

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas - FAFICH

Programa de Pós-graduação em Psicologia: Cognição e Comportamento

Douglas de Araújo Vilhena

**DÉFICIT MAGNOCELULAR E ESTRESSE VISUAL ASSOCIADOS À  
DIFICULDADE DE LEITURA: conceituação, avaliação e intervenção**

Belo Horizonte

2021

Douglas de Araújo Vilhena

**DÉFICIT MAGNOCELULAR E ESTRESSE VISUAL ASSOCIADOS À  
DIFICULDADE DE LEITURA: conceituação, avaliação e intervenção**

**Versão final**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Psicologia:  
Cognição e Comportamento da Universidade Federal de Minas  
Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor  
em Psicologia.

Área de concentração: Cognição e Comportamento

Linha: Neuropsicologia do Desenvolvimento

*Orientadora:* Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ângela Maria Vieira Pinheiro

*Coorientador:* Prof. Dr. Ricardo Queiroz Guimarães

*Orientador do Doutorado Sanduíche na Universidade do Porto:*

Prof. Dr. Rui Alexandre Alves

Belo Horizonte

2021

153.4 Vilhena, Douglas de Araújo.  
V711d Déficit magnocelular e estresse visual associados à  
2021 dificuldade de leitura [manuscrito] : conceituação, avaliação  
e intervenção / Douglas de Araújo Vilhena. - 2021.  
123 f. : il.  
Orientadora Ângela Maria Vieira Pinheiro.  
Coorientador: Ricardo Queiroz Guimarães.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas  
Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.  
Inclui bibliografia.

1.Psicologia – Teses. 2. Leitura - Teses. 3.Distúrbios da  
aprendizagem - Teses. 4.Distúrbios da visão - Teses.  
5. Percepção visual - Teses. I.Pinheiro, Ângela Maria Vieira.  
II.Guimarães, Ricardo Queiroz. III.Universidade Federal de  
Minas Gerais. Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.  
IV.Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PSICOLOGIA: COGNIÇÃO E COMPORTAMENTO



FOLHA DE APROVAÇÃO

**DÉFICIT MAGNOCELULAR E ESTRESSE VISUAL ASSOCIADOS À  
DIFICULDADE DE LEITURA: conceituação, avaliação e intervenção**

**DOUGLAS DE ARAÚJO VILHENA**

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em PSICOLOGIA: COGNIÇÃO E COMPORTAMENTO, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Psicologia, área de concentração Psicologia: Cognição e Comportamento, linha de pesquisa Neuropsicologia.

Aprovada em 19 de maio de 2021, pela banca constituída pelos membros:

Prof.ª Dr.ª Ângela Maira Vieira Pinheiro  
Orientadora  
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof.ª Dr.ª Júlia Beatriz Lopes-Silva  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Membro interno 1

Prof. Dr. Rui Alexandre Alves  
Universidade do Porto  
Membro externo 1

Prof. Dr. Ricardo Queiroz Guimarães  
Coorientador  
Hospital de Olhos de Minas Gerais

Prof. Dr. Sérgio Dias Cirino  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Membro interno 2

Prof.ª Dr.ª Márcia Reis Guimarães  
Faculdade da Saúde e Ecologia Humana  
Membro externo 2

Belo Horizonte, 19 de maio de 2021.



## ATA DA DEFESA DE TESE DO ALUNO DOUGLAS DE ARAÚJO VILHENA

Realizou-se, no dia 19 de maio de 2021, às 14:00 horas, Videoconferência, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de tese, intitulada *DÉFICIT MAGNOCELULAR E ESTRESSE VISUAL ASSOCIADOS À DIFICULDADE DE LEITURA: conceituação, avaliação e intervenção*, apresentada por DOUGLAS DE ARAÚJO VILHENA, número de registro 2017668812, graduado no curso de PSICOLOGIA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em PSICOLOGIA: COGNIÇÃO E COMPORTAMENTO, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Angela Maria Vieira Pinheiro Alijah - Orientador (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof(a). Ricardo Queiroz Guimarães (Hospital de Olhos de Minas Gerais), Prof(a). Márcia Reis Guimarães (Faculdade da Saúde e Ecologia Humana), Prof(a). Sergio Dias Cirino (FAFICH-UFMG), Prof(a). Julia Beatriz Lopes Silva (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof(a). Rui Alexandre Teixeira Alves (Fac Psicologia e de Ciências da Educação da UPorto).

A Comissão considerou a tese:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.  
Belo Horizonte, 19 de maio de 2021.

Prof(a). Angela Maria Vieira Pinheiro Alijah ( Doutora )

Prof(a). Ricardo Queiroz Guimarães ( Doutor )

Prof(a). Márcia Reis Guimarães (Doutora )

Prof(a). Sergio Dias Cirino ( Doutor )

Prof(a). Julia Beatriz Lopes Silva ( Doutora )

Prof(a). Rui Alexandre Teixeira Alves ( Doutor )

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ângela Pinheiro por ter acompanhado a minha vida acadêmica na Universidade Federal de Minas Gerais desde a graduação, tendo orientado a dissertação de mestrado e a presente tese de doutorado, com o rigor científico e psicométrico para o desenvolvimento das pesquisas, da Bateria de Testes de Leitura, assim como a atenção e generosidade com as pessoas com dislexia do desenvolvimento.

Agradeço a banca pela avaliação criteriosa e imparcial da presente tese.

Ao coorientador Prof. Dr. Ricardo Guimarães, oftalmologista, diretor do Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão (LAPAN-UFMG) e do Hospital de Olhos de Minas Gerais (HOLhos) pelas pesquisas na vanguarda do conhecimento.

Ao Prof. Dr. Rui Alves, psicólogo, da Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto, por ter me acolhido como supervisor no período do doutorado sanduíche em Portugal, na *European Literacy Network* e no *Porto Writing Group*.

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia Reis Guimarães, oftalmologista, diretora clínica do Departamento de Neurovisão do HOLhos, que foi visionária e pioneira na identificação e na intervenção dos distúrbios do processamento visual e dos distúrbios de aprendizagem relacionados à visão, com o atendimento de milhares de pessoas com um amplo protocolo clínico.

Ao Prof. Dr. Stephen Loew, da *School of Psychology and Behavioural Science* da *University of New England*, Armidale, Austrália, por colaborar com o refinamento científico.

Aos colegas do Laboratório de Processos Cognitivos (LabCog-UFMG), do LAPAN-UFMG, do Programa de Pós-Graduação em Psicologia: Cognição e Comportamento, da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, da Universidade Federal de Minas Gerais, da FPCE.UP, do HOLhos, do Departamento de Neurovisão e da SBNV.

Agradeço a bolsa do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001, que permitiu morar no Porto e estudar na Universidade do Porto.

Agradeço à minha amada família, pelo apoio dado para que eu pudesse me dedicar à vida acadêmica e contribuir com pesquisas sobre dislexia do desenvolvimento.

Por fim, sou grato ao espírito de liberdade de Belo Horizonte, à mineiridade acolhedora de Muriaé, às raízes históricas de Portugal e ao amor à pátria Brasil.

*'A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em  
procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos'.*

(Marcel Proust)

## RESUMO GERAL

A maiorias dos estudos na psicologia cognitiva concordam que um distúrbio no processamento fonológico e da linguagem oral são os melhores modelos teóricos para explicar a etiologia da dificuldade de leitura. Apesar desses modelos estarem corretos quanto a importância da conversão grafema–fonema para acessar o sistema semântico, não é realístico desconsiderar o papel do processamento da informação visual como *input* para o sistema de análise ortográfica-visual dos grafemas. O estresse visual é um distúrbio do processamento visual, decorrente de um déficit no sistema visual magnocelular, caracterizado especificamente pela presença de distorções visuoperceptuais do texto e desconforto visual progressivo durante a leitura, sendo independente de problemas na acuidade visual. A presente tese de doutorado teve como objetivo principal investigar participantes com estresse visual associado à dificuldade de leitura, por meio de instrumentos que avaliam o sistema magnocelular visual (i.e., perimetria de frequência duplicada e rastreador ocular), assim como verificar se há respaldo tanto na literatura, quanto empírico para a intervenção com o uso das lâminas espectrais na redução do estresse visual. A presente tese foi composta por três estudos, sendo uma revisão sistemática da literatura e dois estudos experimentais, complementada pelas fontes de evidências psicométricas da Bateria de Testes de Leitura. No primeiro estudo, foram revisados 12 artigos experimentais, sendo verificado que as lâminas espectrais (*overlays*) são uma intervenção segura, não invasiva e relevante para reduzir o estresse visual (cefaleia, dor nos olhos, distorções visuoperceptuais) e melhorar os diferentes parâmetros visuais (acomodação, movimentação ocular), em leitura (taxa de leitura, eficiência relativa e em compreensão) e no reconhecimento facial. O segundo estudo verificou que em média os participantes com diagnóstico confirmado de Dislexia do Desenvolvimento, avaliados por meio de instrumentos de avaliação do processamento temporal (i.e., perimetria de frequência duplicada e habilidades motoras oculares), apresentam déficits coerentes com uma disfunção magnocelular visual, quando comparado ao grupo controle pareado. Por fim, no terceiro estudo, participantes com

estresse visual (184 crianças e 139 adolescentes), sob uso de lâminas espectrais, melhoraram significativamente as habilidades motoras oculares (menos Fixações e Regressões), com aumento de fatores positivos (Alcance Perceptual, a Taxa de Leitura, Eficiência Relativa, Compreensão). A presente tese corrobora com a literatura que considera que a dificuldade de leitura está parcialmente relacionada a um déficit no sistema magnocelular visual, com consequente distúrbio do processamento visual, do processamento temporal, do controle dos movimentos oculares, se expressando por um estresse visual. A intervenção com o uso de lâminas espectrais tem se mostrado relevante para que os leitores possam reduzir os sintomas de estresse visual e aumentar o conforto visual.

Palavras-chave: Avaliação da leitura. Rastreador ocular. Percepção visual. Distúrbios da leitura. Distúrbios da visão. Intervenção precoce.

# **MAGNOCELLULAR DEFICIT AND VISUAL STRESS ASSOCIATED WITH READING DIFFICULTY: definition, evaluation and intervention**

## **OVERALL ABSTRACT**

Most studies in cognitive psychology agree that a disturbance in phonological processing and oral language is the best theoretical models for explaining the etiology of reading difficulties. Although these models are correct in terms of the importance of grapheme–phoneme conversion to access the semantic system, it is not realistic to disregard the role of visual processing as an input to the orthographic-visual analysis system of graphemes. Visual stress is a visual processing disorder, resulting from a deficit in the magnocellular visual system, specifically characterized by the presence of visual-perceptual distortions in the text and progressive visual discomfort during reading, independent of problems in visual acuity. The main objective of this doctoral thesis was to investigate participants with visual stress associated with reading difficulty, by means of instruments that assess the visual magnocellular system (ie, doubled frequency perimeter and ocular tracker), as well as to verify if there is support in the literature and empirically for intervention with the use of spectral overlays in reducing visual stress. The present thesis was composed of three studies, one systematic review of the literature and two experimental studies, complemented by psychometric evidences from the Reading Tests Battery. In the first study, 12 experimental articles were reviewed, and it was verified that spectral overlays are a safe, non-invasive, and relevant intervention to reduce visual stress (headache, eye pain, visual-perceptual distortions) and improve the different visual parameters (accommodation, eye movement), reading (reading rate, relative efficiency, and comprehension) and facial recognition. The second study found that, on average, participants with a confirmed diagnosis of Developmental Dyslexia, assessed by means of temporal processing assessment instruments (ie, doubled frequency perimeter and ocular motor skills), have deficits consistent with visual magnocellular dysfunction, when compared to the paired

control group. Finally, in the third study, participants with visual stress (184 children and 139 adolescents), using spectral overlays, significantly improved eye motor skills (less fixations and regressions), with an increase in positive factors (Perceptual Recognition, Reading Rate, Relative Efficiency, Comprehension). The present thesis corroborates with the literature that considers that the reading difficulty is partially related to a deficit in the visual magnocellular system, with consequent disturbance of the visual processing, of the temporal processing, of eye movements control, expressing by a visual stress. The intervention with the use of spectral overlays can help readers to reduce symptoms of visual stress and increase visual comfort.

Keywords: Assessment of reading. Early intervention. Eye-tracker. Reading disorders. Vision disorders. Visual perception.

## **RESUMO DO ESTUDO 1 – Efeito das lâminas espectrais (*overlays*) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura: revisão integrativa**

**Objetivo:** oferecer uma revisão integrativa dos artigos indexados publicados de 2009 a 2019 sobre o efeito das lâminas espectrais (*overlays*) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura.

**Métodos:** utilizou-se a pesquisa de palavras-chave em sete bancos de dados. Foram excluídos registros duplicados, revisões de literatura, resenhas, comentários do editor, resumos de congressos, e os não pertinentes de acordo com os títulos e resumos. Os 52 artigos sobre o uso dos *overlays* no estágio de elegibilidade foram lidos na íntegra. Foram incluídos 12 artigos completos, publicados em português ou em inglês entre 2009-2019. **Resultados:** os 12 artigos incluídos avaliaram o efeito dos *overlays* na taxa de leitura. Houve melhora em diferentes parâmetros visuais (acomodação, movimentação ocular), no reconhecimento facial e em leitura (taxa de leitura, eficiência relativa e em compreensão). Independentemente de problemas refracionais, ortópticos ou cognitivos, o uso dos *overlays* reduziu o estresse visual. As condições associadas investigadas foram o transtorno do espectro autista, síndrome de Tourette, acidente vascular cerebral, surdez, dislexia, e alteração no processamento auditivo temporal. **Conclusão:** a eficácia e segurança do uso dos *overlays* na melhora da qualidade de leitura foi demonstrada de forma consistente na literatura. Os artigos revisados verificaram que os *overlays* apresentam efeito mais expressivo quando o estresse visual está associado às condições que apresentam alterações sensoriais e à hiperatividade cortical.

Palavras-chave: Leitura. Percepção visual. Transtornos de Aprendizagem. Distúrbios da visão.

## **RESUMO DO ESTUDO 2 – Função visual magnocelular na dislexia do desenvolvimento: déficit na perimetria de frequência duplicada e nas habilidades motoras oculares**

**Objetivo:** Verificar se pacientes com dislexia do desenvolvimento (DD) apresentam déficits coerentes com uma disfunção magnocelular visual. **Métodos:** Participantes com diagnóstico confirmado de DD ( $n = 62$ ; faixa etária = 8 a 25 anos; Média da idade = 13.8 anos, desvio padrão = 3.9; 77% homens) foram comparados a um grupo controle com desenvolvimento típico, pareado por idade, sexo, dominância ocular, acuidade visual e compreensão de texto. A perimetria *Frequency-Doubling Technology* avaliou o limiar de sensibilidade ao contraste do campo visual periférico. O rastreador ocular Visagraph-III registrou os movimentos dos olhos durante leitura de texto. **Resultados:** O grupo DD apresentou piores limiares de sensibilidade no *Frequency-Doubling Technology*, com tamanho de efeito forte, do que o grupo controle. O grupo DD apresentou mais olhos classificados com déficits na sensibilidade à ilusão de frequência duplicada do que o grupo controle. O grupo DD apresentou pior habilidade motora ocular e no desempenho de leitura, revelado pela diferença entre os grupos em relação às fixações oculares, regressões, alcance de reconhecimento, taxa de leitura e eficiência relativa. Foi encontrada correlação significativa entre a sensibilidade ao contraste e as habilidades motoras oculares. Os participantes com boa eficiência relativa apresentaram uma sensibilidade ao contraste significativamente melhor do que os participantes com baixa eficiência relativa. **Conclusões:** O grupo DD apresentou desempenho inferior nas variáveis visuais relacionadas à função visual magnocelular (i.e., perimetria de frequência duplicada e habilidades motoras oculares), quando comparado ao grupo controle pareado. Os profissionais precisam estar cientes da importância de investigar a visão dos pacientes com DD além da acuidade visual e incluir nos seus procedimentos diagnósticos instrumentos para avaliar o processamento temporal, com limiar de sensibilidade ao contraste.

Palavras-chave: Dislexia. Leitura. Percepção visual. Transtornos da visão. Músculos oculomotores. Movimentos oculares.

### **RESUMO DO ESTUDO 3 – Lâminas espectrais para dificuldades de leitura: função oculomotora e eficiência de leitura em crianças e adolescentes com estresse visual**

Este estudo analisou os efeitos das lâminas espectrais na motilidade ocular durante a leitura entre um grupo clínico de crianças e adolescentes que experimentam distorções visuais-perceptuais de texto. Revisamos os registros de 323 pacientes do Departamento de Neurovisão do Hospital de Olhos de Minas Gerais com diagnóstico de estresse visual. Os participantes foram divididos em duas coortes de acordo com a idade: crianças ( $n = 184$ ;  $M$  idade = 10,1,  $DP = 1,3$  anos); e adolescentes ( $n = 139$ ;  $M$  idade = 14,6,  $DP = 1,5$  anos). Usamos um sistema de gravação de movimento ocular para registrar a eficiência do motor ocular durante a leitura com e sem lâminas espectrais, e examinamos os seguintes parâmetros: (a) Fixações, (b) Regressões, (c) Alcance do reconhecimento, (d) Taxa de leitura, (e) Eficiência relativa e (f) Compreensão. Nossos resultados mostraram que o uso de uma ou alguma combinação de 10 lâminas espectrais selecionadas pelo participante imediatamente e significativamente ( $p < 0,001$ ) reduziu o número de fixações e regressões por 100 palavras. Houve ganhos significativos ( $p < 0,001$ ) em fatores positivos como alcance do reconhecimento, taxa de leitura, eficiência relativa e compreensão. Nossos resultados indicam que a lâmina espectral pode ser uma ferramenta eficaz para ajudar pessoas que experimentam a percepção de distorções de visual durante a leitura.

Palavras-chave: Desenvolvimento motor infantil. Análise de rastreamento ocular. Habilidades motoras oculares. Transtornos perceptuais. Dificuldades de leitura. Lâminas espectrais. Medição visual. Percepção visual. Estresse visual.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquematização das vias de conexão retino-geniculado-cortical do sistema visual humano.....	26
Figura 2. Esquematização do núcleo geniculado lateral talâmico, com as células magnocelulares nas camadas 1 e 2 e as células parvocelulares nas camadas 3 a 6.....	26
Figura 3. Distinção anatômica da dificuldade de leitura, decorrente de um Distúrbio do Processamento Visual, da Dislexia do Desenvolvimento (Transtorno Específico da Aprendizagem com prejuízo na leitura) e Transtorno de Linguagem.....	29
Figura 4. Esquema da relação anátomo-funcional do sistema visual humano, com captação da informação visual pelo olho, transdução da informação pelo nervo óptico com destaque para o núcleo geniculado lateral e áreas visuais primárias e secundárias no lobo occipital .....	32
Figura 5. Ilustrações de distorções visuais do Método Irlen .....	35
Figura 6. Exemplo de uma das cinco listas do Teste de Taxa de Leitura .....	42
Figura 7. Exemplos de lâminas espectrais do Método Irlen.....	44
Figura 8. Diagrama CIE 1976 com as coordenadas de cromaticidade das Irlen Overlays (●) e dos seus pares combinados (▲), com a cor branca/cinza centralizada (+) .....	45
Figure 9. Spectrometry of Irlen Overlays as function of wavelength in nanometers (X-Axis) and Percentage of transmission (Y-Axis) .....	47
Figura 10. Síntese da Meta-análise da prevalência do ganho no Teste de Taxa de leitura com o uso da lâmina espectral.....	56
Figura 11. Logomarca do Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão – Neurovisão (LAPAN-UFMG).....	65
Figura 12. Fluxograma do processo de identificação e seleção dos estudos de acordo com a recomendação do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA).....	69

Figure 13. Frequency doubling technology (Humphrey Instruments)].....	71
Figure 14. Frequency doubling technology's 19 retinal regions from the left and right eyes .....	72
Figure 15. Visagraph III Eye-Movement Recording System (Taylor Associates, New York).....	73
Figure 16. Frequency-doubling technology mean deviation index (dB) between the developmental dyslexia group and control group.....	87
Figure 17. Split-plot analysis of the interaction effects of spectral overlays on Visagraph III Eye-Movement Recording System parameters .....	90

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Frequência e porcentagem da seleção da lâmina espectral, em diferentes populações (com diferentes critérios de seleção), por meio do autorrelato de melhora na qualidade da leitura em diferentes estudos .....	51
<b>Tabela 2.</b> Síntese da metaanálise da prevalência do ganho no Teste de Taxa de Leitura (RRT) com o uso da lâmina espectral ideal.....	55
<b>Tabela 3.</b> Caracterização dos doze artigos incluídos na revisão sobre a intervenção com <i>Overlays</i> , em ordem cronológica, segundo autores, ano de publicação, título, cidade, país, número de participantes ( $N =$ condição clínica + controle), resultado favorável/parcialmente/desfavorável ao uso de overlays, e síntese dos resultados.....	84
<b>Tabela 4.</b> Mean $\pm$ standard deviation of control variables (demographic and central visual function), peripheral visual field function (frequency-doubling technology), ocular motor skills, and reading parameters from the DD group and matched control group.....	88
<b>Tabela 5.</b> Children (in green) and Adolescent's (in blue) ocular motor skills, without & with spectral overlays (Means); Intervention differences ( $\Delta$ ); Interaction statistics (groups/conditions).....	92
<b>Tabela 6.</b> Pearson correlations between eye movement parameters .....	93

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- $\Delta$ : Difference between conditions (Without & With overlays)
- ANCOVA: Analysis of Covariance
- CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CBNV: Congresso Brasileiro de Neurociências da Visão – Neurovisão
- CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- d*: Tamanho de efeito / Effect Size
- DARV: Distúrbios de Aprendizagem Relacionados à Visão
- dB: Decibel
- DD: Developmental dyslexia / Dislexia do Desenvolvimento
- DPA: Distúrbio do Processamento Auditivo
- DPV: Distúrbio do Processamento Visual
- DSM-5: Manual de Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais 5.<sup>a</sup> edição
- EACOL: Escala de Avaliação da Competência em Leitura pelo Professor
- FDT: *Frequency-doubling technology* / Perimetria de frequência duplicada
- FPCE: Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação
- IRPS: Irlen Reading Perceptual Scale
- LAPAN: Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão
- MD: Mean deviation index
- p*: significância estatística
- PDSE: Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior
- PSD: *Pattern standard deviation*
- PVC: Processamento Visual Central
- RRT: *Rate of Reading Test* / Teste de Taxa de Leitura
- SBNV: Sociedade Brasileira de Neurovisão
- SD: *Standard Deviation* / DP: Desvio Padrão
- SVS: Sustained visual system / sistema visual sustentado
- TELCS: Teste de Leitura: Compreensão de Sentenças
- TRP: Teste de Reconhecimento de Palavras
- TRPp: Teste de Reconhecimento de Pseudopalavras
- TVS: Transient visual system
- UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais
- UP: Universidade do Porto
- VS: Visual Stress

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	5
RESUMO GERAL .....	8
OVERALL ABSTRACT .....	10
RESUMO DO ESTUDO 1 – Efeito das lâminas espectrais (overlays) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura: revisão integrativa .....	12
RESUMO DO ESTUDO 2 – Função visual magnocelular na dislexia do desenvolvimento: déficit na perimetria de frequência duplicada e nas habilidades motoras oculares .....	13
RESUMO DO ESTUDO 3 – Lâminas espectrais para dificuldades de leitura: função oculomotora e eficiência de leitura em crianças e adolescentes com estresse visual.....	14
LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	17
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	18
SUMÁRIO.....	19
1. Apresentação .....	22
2. Introdução .....	24
2.1. Déficit no sistema magnocelular visual associado à dificuldade de leitura	24
2.2. Distúrbio do processamento visual associado à dificuldade de leitura .....	31
2.3. Estresse visual associado à dificuldade de leitura .....	34
2.3.1. Teoria da Hiperexcitabilidade Cortical .....	38
2.4. Avaliação do déficit no sistema magnocelular visual e estresse visual .....	40
2.5. Intervenção no estresse visual por meio de lâminas espectrais ( <i>spectral overlays</i> )	44
2.5.1. Frequência da seleção da lâmina espectral por meio do autorrelato (critério qualitativo).....	50
2.5.2. Frequência do uso prolongado das lâminas espectrais (validade prática)	52
2.5.3. Ganho na taxa de leitura com a lâmina espectral (critério quantitativo)	52

2.6.	Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – Universidade do Porto..	57
2.6.1.	Bateria de Testes de Leitura: reconhecimento de palavras e pseudopalavras, taxa de leitura, compreensão de sentenças, escala do professor.....	58
3.	Justificativa.....	62
4.	Objetivos.....	63
4.1.	Objetivo geral.....	63
4.2.	Objetivos específicos.....	63
5.	Método.....	64
5.1.	Ética em Pesquisa.....	64
5.1.	Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão (LAPAN-UFMG)	65
5.2.	Método – Estudo 1: Lâminas espectrais: revisão integrativa.....	68
5.3.	Method – Study 2: Magnocellular visual function in dyslexia .....	70
5.3.1.	Participants .....	70
5.3.2.	Instruments .....	71
5.3.3.	Procedures .....	73
5.3.4.	Statistical analysis .....	74
5.4.	Method – Study 3: Spectral overlays: oculomotor function and reading....	75
5.4.1.	Participants .....	75
5.4.2.	Instruments .....	76
5.4.3.	Procedures .....	77
5.4.4.	Statistical analysis .....	78
6.	Resultados.....	79
6.1.	Revisão da Literatura com Discussão – Estudo 1: Lâminas espectrais: revisão integrativa	79
6.2.	Results – Study 2: Magnocellular visual function in dyslexia.....	86
6.3.	Results – Study 3: Spectral overlays: oculomotor function and reading ....	89
7.	Discussão .....	94

7.1.	Discussion – Study 2: Magnocellular visual function in dyslexia .....	94
7.2.	Discussion – Study 3: Spectral overlays: oculomotor function and reading 97	
8.	Conclusões.....	102
9.	Referências .....	105
	ABSTRACT OF STUDY 1 – Effect of spectral overlays on visual parameters and reading ability: An integrative review .....	119
	ABSTRACT OF STUDY 2 – Magnocellular visual function in developmental dyslexia: deficit in frequency-doubling perimetry and ocular motor skills.....	120
	ABSTRACT OF STUDY 3 – Spectral Overlays for Reading Difficulties: Oculomotor Function and Reading Efficiency Among Children and Adolescents with Visual Stress.....	121
10.	Apêndice A – Declaração de realização do doutorado sanduíche na Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto, sob orientação do Prof. Rui Alves.	122
11.	Apêndice B – Publicação do Estudo 1 na Revista CEFAC. ....	123
12.	Apêndice C – Publicação do Estudo 2 na Revista Arquivos Brasileiros de Oftalmologia.	124
13.	Apêndice D – Publicação do Estudo 3 na Revista <i>Perceptual and Motor Skills</i> . 125	
14.	Apêndice E – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais [CAAE: 49765115.0.0000.5149] .....	126
15.	Apêndice F – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais [CAAE: 17754514.6.0000.5149] .....	127

## 1. Apresentação

A presente tese de doutoramento foi elaborada de acordo com o ‘Regulamento dos cursos de mestrado e doutorado do Programa de Pós-Graduação em Psicologia: Cognição e Comportamento da Universidade Federal de Minas Gerais’. No que concerne a estrutura da tese, destaca-se o artigo 66:

*[...] a tese deve abranger: 1. título; 2. introdução e justificativa; 3. revisão da literatura; 4. método; 5. resultados; 6. discussão e conclusão; 7. referências bibliográficas. § 2º [...] a tese de doutorado poderá ser apresentada sob a forma de um volume contendo: 1. Apresentação, justificativa e definição dos objetivos; 2. Três artigos científicos: um sobre a revisão da literatura referente ao tema pesquisado ou sobre o método empregado e dois sobre os resultados obtidos no desenvolvimento da pesquisa, estando os três artigos de acordo com as normas de determinada revista científica de reconhecida qualidade e em condições de serem publicados com pelo menos um artigo já tendo recebido o aceite para publicação; 3. Conclusão da tese’.*

Para se ater ao artigo 66, § 2º, item 2 do Regulamento, a presente tese é composta por três artigos científicos, estando todos já publicados em revistas de reconhecida qualidade. O artigo de revisão sistemática da literatura [*Efeito das lâminas espectrais (overlays) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura: revisão integrativa*] foi publicado em português e em inglês em 2020 na Revista CEFAC (Qualis B1 em Psicologia), da Associação Brasileira de Motricidade Orofacial (ABRAMO) [Apêndice B]. O artigo 2 [*Magnocellular visual function in developmental dyslexia: deficit in frequency-doubling perimetry and ocular motor skills*] foi publicado em inglês em 2021 nos Arquivos Brasileiros de Oftalmologia (Qualis B1 em Psicologia), que é uma revista do Conselho Brasileiro de Oftalmologia [Apêndice C]. O artigo

3 [*Spectral Overlays for Reading Difficulties: Oculomotor Function and Reading Efficiency Among Children and Adolescents with Visual Stress*] foi publicado em inglês em 2019 no *Journal Perceptual and Motor Skills* (Qualis A2 em Psicologia) da SAGE Publishing [Apêndice D].

Para se ater ao artigo 66 do Regulamento, os três artigos não foram apresentados separadamente, sendo reorganizados para mesclar os conteúdos da Introdução, Método, Resultados, Discussão, Conclusão e Referências. Para melhorar a identificação do conteúdo, os títulos das subseções são acompanhados pelo título abreviado de cada artigo.

A Introdução da tese (seção 2), redigida somente em português, foi elaborada levando em consideração as pessoas com dificuldade de leitura de base visual, sendo abarcado: (2.1) o déficit no sistema magnocelular visual [nível neuronal]; (2.2) o distúrbio do processamento visual [nível cognitivo]; (2.3) o estresse visual [nível comportamental]; (2.4) a avaliação do déficit no sistema magnocelular visual e estresse visual; e (2.5) a intervenção no estresse visual por meio de lâminas espectrais. O conteúdo da Introdução foi complementado por trechos publicados nos artigos de Vilhena, Guimarães, Pinheiro e Guimarães (2018) e Vilhena, Guimarães e Guimarães (2019).

Além desses temas diretamente relacionados aos artigos da presente tese, a Introdução foi complementada com uma breve descrição sobre (2.6) o Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior realizado na Universidade do Porto, período quando foram sistematizadas as fontes de evidências psicométricas da Bateria de Testes de Leitura (Pinheiro & Vilhena, 2021). O Método foi complementado com uma breve descrição do Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurovisão (LAPAN-UFGM) (seção 5.1). Para se adequar às normas de submissão da Revista CEFAC, a seção Revisão da Literatura do artigo 1 (item 6.1) equivale às seções Resultados e Discussão. As citações e as referências foram padronizadas para o formato da 7ª Edição do Manual de Publicações da *American Psychological Association* (APA).

## 2. Introdução

### 2.1. Déficit no sistema magnocelular visual associado à dificuldade de leitura

Ler é uma tarefa desafiadora, pois exige uma rede neuronal e cognitiva complexa e automatizada para processar o conteúdo do texto. A dislexia do desenvolvimento (Transtorno Específico da Aprendizagem com prejuízo na leitura) é definida pelo Manual de Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais 5.<sup>a</sup> edição (DSM-5) como um transtorno do neurodesenvolvimento, de base neurológica, vitalícia, resistente à intervenção neuropsicopedagógica. A dislexia não tem como causa problemas de acuidade visual (ex., erros refrativos, baixa visão) ou um método de alfabetização inadequado (ex., ensino pelo método global e não explícito).

A dislexia deve ser estudada dentro de uma perspectiva coerente que inclua o nível genético (ex., incidência na família), o nível do neuronal (ex., déficit magnocelular e cerebelar), o nível cognitivo (ex., déficits na fonologia, velocidade de processamento, ritmo da fala, atenção visuoespacial, integração sensorial) e o nível de comportamento diretamente observável (ex., leitura, ortografia, escrita, estresse visual, oculomotricidade) (Gaertner et al., 2013; Nicolson & Fawcett, 2019; Peixoto et al., 2020; Stein, 2019; Vidyasagar, 2019).

A maioria dos estudos na psicologia cognitiva concorda com a ‘teoria fonológica’, a qual considera que um distúrbio no processamento fonológico e da linguagem oral são os melhores modelos teóricos para explicar a etiologia da dislexia. Apesar desses modelos estarem corretos quanto a importância da conversão grafema–fonema para acessar o sistema semântico, não é realístico desconsiderar o papel do processamento da informação visual como fonte (*input*) para o sistema de análise ortográfica-visual.

Até meados de 1950, a dislexia do desenvolvimento era considerada um problema visual hereditário, tendo posteriormente a ‘teoria fonológica’ dominado os estudos na área da psicologia (Stein, 2019). Contribuições importantes vieram da área da neurologia, como o

estudo de Livingstone et al. (1991), cujo delineamento *post mortem* proveu evidências que disléxicos apresentam alteração fisiológicas e anatômicas, com menor tamanho dos neurônios magnocelulares no núcleo geniculado lateral talâmico, enquanto os neurônios parvocelulares não foram afetados.

De forma sucinta, no sistema visual humano (Figura 1) os estímulos luminosos transduzidos em impulsos nervosos saem da retina pelas vias dos sistemas magnocelular, parvocelular e koniocelular e são transmitidos pelos nervos ópticos até o quiasma óptico, onde são redistribuídos através dos tratos ópticos, atingindo o núcleo geniculado lateral (Figura 2), localizado no tálamo. Desta região subcortical talâmica saemite axônios que atingem o córtex visual primário no lobo occipital, via trato genículo-calcarino, localizado nas bordas do sulco calcarino, e terminam sua trajetória no córtex parietal e temporal. Importante destacar que a informação visual não é utilizada somente para a visão, pois aproximadamente 20% das fibras que saem do quiasma óptico penetram no núcleo pré-tectal (nocicepção e movimentos oculares reflexivos) ou no hipotálamo supraquiasmático (regulação dos ritmos circadianos) (Cosenza, 2005), sendo esta última conhecida como via não visual por estar associada também a outras funções como controle do reflexo pupilar, atividade motora, sono e vigília (Wein & Yu, 2013).

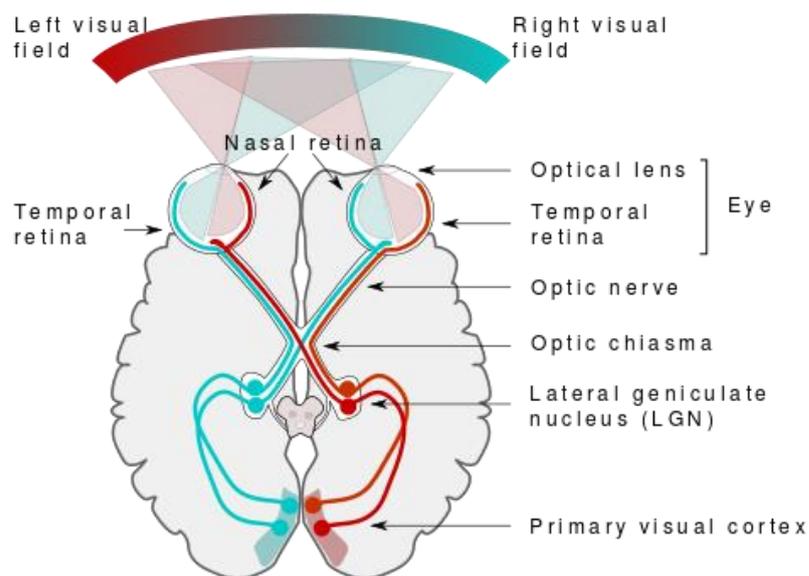


Figura 1. Esquematisação das vias de conexão retino-geniculo-cortical do sistema visual humano. Fonte: Miquel Perello Nieto, Wikimedia Commons.

O núcleo geniculado lateral apresenta distinção anatômica entre as células magnocelulares (camadas 1 e 2), filogeneticamente mais antigas, e as parvocelulares (camadas 3 a 6), filogeneticamente mais recentes (Figura 2). As células koniocelulares, que não serão discutidas nesta tese, se localizam ventralmente entre as camadas magno e parvocelulares. A passagem da informação pelo núcleo geniculado lateral é uma etapa importante no processo visual, pois promove a interação com os outros sentidos sensoriais (exceto o olfato), sincronizando temporal e espacialmente a informação. Ademais, essa região integra as informações dos hemisférios visuais de cada olho, compondo uma representação tridimensional do objeto, importante para determinar a posição, velocidade e direção dos elementos. O núcleo geniculado lateral também fornece informações (*output*) para sincronizar o movimento dos olhos e para ajustar o foco de acordo com a distância, que são essenciais para a leitura.

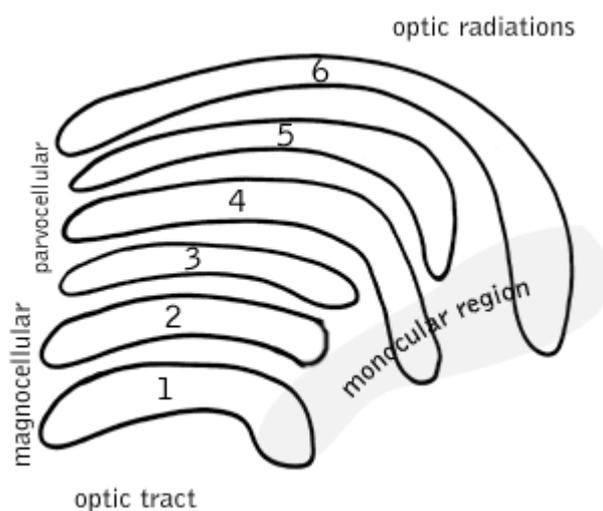


Figura 2. Esquematisação do núcleo geniculado lateral talâmico, com as células magnocelulares nas camadas 1 e 2 e as células parvocelulares nas camadas 3 a 6. Fonte: Jimhutchins, Wikimedia Commons, 2021.

O sistema visual retino-geniculo-cortical pode ser dividido quanto a especialização espacial ou temporal das vias (Pammer & Wheatley, 2001; Stein & Walsh, 1997). O sistema parvocelular visual responde principalmente a frequências temporais baixas e espaciais altas (importante para cores e detalhes espaciais finos). Já o sistema magnocelular é sensível a frequências temporais altas e espaciais baixas, além da percepção de contraste e brilho. A condução de alta velocidade de sinais neurais pelo sistema Magnocelular é considerada crucial para inibir a imagem sacada imediatamente anterior transmitida pelo sistema parvocelular e para facilitar a detecção de bordas e variações de brilho relacionadas à detecção de movimento na cena visual.

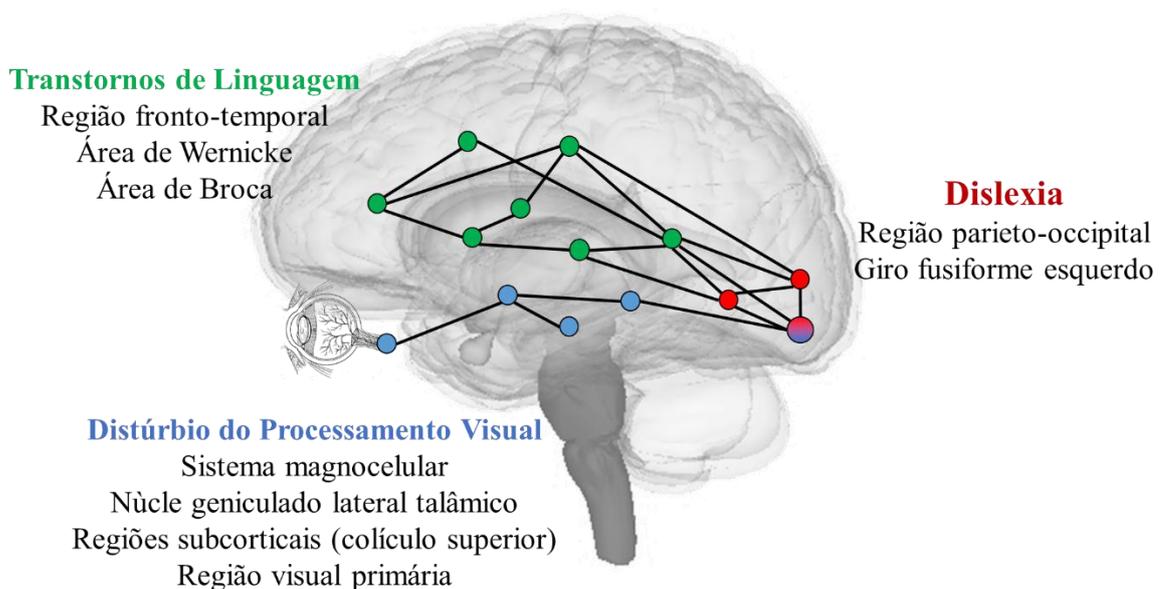
O sistema magnocelular é considerado o caminho visual dominante na percepção do texto, pois media a capacidade de identificar rapidamente a sequência das letras e as suas posições na palavra, além de controlar a orientação visual da atenção, das fixações e sincronizações binocular (Chase et al., 2003). Ademais, no que concerne às atividades visuais subjacentes à leitura, o sistema magnocelular retino-geniculo-cortical está envolvido no processamento temporal, localização da palavra (onde), controle do movimento ocular, controle das sacadas horizontais, manutenção da leitura sequencial da esquerda para a direita.

Essas são características cognitivas essenciais durante as atividades de leitura, pois os olhos têm que fazer sacadas horizontais sistemáticas e sequencialmente (controladas pela via magnocelular), seguidas por fixações oculares de 200-400 ms (para extrair e processar o conteúdo pela via parvocelular), enquanto a atividade ocular binocular coordenada rastreia linha por linha ao longo de um texto.

Dessa forma, a nível neuronal, a dificuldade de leitura pode ser decorrente de um déficit no sistema magnocelular visual e da rede atencional cortical posterior envolvida no controle dos movimentos oculares, concomitante a um sistema parvocelular preservado (acuidade visual central) (Stein, 2019; Stein & Walsh, 1997).

Para ilustrar a relação anátomo-funcional, a Figura 3 demonstra que se pode separar a origem da dificuldade de leitura em três grandes categorias: (1) as regiões subcorticiais e região visual primária, em azul, relacionadas ao Distúrbio do Processamento Visual, cujas informações sensoriais são transmitidas pelo sistema magnocelular visual; (2) a região parieto-occipital e girofusiforme do hemisfério esquerdo, em vermelho, na Dislexia do Desenvolvimento; e (3) a região fronto-temporal, com os transtornos de linguagem destacados em verde.

O déficit magnocelular pode ser investigado por meio da análise do processamento temporal, visão periférica e habilidades motoras oculares (Stein & Walsh, 1997; Vilhena et al., 2021). Flint e Pammer (2019) verificaram que adultos analfabetos obtiveram o mesmo desempenho do que os leitores normais e semi-analfabetos em tarefas temporais e espaciais específicas do sistema magnocelular visual, tendo todos os três grupos um desempenho melhor do que o grupo de leitores disléxicos ( $p < 0,005$ ). Flint e Pammer concluem que essa falha funcional da via visual dorsal na dislexia provavelmente não é consequência da falta de leitura e apontam para um papel causal do processamento magnocelular.



**Figura 3.** Distinção anatômica da dificuldade de leitura, decorrente de um Distúrbio do Processamento Visual, da Dislexia do Desenvolvimento (Transtorno Específico da Aprendizagem com prejuízo na leitura) e Transtorno de Linguagem. Fonte: próprio autor.

Destaca-se o estudo de Gori et al. (2015), cujo delineamento com 4 experimentos verificou: (1) a presença de dificuldade na percepção de movimento em disléxicos quando comparados a dois grupos controles; (2) que a percepção de movimento visual de crianças na fase de pré-leitura prediz o desenvolvimento leitor; e (3) que treinamentos no sistema magnocelular visual levam a uma melhor habilidade de leitura em crianças e adultos com dislexia do desenvolvimento. Gori et al. concluíram que há de fato uma relação causal entre déficits no sistema magnocelular e a dislexia, ‘fechando virtualmente um debate de 30 anos’.

De posse dessa base teórica, a presente tese de doutorado teve como objetivo principal investigar participantes com estresse visual associado à dificuldade de leitura, por meio de instrumentos que avaliam o sistema o sistema magnocelular visual (i.e., perimetria de frequência duplicada e rastreador ocular), assim como verificar se há respaldo tanto na literatura quanto empírico para a intervenção com o uso das lâminas espectrais na redução do estresse visual. Antes de alcançar esses objetivos, a Introdução desta tese revisará os principais pontos sobre o Distúrbio do Processamento Visual e o Estresse Visual associados à dificuldade de leitura.

Salienta-se que a Dislexia do Desenvolvimento possui como principal causa um déficit neurológico a nível cortical que prejudica o processamento fonológico e o reconhecimento de palavras com fluência. A presente tese reconhece a importância dos componentes cognitivos superiores envolvidos na compreensão de leitura (integração entre decodificação e compreensão linguística), porém o foco irá se restringir aos componentes visuais que podem comprometer a atividade visual necessária para a manutenção da leitura.



## 2.2. Distúrbio do processamento visual associado à dificuldade de leitura

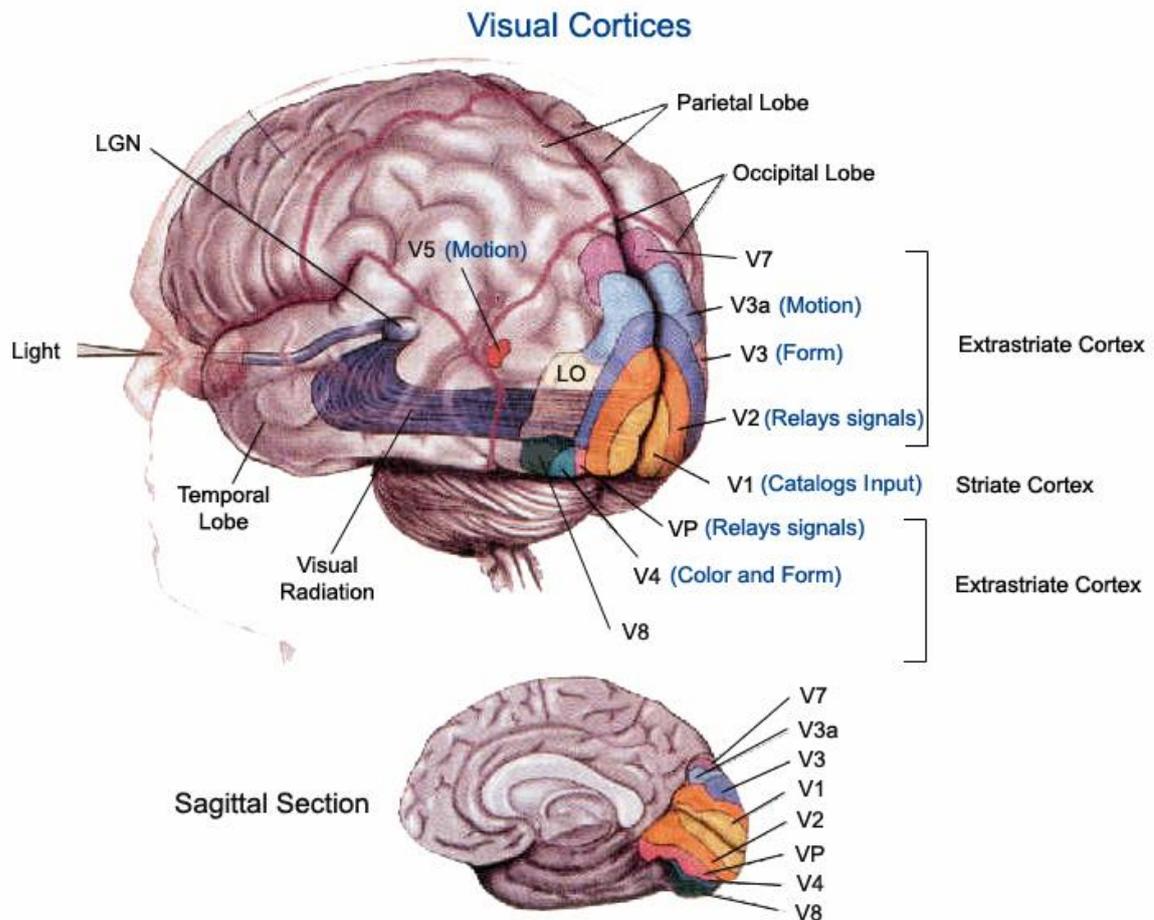
Um déficit a nível neuronal magnocelular gera um subsequente déficit a nível cognitivo de análise do processamento temporal da informação visual. Considera-se que o ‘Processamento Visual Central’ (PVC) é o processamento perceptivo da informação visual no sistema nervoso visual central e a atividade neurobiológica subjacente a esse processamento (Figura 4).

Já o ‘Distúrbio do Processamento Visual’ (DPV) pode ser definido como uma dificuldade no processamento de informações visuais em uma ou mais habilidades visuais, e representa uma limitação da transmissão, análise, organização, transformação, elaboração, armazenamento e/ou recuperação, e uso das informações de um evento visual, não atribuídos à perda da acuidade visual, nem ao déficit intelectual. Essa é a definição oficial do DPV estabelecida pela *Sociedade Brasileira de Neurovisão* (SBNV, 2021).

Essa definição do DPV está equiparada à do ‘Distúrbio do Processamento Auditivo’ (DPA) estabelecida pela *American Speech-Language Hearing Association* (ASHA, 2005) e citada por Carvalho et al. (2015), que é referido como uma dificuldade no processamento de informações auditivas em uma ou mais habilidades auditivas, e representa uma limitação da transmissão, análise, organização, transformação, elaboração, armazenamento e/ou recuperação, e uso das informações de um evento acústico, não atribuídos à perda auditiva, nem ao déficit intelectual.

O DPV tem origem no sistema visual (funções e estruturas neuronais) e é caracterizado por uma limitação persistente no desempenho das atividades visuais. A etiologia do DPV pode estar relacionada a uma lesão ou distúrbio específico, ou pode ser desconhecida. Causas e fatores de risco para DPV podem incluir: (1) alterações no processamento visual central relacionadas à idade; (2) determinantes genéticos; (3) distúrbio, doença ou dano neurológico [insulto cerebral (ex., traumatismo cranioencefálico); acidente vascular cerebral; doenças

degenerativas (ex., esclerose múltipla); exposição a neurotoxinas (ex., metais pesados, solventes orgânicos); distúrbios convulsivos]; (4) atraso no neurodesenvolvimento; (5) fatores pré-natais e neonatais (ex., hipóxia, baixo peso, prematuridade, medicamentos).



**Figura 4.** Esquema da relação anatômico-funcional do sistema visual humano, com a entrada do estímulo luminoso no olho, a transdução na retina para estímulo neural que é transmitido pelo nervo óptico para o quiasma óptico, núcleo geniculado lateral e áreas visuais primárias e secundárias no lobo occipital. Fonte: McGill University.

Garcia, Vilhena, Guimarães, Pinheiro e Momensohn-Santos (2019) investigaram participantes (68 crianças, de 9 a 12 anos, 53% meninos, do 5º e 6º ano do ensino fundamental

de uma escola estadual) sem alterações na avaliação audiológica ou oftalmológica de rotina. Os participantes rastreados com processamento auditivo alterado apresentaram mais sintomas de estresse visual e menor taxa de leitura, de forma significativa e moderada ( $p < 0.05$ ;  $d < 0.71$ ), quando comparados aos seus pares com processamento auditivo normal. Dentre as crianças com alteração no Teste do Padrão de Duração, 58% melhoraram a taxa de leitura com o uso da lâmina espectral, comparadas a 29% do grupo controle (*Odds Ratio* = 3.4;  $p = 0.017$ ). Garcia et al. concluem que os alunos rastreados com processamento auditivo temporal alterado apresentam uma chance três vezes maior de associação com alterações no processamento visual, pelo compartilhamento na via magnocelular. O estudo deu sequência ao trabalho de Garcia, Momensohn-Santos e Vilhena (2017), com a mesma amostra de participantes.

### 2.3. Estresse visual associado à dificuldade de leitura

O estresse visual (*visual stress*) é caracterizado especificamente pela presença de (1) distorções visuoperceptuais do texto e (2) desconforto visual progressivo durante a leitura (Irlen & Lass, 1989; Guimarães et al., 2019; Evans et al., 2017; Loew & Watson, 2012; Stein & Walsh, 1997; Vilhena et al., 2020; Wilkins et al., 2001). A nível neuronal, o estresse visual tem provavelmente como etiologia um déficit no sistema magnocelular visual. A nível cognitivo, o estresse visual é decorrente de um distúrbio do processamento visual, com provável hiperexcitabilidade cortical.

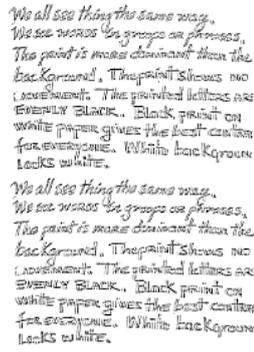
O estresse visual pode ter como causa e como consequência a percepção de distorções visuais durante a leitura de textos, como a presença de sombras, halos e padrões ao redor das letras, espaçamentos irregulares ao longo do texto e percepção de movimento, como letras se destacando do papel ou vibrando (Irlen & Lass, 1989; Stein & Walsh, 1997; Wilkins et al., 2001). Onze ilustrações aproximadas de como são percebidas essas distorções visuais são apresentadas ao final do Método Irlen (Figura 5). Ressalta-se que as distorções visuais experienciadas no estresse visual são dinâmicas e não estáticas.

A sensação de instabilidade no texto ocorre inclusive em leitores com boa acuidade visual e na ausência de problemas refracionais e ortópticos (Monger et al., 2015; Scott et al., 2002). A compensação física e cognitiva empregada para manter a leitura nessas situações de esforço visual gera, frequentemente, um desconforto visual progressivo, revelado pela ocorrência de astenopia, dor e ardência ocular, lacrimejamento, cefaleia, piscar excessivo e fotofobia progressiva (Evans et al., 1996; Kriss & Evans, 2005; Scott et al., 2002). Os sintomas de estresse visual são acompanhados de uma rápida deterioração da habilidade de leitura (5 a 10 minutos), com consequente prejuízo para a aprendizagem escolar (Evans & Allen, 2016; Evans et al., 2017; Loew & Watson, 2013).

a) Borrado



b) Auréola



c) Embaçado



d) Redemoinho



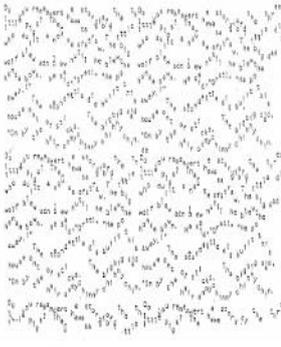
e) Tremido



f) Rios



g) Serrilhado



h) ondas acentuadas



i) Ondulado



j) Star Wars



k) Letras Flutuantes



Figura 5. Ilustrações de distorções visuais do Método Irlen: (a) borrado, (b) auréola, (c) embaçado, (d) redemoinho, (e) tremido, (f) rios, (g) serrilhado, (h) ondas acentuadas, (i) ondulado, (j) guerra nas estrelas, (k) letras flutuantes. Fonte: Escala de Percepção Visual de Leitura do Método Irlen, Irlen (2003).

As estimativas da prevalência do estresse visual na população em geral variaram de 5% a 24%, com média de 13% (Evans & Allen, 2016; Jeanes et al., 1997; Vilhena et al., 2019; Kriss & Evans, 2005; Loew et al., 2014, 2015). A meta-análise de Vilhena, Guimarães e Guimarães (2019) verificou que 87% dos sujeitos com dificuldade de leitura optaram pelo uso de lâminas espectrais (Tabela 1), tendo 30% das crianças e 44% dos adultos melhorado a taxa de leitura em pelo menos  $\geq 10\%$ , valores que são significativamente maiores do que os observados nos respectivos grupos controle ( $p < 0,05$ ).

Os níveis de gravidade do estresse visual demonstram variar dentro de um *continuum* de leve a severo entre as pessoas (Evans & Allen, 2016; Evans & Joseph, 2002; Vilhena et al., 2019). Essa classificação se adequa à tendência corrente que considera o conceito de dimensionalidade na descrição das disfunções do desenvolvimento (ex., Transtorno do Espectro Autista), auxiliando a compreensão variação dos sintomas visuoperceptuais de pessoa para pessoa.

Com relação aos fatores biológicos subjacentes, vários estudos identificaram anomalias bioquímicas em pessoas com estresse visual (Soares & Gontijo, 2016), incluindo o metabolismo anormal de ácidos graxos essenciais (crucial para o funcionamento da retina e da via visual) (Robinson et al., 2001) e anomalias significativas nos aminoácidos urinários e lipídios do sangue que podem indicar ativação do sistema imunológico (i.e., LDL / colesterol total mais baixo, níveis mais elevados de ácido heptadecanóico) (Sparkes et al., 2003).

Também existe uma forte predisposição genética para o estresse visual, pois 80% das crianças com diagnóstico têm um ou ambos os pais com sintomas semelhantes (Robinson et al., 1996, 2000). Uma prevalência mais alta de certos alelos variantes do gene da apolipoproteína-B100 (que codifica uma molécula transportadora de colesterol) também foi identificada em pessoas com sintomas de estresse visual (Loew & Watson, 2012).

Na literatura internacional, essa condição de um ‘distúrbio do processamento visual restrito a situação de estresse visual na leitura’ foi inicialmente referida como ‘síndrome de sensibilidade escotópica’ em 1983, ‘síndrome de Irlen’ em 1994, ‘síndrome de Meares-Irlen’ em 1996, ‘Estresse Visual’ em 1995, e ‘Estresse Visual à padrões de listras’ em 2008. A presente década de 2020 será marcada por estudos que irão refinar as definições sobre o estresse visual, assim como os seus sinais e sintomas.

O estresse visual não é uma doença, mas sim um distúrbio do processamento visual que ocorre como resultado de um déficit magnocelular. A nomenclatura ‘síndrome de Irlen’ é comumente utilizada na área da Educação no Brasil. De fato, essa condição pode ser considerada uma síndrome, uma vez que os sintomas e sinais do estresse visual estão associados a mais de uma causa, ou seja, o quadro clínico tem sintomatologia de causa inespecífica, que envolvem além da área visual, alterações neurológicas, atencionais e comportamentais cuja etiologia vem sendo progressivamente elucidada. Embora a sintomatologia seja conhecida, o estresse visual pode estar associado a diversas doenças (ex., esclerose múltipla), síndromes (ex., síndrome de Tourette), e transtornos (ex., transtornos do neurodesenvolvimento). Isso implica que alguns pacientes diagnosticados com síndromes possam nunca chegar a um veredicto definitivo sobre a causa de seus sinais e sintomas.

É usual que o nome do pesquisador que primeiro identificou a condição (i.e., Helen Irlen) complemente o nome da síndrome (i.e., síndrome de Irlen), como ocorre na síndrome de Down, síndrome de Tourette e síndrome de Marfan. Ainda na década de 1960, o neurologista MacDonald Critchley citou um caso de uma criança disléxica incapaz de ler palavras em um cartão branco, mas que conseguia ler no cartão colorido (Critchley, 1964). Mais de 20 anos depois, a psicóloga Helen Irlen (1983) observou que o uso de folhas coloridas interferia na habilidade de leitura de analfabetos funcionais, o que a levou a sistematizar a triagem, a avaliação e o tratamento do desconforto e das distorções visuais.

### 2.3.1. *Teoria da Hiperexcitabilidade Cortical*

Dentre as hipóteses neurológicas mais amplamente aceitas para explicar a causa do estresse visual, se destaca a ‘teoria de hiperexcitabilidade cortical’, proposta pelo Prof. Eméritos Arnold Wilkins, que argumenta que uma estimulação sensorial intensa, como a leitura de um texto muito denso, poderia levar a uma redução dos mecanismos de inibição do córtex visual, resultando em uma excitação excessiva dos neurônios corticais (Wilkins, 1995).

A específica tonalidade das *overlay* (ex., amarelada, azulada), selecionadas individualmente por cada leitor, pode aumentar ou diminuir a transmissão do sistema magnocelular, reequilibrando o processamento visual (Croyle, 1998; Solan et al., 1998). Esse reequilíbrio ajuda a redistribuir a informação visual nos neurônios corticais da área visual primária occipital com menor excitabilidade, evitando áreas de hiperexcitação (Allen et al., 2008; Huang et al., 2003; Wilkins et al., 1994, 2001, 2008).

Essa teoria se sustenta pela melhora observada com o uso das overlays em transtornos com hiperexcitabilidade cortical, cujo efeito seria uma atenuação da sobrecarga sensorial visual, em pessoas com Transtorno do Espectro Autista (Ludlow et al., 2006, 2008b, 2012; Ludlow & Wilkins, 2009), enxaqueca (Evans et al., 1999; Williams et al., 1992), epilepsias fotossensíveis (Wilkins et al., 1999), e estresse visual secundários a acidente vascular cerebral (Beasley & Davies, 2013).

A alta proporção de participantes com o Transtorno do Espectro Autista (74%) com estresse visual pode ser explicada pela maior sensibilidade a estímulos sensoriais (olfativo, auditivo, gustativo, tátil e visual) que se manifesta e impacta desfavoravelmente na vida cotidiana desses pacientes (Al-Heizan et al., 2015; Cermak et al., 2010; Leekam et al., 2007).

Segundo Williams et al. (1992), a enxaqueca, que se caracteriza por alta hiperexcitabilidade cortical, está presente em 25–45% das pessoas com estresse visual. Em

estudos posteriores, a redução da hiperexcitabilidade cortical na enxaqueca pela intervenção espectral foi constatada por tomografia e por ressonância magnética funcional (Chouinard et al., 2012; Denuelle et al., 2011; Huang et al., 2011; Katz & Digre, 2016; Kim et al., 2015; Wilkins et al., 2007) e também na supressão dos sintomas clínicos em 90% das pessoas com enxaqueca induzida por estresse visual (Guimarães et al., 2010).

Com o uso das lâminas espectrais, pacientes com esclerose múltipla apresentam melhora significativa, no curto e em longo prazo, na leitura e na procura visual, com redução dos sintomas de estresse visual (Newman-Wright et al., 2007). Esses autores atribuem parte desse efeito a transtornos que provocariam hiperexcitabilidade cortical, como a alta frequência de enxaqueca (comorbidade de 56%) ou vivência de pelo menos uma crise epilética (4%) e não pela esclerose múltipla em si.

Adultos com hiperexcitabilidade cortical induzida por exposição a padrões de listras – e que obtiveram ganhos perceptuais e na taxa de leitura com as *overlays* – pontuaram mais na escala de neuroticismo (*Eysenck Personality Questionnaire*) do que o grupo controle, sem diferença significativa na escala de extroversão (Hollis et al., 2007). O construto psicológico ‘neuroticismo’ reflete a personalidade de pessoas facilmente influenciadas por afetos negativos, que englobam ansiedade, depressão, sentimento de culpa, baixa autoestima, tensão, mau humor, hipocondria, baixa autonomia e obsessão.

Pessoas com hiperexcitabilidade cortical normalmente possuem sensibilidade ao ofuscamento por padrões, que é uma anomalia sensorial no córtex visual que provoca distorções de percepção visual, especialmente quando submetidos a padrões repetitivos de listras em médias frequências espaciais e alto contraste. As linhas paralelas de um texto formam um padrão de listras que podem ter propriedades espaciais suficientes para provocar o ofuscamento por padrões, que, por sua vez, podem provocar epilepsias fotossensíveis e enxaquecas, ambos com alta comorbidade com o Estresse Visual (Wilkins et al., 1999). Em pacientes com alta susceptibilidade a esse tipo de estresse visual, o uso das *overlays* melhora a taxa de leitura e reduz a reserva acomodativa (Allen et al., 2008, 2010, 2012).

#### **2.4. Avaliação do déficit no sistema magnocelular visual e estresse visual**

Uma vez que o sistema magnocelular visual é responsável pela percepção de movimento, a avaliação da integridade do processamento temporal visual é fundamental para verificar a presença de distúrbios do processamento magnocelular visual. A avaliação do processamento temporal visual pode ser realizada, por exemplo, por meio do perimetria de frequência duplicada (*Frequency doubling Technology*) e por rastreadores oculares, tecnologias utilizadas nos Estudos 2 e Estudo 3 desta tese.

A dislexia do desenvolvimento pode ser objetivamente identificada por um déficit na percepção de movimento (Boets et al., 2011; Flint & Pammer, 2019; Pammer & Wheatley, 2001). No estudo seminal de Pammer e Wheatley, 21 participantes com DD apresentaram pior desempenho na detecção da perimetria de ilusão de duplicação de frequência do que 19 leitores do grupo controle, sendo menos sensíveis em toda a retina ( $p < 0,005$ ). Estudo mais recente, Flint e Pammer verificaram que um grupo de adultos analfabetos, de leitores normais e de semianalfabetos obtiveram desempenho semelhante em tarefas espaciais e temporais específicas relacionadas ao sistema magnocelular visual, com os três grupos apresentando desempenho superior ao grupo com dislexia ( $p < 0,005$ ). Flint e Pammer concluíram que essa falha funcional provavelmente não é consequência da falta de habilidade de leitura e aponta para um papel causal do processamento magnocelular.

Em relação aos aspectos visuais mensuráveis, diferentes estudos demonstraram habilidades motoras oculares anormais em pacientes com dislexia do desenvolvimento em comparação com pares com desenvolvimento normal, como sacadas frequentes de pequena amplitude, fixação instável, maior número de sacadas indesejadas, elevado número de regressões oculares durante a leitura, rastreamento ocular atípico, menor controle dos movimentos oculares na convergência voluntária, má coordenação binocular e déficit nos

movimentos de vergência (Bucci, 2019; Castro et al., 2008; Raghuram et al., 2018; Stein, 2019; Tiadi et al., 2016).

Poucos estudos utilizaram algum sistema de rastreamento ocular para investigar os efeitos das lâminas espectrais. Solan et al. (1998) investigaram os efeitos dos filtros nas habilidades motoras oculares (usando o equipamento Visagraph™ II) entre crianças do ensino fundamental com e sem dificuldades de leitura. Apesar de usar apenas três filtros espectrais (Lee Filters™ *clear*, *gray* e *blue*), Solan et al. verificaram que 75% dos participantes com dificuldade de leitura demonstraram um aumento na taxa de leitura e um número reduzido de fixações e regressões ao usar o filtro *blue*; se equiparando ao desempenho do grupo controle.

Mais recentemente, Razuk et al. (2018) descobriram que um grupo de dezoito crianças disléxicas apresentaram durações de fixação ocular reduzidas ao ler com um filtro *green* versus um filtro *yellow* ( $p < 0,02$ ) e versus nenhum filtro ( $p < 0,05$ ). Para o grupo de controle de mesma idade sem dislexia, não houve diferenças nas durações médias de fixação entre quaisquer condições de filtro.

Ressalta-se que para avaliar o impacto do estresse visual na habilidade de leitura, é importante a inclusão de instrumentos que intensifiquem o esforço visual até alcançar o desconforto visual, como o utilizado no Teste de Taxa de Leitura (Vilhena et al., 2019, 2020) e no Método Irlen (Irlen, 2003, 2011). O diagnóstico clínico deve incluir a avaliação da capacidade na execução de tarefas em um ambiente padronizado (ex., controle da iluminação e de ruídos externo, equipamentos psicométricos), assim como no ambiente cotidiano (ex., pessoal, social, acadêmico e ocupacional).

O Teste de Taxa de Leitura (RRT, *Rate of Reading Test*) é recorrentemente utilizado na literatura para avaliar o estresse visual, cuja estrutura [letras tamanho 9 e espaçamento simples] intensifica o estresse visual (Figura 6). O RRT avalia a eficiência dos processos visuais, cognitivos e fonoarticulatórios envolvidos no reconhecimento lexical e na pronúncia

em voz alta de 15 palavras conhecidas para o leitor, repetidas aleatoriamente em 20 linhas, dentro de um tempo delimitado de um minuto, com o escore dado em palavras lidas por minuto (taxa de leitura). Para quantificar o efeito das lâminas espectrais na taxa de leitura, o procedimento de aplicação do instrumento inclui a leitura em voz alta de cinco listas de estímulos distintas, sendo uma para treino e as outras quatro para testes. O treino e os testes 2 e 3 são lidos de forma habitual, com os testes 1 e 4 lidos sob o uso da intervenção espectral que melhor provê conforto para o leitor (sequência de aplicação ABBA).

vida mar fada ovo time pé já ar rua bala rei pão lua dia uva  
 ovo rua pé pão rei já vida lua uva dia fada bala mar time ar  
 lua dia rei vida ar bala mar fada ovo time uva pão rua pé já  
 pão uva já lua time pé rei ar rua bala dia fada vida ovo mar  
 fada vida mar rua bala pão time ovo pé já dia ar uva rei lua  
 uva rua bala dia time já ar rei pé vida fada lua mar ovo pão  
 ar fada mar uva lua dia bala já rua ovo pé time pão vida rei  
 time uva ar rua vida fada ovo pão mar rei lua dia pé bala já  
 pé vida ovo time pão dia bala rua lua uva já mar rei ar fada  
 pão dia já bala lua ar rua time vida rei pé fada uva ovo mar  
 vida mar fada ovo time pé já ar rua bala rei pão lua dia uva  
 ovo rua pé pão rei já vida lua uva dia fada bala mar time ar  
 lua dia rei vida ar bala mar fada ovo time uva pão rua pé já  
 pão uva já lua time pé rei ar rua bala dia fada vida ovo mar  
 fada vida mar rua bala pão time ovo pé já dia ar uva rei lua  
 uva rua bala dia time já ar rei pé vida fada lua mar ovo pão  
 ar fada mar uva lua dia bala já rua ovo pé time pão vida rei  
 time uva ar rua vida fada ovo pão mar rei lua dia pé bala já  
 pé vida ovo time pão dia bala rua lua uva já mar rei ar fada  
 pão dia já bala lua ar rua time vida rei pé fada uva ovo mar

**Figura 6.** Exemplo de uma das cinco listas do Teste de Taxa de Leitura. Fonte: Vilhena et al., 2019.

O teste RRT foi utilizado em duas dissertações de mestrados para quantificar o efeito das lâminas espectrais na taxa de leitura de crianças brasileiras, realizadas na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (Garcia, 2016) e na Universidade Federal de Alfenas (Leão, 2018). Garcia (2016) investigou uma amostra de 68 crianças no 5º e 6º ano do Ensino Fundamental, cujos resultados foram publicados por Garcia, Momensohn-Santos e Vilhena (2017) e por Garcia, Vilhena, Guimarães, Pinheiro e Momensohn-Santos (2019). A dissertação

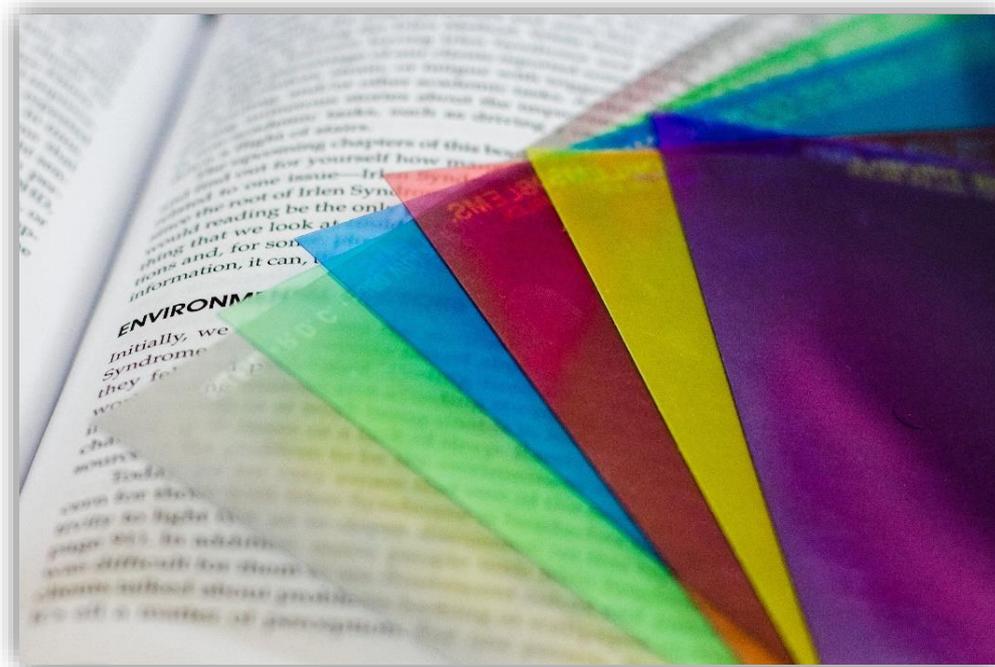
de Leão (2018) investigou uma amostra de 58 crianças do 3º e 4º ano com dificuldade de leitura. Em ambas as dissertações foram excluídas da amostra crianças com problemas refrativos não corrigidos.

Problemas refracionais afetam a acuidade visual, impactando na acurácia e fluência leitora, o que limita a análise do ganho real na taxa de leitura. Esse rigor na seleção da amostra não foi adotado por Ritchie et al. (2011), onde 54,3% das 61 crianças escocesas com dificuldade de leitura apresentavam problemas ópticos não corrigidos. Ademais, a metodologia utilizou o teste RRT com fonte ampliada, anulando o fator estressor induzido pelo teste padrão, que estipula a impressão com letra pequena e espaçamento simples, preconizado por Wilkins et al. (1996).

Por fim, as manifestações visuais do estresse visual supra descritas requerem uma atenta avaliação interdisciplinar para o diagnóstico diferencial com transtornos de leitura de etiologia não visuais (Guimarães et al., 2017; Evans & Allen, 2016; Guimarães & Guimarães, 2012; Vidyasagar & Pammer, 2010). A avaliação e a intervenção na dificuldade de leitura decorrente do estresse visual devem ser específicas para que seja minimizado o déficit no processamento visual, já que a falha em componentes cognitivos da linguagem não são centrais ao distúrbio.

## 2.5. Intervenção no estresse visual por meio de lâminas espectrais (*spectral overlays*)

As lâminas espectrais (*spectral overlays*) são fabricadas em folhas em acetato transparente, resistente ao manuseio diário em sala de aula, usadas sobrepostas no texto impresso ou na tela do computador durante a leitura (Figura 7).



**Figura 7.** Exemplos de lâminas espectrais do Método Irlen. Fonte: Garcia et al., 2019.

Os modelos de *overlays* do Método Irlen são disponibilizados em uma ampla variedade de tonalidades, com um dos lados fosco e o outro brilhante. A Figura 8 exibe a cromaticidade (tom, saturação e brilho) de oito das dez *overlays* (●), e as suas sobreposições (▲), analisadas por Wilkins (1994) de acordo com o diagrama CIE 1976. As *overlays* cobrem ampla gama de cores e de saturação, com uma distribuição não uniforme no CIE 1976.

As lâminas espectrais podem ser combinadas até no máximo uma vez (▲), o que aumenta a variedade de opções, com tons mais escuros e fortes (maior saturação) (Figura 8). Assim, além dos 10 *overlays* base, é possível formar outras 10 por meio da sobreposição com

uma lâmina da mesma tonalidade e mais 45 sobrepondo com outras tonalidades, o que gera um total de 65 cromaticidades no Método Irlen.

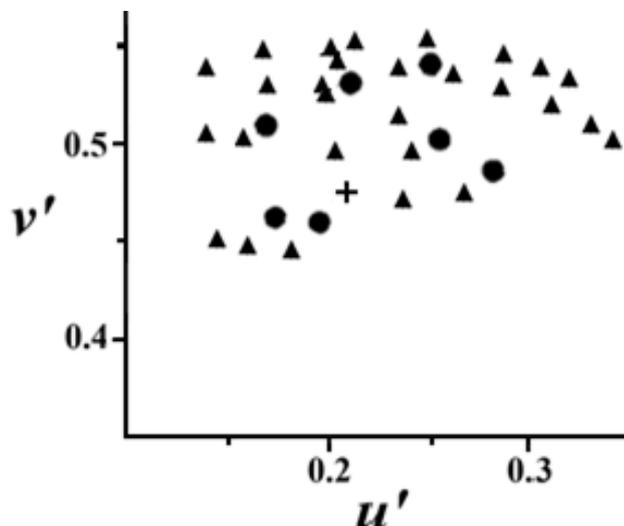
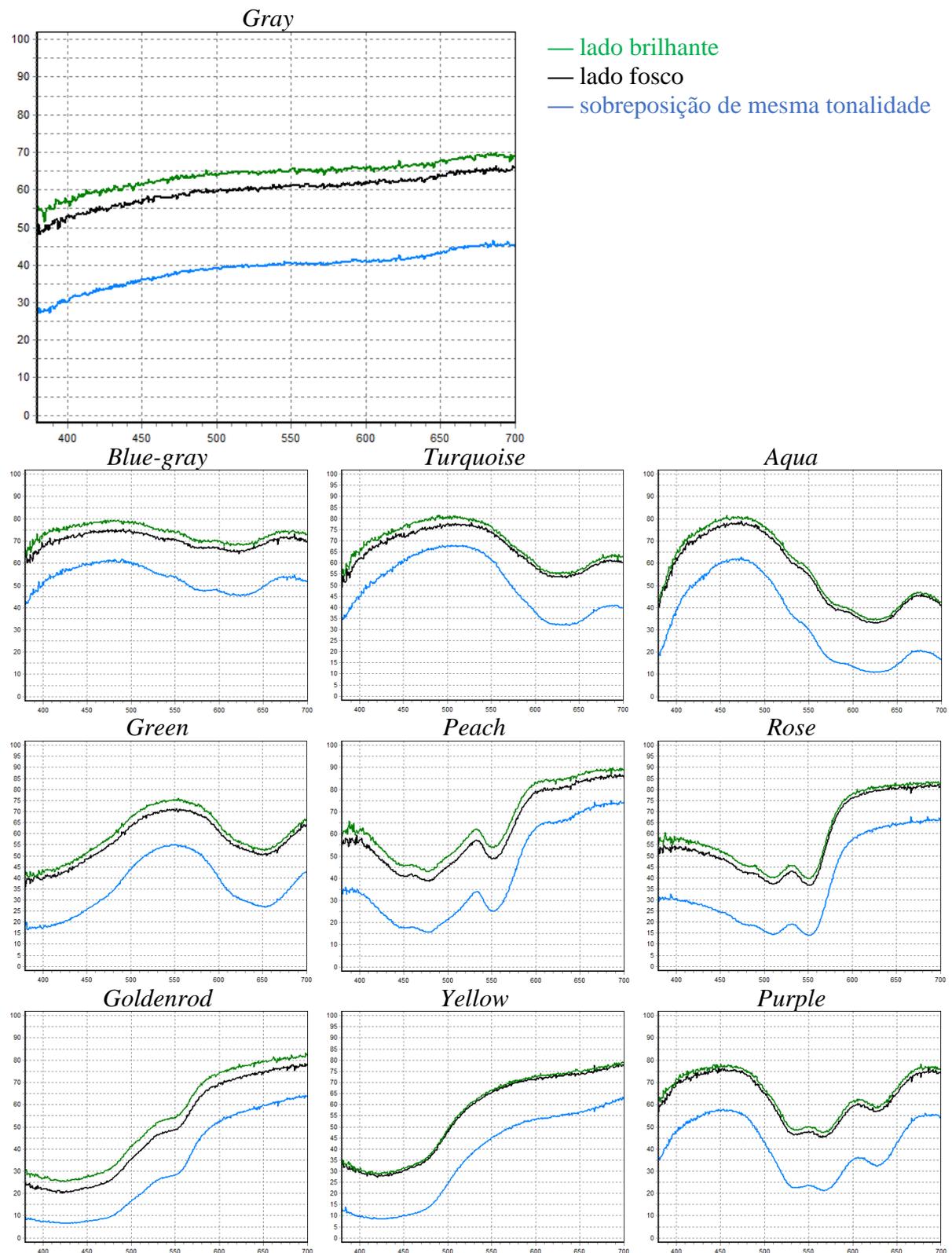


Figura 8. Diagrama CIE 1976 com as coordenadas de cromaticidade das Irlen Overlays (●) e dos seus pares combinados (▲), com a cor branca/cinza centralizada (+). Não foram analisados as *overlays Purple* e *Aqua*, localizadas aproximadamente no quadrante inferior direito e esquerdo, respectivamente. Fonte: Wilkins (1994).

Uma vez que a luz branca é composta por diferentes comprimentos e frequências eletromagnéticas, as lâminas espectrais absorvem e refletem específicas faixas de luz do espectro visível (Figura 9). O uso de lâminas espectrais é fundamentado pelo bloqueio de específicas faixas da luz visível, sendo a percepção de cor uma consequência. Uma *overlay* terá determinada cor se não absorver os comprimentos de onda que correspondem àquela cor. Ou seja, a cor da *overlay* é determinada pela cor que for refletida.

O bloqueio de certas faixas ativará de forma distinta as células fotorreceptoras na retina, alterando a transmissão da informação retino-geniculo-cortical entre os sistemas visuais paralelos magnocelular e parvocelular. O bloqueio espectral das *overlays* vai desde aquelas que favorecem transmissões de comprimento de onda mais curto (ex., '*Aqua*', '*Blue-Grey*' e '*Turquesa*'), para aqueles que favorecem a luz de comprimento de onda mais longo (ex., '*Yellow*', '*Goldenrod*' e '*Peach*') (Figura 9). Vilhena realizou as análises da espectrofotometria

(absorção e transmitância) das lâminas espectrais do Método Irlen, no LAPAN-UFMG, com o equipamento *OSM 2 Series Infrared Spectrometer* (Newport Corporation, Irvine, USA).



**Figura 9.** Espectrofotometria das lâminas espectrais em função do comprimento de onda em nanômetros (Eixo X) e porcentagem de transmissão (Eixo Y). Legenda: lado brilhante (linha verde), lado fosco (linha preta) e sobreposição da mesma tonalidade (linha azul). Fonte: próprio autor.

Com relação à intervenção nos sintomas de estresse visual, foi amplamente relatado que a interposição de lâminas espectrais minimiza as distorções visuoperceptuais e aumenta o conforto visual (Allen et al., 2012; Evans & Joseph, 2002; Hlengwa, Moonsamy, Ngwane, Nirghin, & Singh, 2017; Jeanes et al., 1997; Kriss & Evans, 2005; Ludlow et al., 2006, 2008; Nichols et al., 2009; Noble et al., 2004; Singleton & Henderson, 2007; Tyrrell et al., 1995; Wilkins et al., 1996, 2001; Wilkins & Lewis, 1999; Wright et al., 2007). Como não existe uma tonalidade genérica que melhore o desempenho de leitura para todos, é necessário a exposição individualizada às opções de *overlays* e às suas combinações, sendo esse processo de seleção idiossincrático, específico e consistente (Irlen, 1994, 2010; Vilhena et al., 2018).

Ao minimizar as distorções na leitura, com ganhos no conforto e fluência, é esperado uma aderência prolongada ao uso desse recurso em condições de sala de aula (Jeanes et al., 1997; Scott et al., 2002; Wilkins et al., 2001). As lâminas espectrais beneficiam outros aspectos envolvidos na leitura, como o contraste do texto impresso no papel (figura/fundo), atenuação das diversas distorções que se manifestam progressivamente e no conforto visual pela redução da percepção de brilho e do esforço visual.

Estudos verificaram que quanto maior a dificuldade, desconforto e presença de distorções, maior é o ganho na taxa de leitura com o uso das lâminas espectrais (Hollis & Allen, 2006; Tyrrell et al., 1995; Wilkins et al., 2001). Esse achado é corroborado por um estudo com crianças do ensino fundamental brasileiro, que verificou que aquelas que apresentavam mais sintomas de desconforto na leitura eram três vezes mais propensas (*odds ratio* = 3,36) a experimentar aumento da taxa de leitura com as lâminas espectrais, em comparação com leitores com menos sintomas (Garcia et al., 2017).

A dificuldade de leitura é um dos maiores indicadores tanto para o autorrelato de melhora na qualidade de acesso visual ao texto quanto para o ganho na taxa de leitura com o uso das lâminas (Kriss & Evans, 2005; Singleton & Henderson, 2007b; Tyrrell et al., 1995).

Noble et al. (2004) verificaram que a leitura com *overlays* ajudou crianças com diagnóstico de estresse visual com dificuldade de leitura a alcançar as normas de leitura esperadas no nível da série dentro de três meses, enquanto um grupo de controle composto por crianças semelhantes sem intervenção mostrou ganhos insignificantes. Mais especificamente, Noble et al. observaram em crianças com Estresse Visual de moderada a severa um ganho de 1.2 anos a 1.6 anos na habilidade de leitura após três meses de uso das lâminas espectrais, recuperando a defasagem acadêmica, enquanto o equivalente grupo controle apresentou ganhos negligenciáveis de 0 a 5 meses.

A revisão sistemática de Evans e Allen (2016) sobre dez estudos que utilizaram os *overlays* mostra que esta intervenção, além de ser segura e não invasiva, alivia os sintomas de astenopia e melhora o desempenho de leitura dos pacientes com estresse visual. A investigação clínica do estresse visual pelo profissional da saúde ou da educação deve reduzir a probabilidade de falso positivo pela escolha do tratamento por razões não clínicas, como preferência estética, efeito placebo (uma vez que não é possível ocultar completamente os *overlays* dos participantes) ou por conveniência (justificativa para o baixo desempenho). As lâminas espectrais também são utilizadas na identificação do estresse visual, sendo sinais diagnósticos a melhora de pelo menos  $\geq 15\%$  da taxa de leitura com os *overlays* e o seu uso voluntário por pelo menos três meses (Evans et al., 2017).

### 2.5.1. *Frequência da seleção da lâmina espectral por meio do autorrelato (critério qualitativo)*

Por meio do autorrelato (critério qualitativo), foi verificado que de 40% a 88% das crianças da população geral relataram melhora perceptual da qualidade do texto e no conforto visual com o uso das lâminas espectrais (Jeanes et al., 1997; Scott et al., 2002; Tyrrell et al., 1995; Wilkins et al., 1996; Wilkins & Lewis, 1999; Wilkins et al., 2001). De acordo com a Tabela 1, na metaanálise de onze amostras de sete estudos ( $N = 1756$ ), 63% das crianças e adolescentes escolheram pelo menos uma lâmina espectral (Vilhena et al., 2019). Porcentagens estatisticamente maiores foram encontradas nos estudos de Miller (1985) e Evans e Joseph (2002), onde 88% e 89% dos universitários, respectivamente, relatam melhora qualitativa da leitura com as lâminas ( $\chi^2 = 47,01, p < 0,0001$ ), o que sugere que adultos possuem alta demanda de leitura e maior valorização do conforto visual.

Considerando grupos clínicos, a melhora visual perceptual do texto com a lâmina espectral foi estatisticamente maior em crianças com dificuldade de leitura, cujo índice de melhora varia de 71 a 100% (média de 87%, amostra total = 268, autorrelato = 232) (Bernal, 2011; Kriss & Evans, 2005; Northway, 2003; Tyrrell et al., 1995). Em um estudo com adultos presidiários nos Estados Unidos, que apresentavam desconforto ou dificuldade de leitura de moderada a severa, pelos critérios do Método Irlen, 90% relataram melhora na percepção do texto com o uso da lâmina espectral (Whichard et al., 2000). Outro estudo verificou que 100% ( $n/N = 31/31$ ) dos jovens com surdez escolheram pelo menos um overlay, proporção maior do que os 67% ( $n/N = 26/39$ ) do grupo controle de ouvintes com desenvolvimento típico (Hollingsworth et al., 2015).

**Tabela 1.** Frequência e porcentagem da seleção da lâmina espectral, em diferentes populações (com diferentes critérios de seleção), por meio do autorrelato de melhora na qualidade da leitura em diferentes estudos.

Pop	Critérios de seleção da amostra	<i>n/N</i>	%	Estudo
Crianças e Adolescentes	Grupo controle, 11–18 anos	26/39	67	Hollingsworth (2015)
	Seleção aleatória, 5–11 anos	47/93	51	Jeanes et al. (1997)
	Seleção aleatória, 11–12 anos	32/59	54	Jeanes et al. (1997)
	Seleção aleatória, 7–11 anos	81/199	41	Scott et al. (2002)
	Seleção aleatória, 10–12 anos	132/153	86	Scott et al. (2002)
	Seleção não especificada, exclusão de crianças com idade de leitura com mais de dois anos abaixo da idade cronológica, 8–16 anos	23/40	58	Tyrrell et al. (1995)
	Seleção aleatória, 8–11 anos	38/77	49	Wilkins et al. (1996)
	Seleção aleatória, 7–11 anos	81/203	40	Wilkins e Lewis (1999)
	Seleção aleatória, 8–10 anos	78/89	88	Wilkins et al. (2001)
	Seleção aleatória, 8–12 anos	314/378	83	Wilkins et al. (2001)
	Seleção aleatória, 6–8 anos	256/426	60	Wilkins et al. (2001)
	<b>TOTAL</b>		<b>1108/1756</b>	<b>63</b>
Adultos*	Seleção espontânea, amostra não representativa, 18–44 anos	101/113	89	Evans e Joseph (2002)
	Seleção amostral não especificada, universitários com e sem dificuldade leitora	57/65	88	Miller (1985)
	<b>TOTAL</b>		<b>158/178</b>	<b>89*</b>
Dificuldade de leitura*	Amostra de conveniência, 7–12 anos	17/24	71	Bernal (2011)
	Amostra de conveniência, disléxicos, 7–12 anos	27/32	84	Kriss e Evans (2005)
	Amostra populacional, 7–10 anos	58/58	100	Leão (2018)
	Amostra de conveniência, disléxicos, 6–12 anos	50/64	78	Northway (2003)
	Idade de leitura de um a dois anos abaixo da idade cronológica, 8–16 anos	9/12	75	Tyrrell et al. (1995)
	Idade de leitura de três a cinco anos abaixo da idade cronológica, 14–16 anos	6/6	100	Tyrrell et al. (1995)
	Amostra estratificada, presidiários com desconforto e dificuldade de leitura de moderada a severa, 16–67 anos	65/72	90	Whichard et al. (2000)
	<b>TOTAL</b>		<b>232/268</b>	<b>87*</b>

*N* = amostra total; *n* = subamostra; \*Chi-Quadrado com diferença significativa em relação ao grupo de Crianças e Adolescentes,  $p < 0,05$ . Fonte: Vilhena, Guimarães e Guimarães (2019).

### 2.5.2. *Frequência do uso prolongado das lâminas espectrais (validade prática)*

O uso prolongado das lâminas espectrais se refere a sua utilização voluntária e continuada a longo prazo, sendo um bom indicador da prevalência populacional do estresse visual. Esse dado evidencia que o leitor utiliza a *overlay* espontaneamente no dia a dia, a considerando importante para melhorar a qualidade visual de sua leitura. Diferentes estudos longitudinais demonstraram que em média 30% das crianças (299 de 1014 participantes) mantiveram o uso prolongado das lâminas por pelo menos dois meses após a seleção por meio do autorrelato (Jeanes et al., 1997; Scott et al., 2002; Wilkins et al., 1996, 2001; Wilkins & Lewis, 1999).

Em média, a prevalência do uso das lâminas reduziu de 63% para 29% após 2–4 meses de uso das lâminas (Jeanes et al., 1997; Scott et al., 2002; Wilkins et al., 1996), e de 58% para 31% após 8–10 meses (Jeanes et al., 1997; Wilkins et al., 2001). Ou seja, 29,5% ( $n/N = 299/1014$ ) das crianças em idade escolar utilizaram espontaneamente as lâminas como ferramenta educacional no cotidiano de sala de aula. Esse índice é um dos mais importantes aqui descritos, pois provê validade prática para uso das lâminas espectrais, evidenciando que grande proporção de pessoas continua as usando mesmo após o declínio do fator motivacional. Assim, é improvável que os efeitos da novidade ou do placebo sejam fatores motivacionais primários.

### 2.5.3. *Ganho na taxa de leitura com a lâmina espectral (critério quantitativo)*

O desempenho de leitura é um importante parâmetro para verificar a intensidade dos benefícios das lâminas espectrais e a probabilidade do seu uso continuado. Quantificar a taxa de leitura, por meio do RRT, é uma forma objetiva de analisar a eficiência e a prevalência do ganho visual leitor com o uso das lâminas, o que tornou esse teste o mais utilizado nos estudos científicos na área desde 1996.

O RRT foi criado após Tyrrell et al. (1995) terem percebido diferença significativa nos sintomas visuais e na leitura somente após 10 minutos, sendo fundamental criar um teste que possua reduzido caráter linguístico, focado nos processamentos visuais necessários para a leitura, e que consiga detectar diferença em um menor tempo de aplicação. O RRT possui como foco os aspectos visuais da leitura, com reduzido acesso à aspectos linguísticos mais complexos, uma vez que as palavras são familiares (alta frequência de ocorrência) e com curto comprimento (2 a 4 letras). A versão em português do Teste de Taxa de Leitura compõe a Bateria de Testes de Leitura (Pinheiro & Vilhena, 2021).

Como demonstrado em uma outra revisão sistemática de literatura (Vilhena, Guimarães, Guimarães, 2019), o efeito dos *overlays* na taxa de leitura se apresenta dentro de um contínuo de intensidade, com ganhos leves (5%), moderados (10 a 15%) ou robustos (25%). O critério de ganho de pelo menos  $\geq 5\%$  na taxa de leitura com *overlays* é o mais utilizado para fins de pesquisa e de rastreio da população com estresse visual. Já o critério de  $\geq 15\%$  no RRT possui significância clínica, pois é um sinal diagnóstico de estresse visual, e representa um aumento além do intervalo da variação intraindividual (Evans et al., 2017; Garcia et al., 2017; Vilhena et al., 2019).

Vilhena, Guimarães e Guimarães (2019) argumentam que o critério mais rigoroso de ganho na taxa de leitura ( $\geq 25\%$ ) pode não refletir a real proporção da população com robusta melhora na leitura com *overlays*, em especial na população de adultos, devido ao efeito de teto do RRT, uma vez que há um limite de tempo fonoarticulatório para produzir a leitura em voz alta. Para evitar a confusão com outros os valores de porcentagem aqui reportados, o símbolo de maior ou igual ( $\geq$ ) precede os valores dos critérios de corte do RRT.

Ao considerar todos os estudos, o ganho no desempenho da taxa de leitura (pelo menos  $\geq 5\%$  de aumento) foi encontrado em 18–43% dos participantes (Evans & Joseph, 2002; Garcia et al., 2017; Kriss & Evans, 2005; Nichols et al., 2009; Singleton & Henderson, 2007a; Wilkins

et al., 1996, 2001) (Tabela 2 e Figura 10). Com o critério de corte mais rigoroso de melhora de  $\geq 25\%$  na leitura, foi encontrada uma prevalência de 5% em crianças de 6 a 8 anos (Wilkins et al., 2001) e de 2% em adultos (Evans & Joseph, 2002).

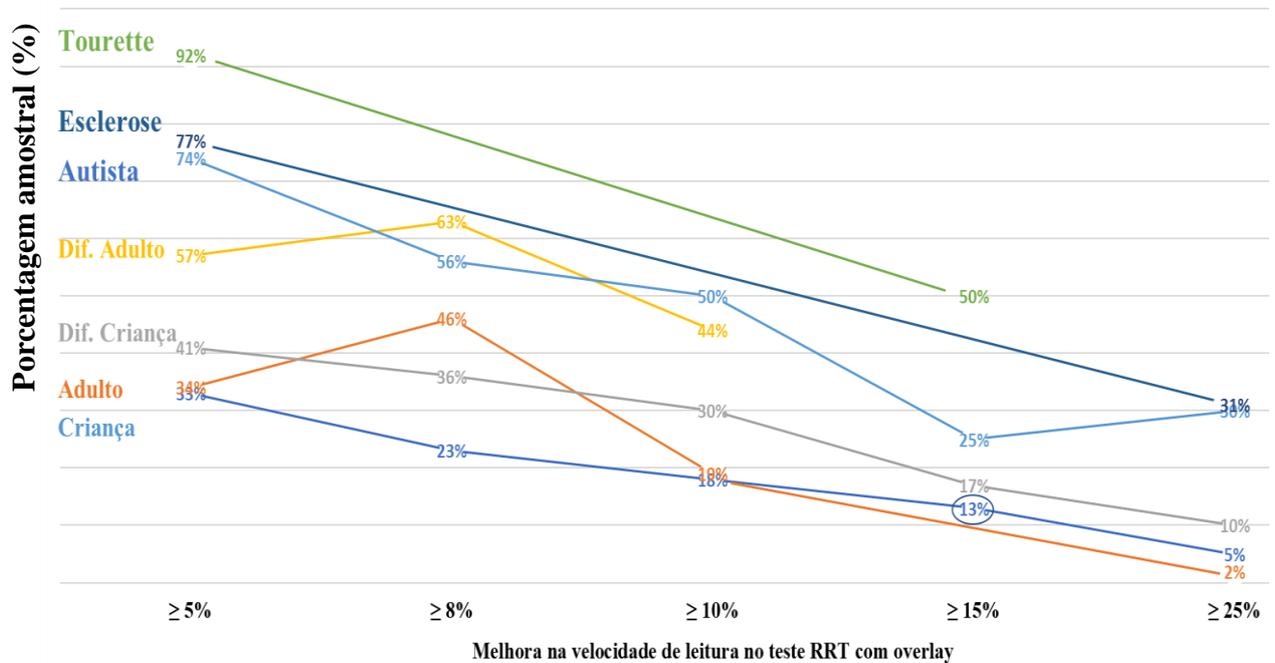
Em amostras clínicas, esta proporção aumentou para 30% em pacientes com Transtorno do Espectro Autista (Ludlow et al., 2006, 2008; Whitaker et al., 2016), e 31% em pacientes com esclerose múltipla (Newman-Wright et al., 2007). Como sumarizado na Tabela 2 e na Figura 10, 33% da população geral apresenta no mínimo ganhos leves na taxa de leitura com o uso da lâmina espectral ideal, com cerca de 13% demonstrando ganhos moderados (Vilhena et al., 2019).

A sensibilidade do RRT em prever o uso prolongado das lâminas espectrais varia de 60 a 73% (Northway, 2003; Wilkins et al., 1996, 2001). Apesar do RRT ser um bom indicador do uso prolongado das *overlays*, muitas pessoas podem não apresentar ganhos na taxa de leitura, mas somente no conforto visual (Northway). Importante destacar que a análise da taxa de leitura deve ser complementada com outros dados clínicos e quantitativos, como por exemplo os de oculomotricidade e perimetria de frequência duplicada.

**Tabela 2.** Síntese da metaanálise da prevalência do ganho no Teste de Taxa de Leitura (RRT) com o uso da lâmina espectral ideal. Fonte: Vilhena et al., 2019.

População (%)		Melhora na taxa de leitura no teste RRT				
		≥ 5%	≥ 8%	≥ 10%	≥ 15%	≥ 25%
Amostra populacional	Crianças e adolescentes	33	23	18	13	5
	Adultos	34	46*	19	-	2*
Dificuldade de leitura*	Crianças*	41	36*	30*	17	10*
	Adultos*	57*	63*	44*	-	-
Transtornos*	Espectro Autista*	74*	56*	50*	25	30*
	Síndrome de Tourette*	92*	-	-	50*	-
	Esclerose múltipla*	77*	-	-	-	31*

\*Chi-Quadrado com diferença significativa em relação ao grupo de Crianças e Adolescentes,  $p < 0,05$ . Fonte: Vilhena et al. (2019).



**Figura 10.** *Síntese da Meta-análise da porcentagem da prevalência populacional (eixo x) pelo ganho no Teste de Taxa de leitura com o uso da lâmina espectral (eixo y) Fonte: próprio autor, 2021.*

## 2.6. Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – Universidade do Porto

Vilhena foi contemplado com bolsa do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes – Brasil) (Processo: 88881.361553/2019-01). As pesquisas foram desenvolvidas na Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto (FPCE.UP), Porto, Portugal, sob orientação do Prof. Dr. Rui Alves, no período de outubro de 2019 a maio de 2020. O Conselho Científico da FPCE.UP aprovou o projeto ‘Construção de baterias de avaliação da habilidade leitora de alunos do Ensino Fundamental’ na Reunião Nº 10/CC/2020, em 25 de novembro de 2021 (Apêndice A). Em março de 2021, Vilhena foi selecionado pelo Gabinete Alumni para ser Embaixador de Intercâmbio da Universidade do Porto, por um período de dois anos (2021-2023), com o objetivo de fortalecer os vínculos institucionais.

A Universidade do Porto, fundada em 1911, é a melhor instituição de ensino superior de Portugal, com tradição cultural, excelência em ensino/pesquisa/extensão, infraestrutura consolidada e rede de docentes de alto impacto científico. O Prof. Dr. Rui Alves, pesquisador da FPCE.UP, possui como principais interesses de pesquisa os processos cognitivos e afetivos na escrita, instrução de alfabetização, desenvolvimento de alfabetização e distúrbios de aprendizagem (Alves, 2019; Alves et al., 2020). Alves é coordenador da *European Literacy Network*, rede financiada pela AÇÃO COST (*European Cooperation in Science and Technology*), que fortalece os conhecimentos produzidos pela investigação científica e tecnológica nas práticas educativas. Alves coordena as reuniões mensais do *Porto Writing Group* da Universidade do Porto, com encontros presenciais entre outubro de 2019 a fevereiro de 2020, e encontros online a partir de março de 2020 devido a pandemia do COVID-2019.

*2.6.1. Bateria de Testes de Leitura: reconhecimento de palavras e pseudopalavras, taxa de leitura, compreensão de sentenças, escala do professor*

O objetivo principal do PDSE foi alcançado com a sistematização das fontes de evidências psicométricas da Bateria de Testes de Leitura (Pinheiro & Vilhena, 2021), que avalia da habilidade de leitura de alunos do 2º ao 5º ano do ensino fundamental brasileiros. A Bateria de Testes de Leitura é composta pelo: (1) Teste de Reconhecimento de Palavras (TRP) (Pinheiro & Vilhena, 2020a); (2) Teste de Reconhecimento de Pseudopalavras (TRPp) (Pinheiro & Vilhena, 2020b); (3) Teste de Taxa de Leitura (RRT) (Vilhena & Pinheiro, 2020b); (4) Teste de Leitura: Compreensão de Sentenças (TELCS) (Vilhena et al. 2016; Vilhena & Pinheiro, 2020c); e (5) a Escala de Avaliação da Competência em Leitura pelo Professor (EACOL) (Pinheiro & Vilhena, 2020c).

O TRP e o TRPp avaliam a leitura em voz alta de escolares brasileiros (Pinheiro, 2013). O escore é dado em acurácia (porcentagens de palavras/pseudopalavras lidas corretamente) e taxa de acurácia (número de palavras/pseudopalavras lidas corretamente por minuto). O TRP e o TRPp alcançaram evidências de fidedignidade (consistência interna e equivalência) e de validade (conteúdo, estrutura interna, externa convergente, discriminante e de critério) satisfatórias, o que sustentou o estabelecimento de normas padronizadas para os alunos do 2º ao 5º ano do Ensino Fundamental (Pinheiro & Vilhena, 2021). Estes resultados complementam os dados encontrados em estudos prévios (Cogo-Moreira et al., 2012; Pinheiro, 2013; Pinheiro, Vilhena & Santos, 2017; Vilhena, 2015; Vilhena et al., 2016; Vilhena, & Pinheiro, 2016, 2020).

O TRP e o TRPp apresentaram significantes efeitos psicolinguísticos de lexicalidade (palavras lidas com mais acurácia do que as pseudopalavras), de regularidade (palavras regulares para a leitura foram lidas com maior acurácia do que as irregulares), o efeito de frequência (palavras frequentes mais acuradas que não frequentes) e o efeito de extensão (maior acurácia na leitura de palavras/pseudopalavras curtas, quando comparadas as longas) ( $p < 0.05$ )

(Pinheiro & Vilhena, 2020ab). Especificamente quanto as evidências de fidedignidade, os resultados de consistência interna evidenciaram grau de covariância próximo ao máximo ( $KR-20 = 0,98$ ), com evidência forte de que os itens do TRP e TRPp medem o mesmo construto (i.e., decodificação grafêmica). Os resultados das análises pelo método das duas metades demonstraram que o mesmo indivíduo obteve um escore médio equivalente nas duas metades do TRP e do TRP, o que demonstra a homogeneidade dos instrumentos. Houve equivalência entre as três formas paralelas do TRP e as do TRPp, o que permite alternar, sem prejuízo psicométrico, a apresentação das versões para evitar o efeito de ordem dos itens.

O Teste de Taxa de Leitura (RRT) (Vilhena, Guimarães, Guimarães, & Pinheiro, 2020) é uma adaptação do *Rate of Reading Test*, que foi criado por Wilkins et al. (1996) para identificar o estresse visual na leitura e o efeito das lâminas espectrais objetivamente. O instrumento é composto por quinze vocábulos reais, de alta frequência, no singular, regulares, de curta extensão e equilibrados por gênero. Os vocábulos foram selecionados após rigorosa avaliação, que consistiu em duas rodadas de consulta à juízes especialistas e estudos com participantes do ensino fundamental.

A apresentação 'Adaptação do Teste de Taxa de Leitura: Seleção dos vocábulos' recebeu o prêmio de melhor trabalho da categoria Jovem Pesquisador Sênior no I Encontro Mineiro de Neuropsicologia Escolar, organizado pelo Laboratório de Neuropsicologia do Desenvolvimento da Universidade Federal de Minas Gerais, em março de 2019. O instrumento apresentou evidências psicométricas satisfatórias de fidedignidade (teste-reteste e equidade das formas paralelas) e validade de conteúdo, o que permite sustentar as interpretações do escore da taxa de leitura (i.e., número de palavras lidas em um minuto) (Garcia et al., 2017, 2019; Vilhena et al., 2019, 2020).

O TELCS é uma adaptação do teste francês de leitura Lecture 3 (L3) (Lobrot, 1967, 1980) para a língua portuguesa brasileira por Vilhena, Sucena, Castro e Pinheiro (2016),

desenvolvida como parte da Dissertação de Mestrado de Vilhena, sob a orientação de Pinheiro (Vilhena, 2015). A adaptação do TELCS deu início a parceria com a Universidade do Porto por meio da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> São Luís Castro, coautora do artigo de validação de conteúdo (Vilhena et al., 2016). O Teste de Idade de Leitura (TIL) é a versão equivalente do L3 para o português europeu (Sucena & Castro, 2010). Vilhena e Pinheiro (2020) publicaram fontes de evidências de fidedignidade, validade da estrutura interna, validade externa e normatização do TELCS. Como fonte de auxílio, a adaptação do TELCS foi realizada em parte com o apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 134357 / 2013-2), e CAPES.

A ‘Escala de Avaliação da Competência em Leitura pelo Professor’ (EACOL) é uma medida indireta de avaliação do desempenho de leitura em crianças do 2º ao 5º ano do Ensino Fundamental. A EACOL foi elaborada (Pinheiro & Costa, 2011), validada (Cogo-Moreira et al., 2012; Lúcio & Pinheiro, 2013; Pinheiro & Costa, 2015) e revisada e normatizada (Vilhena & Pinheiro, 2016). Trata-se, portanto, de um instrumento psicométrico de heteroavaliação para orientar os professores na categorização inicial das habilidades de leitura de seus alunos. É composto por itens que abarcam a leitura em voz alta e a leitura silenciosa e que oferecem aos professores critérios objetivos para auxiliá-los no julgamento da habilidade de leitura de seus alunos. Propicia uma forma fidedigna, válida e rápida de se fazer uma primeira triagem sobre a habilidade de leitura de escolares, resgatando assim o papel do professor como a primeira fonte de identificação de dificuldade de leitura de seus alunos (Pinheiro, 2013).

Os instrumentos desenvolvidos para compor a Bateria de Testes de Leitura contribuem para uma avaliação psicométrica da habilidade de leitura, com normas de referência em Percentil para escolares brasileiros, sustentando a triagem e o diagnóstico do Transtorno Específico da Aprendizagem com prejuízo na leitura. Do ponto de vista científico, a obtenção de instrumentos válidos e confiáveis permitirá o diálogo interinstitucional (Universidades,

Centros de Estudo, referências na área), diminuindo o impacto das dificuldades de interlocução que nos desagrega da comunidade científica internacional.

A médio prazo objetiva-se instrumentalizar profissionais na área de educação e saúde da comunidade lusófona para identificarem precocemente os alunos com defasagem no aprendizado da leitura e da escrita para recuperar a defasagem e ultrapassar o analfabetismo funcional. Os instrumentos de avaliação da leitura e escrita são tecnologias que permitirão a longo prazo comparar dados normativos entre as populações de diferentes tipos de Ensino (Municipal, Estadual e Federal) e de diferentes Estados/Distritos brasileiros e portugueses.

Além de alcançar o objetivo principal proposto para o PDSE, com a aprovação do projeto de sistematizou as fontes de evidências psicométricas da Bateria de Testes de Leitura, foram desenvolvidos projetos paralelos na Universidade do Porto, mas que não cabe discorrer nesta tese de doutoramento. As publicações derivadas do período no exterior ampliaram e fortaleceram o nível de colaboração institucional entre os Departamentos de Psicologia da Universidade Federal de Minas Gerais e o da Universidade do Porto.

### 3. Justificativa

A presente tese foi elaborada tendo em consideração os leitores cuja dificuldade de leitura tem como base um estresse visual, cuja atenuação é feita com o uso de lâminas espectrais. Compreender a dinâmica do processamento visual central e seus distúrbios durante a leitura são importantes para: (a) revela tendências e lacunas existentes no campo, (b) orienta o desenvolvimento de estudos futuros e (c) maximiza os investimentos para aumentar o conhecimento. É imprescindível que as definições dos construtos sejam explicitadas e definidas de forma clara e específica, assim como prover instrumentos adequados e válidos para caracterizar o estresse visual.

O Estudo 1 foi elaborado após verificar que os resultados das pesquisas com as lâminas espectrais podem ter pouco poder de generalização, uma vez que poucos estudos investigaram as habilidades motoras oculares, limitada variedade de instrumentos, não apresentam definições claras dos construtos investigados dos grupos clínicos, limitada variedade de bloqueios espectrais, tipo de seleção da amostragem, além da heterogeneidade das amostras, que são compostas por participantes com dificuldade de leitura que podem ou não ter estresse visual.

O Estudo 2 tem como hipótese que participantes com dislexia do desenvolvimento apresentam déficits no sistema magnocelular (visão periférica e habilidades motoras oculares), concomitante a um sistema parvocelular preservado (acuidade visual central). As vias visuais magnocelulares e parvocelulares estão diretamente envolvidas na leitura proficiente, pois são sistemas paralelos e parcialmente dependentes. Embora seja intuitivo pensar que a visão foveal (via visual parvocelular) é importante para extrair informações espaciais de alta resolução de letras e palavras, a região parafoveal (principalmente via visual magnocelular) é fundamental durante a leitura proficiente para pré-direcionar a sacada subsequente para o próximo ponto de fixação ideal e permitir uma leitura fluente (Ashby et al., 2012; Hansen et al., 2001).

O Estudo 3, ao considerar que as críticas ao uso de lâminas espectrais persistem, teve como hipótese de que a tecnologia de rastreamento ocular pode fornecer um meio novo e complementar de testar a validade dos benefícios relatados em pessoas com estresse visual com *overlays*, fornecendo evidências objetivas e mensuráveis de identificar alterações [ou ausência de alterações] nas habilidades motoras oculares.

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo geral

A presente tese de doutoramento teve como objetivo principal investigar participantes com estresse visual associado à dificuldade de leitura, por meio de instrumentos que avaliam o sistema o sistema magnocelular visual (i.e., perimetria de frequência duplicada e rastreador ocular), assim como verificar se há respaldo tanto na literatura, quanto empírico para a intervenção com o uso das lâminas espectrais na redução do estresse visual.

### 4.2. Objetivos específicos

Conceituar e estabelecer definições sobre a dificuldade de leitura de base visual, considerando o nível neuronal, cognitivo e comportamental.

Prover fontes de evidências de validade externa de critério para instrumentos utilizados na avaliação (i.e., perimetria de frequência duplicada e rastreador ocular) e na intervenção (i.e., lâminas espectrais) dos déficits do sistema magnocelular visual, do distúrbio do processamento visual e do estresse visual.

O Estudo 1 [Efeito das lâminas espectrais (*overlays*) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura: revisão integrativa] objetiva oferecer uma revisão integrativa dos artigos indexados publicados na última década (2009 a 2019) sobre o efeito das lâminas espectrais em parâmetros visuais e na habilidade de leitura.

O Estudo 2 [*Magnocellular visual function in developmental dyslexia: deficit in frequency-doubling perimetry and ocular motor skills*] possui o objetivo de verificar se os participantes com diagnóstico formal de dislexia do desenvolvimento, avaliados objetivamente por meio de tecnologia de duplicação de frequência e rastreador ocular, em comparação a um grupo controle, apresentam déficits coerentes com uma disfunção magnocelular.

O Estudo 3 [*Spectral Overlays for Reading Difficulties: Oculomotor Function and Reading Efficiency Among Children and Adolescents with Visual Stress*] possui o objetivo de verificar em participantes com estresse visual, avaliados por meio da tecnologia de rastreador ocular, os efeitos das lâminas espectrais nas habilidades motoras oculares durante a leitura.

## **5. Método**

### **5.1. Ética em Pesquisa**

Os estudos desenvolvidos no doutoramento na Universidade Federal de Minas Gerais estão de acordo com as normas de ética nacionais e internacionais. O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais aprovou os procedimentos para as pesquisas do Estudo 2 e Estudo 3 [Aprovação nº 49765115.0.0000.5149] [Apêndice E] e do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior na Universidade do Porto [Aprovação nº 17754514.6.0000.5149] [Apêndice F].

Os estudos estão em total conformidade com o Código de Ética da Declaração de Helsinque (Associação Médica Mundial, 2008) e com as normas estabelecidas pela resolução 196/96 do Conselho Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi assinado pelos alunos e pelos responsáveis legais antes da participação. As instituições emitiram os termos de anuência.

### 5.1. Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão (LAPAN-UFMG)

A presente tese foi realizada com o apoio institucional do *Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão – Neurovisão* (LAPAN-UFMG) [[www.lapan.com.br](http://www.lapan.com.br)] (**Figura 11**). O LAPAN foi fundado em 2008 com o compromisso de consolidar a Neurociências da Visão e a Neurovisão (relação entre a visão e o sistema nervoso) como campo de estudo científico, por meio de pesquisas interdisciplinares, desenvolvimento e validação de metodologias clínicas, produção de artigos, congressos e capacitações.



**Figura 11.** Logomarca do Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão – Neurovisão (LAPAN-UFMG).

O LAPAN foi fundado por meio da parceria entre o Hospital de Olhos de Minas Gerais, em nome do Prof. Dr. Ricardo Guimarães, e o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, em nome do Prof. Dr. Marcos Pinotti (*in memoriam*) do Laboratório de Bioengenharia (LabBio-UFMG). Desde então, o LAPAN ampliou os vínculos institucionais com a Universidade Federal de Minas Gerais, se vinculando ao (a) Departamento de Engenharia, por meio da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Lúcia Duarte da Escola de Engenharia; (b) o Departamento de Psicologia, por meio da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ângela Pinheiro então coordenadora do Laboratório de Processos Cognitivos (LabCog-UFMG); (c) o Departamento de Esportes, por meio do Prof. Dr. Marco Túlio de Mello da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional; (d) o Departamento de Fisiologia, por meio do Prof. Dr. Jerome Baron do Instituto de Ciências Biológicas.

O Hospital de Olhos de Minas Gerais é reconhecido como um dos maiores e melhores centros oftalmológicos do Brasil, com renome internacional pela excelência dos serviços oferecidos em atendimento clínico, pesquisa e cirurgia. O Hospital possui certificação internacional pela *Canadian Council on Health Services Accreditation* (CCHSA); acreditação em nível pleno pela Organização Nacional de Acreditação (ONA); Sistema de Gestão Ambiental (ISOs 14001); Sistema de Gestão de Qualidade (ISOs 9001); e Responsabilidade Social (SA 8000). O LAPAN possui vínculo institucional com o Departamento de Neurovisão do Hospital de Olhos de Minas Gerais, em nome da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia Reis Guimarães. O Departamento de Neurovisão atende pacientes com queixas de perda da qualidade da visão, sendo especialista na avaliação e intervenção do Distúrbio do Processamento Visual.

O LAPAN está instalado junto ao Hospital de Olhos de Minas Gerais – Clínica Dr. Ricardo Guimarães, à Fundação Hospital de Olhos e ao Departamento de Neurovisão. Com relação à infraestrutura, o LAPAN possui 170 m<sup>2</sup>, com sala de experimentos, sala de reunião, sala de gabinete/escritório, sala de estudos, sala de espera, biblioteca, cozinha, banheiro feminino e masculino.

O laboratório possui equipamentos para análise da acuidade visual, visão funcional, processamento temporal magnocelular, *Frequency Doubling Technology* (FDT), rastreamento ocular (*eye-tracker*), aberrometria de baixa e alta ordem, sensibilidade ao contraste, foto-retinoscopia digital, pupilometria dinâmica, ofuscamento, estereopsia, visão de cores, pressão intraocular, refratômetro e avaliação do estresse visual.

O LAPAN possui como objetivo (a) incentivar o desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação para a avaliação e tratamento de Distúrbios do Processamento Visual (DPV) e dos Distúrbios de Aprendizagem Relacionados à Visão (DARV); (b) criar uma rede cooperativa de pesquisa nas áreas de neurociência e oftalmologia; (c) monitorar o desenvolvimento sensorial, cognitivo, físico e social em todo o ciclo escolar; (d) traçar curvas

normais do desenvolvimento das habilidades sensoriais (saúde pública com enfoque epidemiológico); (e) assistir precocemente as crianças identificadas fora da curva de normalidade; (f) desenvolver soluções para os problemas mapeados.

Desde 2013, o LAPAN promove anualmente o Congresso Brasileiro de Neurociências da Visão – Neurovisão (CBNV), organizado pela Universidade Federal de Minas Gerais e pela Sociedade Brasileira de Neurovisão (SBNV), já tendo como sede a Escola de Engenharia e a Reitoria da UFMG. O CBNV objetiva trazer as descobertas dos estudos dos laboratórios para à prática clínica da saúde e educação. O CBNV se apresenta como uma significativa oportunidade para que cientistas renomados de várias áreas de atuação, médicos e profissionais especialistas no tema compartilhem experiências e multipliquem a informação do que há de mais recente no cenário nacional e mundial.

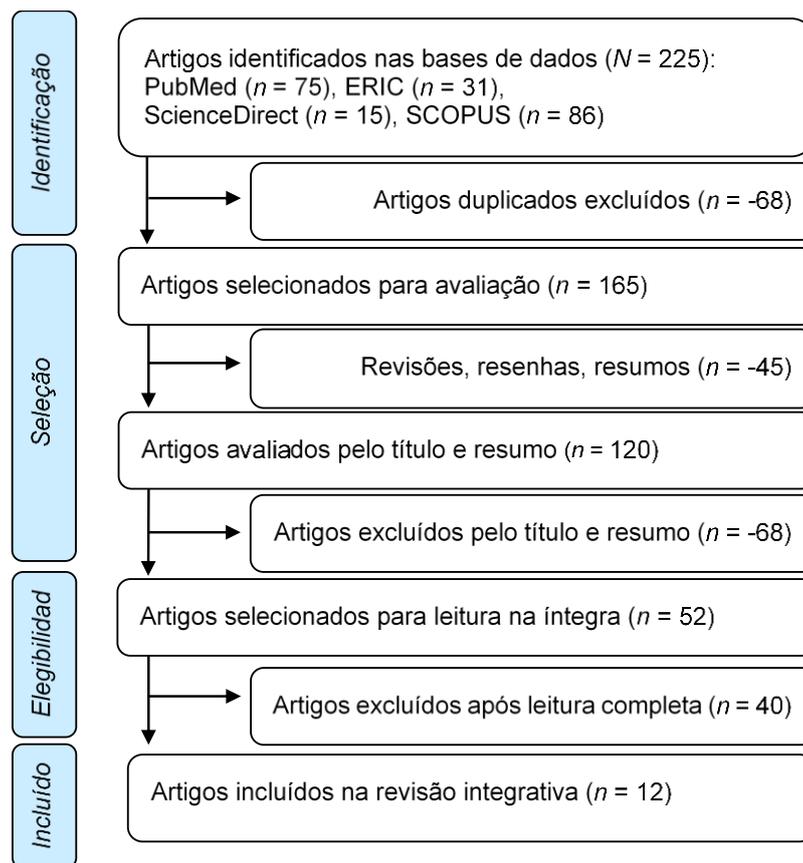
## 5.2. Método – Estudo 1: Lâminas espectrais: revisão integrativa

Para direcionar a revisão integrativa da literatura, formulou-se a seguinte pergunta norteadora: ‘quais são os resultados dos artigos científicos indexados sobre a intervenção com lâminas espectrais (*overlays*)?’. Foram pesquisadas as bases de dados eletrônicas ERIC (*Education Resources Information Center*), PubMed (*Digital Biomedical Archives and Health Sciences of the US National Institutes of Health*), ScienceDirect, SciVerse Scopus, PePSIC (Periódicos Eletrônicos de Psicologia), SciELO (Scientific Electronic Library Online). Artigos completos, publicados em português e em inglês no período de 2009 a 2019, foram pesquisados com as seguintes expressões no Título, Resumo ou Palavras-chave: lâminas coloridas (Spectral/Coloured *Overlays*), Irlen, Meares-Irlen, Síndrome de Sensibilidade Escotópica (*Scotopic Sensitivity Syndrome*), Estresse Visual (Visual Stress). Os termos ‘desconforto visual’, ‘astenopia’ e ‘fadiga visual’ não foram utilizados por não requererem o uso dos *overlays* como uma forma de intervenção.

O fluxograma do processo da análise e seleção dos artigos está esquematizado na Figura 12, de acordo com a recomendação do *checklist* do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Foram encontrados 225 trabalhos, em todas as bases de dados, sendo excluídos registros duplicados ( $n = -68$ ). Excluíram-se as revisões de literatura, resenhas, comentários do editor e resumos de eventos ( $n = -45$ ). Todos os títulos e resumos dos demais artigos ( $n = 120$ ) foram avaliados independentemente por dois pesquisadores, sendo excluídos aqueles que não apresentaram resultados sobre o uso dos *overlays* ( $n = -68$ ). Encontrou-se 52 artigos sobre o uso dos *overlays* nesse estágio de elegibilidade, todos lidos na íntegra. Doze artigos foram selecionados no estágio final para compor a presente revisão integrativa.

Os artigos foram organizados por ordem cronológica de publicação, com sumário dos resultados com foco no efeito dos *overlays* (Tabela 3). Em relação ao idioma, todos os artigos

( $n = 12$ ) foram publicados em inglês, existindo uma versão também em português<sup>15</sup>. Em relação ao país-sede, os estudos reportados nesses artigos foram realizados majoritariamente na Inglaterra ( $n = 8$ ), seguido por Brasil ( $n = 3$ ), e Escócia ( $n = 1$ ). Com relação as condições estudadas, todos os artigos revisados estudaram o estresse visual, tendo dois artigos o associado ao transtorno do espectro autista, seguido por um artigo para cada uma das seguintes condições: síndrome de Tourette; acidente vascular cerebral; surdez; dislexia; e alteração no processamento auditivo temporal. Sobre as conclusões dos artigos, 10 (83%) foram favoráveis ao uso de overlays, 1 (8%) parcialmente favorável e 1 (8%) desfavorável. A taxa de leitura foi avaliada por todos os doze artigos revisados.



**Figura 12.** Fluxograma do processo de identificação e seleção dos estudos de acordo com a recomendação do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Fonte: Vilhena et al. (2020).

### **5.3. Method – Study 2: Magnocellular visual function in dyslexia**

#### *5.3.1. Participants*

This retrospective clinical controlled study was conducted in full accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the ethics committee of the Universidade Federal de Minas Gerais (CAAE: 49765115.0.0000.5149) [Appendix E]. During the first meeting, all participants' parents or legal guardians provided informed consent (and participants assented) to participate in a future study.

We reviewed consecutive case records of all patients who had been assessed from January 2007 to April 2018 at the NeuroVision Department of the Hospital de Olhos de Minas Gerais–Dr. Ricardo Guimarães. From this large data pool, we only selected the records of patients with a formal diagnosis of DD (DD group,  $n = 62$ ; mean age = 13.8 years, standard deviation [SD] = 3.9 years; age range: 8–25 years; 77% male; 37% left ocular dominance), based on professional assessments according to the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5th edition, who had good binocular visual acuity (better than 20/20 Snellen chart) and no comorbidity of other developmental disorders.

The control group consisted of typically developing participants, matched for age, sex, ocular dominance, and visual acuity ( $n = 62$ ; mean age = 13.8 years, SD = 4.4 years; age range: 8–25 years; 77% male; 37% left ocular dominance). All 124 participants were native Brazilian Portuguese speakers. The exclusion criteria from the data pool were as follows: (a) diagnosis of another developmental disorder (e.g., attention-deficit/hyperactivity disorder); (b) informal diagnosis of DD (i.e., presumptive diagnoses made by parents, health professionals, or special needs' teachers); (c) age > 25 years; (d) poor visual acuity (worse than 20/30 Snellen chart); (e) color blindness (Pseudoisochromatic Ishihara 25 Plates Test and Farnsworth D15 Dichotomous Test); or (f) text comprehension <60% of correct answers.

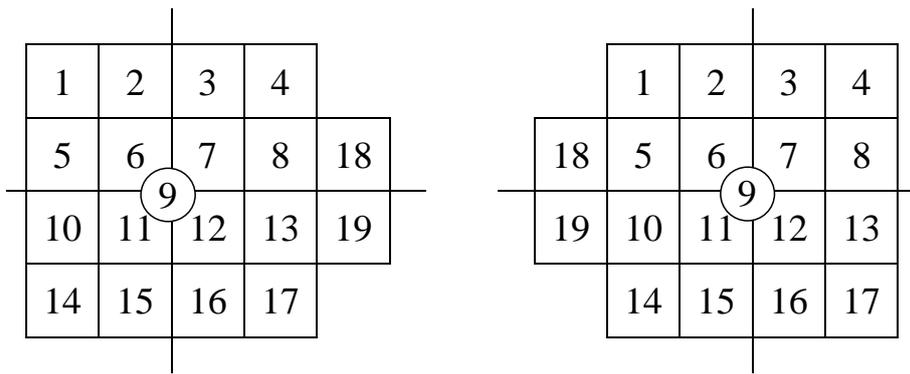
### 5.3.2. Instruments

The frequency-doubling technology (FDT, Humphrey Instruments) verifies the integrity of the peripheral visual field (**Figure 13**). FDT is used to analyze the contrast sensitivity, that is, the ability to recognize small differences in luminance or differentiate two objects from each other and the background. Each eye was measured separately at all 19 retinal regions (**Figure 14**), using a full threshold analysis program (N-30). Each stimulus is formed by a low spatial frequency (vertical, cosinusoidal grid, 0.25 cycles per degree) and a high temporal frequency (flicker counter-phase of 25 Hz).

The mean deviation (MD) index represents the average contrast sensitivity deviation from a normal person of the same age (based on normative database) and can either be a negative or positive value depending on the individual's general contrast sensitivity, if it is below or above the average for that same age group. The pattern standard deviation (PSD) index reflects the roughness (focal-cluster alteration) of the visual field. The MD and PSD indices are reported in decibel (dB).



**Figure 13.** Frequency doubling technology equipment. Source: Humphrey Instruments



**Figure 14.** Frequency doubling technology's 19 retinal regions from the left and right eyes.

Source: own work.

The Visagraph III Eye-Movement Recording System (Taylor Associates, New York) is used to verify the ocular motor skills and reading parameters (Figure 15). This system uses lens-free goggles with inbuilt infrared sensors to record eye movements during text reading. The binocular eye position (border between the iris and the sclera) is sampled with 60 Hz. The equipment's algorithm only evaluates horizontal saccades and compensates for head movements.

The following ocular motor and reading parameters were measured and analyzed: (a) ocular fixations, number of eye pauses (stationary periods) in reading from left to right per 100 words; (b) regressions, number of times eye movements are directed from right to left per 100 words; (c) span of recognition, number of words read divided by the number of fixations; (d) reading rate, number of words read in one min; (e) relative efficiency, reading rate divided by fixations and regressions; and (f) text comprehension, percentage of correct answers in a ten yes/no questionnaire concerning the content of the text that was read.



**Figure 15.** Visagraph III Eye-Movement Recording System (Taylor Associates, New York).

Source: own work.

### 5.3.3. Procedures

The FDT is used to verify the minimum contrast necessary to detect the stimulus, in each of the 19 locations, employing a modified binary search type of staircase strategy. If the stimulus is detected, the contrast is decreased in the following presentation; if the stimulus is not detected, the contrast is increased until the stimulus threshold with the lowest contrast is detected. The left eye was always tested first, followed by the right eye. The participant was instructed to look at the fixation point throughout the entire test and press the response button each time they saw a pattern.

Visagraph-III Eye-Tracking System was aligned to each participant's interpupillary distance, considering any refractive corrections. All participants were provided with a text appropriate for their reading level and cognitive capacity to minimize abnormal reading eye movements and allow continuous reading performance to be recorded. Participants read the texts aloud from a viewing distance of 40–45 cm, in sitting position, and under standard office lighting (two-tube cool-white fluorescent lamp ceiling fixtures; 20-W 60-cm tubes; correlated

color temperature, 5,000 K; 120 Hz flicker cycle). The reading material consisted of a single paragraph of black text, printed on a white paper, in Times New Roman font size 18. Data from the first and last lines were excluded from the analysis. After reading, participants answered ten questions about the text, with a comprehension score  $\geq 60\%$  qualified as typical reading performance.

#### 5.3.4. *Statistical analysis*

We used IBM SPSS Statistics (version 21.0, Chicago, IL) for all data analyses. Descriptive statistics included the mean and standard deviation. The best-corrected visual acuity values were converted to the logarithm of the minimal angle resolution scale. Statistical analysis was performed using independent Student's *t*-test for the control variables, and an analysis of covariance (ANCOVA) (covariates, age and sex) for the FDT and Visagraph variables. Pearson bivariate correlations were used between FDT and Visagraph. Cohen's *d* determined the clinical significance of group differences, with effect size interpreted using the criteria of 0.2 for a small effect, 0.5 for a medium effect, and 0.8 for a large effect. Chi-square ( $\chi^2$ ) test was used to determine the significant differences between categorical data, with Phi ( $\phi$ ) used to indicate the strength of the relationship of  $2 \times 2$  contingency tables. The significance level was set at  $< 0.05$ .

## 5.4. Method – Study 3: Spectral overlays: oculomotor function and reading

### 5.4.1. Participants

We performed this study at the NeuroVision Department of the *Hospital de Olhos de Minas Gerais*, which mainly attends to patients with vision-related learning problems. We reviewed records of all patients ( $n = 883$ ) assessed from June 2007 to April 2015 in relation to: ophthalmic variables [including visual acuity (far and near), high order aberrations, phorias, stereopsis, color vision, contrast sensitivity and visual field]. All of these patients underwent assessments for the presence of VS symptoms (including patient responses to spectral overlays), and, for all patients, eye-movement data was recorded while reading.

From this large data pool we identified patients who met the following five criteria: (a) Self-reported ‘visual distortions while reading’, and ‘reduced distortions when viewing text through an overlay’; (b) clinical ophthalmologist affirmation of their VS symptomatology; (c) good binocular visual acuity (better than 20/20 Snellen Chart) and normal color vision (Pseudoisochromatic Ishihara 25 Plates Test and Farnsworth D15 Dichotomous Test); (d) a score of at least 70% on a Comprehension Test; and (e) no extreme anomalies in their eye-tracking recordings [we applied the *Outlier Labeling Rule* (with a  $g$ -value of 2.2) and found, that eye-tracking data from 22 of the 883 patients were extreme]. It was crucial to apply these criteria in order to separate those patients who could be definitively categorized as having VS morbidity from those that may have other disorders that can affect reading ability, as a common flaw of many prior studies of overlay-effects has been the use of cohorts with general reading disabilities, creating a participant sample-bias, as spectral-filters are presumed to mainly benefit people with VS (Evans & Allen, 2016).

The final ‘VS Group’ consisted of 323 VS-diagnosed patients who met all of the above criteria. We then divided this sample into two age-related subgroups: children ( $n = 184$ ; age range = 8–12;  $M_{age} = 10.1$ ,  $SD = 1.3$  years; 67% male) and adolescents ( $n = 139$ ; age range =

13–17;  $Mage = 14.6$ ,  $SD = 1.5$  years; 63% male), as age can affect the scale of any intervention-related changes in reading skills. The expected grade norms calculated for participants (according to the Visagraph III Test-Manual: Taylor Associates, 2006) indicated that mean group-values closely corresponded to the reading performances of 5<sup>th</sup> grade children, and 10<sup>th</sup> grade adolescents.

When first seen, all participants' parents or legal guardians consented (and participants assented) to participate in a future study. The Research Ethics Committee of the *Universidade Federal de Minas Gerais* approved all procedures in the study [Approval no. 49765115.0.0000.5149] [Appendix E], and the study was conducted in full accordance with the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki, 2008) for research involving human participants.

#### 5.4.2. Instruments

We assessed VS symptom-levels with the Irlen Reading Perceptual Scale (IRPS) (Irlen, 2003), a tool that challenges patients with various visually-stressing images and tasks (e.g. counting how many lines or symbols are in an image). The IRPS is designed to increase visual discomfort in order to quickly identify VS symptoms. After assessing baseline visual discomfort levels with the IRPS, the 10 Irlen Overlays were individually presented to participants, in the same order (Gray, Blue-Gray, Turquoise, Aqua, Green, Peach, Rose, Goldenrod, Yellow, Purple) (Figura 7 e Figura 9), and were placed over a page of a text written in Dutch (meaningless to the patient). Participants were then asked to assess whether each overlay improved or worsened their visual comfort and the image quality, until they eventually selected an overlay (or two-overlay combination) that they felt gave the most reading comfort.

Participants were also given the option of choosing no overlay at all; however, among the initial 883 patients, only 14 (2%) did so. This small group did not take part in the

comparisons of reading eye-movements with and without an overlay and were not included in the VS group. Following each participant's selection of their preferred overlay(s), we presented them with eleven images illustrating possible visual distortions while reading, in order to verify if they felt such symptoms were minimized when viewed through their selected overlays.

Participants' ocular motor skills were measured using a Visagraph III Eye-Movement Recording System (Taylor Associates, New York), the same used in the Study 2 of this doctoral thesis. The following oculomotor and reading parameters were measured and analyzed: (a) Fixations; (b) Regressions; (c) Span of Recognition; (d) Reading Rate; (e) Relative Efficiency; and (f) Comprehension.

#### 5.4.3. *Procedures*

We administered the Visagraph III eye-tracking examination after the participants self-selected their most preferred overlay(s). We adjusted the eye movement recording system to each participant's interpupillary distance, taking into account any refractive corrections. All participants were provided with a text appropriate for their reading level and cognitive capacity in order to minimize abnormal reading eye-movements and allow a continuous reading performance to be recorded. Participants read the texts aloud, first without an overlay (baseline), and then with their chosen overlay(s).

The order in which the two tests were given remained consistent for all participants, as there is prior broad research agreement that marked deteriorations in the reading skills of individuals with VS usually occur within a few minutes and would be expected to occur during the second reading-test. Thus, a key premise underlying this aspect of the study-design was that any results inferring improvements in eye movement reading efficiency while using the overlays would (in theory) be manifested on the second, rather than the first, of the two reading tests. All texts were read from a viewing distance of 40–45 cm, and under standard office-

lighting [two-tube cool-white fluorescent lamp ceiling-fixtures; 20W 60cm-tubes; correlated color temperature (CCT): 5,000K; 120 Hz flicker-cycle].

The reading material consisted of a single paragraph of black text, printed on a white paper, in Times New Roman font size 18 (we used a larger font to highlight any reading-fluency problems that might be attributable to an inadequate Span of Recognition). The paragraph was 11.5 cm wide and made up of 10 lines (approximately seven words in each); however, data from the first and last lines were excluded from the analysis. After each reading, participants answered 10 questions about the text, permitting us to evaluate whether reading comprehension was good.

#### 5.4.4. *Statistical analysis*

We used IBM SPSS Statistics (version 21.0, Chicago, Illinois, USA) for all data analyses. As Pearson bivariate correlations were above 0.97, the average values of eye movement data for the right and left eyes were calculated in relation to Fixations, Regressions and Span of Recognition. To check for gender and age differences in the effects of spectral overlays interventions on the VS patients' eye movements and reading performance, we conducted a series of two-factor split-plot ANOVA's, with  $F$  adjusted as per the Greenhouse-Geisser method. The between-group variable was gender group (girls vs. boys) or age group (children vs. adolescents); and the within-group variable was the reading condition (without overlay vs. with overlay). In order to establish the clinical significance of any group differences, we calculated Cohen's  $d$  to determine effect size and interpreted results using Cohen's (1988) criteria of 0.2 for a small effect, 0.5 for a medium effect, and 0.8 for a large effect. Pearson bivariate correlations were used in all sample comparisons, effectively merging the ocular motor skills parameters with the two conditions ('with' and 'without' spectral overlays). Accordingly, we considered a  $p$ -value of less than 0.05 to be statistically significant.

## 6. Resultados

### 6.1. Revisão da Literatura com Discussão – Estudo 1: Lâminas espectrais: revisão integrativa

Foram revisados doze artigos científicos, com o foco nos resultados do efeito das lâminas espectrais (*overlays*) em diferentes parâmetros visuais (acomodação ocular, oculomotor), no reconhecimento facial e em leitura (taxa de leitura, eficiência relativa e em compreensão). Os artigos revisados verificaram que os *overlays* apresentam efeito mais expressivo quando o estresse visual está associado às condições que apresentam alterações sensoriais e à hiperatividade cortical.

Dois artigos verificaram o efeito das lâminas espectrais na taxa de leitura e na amplitude da acomodação ocular. No primeiro estudo (Allen et al., 2010), participantes com estresse visual ( $n = 11$ , Média idade = 20,6 anos; de 18 a 25 anos), sob uso de lâminas espectrais, melhoraram a taxa de leitura em 9,9% (de 152 para 167 palavras por minuto) e reduziram o atraso da acomodação, enquanto os dois grupos controles não apresentaram diferença significativa ( $n = 11$ ).

No segundo estudo (Allen et al., 2012), participantes com estresse visual ( $n = 18$ , Média idade =  $20,9 \pm 2,4$  anos; de 18 a 25 anos), sob uso de lâminas espectrais, melhoraram a taxa de leitura em  $10,4\% \pm 4,8\%$  e reduziram em 45% o atraso da acomodação (0,95 D para 0,52 D,  $p = 0,0001$ ), enquanto o grupo controle ( $n = 18$ ) não apresentou diferença significativa. Em ambos os estudos, os grupos de participantes com estresse visual, sob intervenção com *overlays*, reduziram o atraso na acomodação ocular e se equipararam aos resultados dos grupos controle.

No único estudo que se posicionou desfavorável ao uso de *overlays* (Ritchie et al., 2011), foi relatado não ter sido encontrado diferença significativa com o uso de *overlays* (ideal, não-ideal, transparente) no desempenho de leitura de crianças com dificuldade de leitura com estresse visual ( $n = 47$ ) e crianças do grupo controle ( $n = 14$ ). Alguns fatores levam ao

questionamento do estudo: 1) o exame pelo método Irlen é uma triagem e não um diagnóstico do estresse visual, ficando sujeito a eventuais desvios de especificidade; 2) metade das crianças (54,3%) apresentaram problemas ópticos não corrigidos com provável interferência na habilidade de leitura; 3) a maioria dos participantes com estresse visual (72,1%,  $n/N = 31/43$ ) não alcançou o critério de corte leniente de  $\geq 5\%$  no Teste de Taxa de Leitura com o uso dos overlays, sendo considerados falsos positivos; 4) o uso prolongado dos *overlays* por pelo menos duas semanas, e o critério de corte com significância clínica de  $\geq 15\%$  no Teste de Taxa de Leitura (7,0%,  $n/N = 4/57$ ) não foram considerados na classificação diagnóstica dos participantes com estresse visual; 5) o ganho superior a  $\geq 5\%$  no RRT, com o uso dos *overlays*, observado em um terço das crianças com dificuldade de leitura (31%,  $n/N = 19/61$ ) foi desconsiderado; 6) uso de uma versão alternativa do teste RRT, com fonte ampliada, o que melhora o conforto visual e neutraliza o objetivo do RRT, que é intensificar o estresse visual; 7) desvio padrão superior aos de estudos prévios é sugestivo de alta heterogeneidade da amostra; e 8) reduzido tamanho do grupo controle ( $n = 14$ ), o que impossibilitou análises estatísticas com maior poder do que as utilizadas.

Participantes com transtorno do espectro autista ( $n = 15$ , *Média idade* =  $13 \pm 6,2$  anos, 8 a 17 anos) foram comparados a um grupo controle ( $n = 15$ ,  $12,4 \pm 4,1$  anos) quanto a taxa de leitura e ao reconhecimento de expressões faciais de emoção (Ludlow et al., 2012). Na linha de base, o número de palavras lidas por minuto (taxa de leitura) dos participantes com transtorno do espectro autista (*Média* =  $86,5 \pm 33,7$ ) foi menor do que a do grupo controle (*Média* =  $117,3 \pm 29,7$ ) ( $t_{(28)} = 2,02$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = 1,00$ ); tendo os grupos se equiparado sob o uso de overlays (*Média* =  $95,6 \pm 37,2$  e  $120,8 \pm 30,6$ ) ( $t_{(28)} = 0,54$ ,  $p = 0,06$ ). Mais palavras foram lidas com overlays (*Média* =  $108,2 \pm 35,9$ ) do que sem (*Média* =  $101,9 \pm 34,9$ ) ( $t_{(29)} = 3,85$ ,  $p < 0,001$ ,  $d = 0,20$ ). Mais participantes do grupo com transtorno do espectro autista (80%), sob uso dos *overlays*, obtiveram ganho de pelo menos  $\geq 5\%$  na taxa de leitura, quando comparados ao grupo

controle (33%) ( $\chi^2_{(1)} = 6,7, p < 0,05$ ). Na segunda avaliação, sob o uso de *overlays*, os participantes com transtorno do espectro autista melhoraram em 18% o reconhecimento de expressões faciais de emoção em um teste de múltipla escolha com 28 imagens da região periocular ( $t_{(14)} = 2,37, p < 0,05$ ), sem diferença significativa no grupo controle. Ludlow et al. argumentam que esses resultados são evidências de que a anormalidade na percepção visual de baixo nível pode ser responsável por parte das dificuldades dos autistas em se ater e processar expressões faciais.

Ludlow e Wilkins (2016) estudaram com grupos clínicos, foram comparados participantes com diagnóstico de síndrome de Tourette ( $n = 12, Média idade = 9,8 \pm 1,8, 6$  a 12 anos), de transtorno do espectro autista ( $n = 12, M idade = 9,8 \pm 2,3, 6$  a 13 anos), e grupo controle ( $n = 12, M idade = 20,7 \pm 2,2, 6$  a 13 anos). A síndrome de Tourette é um transtorno neurológico caracterizado pela combinação de tiques motores com vocais. Foi verificado, com o uso dos *overlays*, o ganho acima de  $\geq 15\%$  na taxa de leitura na síndrome de Tourette (50%) e no transtorno do espectro autista (33%), mas não no grupo controle (0%). Tanto os pacientes com Tourette ( $t_{(11)} = 3,7, p < 0,05$ ) quanto os Autistas ( $t_{(11)} = 2,6, p < 0,05$ ) relataram mais sintomas de estresse visual sem *overlays*, sem diferença para o grupo controle ( $t_{(11)} = 2,2, p = 0,07$ ). Ambas as condições clínicas estão associadas a processamento sensorial atípico com hiperexcitabilidade do córtex visual.

Um estudo de caso (Beasley & Davies, 2013) identificou estresse visual secundário a acidente vascular cerebral (AVC), remediado com o uso de *overlays* e filtros espectrais, cuja cromaticidade inicial foi alterada após o segundo AVC. As queixas iniciais foram de fotofobia, campo visual esquerdo embaçado, dor de cabeça severa no lado parietal direito. Houve aumento de 40% na taxa de leitura com o uso do *overlay* (119 para 167 palavras por minuto) e de 32% após um mês de intervalo (125 para 165 palavras por minuto). Paciente reportou redução drástica do brilho da página, o que facilitou a visualização.

Por sua vez, Hollingsworth et al. (2015) verificaram que todos os jovens com surdez escolheram pelo menos um *overlay*, em comparação a 67% do grupo controle. Surdos que escolheram o *Yellow* (45%) aumentaram em 14% a taxa de leitura no Teste de Taxa de Leitura e 9% na versão adaptada para surdos, sem diferença estatística nos demais surdos e no grupo controle de ouvintes. Hollingsworth et al. reforçam que as crianças surdas são duplamente desfavorecidas na leitura, uma vez que apresentam reduzidas habilidades visuais e fonológicas. Uma vez que surdos profundos não possuem acesso fonológico na leitura (Pinheiro et al., 2020), são mais dependentes dos componentes visuais dos padrões gráficos das letras, com a dificuldade de leitura podendo decorrer parcialmente de um déficit na percepção ou no processamento visual.

Tanto o grupo de universitários disléxicos ( $n = 16$ ; 19 a 30 anos) quanto o controle ( $n = 26$ ) leram mais rápido com o uso de *overlays* (Henderson et al., 2015). Independentemente do grupo, indivíduos com taxas de leitura mais lentas são mais propensos a apresentar maiores ganhos na taxa de leitura com um *overlay* do que indivíduos com taxas de leitura mais rápidas. Mais participantes do grupo de disléxicos (75%, 63% e 44%), em comparação ao grupo controle (48%, 46%, 35%), aumentaram em  $\geq 5\%$ ,  $\geq 8\%$  e  $\geq 10\%$  a taxa de leitura, respectivamente. Ou seja, mais disléxicos cumpriram o critério para estresse visual de melhora imediata na leitura com *overlay*.

Em um estudo com uma amostra de universitários ( $N = 73$ , Média idade =  $20,2 \pm 2,4$  anos, 18 a 30 anos, 26% homens) (Monger et al., 2015), sob o uso de *overlays*, 36% dos participantes obtiveram ganhos de pelo menos  $\geq 5\%$  na taxa de leitura, e 14% obtiveram ganhos acima de  $\geq 10\%$ . Não houve associação entre o aumento na taxa de leitura e os seguintes parâmetros oftalmológicos de rotina: erros refrativos, acuidade visual, estereopsia, amplitude de acomodação, ponto de convergência para perto, visão de cores e motilidade ocular. Houve diferença significativa, embora não clinicamente relevante, na heteroforia associada para perto.

Garcia et al. (2017, 2019) investigaram o estresse visual em uma mesma amostra populacional de alunos ( $N = 68$ , *Média idade* =  $11,2 \pm 0,7$  anos, 9 a 12 anos, 53% meninos) do 5º e 6º ano do Ensino Fundamental, em São Paulo, Brasil. Garcia, Momensohn-Santos e Vilhena (2017) demonstraram que 31%, 22%, 18% e 13% dos alunos apresentaram um ganho de pelo menos  $\geq 5\%$ ,  $\geq 8\%$ ,  $\geq 10\%$  e  $\geq 15\%$  na taxa de leitura com o uso das lâminas espectrais, respectivamente. Ou seja, pelo menos uma em cada dez crianças apresenta uma melhora significativa da taxa de leitura com as lâminas espectrais. Alunos com estresse visual severo durante a leitura apresentaram três vezes mais chance de melhorar a taxa de leitura com o *overlay*, quando comparados com os participantes com menos desconforto (*odds ratio* = 3.36).

No segundo artigo, Garcia, Vilhena, Guimarães, Pinheiro e Momensohn-Santos (2019) verificaram que os participantes triados com alteração no processamento auditivo temporal ( $n = 26$ ) apresentaram mais sintomas de estresse visual, menor taxa de leitura, e três vezes mais chance de melhorar a taxa de leitura com o uso de lâminas espectrais, quando comparadas ao grupo controle ( $n = 42$ ).

O último artigo incluído na revisão de literatura equivale ao Estudo 3 da presente tese de doutoramento. Guimarães, Vilhena, Loew e Guimarães (2020) avaliaram 323 jovens de 8 a 17 anos com estresse visual por meio de um rastreador ocular (*eye-tracker*). O alto número de fixações e de regressões oculares observadas na linha de base desses participantes, em comparação às normas, pode ser indicativo de movimentos oculares corretivos para verificar as palavras (ou grafemas) que não foram suficientemente atendidas, de ajuste a vergência e de rastreamento ineficiente das linhas. Os participantes com estresse visual, ao lerem com as lâminas espectrais, apresentaram ganhos imediatos e significantes nas habilidades motoras oculares (menos fixações e regressões) e na eficiência de leitura (aumento do alcance perceptual, da taxa de leitura, da eficiência relativa, e da compreensão de texto), quando comparadas com a linha de base ( $p < 0,001$ ). No que diz respeito à taxa de leitura, crianças e adolescentes leram durante a condição de intervenção uma média de 28% e 20% palavras por minuto a mais, respectivamente. A redução imediata no número de fixações e regressões com os *overlays* apresentaram um significativo efeito de idade ( $p < 0,01$ ), possivelmente por as crianças partirem de uma linha de base pior.

**Tabela 3. Caracterização dos doze artigos incluídos na revisão sobre a intervenção com *Overlays*, em ordem cronológica, segundo autores, ano de publicação, título, cidade, país, número de participantes ( $N = \text{condição clínica} + \text{controle}$ ), resultado favorável/parcialmente/desfavorável ao uso de overlays, e síntese dos resultados**

(continua)

Todos os autores (ano)	Título original do artigo	Cidade, país, $N$ , Condições clínicas	Síntese dos resultados
Allen, Hussain, Usherwood, e Wilkins (2010)	Pattern-related visual stress, chromaticity, and accommodation	Cambridge, Inglaterra $N = 11 + 11$ Estresse visual	Favorável. Adultos com estresse visual, sob uso de lâminas espectrais, melhoraram a taxa de leitura em 9,9% e reduziram o atraso da acomodação, o que não ocorreu com o grupo controle não-sintomático.
Ritchie, Della Sala & McIntosh (2011)	Irlen colored overlays do not alleviate reading difficulties	Port Glasgow, Escócia $N = 47 + 14$ Estresse Visual	Desfavorável. Não houve diferença no desempenho de leitura tanto em relação ao tipo de overlay (ideal, não-ideal, transparente) quanto entre o grupo triado com estresse visual e crianças do grupo controle. 32% da amostra apresentou ganho superior a $\geq 5\%$ na taxa de leitura.
Allen, Kumar, Aloo, Dedi, Patel, Wilkins (2012)	Accommodation, pattern glare, and coloured overlays	Cambridge, Inglaterra $N = 18 + 18$ Estresse visual	Favorável. Adultos com estresse visual, sob uso de lâminas espectrais, melhoraram a taxa de leitura em $10,4\% \pm 4,8\%$ e reduziram em 45% o atraso da acomodação ocular (0,95 D para 0,52 D, $p = 0,0001$ ), equiparando os resultados com o grupo controle.
Ludlow, Taylor-Whiffen, e Wilkins (2012)	Coloured filters enhance the visual perception of social cues in children with autism spectrum disorders	Birmingham, Inglaterra $N = 15 + 15$ Estresse Visual e Transtorno do Espectro Autista	Favorável. Foram lidas mais palavras por minuto com <i>overlays</i> do que sem ( $p < 0.001$ ). Mais participantes do grupo com transtorno do espectro autista (80%), sob uso dos overlays, obtiveram ganho de pelo menos $\geq 5\%$ na taxa de leitura, quando comparados ao grupo controle (33%). Com o uso de <i>overlays</i> , crianças Autistas melhoraram em 18% o reconhecimento de expressões faciais de emoção, sem melhora significativa no grupo controle.
Beasley e Davies (2013)	Visual stress symptoms secondary to stroke alleviated with spectral filters and precision tinted ophthalmic lenses: a case report	Birmingham, Inglaterra $N = 1$ Estresse visual secundário a AVC	Favorável. Estudo de caso de estresse visual secundário a acidente vascular cerebral (AVC), remediado com o uso de <i>overlays</i> e filtros espectrais, cuja cromaticidade inicial foi alterada após o segundo AVC. Houve aumento de 40% na taxa de leitura com o uso do <i>overlay</i> e de 32% após um mês de intervalo.
Henderson, Tsogka, e Snowling (2013)	Questioning the benefits that coloured overlays can have for reading in students with and without dyslexia	York, Inglaterra $N = 16 + 26$ Estresse visual e Dislexia	Parcialmente favorável. Tanto o grupo de universitários disléxicos quanto o controle leram mais rápido com o uso de <i>overlays</i> . Mais participantes do grupo de disléxicos (75%, 63% e 44%), em comparação ao grupo controle (48%, 46%, 35%), aumentaram em pelo menos $\geq 5\%$ , $\geq 8\%$ e $\geq 10\%$ a taxa de leitura, respectivamente. Não houve melhora com overlays na leitura de texto conectado e compreensão de texto.

(conclusão)

Todos os autores (ano)	Título original do artigo	Cidade, país, N, Condição Clínica	Síntese dos resultados
Hollingsworth, Ludlow, Wilkins, Calver, e Allen (2015)	Visual performance and the use of colored filters in children who are deaf	Cambridge, Inglaterra N = 31 + 39 Estresse visual e Surdos profundos	Favorável. Todos os jovens com surdez escolheram pelo menos um overlay, sendo mais frequente o Yellow (45%). Contrariamente, no grupo controle com ouvintes, 67% escolheram pelo menos um overlay, tendo nenhum deles optado pelo Yellow. Surdos que escolheram o Yellow aumentaram em 14% a taxa de leitura no Teste de Taxa de Leitura e 9% na versão adaptada para surdos, sem diferença estatística nos demais surdos e no grupo controle de ouvintes.
Monger, Wilkins e Allen (2015)	Identifying visual stress during a routine eye examination	Cambridge, Inglaterra N = 73 Estresse visual	Favorável. 36% e 14% dos universitários obtiveram ganhos de pelo menos $\geq 5\%$ e $\geq 10\%$ na taxa de leitura com o uso de overlays, respectivamente.
Ludlow e Wilkins (2016)	Atypical Sensory behaviours in children with Tourette's Syndrome and in children with Autism Spectrum Disorders	Midlands e Londres, Inglaterra N = 12 + 12 + 12 Estresse visual, Síndrome de Tourette, Transtorno do Espectro Autista	Favorável. Foi verificado o ganho acima de $\geq 15\%$ na taxa de leitura, com o uso dos overlays, na Síndrome de <i>Tourette</i> (50%) e no transtorno do espectro autista (33%), mas não no grupo controle (0%).
Garcia, Momensohn-Santos, Vilhena (2017)	Effects of Spectral Overlays on Reading Performance of Brazilian Elementary School Children	Jacareí, SP, Brasil N = 68 Estresse visual em escolares típicos sem problemas de acuidade visual e auditiva	Favorável. 31%, 22%, 18% e 13% dos alunos do 5º e 6º ano do Ensino Fundamental apresentaram um ganho maior que $\geq 5\%$ , $\geq 8\%$ , $\geq 10\%$ e $\geq 15\%$ na taxa de leitura com o uso dos overlays, respectivamente. Alunos com desconforto visual severo durante a leitura ( $n = 11$ ) apresentaram três vezes mais chance de melhorar a taxa de leitura com o overlay, quando comparados com os participantes com menos desconforto.
Garcia, Vilhena, Guimarães, Pinheiro e Momensohn-Santos (2019)	Relation between auditory and visual temporal processing in reading ability	Jacareí, SP, Brasil N = 26 + 42 Estresse visual e alteração no processamento auditivo temporal	Favorável. Participantes que apresentaram alteração no processamento auditivo temporal ( $n = 26$ ) possuíam mais sintomas de estresse visual, menor taxa de leitura, e três vezes mais chance de melhorar a taxa de leitura com o uso de lâminas espectrais, quando comparadas ao grupo controle ( $n = 42$ ).
Guimarães, Vilhena, Loew, Guimarães (2019)	Spectral overlays for reading difficulties: Oculomotor function and reading efficiency among children and adolescents with visual stress	Belo Horizonte, MG, Brasil N = 323 Estresse Visual	Favorável. Participantes de 8 a 17 anos com estresse visual, sob uso de <i>overlays</i> e avaliados por <i>eye-tracker</i> , reduziram o número de fixações e regressões oculares ( $p < 0,001$ ), com aumento do alcance perceptual, número de palavras lidas por minuto, eficiência relativa e compreensão de texto ( $p < 0,001$ ). O efeito dos overlays é significativamente maior nas crianças em comparação aos adolescentes ( $p < 0,01$ ). Os <i>overlays</i> mais frequentes foram o <i>Purple</i> , <i>Gray</i> e <i>Turquoise</i> .

Fonte: Vilhena et al. (2020).

## 6.2. Results – Study 2: Magnocellular visual function in dyslexia

As expected, the DD and control group had no significant group difference in demographic variables (age range and mean, sex, ocular dominance) ( $p > 0.05$ ) (Table 4). The mean visual acuity (monocular and binocular) was also not significantly different between the two groups, corresponding to a 20/20 Snellen chart acuity. Likewise, the DD group (78%) and control group (81%) presented an equivalent performance in text comprehension, with no significant difference ( $p = 0.51$ ).

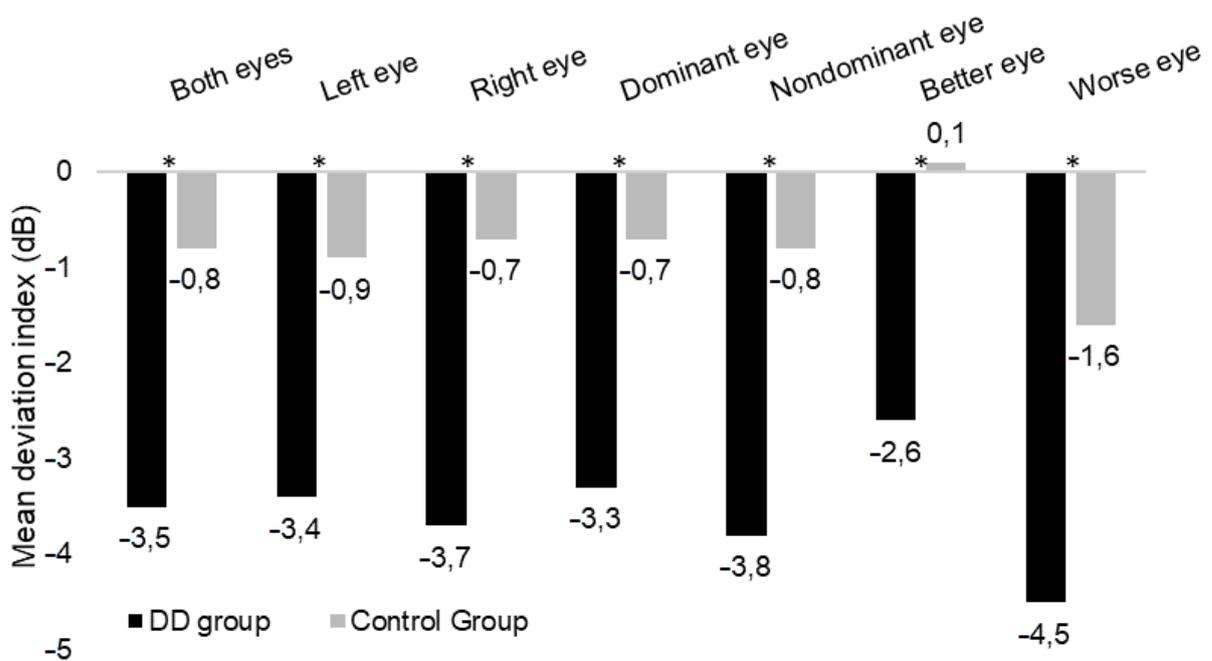
The FDT MD index averaged over the two eyes (MD both eyes) for the DD group was  $M = -3.5$  dB, significantly worse than  $M = -0.8$  dB of the control group [ $F_{(3,245)} = 70.0$ ,  $p < 0.0001$ ,  $d = 0.99$ ] (Table 4 and Figure 16). This pattern of significantly worse performance of the DD group in the FDT MD index ( $p < 0.0001$ ), with strong effect size compared to the control group, occurred even in the analyses of the eyes: (a) left side [ $F_{(3,121)} = 38.6$ ,  $d = 1.08$ ], (b) right side [ $F_{(3,121)} = 32.9$ ,  $d = 1.00$ ], (c) dominant [ $F_{(3,121)} = 36.1$ ,  $d = 1.50$ ], (d) not dominant [ $F_{(3,121)} = 33.9$ ,  $d = 1.15$ ], (e) better performance [ $F_{(3,121)} = 44.7$ ,  $d = 1.15$ ], and (f) worse performance [ $F_{(3,121)} = 35.3$ ,  $d = 1.06$ ] (Table 4 and Figure 16).

Overall, 65% of the eyes in the DD group had an FDT MD index in the impaired range of sensitivity (classified as a visual contrast threshold worse than  $-2.0$  dB). A proportion of participants had significantly higher index than 26% of the control group (difference = 39%;  $\chi^2 = 30.7$ ;  $p < 0.0001$ ;  $\phi = 0.48$ ). The FDT PSD index averaged over the two eyes for the DD group was  $M = 6.2$  dB, significantly worse than  $M = 5.2$  dB of the control group [ $F_{(3,121)} = 9.0$ ,  $p = 0.0030$ ,  $d = 0.37$ ] (Table 4).

For the ocular motor skills, ANCOVA revealed a statistically significant difference in fixations [ $F_{(3,121)} = 8.5$ ;  $p = 0.0038$ ,  $d = 0.37$ ], regressions [ $F_{(3,121)} = 5.8$ ;  $p = 0.016$ ,  $d = 0.32$ ], span recognition [ $F_{(3,121)} = 11.6$ ;  $p = 0.0008$ ,  $d = 0.44$ ], reading rate [ $F_{(3,121)} = 9.7$ ;  $p = 0.0023$ ,  $d = 0.49$ ], and relative efficiency [ $F_{(3,121)} = 13.8$ ;  $p = 0.0003$ ,  $d = 0.31$ ] between the DD and

control groups, with a small effect size (Table 4). *Post hoc* analysis showed that the DD group had a poorer ocular motor skill and reading performance than the control group.

Pearson's bivariate analysis showed a correlation between FDT MD index average of both eyes and fixations ( $r = -0.15$ ,  $p = 0.02$ ), span recognition ( $r = 0.17$ ,  $p = 0.016$ ), reading rate ( $r = 0.24$ ,  $p = 0.0002$ ), and relative efficiency ( $r = 0.18$ ,  $p = 0.006$ ), with the exception of regression ( $p = 0.11$ ). Participants with good relative efficiency ( $n = 28$  participants with score of  $\geq 2.0$ ) had an FDT MD index significantly better than participants with poor relative efficiency ( $n = 61$  participants with score of  $\leq 0.9$ ) [ $M = -1.2$  dB vs  $-2.7$  dB,  $F_{(1,88)} = 7.1$ ,  $p = 0.008$ ,  $d = 0.45$ ].



**Figure 16.** Frequency-doubling technology mean deviation index (dB) between the developmental dyslexia group and control group. \* Significance level at 0.001. Source: Vilhena, Guimarães, Guimarães, Pinheiro, 2021.

**Table 4.** Mean  $\pm$  standard deviation of control variables (demographic and central visual function), peripheral visual field function (frequency-doubling technology), ocular motor skills, and reading parameters from the DD group and matched control group

Parameters	DD group	Control group	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
<b>Demographic and control variables</b>					
<i>Sample size (n)</i>	62	62		n/s	n/s
<i>Age range (years)</i>	8-25	8-25		n/s	n/s
<i>Mean age (M <math>\pm</math> SD)</i>	13.8 $\pm$ 3.9	13.8 $\pm$ 4.4		n/s	n/s
<i>Male (%)</i>	77.4	77.4		n/s	n/s
<i>Left ocular dominance (%)</i>	37.1	37.1		n/s	n/s
<i>Monocular visual acuity (logMAR)</i>	0.02 $\pm$ 0.12	0.03 $\pm$ 0.12		n/s	n/s
<i>Binocular visual acuity (logMAR)</i>	-0.05 $\pm$ 0.11	-0.10 $\pm$ 0.10		n/s	n/s
<i>Text comprehension (%)</i>	78 $\pm$ 17	81 $\pm$ 16		n/s	n/s
<b>Peripheral visual field function (FDT)</b>					
<i>MD both eyes (dB)**</i>	-3.5 $\pm$ 3.4	-0.8 $\pm$ 1.8	70.0	< 0.0001	0.99
<i>MD left eye (dB)**</i>	-3.4 $\pm$ 2.9	-0.9 $\pm$ 1.5	38.6	< 0.0001	1.08
<i>MD right eye (dB)**</i>	-3.7 $\pm$ 3.7	-0.7 $\pm$ 2.1	32.9	< 0.0001	1.00
<i>MD dominant Eye (dB)**</i>	-3.3 $\pm$ 3.0	-0.7 $\pm$ 1.8	36.1	< 0.0001	1.50
<i>MD nondominant Eye (dB)**</i>	-3.8 $\pm$ 3.7	-0.8 $\pm$ 1.9	33.9	< 0.0001	1.15
<i>MD better eye (dB)**</i>	-2.6 $\pm$ 2.8	0.1 $\pm$ 1.8	44.7	< 0.0001	1.15
<i>MD worse eye (dB)**</i>	-4.5 $\pm$ 3.6	-1.6 $\pm$ 1.4	35.3	< 0.0001	1.06
<i>Eyes worse than MD -2.0 dB (%)**</i>	65	26	-	< 0.0001	$\phi$ 0.48
<i>PSD both eyes (dB)**</i>	6.2 $\pm$ 2.8	5.2 $\pm$ 2.6	9.0	= 0.0030	0.37
<b>Ocular motor skills and reading parameters (Visagraph-III)</b>					
<i>Fixations**</i>	196 $\pm$ 130	155 $\pm$ 84	8.5	= 0.0038	0.37
<i>Regressions*</i>	61 $\pm$ 63	45 $\pm$ 34	5.8	= 0.0164	0.32
<i>Span of recognition (%)**</i>	65 $\pm$ 31	87 $\pm$ 63	11.6	= 0.0008	0.44
<i>Reading rate (words per minute)**</i>	158 $\pm$ 92	212 $\pm$ 124	9.7	= 0.0023	0.49
<i>Relative efficiency**</i>	1.1 $\pm$ 1.2	2.2 $\pm$ 4.9	13.8	= 0.0003	0.31

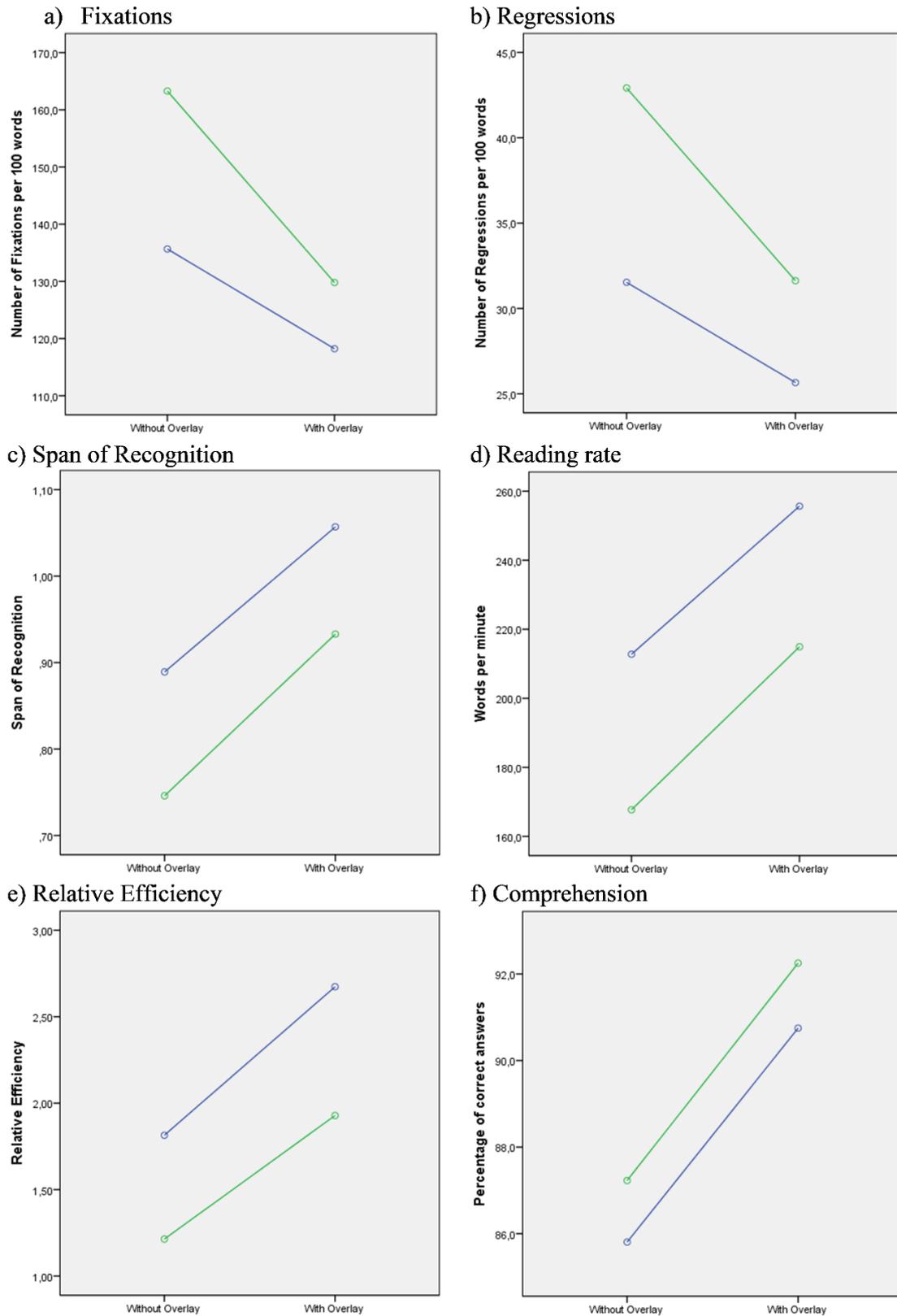
Legend: FDT, frequency-doubling technology; MD, mean deviation index; PSD, pattern standard deviation; dB, decibel; \* Significance level at 0.05; \*\* Significance level at 0.01; n/s = not significant; DD, developmental dyslexia. Source: Vilhena et al., 2021.

### 6.3. Results – Study 3: Spectral overlays: oculomotor function and reading

The results of the Study 3 for each parameter measured by the Visagraph III (with and without spectral-overlays) are shown in Table 5, and split-plot ANOVA analyses (*Group x Condition*) are illustrated in Figure 17.

With respect to any changes in the reading efficiency parameters when measured during the intervention condition (spectral overlays), there were statistically significant improvements across all six measures, with small to moderate effect sizes found in each of these analyses (Table 5). When using spectral overlays, the children's number of Fixations immediately decreased by 21% ( $p < .001$ ;  $d = .50$ ) and the adolescents' Fixations decreased by 13% ( $p < .001$ ;  $d = .27$ ). Likewise, Regressions were reduced by 26% ( $p < .001$ ;  $d = 0.45$ ) and 19% ( $p < .001$ ;  $d = .26$ ), respectively.

Reading with overlays was significantly improved on the other parameters as well. Span of Recognition (the amount of information captured in each eye fixation) improved by 24% ( $p < .001$ ;  $d = .51$ ), and 18% ( $p < .001$ ;  $d = 0.40$ ) for the children and adolescents respectively. Reading Rate was 28% faster for the children ( $p < .001$ ;  $d = .53$ ) and 20% faster for the adolescents ( $p < .001$ ;  $d = 0.44$ ), with the two groups able to read 43 and 47 additional words per minute. Relative Efficiency improved by 60% among the children ( $p < .001$ ;  $d = .51$ ), and 48% among the adolescents ( $p < .001$ ;  $d = 0.50$ ). In addition, Text Comprehension also significantly improved when reading with spectral overlays in both age groups ( $p < .001$ ;  $d = .52$ ; and  $p < .001$ ;  $d = .48$ ), with the sample as a whole scoring 92% on a comprehension test following each participant's reading of a text in the overlay condition, compared to 87% after reading an equivalent text without spectral overlays.



**Figure 17.** Split-plot analysis of the interaction effects of spectral overlays on Visagraph III Eye-Movement Recording System parameters. Legend: green line = children; blue line = adolescents. Source: Guimarães et al., 2019.

Split-plot analyses (see Table 5) revealed a statistically significant interaction between *Age Groups* and *Conditions* (without and with overlays) regarding Fixations ( $F_{(1, 321)} = 11.4, p = .0008$ ) and Regressions ( $F_{(1, 321)} = 8.15, p = .0046$ ). No significant interactions were observed in relation to the other parameters (Table 5). Post-hoc analyses of these interactions showed that the reductions in the number of Fixations, and Regressions, were significantly more pronounced among children compared to adolescents (Figure 17). In other words, children's ocular motor skills appear to show greater immediate improvements using spectral overlays in comparison to adolescent readers.

We found significant gender-related eye tracking differences (with post hoc analyses favoring girls better reading-related eye movements), with small effect-sizes in relation to Fixations ( $p = .013, d = .21$ ), Span Recognition ( $p = .0096, d = .21$ ), Reading Rate ( $p = .0023, d = .25$ ) and Relative Efficiency ( $p = .012, d = .21$ ); but only a nonsignificant trend in Regressions ( $p = .07, d = .15$ ), and no significant Comprehension differences. The gender sample did not differ in relation to age, and split-plot analyses revealed no significant interaction between gender and age.

**Table 5.** Children (in green) and Adolescent's (in blue) ocular motor skills, without & with spectral overlays (Means); Intervention differences ( $\Delta$ ); Interaction statistics (groups/conditions).

<i>Parameters</i>	<i>Children (n = 184)</i>							<i>Adolescents (n = 139)</i>						<i>Interaction Statistics (Group x Condition)</i>		
	<i>Without overlay</i>		<i>With overlay</i>		$\Delta$ (%)	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>Without overlay</i>		<i>With overlay</i>		$\Delta$ (%)	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>F</i> (1, 321)	<i>p</i>
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>				<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>					
<b>Fixations</b>	163.6	75.3	129.6	61.1	-20.8	< .001	.50	135.7	63.8	118.2	64.3	-12.9	< .001	.27	11.4	.0008
<b>Regressions</b>	42.9	28.1	31.6	21.5	-26.3	< .001	.45	31.5	22.2	25.6	22.6	-18.7	< .001	.26	8.15	.0046
<b>Span Recognition</b>	0.75	0.33	0.93	0.38	24.0	< .001	.51	0.89	0.36	1.05	0.43	18.0	< .001	.40	0.46	.4975
<b>Reading Rate</b>	167.7	83.1	214.9	94.0	28.1	< .001	.53	212.8	86.9	255.6	107.1	20.1	< .001	.44	0.40	.5265
<b>Relative Efficiency</b>	1.21	1.26	1.93	1.57	59.5	< .001	.51	1.81	1.39	2.67	2.01	47.5	< .001	.50	1.18	.2777
<b>Comprehension</b>	87.2	10.8	92.3	8.7	5.8	< .001	.52	85.8	10.5	90.7	9.7	5.7	< .001	.48	.003	.9582

SD: Standard Deviation;  $\Delta$ : Difference between Conditions (*Without & With* overlays); *p*: Statistical Significance; *d*: Effect Size. Source: Guimarães et al., 2019.

As seen in Table 6, the number of Fixations were strongly positively correlated with Regressions ( $r = 0.90$ ), and strongly negatively correlated with Span of Recognition, Reading Rate and Relative Efficiency ( $r = -0.88, -0.80, -0.75$ ). Regressions were also negatively correlated with Span of Recognition, Reading Rate and Relative Efficiency ( $r = -0.77, -0.66, -0.64$ ). It was also of note that increased Span of Recognition was very strongly and positively correlated with increases in Reading Rate and Relative Efficiency ( $r = 0.92, 0.95$ ).

**Table 6.** Pearson correlations between eye movement parameters

Parameters	Fixations	Regressions	Span of Recognition	Relative Efficiency
<b>Fixations</b>	0.90**	-0.88**	-0.80**	-0.75**
<b>Regressions</b>		-0.77**	-0.66**	-0.64**
<b>Span of Recognition</b>			0.92**	0.95**
<b>Reading Rate</b>				0.95**
<b>Relative Efficiency</b>				1.00

Note. \*\*  $p < 0.0001$ . Source: Guimarães et al., 2019.

## 7. Discussão

### 7.1. Discussion – Study 2: Magnocellular visual function in dyslexia

This study aimed to verify if participants with DD, evaluated using a FDT and eye tracker, present deficits in magnocellular visual function parameters compared to a matched control group for sample size, age, sex, ocular dominance, visual acuity, and text comprehension. The equivalence between groups ensured comparable data and increased the reliability of the eye-tracking data recorded, with participants reading to comprehend the content of the text.

The FDT was developed based on particular neural magnocellular characteristics and can be used to examine the magnocellular dysfunction hypothesis in DD. FDT provides a MD index to generally summarize the visual field contrast sensitivity threshold. For the peripheral visual function, the DD group had a decreased sensitivity on the detection of the FDT illusion than the control group, even if we divided the data by sides (left and right), ocular dominance (dominant and nondominant), or performance (better and worse) ( $p < 0.0001$ ). The FDT MD sensitivity for the eye with worse performance in the current study (DD =  $-4,5$  dB vs. control =  $-1.6$  dB) was similar to the reference study (DD =  $-5,01$  dB vs control =  $-0,46$  dB) (Pammer & Wheatley, 2001). The PSD index was also significantly different between the DD and control groups.

The deficit in the detection of the frequency-doubling perimetry illusion indicates a visual magnocellular dysfunction in the DD group, which can explain the poorer ocular motor skill, compared to the control group. Eye movement recorded while text reading (Visagraph-III) demonstrated that the DD group had a significantly higher number of ocular fixations and regressions, narrower span of recognition (amount of information perceived in each eye fixation), slower reading rate, and poorer relative efficiency than the control group ( $p < 0.05$ ), while maintaining an equal text comprehension.

One novelty of the current study is the group difference in FDT's MD between participants with good and poor reading efficiency. A significant correlation, although weak, was found between FDT MD index and ocular motor reading parameters of fixations, span recognition, reading rate, and relative efficiency. These participants with good relative efficiency (parameter that combines fixations, regressions, and reading rate) had an FDT MD index significantly better than participants with poor relative efficiency ( $p = 0.008$ ). These are coherent with the reference study (Pammer & Wheatley, 2001) that demonstrated a significant correlation between FDT MD and reading lag (number of years deviation between chronological age and reading age) ( $r = -0.57, p < 0.01$ ), with children who have a higher reading lag also are proportionally less sensitive to the spatial frequency-doubling illusion.

Moreover, 74% (3:1) of the current sample are male, coherent with sex bias toward men for the incidence of reading disabilities. It is estimated that boys are 2:1 to 5:1 more likely to be identified as having DD than girls (Arnett et al., 2017; Pauc, 2005; Vlachos et al., 2013). A study with magnetic resonance imaging (Evans et al., 2014) verified neuroanatomical sex differences in DD, with less gray matter volume identified in men with DD (left middle/inferior temporal gyri and right postcentral/supramarginal gyri), boys with DD (left supramarginal/angular gyri), woman with DD (right precuneus and paracentral lobule/medial frontal gyrus), and girls with DD (right central sulcus, adjacent gyri, left cuneus) compared to controls without DD. Evans et al. argued that women have less involvement of left hemisphere language regions but rather early sensory and motor cortices (i.e., motor and premotor cortex, primary visual cortex). In the current study, the demographic matched control group and the ANCOVA analysis confirmed that age and sex did not explain the group differences in FDT and Visagraph.

To the best of our knowledge, this is the first study on FDT that evaluated a sample of DD participants with Portuguese as their native language. One strength of the current study is

the sample size, larger than those in the reference studies (Castro et al., 2008; Flint & Pammer, 2019; Pammer & Wheatley, 2001). Another strength is the homogeneity of the sample, as only individuals with formal diagnosis of DD were selected, together with the exclusion of 57 individuals with DD from the data pool due to comorbidity with attention-deficit/hyperactivity disorder. The DD group presented a markedly worse performance in visual variables related to magnocellular visual function (i.e., peripheral visual function and ocular motor skills) compared to a matched control group. Thus, we could objectively identify physical evidence of visual-related reading difficulties, such as poorer contrast sensitivity thresholds and higher number of ocular fixations and regressions.

A dysfunctional visual magnocellular system may be in the core of some individuals with DD, having a causal relationship to reading difficulty (Boets et al., 2011; Stein, 2019). A dysfunctional magnocellular system induces visual stress conditions that hinder the development of a proficient, comfortable, and sustained reading. Over a sustained reading of a book, for example, the accumulated visual activity can lead to visual stress symptoms, such as poor ocular motor skills, visual distortions, reading difficulties, and discomfort, frequently reported by patients with DD and poor readers (Guimarães et al., 2020; Garcia et al., 2019; Ray et al., 2005; Romera et al., 2019; Stein, 2019).

## **7.2. Discussion – Study 3: Spectral overlays: oculomotor function and reading**

The eye-tracking data recorded in this study showed immediate and significant improvements in six oculomotor and reading parameters when children and adolescents with VS read using self-selected spectral overlays, compared to their baseline results. With overlays, there were statistically significant decreases in the number of Fixations and Regressions, whereas there were significant increases in Span of Recognition, Reading Rate, Relative Efficiency and Comprehension. All of these eye movement changes represent improvements for reading purposes. We observed more efficient eye movements from spectral filters with regard to the number of Fixations (per 100 words), as these were reduced by 21% for children and 13% for adolescents. Similarly, use of spectral overlays decreased the proportion of regressive saccades by 26% among children and 19% among adolescents with VS in this study, reducing time and effort in the reading process.

The Span of Recognition (breadth of text in words/letters perceived during one fixation) averaged 0.75 of a word per fixation at baseline for the children, and this value jumped by 24% to almost full word recognition (0.93) per fixation when children read using the spectral overlays intervention. A wider Span of Recognition should also assist the short-term memory for processing and manipulating larger amounts of information during each eye fixation. We obtained similar improvements with adolescents, who were able to visualize in excess of one word (1.05) per fixation when using spectral overlays, an increase of 18% from their baseline levels. This implies that the spectral intervention increased both foveal and parafoveal visual information processing and this, in turn, would likely assist in pre-directing the ensuing saccade to the next optimal fixation point and allow more fluent reading (Ashby et al., 2012), as, in fact, evidenced by reductions in Fixations and Regressions in both age groups.

With respect to Reading Rate, both children and adolescents read faster during the intervention condition (averaging 28% and 20% more words per minute, respectively). Such

immediate and substantial improvements in reading rates also suggest that spectral overlays can promote more fluent reading for many young people with VS. The Relative Efficiency parameter provided a means of further evaluating reading performance by using a single, reliable value that integrates the three most important eye movement variables: Fixations; Regressions; and Reading Rate. Moderate gains in Relative Efficiency (*Cohen's d* = .51) for the children and (*d* = .50) for the adolescents showed that both groups of patients with VS improved their reading performances. Our results also showed that Comprehension was markedly improved with the use of spectral overlays.

Comparatively, we found that the reductions in the number of Fixations and Regressions with the use of overlays were significantly greater in children compared to adolescents though these differences might have been partly due to younger children starting from a lower reading efficiency baseline. Additionally, our data seemed to confirm the higher incidence of reading disorders (and of neurodevelopmental problems generally) that have been found for males versus females (Quinn, 2018). Even with respect to reading-related eye movements, our post-hoc analyses revealed that girls significantly outperformed boys on most measures that were responsive to the intervention (Fixations, Span Recognition, Reading Rate, and Relative Efficiency).

The high number of eye-movement regressions observed in the VS group (at baseline), may be indicative of a greater necessity in these individuals for corrective eye movements to re-check words (or phonemes) that were not sufficiently attended to initially (i.e., were 'skipped over'). Alternatively, this eye movement characteristic may reflect a need to adjust vergence (simultaneous pupil movements) to allow a clearer visualization or it may occur due to confused interpretation of prior content that then requires re-reading. In individuals with VS however, regressions usually trace to an inefficient tracking of the lines of text (Loew & Watson, 2013; Loew et al., 2014).

In a sample of 27 children with reading difficulties, Solan et al. (1998) found that using spectral filters reduced the regression rate for their total group by 34%, a value similar to our finding of 26% reduction among child participants. Thus, our results, demonstrating that colored filters can significantly improve left-to-right eye-movement efficiency and enhance perceptual accuracy, concur with Solan et al.'s (1998) findings and are also consistent with positive reports of spectral overlay effects for readers with VS in studies using dependent measures other than eye tracking (Evans & Joseph, 2002; Garcia et al., 2017; Kriss & Evans, 2005; Ludlow et al., 2006, 2008; Nichols et al., 2009; Singleton & Henderson, 2007; Wilkins et al., 1996; Wilkins et al., 2001; Wright et al., 2007).

Past research has shown that students with reading disorders demonstrate a higher number of Fixations while reading, compared to other students (Okumura et al., 2006; Solan et al., 1998), possibly due, at least in some instances, to the presence of visual distortions that necessitate increased comprehension effort. Neurobiologically, to generate clear and acute text visualization, the Transient visual system (TVS) and Sustained visual system (SVS) must be highly-synchronized so that the viewer can continually erase the image created from preceding eye fixations. This visual inhibition process is also referred to as *visual backward masking* (Solan et al., 1998; Williams, Breitmeyer, Lovegrove, & Gutierrez, 1991). A slight delay in the TVS may lead to delayed masking (inhibition) of the previous image, allowing it to outlast the normal duration of stimuli received from the SVS and creating an after-imaging effect (or “visual noise”) that may then interfere with new detailed text perception. The superimposed older image inputs might generate a smeared or over-lapping image, explaining many of the visual distortions reported by patients with VS (e.g. “halos” surrounding words).

As it is already known that proficient, versus less capable, readers require fewer eye fixations (eye pauses) and regressions (backward eye-movements) to read an identical passage of text and prior research has shown that spectral-filtering to increases the efficiency of the

magnocellular pathway (Ray, Fowler, & Stein, 2005; Stromeyer, Chaparro, Tolia, & Kronauer, 1997) and TVS—SVS synchronization (Croyle, 1998), eye-tracking technology for refined eye movement analysis is a very logical next step for acquiring highly objective measures of reading efficiency within research to assess the reported benefits of spectral-filters for VS, especially as ocular motor skills are only weakly influenced by voluntary control during reading (Chase, Ashourzadeh, Kelly, Monfette, & Kinsey, 2003; Greatrex & Drasdo, 1995; Stein, 2019).

Among the limitations of this study (and others) is its failure to fully control for placebo effects, as some participants might expect any overlays placed before them to be helpful. In future, researchers might provide one overlay at random, in addition to a clear overlay, presented in counterbalanced order to all participants. This would allow testing for differences between self-chosen and randomly-chosen overlays, as it would limit building expectations of benefits (placebo effect). Our own research design would have been improved by comparing reading-related eye movement differences among participants with both self-chosen spectrally tinted overlay and a randomly assigned clear overlay. In partial response to this limitation, our use of four (of six) parameters that measured large involuntary micro eye-movements meant that some of our dependent measures were less vulnerable to a placebo effect than dependent measures in other studies.

Meanwhile, a number of separate studies, not using eye-tracking systems, have shown that self-chosen overlays yield greater performance gains in comparison to: (a) randomly-selected color filters (Bouldoukian, Wilkins, & Evans, 2002; Wilkins & Lewis, 1999); (b) complementary colors (Jeanes et al., 1997); and (c) aesthetically-preferred overlays (Ludlow et al., 2008). However, future research in this area should include an experimental condition involving reading with a clear spectral overlay.

Our study had several clear and significant strengths in that our participant sample was very large, we excluded participants without professionally identified VS, and we required all

participants to have 70% comprehension and good visual acuity. Yet, generalization of these findings may be limited by the fact that there may be VS severity differences between our VS participants, identified by ophthalmologists from among eye hospital inpatients, and ophthalmologist-identified individuals with VS from among an outpatient population. Further research might next replicate this study with a broader outpatient sample of VS participants.

## 8. Conclusões

A presente tese de doutoramento alcançou o objetivo principal de investigar participantes com estresse visual associado à dificuldade de leitura, estabelecendo definições e validando o uso da perimetria de frequência duplicada e do rastreador ocular na identificação de déficits relacionados ao processamento do sistema magnocelular visual. Ademais, foi consistentemente verificado que as lâminas espectrais possuem respaldo tanto na literatura e quanto empírico como uma forma de intervenção na redução do estresse visual na leitura.

No artigo 1, '*Efeito das lâminas espectrais (overlays) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura: revisão integrativa*', publicado na Revista CEFAC (Apêndice B), foram revisados doze artigos científicos, com o foco nos resultados do efeito das lâminas espectrais (*overlays*) em diferentes parâmetros visuais, no reconhecimento facial e de leitura em pessoas com estresse visual puro ou combinado com outras condições. De forma consistente, os artigos apresentaram resultados favoráveis ao uso de *overlays*, com melhora em parâmetros visuais (acomodação ocular, movimentação ocular, conforto visual), no reconhecimento facial e em leitura (taxa de leitura, eficiência relativa e em compreensão). As condições associadas investigadas foram o transtorno do espectro autista, síndrome de Tourette, acidente vascular cerebral, surdez, dislexia, e alteração no processamento auditivo temporal. A revisão corrobora as conclusões da revisão sistemática de dez estudos controlados feita por Evans e Allen (2016). Futuras investigações, além de avaliar a taxa de leitura, devem levar em consideração os efeitos terapêuticos dos *overlays* a longo prazo em sala de aula, uma vez que o objetivo desta intervenção é eliminar barreiras na aquisição e processamento visual durante o processo de aprendizagem e na consolidação da proficiência em leitura.

O artigo 2, '*Magnocellular visual function in developmental dyslexia: deficit in frequency-doubling perimetry and ocular motor skills*', publicado na Revista Arquivos Brasileiros de Oftalmologia (Apêndice C), verificou que o grupo com diagnóstico confirmado

de dislexia do desenvolvimento ( $n = 62$ ) apresentou desempenho inferior nas variáveis visuais relacionadas à função visual magnocelular (i.e., perimetria de frequência duplicada e habilidades motoras oculares), quando comparado ao grupo controle com desenvolvimento típico, pareado por idade, sexo, dominância ocular, acuidade visual e compreensão de texto. O estudo conclui que os profissionais precisam estar cientes da importância de investigar a visão dos pacientes com dislexia além da acuidade visual e incluir nos seus procedimentos diagnósticos instrumentos para avaliar o processamento temporal, com limiar de sensibilidade ao contraste.

O artigo 3, '*Spectral Overlays for Reading Difficulties: Oculomotor Function and Reading Efficiency Among Children and Adolescents With Visual Stress*', publicado na Revista *Perceptual and Motor Skills* (Apêndice D), avaliou 323 jovens de 8 a 17 anos com estresse visual por meio de um rastreador ocular (*Visagraph III Eye-Movement Recording System*). O alto número de fixações e de regressões oculares observadas na linha de base desses participantes, em comparação às normas, pode ser indicativo de movimentos oculares corretivos para verificar as palavras (ou grafemas) que não foram suficientemente atendidas, de ajuste a vergência e de rastreamento ineficiente das linhas. Os participantes com estresse visual, ao lerem com as lâminas espectrais, apresentaram ganhos imediatos e significantes nas habilidades motoras oculares (menos fixações e regressões) e na eficiência de leitura (aumento do alcance perceptual, da taxa de leitura, da eficiência relativa, e da compreensão de texto), quando comparadas com a linha de base ( $p < 0,001$ ). No que diz respeito à taxa de leitura, crianças e adolescentes leram durante a condição de intervenção com *overlays* uma média de 28% e 20% palavras por minuto a mais, respectivamente. A redução imediata no número de fixações e regressões com os *overlays* apresentaram um significativo efeito de idade ( $p < 0,01$ ), possivelmente por as crianças partirem de uma linha de base pior.

A presente tese de doutoramento conclui que o uso das lâminas espectrais possui respaldo na literatura nacional e internacional como tecnologia assistiva na intervenção para reduzir o estresse visual associado à dificuldade de leitura. As tecnologias de rastreamento ocular e de perimetria de frequência duplicada se mostraram ferramentas importantes na identificação do estresse visual, decorrente de um distúrbio do processamento visual, e coerente com um déficit no sistema magnocelular visual.

Dessa forma, a presente tese de doutorado provê fontes de evidências de validade externa de critério para instrumentos utilizados na avaliação (i.e., perimetria de frequência duplicada e rastreador ocular) e na intervenção (i.e., lâminas espectrais) de pessoas com dificuldade de leitura de base visual (déficit do sistema magnocelular, distúrbio do processamento visual, estresse visual), cujos sintomas e sinais são distintos de grupo controle de leitores típicos e de leitores com dificuldade de leitura de base não visual.

Os achados atuais melhoram nossa compreensão sobre o mecanismo subjacente à função visual na dislexia do desenvolvimento e podem levar a avanços nas estratégias para prevenir o aparecimento e progressão das dificuldades de leitura. Embora a acuidade visual seja fundamental na extração de informações estáticas de letras e palavras, a leitura proficiente envolve uma atividade visual dinâmica com processamento de sequência temporal de informações visuais para formar representações precisas do sequenciamento visual de letras. É imperativo facilitar o desenvolvimento de ferramentas para a avaliação e identificação da dislexia do desenvolvimento de base visual e de uma estratégia terapêutica eficiente para ajudar os profissionais na tomada de decisão clínica.

## 9. Referências

- Al-Heizan, M. O., AlAbdulwahab, S. S., Kachanathu, S. J., & Natho, M. (2015). Sensory processing dysfunction among Saudi children with and without autism. *J Phys Ther Sci*, 27(5), 1313-1316. <https://dx.doi.org/10.1589/jpts.27.1313>
- Allen, P. M., Dedi, S., Kumar, D., Patel, T., Aloo, M., & Wilkins, A. J. (2012). Accommodation, pattern glare, and coloured overlays. *Perception*, 41(12), 1458-1467. <https://doi.org/10.1068/p7390>
- Allen, P. M., Evans, B. J. W., & Wilkins, A. J. (2012). The uses of colour in optometric practice to ameliorate symptoms of visual stress. *Optometry in Practice*, 13(1), 1-8. <https://www1.essex.ac.uk/psychology/overlays/2012-203.pdf>
- Allen, P. M., Gilchrist, J. M., & Hollis, J. (2008). Use of visual search in the assessment of pattern-related visual stress (PRVS) and its alleviation by colored filters. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 49(9), 4210-4218. <https://dx.doi.org/10.1167/iovs.07-1587>
- Allen, P. M., Hussain, A., Usherwood, C., & Wilkins, A. J. (2010). Pattern-Related Visual Stress, Chromaticity, and Accommodation. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51(12), 6843-6849. <https://dx.doi.org/10.1167/iovs.09-5086>
- Alves, R. A. (2019). The early steps in becoming a writer: Enabling participation in a literate world. In J. S. Horst & J. von Koss Torkildsen (Eds.), *International handbook of language acquisition* (pp. 567-590). London: Routledge. ISBN 978-1-138-08721-7
- Alves, R. A., Limpo, T., & Joshi, R. M. (Eds.) (2020). *Reading-writing connections: Towards integrative literacy science*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38811-9>
- Arnett, A. B., Pennington, B. F., Peterson, R. L., Willcutt, E. G., DeFries, J. C., & Olson, R. K. (2017). Explaining the sex difference in dyslexia. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 58(6), 719–727. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12691>
- ASHA: American Speech-Language-Hearing Association (2005). (Central) Auditory processing disorders [Technical Report]. <https://dx.doi.org/10.1044/policy.TR2005-00043>
- Ashby, J., Yang, J., Evans, K. H., & Rayner, K. (2012). Eye movements and the perceptual span in silent and oral reading. *Atten Percept Psychophys*, 74(4), 634-640. <https://dx.doi.org/10.3758/s13414-012-0277-0>
- Associação Médica Mundial (2008). *7th revision of the Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects*. 59th World Medical Association (WMA) General Assembly, October, 2008, Seoul. [<http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/17c.pdf>].

- Beasley, I. G., & Davies, L. N. (2013). Visual stress symptoms secondary to stroke alleviated with spectral filters and precision tinted ophthalmic lenses: a case report. *Clin Exp Optom*, 96(1), 117-120. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1444-0938.2012.00794.x>
- Bernal, M. (2011). *Validación del método Irlen en escolares de 6 a 8 años, con trastornos de lectura*. Universidad de Cuenca, Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2213>
- Boets, B., Vandermosten, M., Cornelissen, P., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2011). Coherent motion sensitivity and reading development in the transition from prereading to reading stage. *Child development*, 82(3), 854–869. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01527.x>
- Bouldoukian, J., Wilkins, A. J., & Evans, B. J. (2002). Randomised controlled trial of the effect of coloured overlays on the rate of reading of people with specific learning difficulties. *Ophthalmic Physiol Opt*, 22(1), 55-60. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1475-1313.2002.00002.x>
- Bucci M. P. (2019). Visual training could be useful for improving reading capabilities in dyslexia. *Applied neuropsychology. Child*, 1–10. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/21622965.2019.1646649>
- Carvalho, Nádia Giulian de, Novelli, Carolina Verônica Lino, & Colella-Santos, Maria Francisca. (2015). Fatores na infância e adolescência que podem influenciar o processamento auditivo: revisão sistemática. *Revista CEFAC*, 17(5), 1590-1603. <https://doi.org/10.1590/1982-0216201517519014>
- Castro, S. M., Salgado, C. A., Andrade, F. P., Ciasca, S. M., & Carvalho, K. M. (2008). Visual control in children with developmental dyslexia. *Arquivos brasileiros de oftalmologia*, 71(6), 837–840. <https://doi.org/10.1590/s0004-27492008000600014>
- Cermak, S. A., Curtin, C., & Bandini, L. G. (2010). Food selectivity and sensory sensitivity in children with autism spectrum disorders. *J Am Diet Assoc*, 110(2), 238-246. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jada.2009.10.032>
- Chase, C., Ashourzadeh, A., Kelly, C., Monfette, S., & Kinsey, K. (2003). Can the magnocellular pathway read? Evidence from studies of color. *Vision Res*, 43(10), 1211-1222. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00085-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00085-3)
- Chouinard, B. D., Zhou, C. I., Hrybouski, S., Kim, E. S., & Cummine, J. (2012). A functional neuroimaging case study of Meares-Irlen syndrome/visual stress (MISViS). *Brain Topogr*, 25(3), 293-307. <https://dx.doi.org/10.1007/s10548-011-0212-z>

- Cogo-Moreira, H., Ploubidis, G. B., de Ávila, C. R., de Jesus Mari, J., & Pinheiro, A. M. (2012). EACOL (Scale of Evaluation of Reading Competence by the Teacher): evidence of concurrent and discriminant validity. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 8, 443–454. <https://dx.doi.org/10.2147/NDT.S36196>
- Cosenza, R. M. (2005). *Fundamentos de Neuroanatomia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, v. 3.
- Critchley, M. (1964). *Developmental dyslexia*. London: The Whitefriars Press Ltd.
- Croyle, L. (1998). Rate of reading, visual processing, colour and contrast. *Aust J Learn Diffic*, 3(3), 13-21. <https://dx.doi.org/10.1080/19404159809546566>
- Denuelle, M., Bouloche, N., Payoux, P., Fabre, N., Trotter, Y., & Géraud, G. (2011). A PET study of photophobia during spontaneous migraine attacks. *Neurology*, 76(3), 213–218. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3182074a57>
- Evans, B. J., & Allen, P. M. (2016). A systematic review of controlled trials on visual stress using Intuitive Overlays or the Intuitive Colorimeter. *J Optom*, 9(4), 205-218. <https://dx.doi.org/10.1016/j.optom.2016.04.002>
- Evans, B. J., & Joseph, F. (2002). The effect of coloured filters on the rate of reading in an adult student population. *Ophthalmic Physiol Opt*, 22(6), 535-545. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1475-1313.2002.00071.x>
- Evans, B. J., Allen, P. M., & Wilkins, A. J. (2017). A Delphi study to develop practical diagnostic guidelines for visual stress (pattern-related visual stress). *J Optom*, 10(3), 161-168. <https://dx.doi.org/10.1016/j.optom.2016.08.002>
- Evans, B. J., Patel, R., Wilkins, A. J., Lightstone, A., Eperjesi, F., Speedwell, L., & Duffy, J. (1999). A review of the management of 323 consecutive patients seen in a specific learning difficulties clinic. *Ophthalmic Physiol Opt*, 19(6), 454-466. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1475-1313.1999.00465.x>
- Evans, B. J., Wilkins, A. J., Brown, J. A., Busby, A., Wingfield, A., Jeanes, R., & Bald, J. (1996). A preliminary investigation into the aetiology of Meares-Irlen syndrome. *Ophthalmic Physiol Opt*, 16(4), 286-296. <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.1996.95001190.x>
- Evans, T. M., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., & Eden, G. F. (2014). Sex-specific gray matter volume differences in females with developmental dyslexia. *Brain structure & function*, 219(3), 1041–1054. <https://doi.org/10.1007/s00429-013-0552-4>

- Flint, S., & Pammer, K. (2019). It is the egg, not the chicken; dorsal visual deficits present in dyslexia are not present in illiterate adults. *Dyslexia* (Chichester, England), 25(1), 69–83. <https://doi.org/10.1002/dys.1607>
- Gaertner, C., Bucci, M. P., Ajrezo, L., & Wiener-Vacher, S. (2013). Binocular coordination of saccades during reading in children with clinically assessed poor vergence capabilities. *Vision Res*, 87, 22-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2013.05.006>
- Garcia, A. C. O. (2016). *Efeito das Lâminas Espectrais sobre Desempenho da Leitura em Escolares do Ensino Fundamental*. Ano de Obtenção: 2016. (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC/SP, Brasil. <https://tede2.pucsp.br/handle/handle/19614>
- Garcia, A. C. O., Momensohn-Santos, T. M., & Vilhena, D. A. (2017). Effects of Spectral Overlays on Reading Performance of Brazilian Elementary School Children. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 69(5-6), 219-225. <https://doi.org/10.1159/000484139>
- Garcia, A. C. O., Vilhena, D. A., Guimarães, M. R., Pinheiro, Â. M. V., & Momensohn-Santos, T. M. (2019). Association between auditory temporal and visual processing in reading skill. *Revista CEFAC*, 21(5), e6119. <https://dx.doi.org/10.1590/1982-0216/20192156119>
- Greatrex, J. C., & Drasdo, N. (1995). The magnocellular deficit hypothesis in dyslexia: a review of reported evidence. *Ophthalm Physl Opt*, 15(5), 501-506. [https://doi.org/10.1016/0275-5408\(95\)00090-Z](https://doi.org/10.1016/0275-5408(95)00090-Z)
- Griffiths, P. G., Taylor, R. H., Henderson, L. M., & Barrett, B. T. (2016). The effect of coloured overlays and lenses on reading: a systematic review of the literature. *Ophthalmic Physiol Opt*, 36(5), 519-544. <https://dx.doi.org/10.1111/opo.12316>
- Guimarães, M. R. et al. (2010). Selective spectral filters in the treatment of visually induced headaches and migraines - A clinical study of 93 patients. *Headache Medicine*, 1(2), 72.
- Guimarães, M. R., & Guimarães, R. Q. (2012). Avaliação da Visão Funcional em Distúrbios de Aprendizagem - O Papel do Oftalmologista nos Déficits de Visão e Aprendizagem. In L. O. Ventura, S. B. Travassos, O. A. d. Silva, & M. Dolan (Eds.), *Dislexia e Distúrbios de Aprendizagem* (Vol. 1, pp. 159-174). Rio de Janeiro: Cultura Médica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2087.9768>
- Guimarães, M. R., Vilhena, D. A., Loew, S. J., & Guimarães, R. Q. (2019). Spectral Overlays for Reading Difficulties: Oculomotor Function and Reading Efficiency Among Children and Adolescents With Visual Stress. *Perceptual and Motor Skills*, 127(2), 490–509. <https://doi.org/10.1177/0031512519889772>

- Guimarães, M. R., Vilhena, D. d. A., & Guimarães, R. Q. (2017). Relação do processamento óptico, neurovisual e cognitivo nas dificuldades de leitura. *Revista Acta Científica*, 8, 193-212. <https://dx.doi.org/10.21745/ac08-18>
- Hansen, P. C., Stein, J. F., Orde, S. R., Winter, J. L., & Talcott, J. B. (2001). Are dyslexics' visual deficits limited to measures of dorsal stream function?. *Neuroreport*, 12(7), 1527–1530. <https://doi.org/10.1097/00001756-200105250-00045>
- Henderson, L. M., Tsogka, N., & Snowling, M. J. (2013). Questioning the benefits that coloured overlays can have for reading in students with and without dyslexia. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 13(1), 57-65. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1471-3802.2012.01237.x>
- Hlengwa, N., Moonsamy, P., Ngwane, F., Nirghin, U., & Singh, S. (2017). The effect of color overlays on the reading ability of dyslexic children. *Indian Journal of Ophthalmology*, 65(8), 772-773. [https://dx.doi.org/10.4103/ijjo.IJO\\_541\\_16](https://dx.doi.org/10.4103/ijjo.IJO_541_16)
- Hollingsworth, R. S., Ludlow, A. K., Wilkins, A. J., Calver, R. I., & Allen, P. M. (2015). Visual performance and the use of colored filters in children who are deaf. *Optom Vis Sci*, 92(6), 690-699. <https://dx.doi.org/10.1097/OPX.0000000000000595>
- Hollis, J., & Allen, P. M. (2006). Screening for Meares-Irlen sensitivity in adults: can assessment methods predict changes in reading speed? *Ophthalmic Physiol Opt*, 26(6), 566-571. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1475-1313.2006.00401.x>
- Hollis, J., Allen, P. M., Fleischmann, D., & Aulak, R. (2007). Personality dimensions of people who suffer from visual stress. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 27(6), 603–610. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2007.00519.x>
- Huang, J., Cooper, T. G., Satana, B., Kaufman, D. I., & Cao, Y. (2003). Visual distortion provoked by a stimulus in migraine associated with hyperneuronal activity. *Headache*, 43(6), 664–671. <https://doi.org/10.1046/j.1526-4610.2003.03110.x>
- Huang, J., Zong, X., Wilkins, A. J., Jenkins, B., Bozoki, A., & Cao, Y. (2011). fMRI evidence that precision ophthalmic tints reduce cortical hyperactivation in migraine. *Cephalalgia*, 31(8), 925-936. <https://dx.doi.org/10.1177/0333102411409076>
- Hyatt, K. J., Stephenson, J., & Carter, M. (2009). A Review of Three Controversial Educational Practices: Perceptual Motor Programs, Sensory Integration, and Tinted Lenses. *Education and Treatment of Children*, 32(2), 313-342. <https://www.jstor.org/stable/42900024>

- Irlen, H. (1994). Scotopic sensitivity? Irlen syndrome: hypothesis and explanation of the syndrome. *J Behav Optom*, 5(62), 65-6.
- Irlen, H. (2003). *Irlen Reading Perceptual Scale instructional manual* (Tenth ed.). Long Beach, CA: Perceptual Development Corporation.
- Irlen, H. (2010). *The Irlen revolution : a guide to changing your perception and your life*. Garden City Park, NY: Square One Publishers.
- Irlen, H., & Lass, M. J. (1989). Improving reading problems due to symptoms of Scotopic Sensitivity Syndrome using Irlen lenses and overlays. *Education*, 109(4), 413-417.
- Jeanes, R., Busby, A., Martin, J., Lewis, E., Stevenson, N., Pointon, D., & Wilkins, A. J. (1997). Prolonged use of coloured overlays for classroom reading. *Br J Psychol*, 88 (Pt 4), 531-548. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1997.tb02656.x>
- Katz, B. J., & Digre, K. B. (2016). Diagnosis, pathophysiology, and treatment of photophobia. *Survey of ophthalmology*, 61(4), 466–477. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2016.02.001>
- Kim, J. H., Seo, H. J., Ha, S. G., & Kim, S. H. (2015). Functional magnetic resonance imaging findings in Meares-Irlen syndrome: a pilot study. *Korean J Ophthalmol*, 29(2), 121-125. <https://dx.doi.org/10.3341/kjo.2015.29.2.121>
- Kriss, I., & Evans, B. J. (2005). The relationship between dyslexia and Meares-Irlen Syndrome. *J Res Read*, 28(3), 350-364. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00274.x>
- Leão, D. M. P. (2018). *Uso de Lâminas Espectrais por Alunos do Ensino Fundamental com Síndrome de Irlen no Município de Alfenas-MG*. (Mestrado), Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, Brasil. <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/1434>
- Leekam, S. R., Nieto, C., Libby, S. J., Wing, L., & Gould, J. (2007). Describing the sensory abnormalities of children and adults with autism. *J Autism Dev Disord*, 37(5), 894-910. <https://dx.doi.org/10.1007/s10803-006-0218-7>
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(18), 7943–7947. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.18.7943>
- Lobrot, M. (1967). *Batterie pour mesurer la lecture et l'orthographe, ORLEC*. Beaumont/Oise: Bureau d'études et de recherches.
- Lobrot, M. (1980). *Lire avec épreuves pour évaluer la capacité de lecture (D-OR-LEC)*. Editions ESF.

- Loew, S. J., & Watson, K. (2012). A prospective genetic marker of the visual-perception disorder Meares-Irlen syndrome. *Perceptual and motor skills*, *114*(3), 870–882. <https://doi.org/10.2466/24.10.11.27.PMS.114.3.870-882>
- Loew, S. J., & Watson, K. (2013). The prevalence of symptoms of scotopic sensitivity/Meares-Irlen syndrome in subjects diagnosed with ADHD: Does misdiagnosis play a significant role? *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, *49*, 64-72. <http://e-publications.une.edu.au/1959.11/14414>
- Loew, S. J., Marsh, N. V., & Watson, K. (2014). Symptoms of Meares-Irlen/Visual Stress Syndrome in subjects diagnosed with Chronic Fatigue Syndrome. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, *14*(2), 87-92. [https://doi.org/10.1016/S1697-2600\(14\)70041-9](https://doi.org/10.1016/S1697-2600(14)70041-9)
- Loew, S. J., Rodriguez, C., Marsh, N. V., Jones, G. L., Nunez, J. C., & Watson, K. (2015). Levels of Visual Stress in Proficient Readers: Effects of Spectral Filtering of Fluorescent Lighting on Reading Discomfort. *Span J Psychol*, *18*, E58. <https://dx.doi.org/10.1017/sjp.2015.59>
- Lúcio, P. S., & Pinheiro, Â. M. V. (2013). Escala da Avaliação da Competência da Leitura pelo Professor (EACOL): evidências de validade de critério. *Temas em Psicologia*, *21*, 499-511. <http://dx.doi.org/10.9788/TP2013.2-15>
- Ludlow, A. K., & Wilkins, A. J. (2009). Case report: color as a therapeutic intervention. *Journal of autism and developmental disorders*, *39*(5), 815–818. <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0672-5>
- Ludlow, A. K., & Wilkins, A. J. (2016). Atypical Sensory behaviours in children with Tourette's Syndrome and in children with Autism Spectrum Disorders. *Research in Developmental Disabilities*, *56*, 108-116. <http://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.05.019>
- Ludlow, A. K., Taylor-Whiffen, E., & Wilkins, A. J. (2012). Coloured filters enhance the visual perception of social cues in children with autism spectrum disorders. *ISRN Neurol*, *2012*, 298098. <https://dx.doi.org/10.5402/2012/298098>
- Ludlow, A. K., Wilkins, A. J., & Heaton, P. (2006). The effect of coloured overlays on reading ability in children with autism. *J Autism Dev Disord*, *36*(4), 507-516. <https://dx.doi.org/10.1007/s10803-006-0090-5>
- Ludlow, A. K., Wilkins, A. J., & Heaton, P. (2008). Colored overlays enhance visual perceptual performance in children with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *2*(3), 498-515. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2007.10.001>

- Miller, L. S. (1984). *Scotopic sensitivity and reading disability*. Unpublished Master of Education thesis, California State Univer, Los Angeles.
- Monger, L., Wilkins, A. J., & Allen, P. M. (2015). Identifying visual stress during a routine eye examination. *Journal of Optometry*, 8(2), 140-145. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optom.2014.10.001>
- Newman-Wright, B., Wilkins, A., & Zoukos, Y. (2007). Spectral filters can improve reading and visual search in patients with multiple sclerosis. *J Neurol*, 254(12), 1729-1735. <https://dx.doi.org/10.1007/s00415-007-0648-y>
- Nichols, S. A., McLeod, J. S., Holder, R. L., & McLeod, H. S. (2009). Screening for dyslexia, dyspraxia and Meares-Irlen syndrome in higher education. *Dyslexia*, 15(1), 42-60. <https://dx.doi.org/10.1002/dys.382>
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2019). Development of Dyslexia: The Delayed Neural Commitment Framework. *Front Behav Neurosci*, 13, 112. <https://dx.doi.org/10.3389/fnbeh.2019.00112>
- Noble, J., Orton, M., Irlen, S., & Robinson, G. L. (2004). A controlled field study of the use of coloured overlays on reading achievement. *Aust J Learn Diffic*, 9(2), 14-22. <https://dx.doi.org/10.1080/19404150409546760>
- Northway, N. (2003). Predicting the continued use of overlays in school children--a comparison of the Developmental Eye Movement test and the Rate of Reading test. *Ophthalmic Physiol Opt*, 23(5), 457-464. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1475-1313.2003.00144.x>
- Okumura, T., Wakamiya, E., Suzuki, S., & Tamai, H. (2006). Saccadic eye movements in children with reading disorders. *Brain and Development*, 38, 347-52. <https://europepmc.org/article/med/16986735>
- Pammer, K., & Wheatley, C. (2001). Isolating the M(y)-cell response in dyslexia using the spatial frequency doubling illusion. *Vision Res*, 41(16), 2139-2147. [https://dx.doi.org/10.1016/s0042-6989\(01\)00092-x](https://dx.doi.org/10.1016/s0042-6989(01)00092-x)
- Pauc, R. (2005). Comorbidity of dyslexia, dyspraxia, attention deficit disorder (ADD), attention deficit hyperactive disorder (ADHD), obsessive compulsive disorder (OCD) and Tourette's syndrome in children: a prospective epidemiological study. *Clin Chiropr*, 8(4), 189-98. <https://doi.org/10.1016/j.clch.2005.09.007>
- Peixoto, C. B., Murta, C. A., Machado, J. G. S., & Lopes-Silva, J. B. (2020). Subtipos de dislexia do desenvolvimento: muito além de fonológica e de superfície. *Mosaico: Estudos Em Psicologia*, 7(1), 75-102. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/mosaico/article/view/24823>

- Pinheiro, A. M. V. (2013). *Prova de Leitura e de Escrita de palavras e de pseudopalavras* Relatório Técnico Final aprovado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (FAPEMIG). Número do processo: APQ-01914-09.
- Pinheiro, Â. M. V., & Costa, A. E. B. (2005). Escala de avaliação de competência em leitura pelo professor. *Anais do Encontro Mineiro de Avaliação Psicológica*, Resumos. Belo Horizonte, p.27.
- Pinheiro, Â. M. V., & Costa, A. E. B. (2011). Construção e Validação da Escala de Avaliação de Competência de Leitura de Alunos pelo Professor – EACOL. *Anais do Seminário Internacional de Alfabetização na Perspectiva da Psicologia Cognitiva da Leitura*. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- Pinheiro, Â. M. V., & Costa, A. E. B. (2015). EACOL – Escala de Avaliação da Competência em Leitura Pelo Professor: Construção por meio de Critérios e de Concordância entre Juízes [Scale of Evaluation of Reading Competence by the Teacher (EACOL) - evidence of criterion validity]. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 28(1), 1–10. <https://dx.doi.org/10.1590/1678-7153.201528109>
- Pinheiro, A. M. V., & Vilhena, D. A. (2020a). Índices psicométricos do Teste de Reconhecimento de Palavras (TRP). In: Jerusa Salles; Ana Luiza Navas. (Org.). *Instrumentos de avaliação da linguagem oral e escrita em crianças e adolescentes: panorama nacional*, no prelo.
- Pinheiro, A. M. V., & Vilhena, D. A. (2020b). Índices psicométricos do Teste de Reconhecimento de Pseudopalavras (TRPp). In: Jerusa Salles; Ana Luiza Navas. (Org.). *Instrumentos de avaliação da linguagem oral e escrita em crianças e adolescentes: panorama nacional*, no prelo.
- Pinheiro, A. M. V., & Vilhena, D. A. (2020c). Índices psicométricos da Escala de Avaliação da Competência em Leitura pelo Professor (EACOL). In: Jerusa Salles; Ana Luiza Navas. (Org.). *Instrumentos de avaliação da linguagem oral e escrita em crianças e adolescentes: panorama nacional*, no prelo.
- Pinheiro, A. M. V., & Vilhena, D. A. (2021). *Bateria de Testes de Leitura: manuais de aplicação*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Pinheiro, A. M. V., Vilhena, D. A., & Santos, M. A. C. (2017). PROLEC-T - Prova de compreensão de texto: análise de suas características psicométricas. *Temas psicol*, 25(3), 1067-1080. <http://dx.doi.org/10.9788/TP2017.3-08>

- Qin, W., & Yu, C. (2013). Neural pathways conveying novisual information to the visual cortex. *Neural plasticity*, 2013, 864920. <https://doi.org/10.1155/2013/864920>
- Quinn, J. M. (2018). Differential Identification of Females and Males with Reading Difficulties: A Meta-Analysis. *Read Writ*, 31(5), 1039-1061. <https://dx.doi.org/10.1007/s11145-018-9827-8>
- Raghuram, A., Gowrisankaran, S., Swanson, E., Zurakowski, D., Hunter, D. G., & Waber, D. P. (2018). Frequency of Visual Deficits in Children With Developmental Dyslexia. *JAMA ophthalmology*, 136(10), 1089–1095. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.2797>
- Ray, N. J., Fowler, S., & Stein, J. F. (2005). Yellow filters can improve magnocellular function: motion sensitivity, convergence, accommodation, and reading. *Ann N Y Acad Sci*, 1039, 283-293. <https://dx.doi.org/10.1196/annals.1325.027>
- Razuk, M., Barela, J. A., Peyre, H., Gerard, C. L., & Bucci, M. P. (2018). Eye movement and postural sway in dyslexic children during sitting and standing. *Neuroscience letters*, 686, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.08.042>
- Razuk, M., Perrin-Fievez, F., Gerard, C. L., Peyre, H., Barela, J. A., Bucci, M. P. (2018). Effect of colored filters on reading capabilities in dyslexic children. *Res Dev Disabil*, 83, 1-7, <https://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2018.07.006>
- Ritchie, S. J., Della Sala, S., & McIntosh, R. D. (2011). Irlen colored overlays do not alleviate reading difficulties. *Pediatrics*, 128(4), e932-938. <https://dx.doi.org/10.1542/peds.2011-0314>
- Ritchie, S. J., Della Sala, S., & McIntosh, R. D. (2012). Irlen Colored Filters in the Classroom: A 1-Year Follow-Up. *Mind, Brain, and Education*, 6(2), 74-80. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1751-228X.2012.01139.x>
- Robinson, G. L., Foreman, P. J., & Dear, K. B. G. (1996). The familial incidence of symptoms of Scotopic Sensitivity/Irlen Syndrome. *Perceptual and Motor Skills*, 83(3), 1043-1055. <https://dx.doi.org/10.2466/pms.1996.83.3.1043>
- Robinson, G. L., Foreman, P. J., & Dear, K. B. G. (2000). The familial incidence of symptoms of Scotopic Sensitivity/Irlen Syndrome: comparison of referred and mass-screened groups. *Perceptual and Motor Skills*, 91(3), 707-724. <https://dx.doi.org/10.2466/pms.2000.91.3.707>
- Robinson, G. L., McGregor, N. R., Roberts, T. K., Dunstan, R. H., & Butt, H. (2001). A biochemical analysis of people with chronic fatigue who have Irlen Syndrome:

- speculation concerning immune system dysfunction. *Percept Mot Skills*, 93(2), 486-504. <https://dx.doi.org/10.2466/pms.2001.93.2.486>
- Romera, J., Orsi, R., Maia, R., & Thomaz, C. (2019). Visual Patterns in Reading Tasks: An Eye-Tracking Analysis of Meares-Irlen Syndrome Simulation Effects. In: *Anais do XV Workshop de Visão Computacional* (pp. 131-136). Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação. <https://dx.doi.org/10.5753/wvc.2019.7641>
- Scott, L., McWhinnie, H., Taylor, L., Stevenson, N., Irons, P., Lewis, E., . . . Wilkins, A. J. (2002). Coloured overlays in schools: orthoptic and optometric findings. *Ophthalmic Physiol Opt*, 22(2), 156-165. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1475-1313.2002.00009.x>
- Singleton, C., & Henderson, L.-M. (2007a). Computerised screening for visual stress in reading. *J Res Read*, 30(3), 316-331. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9817.2007.00341.x>
- Singleton, C., & Henderson, L.-M. (2007b). Computerized screening for visual stress in children with dyslexia. *Dyslexia*, 13(2), 130-151. <https://dx.doi.org/10.1002/dys.329>
- Soares, F. A., & Gontijo, L. S. (2016). Production of knowledge: genetic basis, biochemical and immunological of Meares-Irlen Syndrome. *Revista Brasileira de Oftalmologia*, 75, 412-415. <https://doi.org/10.5935/0034-7280.20160084>
- Sociedade Brasileira de Neurovisão (2021). <http://sbnv.com.br/>
- Solan, H. A., Ficarra, A., Brannan, J. R., & Rucker, F. (1998). Eye movement efficiency in normal and reading disabled elementary school children: effects of varying luminance and wavelength. *J Am Optom Assoc*, 69(7), 455-464. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9697381/>
- Sparkes, D. L., Robinson, G. L., Dunstan, H., & Roberts, T. K. (2003). Plasma cholesterol levels and Irlen syndrome: preliminary study of 10- to 17-yr.-old students. *Percept Mot Skills*, 97(3 Pt 1), 743-752. <https://dx.doi.org/10.2466/pms.2003.97.3.743>
- Stein, J. (2019). The current status of the magnocellular theory of developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 130, 2019, 66-77, <https://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.022>
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci*, 20(4), 147-152. [https://dx.doi.org/10.1016/s0166-2236\(96\)01005-3](https://dx.doi.org/10.1016/s0166-2236(96)01005-3)
- Stromeyer, C. F., 3rd, Chaparro, A., Tolia, A. S., & Kronauer, R. E. (1997). Colour adaptation modifies the long-wave versus middle-wave cone weights and temporal phases in human luminance (but not red-green) mechanism. *J Physiol*, 499 (Pt 1), 227-254. <https://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.1997.sp021923>

- Sucena, A., & Castro, S. L. (2010). *Aprender a Ler e Avaliar a Leitura. O TIL: Teste de Idade de Leitura* (2nd ed.). Coimbra: Almedina.
- Tiadi, A., Gérard, C. L., Peyre, H., Bui-Quoc, E., & Bucci, M. P. (2016). Immaturity of Visual Fixations in Dyslexic Children. *Frontiers in human neuroscience*, *10*, 58. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00058>
- Tyrrrell, R., Holland, K., Dennis, D., & Wilkins, A. J. (1995). Coloured overlays, visual discomfort, visual search and classroom reading. *Journal of Research in Reading*, *18*(1), 10-23. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9817.1995.tb00064.x>
- Vidyasagar, T. R. (2019). Visual attention and neural oscillations in reading and dyslexia: Are they possible targets for remediation?. *Neuropsychologia*, *130*, 59-65. <https://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.02.009>
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends Cogn Sci*, *14*(2), 57-63. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>
- Vilhena, D. A. (2015). *Avaliação da habilidade de leitura de crianças do Ensino Fundamental: medidas direta e indireta*. (Dissertação de mestrado em Psicologia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9YDLKC>
- Vilhena, D. A., & Pinheiro, A. M. V. (2016). Revised version of the Scale of Evaluation of Reading Competence by the Teacher: final validation and standardization. *Universitas Psychologica*, *15*(4), 1-13. <https://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.upsy15-4.efvs>
- Vilhena, D. A., & Pinheiro, Â. M. V. (2020a). Reliability, Validity and Standardization of the Reading Test: Sentence Comprehension. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, *36*, e36325. <https://doi.org/10.1590/0102.3772e36325>
- Vilhena, D. A., & Pinheiro, A. M. V. (2020b). Índices psicométricos do Teste de Taxa de Leitura (RRT). In: Jerusa Salles; Ana Luiza Navas. (Org.). *Instrumentos de avaliação da linguagem oral e escrita em crianças e adolescentes: panorama nacional*, no prelo.
- Vilhena, D. A., & Pinheiro, A. M. V. (2020c). Índices psicométricos do Teste de Leitura: Compreensão de Sentenças (TELCS). In: Jerusa Salles; Ana Luiza Navas. (Org.). *Instrumentos de avaliação da linguagem oral e escrita em crianças e adolescentes: panorama nacional*, no prelo.
- Vilhena, D. A., Guimarães, M. R., Guimarães, R. Q., & Pinheiro A. M. V. (2019). Adaptation of the Reading Rate Test: selection of words. Award for best work in the Young Senior Researcher category. *Proceedings of the Encontro Mineiro de Neuropsicologia Escolar*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

- Vilhena, D. A., Guimarães, M. R., Guimarães, R. Q., & Pinheiro, A. M. V. (2019). Central and peripheral visual function in Developmental Dyslexia. In: *IWORDD - International Workshop on Reading and Developmental Dyslexia* - Basque Center on Cognition, Brain and Language, San Sebastián, v. 1, p. 75. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19151.02728>
- Vilhena, D. A., Guimarães, M. R., Guimarães, R. Q., & Pinheiro, Â. M. V. (2020). Effect of spectral overlays on visual parameters and reading ability: an integrative review. *Revista CEFAC*, 22(3), e17519. <https://doi.org/10.1590/1982-0216/202022317519>
- Vilhena, D. A., Guimarães, M. R., Guimarães, R. Q., & Pinheiro, A. M. V. (2021). Magnocellular visual function in developmental dyslexia: deficit in frequency-doubling perimetry and ocular motor skills. *Arquivos Brasileiros De Oftalmologia*, 84(5), no prelo.
- Vilhena, D. A., Guimarães, M. R., Pinheiro, Â. M., & Guimarães, R.Q. (2018). Tratamento do Estresse Visual na leitura: características físicas e mecanismos neurais de ação das lâminas espectrais (overlays). *Revista Paidéia*, Ano XIII, nº 19. <http://revista.fumec.br/index.php/paideia/article/view/6318>
- Vilhena, D. A., Sucena, A., Castro, S. L., & Pinheiro, Â. M. V. (2016). Reading Test—Sentence Comprehension: An Adapted Version of Lobrot's Lecture 3 Test for Brazilian Portuguese. *Dyslexia*, 22(1), 47-63. <https://dx.doi.org/10.1002/dys.1521>
- Vilhena, D., Guimarães, M., & Guimarães, R. (2019). Melhora do desempenho de leitura com o uso de lâminas espectrais: revisão sistemática e meta-análise. *Psicologia Argumento*, 36(93), 343-361. <https://dx.doi.org/10.7213/psicolargum.36.93.AO05>
- Vlachos, F., Avramidis, E., Dedousis, G., Chalmpé, M., Ntalla, I., & Giannakopoulou, M. (2013). Prevalence and gender ratio of dyslexia in Greek adolescents and its association with parental history and brain injury. *Education*, 1(1), 22-5. <https://dx.doi.org/10.12691/education-1-1-5>
- Whichard, J. A., Feller, R. W., & Kastner, R. (2000). The Incidence of Scotopic Sensitivity Syndrome In Colorado Inmates. *Journal of Correctional Education*, 51(3), 294-299. <https://www.jstor.org/stable/41971030>
- Whitaker, L., Jones, C. R. G., Wilkins, A. J., & Roberson, D. (2016). Judging the Intensity of Emotional Expression in Faces: the Effects of Colored Tints on Individuals With Autism Spectrum Disorder. *Autism Research*, 9(4), 450-459. <https://dx.doi.org/10.1002/aur.1506>

- Wilkins, A. J. (1994). Overlays for classroom and optometric use. *Ophthalmic Physiol Opt*, 14(1), 97-99. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1994.tb00567.x>
- Wilkins, A. J. (1995). *Visual stress*. Oxford; New York: Oxford University Press.
- Wilkins, A. J., & Lewis, E. (1999). Coloured overlays, text, and texture. *Perception*, 28(5), 641-650. <https://doi.org/10.1068/p2761>
- Wilkins, A. J., Baker, A., Amin, D., Smith, S., Bradford, J., Zaiwalla, Z., . . . Fish, D. (1999). Treatment of photosensitive epilepsy using coloured glasses. *Seizure*, 8(8), 444-449. <https://dx.doi.org/10.1053/seiz.1999.0337>
- Wilkins, A. J., Evans, B. J., Brown, J. A., Busby, A., Wingfield, A. E., Jeanes, R. J., & Bald, J. (1994). Double-masked placebo-controlled trial of precision spectral filters in children who use coloured overlays. *Ophthalmic Physiol Opt*, 14(4), 365-370. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1994.tb00126.x>
- Wilkins, A. J., Huang, J., & Cao, Y. (2007). Prevention of visual stress and migraine with precision spectral filters. *Drug Development Research*, 68(7), 469-475. <https://dx.doi.org/10.1002/ddr.20216>
- Wilkins, A. J., Jeanes, R. J., Pumfrey, P. D., & Laskier, M. (1996). Rate of Reading Test: its reliability, and its validity in the assessment of the effects of coloured overlays. *Ophthalmic Physiol Opt*, 16(6), 491-497. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1475-1313.1996.96000282.x>
- Wilkins, A. J., Lewis, E., Smith, F., Rowland, E., & Tweedie, W. (2001). Coloured overlays and their benefit for reading. *J Res Read*, 24(1), 41-64. <https://dx.doi.org/10.1111/1467-9817.00132>
- Williams, M. C., Breitmeyer, B. G., Lovegrove, W. J., & Gutierrez, C. (1991). Metacontrast with masks varying in spatial frequency and wavelength. *Vision Res*, 31(11), 2017-2023. [https://dx.doi.org/10.1016/0042-6989\(91\)90196-c](https://dx.doi.org/10.1016/0042-6989(91)90196-c)
- Williams, M. C., Lecluyse, K., & Rock-Faucheux, A. (1992). Effective interventions for reading disability. *J Am Optom Assoc*, 63(6), 411-417.
- Wright, B. N., Wilkins, A. J., & Zoukos, Y. (2007). Spectral filters can improve reading and visual search in patients with multiple sclerosis. *J Neurol*, 254(12), 1729-1735. <https://dx.doi.org/10.1007/s00415-007-0648-y>

**ABSTRACT OF STUDY 1 – Effect of spectral overlays on visual parameters and reading ability: An integrative review**

**Purpose:** To offer an integrative review of indexed articles published from 2009 to 2019 on the effect of spectral overlays on visual parameters and reading ability. **Methods:** Keywords were used to search seven databases. Duplicate entries, reviews, literature reviews, editor's comments, and congress abstracts were excluded, as well as papers that were not relevant, based on their titles and abstracts. A total of 52 articles, which were read in full, were eligible at this stage. Of these, 12 articles, published in Portuguese or English from 2009 to 2019, were included. **Results:** All 12 articles included evaluated the effect of overlays on the reading rate. There was an improvement in different visual parameters (ocular accommodation and eye movement), facial recognition, and reading (reading rate, relative efficiency, and comprehension). The use of overlays reduced visual stress regardless of refractive, orthoptic or cognitive disorders. The associated conditions investigated were autism spectrum disorder, Tourette syndrome, stroke, deafness, dyslexia, and auditory temporal processing disorder. **Conclusion:** The effectiveness of overlays in improving reading quality is consistently demonstrated in the literature. The reviewed articles showed that the overlays' effect is more expressive when the visual stress is associated with conditions that present sensory alterations and cortical hyperactivity.

Keywords: Reading. Visual perception. Learning disorders. Vision disorders.

**ABSTRACT OF STUDY 2 – Magnocellular visual function in developmental dyslexia: deficit in frequency-doubling perimetry and ocular motor skills**

**Purpose:** This study aimed to verify if patients with developmental dyslexia (DD) present deficits coherent with visual magnocellular dysfunction. **Methods:** Participants with confirmed diagnosis of DD ( $n = 62$ ; age range = 8–25 years; mean age = 13.8 years, standard deviation = 3.9; 77% male) were compared to a control group with normal development, matched for age, sex, ocular dominance, visual acuity, and text comprehension. The frequency-doubling technology perimetry was used to evaluate the peripheral visual field contrast sensitivity threshold. The Visagraph III Eye-Movement Recording System was used to evaluate ocular motor skills during text reading. **Results:** The DD group had significantly worse contrast sensitivity in the frequency-doubling technology, with strong effect size, than the matched control group. The DD group had more eyes classified in the impaired range of sensitivity threshold to detect frequency-doubling illusion than the control group. Moreover, the DD group had poorer ocular motor skills and reading performance, revealed by a difference in ocular fixations, regressions, span recognition, reading rate, and relative efficiency between groups. A significant correlation was found between contrast sensitivity and ocular motor skills. Participants with good relative efficiency had significantly better contrast sensitivity than participants with poor relative efficiency. **Conclusions:** The DD group presented a markedly worse performance in visual variables related to visual magnocellular function (i.e., frequency-doubling technology perimetry and ocular motor skills) compared with a matched control group. Professionals need to be aware of the importance of evaluating vision of individuals with DD beyond visual acuity and including in their assessments instruments to evaluate temporal processing, with contrast sensitivity threshold.

**Keywords:** Dyslexia. Reading. Visual perception. Vision disorders. Oculomotor muscles. Eye movements.

**ABSTRACT OF STUDY 3 – Spectral Overlays for Reading Difficulties: Oculomotor Function and Reading Efficiency Among Children and Adolescents with Visual Stress**

This study analyzed the effects of spectral overlays on ocular motility during reading among a clinical group of children and adolescents experiencing visual-perceptual distortions of text. We reviewed the records of 323 eye-hospital patients diagnosed with visual stress, and divided this participant sample into two age-based cohorts: children ( $n = 184$ ;  $M$  age = 10.1,  $SD = 1.3$  years); and adolescents ( $n = 139$ ;  $M$  age = 14.6,  $SD = 1.5$  years). We used a *Visagraph III Eye-Movement Recording System* to record ocular motor efficiency while reading with and without spectral overlays, and we examined the following parameters: (a) Fixations, (b) Regressions, (c) Span of Recognition, (d) Reading Rate, (e) Relative Efficiency, and (f) Comprehension. Our results showed that using one or some combination of 10 participant-selected spectral overlays immediately and significantly ( $p < .001$ ) reduced the number of Fixations and Regressions per 100 words, while there were significant ( $p < .001$ ) gains in positive factors such as Span of Recognition, Reading Rate, Relative Efficiency, and Comprehension. Our findings indicate that spectral-filtering can be an effective tool for helping many young patients who experience visual perceptual distortions while reading.

Keywords: Child motor development. Eye-tracking analysis. Ocular motor skills. Perceptual disorders. Reading difficulties. Spectral overlays. Visual measurement. Visual perception. Visual stress.

## 10. Apêndice A – Declaração de realização do doutorado sanduíche na Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto, sob orientação do Prof. Rui Alves.



### Declaração

Para os devidos efeitos, declara-se que Douglas de Araújo Vilhena, estudante de doutoramento da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), realizou um estágio de doutorado Sandwich na Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto, no período compreendido entre Outubro de 2019 e maio de 2020. Neste âmbito desenvolveu o projeto de investigação intitulado “*Construção de bateria de avaliação da habilidade leitora de alunos do ensino fundamental*”, sob a orientação do Prof. Rui Alves.

As atividades realizadas no âmbito deste estágio constam do relatório que o doutorando entregou para o Conselho Científico da Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto e que foi aprovado na Reunião N.º 10/CC/2020, 25 de novembro.

Para além das atividades mencionadas no relatório, teve reuniões frequentes e regulares com o seu orientador de estágio na FPCEUP.

Porto e FPCEUP, 11 de dezembro de 2020

Serviço de Pós-Graduações da FPCEUP

Rosa Maria Costa  
(Técnica Superior)

## 11. Apêndice B – Publicação do Estudo 1 na Revista CEFAC.



Rev. CEFAC. 2020;22(3):e17519 <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0216/202022317519>

---

**Artigos de revisão**

## Efeito das lâminas espectrais (*overlays*) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura: revisão integrativa

*Effect of spectral overlays on visual parameters and reading ability: an integrative review*

**Douglas de Araújo Vilhena**<sup>1,2,3</sup>  
<https://orcid.org/0000-0003-2670-7963>

**Márcia Reis Guimarães**<sup>1</sup>  
<https://orcid.org/0000-0002-5475-5375>

**Ricardo Queiroz Guimarães**<sup>1</sup>  
<https://orcid.org/0000-0001-7600-855X>

**Ângela Maria Vieira Pinheiro**<sup>1,2</sup>  
<https://orcid.org/0000-0002-5852-4320>

---

<sup>1</sup> Hospital de Olhos de Minas Gerais – Dr. Ricardo Guimarães, Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurociências da Visão - LAPAN, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Psicologia: Cognição e Comportamento, Laboratório de Processos Cognitivos - LabCog, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade do Porto, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, Porto, Douro Litoral, Portugal.

Fonte de auxílio: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Conflito de interesses: Inexistente



Recebido em: 20/12/2019  
Aceito em: 23/03/2020

**Endereço para correspondência:**  
Douglas de Araújo Vilhena  
Laboratório de Pesquisa Aplicada à Neurovisão (LAPAN)  
Rua da Paisagem, 220, 3º andar, LAPAN.  
CEP 30720-60 – Belo Horizonte,  
Minas Gerais, Brasil  
E-mail: douglasvilhena@ufmg.br

**RESUMO**

**Objetivo:** oferecer uma revisão integrativa dos artigos indexados publicados de 2009 a 2019 sobre o efeito das lâminas espectrais (*overlays*) em parâmetros visuais e na habilidade de leitura.

**Métodos:** utilizou-se a pesquisa de palavras-chave em sete bancos de dados. Foram excluídos registros duplicados, revisões de literatura, resenhas, comentários do editor, resumos de congressos, e os não pertinentes de acordo com os títulos e resumos. Os 52 artigos sobre o uso dos *overlays* no estágio de elegibilidade foram lidos na íntegra. Foram incluídos 12 artigos completos, publicados em português ou em inglês entre 2009-2019.

**Resultados:** os 12 artigos incluídos avaliaram o efeito dos *overlays* na taxa de leitura. Houve melhora em diferentes parâmetros visuais (acomodação, movimentação ocular), no reconhecimento facial e em leitura (taxa de leitura, eficiência relativa e em compreensão). Independentemente de problemas refracionais, ortópticos ou cognitivos, o uso dos *overlays* reduziu o estresse visual. As condições associadas investigadas foram o transtorno do espectro autista, síndrome de Tourette, acidente vascular cerebral, surdez, dislexia, e alteração no processamento auditivo temporal.

**Conclusão:** a eficácia dos *overlays* na melhora da qualidade de leitura foi demonstrada de forma consistente na literatura. Os artigos revisados verificaram que os *overlays* apresentam efeito mais expressivo quando o estresse visual está associado às condições que apresentam alterações sensoriais e à hiperatividade cortical.

**Descritores:** Leitura; Percepção Visual; Transtornos de Aprendizagem; Distúrbios da Visão

---

**ABSTRACT**

**Purpose:** to provide an integrative review of indexed articles published from 2009 to 2019 on the effect of spectral overlays on visual parameters and reading ability.

**Methods:** keywords were used to search seven databases. Duplicate entries, reviews, literature reviews, editor's comments, and congress abstracts were excluded, as well as papers that were not relevant, based on their titles and abstracts. A total of 52 articles, which were read in full, were eligible at this stage. Of these, 12 articles, published in Portuguese or English from 2009 to 2019, were included.

**Results:** all 12 articles included evaluated the effect of overlays on the reading rate. There was an improvement in different visual parameters (ocular accommodation and eye movement), facial recognition, and reading (reading rate, relative efficiency, and comprehension). The use of overlays reduced visual stress regardless of refractive, orthoptic or cognitive disorders. The associated conditions investigated were autism spectrum disorder, Tourette syndrome, stroke, deafness, dyslexia, and auditory temporal processing disorder.

**Conclusion:** the effectiveness of overlays in improving reading quality is consistently demonstrated in the literature. The reviewed articles showed that the overlays' effect is more expressive when the visual stress is associated with conditions that present sensory alterations and cortical hyperactivity.

**Keywords:** Reading; Visual Perception; Learning Disorders; Vision Disorders

1/8

## 12. Apêndice C – Publicação do Estudo 2 na Revista Arquivos Brasileiros de Oftalmologia.

ARQUIVOS BRASILEIROS DE

Oftalmologia

ORIGINAL ARTICLE

### Magnocellular visual function in developmental dyslexia: deficit in frequency-doubling perimetry and ocular motor skills

Função visual magnocelular na dislexia do desenvolvimento: déficit na perimetria de frequência duplicada e nas habilidades motoras oculares

Douglas de Araújo Vilhena<sup>1,2,3</sup>, Márcia Reis Guimarães<sup>1</sup>, Ricardo Queiroz Guimarães<sup>1</sup>, Ângela Maria Vieira Pinheiro<sup>1,2</sup>

1. Laboratory of Applied Research in Neuroscience of Vision, Hospital de Olhos de Minas Gerais-Dr. Ricardo Guimarães, Belo Horizonte, MG, Brazil.

2. Laboratory of Cognitive Processes, Graduate Program on Psychology: Cognition and Behavior, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.

3. Faculty of Psychology and Education Science, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

**ABSTRACT | Purpose:** This study aimed to verify if patients with developmental dyslexia present deficits coherent with visual magnocellular dysfunction. **Methods:** Participants with confirmed diagnosis of developmental dyslexia (n=62; age range= 8-25 years; mean age= 13.8 years, standard deviation= 3.9; 77% male) were compared to a control group with normal development, matched for age, sex, ocular dominance, visual acuity, and text comprehension. The frequency-doubling technology perimetry was used to evaluate the peripheral visual field contrast sensitivity threshold. The Visagraph III Eye-Movement Recording System was used to evaluate ocular motor skills during text reading. **Results:** The developmental dyslexia group had significantly worse contrast sensitivity in the frequency-doubling technology, with strong effect size, than the matched control group. The developmental dyslexia group had more eyes classified in the impaired range of sensitivity threshold to detect frequency-doubling illusion than the control group. Moreover, the developmental dyslexia group had poorer ocular motor skills and reading performance, revealed by a difference in ocular fixations, regressions, span recognition, reading rate, and relative efficiency between groups. A significant correlation was found between contrast sensitivity and ocular motor skills. Participants with good relative efficiency had significantly better contrast sensitivity than participants with poor relative

efficiency. **Conclusions:** The developmental dyslexia group presented a markedly worse performance in visual variables related to visual magnocellular function (i.e., frequency-doubling technology perimetry and ocular motor skills) compared with a matched control group. Professionals need to be aware of the importance of evaluating vision of individuals with developmental dyslexia beyond visual acuity and including in their assessments instruments to evaluate temporal processing, with contrast sensitivity threshold.

**Keywords:** Dyslexia; Reading; Visual perception; Vision disorders; Oculomotor muscles; Eye movements

**RESUMO | Objetivo:** Verificar se pacientes com dislexia do desenvolvimento (DD) apresentam déficits coerentes com uma disfunção magnocelular visual. **Métodos:** Participantes com diagnóstico confirmado de dislexia do desenvolvimento (n=62; faixa etária= 8 a 25 anos; Média da idade= 13.8 anos, desvio padrão= 3.9; 77% homens) foram comparados a um grupo controle com desenvolvimento típico, pareado por idade, sexo, dominância ocular, acuidade visual e compreensão de texto. A perimetria *Frequency-Doubling Technology* avaliou o limiar de sensibilidade ao contraste do campo visual periférico. O rastreador ocular Visagraph-III registrou os movimentos dos olhos durante leitura de texto. **Resultados:** O grupo com dislexia do desenvolvimento apresentou piores limiares de sensibilidade no *Frequency-Doubling Technology*, com tamanho de efeito forte, do que o grupo controle. O grupo com dislexia do desenvolvimento apresentou mais olhos classificados com déficits na sensibilidade à ilusão de frequência duplicada do que o grupo controle. O grupo com dislexia do desenvolvimento apresentou pior habilidade motora ocular e no desempenho de leitura, revelado pela diferença entre os grupos em relação às fixações oculares, regressões, alcance de reconhecimento, taxa de leitura e eficiência relativa. Foi encontrada correlação significativa entre a sensibilidade ao contraste e as habilidades motoras oculares. Os participantes

Submitted for publication: January 30, 2020

Accepted for publication: July 3, 2020

**Disclosure of potential conflicts of interest:** None of the authors have any potential conflicts of interest to disclose.

**Corresponding author:** Douglas de Araújo Vilhena.  
E-mail: douglasvilhena@ufmg.br

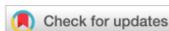
**Approved by the following research ethics committee:** Universidade Federal de Minas Gerais (CAAE: 49765115.0.0000.5149).

 This content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ <http://dx.doi.org/10.5935/0004-2749.202100XX>

Arq Bras Oftalmol. 2021;84(5):xx-xx

1

13. Apêndice D – Publicação do Estudo 3 na Revista *Perceptual and Motor Skills*.

Article

# Spectral Overlays for Reading Difficulties: Oculomotor Function and Reading Efficiency Among Children and Adolescents With Visual Stress

Márcia Reis Guimarães<sup>1,2</sup>,  
Douglas de Araújo Vilhena<sup>1,2,3,4</sup> ,  
Stephen J. Loew<sup>2,5</sup>, and  
Ricardo Queiroz Guimarães<sup>1,2</sup>

Perceptual and Motor Skills

0(0) 1–20

© The Author(s) 2019

Article reuse guidelines:

sagepub.com/journals-permissions

DOI: 10.1177/0031512519889772

journals.sagepub.com/home/pms



## Abstract

This study analyzed the effects of spectral overlays on ocular motility during reading among a clinical group of children and adolescents experiencing visual–perceptual distortions of text. We reviewed the records of 323 eye-hospital patients diagnosed with visual stress and divided this participant sample into two age-based cohorts: children ( $n = 184$ ; Mean  $[M]$  age = 10.1, standard deviation  $[SD] = 1.3$  years) and adolescents ( $n = 139$ ;  $M$  age = 14.6,  $SD = 1.5$  years). We used a *Visagraph III Eye-Movement Recording System* to record ocular motor efficiency while reading with

<sup>1</sup>NeuroVision Department, Hospital de Olhos Dr. Ricardo Guimarães, Nova Lima, Brazil

<sup>2</sup>Laboratory of Applied Research in Neuroscience of Vision, Universidade Federal de Minas Gerais, Nova Lima, Brazil

<sup>3</sup>Graduate Program on Psychology: Cognition and Behavior, Department of Psychology, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

<sup>4</sup>Faculty of Psychology and Education Sciences, Universidade do Porto, Portugal

<sup>5</sup>School of Psychology and Behavioural Science, University of New England, Armidale, Australia

## Corresponding Author:

Douglas de Araújo Vilhena, Laboratory of Applied Research in NeuroVision, Universidade Federal de Minas Gerais, Rua da Paisagem, 220—Vila da Serra, Nova Lima, MG-CEP 30720-600, Brazil.

Email: douglasvilhena@ufmg.br

**14. Apêndice E – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais [CAAE: 49765115.0.0000.5149]**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

**Projeto: CAAE – 49765115.0.0000.5149**

**Interessado(a): Profa. Ângela Maria Vieira Pinheiro  
Departamento de Psicologia  
FAFICH- UFMG**

**DECISÃO**

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 19 de novembro de 2015, o projeto de pesquisa intitulado **"Avaliação do processamento oculomotor, neurovisual e cognitivo de pacientes com dificuldade de leitura e de aprendizado"** bem como os documentos:

- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido;
- Termo de Assentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto através da Plataforma Brasil.

Profa. Dra. Telma Campos Medeiros Lorentz  
Coordenadora do COEP-UFMG

**15. Apêndice F – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais [CAAE: 17754514.6.0000.5149]**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

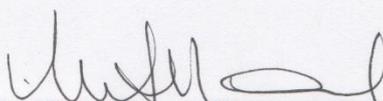
Projeto: CAAE – 17754514.6.0000.5149

Interessado(a): **Profa. Ângela Maria Vieira Pinheiro**  
Departamento de Psicologia  
FAFICH- UFMG

**DECISÃO**

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 24 de abril de 2014, o projeto de pesquisa intitulado "**Avaliação da capacidade cognitiva e da habilidade de leitura de crianças do Ensino Fundamental**" bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

  
**Profa. Maria Teresa Marques Amaral**  
Coordenadora do COEP-UFMG