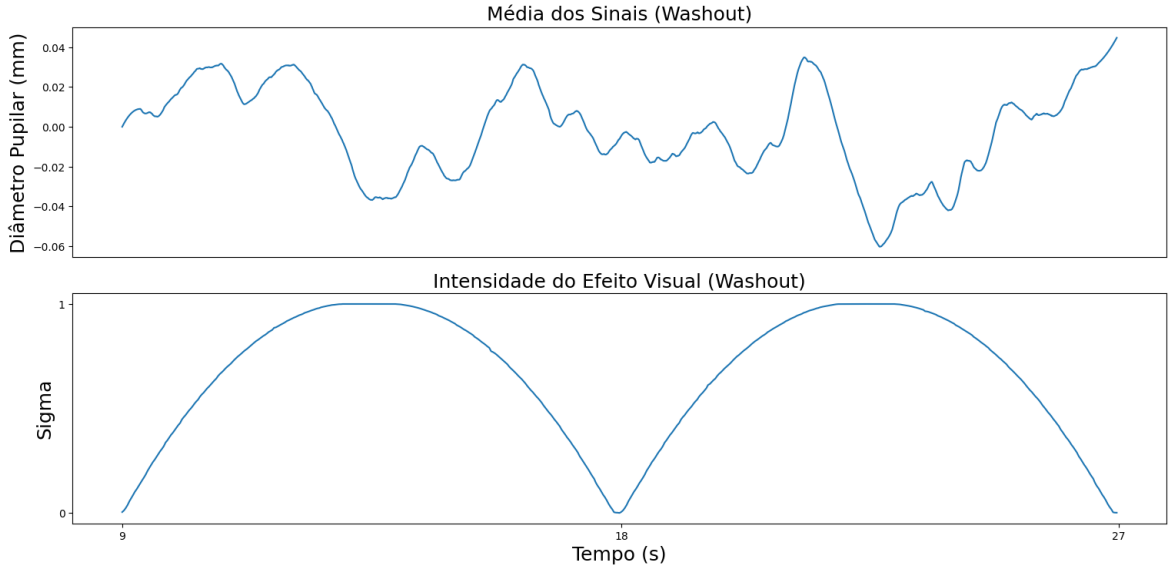
Figura 24 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) com a intensidade do efeito (Blurry).



Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

Figura 25 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) com a intensidade do efeito (Washout).

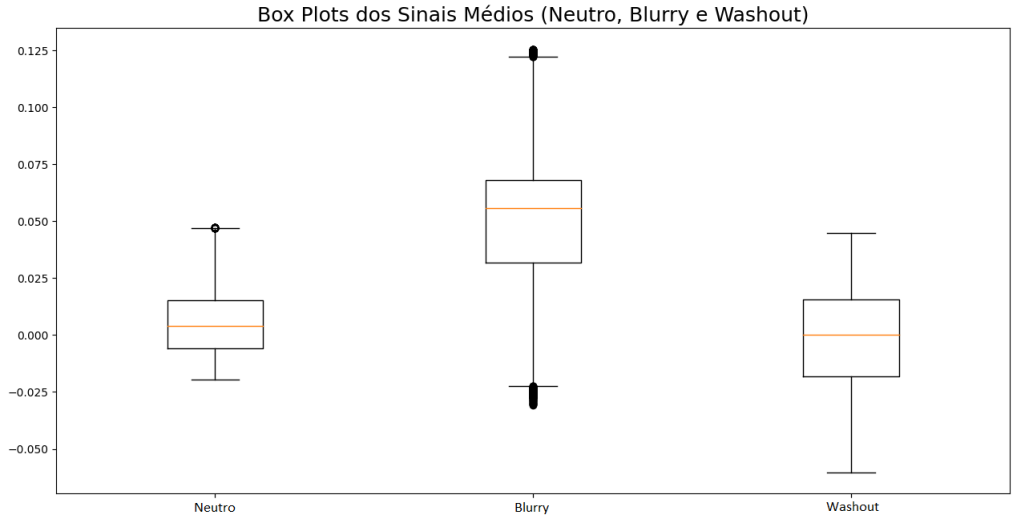


Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

O gráfico a seguir (Figura 26), apresenta a variância das médias apresentadas anteriormente, nas Figuras 23, 24 e 25:

Figura 26 – Representação da variância dos dados



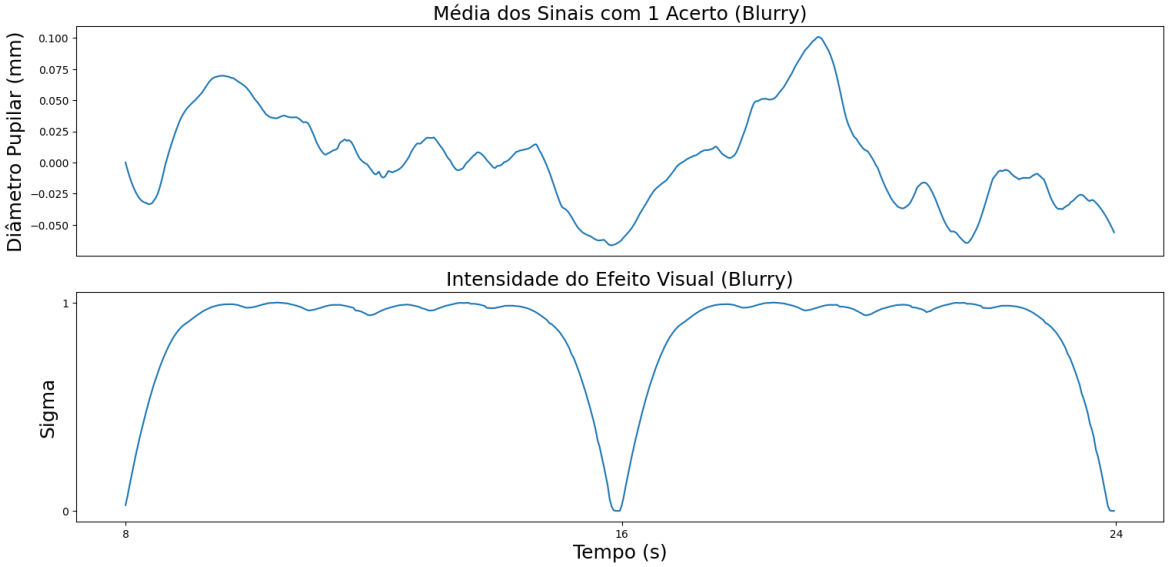
Fonte: Autor

Legenda: Disposição dos dados em forma de box plots.

5.5 MÉDIAS DOS GRUPOS DE ACERTOS

Esta seção mostra a relação entre os sinais médios pupilares de cada efeito com os sinais de intensidade do efeito para os grupos de voluntários que responderam corretamente uma, duas e três questões. As Figuras 27, 28 e 29 a seguir mostram as relações para o efeito "Blurry".

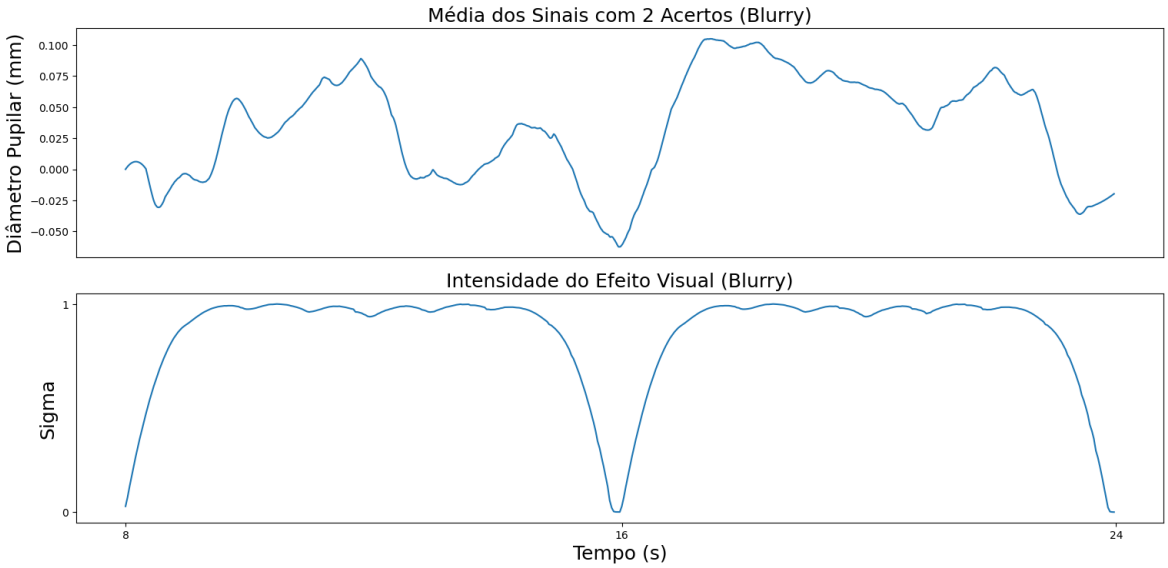
Figura 27 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com um acerto, com a intensidade do efeito (Blurry)



Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

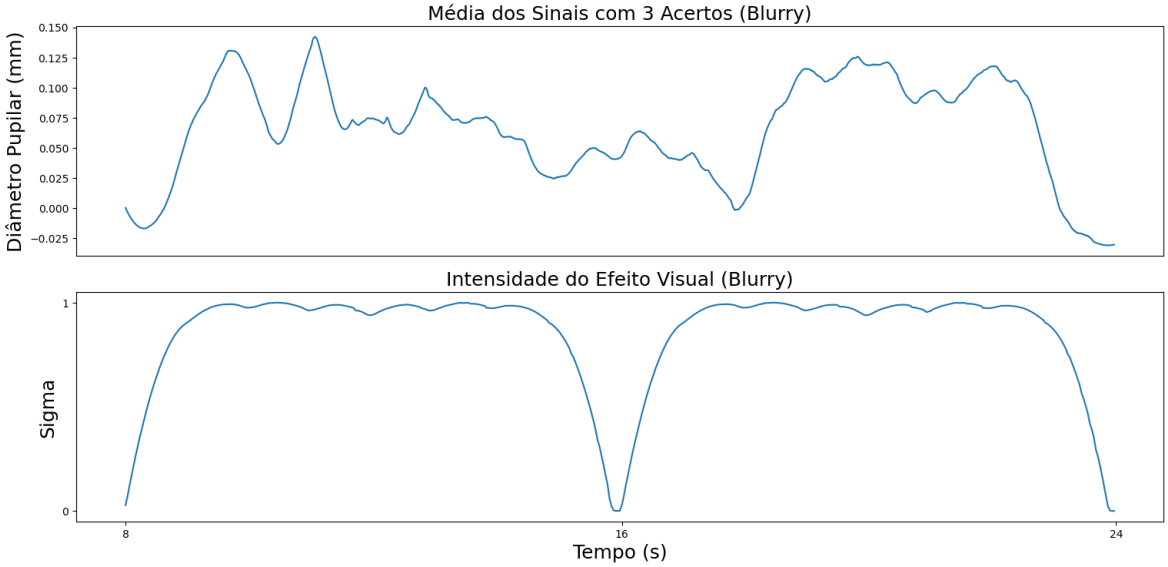
Figura 28 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com dois acertos, com a intensidade do efeito (Blurry)



Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

Figura 29 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com três acertos, com a intensidade do efeito (Blurry)

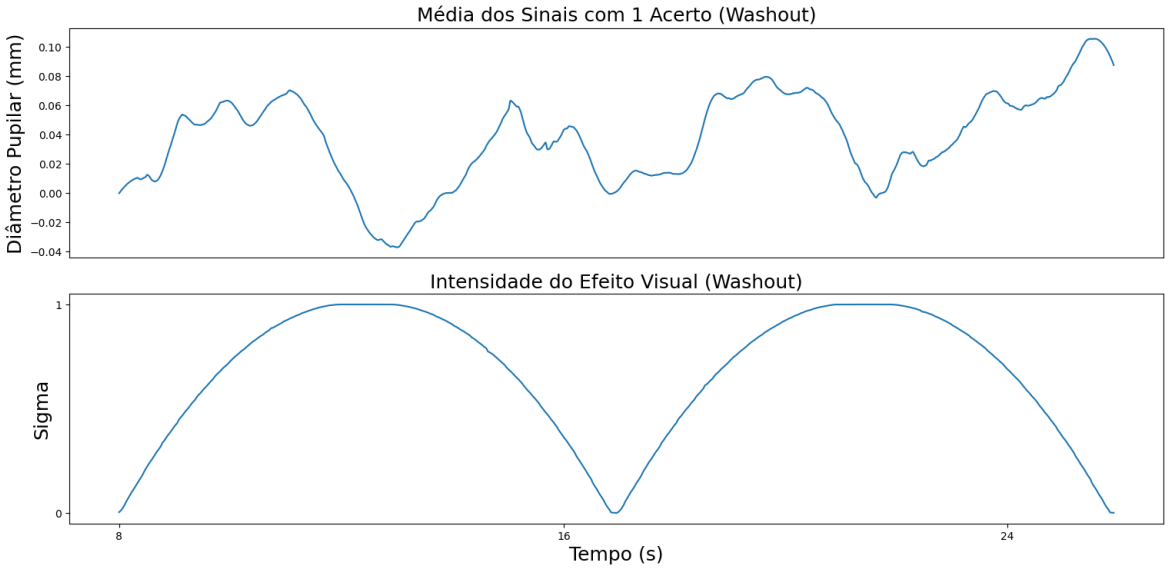


Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

Já as Figuras 30, 31 e 32 apresentadas na sequência, mostram as relações entre os sinais dos grupos de acertos com a intensidade do efeito visual, para o efeito "Washout".

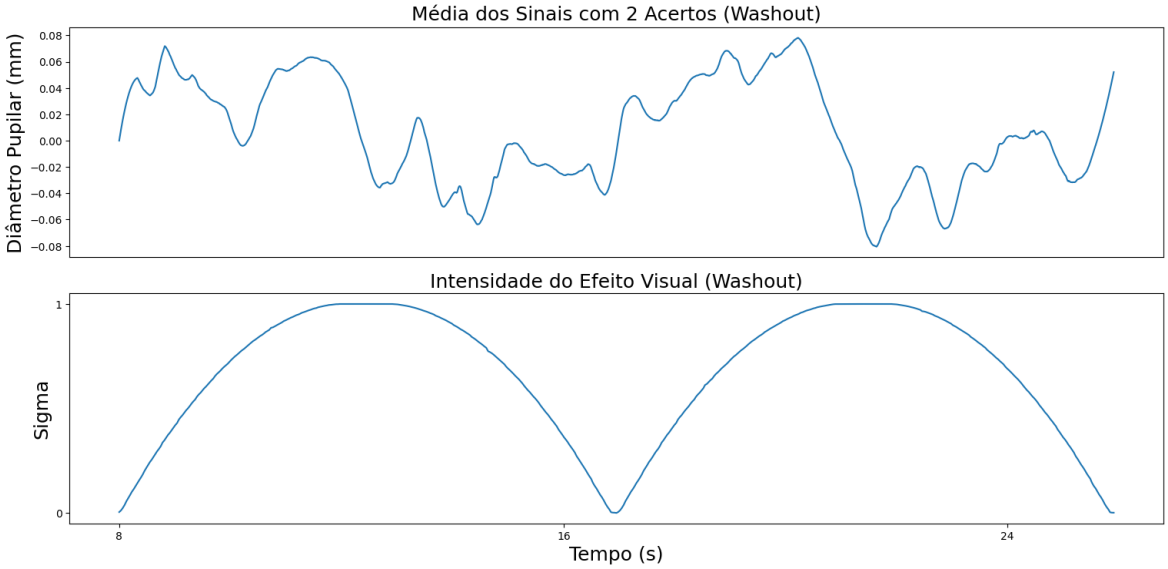
Figura 30 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com um acerto, com a intensidade do efeito (Washout)



Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

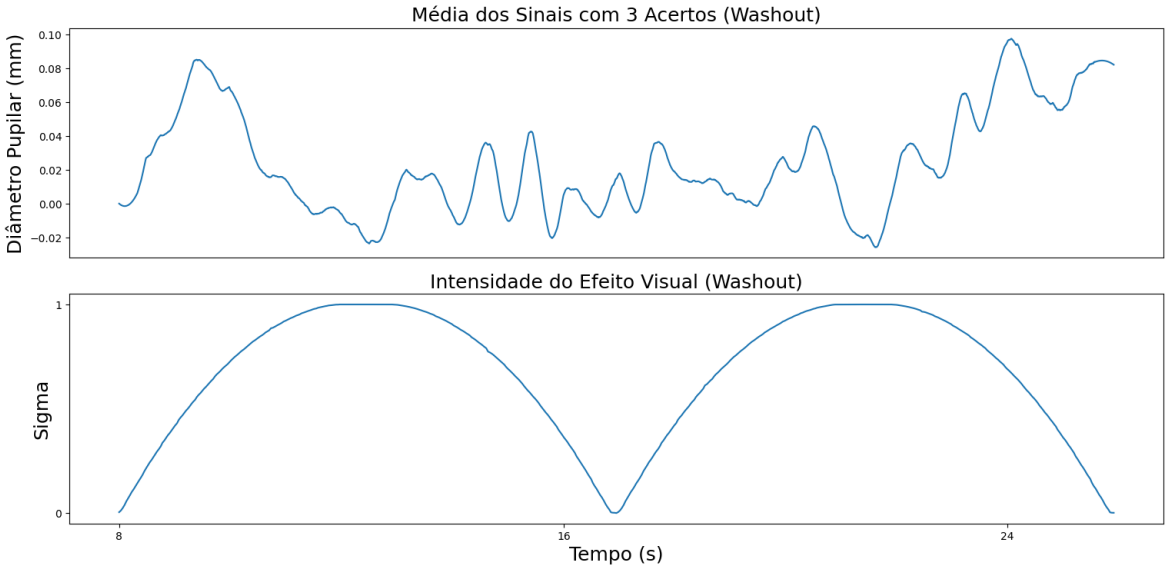
Figura 31 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com dois acertos, com a intensidade do efeito (Washout)



Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

Figura 32 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com três acertos, com a intensidade do efeito (Washout)

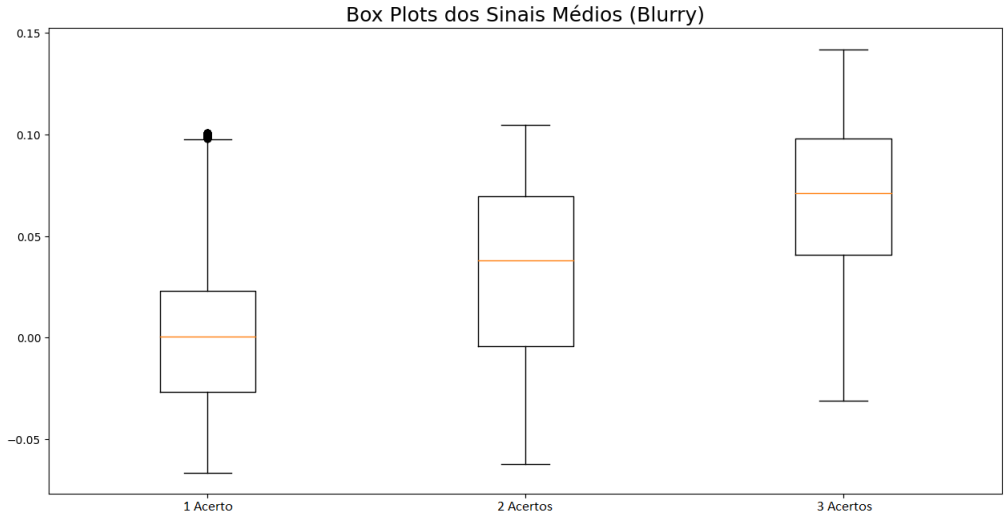


Fonte: Autor

Legenda: Disposição vertical comparativa entre os sinais.

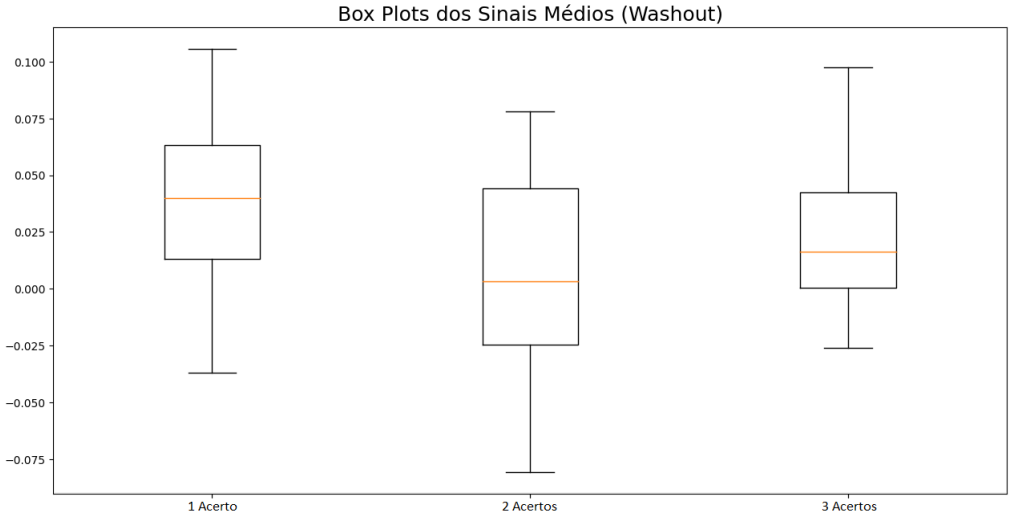
Os gráficos a seguir (Figuras 33 e 34), apresentam a variância das médias dos grupos de acertos, apresentados anteriormente nas Figuras 27 - 32:

Figura 33 – Comparação da variância do diâmetro pupilar médio dos sinais (Blurry) dos participantes com um, dois e três acertos



Fonte: Autor
Legenda: Disposição dos dados em forma de box plots.

Figura 34 – Comparação entre o diâmetro pupilar médio dos sinais (Washout) dos participantes com um, dois e três acertos

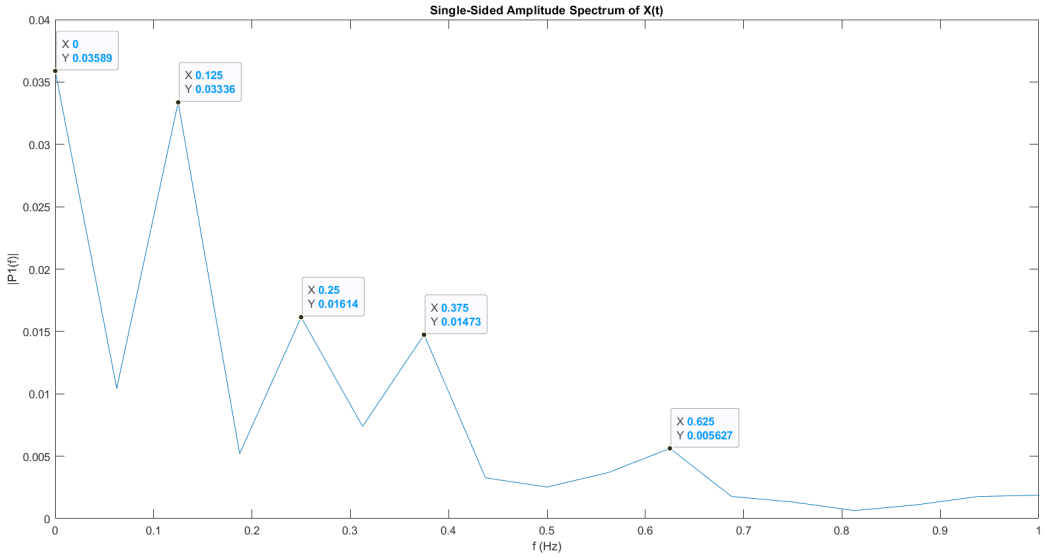


Fonte: Autor
Legenda: Disposição dos dados em forma de box plots.

5.6 MÉDIAS DA VARIAÇÃO PUPILAR NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

A seguir, nas Figuras 35 - 38, estão apresentados os resultados das análises em frequência dos sinais "Blurry"e "Washout"pois, conforme apresentado na seção 5.1 (Análise Visual dos Dados) o sinal "Neutro"não apresentou variações no sinal que representa a variação do efeito visual, impossibilitando a comparação.

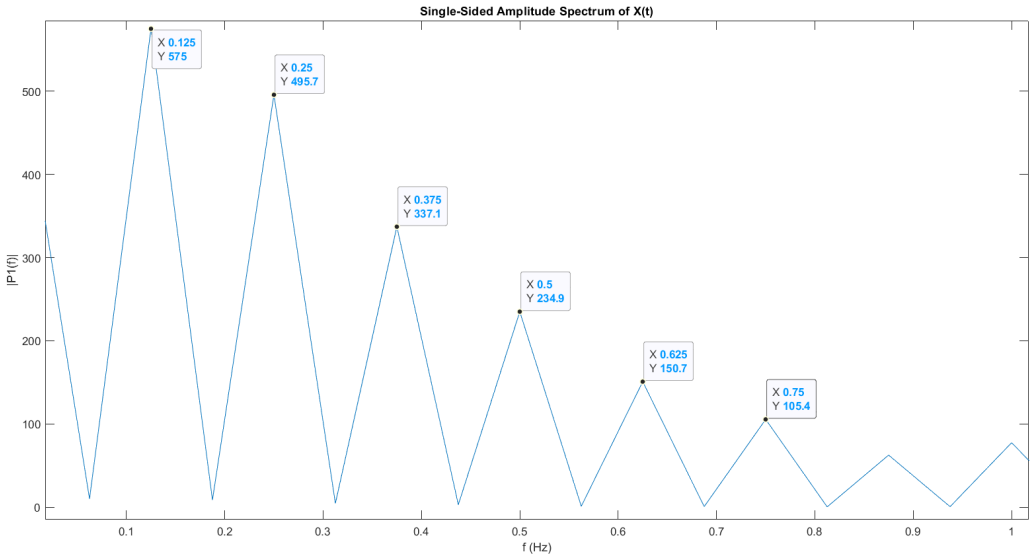
Figura 35 – Análise em frequência do sinal médio do efeito "Blurry".



Fonte: Autor

Legenda: Componentes harmônicas necessárias para a reconstrução do sinal "Blurry".

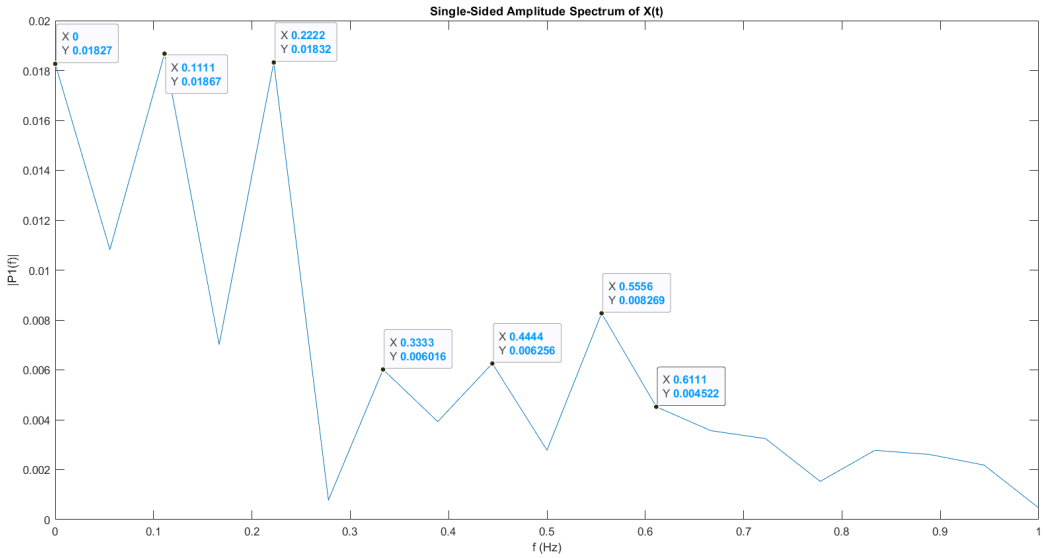
Figura 36 – Análise em frequência do sinal da intensidade do efeito "Blurry".



Fonte: Autor

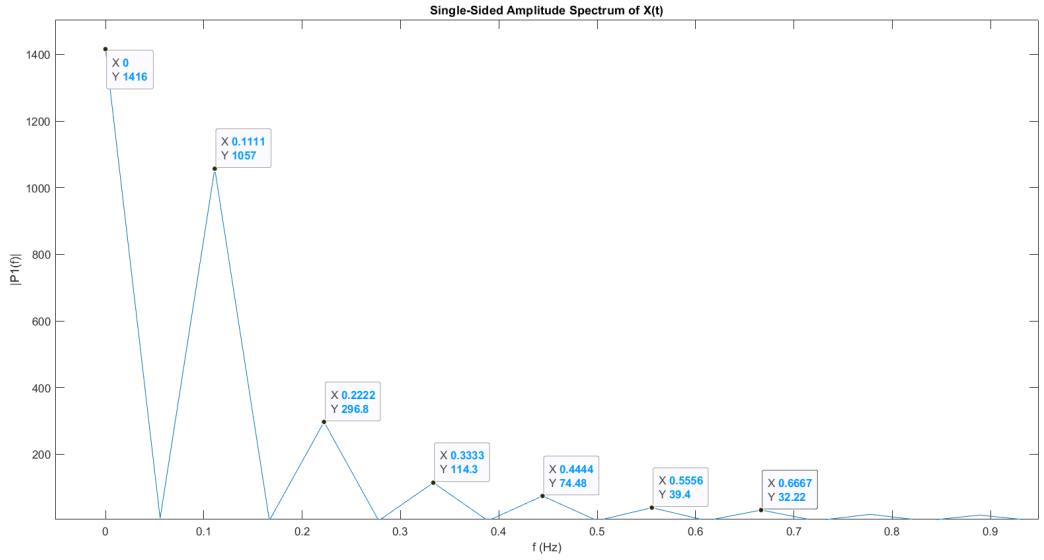
Legenda: Componentes harmônicas necessárias para a reconstrução do sinal da intensidade do efeito "Blurry".

Figura 37 – Análise em frequência do sinal médio do efeito "Washout".



Fonte: Autor
Legenda: Componentes harmônicas necessárias para a reconstrução do sinal "Washout".

Figura 38 – Análise em frequência do sinal da intensidade do efeito "Washout".

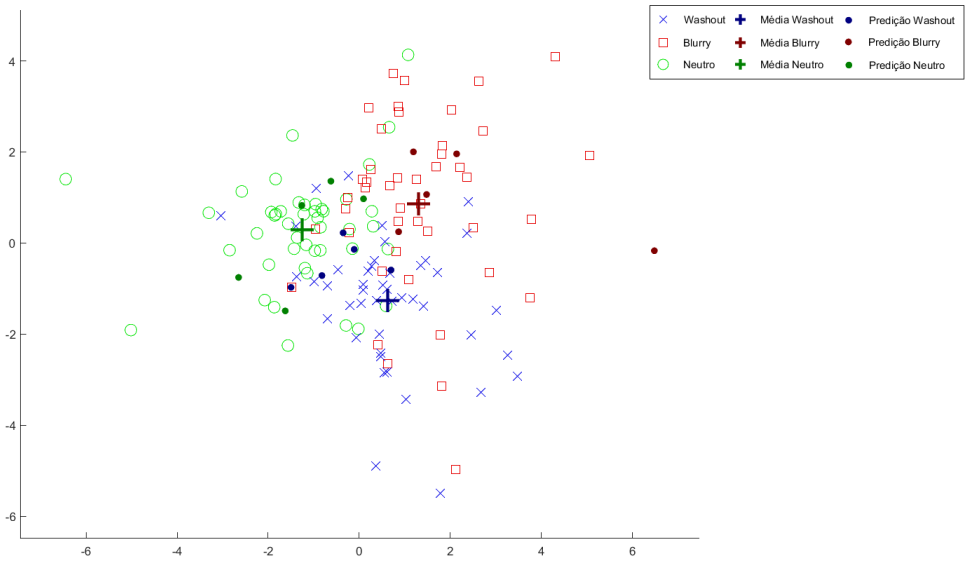


Fonte: Autor
Legenda: Componentes harmônicas necessárias para a reconstrução do sinal da intensidade do efeito "Washout".

5.7 RECONHECIMENTO DE PADRÕES

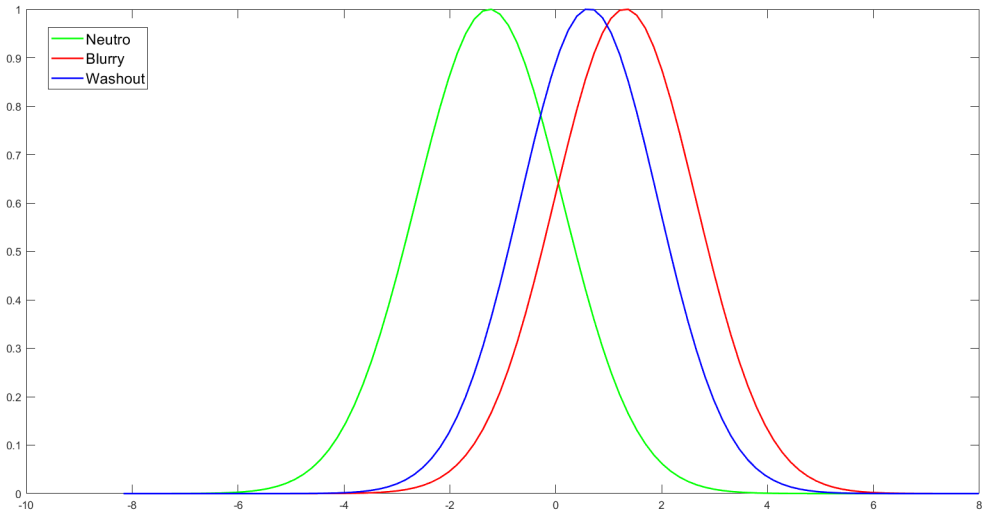
Os resultados obtidos da etapa de reconhecimento de padrões estatísticos dos sinais pupilares estão apresentados nas Figuras 39 e 40 a seguir:

Figura 39 – Dispersão das três classes (Neutro, Blurry e Washout).



Fonte: Autor
Legenda: Separação das classes "Neutro", "Blurry"e "Washout"nas duas primeiras componentes mais discriminantes. É possível notar os pontos de predição e suas respectivas classificações.

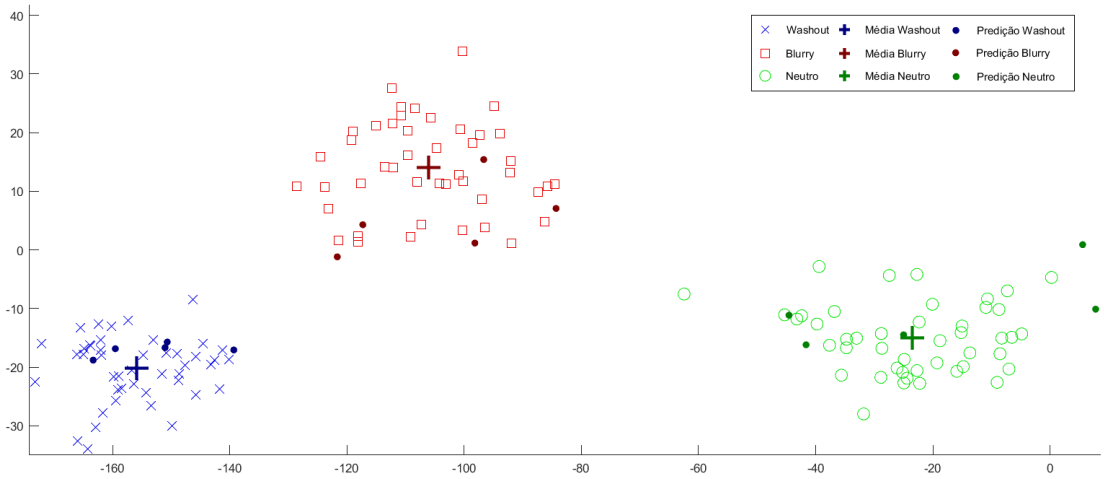
Figura 40 – Separação das três classes (Neutro, Blurry e Washout).



Fonte: Autor
Legenda: Disposição das curvas de dispersão das classes "Neutro", "Blurry"e "Washout"na primeira componente mais discriminante.

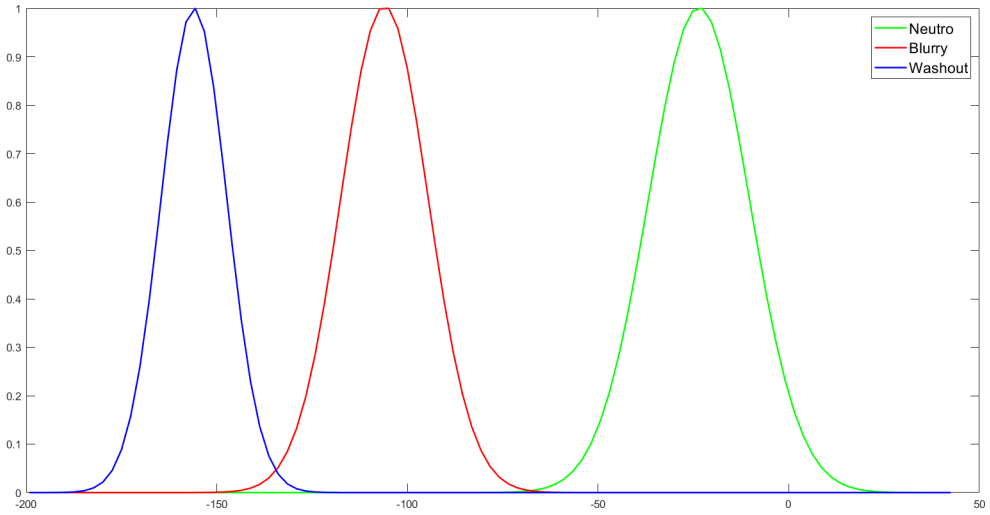
Os resultados obtidos da etapa de reconhecimento de padrões estatísticos dos mapas de rastreamento ocular estão apresentados nas Figuras 41 e 42. As matrizes de confusão dos resultados obtidos estão apresentadas nas Figuras 45 e 46.

Figura 41 – Dispersão das três classes (Neutro, Blurry e Washout).



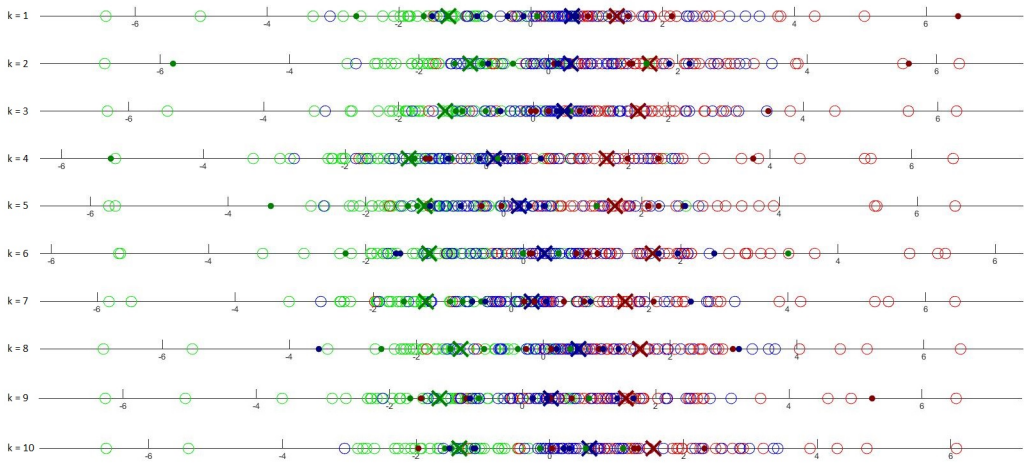
Fonte: Autor
Legenda: Separação das classes "Neutro", "Blurry"e "Washout"nas duas primeiras componentes mais discriminantes. É possível notar os pontos de predição e suas respectivas classificações.

Figura 42 – Separação das três classes (Neutro, Blurry e Washout).



Fonte: Autor
Legenda: Disposição das curvas de dispersão das classes "Neutro", "Blurry"e "Washout"na primeira componente mais discriminante.

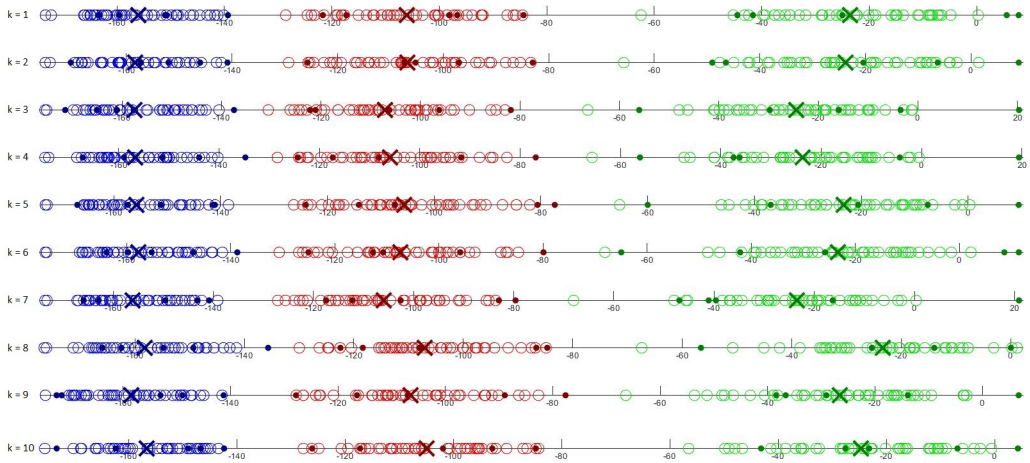
Figura 43 – Teste de validação cruzada para os sinais pupilares



Fonte: Autor

Legenda: Pode-se notar a dispersão dos 10 testes de validação cruzada.

Figura 44 – Teste de validação cruzada para os mapas de rastreamento ocular



Fonte: Autor

Legenda: Pode-se notar a dispersão dos 10 testes de validação cruzada.

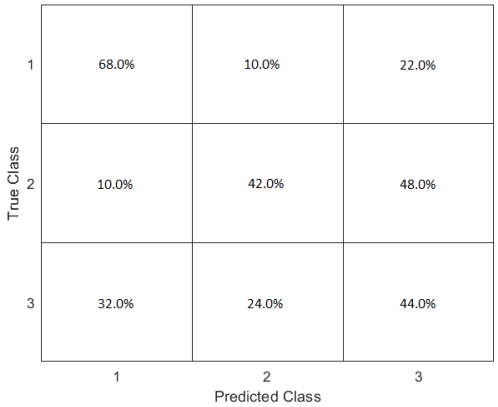
Tabela 1 – Acurácia do teste de validação cruzada (Sinais Pupilares)

K	NEUTRO	BLURRY	WASHOUT	$\bar{X}$
k1	80%	80%	40%	66.67%
k2	80%	60%	40%	60%
k3	80%	20%	80%	60%
k4	40%	60%	80%	60%
k5	80%	60%	40%	60%
k6	40%	0%	0%	13.33%
k7	80%	40%	40%	53.33%
k8	80%	20%	40%	46.66%
k9	80%	20%	40%	46.66%
k10	40%	60%	40%	46.66%
		Acurácia Total		**51.32%**

Tabela 2 – Acurácia do teste de validação cruzada

K	NEUTRO	BLURRY	WASHOUT	$\bar{X}$
k1	100%	100%	100%	100%
k2	100%	100%	100%	100%
k3	100%	100%	100%	100%
k4	100%	100%	100%	100%
k5	100%	100%	100%	100%
k6	100%	100%	100%	100%
k7	100%	100%	100%	100%
k8	100%	100%	100%	100%
k9	100%	100%	100%	100%
k10	100%	100%	100%	100%
		Acurácia Total		**100%**

Figura 45 – Matriz de confusão das três classes (Neutro, Blurry e Washout), para os sinais pupilares.



Fonte: Autor

Legenda: É possivel notar uma menor precisão na classificação.

Figura 46 – Matriz de confusão das três classes (Neutro, Blurry e Washout), para os mapas de rastreamento ocular.

Fonte: Autor

Legenda: É possivel notar uma maior precisão na classificação.

6 DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo analisar os resultados de cada seção mostrados no capítulo anterior. Este capítulo também se divide em três seções, sendo elas: 6.1) Análise Visual dos Dados; 6.2) Análise dos Sinais no Domínio da Frequência e; 6.3) Análise do Reconhecimento de Padrões.

6.1 ANÁLISE VISUAL DOS DADOS

Esta seção realiza a análise visual dos gráficos mostrados nas seções 5.4 (Médias da Variação do Diâmetro Pupilar) e 5.5 (Médias dos Grupos de Acertos) do capítulo 5 (Experimentos e Resultados), buscando identificar as relações entre os sinais apresentados.

6.1.1 Análise das Médias da Variação do Diâmetro Pupilar

Conforme o resultado apresentado na Figura 23, é possível observar que a variação média do diâmetro pupilar (Change) do efeito "Neutro"não varia de forma significativa e não apresenta ciclos, enquanto para as duas partes subsequentes do experimento, varia gradualmente conforme a intensidade que os efeitos se intensificam. A Figura 26 mostra que a média dos sinais pupilares adquiridos durante a leitura do texto com efeito "Neutro"apresenta o valor médio de +0.006633 possibilitando identificar o sinal como o que possui o segundo maior valor médio dentre os demais.

No caso do efeito "Blurry", apresentado na Figura 24, é possível observar que, quando o efeito se intensifica, a pupila tende a se dilatar, indicando o aumento no esforço mental dos voluntários para seguir com a tarefa. Da mesma forma, quando a intensidade do efeito diminui, ocorre a constrição da pupila, indicando a redução do esforço mental para continuar a leitura do texto. Além disso, a Figura 26 mostra que a média dos sinais pupilares adquiridos durante a leitura do texto com efeito "Blurry"apresenta o valor médio de +0.048412, possibilitando identificar o mesmo como o que possui o maior valor médio dentre os demais sinais.

Já o caso do efeito "Washout", apresentado na Figura 25, é possível observar o efeito de constrição pupilar quando o efeito atinge o valor máximo, indicado um baixo esforço cognitivo. Durante os períodos que a intensidade do efeito diminui, a pupila voltou a se dilatar, indicando o aumento do esforço cognitivo durante a leitura do texto. É possivel observar pela Figura 26 que a média dos sinais pupilares adquiridos durante a leitura do texto com efeito

"Washout"apresenta o valor médio de -0.00196, identificando o sinal como o que possui menor valor médio dentre os demais.

Conforme os resultados de Carver (CARVER, 1971), o resultado do sinal médio da primeira parte do experimento não demonstra grandes variações, conduzindo a investigação dos demais sinais pupilares que apresentaram variações significativas. O resultado da segunda parte do experimento pode ser descrita pelos experimentos de Hess, Kahneman e Beatty, que evidencia o aumento do esforço cognitivo conforme a dificuldade do tarefa se intensifica (HESS; POLT, 1964) (KAHNEMAN; BEATTY, 1966) (KAHNEMAN; BEATTY; POLLACK, 1967) (SCHLUROFF, 1982). O resultado da terceira parte do experimento pode ser relacionado com os resultados obtidos por Kahneman, Beatty e Pollack em 1967, durante a fase que eram apresentadas sequências de sete dígitos para os participantes. Quando a tarefa de leitura se intensifica até se tornar impossível, os participantes desistem da tarefa (KAHNEMAN; BEATTY; POLLACK, 1967).

Além das análises gráficas, é possível observar que o efeito "Blurry"apresenta o maior valor médio, indicando que a leitura do texto com tal efeito se mostra como a mais difícil dentre as leituras dos demais textos. Já para o efeito "Washout", é possível observar que o mesmo possui menor valor médio, porém muito próximo da média do efeito "Neutro", possibilitando levantar a hipótese que a dilatação da pupila que reflete o aumento do esforço cognitivo se dá pela variação da qualidade da informação visual, não pela redução da quantidade de informações visuais. Portanto, seguindo esta mesma hipótese, as variações negativas do sinal "Washout"se dão apenas pela impossibilidade de continuar a leitura do texto enquando as variações positivas subsequentes, se dão pela pupila retornar ao diâmetro natural que apresenta durante a leitura de um texto sem qualquer efeito.

6.1.2 Análise das Médias dos Grupos de Acertos

Conforme apresentado nas Figuras 27, 28 e 29, para o texto contendo o efeito "Blurry", pode-se notar que, para os participantes que acertaram apenas uma questão, o sinal da variação média do diâmetro pupilar mostra variações mais significativas durante a variação da intensidade do efeito visual, em comparação com os participantes que acertaram duas e três questões. Além disso é possível observar na Figura 33 que para o efeito "Blurry", a média das variações dos sinais pupilares é maior para aqueles que acertaram três questões e menor para aqueles que

acertaram apenas uma questão, indicando que o aumento da média em relação a quantidade de acertos pode se dar pela maior atenção dos participantes que acertaram mais questões.

Para o efeito "Washout", conforme apresentado nas Figuras 30, 31 e 32 é possível notar que os períodos em que o diâmetro pupilar se constringe, o efeito Washout atinge seu valor máximo, indicando a interrupção dos processos cognitivos por conta da impossibilidade de leitura do texto independendo do grupo de acertos. Os voluntários que apresentaram 3 acertos, apresentaram variações menos significativas que os voluntários que apresentaram 2 acertos e 1 acerto.

6.2 ANÁLISE DOS SINAIS NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

Por meio da análise dos sinais no domínio da frequência, apresentados nas Figuras 35 e 37 e dos sinais de intensidade do efeito visual, apresentados nas Figuras 36 e 38, para o efeito "Blurry"e "Washout"os sinais de variação do diâmetro pupilar apresentam o harmônico fundamental em $f = 0.125Hz$ e $f = 0.111Hz$ respectivamente, possibilitando a definição exata do período de oscilação do ciclo, assim como no sinal da intensidade do efeito visual, sendo eles 8 segundos e 9 segundos, por meio da relação $T = 1/f$, sendo T o período do sinal. Além disso, é possível observar que as componentes necessárias para construir o sinal se assemelham também em seus harmônicos subsequentes, variando apenas em amplitude. Este resultado mostra a relação entre o sinal de variação média do diâmetro pupilar e da intensidade do efeito visual.

6.3 ANÁLISE DO RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Esta seção realiza a análise dos resultados obtidos na etapa de reconhecimento de padrões para os sinais pupilares e para os mapas de rastreamento ocular.

6.3.1 Padrões nos Sinais de Variação do Diâmetro Pupilar

A partir das Figuras 39, 40 e 43, é possível observar que a classe "Neutro", é a que mais se destaca, enquanto as classes "Blurry"e "Washout"estão praticamente sobrepostas. Esse resultado indica que os sinais com efeito e os sinais sem efeito apresentam características dis-

criminantes que possibilita a separação em duas classes, sendo uma delas contida dos sinais sem efeitos cíclicos e outra contida de sinais com efeitos cíclicos.

Porém, a classificação destes sinais não obteve acurácia suficiente para classificar os pontos com precisão, mostrando uma acurácia global de 51,32%.

6.3.2 Padrões nos Mapas de Rastreamento Ocular

Analisando as Figuras 41, 42 e 44, é possível observar que, para os mapas de rastreamento ocular, a classificação se mostrou muito mais eficiente, pois apresentam características discriminantes que os diferem dos demais sinais, possibilitando uma boa separabilidade linear das classes. A acurácia global desta classificação se mostrou em 100%, indicando uma alta precisão na projeção de dados de validação.

7 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho indicam que a metodologia criada é relevante para a classificação dos mapas de rastreamento ocular de maneira eficiente, além de mostrar que existe a relação da variação do diâmetro pupilar com os efeitos visuais simulados artificialmente. Sabe-se, por meio da literatura, que a perda da qualidade da informação visual reflete no aumento do esforço cognitivo, mas mostrou-se aqui que a perda da quantidade de informações da imagem visualizada reflete na diminuição do esforço cognitivo, por atingir um limiar que não existem informações suficientes para executar a tarefa de leitura.

Em outras palavras, o trabalho mostra experimentalmente que a dilatação e constrição pupilar mostrada (pela perda de qualidade e perda de informações visuais), se dão pela atenção visual, exigindo, no primeiro caso, maior atenção por conta do aumento da dificuldade da tarefa de leitura, enquando no segundo caso, a perda de informações reflete na redução da atenção, pois a tarefa tem de ser pausada até as informações voltarem a aparecer.

Além disso, é possível verificar que, quaisquer que sejam os efeitos, o sinal pupilar apresenta variações quando sujeito a um efeito visual, levantando a questão de que os indivíduos que se queixam de distorções visuais podem apresentar sinais pupilares com variações significativas, por mais que tais variações não apresentem padrão cíclico.

Apesar dos resultados de classificação apresentarem acurácias distintas, o que pode ser levantado é que os dados dos mapas de rastreamento ocular possuem mais informações discriminantes que os dados dos sinais pupilares, possibilitando a classificação com melhor precisão. Para aumentar a acurácia da classificação do sinal pupilar, devem ser realizado novos experimentos com maior tempo de leitura, com finalidade de obter um maior volume de dados.

A etapa de análise das respostas referentes a cada texto, não se mostrou conlusiva, indicando a necessidade de realizar mais perguntas referentes aos textos em experimentos futuros. Além disso, é relevante considerar novas tecnologias de rastreamento ocular e novas técnicas de reconhecimento de padrões, pois este trabalho é o primeiro que relaciona a variação do diâmetro pupilar com os efeitos da SMI.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados deste trabalho, existem as seguintes possibilidades para trabalhos futuros: 1) Análise dos padrões de rastreamento ocular dos indivíduos que possuem o diagnóstico para a SMI; 2) Análise dos padrões dos sinais pupilares dos indivíduos diagnosticados com

a SMI; 3) Estudos sobre a relação entre o esforço cognitivo com a qualidade e quantidade de informações visuais, podendo também ser aplicados em outras áreas de pesquisa, como interações homem-máquina, marketing, entre outros; e 4) Estudos sobre o esforço cognitivo demandado durante a tarefa de leitura, em textos com características diferentes.

REFERÊNCIAS

ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J. Principal component analysis. **Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics**, Wiley Online Library, v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010.

AHERN, Sylvia; BEATTY, Jackson. Pupillary responses during information processing vary with Scholastic Aptitude Test scores. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 205, n. 4412, p. 1289–1292, 1979.

ARAÚJO VILHENA, Douglas de. COMORBIDADES: Síndrome de Irlen.

ARROYAVE GUZMAN, Ana Isabel. **O texto treme? Investigação sobre as possíveis causas do estresse visual ou síndrome de Irlen**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

_____._____. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.

ASH, Russell; HIGTON, Bernard. **Fábulas de Esopo**. [S.l.]: Juventud, 2004.

BENGIO, Yoshua; GRANDVALET, Yves. No unbiased estimator of the variance of k-fold cross-validation. **Advances in Neural Information Processing Systems**, v. 16, 2003.

BERGSTROM, Jennifer Romano; SCHALL, Andrew. **Eye tracking in user experience design**. [S.l.]: Elsevier, 2014.

BERNAL, Marcelo. Dislexia, déficit de atención/hiperactividad o Síndrome Irlen. **Maskana**, v. 6, n. 2, p. 109–119, 2015.

BICALHO, Luíza Figueiras et al. Síndrome de irlen: Um olhar atendo sobre o funcionamento cerebral durante a leitur. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 6, n. 1, p. 35–44, 2015.

BOWMAKER, James K; DARTNALL, HJk. Visual pigments of rods and cones in a human retina. **The Journal of physiology**, Wiley Online Library, v. 298, n. 1, p. 501–511, 1980.

BROWN, Paul K; WALD, George. Visual pigments in single rods and cones of the human retina. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 144, n. 3614, p. 45–52, 1964.

CARVER, Ronald P. Pupil dilation and its relationship to information processing during reading and listening. **Journal of Applied Psychology**, American Psychological Association, v. 55, n. 2, p. 126, 1971.

COOLEY, James W; TUKEY, John W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. **Mathematics of computation**, JSTOR, v. 19, n. 90, p. 297–301, 1965.

DUARTE, Pedro Dias; FIGUEIREDO, Bárbara Queiroz de; OLIVEIRA, Rúbia Carla. Síndrome de Meares-Irlen em adolescente: relato de caso. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 6, p. 24220–24227, 2021.

DUCHOWSKI, Andrew T. **Eye tracking methodology**: theory and practice. [S.l.]: Springer, 2017.

EVANS, Bruce JW. The need for optometric investigation in suspected Meares–Irlen syndrome or visual stress. **Ophthalmic and Physiological Optics**, Wiley Online Library, v. 25, n. 4, p. 363–370, 2005.

EVANS, Bruce JW; ALLEN, Peter M; WILKINS, Arnold J. A Delphi study to develop practical diagnostic guidelines for visual stress (pattern-related visual stress). **Journal of optometry**, Elsevier, v. 10, n. 3, p. 161–168, 2017.

FARIA, Laura Nequini de. Frequência da Sindrome de Meares-Irlen entre alunos com dificuldades de leitura observadas no contexto escolar. UFMG, 2011.

FEDERAL, Governo. Estatuto da Criança e do Adolescente. **Lei federal**, v. 8, 1990.

FISHER, Ronald A. The use of multiple measurements in taxonomic problems. **Annals of human genetics**, Wiley Online Library, v. 7, n. 2, p. 179–188, 1936.

FOURIER, Jean Baptiste Joseph; DARBOUX, Gaston et al. **Théorie analytique de la chaleur**. [S.l.]: Didot Paris, 1822. v. 504.

FUKUNAGA, Keinosuke. **Introduction to statistical pattern recognition**. 2. ed. [S.l.]: Academic press, 2013.

FULTON, Anne B; HANSEN, Ronald M. The relation of rhodopsin and scotopic sensitivity in choroideremia. **American journal of ophthalmology**, Elsevier, v. 104, n. 5, p. 524–532, 1987.

GUIMARAES, Marcia Reis; GUIMARAES, Ricardo. Por que ler pode ser tão difícil Síndrome de Irlen & Distúrbios do Processamento Visual pela Via Magnocelular.

GUIMARÃES, Márcia Reis et al. Efeito das lâminas espectrais (overlays) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura: revisão integrativa de 1980 a 2008. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e251101220366–e251101220366, 2021.

GUMARÂES, Marina Eurides Alves. Uma análise do grau de eficiência de leitura e dos efeitos da intervenção espectral em portadores da Síndrome de Meares-Irlen: análise por rastreador da movimentação ocular. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

HESS, Eckhard H. Attitude and pupil size. **Scientific american**, Scientific American, Inc., 1965.

HESS, Eckhard H; POLT, James M. Pupil size as related to interest value of visual stimuli. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 132, n. 3423, p. 349–350, 1960.

_____. Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 143, n. 3611, p. 1190–1192, 1964.

IRLEN, Helen. Successful treatment of learning disabilities. In: 91ST annual Convention of the American Psychological Association, Anaheim, CA, USA. [S.l.: s.n.], 1983.

IRLEN, Helen; LASS, Mary Jo. Improving reading problems due to symptoms of scotopic sensitivity syndrome using Irlen lenses and overlays. **Education**, v. 109, n. 4, 1989.

IRLEN, Helen L. **Method and apparatus of treatment of symptoms of the Irlen syndrom**. [S.l.]: Google Patents, out. 1990. US Patent 4,961,640.

IRLENCLINIC. **For reading and perceptual disorders and dyslexia diagnosis**. [S.l.: s.n.], 2017. Accessado em 30-04-2019. Disponível em: <http://irlenclinic.com.au/irlensymptoms/distortions/>.

KAHNEMAN, Daniel; BEATTY, Jackson. Pupil diameter and load on memory. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 154, n. 3756, p. 1583–1585, 1966.

KAHNEMAN, Daniel; BEATTY, Jackson; POLLACK, Irwin. Perceptual deficit during a mental task. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 157, n. 3785, p. 218–219, 1967.

KAHNEMAN, Daniel et al. Pupillary, heart rate, and skin resistance changes during a mental task. **Journal of experimental psychology**, American Psychological Association, v. 79, 1p1, p. 164, 1969.

MAIA, Núbia Cristina de Freitas. Fundamentos básicos da oftalmologia e suas aplicações, 2019.

MARIEB, Elaine Nicpon; KELLER, SM. **Essentials of Human Anatomy and Physiology: Books a la Carte Edition**. [S.l.]: Benjamin-Cummings, 2011.

MARKS, WB; DOBELLE, WH; MACNICHOL, EF. Visual pigments of single primate cones. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 143, n. 3611, p. 1181–1182, 1964.

MARSHALL, Sandra P. **Method and apparatus for eye tracking and monitoring pupil dilation to evaluate cognitive activity**. [S.l.]: Google Patents, jul. 2000. US Patent 6,090,051.

MARTINS, Mauro Lucio et al. ESTUDO DA APLICAÇÃO DA FFT (FAST FOURIER TRANSFORM) EM ANÁLISE DA CONDIÇÃO DE MÁQUINAS ROTATIVAS.

MEARES, Olive. Figure/ground, brightness contrast, and reading disabilities. **Visible language**, Visible Language, etc., v. 14, n. 1, p. 13–29, 1980.

MOLÉSTIAS OCULARES (IMO), Instituto de. **Anatomia do olho humano**. [S.l.: s.n.], 2021. Accessado em 14-11-2022. Disponível em: <https://imo.com.br/anatomia-do-olho-humano/>.

NISHIDA, Erica Noronha. Propriedades da Filtragem de Savitzky-Golay Aplicadas na Identificação de Complexos QRS em Sinais de Eletrocardiograma., 2017.

OLSEN, Anneli. **The tobii i-vt fixation filter**. [S.l.], 2012.

ORSI, Rafael Nobre. Análise da capacidade cognitiva humana por meio do processamento de sinais pupilares em testes visuais, 2018.

ORTHOF, Sylvia. **Maria vai com as outras**. [S.l.]: Ática, 1983.

PECH-PACHECO, José Luis et al. Diatom autofocusing in brightfield microscopy: a comparative study. In: IEEE. PROCEEDINGS 15th International Conference on Pattern Recognition. ICPR-2000. [S.l.: s.n.], 2000. v. 3, p. 314–317.

PRADO, Adélia. **Quando eu era pequena**. [S.l.]: Editora Record, 2006.

ROBINSON, Gregory L; MILES, James. The use of coloured overlays to improve visual processing-A preliminary survey. **The Exceptional Child**, Taylor & Francis, v. 34, n. 1, p. 65–70, 1987.

ROBINSON, Gregory LW; CONWAY, Robert NF. The effects of Irlen colored lenses on students' specific reading skills and their perception of ability: A 12-month validity study. **Journal of Learning Disabilities**, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 23, n. 10, p. 589–596, 1990.

ROMERA, Joao Vitor Macedo et al. Patterns in Pupillary Diameter Variation While Reading Portuguese Language Texts. In: 12TH International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, ISBN 978-989-758-626-2, ISSN 2184-4313, [s.l.: s.n.], 2023. P. 509–516.

ROMERA, Joao Vitor Macedo et al. Visual patterns in reading tasks: an eye-tracking analysis of meares-irlen syndrome simulation effects. In: SBC. ANAIS do XV Workshop de Visão Computacional. [S.l.: s.n.], 2019. P. 131–136.

RUSSELL, Phillip W; WHEELER, Thomas G. Scotopic sensitivity to ON and OFF stimulus transients. **Vision research**, Elsevier, v. 23, n. 5, p. 525–528, 1983.

SAVITZKY, Abraham; GOLAY, Marcel JE. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical chemistry**, ACS Publications, v. 36, n. 8, p. 1627–1639, 1964.

SCHLUROFF, Michael. Pupil responses to grammatical complexity of sentences. **Brain and language**, Elsevier, v. 17, n. 1, p. 133–145, 1982.

SILVA, Laercio. Métricas cognitivas para análise de proficiência em xadrez baseadas em sinais de eletroencefalograma e movimentos oculares. São Bernardo do Campo - SP, Brazil, 2021. 65.f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2021.

_____. Um estudo sobre mapeamento cerebral e análise de movimentos oculares em jogadores de xadrez. São Bernardo do Campo - SP, Brazil, fev. 2017. 65.f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2017.

SOARES, Fernanda Amaral; GONTIJO, Lucília Silva. Production of knowledge: genetic basis, biochemical and immunological of Meares-Irlen Syndrome. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, SciELO Brasil, v. 75, n. 5, p. 412–415, 2016.

STERNBERG, Robert J; STERNBERG, Karin; MIO, Jeff. **Cognitive psychology**. [S.l.]: Cengage Learning Press, 2012.

SWAN, Robert J. Testing a Model for Promoting Academic Success of Learning Disabled Students at the University Level. Final Report. ERIC, 1983.

TARTARELLA, Presidente Dra Marcia Beatriz;
VASCONCELOS, Secretário Dr Galton Carvalho; EJZENBAUM, Tesoureiro Dr Fábio. PARECER DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE OFTALMOLOGIA PEDIÁTRICA (SBOP) SOBRE SÍNDROME DE IRLEN E A FALTA DE EVIDÊNCIA CIENTÍFICA QUE RECOMENDE O USO DE LENTES OU FILTROS COLORIDOS PARA ESSA SITUAÇÃO.

TENORIO, Eliana Zacchi; THOMAZ, Carlos Eduardo. Anàlise multilinear discriminante de formas frontais de imagens 2d de face. In: PROCEEDINGS of the X Simposio Brasileiro de Automacao Inteligente SBAI. [S.l.: s.n.], 2011. P. 266–271.

THOMAZ, Carlos E et al. A multivariate statistical analysis of the developing human brain in preterm infants. **Image and Vision Computing**, Elsevier, v. 25, n. 6, p. 981–994, 2007.

THOMAZ, Carlos Eduardo. Reconhecimento de Padrões em Estatística. **Disciplina da Pós-graduação stricto-sensu em Engenharia Elétrica FEI**, 2022.

VU, Cuong T; LARSON, Eric C; CHANDLER, Damon M. Visual fixation patterns when judging image quality: Effects of distortion type, amount, and subject experience. In: IEEE. 2008 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation. [S.l.: s.n.], 2008. P. 73–76.

WERNER, John S. Development of scotopic sensitivity and the absorption spectrum of the human ocular media. **JOSA**, Optical Society of America, v. 72, n. 2, p. 247–258, 1982.

WHITEHOUSE, Steve. Magick with images. **Linux Journal**, Belltown Media Houston, TX, v. 1998, 50es, 7–es, 1998.

WICKHAM, Hadley; CHANG, Winston; WICKHAM, Maintainer Hadley. Package ‘ggplot2’. **Create elegant data visualisations using the grammar of graphics. Version**, v. 2, n. 1, p. 1–189, 2016.

WINTER, Sam. Irlen lenses: An appraisal. **The Educational and Developmental Psychologist**, Cambridge University Press, v. 4, n. 2, p. 1–5, 1987.