



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

NÚCLEO DE TEORIA E PESQUISA DO COMPORTAMENTO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E
COMPORTAMENTO**

**Discriminação de luminância com mascaramento de ruído cromático em crianças e
adolescentes**

Joycianne Rodrigues Parente

Belém – PA

2025

JOYCIANNE RODRIGUES PARENTE

**DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA COM MASCARAMENTO DE RUÍDO
CROMÁTICO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Neurociências e Comportamento.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Leticia Miquilini de Arruda Farias

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart

Belém – PA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
UFPA/Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento/Biblioteca

- P228d Parente, Joycianne Rodrigues
 Discriminação de luminância com mascaramento de ruído cromático
 em crianças e adolescentes / Joycianne Rodrigues Parente. — 2025.
 99 f.: il.: color

 Orientadora: Letícia Miquilini de Arruda Farias
 Coorientador: Paulo Roney Kilpp Goulart

 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de
 Teoria e Pesquisa do Comportamento, Programa de Pós- Graduação
 em Neurociência e Comportamento, Belém, 2025.

 1. Psicologia: processos comportamentais. 2. Percepção visual. 3.
 Discriminação de luminância. 4. Processamento visual (cor e
 luminância). 5. Limiar de luminância. I. Título.

CDD - 23. ed. — 153.7

Catálogo na fonte: Maria Célia Santana da Silva – CRB2/780

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

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) - Finance Code 001.

Joycianne Rodrigues Parente, Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil.

Contato: Joycianne Rodrigues Parente

E-mail: joycir20@gmail.com

JOYCIANNE RODRIGUES PARENTE

**DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA COM MASCARAMENTO DE RUÍDO
CROMÁTICO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Neurociências e Comportamento.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Letícia Miquilini de Arruda Farias

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart

Data da Defesa: 07/11/2025

Banca Examinadora

Prof^ª Dra. Letícia Miquilini de Arruda Farias (orientadora)

Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart (coorientador)

Prof. Dr. Givago da Silva Souza (UFPA - membro externo)

Prof^ª. Dra. Bruna Rafaela da Silva Sousa (UNAMA - membro externo)

Prof. Dr. Railson Cruz Salomão (UFPA – suplente)

**Termo de Autorização e Declaração de Distribuição não exclusiva para Publicação Digital no
Repositório Institucional da UFPA**

IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR E DA OBRA

Autor: Joycianne Rodrigues Parente

Vínculo com a UFPA: () Servidor; (X) Discente

Unidade: Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Sub Unidade: Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento

Tipo do documento: () Tese; (X) Dissertação; () Livro; () Capítulo de Livro; () Artigo de Periódico; () Trabalho de Evento; () Outro. Especifique: _____

Título do Trabalho: Discriminação de luminância com mascaramento de ruído cromático em crianças e adolescentes.

Data da Defesa: 07 / 11 / 2025

Área do Conhecimento: Psicologia

Linha de Pesquisa: Processos Comportamentais Básicos

Agência de Fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO EXCLUSIVA

O referido autor: Joycianne Rodrigues Parente

Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade. Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à Universidade Federal do Pará os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros, está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo entregue. Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal do Pará, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a UFPA a disponibilizar de acordo com a licença pública Creative Commons Licença 3.0 *Unported*, e de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra citada, conforme permissões abaixo por mim assinaladas, para fins de leitura, impressão e/ou download, a partir desta data.

Permitir o uso comercial da obra? () Sim (X) Não

Permitir modificações em sua obra? () Sim, contanto que compartilhem pela mesma licença (X) Não

O documento está sujeito ao registro de patente? () Sim (X) Não

A obra continua protegida conforme a Lei de Direito Autoral.

Belém (PA), 10 / 11 / 2025



Documento assinado digitalmente

JOYCIANNE RODRIGUES PARENTE

Data: 10/11/2025 07:42:36-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar até aqui e por me permitir viver mais um sonho e a Nossa Senhora de Nazaré, pela intercessão.

À minha família, pelo apoio e amor incondicionais, em especial aos meus pais, que tornaram tudo isso possível e aos meus irmãos.

Ao Luan, pelos conselhos e incentivos ao longo dessa jornada.

À minha orientadora, professora Letícia, por sua acolhida desde a minha entrevista, pela confiança depositada em mim e pela dedicação em todas as etapas deste trabalho.

Ao meu coorientador, professor Paulo, pela generosidade e prontidão, suas orientações foram fundamentais para a construção deste trabalho e para a minha formação.

Aos professores Dora e Givago, pelas valiosas contribuições na melhoria desse trabalho.

À Thaise, fiel companheira durante os dias de coleta na EAUFGPA.

Ao PPGNC, por abrir portas e me permitir conhecer pessoas extraordinárias.

Aos professores do PPGNC, em especial Olavo, Daniela e Natália pelos aprendizados proporcionados nas disciplinas e pelas contribuições na construção desse trabalho.

Aos colegas do Programa, pelas trocas enriquecedoras.

À EAUFGPA e aos seus professores, em especial à Eulália, Socorro, Rafael e Lúcia, por possibilitarem que esta pesquisa se concretizasse.

E, por fim, às crianças, adolescentes e seus responsáveis, por tornarem este trabalho possível e real.

Parente, J. R. P. (2025). Discriminação de luminância com mascaramento de ruído cromático em crianças e adolescentes. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento, Universidade do Pará. Belém-PA, 99 p.

Resumo

Com as crescentes evidências de interação entre as informações de cor e luminância no processamento visual, pesquisas demonstram que o ruído cromático eleva os limiares de discriminação de luminância. Neste trabalho buscamos investigar esse efeito em crianças e adolescentes, público em que há um conflito de informações acerca do processo de maturação dos canais cromáticos. Investigamos a discriminação do contraste limiar de luminância em 80 indivíduos, entre 8 e 14 anos, divididos em dois grupos: crianças e adolescentes jovens. Utilizamos quatro protocolos de mascaramento: três com ruído cromático contendo cromaticidades com tamanho vetorial de 0,04 unidades $u'v'$ projetadas a partir de uma cromaticidade de referência (CIE 1976: $u' = 0,1947$; $v' = 0,4639$), próximas às linhas de confusão protan, deutan e tritan, e um protocolo apenas com a cromaticidade de referência (acromático). O experimento seguiu um método adaptativo de escada com 8 reversões, e os limiares foram calculados com a média das últimas 6 reversões. As crianças tiveram limiares de discriminação de luminância mais elevados que os adolescentes, com diferenças significativas entre esses grupos em todos os protocolos ($p < 0,05$). Comparações intragrupo mostraram limiares nos protocolos protan, deutan e tritan significativamente mais altos em relação ao acromático ($p < 0,001$) nos dois grupos. Nossos achados revelam que o efeito do ruído cromático na discriminação de luminância é maior durante a infância e diminui com o aumento da idade até a adolescência, o que pode estar relacionado com a maturação das vias neurais envolvidas no processamento de cor e luminância.

Palavras-chave: Discriminação de luminância; ruído cromático; limiar de luminância.

Parente, J. R. P. (2025). Luminance discrimination with chromatic noise masking in children and adolescents. Master's Dissertation. Graduate Program in Neurosciences and Behavior, Federal University of Pará. Belém-PA, 99 pages.

Abstract

With the increasing evidence of interaction between color and luminance information in visual processing, studies have shown that chromatic noise elevates luminance discrimination thresholds. In this study, we sought to investigate this effect on children and adolescents, a population for which there is conflicting information regarding the maturation of chromatic channels. We examined luminance contrast thresholds in 80 participants aged 8 to 14 years, divided into two groups: children and younger adolescents. Four masking protocols were used—three with chromatic noise containing chromaticities with a vector length of 0.04 $u'v'$ units projected from a reference chromaticity (CIE 1976: $u' = 0.1947$; $v' = 0.4639$), near the protan, deutan, and tritan confusion lines, and one protocol with only the reference (achromatic) chromaticity. The experiment followed an adaptive staircase method with eight reversals, and thresholds were calculated as the mean of the last six reversals. Children showed higher luminance discrimination thresholds than adolescents, with significant differences between groups across all protocols ($p < 0.05$). Within-group comparisons revealed significantly higher thresholds in the protan, deutan, and tritan protocols compared to the achromatic one ($p < 0.001$) in both groups. Our findings indicate that the effect of chromatic noise on luminance discrimination is greater during childhood and decreases with age up to adolescence, which may be related to the maturation of neural pathways involved in color and luminance processing.

Keywords: Luminance discrimination; chromatic noise; luminance threshold.

Sumário

Introdução.....	11
Objetivos.....	25
Objetivo geral.....	25
Objetivos específicos.....	25
Método.....	25
Delineamento da pesquisa.....	25
Participantes.....	25
Considerações éticas.....	26
Ambiente.....	27
Estímulos.....	28
Procedimentos.....	33
Teste de acuidade visual.....	33
Teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara.....	35
Teste de discriminação do contraste limiar de luminância com mascaramento de ruído cromático.....	38
Análise de dados.....	42
Resultados.....	42
Discussão.....	47
Referências.....	54
APÊNDICES.....	63
APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	63
APÊNDICE B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido para adolescentes.....	66
APÊNDICE C - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido para crianças.....	70
APÊNDICE D – Parecer consubstanciado do CEP.....	73
APÊNDICE E – Carta convite.....	78
APÊNDICE F – Anamnese.....	79
APÊNDICE G - Artigo Correlation between parameters estimated by the colour assessment and diagnosis and the Cambridge colour test in color discrimination evaluation.....	79
APÊNDICE H – Artigo color vision and luminance discrimination throughout the life span....	88

Lista de Figuras

Figura 1 - Contrastes de cor e luminância observados no ambiente natural.....	12
Figura 2 - Ilustração do processamento de informação na retina.....	15
Figura 3 - Exemplo de estímulo visual usado para avaliação de limiares cromáticos (condição deutan) por Knoblauch et al. (2001)	17
Figura 4 - Organização das vias magnocelular, parvocelular e koniocelular no sistema visual.....	20
Figura 5 - Dimensões e estrutura do estímulo visual desenvolvido por Miquilini et al. (2017)	22
Figura 6 - Ambiente experimental utilizado na aplicação dos testes da pesquisa.....	28
Figura 7 - Dimensões do estímulo utilizado no teste de discriminação de luminância.....	29
Figura 8 - Estímulos utilizados nos quatro protocolos de discriminação de luminância.....	31
Figura 9 - Distribuição das cromaticidades dos estímulos no diagrama da CIE 1976 ($u'v'$)	32
Figura 10 - Exemplos de estímulos apresentados durante o Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT).....	34
Figura 11 - Categorias de classificação das figuras pseudoisocromáticas presentes no teste de Ishihara.....	37
Figura 12 - Sequência de apresentação dos estímulos com diferentes contrastes de luminância.....	41
Figura 13 - Dispersão dos contrastes limiares para cada protocolo entre os grupos	44
Figura 14 - Dispersão dos contrastes limiares de luminância (%) nos protocolos protan, deutan, tritan e acromático no grupo das crianças e dos adolescentes.....	45
Figura 15 - Média dos contrastes limiares (%) por idade (anos) nos protocolos testados.....	47
Figura 16 - Dispersão dos contrastes limiares de luminância (%) nos protocolos protan, deutan, tritan e acromático desde a infância até a fase idosa.....	

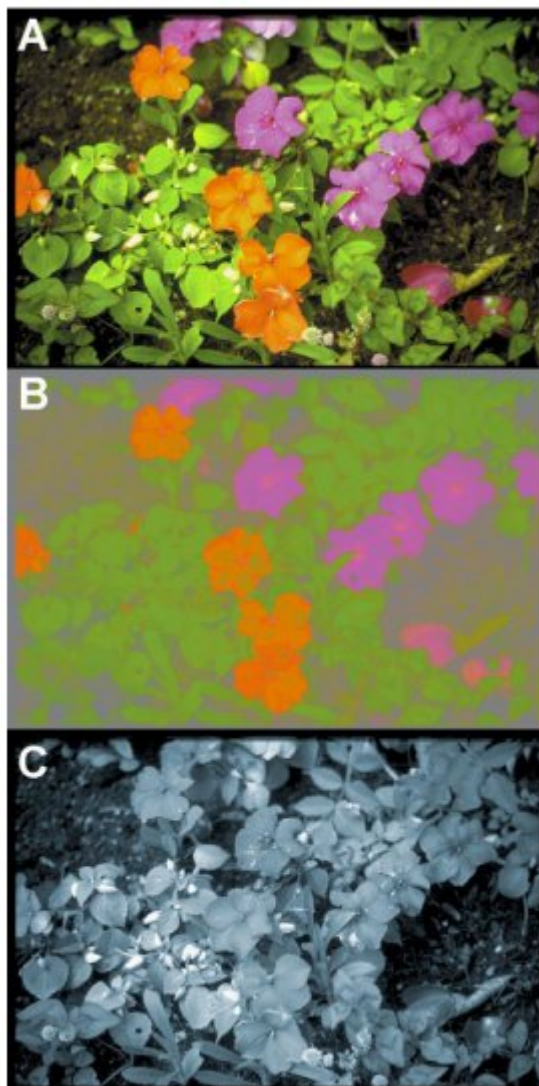
Introdução

A visão desempenha um papel crucial em diversos comportamentos, desde os ecologicamente relevantes, como a detecção, discriminação e reconhecimento de objetos no ambiente essenciais à nossa sobrevivência, como parceiros, abrigos, predadores ou presas, até comportamentos desenvolvidos para atender às demandas do cotidiano moderno, como a leitura, escrita ou assistir a uma videoaula.

No contexto natural, a maioria dos objetos se destaca do fundo por meio de contrastes de cor e de luminância que facilitam sua identificação (Olsson et al., 2018). A informação de luminância contribui para a identificação de detalhes finos e contornos dos objetos (Figura 1C), mas ela sozinha não fornece contraste suficiente para distinguir alguns objetos. Nesses casos, a informação cromática é essencial para a discriminação de objetos com pouca diferença de luminância, como pétalas de flores em relação às folhas, por exemplo (Figura 1A; Gegenfurtner & Kiper, 2003). Isso evidencia que a percepção visual não depende apenas da cor ou apenas da luminância, mas da integração dessas duas informações, que atuam de forma complementar no ambiente natural.

Figura 1

Contrastes de cor e luminância observados no ambiente natural.



Nota. Em A observa-se uma imagem com informações de cor e luminância presentes no ambiente natural. Em B a mesma imagem é apresentada contendo apenas contraste cromático após ser editada para conter o mesmo valor de luminância em todos os pixels. Em C a imagem foi editada para conter apenas informações de luminância. Adaptado de Gegenfurtner e Kiper (2003).

A percepção de cenas visuais, como exemplificada na Figura 1, só é possível devido à alta sensibilidade do sistema visual humano às variações de cor e luminância (Kingdom, 2003). Como essas informações geralmente estão sobrepostas no ambiente natural, o estudo das interações entre a resposta visual à cor e à luminância é fundamental para a compreensão do processamento visual em condições naturais (Kim & Mullen, 2016).

O processamento visual das informações de cor e luminância tem início na retina, onde a energia luminosa é convertida em sinais neurais por meio da fototransdução realizada pelos cones e bastonetes (Jindrová, 1998). Os bastonetes são altamente sensíveis a baixas intensidades de luz (visão escotópica) e atuam principalmente durante a noite, enquanto os cones, atuam em condições de boa luminosidade (visão fotópica) e são essenciais para a percepção das cores (Koeppen & Stanton, 2018). Em indivíduos tricromatas normais existem três tipos de cones: S, M e L, que apresentam seus picos de absorbância máxima em faixas de comprimentos de onda curtos, médios e longos do espectro visível. Essa diferenciação ocorre devido a diferentes classes de fotopigmentos presentes em cada um dos cones e que determinam a capacidade de absorção de fótons (Kandel et al., 2014; Bloch, 2016).

No entanto, pode haver modificações no funcionamento ou ausência de uma ou mais classes de fotopigmentos dos cones da retina que resultam em alterações na percepção de cores, denominadas discromatopsias (Cvetković & Cvetković, 2005; Neitz & Neitz, 2000). Essas alterações podem apresentar diferentes graus.

No tricromatismo anômalo, os três tipos de cones estão presentes, mas uma das classes de fotopigmentos exibe um pico espectral anormal, o que modifica a forma como certas cores são percebidas, que pode ser: no fotopigmento L, denominado protanomalia; no fotopigmento M, deuteranomalia; ou no fotopigmento S, tritanomia (Neitz & Neitz, 2000).

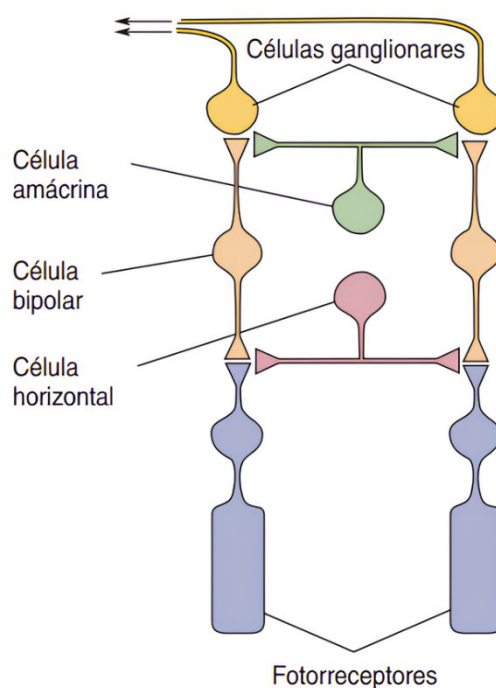
Por outro lado, no dicromatismo, há ausência completa de uma das classes de fotopigmentos dos cones: no cone L na protanopia, M na deuteranopia ou S na tritanopia (Maréchal et al., 2018). Como consequência, o indivíduo perde a capacidade de distinguir determinadas cores que dependem da resposta do tipo de cone ausente.

Essa limitação gera linhas de confusão representadas em diagramas de cromaticidades, elas correspondem a direções específicas ao longo das quais diferentes estímulos produzem a mesma sensação de cor (Moreira et al., 2017). Assim, qualquer estímulo localizado sobre a mesma linha de confusão é perceptualmente indistinguível para aquele tipo de dicromata. Indivíduos com ausência de fotopigmentos L ou M apresentam linhas de confusão ao longo do eixo verde-vermelho (linhas protan e deutan), enquanto a ausência de fotopigmentos S resulta em uma linha de confusão ao longo do eixo azul-amarelo (linha tritan).

Como ilustrado na Figura 2, os sinais dos fotorreceptores são transmitidos às células bipolares, que os repassam às células ganglionares cujos axônios formam o nervo óptico (Kaplan, 2003). Além dessas células, as células horizontais e amácrinas da retina desempenham um papel importante na modulação da transmissão de sinais dos fotorreceptores para as células bipolares e ganglionares (Solomon, 2021).

Figura 2

Ilustração do processamento de informação na retina.



Nota. Na retina, os fotorreceptores se conectam às células bipolares que repassam as informações às células ganglionares que constituem os neurônios de saída da retina. Células horizontais e amácrinas atuam na modulação da transmissão de sinais dos fotorreceptores para as células bipolares e ganglionares. Reproduzido de Bear et al. 2008).

As células bipolares e ganglionares possuem campos receptivos organizados em um padrão centro-periferia: a luz que atinge fotorreceptores no centro do campo receptivo pode excitar ou inibir a célula, enquanto a luz na periferia do campo gera uma resposta oposta. Esses campos receptivos podem ser classificados como ON ou OFF: as células ON despolarizam quando a luz atinge o centro de seu campo, enquanto as células OFF hiperpolarizam (Ichinose & Habib, 2022). Esse padrão de processamento inicial das informações visuais na retina é fundamental para a organização das vias neurais que transmitem sinais sobre cor e luminância.

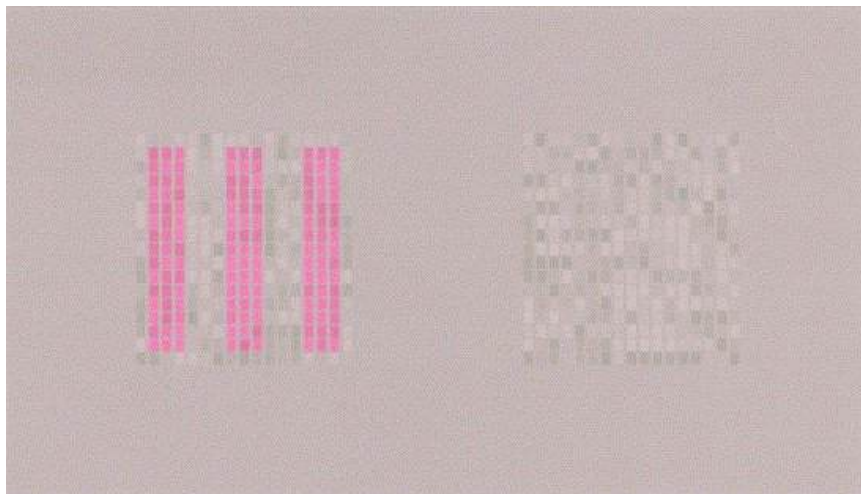
Existem três principais vias neurais responsáveis pela transmissão das informações de cor e luminância da retina ao córtex visual. A via magnocelular muito sensível ao contraste de luminância e pouco sensível à cor. A via parvocelular altamente sensível ao contraste verde-vermelho e pouco sensível ao contraste de luminância. E a via koniocelular sensível ao contraste azul-amarelo, mas com pouca ou nenhuma resposta à luminância (Lee, 2011; Lee & Swanson, 2022; Zhang et al., 2024).

Diversas investigações foram realizadas para compreender como se dá o desenvolvimento e amadurecimento dessas vias relacionadas ao processamento de cor e luminância de maneira. Uma vez que o sistema visual não está totalmente maduro ao nascermos e continua a se desenvolver ao longo da vida (Moro et al., 2023), passando por um processo de desenvolvimento prolongado que não se completa até vários anos após o nascimento (Boothe et al., 1985; Kiorpes, 2016; Danka Mohammed & Kalil, 2020).

Um dos estudos realizados para avaliar como as vias relacionadas ao processamento cromático se desenvolviam foi o de Knoblauch et al. (2001) que avaliou os limiares cromáticos em indivíduos de 3 meses a 86 anos ao longo dos eixos de protan, deutan e tritan (Figura 3). Os resultados obtidos revelaram uma diminuição dos limiares a cada duplicação da idade até a adolescência, essa diminuição se deu de maneira semelhante ao longo dos três eixos testados. Esses resultados demonstram que os mecanismos cromáticos amadurecem até a adolescência e que os canais verde-vermelho e azul-amarelo se desenvolvem de maneira uniforme.

Figura 3

Exemplo de estímulo visual usado para avaliação de limiares cromáticos (condição deutan) por Knoblauch et al. (2001).



Nota. Exemplo de uma das condições de teste descritas por Knoblauch et al. (2001), com cromaticidade modulada ao longo de deutan. O estímulo é apresentado em um dos campos de ruído como três barras verticais à esquerda. O campo de fundo apresenta luminância constante de 34 cd/m² e o ruído de fundo é composto por quadrados de 7°, com modulação aleatória de luminância, a luminância de cada quadrado variava a cada 0,1 s dentro de uma faixa simétrica em torno da luminância média do fundo. O procedimento experimental utilizou o método de escolha forçada com duas alternativas de localização do estímulo: à direita ou à esquerda da tela. Adaptado de Knoblauch et al. (2001).

O resultado observado por Knoblauch et al. (2001) foi corroborado por um estudo eletrofisiológico realizado posteriormente por Crognale (2002) que avaliou o desenvolvimento dos potenciais evocados cromáticos desde a primeira semana de vida até os 93 anos. Ele observou que as respostas aos padrões de reversão acromática atingem latências maduras já nas primeiras 12 a 15 semanas de vida, sugerindo um desenvolvimento precoce dos mecanismos acromáticos. Por outro lado, as respostas aos estímulos cromáticos só

amadureciam após a puberdade, entre 12 e 14 anos. Assim como Knoblauch et al. (2001) observou anteriormente, não houve diferenças significativas nas respostas entre os eixos azul-amarelo e verde-vermelho, indicando que o desenvolvimento desses canais ocorra em um ritmo semelhante.

No entanto, os resultados obtidos por Crognale (2002) e Knoblauch et al. (2001) diferem dos achados de Paramei e Oakley (2014), os quais demonstram que, ao longo da vida, os limiares cromáticos diminuem na adolescência até a fase adulta, por volta dos 30 anos, indicando um tempo maior para o amadurecimento dos mecanismos cromáticos. Além disso, os limiares cromáticos foram maiores ao longo do eixo azul-amarelo, indicando que esse canal apresenta um ritmo de desenvolvimento mais lento. Esse achado foi reforçado por Ling e Dain (2018) que também observaram essa divergência, contudo, identificaram que após os 10 anos, os resultados relacionados ao verde-vermelho e azul-amarelo são similares, ou seja, seguiriam ritmos semelhantes de desenvolvimento após a infância.

Os estudos de Knoblauch et al. (2001), Crognale (2002), Paramei e Oakley (2014) e Ling e Dain (2018) são concordantes ao indicarem que o desenvolvimento da visão cromática é um processo prolongado, que se estende para além da infância. Contudo, apresentam discordâncias acerca do ritmo de maturação dos canais verde-vermelho e azul-amarelo. Esse conflito sugere uma lacuna importante na literatura acerca de como se dá a trajetória de desenvolvimento dos mecanismos cromáticos.

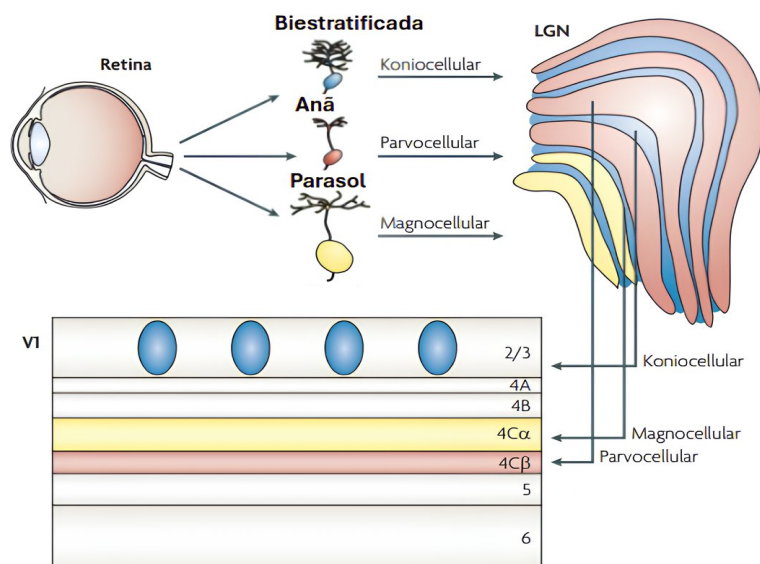
Além disso, os trabalhos citados avaliam a cor de forma segregada, sem considerar o modo como esses mecanismos interagem com o processamento da luminância. Assim, não está claro como o processo de amadurecimento dos canais cromáticos influencia a interação entre cor e luminância em crianças e adolescentes, cujos sistemas visuais

ainda estão em desenvolvimento. Diante dessa lacuna, no presente estudo buscamos investigar como essa interação entre cor e luminância ocorre em crianças e adolescentes jovens.

De acordo com evidências anatômicas e fisiológicas descritas na literatura, as informações de cor e luminância seguiriam por vias separadas até o córtex visual primário (V1) sem haver interação entre essas informações (Kaplan & Shapley, 1986; Nassi & Callaway, 2009). A via magnocelular, originada das células ganglionares parasol, recebe sinais combinados dos cones L e M e projeta-se para as camadas magnocelulares (1 e 2) do núcleo geniculado lateal (NGL), no tálamo, de onde segue para a camada 4C α de V1. A via parvocelular, derivada das células ganglionares anãs, recebe entradas opostas dos cones L e M e envia suas informações para as camadas parvocelulares (3 a 6) do NGL e para a camada 4C β de V1. Já a via koniocelular, formada pelas células ganglionares biestratificadas, integra sinais dos cones S em oposição a uma combinação dos cones L e M e projeta-se para as camadas koniocelulares do NGL, localizadas entre as camadas magnocelulares e parvocelulares, e posteriormente para a camada 2/3 de V1 (Nassi & Callaway, 2009; Lee, 2011; Lee & Swanson, 2022; Figura 4).

Figura 4

Organização das vias magnocelular, parvocelular e koniocelular no sistema visual.



Nota. As informações de cor e luminância chegam até a retina, e seus sinais são encaminhados através de células ganglionares para camadas paralelas do NGL, do NGL os sinais são enviados para V1 através de vias independentes. A via koniocelular (azul) origina-se nas células ganglionares biestratificadas que se projetam para as camadas koniocelulares do LGN e para a camada 2/3 do córtex visual primário. A via magnocelular (amarelo) originada a partir das células ganglionares parasol que se projetam para as camadas magnocelulares do LGN e para a camada 4Cα de V1. A via parvocelular (rosa) originada nas células ganglionares anãs (midget) e que enviam informações para as camadas parvocelulares do LGN e para a camada 4Cβ de V1. Adaptado de Nassi & Callaway (2009).

Chatterjee e Callaway (2003), por exemplo, ao utilizarem uma substância chamada muscimol, que bloqueia a comunicação entre neurônios do córtex e permite observar apenas as respostas vindas do NGL, estimularam separadamente os três tipos de cones da retina e identificaram três tipos de sinais chegando ao córtex visual primário (V1): azul-amarelo, verde-

vermelho e acromático. Esses sinais estavam distribuídos em camadas diferentes do córtex e não havia sobreposição entre as regiões que recebiam informação de cor e as que recebiam informação de luminância. Esses resultados indicavam que as vias magnocelular, parvocelular e koniocelular mantêm trajetos independentes e especializados, sustentando a ideia de que cor e luminância são processadas de forma paralela e relativamente separada em V1.

No entanto, estudos mais recentes levantam evidências de mecanismos de interação entre essas informações. Johnson et al. (2001), por exemplo, observaram que em V1, além de existirem neurônios que respondem preferencialmente à luminância (células de luminância) e outros preferencialmente à cor (células de cor), existem muitos neurônios que respondem fortemente tanto à cor quanto à luminância (células cor-luminância), representando assim um mecanismo de interação entre essas informações já no início do processamento visual.

Xing et al. (2015) complementaram esse achado mostrando evidências de que essa interação entre cor e luminância envolve um mecanismo inibitório em V1, já que havia uma diminuição na amplitude do registro do potencial visual evocado cromático humano à medida que o contraste de luminância aumentava. De maneira convergente, Negishi & Shinomori (2021), usando através de ressonância magnética funcional (fMRI) e um teste psicofísico, também identificaram supressão da resposta à luminância na presença de estímulos cromáticos. Eles observaram que a presença dos componentes cromáticos suprimia a atividade cerebral associada à resposta à luminância, assim como a discriminação de contraste de luminância era pior quando havia manchas coloridas na grade visual.

Além dos estudos de Johnson et al. (2001), Xing et al. (2015) e Negishi & Shinomori (2021), há diversos trabalhos realizados utilizando outras configurações experimentais para avaliar esse processo de interação entre cor e luminância (Switkes et al., 1988; Souza et al., 2014; Cormenzana Méndez et al., 2016; Miquilini et al., 2017; Sousa et al., 2020; Brito et al.,

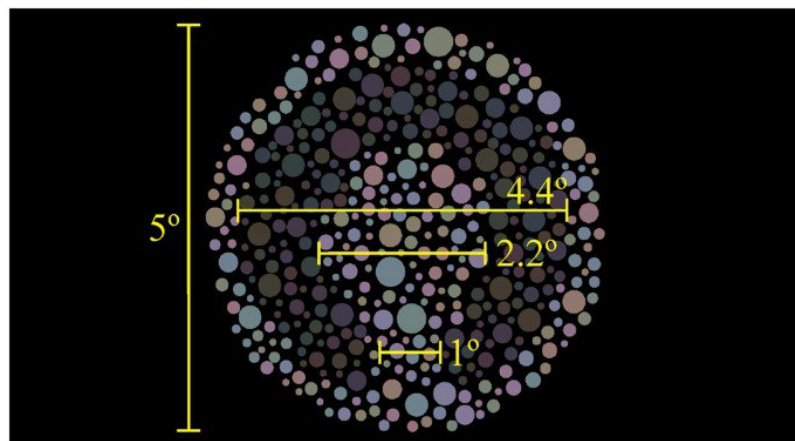
2022). Uma das configurações experimentais utilizadas para avaliar essa interação consiste na utilização de estímulos pseudoisocromáticos. Como citado por Souza et al. (2014), a discriminação entre alvo e fundo nesses estímulos pode ser influenciada pela interação entre informações de cor e de luminância.

Esses estímulos incorporam princípios desenvolvidos por Stilling (1877). Neles, a imagem é fragmentada em pequenos elementos, cada um com seus próprios contornos, formando um mosaico em que os elementos apresentam diferentes luminâncias (ruído de luminância) e tamanhos (ruído espacial). Os ruídos são adotados para eliminar pistas de borda e de luminância e garantir que o indivíduo dependa exclusivamente da discriminação cromática para realizar a tarefa (Mollon, 2003). Esses estímulos são amplamente utilizados na avaliação da discriminação de cores, em que um alvo formado por um subconjunto de elementos do mosaico se destaca do fundo com base na diferença de cromaticidade (Regan et al. 1994).

Inspirados na lógica dos estímulos pseudoisocromáticos, Miquilini et al. (2017) desenvolveram um estímulo para investigar a influência da cor na discriminação do limiar de luminância. O estímulo era composto por um mosaico de elementos de diferentes tamanhos e cromaticidades, que formava um ruído espacial cromático com o objetivo de eliminar pistas que não fossem de luminância. Esse ruído mascarava um alvo, em formato de C (C de Landolt), que diferia do fundo apenas em luminância (Figura 5). Os resultados indicaram que o ruído cromático dificultava a discriminação de luminância, visto que quanto mais saturado o ruído (isto é, quanto mais “vivas” eram as cores) maiores eram os limiares de contraste de luminância, indicando que a cor dificultava a discriminação de luminância. Dessa forma, o estímulo desenvolvido se mostrou eficaz para avaliar os mecanismos de interação entre cor e luminância através do efeito supressivo do ruído sob a discriminação de luminância.

Figura 5

Dimensões e estrutura do estímulo visual desenvolvido por Miquilini et al. (2017).



Nota. Estímulo desenvolvido por Miquilini et al. (2017) formado um mosaico circular, composto por elementos circulares de diferentes tamanhos e cromaticidades. Os elementos que ocupam a área com formato de C, o C de Landolt, têm uma luminância menor, destacando-se do restante do mosaico. Na imagem, observa-se as dimensões espaciais do estímulo, com diâmetro total do mosaico de 5° de ângulo visual; diâmetros externo e interno do Landolt-C de 4,4° e 2,2° de ângulo visual e a lacuna do Landolt-C de 1° de ângulo visual. Adaptado de Miquilini et al. (2017).

Após o estudo de Miquilini et al. (2017), outras investigações foram realizadas utilizando protocolos com ruídos cromáticos ao longo de protan, deutan e tritan. Um dos trabalhos foi o de Sousa et al. (2020) que avaliaram discromatópsicos do tipo protan e deutan. Eles observaram que os participantes não apresentavam alterações nos limiares de luminância quando o ruído cromático tinha cromaticidades próximas às suas linhas de confusão (protan e deutan), mas os resultados foram semelhantes aos dos tricromatas no protocolo contendo ruído cromático tritan. Brito et al. (2022), com o uso do mesmo paradigma, estenderam a investigação para o público idoso e seus dados revelaram um menor efeito do ruído cromático ao longo eixo

tritan na discriminação de luminância, sugerindo uma diminuição na percepção de cores azul-amarelo relacionada com o processo de envelhecimento. Os resultados de Sousa et al. (2020) e Brito et al. (2022) demonstram que o estímulo utilizado é eficaz para avaliar não só a percepção de luminância, mas também a percepção de cores, permitindo compreender os mecanismos de interação entre elas.

Em um estudo mais recente, Ferreira et al. (2025) ampliou a análise de Brito et al. (2022) para o público adolescente maduro e realizou comparações entre os limiares de três grupos etários: adolescentes maduros ($15,7 \pm 0,8$ anos), adultos jovens (20–40 anos) e adultos idosos (60 anos ou mais). Os resultados mostraram que, nos protocolos com ruído cromático, os adultos jovens apresentaram os limiares mais baixos, seguidos pelos adolescentes maduros com limiares maiores, enquanto os idosos exibiram os limiares mais altos. A diferença entre adultos jovens e adolescentes maduros sugere que os mecanismos de interação entre cor e luminância não atingem plena maturidade na adolescência. Esses achados indicam uma maturação prolongada dos mecanismos de interação entre cor e luminância, mas reforçam a necessidade de investigações em crianças e adolescentes jovens (11 a 14 anos) para compreender a trajetória completa desse desenvolvimento.

O estudo da interação entre cor e luminância em crianças e adolescentes jovens deve considerar não apenas o amadurecimento das vias visuais, mas também aspectos cognitivos e motivacionais que influenciam o desempenho em tarefas psicofísicas (Ling & Dain, 2018; Kinnear & Sahraie, 2002). Fatores como pouca experiência com tarefas contraintuitivas, dificuldades de compreensão de instruções e dificuldade em lidar com tarefas longas ou contraintuitivas podem gerar resultados que não refletem com precisão o que se pretende avaliar (Ling & Dain, 2018; Kinnear & Sahraie, 2002). Esses desafios apontam para a

necessidade de metodologias adaptadas a esse público, capazes de minimizar a influência de fatores não visuais e garantir que os dados obtidos sejam confiáveis.

Assim, neste estudo buscamos compreender como se dá a interação entre cor e luminância em crianças e adolescentes jovens, considerando tanto o desenvolvimento das vias visuais cromáticas e acromáticas quanto os fatores cognitivos e motivacionais que podem afetar o desempenho desse público.

Objetivos

Objetivo geral

Investigar o limiar da discriminação de luminância sob ruído cromático e acromático em pessoas de 8 a 14 anos de idade.

Objetivos específicos

- Avaliar os limiares de discriminação de luminância sob ruídos cromáticos em função da idade.
- Avaliar os limiares de discriminação de luminância sem ruído de cor em função da idade.

Método

Delineamento da pesquisa

O estudo se caracteriza como uma pesquisa quantitativa, transversal e experimental.

Participantes

Coletamos dados de 80 indivíduos de ambos os sexos, sendo 40 crianças de 8 a 10 anos e 40 adolescentes jovens de 11 a 14 anos. Excluimos da pesquisa dados de 2 indivíduos que cometeram mais de 8 erros no teste de Ishihara, 5 indivíduos com baixo desempenho no teste acuidade visual e 1 indivíduo que não quis concluir os protocolos da pesquisa.

No grupo das crianças, a média de idade foi de $9,03 \pm 0,8$ anos, com a seguinte distribuição: 13 crianças de 8 anos, 13 de 9 anos e 14 de 10 anos. No grupo dos adolescentes

jovens, coletamos dados de 10 indivíduos para cada idade, com média de idade de $12,5 \pm 1,1$ anos.

Os participantes do nosso estudo foram alunos selecionados aleatoriamente pelas coordenações de curso nas turmas de Ensino Fundamental I e II da Escola de Aplicação da Universidade Federal do Pará (EAUFPA). A participação no estudo ocorria após a autorização dos pais e o assentimento do participante colhidos através da assinatura do responsável legal no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE; ver Apêndice A) e assinatura do participante no Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE; ver Apêndice B e C).

Como critérios de inclusão para este estudo, os participantes deveriam apresentar acuidade visual normal ou corrigida de 20/20 e visão tricromática, avaliadas por meio de dois testes de triagem realizados no momento da pesquisa, desenvolvimento típico e ausência de doenças neurológicas ou de outras condições que pudessem afetar o sistema visual, como histórico de toxoplasmose, diabetes, hipertensão arterial ou exposição a solventes químicos, conforme indicado na anamnese (Apêndice F).

Considerações éticas

Submetemos a pesquisa ao Comitê de Ética em pesquisa envolvendo seres humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará (#6.546.671; ver Apêndice D).

Informamos previamente os participantes e seus responsáveis acerca dos procedimentos necessários para a realização da pesquisa, seus direitos, os riscos e benefícios, assim como acerca das ações voltadas para o cumprimento das resoluções éticas.

Adaptamos a linguagem dos termos de assentimento para os adolescentes (ver Apêndice B) e para as crianças (ver Apêndice C).

Ambiente

Realizamos os protocolos da pesquisa em uma sala de armazenamento de livros cedida para o estudo, na EAUFGPA, localizada na Avenida Perimetral, 1000, no bairro da Terra Firme em Belém (Figura 6). A sala contava com cadeiras, ar-condicionado, mesa para o apoio de materiais e luz artificial utilizada entre os intervalos dos protocolos. Reorganizamos a disposição dos materiais e equipamentos no ambiente de forma a garantir a viabilidade da pesquisa e conforto dos participantes.

Para a execução da pesquisa, realizamos a vedação das janelas e de outros pontos de entrada de luz presentes na sala, para tornar o ambiente adequado para a aplicação do protocolo. Realizamos os testes em ambiente escurecido sendo a tela do monitor do computador a única fonte de luz. O único teste que aplicamos com a luz acesa foi o teste de placas pseudoisocromáticas de Ishihara.

Figura 6

Ambiente experimental utilizado na aplicação dos testes da pesquisa.



Nota. A sala onde aplicamos os testes contava com cadeiras, mesas e ar-condicionado. Na imagem observamos a aplicação de um dos testes em ambiente escurecido, com o monitor sendo a única fonte de luz, uma vez que as janelas foram vedadas para impedir ruído de luz na tela do monitor durante a exibição dos estímulos. Posicionamos o sujeito em frente ao monitor a uma distância padronizada enquanto a aplicadora se mantinha ao lado do monitor para registrar as respostas do indivíduo.

Estímulos

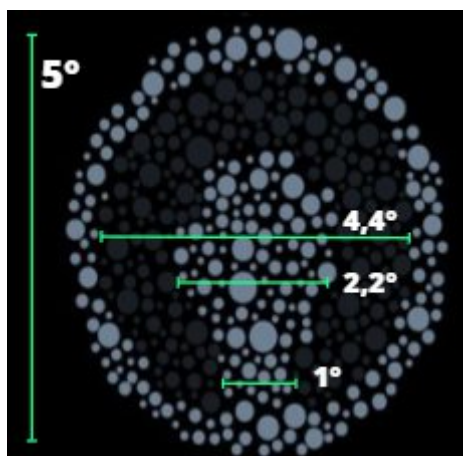
O estímulo que utilizamos para avaliar a discriminação do contraste limiar de luminância era composto por um mosaico com 428 elementos circulares, no qual cada elemento

poderia apresentar diâmetros que variam entre $0,12^\circ$ e $0,49^\circ$ de ângulo visual. Um subconjunto de elementos circulares apresentava luminância inicial distinta do fundo formando um alvo em formato do Landolt C (diâmetros: 5° de ângulo visual, diâmetro externo de $4,4^\circ$, diâmetro interno de $2,2^\circ$ e abertura de 1° ; Figura 7). A luminância inicial do alvo era de 4 cd/m^2 enquanto o fundo consistia em círculos com luminância constante de 40 cd/m^2 .

Para minimizarmos o possível viés de que as respostas fossem influenciadas por características do estímulo que não fossem as de luminância, configuramos o programa para que a disposição dos elementos circulares variasse aleatoriamente a cada exibição dentre as 16 diferentes alternativas de mosaico que o programa poderia apresentar.

Figura 7

Dimensões do estímulo utilizado no teste de discriminação de luminância.



Nota. Uma imagem do estímulo que utilizamos no protocolo acromático, em que se observa o mosaico formado por um conjunto de 428 círculos de diferentes tamanhos que variam entre $0,12^\circ$ e $0,49^\circ$ de ângulo visual e apresentam apenas a cromaticidade de referência. O mosaico apresenta um subconjunto desses elementos formando um alvo em formato de Landolt C pela diferença de luminância do restante do mosaico (fundo) que apresentava luminância fixa de

40cd/m². O estímulo apresenta campo de fundo com 5° de ângulo visual, alvo com diâmetro externo de 4,4°, diâmetro interno de 2,2° e abertura da letra C de 1°.

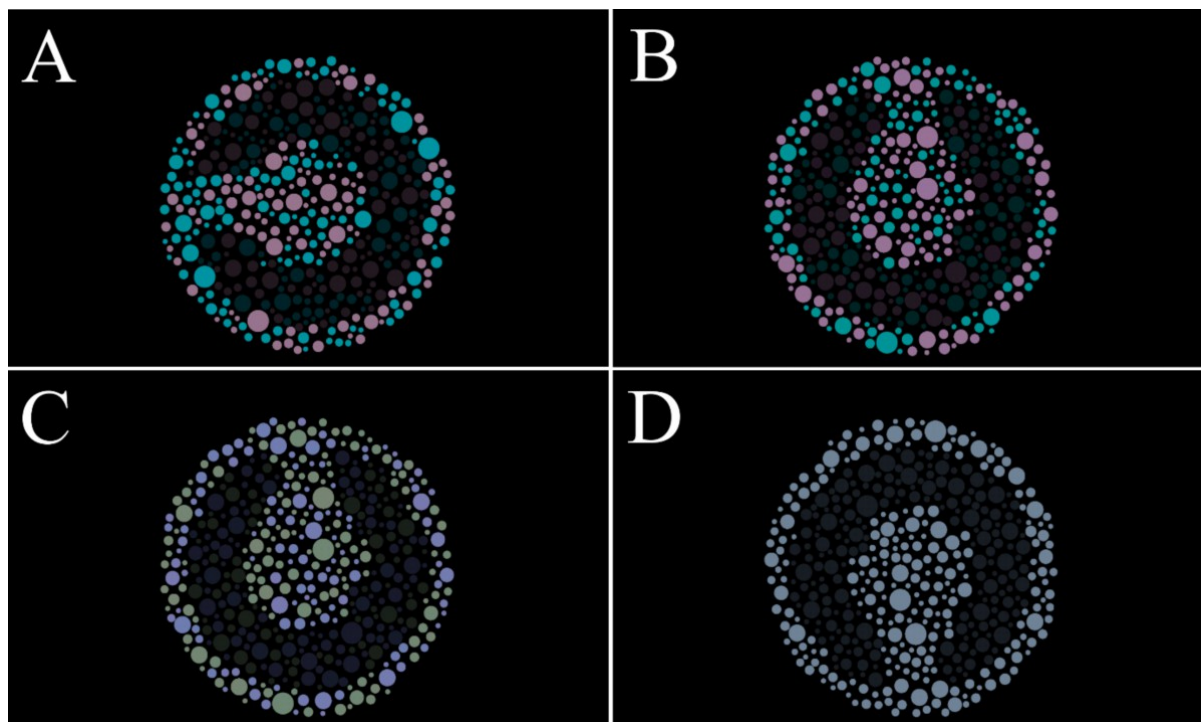
Utilizamos quatro protocolos de estímulos visuais (Figura 8), três protocolos caracterizados por apresentarem estímulos contendo ruídos cromáticos compostos por cromaticidades ao longo das linhas de confusão protan, deutan e tritan e o quarto protocolo apresentava ruído composto apenas pela cromaticidade de referência (CIE 1976: $u' = 0,195$; $v' = 0,464$; Figura 9).

Nos protocolos protan, deutan e tritan, cada elemento apresentava uma entre dez cromaticidades possíveis, definidas a partir da cromaticidade de referência por vetores de 0,04 unidades $u'v'$ projetados radialmente. Cada protocolo continha ruído cromático composto por dez possíveis cromaticidades distribuídas ao longo de uma linha de confusão específica representada no diagrama da CIE 1976: linha protan (protocolo protan), linha deutan (protocolo deutan) e linha tritan (protocolo tritan). Para garantirmos maior diversidade nas cromaticidades presentes no ruído, essas cromaticidades foram organizadas em cinco eixos cromáticos espaçados aditivamente por 2° no ângulo de matiz em cada lado das linhas de protan, deutan e tritan.

As linhas de confusão que utilizamos representam direções no espaço de cor ao longo das quais indivíduos com deficiências visuais cromáticas apresentam maior dificuldade em discriminar estímulos. Utilizamos esses ruídos visando explorar os mecanismos envolvidos na discriminação de cor em cada eixo oponente, uma vez que se alinham aos canais oponentes verde-vermelho e azul-amarelo.

Figura 8

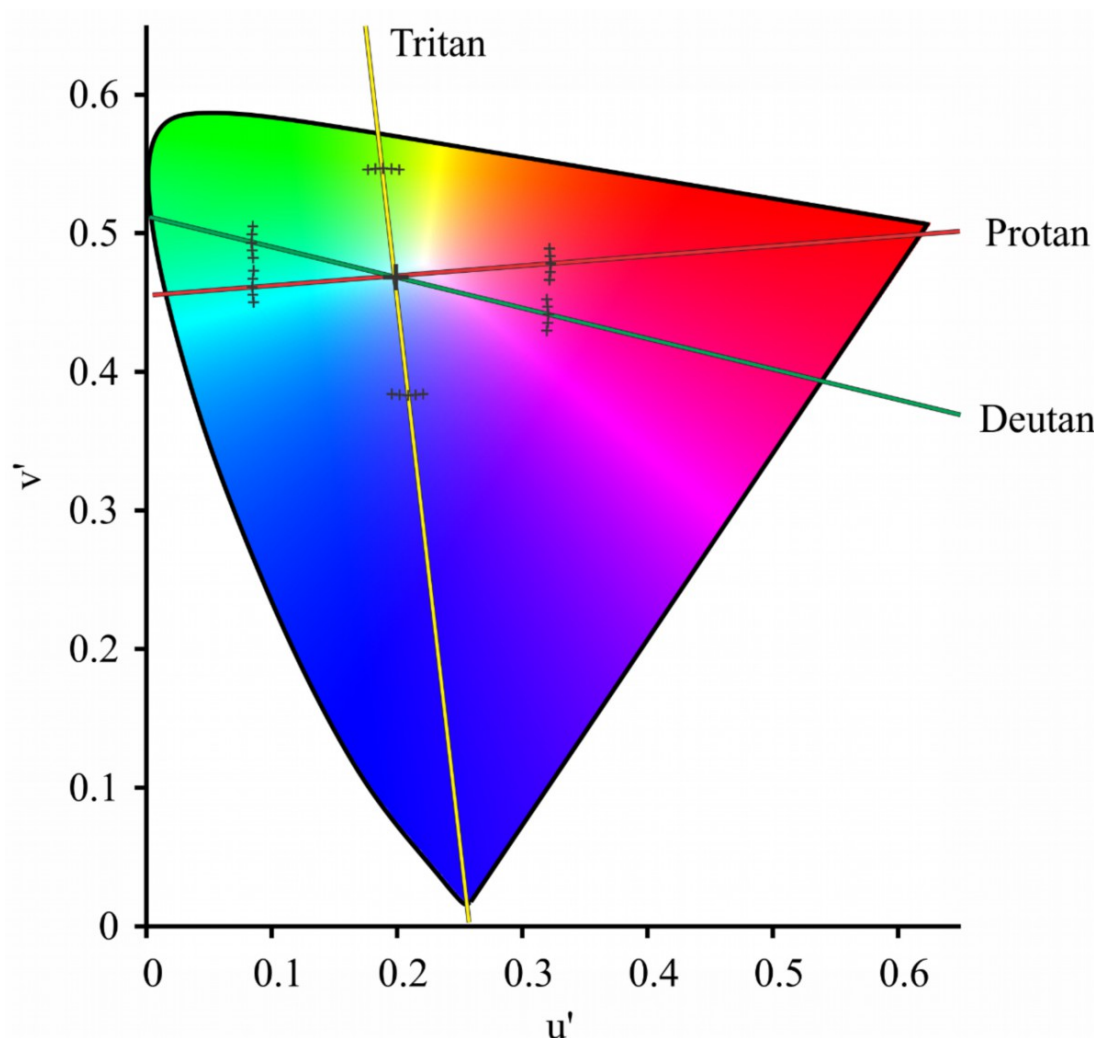
Estímulos utilizados nos quatro protocolos de discriminação de luminância.



Nota. Estímulos que utilizamos em cada protocolo: (A) Protocolo protan: utilizamos ruído cromático composto por cromaticidades selecionadas ao longo da linha de confusão protan, que apresenta variações entre verde e vermelho. Elas foram definidas a partir da cromaticidade de referência, distribuídas radialmente em vetores de 0,04 unidades $u'v'$, e espaçadas em cinco eixos cromáticos espaçados em 2° no ângulo de matiz em cada lado da linha protan. (B) Protocolo deutan: semelhante ao protocolo protan, mas com o ruído cromático organizado ao longo da linha de confusão deutan, também relacionado ao verde-vermelho. (C) Protocolo tritan: o ruído cromático é distribuído ao longo da linha de confusão tritan, que envolve variações entre azul e amarelo. (D) Protocolo acromático: neste estímulo, todos os elementos apresentam a cromaticidade de referência. Esse protocolo foi utilizado como condição controle para comparar o desempenho com os protocolos cromáticos.

Figura 9

Distribuição das cromaticidades dos estímulos no diagrama da CIE 1976 ($u'v'$).



Nota. No diagrama da CIE 1976, a cromaticidade de referência que utilizamos no protocolo acromático está representada pela cruz central. As linhas coloridas representam as linhas de confusão protan (vermelha), deutan (verde) e tritan (amarela). As cruzes menores ao longo de cada linha representam as 10 cromaticidades possíveis para os elementos do estímulo em cada protocolo com ruído cromático, derivadas radialmente a partir da cromaticidade de referência ($u' = 0,195$; $v' = 0,464$) com vetores de 0,04 unidades $u'v'$, e definidas ao longo de cinco eixos cromáticos espaçados por 2° de ângulo de matiz em cada lado das linhas.

Procedimentos

Para realizarmos a pesquisa, enviamos cartas convite (ver Apêndice E) aos alunos e responsáveis selecionados pelas coordenações da escola, juntamente com o TALE, TCLE e anamnese impressos e organizados em envelopes. Informamos os participantes e seus responsáveis legais acerca dos objetivos da pesquisa, protocolos a serem aplicados, riscos e benefícios, assim como do direito de desistirem da participação conforme sua vontade expressa a qualquer momento.

Os adolescentes e crianças interessados em participarem entregavam os termos assinados e a anamnese preenchida pelo responsável (ver Apêndice F) à coordenação da escola, que nos repassava posteriormente para realizarmos a coleta. A anamnese consistia em um questionário no qual eram registrados os dados pessoais do participante e informações relacionadas ao histórico médico individual e familiar.

Uma das vias de cada termo de TCLE e TALE era de posse do participante e de seu responsável e era entregue ao aluno no dia da coleta. Após a entrega dos documentos e esclarecimento de possíveis dúvidas, submetíamos os participantes a dois testes de triagem: teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara e *Freiburg Visual Acuity and Contrast Test* (FrACT). Os indivíduos que apresentavam resultados dentro dos padrões estabelecidos em ambos os testes de triagem eram aptos a participarem da pesquisa e realizavam o teste de discriminação de luminância.

Teste de acuidade visual

Para avaliarmos a acuidade visual, utilizamos o *Freiburg Visual Acuity and Contrast Test* (FrACT), o qual faz parte da plataforma de testes Freiburg Vision Test, desenvolvida pelo pesquisador Michael Bach na Universitäts-Klinikum Freiburg. Realizamos o teste em ambiente escurecido, com o sujeito sentado e posicionado a uma distância de 2,34 metros do monitor do

computador. Na tela do computador, o teste exibia um optótipo padronizado no formato de Landolt C com contraste negativo de 100% em relação a um fundo branco, a partir do qual o indivíduo indicava verbalmente a direção de sua abertura dentro de quatro possibilidades (cima, baixo, direita e esquerda) que variavam aleatoriamente (Figura 10).

Figura 10

Exemplos de estímulos apresentados durante o Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT).



Nota. Exemplos de optótipos em formato de Landolt C com contraste negativo de 100% em relação a um fundo branco exibidos pelo FrACT, a partir do qual o indivíduo indicava verbalmente a direção de sua abertura dentro de quatro possibilidades (cima, baixo, direita e esquerda) que variam aleatoriamente. Adaptado de FrACT10, por M. Bach, disponível em <https://michaelbach.de/fract/>.

As respostas dos participantes integravam um sistema adaptativo de procedimento em escada (Bach, 2007), o qual utiliza um algoritmo que calcula o limiar com base nas respostas do indivíduo até então e exibe um optótipo com tamanho que corresponda à estimativa do

limiar naquele momento, o tamanho do optótipo exibido aumentava a cada resposta errada e diminuía após cada acerto. Nas situações em que o participante não conseguia mais identificar a orientação da abertura, instruíamos a responder intuitivamente.

O teste finalizava após 30 tentativas e tinha duração de cerca de 2 minutos, os indivíduos que apresentavam acuidade visual normal ou corrigida de 20/20 eram aptos a participarem da pesquisa.

Teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara

O segundo teste de triagem consistia no teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara para avaliarmos possíveis deficiências na visão de cores verde-vermelho.

Para a realização do teste, utilizamos o livro “*Ishihara’s Tests for Colour Deficiency*” (Ishihara, 1997), com 38 placas contendo figuras pseudoisocromáticas. As figuras eram compostas por mosaicos contendo elementos circulares com diferentes tamanhos e luminâncias organizados em uma configuração de alvo e fundo. Do total de placas que compõem o livro, utilizamos apenas 25, nas quais o alvo era representado por um número que se destacava do fundo devido ao contraste de cromaticidade, as demais placas continham alvos em formato de caminhos para a avaliação de sujeitos não verbais.

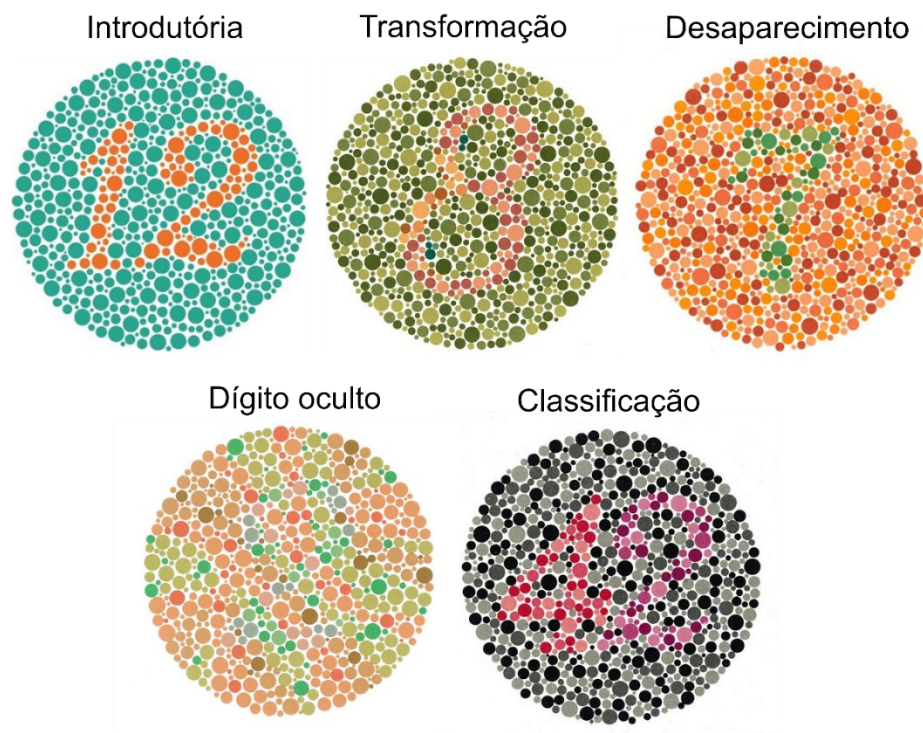
O teste baseia-se na utilização de estímulos com cromaticidades localizadas ao longo das linhas de confusão de cores de indivíduos com discromatopsia. Pessoas com visão normal de cores conseguem distinguir as diferenças cromáticas entre os elementos do estímulo, enquanto para os discromatópsicos, essas cores se tornam isocromáticas quando estão situadas na mesma linha de confusão.

As placas do livro são classificadas em cinco categorias (Birch, 1997; Figura 11) e são apresentadas na respectiva sequência: introdutória (placa 1), transformação (placas 2 a 9), desaparecimento (placas 10 a 17), dígito oculto (placas 18 a 21) e classificação (placas 22 a

25). Na introdutória, todos os participantes conseguem identificar o numeral, servindo apenas como demonstração do teste. Nas placas de transformação, indivíduos com visão normal de cores e aqueles com discromatopsia percebem números diferentes, uma vez que os números são formados por combinações de cores que não são discriminadas corretamente por discromatópsicos. Na categoria de desaparecimento, apenas os tricromatas conseguem ver o numeral, já que os números apresentam cores que se confundem com o fundo para discromatópsicos, enquanto nas placas de dígito oculto, o numeral é camuflado e somente os discromatópsicos são capazes de identificá-lo. Por último, na categoria de classificação, são apresentados pares de números visíveis para todos, exceto para discromatópsicos do tipo protan e deutan grave que conseguem identificar apenas um dos números presentes na figura, o que permite a classificação do tipo de deficiência.

Figura 11

Categorias de classificação das figuras pseudoisocromáticas presentes no teste de Ishihara.



Nota. Exemplos das categorias de placas pseudoisocromáticas presentes no teste de Ishihara. As figuras representam cada uma das categorias de classificação das placas: introdutória (todos conseguem ver o numeral), transformação (sujeitos com discromatopsia e com visão normal de cores veem números diferentes, desaparecimento (apenas indivíduos com visão normal de cores veem o número), dígito oculto (apenas discromatópsicos veem o número) e classificação (indivíduos com visão normal de cores veem os dois números, e discromatópsicos do tipo protan e deutan grave veem apenas um número dependendo do tipo de discromatopsia). Adaptado de *Ishihara color blind test* (2025), Colorlite Ltd.

Realizamos o teste em ambiente iluminado e com as placas exibidas a uma distância aproximada de 75 cm do sujeito com um ângulo de 45°. Exibimos cada placa por um intervalo de 3 segundos e instruímos o indivíduo a observar se havia ou não um numeral presente, caso houvesse, deveria informá-lo verbalmente. Registramos as respostas e o participante poderia

participar da pesquisa caso apresentasse menos de oito erros na interpretação das figuras pseudoisocromáticas de Ishihara. O teste tinha duração de cerca de 2 minutos.

Teste de discriminação do contraste limiar de luminância com mascaramento de ruído cromático

Realizamos o teste de discriminação de contraste limiar de luminância utilizando o software MATLAB R2017b (Mathworks Natick, MA, EUA) em um notebook MacBook Pro com tela LCD de 17 polegadas (resolução de 1690 x 1050 pixels, taxa de quadros de 75 Hz, resolução de cores de 10 bits), com cor e luminância calibradas através de um colorímetro CS-100A (Konica Minolta, Osaka, Japão).

Antes do início do teste, realizamos uma breve referência verbal ao teste de *FrACT*, uma vez que o participante já estava familiarizado com a tarefa e com o tipo de estímulo apresentado nesse teste. Explicamos que de forma semelhante ao *FrACT*, ele deveria indicar a direção da abertura da letra C (ou do círculo incompleto). No entanto, destacamos duas diferenças importantes: (1) a letra C não era sólida, mas composta por vários círculos coloridos; e (2) o tamanho da letra C permanecia constante, mas variava apenas em luminância, tornando-se mais clara e assemelhando-se ao fundo aumentando o nível de dificuldade da tarefa.

Depois da prévia explicação, para familiarizar o participante com o estímulo visual, era apresentada uma imagem impressa de um dos exemplos utilizados no teste, e perguntava-se se ele conseguia identificar a letra C. Nesse momento havia uma diferença de abordagem dependendo da resposta do participante e da faixa etária. A maioria dos participantes conseguia identificar a letra C na imagem sem dificuldades, mas algumas crianças pequenas exibiam dificuldade em identificar corretamente a direção da abertura, nesses casos utilizávamos a seguinte estratégia: pedíamos que elas imaginassem que a abertura do círculo ou da letra C representava uma “porta” ou saída por onde um objeto (como um carro de brinquedo

imaginário) localizado no centro do estímulo poderia passar, e a tarefa consistia em indicar por qual lado o objeto sairia. Em seguida, realizávamos quatro testes de demonstração com a figura impressa, variando a orientação da abertura da letra C ao rotacionarmos a imagem para que a abertura alternasse entre as quatro direções possíveis, e solicitando que o sujeito indicasse por qual lado o objeto poderia sair em cada uma delas.

Nessa etapa, todos os participantes acertarem as respostas, com isso sabíamos que eles haviam entendido a tarefa, então informávamos que daríamos início a uma sessão de treinamento para o jogo que seria apresentado a seguir. O objetivo dessa sessão era que os participantes se familiarizassem com o teste e observassem como a luminância da letra C se modificava conforme suas respostas, aumentando o nível de dificuldade do jogo. Essa sessão de treinamento era composta por 2 reversões e não dava direito à recompensa.

Após a realização do treinamento e a confirmação, por meio da observação das respostas durante a sessão, de que o participante havia entendido o funcionamento do teste, apresentávamos o sujeito ao jogo. Explicávamos como funcionaria o jogo, informando que ele seria composto por quatro fases, cada uma semelhante àquela realizada na sessão de treinamento, porém de maior duração e com direito a recompensas. Cada fase correspondia a um dos quatro protocolos experimentais aplicados em sequência aleatória com cada participante.

Utilizamos a estratégia de realizar o teste em formato de jogo para tornar a tarefa mais atrativa tanto para as crianças, quanto para os adolescentes, uma vez que eles teriam direito a recompensas e demonstravam-se mais animados em participar. Geralmente, durante a apresentação do jogo informávamos ao participante que ele poderia ter direito a uma recompensa ao final de cada fase dependendo do seu desempenho, mas o manejo da quantidade de recompensas ocorria de acordo com a motivação e interesse observados nos participantes.

Avaliamos a motivação e o interesse dos participantes de forma subjetiva, com base em sinais verbais e comportamentais de interesse durante a tarefa, como sorrisos, expressões de concentração, comentários espontâneos sobre o jogo e postura atenta. Utilizamos esses indícios para ajustar a quantidade e frequência das recompensas e para manter o engajamento ao longo do experimento. As recompensas envolviam diferentes tipos de doces disponíveis.

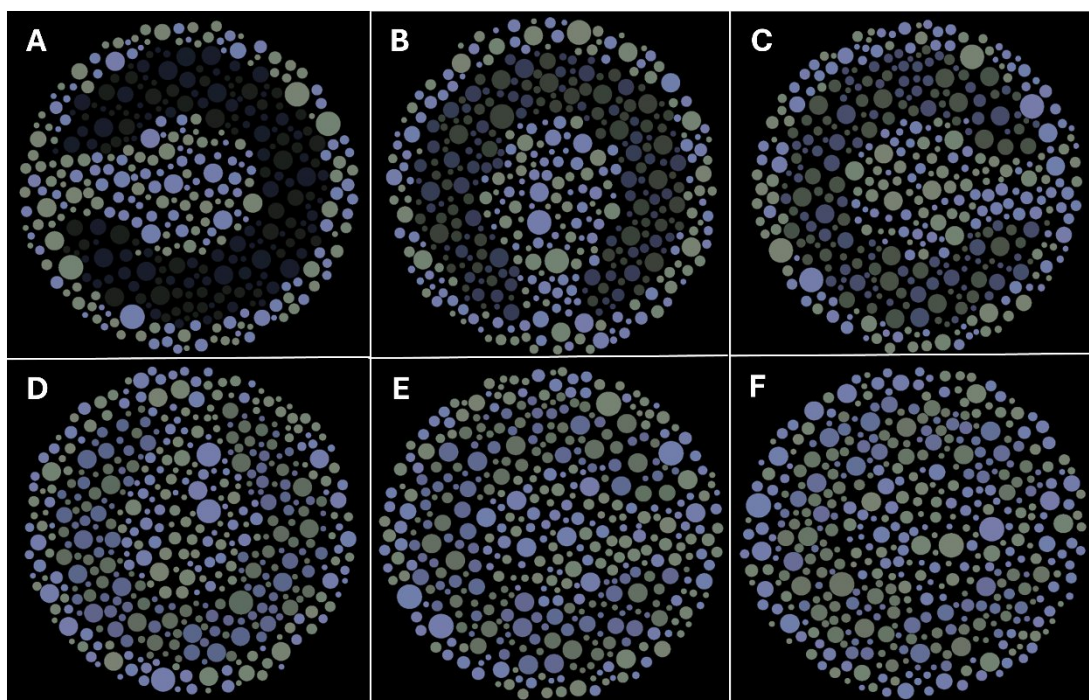
Para os participantes que demonstravam menos sinais espontâneos de interesse, utilizávamos recompensas mais frequentes para estimular o envolvimento na tarefa, disponibilizando uma ou mais recompensas ao final de cada fase. Já para aqueles que se mostravam naturalmente engajados, utilizamos um intervalo maior entre as recompensas, entregando duas recompensas a cada duas fases ou, em alguns casos, todas apenas ao término do experimento. Em ambos os casos, durante todas as fases realizávamos comentários positivos com o objetivo de manter os participantes motivados e engajados na tarefa. Além disso, também disponibilizamos pausas entre os protocolos conforme a vontade do participante.

Realizamos o teste em ambiente escurecido e com o participante posicionado a 2,34 metros de distância da tela do notebook. Para avaliar os limiares, utilizamos um procedimento de escolha forçada de 4 alternativas, em que a tarefa era indicar verbalmente a orientação da abertura do alvo, dentro de quatro opções: cima, baixo, direita e esquerda. Orientamos os participantes que apresentavam dificuldade ou confusão em distinguir as direções direita e esquerda a apontarem a direção com o dedo. O monitor exibia cada estímulo por 3 segundos, e após esse tempo, a tela do computador exibia somente o fundo escuro e o próximo estímulo só era exibido após a resposta do participante ter sido registrada pelo aplicador no teclado do notebook. Esse intervalo com a tela escura tinha o objetivo de evitar a adaptação visual e reestabelecer a sensibilidade visual do participante, garantindo que o próximo estímulo fosse avaliado sem a interferência do estímulo anterior.

A luminância do alvo era modificada ao longo do teste a partir das respostas dos participantes, em um sistema adaptativo de procedimento em escada. A escada seguia uma regra de dois acertos para um erro como critério de reversão, em que a cada dois acertos na direção da abertura, a luminância do alvo aumentava, dificultando a realização da tarefa, e a cada erro, a luminância do alvo diminuía, facilitando a tarefa. O teste finalizava após 8 reversões, e o contraste limiar de luminância era determinado por meio da média das 6 últimas reversões. A figura 12 exemplifica uma sequência dos estímulos exibidos durante o andamento do teste. O teste durava em média 15 minutos, mas variava conforme o desempenho do participante.

Figura 12

Sequência de apresentação dos estímulos com diferentes contrastes de luminância.



Nota. Na sequência de imagens (A–F) ilustramos a modificação do contraste de luminância ao longo da realização do teste. Cada imagem mostra um exemplo de estímulo apresentado durante o protocolo tritan. A tarefa do observador consistia em identificar a orientação da

abertura do C em um procedimento de escolha forçada de quatro alternativas (cima, baixo, esquerda ou direita). Durante as apresentações, o contraste de luminância entre o alvo e o fundo foi ajustado de forma adaptativa por meio de um procedimento em escada, com o objetivo de estimar o contraste limiar de luminância. Após duas respostas corretas, a luminância do alvo era aumentada, enquanto uma resposta incorreta provocava sua diminuição.

Análise de dados

Tabulamos os dados coletados em planilhas do Microsoft Office Excel, versão 2019 e analisamos através do software Statistical Package for Social Science (SPSS), versão 24 e do software Jamovi (Versão 2.5).

Inicialmente, aplicamos o teste Kolmogorov-Smirnov para avaliar a normalidade da distribuição dos dados. Para compararmos os resultados dos limiares de luminância entre os grupos e entre as idades realizamos uma ANOVA de um fator seguido por um *post hoc* de Tukey.

Para avaliarmos se havia diferenças entre os limiares nos diferentes protocolos dentro de cada grupo, realizamos uma ANOVA de uma via para medidas repetidas, seguido pelo *post hoc* de Tukey para comparações múltiplas. Também realizamos uma análise de regressão linear simples para avaliar o efeito da idade sobre os limiares em cada protocolo. Para as análises, consideramos um nível de significância de 0,05.

Resultados

Na tabela 1 exibimos os resultados da estatística descritiva dos limiares de luminância para os quatro protocolos em crianças (1) e adolescentes jovens (2). Observamos que o grupo das crianças apresentou valores de média, mediana, desvio padrão (exceto em protan) e valores mínimos e máximos superiores nos quatro protocolos em comparação aos mesmos parâmetros obtidos no grupo dos adolescentes jovens.

Tabela 1

Estatísticas descritivas dos limiares de luminância para crianças e adolescentes jovens.

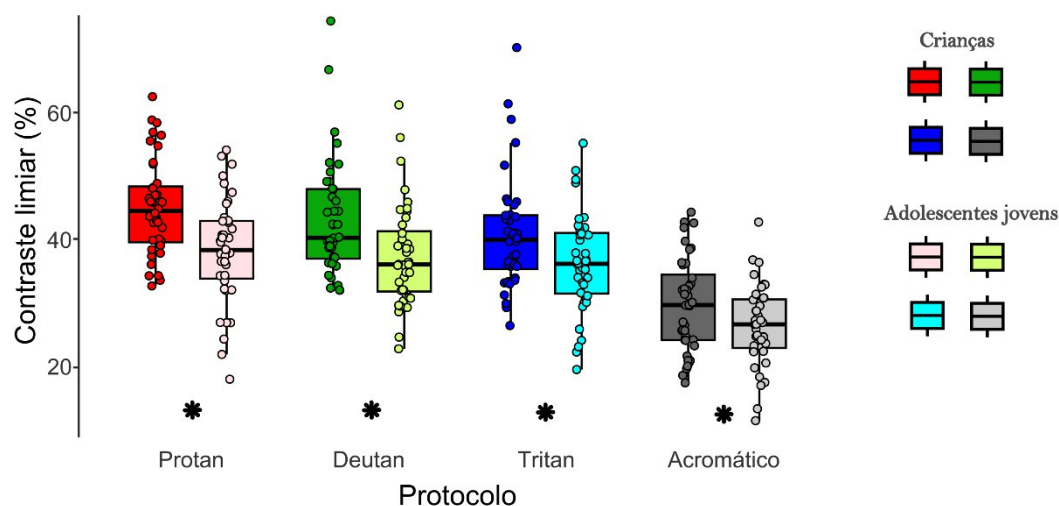
	Protan		Deutan		Tritan		Acromático	
Grupo	1	2	1	2	1	2	1	2
Média	45,00	38,10	43,10	37,30	40,70	36,20	29,50	26,20
Mediana	44,40	38,20	40,20	36,00	39,90	36,10	29,60	26,50
Desvio-padrão	7,72	8,32	9,15	8,06	8,97	7,78	7,41	6,35
Mínimo	32,60	17,80	31,90	22,70	26,30	19,40	17,30	11,30
Máximo	62,50	54,00	74,40	61,10	70,20	55,10	44,20	42,70

Nota. Grupo 1: crianças de 8 a 10 anos; Grupo 2: adolescentes jovens de 11 a 14 anos.

Comparamos os limiares de contraste de luminância entre os grupos para cada protocolo (Figura 13). As crianças apresentaram limiares significativamente mais elevados que os adolescentes jovens em todas as condições experimentais: protan ($p < 0,001$), deutan ($p = 0,004$), tritan ($p = 0,019$) e acromático ($p = 0,035$).

Figura 13

Dispersão dos contrastes limiares para cada protocolo entre os grupos.



Nota. As caixas representam o intervalo interquartil, com a linha central indicando a mediana (segundo quartil), a linha inferior representando o primeiro quartil e a linha superior representando o terceiro quartil. Os asteriscos representam as diferenças significativas encontradas entre os grupos em todos os protocolos.

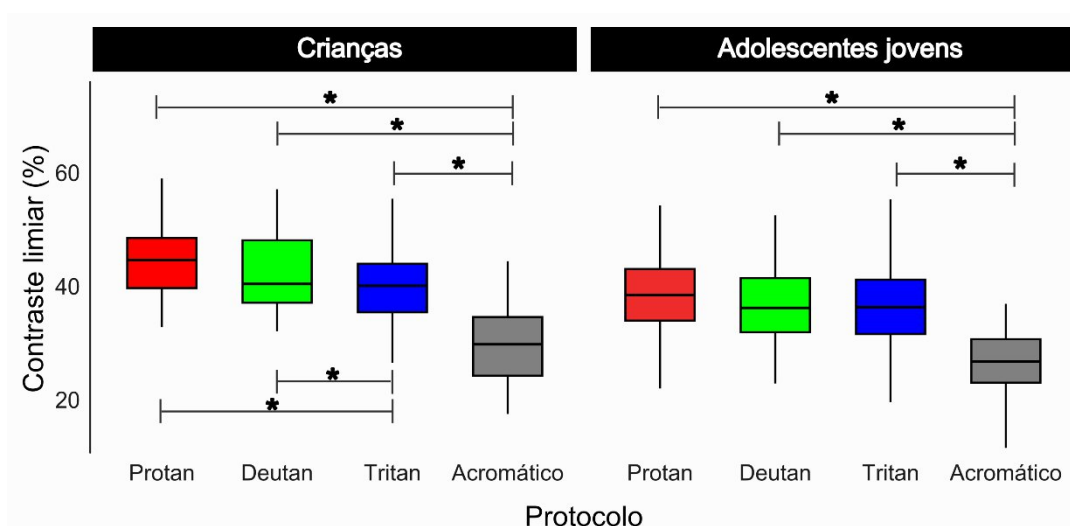
Além das comparações entre os grupos, comparamos os limiares obtidos em cada grupo entre os protocolos (Figura 14). No grupo das crianças, observamos que os limiares nos protocolos cromáticos foram significativamente maiores em comparação ao protocolo acromático ($p < 0,001$). Os maiores limiares foram observados em protan, seguido por deutan e tritan. Também observamos diferenças significativas entre protan e tritan ($p = 0,002$) e entre deutan e tritan ($p = 0,038$). Não observamos diferença significativa entre os limiares nos protocolos protan e deutan ($p = 0,295$).

No grupo dos adolescentes jovens, assim como nas crianças, os limiares observados nos protocolos protan, deutan e tritan foram significativamente maiores em relação ao

acromático ($p < 0,001$). No entanto, diferente do que observamos no grupo das crianças, os adolescentes jovens não apresentaram diferenças significativas quando comparamos os limiares entre os demais protocolos: protan e deutan ($p = 0,815$), protan e tritan ($p = 0,470$) e deutan e tritan ($p = 0,701$).

Figura 14

Dispersão dos contrastes limiares de luminância (%) nos protocolos protan, deutan, tritan e acromático no grupo das crianças e dos adolescentes.



Nota. As caixas apresentam a distribuição dos contrastes limiares para os protocolos protan (vermelho), deutan (verde), tritan (azul) e acromático (cinza) no grupo das crianças e adolescentes jovens. Cada caixa representa o intervalo interquartil, com a linha central indicando a mediana (segundo quartil), linha inferior representando o primeiro quartil e a linha superior representando o terceiro quartil. Os asteriscos representam as diferenças significativas encontradas nos limiares entre os protocolos. Nas crianças os limiares nos protocolos protan, deutan e tritan foram significativamente maiores em relação ao acromático, além dos limiares nos protocolos protan e deutan terem sido significativamente maiores em relação ao tritan. Nos

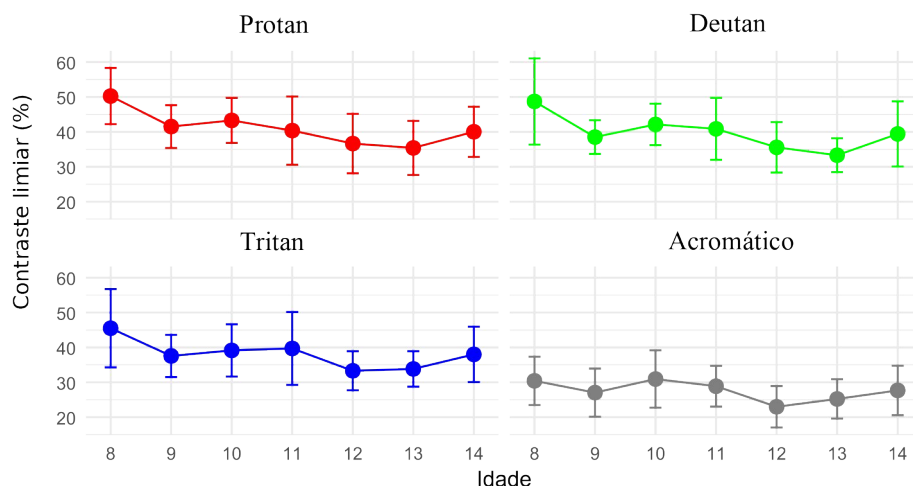
adolescentes jovens foram encontradas apenas diferenças significativas nos limiares entre os protocolos cromáticos quando comparados ao acromático.

Os resultados da análise de regressão linear indicaram que a idade foi uma preditora significativa dos limiares nos protocolos protan ($R^2 = 0,177$, $\beta = -1,82$, $SE = 0,445$, $t = -4,10$, $p < 0,001$), deutan ($R^2 = 0,133$, $\beta = -1,64$, $SE = 0,475$, $t = -3,46$, $p < 0,001$) e tritan ($R^2 = 0,093$, $\beta = -1,31$, $SE = 0,464$, $t = -2,83$, $p = 0,006$). Todos os modelos apresentaram coeficientes negativos e estatisticamente significativos, indicando que os limiares em todos os protocolos com ruído cromático diminuem com o aumento da idade. Para o protocolo acromático, o modelo não foi significativo ($R^2 = 0,042$, $\beta = -0,72$, $SE = 0,390$, $t = -1,84$, $p = 0,069$), sugerindo uma ausência de efeito da idade sobre os limiares.

A Figura 15 apresenta a variação dos limiares de luminância em função da idade, em todos os quatro protocolos testados. Nos protocolos com ruído cromático, apenas os participantes de 8 anos diferiram significativamente dos demais grupos etários, exibindo limiares mais elevados, enquanto as comparações entre os grupos de 9 a 14 anos não revelaram diferenças significativas. Os limiares mais baixos foram observados aos 12 anos, indicando uma melhora no desenvolvimento dos mecanismos de interação cor-luminância entre 8 e 12 anos. No protocolo sem ruído, não foram encontradas diferenças significativas entre nenhum dos grupos etários ($p > 0,05$).

Figura 15

Média dos contrastes limiares (%) por idade (anos) nos protocolos testados.



Nota. Na imagem, cada gráfico apresenta as médias dos contrastes limiares em função da idade para cada protocolo: protan (vermelho), deutan (verde), tritan (azul) e acromático (cinza). Cada ponto representa a média dos limiares por idade e as faixas ao redor das linhas correspondem ao desvio-padrão ($\pm$ DP). Observa-se uma tendência de redução dos limiares com o aumento da idade. Nos protocolos protan, deutan e tritan apenas os participantes de 8 anos exibem limiares mais elevados em relação às demais idades. No protocolo sem ruído cromático, não encontramos diferenças significativas entre nenhuma das idades ($p > 0,05$).

Discussão

Nosso estudo integra uma sequência de investigações que buscaram entender como o mascaramento de ruído cromático influencia na discriminação de luminância. O primeiro estudo realizado por Miquilini et al. (2017) demonstrou que o ruído cromático em condições mais saturadas elevava os limiares de luminância, revelando um mecanismo de interação entre cor e luminância através do efeito inibitório da cor sobre a discriminação de luminância. Esse mecanismo foi observado tanto em adultos (Sousa et al., 2020), quanto em adolescentes maduros (de 15 a 17 anos), adultos jovens e idosos (Brito et al., 2022 e Ferreira et al., 2025).

Nesta pesquisa, buscamos investigar o público infantil, de 8 a 10 anos, e adolescente jovem, de 11 a 14 anos, público no qual há conflitos de informações acerca do ritmo de desenvolvimento dos canais verde-vermelho e azul-amarelo, e ausência de informações sobre a interação entre cor e luminância nessas fases da vida.

Nossos resultados revelam que já há mecanismos de interação entre cor e luminância na infância, uma vez que nos dois grupos que avaliamos, os limiares foram significativamente mais elevados nos protocolos com ruído cromático em comparação ao acromático, como também observado por Miquilini et al. (2017), Sousa et al. (2020), Brito et al. (2022) e Ferreira et al. (2025).

Apesar disso, identificamos duas diferenças marcantes nesse mecanismo de interação entre as crianças e os adolescentes jovens: primeiro, no grupo das crianças os limiares no protocolo protan e deutan foram significativamente maiores do que em tritan, o que não foi observado no grupo adolescente jovem; segundo, as crianças apresentaram limiares significativamente mais elevados do que os adolescentes jovens em todas as condições experimentais.

Os limiares mais baixos em tritan em relação a protan e deutan em crianças, sugere que durante a infância a sensibilidade às cores ao longo de verde-vermelho e azul-amarelo pode apresentar discrepâncias. Curiosamente, esse resultado é similar ao observado em idosos em outro estudo, mas que estava relacionado a um processo de degradação generalizada da discriminação azul-amarelo causado naturalmente pelo processo de envelhecimento (Brito et al., 2022). Em crianças, por outro lado, acreditamos que esse achado reflita uma maturação mais lenta do canal azul-amarelo em comparação ao verde-vermelho como levantado por Paramei e Oakley (2014) e Ling e Dain (2018). Mas que também pode ser influenciado pela

divergência de sensibilidade entre os cones observada por Almustanyir et al. (2025) ao identificar que a sensibilidade do cone S é menor em relação aos cones L e M devido à sua distribuição mais periférica e à sua menor densidade na retina. O fato de as diferenças entre os protocolos não terem sido observadas no grupo dos adolescentes jovens indica que o desenvolvimento da visão de cores verde-vermelho e azul-amarelo tende a ocorrer de maneira uniforme nessa fase, como identificado por Ling & Dain (2018) ao observar limiares cromáticos similares nesses eixos após os 10 anos.

Já a presença de limiares mais elevados em todos os protocolos no grupo das crianças pode indicar que nessa fase os mecanismos de interação entre cor e luminância ainda não estão amadurecidos. Nas análises por idade, observamos que o efeito inibitório da cor sobre os limiares diminui de forma gradual, já que não observamos diferenças significativas entre as idades após os 9 anos, e na análise de regressão há uma relação inversa entre a idade e os limiares nos protocolos cromáticos. Essa tendência é similar ao observado em outros estudos psicofísicos (Knoblauch et al., 2001; Ling & Dain, 2018; Paramei & Oakley, 2014), que relataram uma diminuição dos limiares cromáticos da infância até a adolescência e um aumento progressivo da função de sensibilidade ao contraste com a idade, (Beazley et al., 1980; Dekker et al., 2020).

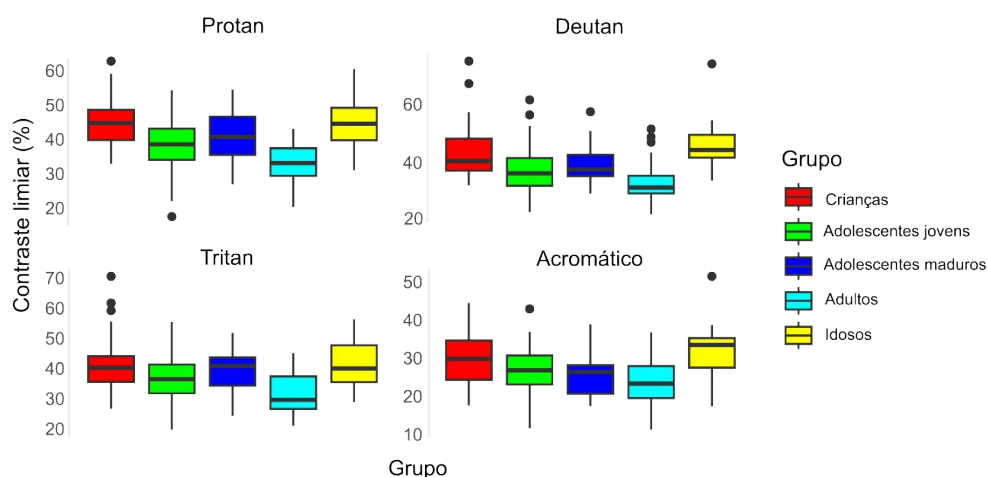
Os limiares mais elevados nas crianças no protocolo sem ruído cromático, sugerem que a via acromática também não está plenamente desenvolvida na infância, apesar de a literatura apontar um desenvolvimento precoce dessa via (Crognale, 2002). No entanto, a ausência de diferenças significativas entre as idades nessa condição pode refletir um desenvolvimento gradual e contínuo, sem mudanças abruptas nos mecanismos acromáticos.

A diminuição dos limiares observados no grupo adolescente jovem pode refletir uma série de mudanças no cérebro em desenvolvimento, uma vez que nessa fase ocorrem alterações no volume cerebral e na proporção entre substância cinzenta e branca (Giedd et al., 1999; Lenroot et al., 2007; Groeschel et al., 2010), além de haver uma perda seletiva de sinapses e um refinamento dos circuitos no córtex estriado (Huttenlocher et al., 1982; De Courten & Carey, 1982), indicando um período de especialização nas conexões neurais. É possível que os mecanismos de interação entre cor e luminância dependam de circuitos neurais interconectados, especialmente em áreas como V1. Dessa forma, a maturação dessas conexões pode estar relacionada com a diminuição dos limiares que observamos nos adolescentes jovens.

Nossos dados complementam os de Ferreira et al. (2025) que avaliaram adolescentes maduros de 15 a 17 anos, adultos jovens de 20 a 40 anos e idosos de 60 anos ou mais (Figura 16). Ao compararmos nossos achados, observamos que os mecanismos de interação entre cor e luminância mudam da infância até a adolescência madura, com uma tendência de queda dos limiares que atinge um pico somente na fase adulta, seguido por um aumento posterior em idosos. Assim, nossos resultados corroboram os achados de Ferreira et al. (2025) ao indicarem que os mecanismos de interação entre cor e luminância apesar de emergirem cedo na infância, apresentam uma trajetória de desenvolvimento prolongada, sofrendo um declínio no envelhecimento, representado por um aumento dos limiares na velhice, indicando que esse processo não é estático ao longo da vida.

Figura 16

Dispersão dos contrastes limiares de luminância (%) nos protocolos protan, deutan, tritan e acromático desde a infância até a fase idosa.



Nota. A figura apresenta as caixas com a distribuição dos contrastes limiares para os protocolos protan, deutan, tritan e acromático e compara os resultados do nosso estudo (crianças de 8 a 10 anos e adolescentes jovens de 11 a 14 anos), com os dados de Ferreira et al. (2025) obtidos em adolescentes maduros (15 a 17 anos), adultos jovens (20 a 40 anos) e idosos (60 anos ou mais) para as quatro condições experimentais (protan, deutan, tritan e acromático).

Acreditamos que os limiares mais elevados em crianças em relação aos adolescentes jovens não estejam relacionados aos fatores não visuais levantados por Ling e Dain (2018), que costumam influenciar o desempenho de crianças em testes psicofísicos longos ou complexos, como: curta capacidade de atenção, falta de motivação e perda de concentração. Uma vez que adotamos estratégias metodológicas para tornar a tarefa mais acessível e atrativa para as crianças, como treinamento prévio, redução do número de reversões, oferecimento de recompensas e a disponibilidade de pausas entre os protocolos.

No entanto, ao compararmos os limiares nos protocolos cromáticos por idade, detectamos diferenças significativas apenas entre os 8 anos e as demais idades. Assim, precisamos considerar que outras variáveis podem ter influenciado nesses limiares mais altos das crianças de 8 anos, representando algumas das limitações da nossa pesquisa. O primeiro aspecto a se pensar é que o estímulo utilizado exigia que o indivíduo realizasse um processo de varredura visual para realizar a tarefa e não uma busca simples (Watanabe et al., 1998). De acordo com Zhou et al. (2023), essa habilidade demanda processos cognitivos que podem ser complexos para uma criança, como a identificação e análise de características visuais do estímulo, a atenção direcionada ao planejamento e à execução da tarefa, além do foco nos aspectos do estímulo apresentado.

Outra questão importante é que a tarefa exigia da criança a capacidade de realizar uma integração visual global através da união dos elementos visuais menores, isto é, a criança tinha que visualizar a letra C formada por um subconjunto de elementos menores para realizar a tarefa. Segundo Kovács (2000), essa capacidade de organizar e integrar informações visuais locais em representações globais se desenvolve de forma gradual, alcançando níveis maduros só na adolescência. Ela indica que as conexões neurais de longo alcance, responsáveis por integrar diferentes partes da imagem em uma percepção coerente, ainda não estão totalmente desenvolvidas nas crianças. Esse fator também pode ter contribuído para os limiares mais altos que observamos no grupo das crianças.

Além disso, é importante considerar que a tarefa envolvia o reconhecimento de formas, já que os participantes precisavam identificar a letra C. Esse tipo de tarefa envolve principalmente a via ventral do sistema visual formada além de V1 e responsável pelo reconhecimento de objetos e formas (Mishkin et al., 1983), embora a via dorsal, associada à localização espacial e à orientação, também possa contribuir para identificar a posição da

abertura. Estudos de fMRI, como o de Freud et al. (2019), mostram que crianças de 8 a 10 anos já apresentam uma organização dessas vias semelhante à dos adultos, mas as representações de forma ainda estão em desenvolvimento. Eles observaram que, nessa fase, as crianças têm maior sensibilidade a distorções de forma e menos precisão no reconhecimento de objetos. É possível que essa imaturidade no processamento de forma tenha prejudicado o desempenho na nossa tarefa, que exigia identificar a letra C e localizar a posição da abertura.

Outro fator que precisamos considerar é o papel da atenção, apesar de adotarmos estratégias para controlar essa variável, Reuter et al. (2019) demonstraram, por meio de dados comportamentais e registros eletrofisiológicos, que as crianças apresentam mais dificuldade em tarefas que exigem atenção. Eles observaram que as crianças demoram mais para processar os estímulos visuais e precisam se esforçar mais para ignorar informações irrelevantes, demonstrando que os mecanismos responsáveis por filtrar distratores e focar a atenção ainda estão se desenvolvendo nessa fase da vida.

Assim, apesar de adotarmos estratégias para evitar possíveis variáveis não visuais, na literatura observamos que vários fatores podem ter contribuído para o desempenho mais baixo das crianças, como possíveis dificuldades em integrar as informações visuais, manter a atenção e reconhecer formas, no entanto não avaliamos diretamente essas variáveis. Acreditamos que através de pesquisas futuras seja possível esclarecer e investigar com mais profundidade se esses aspectos estão relacionados com o baixo desempenho das crianças na discriminação de luminância.

Conclusão

Nossa pesquisa investigou a discriminação de luminância em crianças e adolescentes jovens, e revela que os mecanismos de interação entre cor e luminância já estão presentes desde

a infância, mas ainda estão em processo de desenvolvimento. A diferença observada entre os eixos cromáticos reforça a hipótese de que o canal azul-amarelo se desenvolva mais tarde em comparação ao verde-vermelho.

Embora nossos achados principais sejam consistentes, é possível que outros fatores perceptuais e cognitivos, como atenção, capacidade de integração visual e percepção de formas, possam ter influenciado no desempenho das crianças. Pesquisas futuras que avaliem diretamente essas variáveis poderão esclarecer até que ponto os limiares mais altos nas crianças refletem a imaturidade dos mecanismos de interação entre cor e luminância.

Nossos achados indicam que o protocolo utilizado possui elevado potencial de aplicabilidade por se tratar de uma ferramenta acessível, rápida e de baixo custo. O teste pode ser aplicado não apenas em investigações sobre o desenvolvimento visual na infância e adolescência, mas também em contextos clínicos e de pesquisa voltados para a detecção de alterações relacionadas às vias neurais envolvidas no processamento de cor e luminância.

Referências

- Almustanyir, A., Alhazmi, M., Aldarwesh, A., Almutairi, M. S., Almahubi, M., Alateeq, A., Alqahtani, T., Alanazi, M., Alotaibi, S., Alghamdi, M., Almutleb, E., Altoaimi, B. H., Alabdulkader, B., & Alhassan, M. (2025). Age-related effects on the color discrimination threshold. *Life*, 15(7), 1074. <https://doi.org/10.3390/life15071074>
- Bach, M. (2007). The Freiburg Visual Acuity Test: Variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245(7), 965–971. <https://doi.org/10.1007/s00417-006-0474-4>
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2008). Neurociências: Desvendando o sistema nervoso (3ª ed., C. Dalmaz, Trad., 3ª ed.). Artmed.

- Beazley, L. D., Illingworth, D. J., Jahn, A., & Greer, D. V. (1980). Contrast sensitivity in children and adults. *British Journal of Ophthalmology*, 64(11), 863–866.
<https://doi.org/10.1136/bjo.64.11.863>
- Birch, J. (1997). Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 17(5), 403-408. <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.1997.97000227.x>
- Bloch, N. I. (2016). The evolution of opsins and color vision: Connecting genotype to a complex phenotype. *Acta Biológica Colombiana*, 21(3), 481–494.
<https://doi.org/10.15446/abc.v21n3.53907>
- Boothe, R. G., Dobson, V., & Teller, D. Y. (1985). Postnatal development of vision in human and nonhuman primates. *Annual Review of Neuroscience*, 8, 495-545.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ne.08.030185.002431>
- Brito, R. M. G., Sousa, B. R. S., Miquilini, L., Goulart, P. R. K., Costa, M. F., Ventura, D. F., & Souza, G. S. (2022). Differences in chromatic noise suppression of luminance contrast discrimination in young and elderly people. *Visual Neuroscience*, 39(E006), 1-5.
<https://doi.org/10.1017/S0952523822000050>
- Chatterjee, S., & Callaway, E. M. (2003). Parallel colour-opponent pathways to primary visual cortex. *Nature*, 426(6967), 668–671. <https://doi.org/10.1038/nature02167>
- Colorlite Ltd. (2025). *Ishihara color blind test*. <https://www.pt.colorlitelens.com/ishihara-color-blind-test>
- Cormenzana Méndez, I., Martín, A., Charmichael, T. L., Jacob, M. M., Lacerda, E. M., Gomes, B. D., Fitzgerald, M. E., Ventura, D. F., Silveira, L. C., O'Donnell, B. M., & Souza, G. S. (2016). Color discrimination is affected by modulation of luminance noise

- in pseudoisochromatic stimuli. *Frontiers in Psychology*, 7, 1006.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01006>
- Crognale, M. A. (2002). Development, maturation, and aging of chromatic visual pathways: VEP results. *Journal of Vision*, 2(6), 438-450. <https://doi.org/10.1167/2.6.2>
- Cvetković, D., & Cvetković, D. (2005). Cvetković, D., & Cvetković, D. (2005). Hereditary deficiencies in color vision – from Dalton to molecular genetics [Deficiências hereditárias na visão de cores – de Dalton à genética molecular]. *Srpski Arhiv za Celokupno Lekarstvo*, 133(11–12), 521–527. <https://doi.org/10.2298/sarh0512521c>
- Danka Mohammed, C. P. D., & Khalil, R. (2020). Postnatal Development of Visual Cortical Function in the Mammalian Brain. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 14, 29.
<https://doi.org/10.3389/fnsys.2020.00029>
- de Courten, C., & Garey, L. J. (1982). Morphology of the neurons in the human lateral geniculate nucleus and their normal development: A Golgi study. *Experimental Brain Research*, 47(2), 159–171. <https://doi.org/10.1007/BF00239375>
- Dekker, T. M., Farahbakhsh, M., Atkinson, J., Braddick, O. J., & Jones, P. R. (2020). Development of the spatial contrast sensitivity function (CSF) during childhood: Analysis of previous findings and new psychophysical data. *Journal of Vision*, 20(13), 4, 1–16. <https://doi.org/10.1167/jov.20.13.4>
- Ferreira, T. C. B., Parente, J. R., Monteiro, L. C. P., Sousa, B. R. S., Brito, R. M. G., Volpe, M. I. C., Costa, M. F., Ventura, D. F., Souza, G. S., Goulart, P. R. K., & Miquilini, L. (2025). *Color vision and luminance discrimination throughout the life span*. *Scientific Reports*, 15, 35616. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19430-8>

- Freud, E., Plaut, D. C., & Behrmann, M. (2019). Protracted developmental trajectory of shape processing along the two visual pathways. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(10), 1589–1597. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01434
- Gegenfurtner, K. R., & Kiper, D. C. (2003). Color Vision. *Annual Review of Neuroscience*, 26, 181–206. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.26.041002.131116>
- Gegenfurtner, K. R., & Rieger, J. R. (2000). Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes. *Current Biology*, 10(13), 805–808. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(00\)00563-7](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(00)00563-7)
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861–863. <https://doi.org/10.1038/13158>
- Groeschel, S., Vollmer, B., King, M. D., & Connelly, A. (2010). Developmental changes in cerebral grey and white matter volume from infancy to adulthood. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 28(6), 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2010.06.004>
- Huttenlocher, P. R., de Courten, C., Garey, L. J., & Van der Loos, H. (1982). Synaptogenesis in human visual cortex — Evidence for synapse elimination during normal development. *Neuroscience Letters*, 33(3), 247–252. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(82\)90379-2](https://doi.org/10.1016/0304-3940(82)90379-2)
- Ichinose, T., & Habib, S. (2022). On and off signaling pathways in the retina and the visual system. *Frontiers in Ophthalmology*, 2, 989002. <https://doi.org/10.3389/fopht.2022.989002>
- Ishihara, S. (1997). *Series of plates designed as tests for colour-blindness*. Handaya Hongo Harukich.

- Jindrová, H. (1998). Vertebrate phototransduction: Activation, recovery, and adaptation. *Physiological Research*, 47, 155–168.
- Johnson, E. N., Hawken, M. J., & Shapley, R. (2001). The spatial transformation of color in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Nature Neuroscience*, 4(4), 409–416. <https://doi.org/10.1038/86061>
- Kandel, E., Schwartz, J., Jessell, T., Siegelbaum, S., & Hudspeth, A. J. (2014). *Princípios de neurociências* (5ª ed.). AMGH Editora.
- Kaplan, E. (2003). The M, P, and K pathways of the primate visual system. In L. M. Chalupa & J. S. Werner (Eds.), *The visual neurosciences* (Vol. 2, pp. 481-494). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/7131.003.0036>
- Kaplan, E., & Shapley, R. M. (1986). The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 83(8), 2755–2757. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.8.2755>
- Kim, Y. J., & Mullen, K. T. (2016). Effect of overlaid luminance contrast on perceived color contrast: Shadows enhance, borders suppress. *Journal of Vision*, 16(11), 15. <https://doi.org/10.1167/16.11.15>
- Kinnear, P. R., & Sahraie, A. (2002). New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70. *British Journal of Ophthalmology*, 86(12), 1408–1411. <https://doi.org/10.1136/bjo.86.12.1408>
- Kingdom, F. A. A. (2003). Color brings relief to human vision. *Nature Neuroscience*, 6(5), 641–644. <https://doi.org/10.1038/nn1061>
- Kiorpes, L. (2016). The puzzle of visual development: Behavior and neural limits. *Journal of Neuroscience*, 36(45), 11384–11393. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2937-16.2016>

- Knoblauch, K., Vital-Durand, F., & Barbur, J. L. (2001). Variation of chromatic sensitivity across the life span. *Vision Research*, 41(1), 23–36. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00132-0](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00132-0)
- Koeppen, B. M., & Stanton, B. A. (Eds.). (2018). *Berne e Levy fisiologia* (7ª ed., S. I. de Oliveira, Trad.). Elsevier.
- Kovács, I. (2000). Human development of perceptual organization. *Vision Research*, 40(10–12), 1301–1310. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(00\)00055-9](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(00)00055-9)
- Lee, B. B. (2011). Visual pathways and psychophysical channels in the primate. *The Journal of Physiology*, 589(1), 41–47. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.192658>
- Lee, B. B., & Swanson, W. H. (2022). Detection and discrimination of achromatic contrast: A ganglion cell perspective. *Journal of Vision*, 22(8), 1–13. <https://doi.org/10.1167/jov.22.8.11>
- Lenroot, R. K., Gogtay, N., Greenstein, D. K., Wells, E. M., Wallace, G. L., Clasen, L. S., Blumenthal, J. D., Lerch, J., Zijdenbos, A. P., Evans, A. C., Thompson, P. M., & Giedd, J. N. (2007). Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *NeuroImage*, 36(4), 1065–1073. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.053>
- Ling, B. Y., & Dain, S. J. (2018). Development of color vision discrimination during childhood: Differences between blue–yellow, red–green, and achromatic thresholds. *Journal of the Optical Society of America A*, 35(4), 35–42. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.35.000B35>
- Maréchal, M., Delbarre, M., Berguiga, M., Benisty, D., & Froussart-Maille, F. (2019). Dyschromatopsies héréditaires: Physiologie, classification, diagnostic et application à l’aéronautique [Hereditary color vision deficiency: Physiology, classification, diagnosis

- and application to aeronautics]. *Journal Français d’Ophtalmologie*, 42(2), 177–188.
<https://doi.org/10.1016/j.jfo.2018.05.018>
- Miquilini, L., Walker, N. A., Odigie, E. A., Guimarães, D. L., Salomão, R. C., Lacerda, E. M. C. B., Cortes, M. I. T., Silveira, L. C. de L., Fitzgerald, M. E. C., Ventura, D. F., & Souza, G. S. (2017). Influence of spatial and chromatic noise on luminance discrimination. *Scientific Reports*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16817-0>
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414–417.
[https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)
- Mollon, J. D. (2003). The origins of modern color science. In S. K. Shevell (Ed.), *The science of color* (2nd ed., pp. 1–39). Elsevier.
- Moreira, H., Álvaro, L., Melnikova, A., & Lillo, J. (2017). Colorimetry and dichromatic vision. In C. M. Travieso-Gonzalez (Ed.), *Colorimetry and image processing*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71563>
- Moro, S. S., Qureshi, F. A., & Steeves, J. K. E. (2023). Perception of the McGurk effect in people with one eye depends on whether the eye is removed during infancy or adulthood. *Frontiers in Neuroscience*, 17, Article 1217831.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1217831>
- Nassi, J. J., & Callaway, E. M. (2009). Parallel processing strategies of the primate visual system. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(5), 360–372. <https://doi.org/10.1038/nrn2619>
- Negishi, I., Shinomori, K. (2021). Suppression of luminance contrast sensitivity by weak color presentation. *Neurociência Frontal*, 15, 668116.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2021.668116>

- Neitz, M., & Neitz, J. (2000). Molecular genetics of color vision and color vision defects. *Archives of Ophthalmology*, 118(5), 691–700. <https://doi.org/10.1001/archopht.118.5.691>
- Olsson, P., Lind, O., & Kelber, A. (2018). Chromatic and achromatic vision: Parameter choice and limitations for reliable model predictions. *Behavioral Ecology*, 29(2), 273–282. <https://doi.org/10.1093/beheco/arx133>
- Paramei, G. V., & Oakley, B. (2014). Variation of color discrimination across the life span. *Journal of the Optical Society of America A*, 31(4), 375-384. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.31.00A375>
- Regan, B. C., Reffin, J. P., & Mollon, J. D. (1994). Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. *Vision Research*, 34(10), 1279-1299. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)90203-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)90203-8)
- Reuter, E.-M., Vieluf, S., Koutsandreu, F., Hübner, L., Budde, H., Godde, B., & Voelcker-Rehage, C. (2019). A non-linear relationship between selective attention and associated ERP markers across the lifespan. *Frontiers in Psychology*, 10, 30. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00030>
- Solomon, S. G. (2021). Retinal ganglion cells and the magnocellular, parvocellular, and koniocellular subcortical visual pathways from the eye to the brain. *Handbook of Clinical Neurology*, 178, 31–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821377-3.00018-0>
- Sousa, B. R. S., Loureiro, T. M. G., Goulart, P. R. K., Cortes, M. I. T., Costa, M. F. Bonci, D. M. O., Baran, L. C. P., Hauzman, E., Ventura, D. F., Miquilini, L., & Souza, G. S. (2020). Specificity of the chromatic noise influence on the luminance contrast discrimination to the color vision phenotype. *Scientific Reports*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74875-3>

- Souza, G. S., Malone, F. L., Crawford, T. L., Miquilini, L., Salomão, R. C., Guimarães, D. L., Ventura, D. F., Fitzgerald, M. E., & Silveira, L. C. (2014). Low number of luminance levels in the luminance noise increases color discrimination thresholds estimated with pseudoisochromatic stimuli. *Frontiers in Psychology*, 5, 1291. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01291>
- Stilling, J. (1877). *Die Prüfung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Marinepersonal*. Theodor Fischer.
- Switkes, E., Bradley, A., & De Valois, K. K. (1988). Contrast dependence and mechanisms of masking interactions among chromatic and luminance gratings. *Journal of the Optical Society of America A*, 5(7), 1149-1162. <https://doi.org/10.1364/josaa.5.001149>
- Watanabe, A., Pokorny, J., & Smith, V. C. (1998). Red–green chromatic discrimination with variegated and homogeneous stimuli. *Vision Research*, 38(21), 3271–3274. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00455-0](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00455-0)
- Xing, D., Ouni, A., Chen, S., Sahmoud, H., Gordon, J., & Shapley, R. (2015). Brightness–Color interactions in human early visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 35(5), 2226–2232. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3740-14.2015>
- Zhang, B., Zhang, R., Zhao, J., Yang, J., & Xu, S. (2024). The mechanism of human color vision and potential implanted devices for artificial color vision. *Frontiers in Neuroscience*, 18, Article 1408087. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1408087>
- Zhou, R., Xie, X., Wang, J., Ma, B., & Hao, X. (2023). Why do children with autism spectrum disorder have abnormal visual perception? *Frontiers in Psychiatry*, 14, 1087122. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1087122>

APÊNDICES

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

A criança/adolescente pelo qual você é responsável está sendo convidado para participar da pesquisa DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA COM MASCARAMENTO DE RUÍDO CROMÁTICO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES. Esta pesquisa é importante, pois busca compreender melhor como acontece o amadurecimento da visão de cores e brilho ao longo da vida. Portanto, essa pesquisa tem como objetivo investigar a influência da cor na percepção de brilho em crianças e adolescentes.

A participação da sua criança/adolescente neste estudo consistirá na realização de testes de avaliação de brilho e cor. No teste de brilho e cor, a criança/adolescente verá círculos com várias cores que formarão uma letra C no centro da tela do computador. Essa letra C é formada por círculos com cores mais escuras que o restante, e a tarefa dele (a) será falar para onde está a abertura da letra C (direita, esquerda, cima ou baixo).

Informamos que o risco que poderá ocorrer nesta pesquisa será o cansaço na realização dos testes por conta do tempo prolongado que será utilizado. Para diminuir isso, serão dados pequenos intervalos entre a realização dos testes e quando ele (a) sentir necessidade e pedir. Caso o desconforto continue, os testes serão parados e finalizados. Os benefícios da pesquisa que o participante terá será uma avaliação visual importante.

A participação da criança/adolescente pelo qual você é responsável será de grande importância para nós, mas caso você não queira ou ocorra alguma mudança de ideia relacionada a participação da criança ou adolescente, você pode desistir de participar da pesquisa a qualquer momento e retirar o seu consentimento. Isso não causará nenhum prejuízo a você ou ao possível

participante. Para evitar tais situações, será realizada uma breve explicação do que vai ser feito e para que serve cada teste antes da realização destes.

As informações obtidas nesta pesquisa são confidenciais e garantimos o sigilo sobre a sua participação e do menor o qual você é responsável. Somente os membros da pesquisa terão acesso a estas informações. Os seus dados e da criança/adolescente serão transformados em códigos, assim impossibilitando qualquer identificação.

A participação da criança/adolescente será voluntária, ou seja, não haverá o recebimento de dinheiro ou qualquer gratificação para participar deste estudo.

Caso ocorra algum dano que comprovadamente ocorra devido a participação na pesquisa, haverá indenização referente aos danos pelos membros da equipe.

A responsabilidade desta pesquisa cabe a graduanda Thaise Cristina Barbosa Ferreira e a mestrande Joycianne Rodrigues Parente que poderão ser encontradas nos telefones (91) 98228-0016, (91) 98545-8809 e sua orientadora Leticia Miquilini de Arruda Farias, (91) 8202-9734 e pelo e-mail: leticiamiquilini@ufpa.br, que podem ser encontradas na sala 24 do prédio II do Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento da Universidade Federal do Pará situado na Av. Perimetral, 1- Guamá.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento. Em caso de necessidade, você pode também entrar em contato direto com o Comitê de Ética em Pesquisa do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, situado a Av. Generalíssimo Deodoro, 92, bairro Umarizal, CEP: 66055-240, primeiro andar, ou ainda pelo telefone: (91) 3201-0961 e pelo e-mail: cepnmt@ufpa.br.

Termo de Consentimento

Declaro que eu fui informado sobre os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e porque o pesquisador precisa da minha colaboração e do menor que sou responsável legal. Eu confirmo que li as afirmações contidas neste termo de consentimento, que foram explicados os procedimentos do estudo, que eu tive a oportunidade de fazer perguntas e que estou satisfeito com as explicações fornecidas. Por isso, eu concordo em participar voluntariamente, sabendo que não vou ganhar nada pela participação do estudo e que posso sair quando quiser. Este documento é emitido em duas vias que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador responsável, ficando uma via com cada um de nós.

Belém, de de .

Assinatura do responsável legal

Prof.ª Dra. Letícia Miquilini de Arruda Farias

Av. Perimetral, 1

(91) 982029734

APÊNDICE B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido para adolescentes

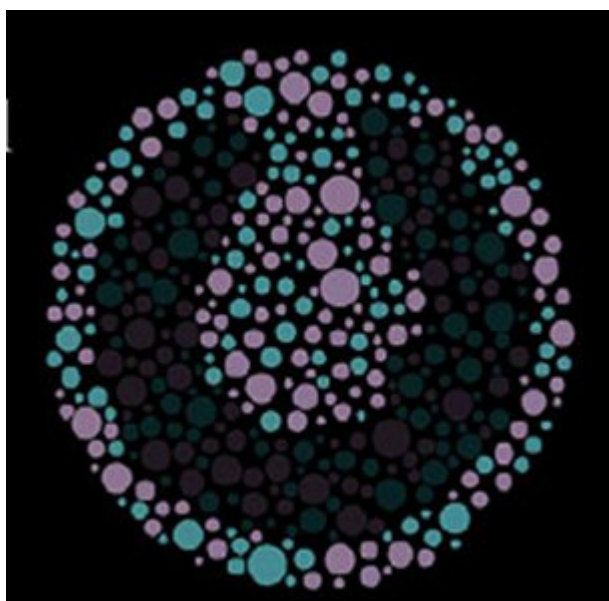
TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar da pesquisa DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA COM MASCARAMENTO DE RUÍDO CROMÁTICO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES, sob responsabilidade de Letícia Miquilini de Arruda Farias, Thaise Cristina Barbosa Ferreira e Joycianne Rodrigues Parente. Seus responsáveis legais sabem de tudo o que irá acontecer na pesquisa e permitiram que você participe.

Esta pesquisa tem como objetivo esclarecer e avaliar como você diferencia brilho e cor, e como isso desempenham papéis fundamentais no seu desenvolvimento visual.

Você não é obrigado(a) a participar e poderá desistir sem problema nenhum a qualquer momento antes, durante e após a realização de quaisquer testes ou procedimentos.

A pesquisa será realizada na sala 3 do prédio do Ensino Médio na Escola de Aplicação da Universidade Federal do Pará (UFPA). Iremos fazer alguns testes de brilhos e cores com você e você vai ter que responder falando as direções do buraco da letra C (direita, esquerda, cima ou baixo), igual esse da figura, que vamos te mostrar em um computador.



Qualquer desconforto ou cansaço que você possa sentir durante a realização dos testes será resolvido pela equipe de pesquisadores com intervalos e ajustes no ambiente para você ficar mais confortável.

Uma coisa boa que você vai saber ao participar dessa pesquisa é como está a sua visão, se você está vendo bem. Vamos contar isso para você e para os seus responsáveis.

Sua participação é essencial para o desenvolvimento da pesquisa e para a contribuição na comunidade científica. Sua participação será voluntária, ou seja, você não receberá qualquer tipo de pagamento como dinheiro e pode recusar participar da pesquisa. Caso aconteça algum dano por conta da pesquisa, você terá direito a indenização, quando requerida e comprovada.

Caso aceite, seus dados e sua identidade serão mantidos em total sigilo, em que apenas os pesquisadores envolvidos terão acesso, evitando qualquer risco para você.

Se você tiver alguma dúvida, você pode me perguntar ou a pesquisadora Letícia Miquilini de Arruda Farias. Seus responsáveis têm o meu telefone (91) 98228-0016, (91) 98545-8809 e da pesquisadora (91) 8202-9734, em caso de alguma dúvida. Caso queira tirar dúvidas pessoalmente, você pode encontrar a pesquisadora na sala 24 do prédio II do Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento da Universidade Federal do Pará, localizado na avenida Perimetral, 1, Guamá, Belém. Em caso de necessidade, você ou o seu responsável legal podem também entrar em contato direto com o Comitê de Ética em Pesquisa do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, situado a Av. Generalíssimo Deodoro, 92 – Umarizal, CEP: 66055-240, primeiro andar, ou ainda pelo telefone: (91) 3201-0961 e pelo e-mail: cepnmt@ufpa.br.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Termo de assentimento

Eu _____ aceito participar da pesquisa DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA COM MASCARAMENTO DE RUÍDO CROMÁTICO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES, que tem o objetivo de esclarecer e avaliar como eu diferencio brilho e cor, e como isso desempenha papéis fundamentais no meu desenvolvimento visual. Entendi as coisas ruins e as coisas boas que podem acontecer. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir que eu não terei nenhum problema por conta disso. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis. Recebi uma cópia deste termo de assentimento e li e concordo em participar da pesquisa.

Belém, ____ de ____ de ____.

() ACEITO PARTICIPAR

() NÃO ACEITO PARTICIPAR

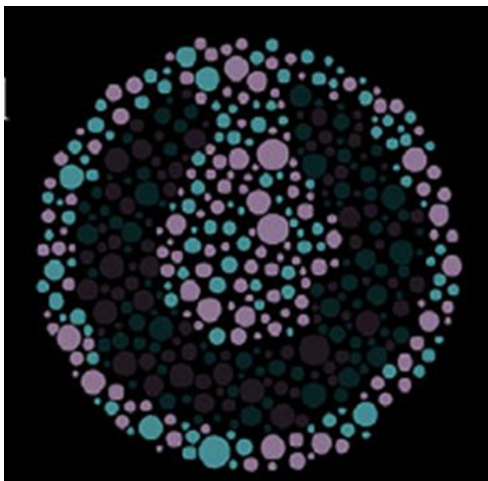
Assinatura do menor

Profa Dra. Letícia Miquilini de Arruda Farias

APÊNDICE C - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido para crianças**TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado para participar da pesquisa DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA COM MASCARAMENTO DE RUÍDO CROMÁTICO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES. Seus pais sabem de tudo e permitiram que você participe. Queremos saber como você vê brilho e cor e como isso mexe no seu crescimento.

Você não precisa participar da pesquisa se não quiser, é um direito seu, e não terá nenhum problema se desistir. A pesquisa será feita na sala 3 do prédio do Ensino Médio na Escola de Aplicação da Universidade Federal do Pará (UFPA). Iremos fazer alguns testes de brilhos e cores com você e você vai ter que responder falando as direções do buraco da letra C (direita, esquerda, cima ou baixo), igual esse da figura, que vamos te mostrar em um computador.



Você pode falar se sentir cansaço ou se algo está te incomodando durante os testes que vamos parar os testes para você descansar e deixaremos você o mais confortável possível. Uma

coisa boa que você vai saber ao participar dessa pesquisa é como está a sua visão, se você está vendo bem. Vamos contar isso para você e para os seus responsáveis. Sua participação será porque você quer fazer parte da pesquisa, então você será voluntário (a), ou seja, você não receberá nenhum pagamento como dinheiro por ela. Ninguém saberá que você está participando da pesquisa, não falaremos a outras pessoas, nem daremos a estranhos as informações que você nos der.

Se você tiver alguma dúvida, você pode me perguntar ou a pesquisadora Letícia Miquilini de Arruda Farias. Seus responsáveis têm o meu telefone (91) 98228-0016, (91) 98545-8809 e da pesquisadora (91) 8202-9734, em caso de alguma dúvida. Caso queira tirar dúvidas pessoalmente, você pode encontrar a pesquisadora na sala 24 do prédio II do Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento da Universidade Federal do Pará, localizado na avenida Perimetral, 1, Guamá, Belém. Em caso de necessidade, você ou o seu responsável legal podem também entrar em contato direto com o Comitê de Ética em Pesquisa do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, situado na Av. Generalíssimo Deodoro, 92 – Umarizal, CEP: 66055-240, primeiro andar, ou ainda pelo telefone: (91) 3201-0961 e pelo e-mail: cepnmt@ufpa.br.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Termo de assentimento

Eu _____ aceito participar da pesquisa
DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA COM MASCARAMENTO DE RUÍDO
CROMÁTICO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES, que tem o objetivo de saber como eu

vejo brilho e cor e como isso mexe no meu crescimento. Entendi as coisas ruins e as coisas boas que podem acontecer. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir que ninguém vai ficar furioso. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis. Recebi uma cópia deste termo de assentimento e li e concordo em participar da pesquisa.

Belém, ____ de ____ de ____.

()

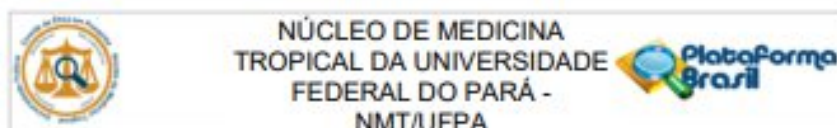
ACEITO PARTICIPAR 

() NÃO ACEITO PARTICIPAR 

Assinatura do menor

Profa Dra. Letícia Miquilini de Arruda Farias

APÊNDICE D – Parecer consubstanciado do CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: A discriminação de luminância com mascaramento de ruído cromático em crianças e adolescentes

Pesquisador: Letícia Migulini de Arruda Farias

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 75617123.0.0000.5172

Instituição Proponente: Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.687.980

Apresentação do Projeto:

Apresentação do Projeto:

Trata-se de uma emenda no projeto aprovado por este comitê em 01 dezembro de 2023, parecer: 6.546.671. Nessa emenda, os pesquisadores solicitam inclusão de um terceiro grupo de estudo além dos dois grupos propostos anteriormente, a saber, 30 crianças entre 8 a 10 anos e 30 adolescentes entre 15 a 17 anos de ambos os sexos. O terceiro grupo a ser incluído é um grupo de 30 adolescentes de 11 a 14 anos de idade. A justificativa para a inclusão é que, estudos recentes demonstraram que a taxa de maturação das vias verde-vermelho e azul-amarelo se equiparam em média, a partir dos 10 anos. Portanto, decidiu-se adicionar mais um grupo de adolescentes de 11 a 14 anos de idade para poder comparar com os resultados dos demais grupos e ampliar a faixa etária para verificar se há essas possíveis alterações na taxa de maturação as vias.

A Emenda está bem justificada e os documentos apresentados anteriormente, TCLE e TALE, são adequados para o novo grupo de participantes.

O desenvolvimento e maturação da visão de cores e luminância ao longo da vida tem sido

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92

Bairro: Umarizal

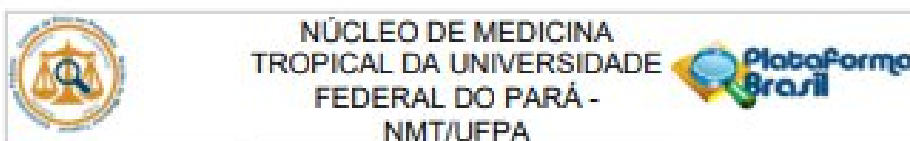
UF: PA

Município: BELEM

CEP: 66.055-240

Telefone: (91) 3201-0961

E-mail: cepnt@ufpa.br



Continuação do Parecer: 6.687.980

amplamente estudado. Diversos estudos elencam que a visão de cores e luminância maturam em diferentes períodos: os canais cromáticos verde-vermelho se desenvolvem mais cedo que os canais azul-amarelo enquanto os canais acromáticos maturam mais rapidamente que os canais cromáticos. No entanto existe divergência sobre a temática.

Portanto, o objetivo dessa pesquisa é avaliar a discriminação limiar de luminância sob mascaramento cromático em crianças e adolescentes. Para isto, serão selecionadas 30 crianças entre 8 a 10 anos, 30 adolescentes de 11 a 14 anos de idade e 30 adolescentes entre 15 a 17 anos de ambos os sexos para participarem desta pesquisa. O recrutamento é por conveniência e a pesquisa acontecerá na sala de pesquisa 24 do prédio III do Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento (NTPC)/UFPa. Os participantes selecionados farão dois testes de triagem: avaliação da acuidade visual (FrACT) e o teste de Ishihara. Após esta avaliação, o participante irá realizar o protocolo de avaliação da discriminação do contraste limiar de luminância com mascaramento de cor. Este protocolo é composto por quatro testes: protan, deutan, tritan e acromático. Serão extraídos os limiares de discriminação de luminância em função da saturação do ruído cromático de cada protocolo e estes dados serão ajustados a funções de Michaelis-Menten usando o método dos mínimos quadrados. Além disso, serão comparados os limiares de discriminação de luminância entre crianças e adolescentes através do teste t de Student e na comparação dentro grupo será o ANOVA de uma via. Espera-se que esse protocolo de medida de supressão do ruído cromático sobre a discriminação de luminância possa ser bastante informativo sobre o desenvolvimento dos canais de processamento cromático verde-vermelho e azul -amarelo e do canal de processamento de luminância ao longo dos primeiros anos.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

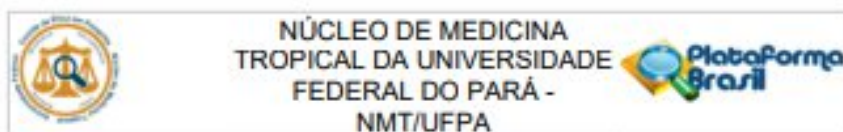
Avaliar a discriminação limiar de luminância mascarada por ruído cromático em crianças e adolescentes.

Objetivo Secundário:

Estimar a discriminação limiar de luminância sobre mascaramento com ruído de cor em crianças e adolescentes.

Comparar a discriminação limiar de luminância sobre mascaramento com ruído de cor em crianças e adolescentes.

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 82
Bairro: Umarizal **CEP:** 66.055-240
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91)3201-0961 **E-mail:** capnmt@ufpa.br



Continuação do Parecer: 6.687.960

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Avaliados adequadamente como segue:

Riscos:

Possível cansaço durante a realização dos testes devido ao tempo estabelecido para a finalização dos mesmos e possível quebra de sigilo dos dados coletados.

Benefícios:

Avaliação visual e orientações sobre possíveis cuidados com o mesmo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa de importância científica, sem conflitos éticos. A metodologia está bem apresentada e viável e adequada para atingir os objetivos da pesquisa. O cronograma de execução da pesquisa é coerente com os objetivos propostos e está adequado ao tempo de tramitação do projeto.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

1. Folha de rosto CONEP (preenchida adequadamente e assinada) - OK
2. Projeto de Pesquisa original na íntegra - OK
3. TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. - OK
4. TAI – Termo de Anuência Institucional - Não se aplica
5. Cronograma - OK
7. TALE – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido – OK
8. TCUD – Termo de Compromisso de Utilização de Dados – Não se aplica

Recomendações:

Não há

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

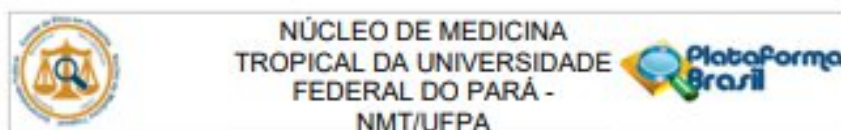
Sem pendências

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, este Colegiado manifesta-se pela APROVAÇÃO da Emenda do projeto de pesquisa por estar de acordo com a Resolução CNS nº466/2012 e Norma Operacional 001/2013. Esclarecemos que a responsabilidade do pesquisador é indelegável, indeclinável e compreende aspectos éticos e legais. Cabe ainda ao pesquisador:

- a) desenvolver o projeto conforme delineado;

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92	
Bairro: Umarizal	CEP: 66.055-240
UF: PA	Município: BELEM
Telefone: (91)3201-0961	E-mail: cepnm@ufpa.br



Continuação do Parecer: 6.687.980

- b) elaborar e apresentar os relatórios parciais e final para este CEP;
- c) apresentar dados solicitados pelo CEP ou pela CONEP a qualquer momento;
- d) manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa;
- e) encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico integrante do projeto;
- f) justificar fundamentadamente, perante o CEP ou a CONEP, alteração ou interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados;
- g) comunicar antecipadamente alterações no cronograma por meio da Plataforma Brasil via Emenda.

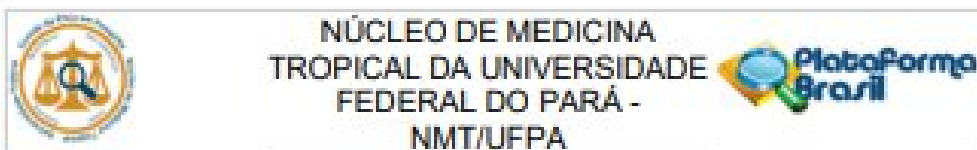
Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMACOES_BASICAS_2277958_E1.pdf	24/01/2024 11:29:49		Aceito
Cronograma	Cronograma.docx	24/01/2024 11:19:33	Leticia Miquilini de Amada Farias	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_CEP.docx	24/01/2024 11:19:26	Leticia Miquilini de Amada Farias	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_2024.docx	24/01/2024 11:12:18	Leticia Miquilini de Amada Farias	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	09/11/2023 11:32:05	Leticia Miquilini de Amada Farias	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE_adolescentes.docx	26/10/2023 14:46:45	Leticia Miquilini de Amada Farias	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE_crianças.docx	26/10/2023 14:46:37	Leticia Miquilini de Amada Farias	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92
 Bairro: Umarizal CEP: 66.055-240
 UF: PA Município: BELEM
 Telefone: (91)3201-0961 E-mail: cepnmt@ufpa.br



Continuação do Parecer: 6.687.980

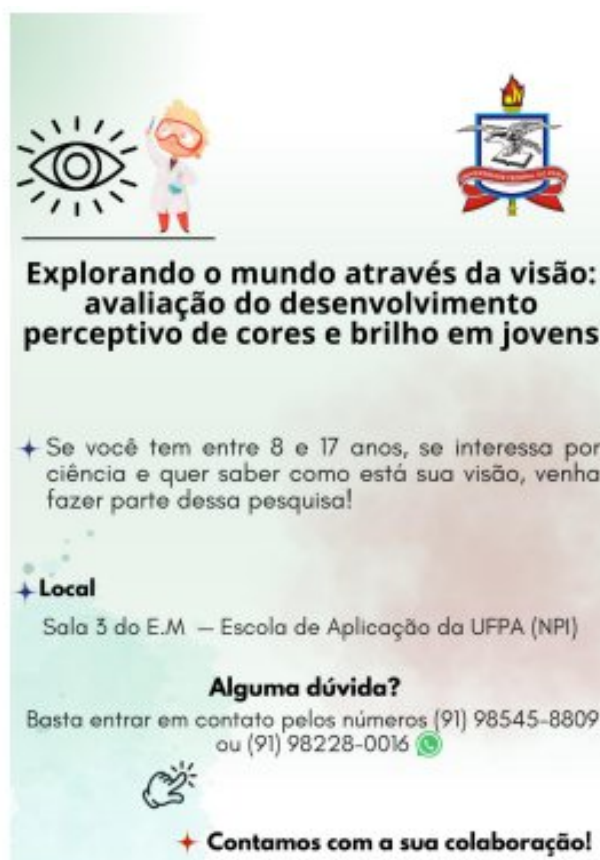
Necessita Apreciação da CONEP:
Não

BELEM, 06 de Março de 2024

Assinado por:
FABIOLA ELIZABETH VILLANOVA
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92
Bairro: Umarizal **CEP:** 66.055-340
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91) 3204-0901 **E-mail:** capomt@ufpa.br

APÊNDICE E – Carta convite



**Explorando o mundo através da visão:
avaliação do desenvolvimento
perceptivo de cores e brilho em jovens**

✦ Se você tem entre 8 e 17 anos, se interessa por ciência e quer saber como está sua visão, venha fazer parte dessa pesquisa!

✦ **Local**
Sala 3 do E.M. — Escola de Aplicação da UFPA (NPI)

Alguma dúvida?
Basta entrar em contato pelos números (91) 98545-8809
ou (91) 98228-0016 



✦ **Contamos com a sua colaboração!**

Você já parou para pensar em como enxerga cores e brilho?

Estamos convidando jovens de 8 a 17 anos para participar de uma pesquisa sobre a percepção de cores e brilho! Este estudo é realizado pelo Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento da Universidade Federal do Pará (UFPA), em parceria com a Escola de Aplicação da UFPA.

A pesquisa acontecerá na sala 3 do prédio do Ensino Médio da Escola de Aplicação e a coordenação do seu curso irá agendar o seu horário, tomando tudo ainda mais fácil!

Quer se juntar a nós, ajudar a ciência e ainda ganhar uma avaliação visual gratuita?

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco pelos telefones (91) 98545-8809 ou (91) 98228-0016.

Estamos ansiosos para contar com você nessa pesquisa!

APÊNDICE F – Anamnese

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE TEORIA E PESQUISA DO COMPORTAMENTO

1. Informações Gerais

- Nome Completo:

- Telefone:

- Idade:

- Gênero:

- Escolaridade (série/ano escolar):

2. Histórico Médico:

Marque abaixo se a criança/adolescente, possui alguns desses problemas médicos ou quaisquer condições pré-existentes relacionadas a sua saúde:

☐ Toxoplasmose

☐ Malária

☐ Diabetes

☐ Meningite

☐ Epilepsia

☐ Catapora

☐ Tuberculose

☐ Hanseníase (Lepra)

☐ Não tive nenhuma doença.

() Outros: _____ Já passou por alguma cirurgia? () Sim () Não. Se sim, qual(is)? _____

- Faz uso de alguma medicação? () Sim. () Não. Se sim, qual(is)? _____

- Possui algum familiar cego? (descartando acidentes) () Sim. () Não

- Faz uso frequente de colírio? () Sim. () Não. Se sim, qual(is)? _____

- Possui alguma dificuldade para diferenciar as cores? () Sim () Não.

- Faz uso de óculos ou lentes de contato? (caso a resposta seja sim, há a necessidade do uso deles durante a aplicação dos testes) () Sim. () Não

- Já teve ou tem contato com cigarro ou com algum familiar que faz uso frequente? () Sim. () Não.
Se sim, por quanto tempo? _____

- Já foi diagnosticado com algum problema visual? () Sim. () Não Qual?

Se sim, marque qual(is) as dificuldades

() Dificuldade para enxergar objetos próximos (hipermetropia)

() Dificuldade para enxergar objetos distantes (miopia)

() Dificuldade para focar objetos ou visão embaçada (astigmatismo)

3. Experiências Anteriores e hábitos:

- Você pratica ou já praticou atividades que pedem uso de tela frequente ou hábitos intensos leitura?

Exemplo: uso intenso de celular e/ou computador. () Sim () Não

- Se sim, quanto tempo em média você faz uso desses aparelhos diariamente?

Nesse espaço, você pode colocar algo que você acha importante que nós saibamos sobre a criança/adolescente em relação a histórico de saúde.

APÊNDICE G - Artigo Correlation between parameters estimated by the colour assessment and diagnosis and the Cambridge colour test in color discrimination evaluation

Vision Research 235 (2025) 108664



Contents lists available at ScienceDirect

Vision Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/visres



Correlation between parameters estimated by the colour assessment and diagnosis and the Cambridge colour test in color discrimination evaluation

Joycianne Rodrigues Parente^a, Eliza Maria da Costa Brito Lacerda^b, Dora Fix Ventura^c, Paulo Roney Kilpp Goulart^a, Natália B. Dutra^a, Givago Silva Souza^{d,e}, Letícia Miquilini^{a,*}

^a Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

^b Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil

^c Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

^d Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

^e Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

ARTICLE INFO

Keywords:
Chromatic thresholds
Dichromat
Trichromat
Color vision
Psychophysics

ABSTRACT

The Colour Assessment and Diagnosis (CAD) and the Cambridge Colour Test (CCT) are computerized psychophysical tests widely used in the diagnosis of color vision deficiencies due to their high specificity and sensitivity. However, these tests differ substantially in the type of visual task, stimulus configuration, vectors, luminance, background composition, and presentation time. This study aimed to compare the evaluation parameters estimated by these tests in trichromatic and dichromatic individuals. A total of sixty-six participants (40 trichromats and 38 dichromat individuals – 16 protans and 22 deuterans; mean age: 26.3 ± 8.9 years) were evaluated. Color discrimination thresholds were fitted to elliptical functions, and parameters such as ellipse area, rotation angle, and the size of protan, deutan, and tritan vectors were analyzed. Results showed equivalence between the tests for: the deutan and tritan vector areas and sizes in the trichromat subgroup; tritan vector area and size in the protan subgroup; and protan and tritan vector sizes in the deutan subgroup. Differences in the central coordinates of the CAD and CCT tests and the spatial arrangement of vectors in the CIE 1976 color space (specific to the CCT test) may have influenced the results. Nonetheless, agreement was observed in the measures of ellipse area, rotation angle, and sizes of the protan and tritan vectors between the two tests. These findings suggest that, despite methodological differences, the CAD and CCT tests produce largely comparable results and can be considered complementary tools in the assessment of color discrimination in clinical and research settings.

1. Introduction

Color perception is an essential visual ability for human interaction with the environment, influencing activities ranging from daily tasks to specialized professional decisions. Disorders in color perception, such as color blindness, significantly impair this ability and affect the quality of life of those affected (Yang et al., 2024). Among these disorders, dichromacy is a congenital condition that can manifest in three distinct forms: protanopia, deuteranopia, and tritanopia, each characterized by the absence of photopigments in the L, M, and S cones, respectively (Pridmore, 2014; Tan et al., 2023). As a result, protanopic and deuteranopic individuals experience challenges in discriminating colors along the red/green confusion axis, while tritanopic individuals face difficulties along the blue/yellow axis (Birch, 2001; Hunt & Pointer, 2011;

Kaiser & Boynton, 1996; Rodriguez-Carmona, Evans, & Barbur, 2020).

Two widely employed instruments for assessing color vision deficiency are the Cambridge Colour Test (CCT) and the Colour Assessment and Diagnosis (CAD). Both are renowned for their high sensitivity and specificity, providing reliable estimates of color discrimination thresholds. These estimates allow for inferences about potential deficiencies in chromatic perception, whether arising from congenital anomalies or acquired impairments (Fanlo-Zarazaga et al., 2024; Goulart et al., 2008; Jennings & Barbur, 2010; Jolly et al., 2022; Konstantakopoulou, Rodriguez-Carmona, & Barbur, 2012; Mancuso, Neitz, & Neitz, 2006; Mastey et al., 2019; Moura et al., 2008; Rodriguez-Carmona, O'Neill-Biba, & Barbur, 2012; Silveira et al., 2003; Souza et al., 2014; Thyagarajan, Moradi, Membrey, Alistair, & Laidlaw, 2007; Ventura et al., 2003a; Ventura et al., 2003b; Ventura et al., 2004, 2005; Ventura et al.,

* Corresponding author at: R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém, PA 66075-110, Brazil.
E-mail address: leticia.miquilini@gmail.com (L. Miquilini).

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2025.108664>

Received 10 February 2025; Received in revised form 14 July 2025; Accepted 23 July 2025

Available online 26 July 2025

0042-6989/© 2025 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

2007; Zagui, Henriques, & Costa, 2025). These tests also represent more practical alternatives to the Nagel anomaloscope, an instrument still regarded as the gold standard for color vision assessment but infrequently employed in clinical settings due to its high cost and operational complexity (Truksa, Fomins, Jansone Langina, & Tenisa, 2025).

Although both the CCT and CAD estimate color discrimination thresholds, they employ distinct methodologies. They differ across several dimensions, including the type of visual task used, the method of introducing visual noise, luminance, background composition, stimulus dimensions and presentation time (Hovis, Milburn, & Nesthus, 2012; Pedersen, Hagen, Landsend, & Gilson, 2018). These methodological disparities raise questions about the comparability of the results obtained from each test, and whether they can be used interchangeably in clinical and research contexts. Though some studies indicate that the CAD may offer greater sensitivity in detecting subtle changes (Hovis et al., 2012; Truksa et al., 2025), a systematic comparison between the two instruments has not yet been conducted.

In addition, the literature recommends administering at least two color vision tests to obtain more comprehensive information about patients' visual perception (Pardo Zarazaga et al., 2019). In this regard, understanding whether the CCT and CAD yield compatible results may support the rational selection of complementary or substitute tests, optimizing clinical practice and the design of scientific studies.

Therefore, the present study aims to correlate the parameters estimated by the CAD and the CCT in both trichromatic and dichromatic observers, in order to assess the degree of compatibility and agreement between these diagnostic tools.

2. Method

2.1. Subjects

The study sample consisted of 66 participants (mean age: 25.53 ± 7.8 years). They were divided into three groups: 40 normal trichromats (20 men and 20 women), 13 men with deutan color vision deficiencies and 13 men with protan color vision deficiencies. Recruitment was conducted through convenience sampling, with invitations extended by the research team. Eligibility criteria included normal or corrected 20/20 visual acuity, absence of neurological or ophthalmological disorders, no exposure to chemicals, no systemic diseases, and no history of infections that could affect the visual system.

Red-green color vision deficiencies were identified based on: errors in the Ishihara test; the anomaly coefficient obtained from the spectral anomaloscope; and the rotation angle and ellipse area derived from CAD and CCT assessments. All participants signed an informed consent form, confirming their voluntary participation and understanding of the study procedures. The research was approved by the Ethics Committee for Research Involving Human Subjects of the Tropical Medicine Center at the Federal University of Pará (#375.242). All methods were performed in accordance with the relevant guidelines and regulations.

2.2. Colour assessment and diagnosis

The Colour Assessment and Diagnosis (CAD; version 2.0) test was conducted using a notebook computer (Dell, Intel Core i3, Intel HD graphics) connected to a 22-inch color LCD monitor with a spatial resolution of 1680 × 1050 pixels (NEC MultiSync P221w, Japan) and a Targus response controller (#AKP03EU).

The visual stimulus consisted of an array of 15 × 15 squares, spanning ~3.3 × 3.3° of visual angle, with each square measuring 0.21° of visual angle. The stimulus was modulated by spatial-temporal dynamic luminance contrast noise and presented against a uniform isochromatic background with a luminance of 24 cd/m². The background chromaticity corresponds to that defined by MacAdam (1942; CIE 1931 color space: $x = 0.305$, $y = 0.323$; Fig. 1A).

The target was a subset of 5 × 5 squares (covering ~1.1° × 1.1° of

visual angle) that differed from the background solely in chromaticity. The target moved diagonally across the array at a constant speed of ~5°/s, over a visual angle of 2.8, and both the target and the background were masked by dynamic luminance contrast noise, ensuring that participants relied only on chromatic differences to identify the target's movement. Each square in the array underwent random luminance changes across 64 possible values (25.5–42.5 cd/m²), updated at intervals of 50–80 ms. The random contrast luminance dynamics (RCLD) of the target matched that of the surrounding background to eliminate potential border cues.

The stimulus was displayed for ~750 ms, during which participants were tasked with identifying the direction of the target's movement from four diagonal options: up-right, up-left, bottom-right, or bottom-left. During the test, participants were seated 1.4 m away from the monitor to maintain consistent visual angle measurements.

The chromaticity of the target was randomly modulated along 16 chromatic axes (6 protan axes, 6 deutan axes, and 4 tritan axes; Fig. 1C), and a staircase procedure employing a 2:1 rule was applied. The procedure was terminated after 12 reversals, and the CAD test provided a suggested color vision phenotype for each participant based on the manufacturer's normative database. For this study, chromatic discrimination thresholds were calculated as the average of the final six reversals for each chromatic axis.

2.3. Cambridge colour test

The Cambridge Colour Test (CCT), version 2.30, was conducted using a Dell computer equipped with a CRT monitor featuring a spatial resolution of 1600 × 1200 pixels, a refresh rate of 85 Hz, a horizontal frequency range of 30–140 kHz, and a vertical frequency range of 50–160 Hz. The setup included a Visage signal receiver and a CT6 response controller (Cambridge Research Systems, CRS, United Kingdom). Luminance and chromaticity measurements were performed, and gamma correction was applied to ensure accurate display characteristics using a ColorCal colorimeter (CRS).

The stimulus (Fig. 1B) consisted of a mosaic of circles of varying sizes and six possible luminance levels (ranging from 8 to 18 cd/m²). A subset of these circles formed a target in the shape of a "C" (outer diameter: 4.3°, inner diameter: 2.2°, and gap: 1°), distinguishable from the background solely by chromaticity differences. The target chromaticity was modulated along eight vectors spaced at 45° intervals in the CIE 1976 color space (Fig. 1D), with the background chromaticity fixed at coordinates $u' = 0.1977$ and $v' = 0.4689$. Participants were tasked with verbally indicating the orientation of the "C" opening, choosing from four randomized options: up, down, right, or left.

During the test, participants were positioned 3.25 m from the monitor. Each stimulus was displayed for three seconds. Chromatic discrimination thresholds were assessed using the ellipse test mode, which employed a staircase procedure with a 1:1 rule. The test concluded after 10 reversals, with the chromatic discrimination threshold calculated as the mean of the last six reversals.

2.4. Data analysis

Ellipses were fitted using the Khachiyan ellipsoid method (Khachiyan, 1979), implemented with Matlab R2013a routines (MathWorks, Natick, MA, USA), for trichromats, protan, and deutan groups. The analyzed parameters included ellipse area, protan, deutan, and tritan vectors, and rotation angle. These parameters were obtained for both the CAD and CCT tests in each group. Data were compared using one-way ANOVA followed by Tukey's post hoc test. To compare the two tests, we calculated the ratio between the color discrimination threshold results from the CAD and CCT tests and performed a linear regression analysis. Agreement between parameters was assessed using the Bland-Altman method and a one-sample Student's *t*-test. CAD data were converted to the CIE 1976 color space to enable comparison with CCT

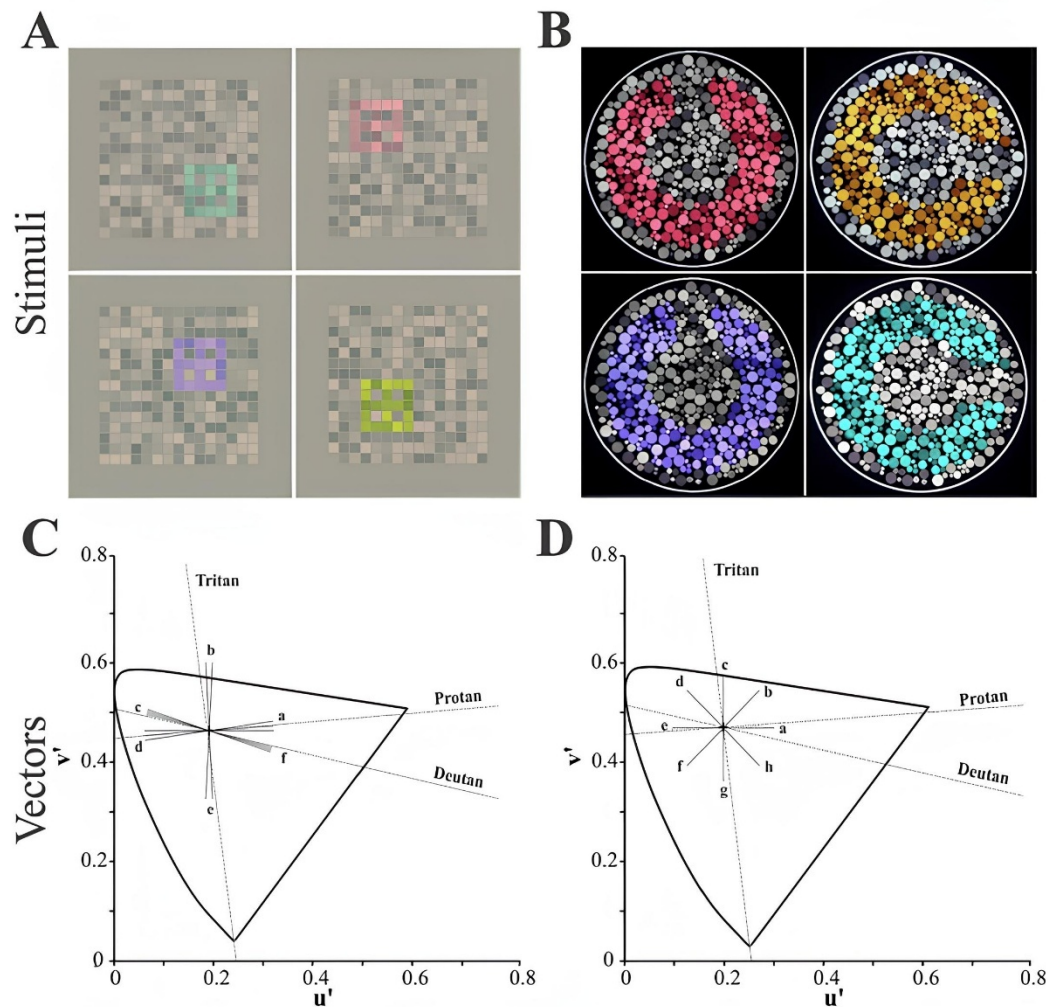


Fig. 1. Stimuli and vectors used in the CAD and CCT tests. Panel A depicts the CAD test stimulus, which consists of a 5×5 square matrix target differing from the background only in the chromaticity of its elements. The target appears at one of the four corners and moves diagonally, and participants indicate the direction of movement using a response controller. Panel B illustrates the CCT test stimulus, where the target differs from the mosaic background by chromaticity and is perceived as the letter "C," with its opening oriented right, left, up, or down; participants indicate the orientation of the opening. Panel C presents the 16 chromatic vectors used in the CAD test within the CIE 1976 color space, divided into six groups labeled (a) through (f). These groups correspond to rotation angles as follows: (a) 0° , 4° , and 8° ; (b) 87° and 93° ; (c) 162° , 164° , and 166° ; (d) 180° , 184° , and 188° ; (e) 267° and 273° ; and (f) 343° , 346° , and 350° . Panel D shows the eight chromatic vectors used in the CCT test, spaced evenly at 45° intervals in the CIE 1976 color space and labeled (a) through (h), corresponding to rotation angles of 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , and 315° . Dashed lines represent the protan, deutan, and tritan color confusion axes, and the solid line marks the boundary of the CIE 1976 color space.

results. All statistical analyses were conducted using a significance level of $\alpha = 0.05$.

3. Results

3.1. Dispersion and variation of color discrimination thresholds

Fig. 2 depicts the dispersion of color discrimination thresholds for

trichromats, protan, and deutan groups, represented by different ellipses. The results for trichromatic subjects are shown within ellipses corresponding to the 2.5 %, 50 %, and 97.5 % percentiles for both the CAD and CCT tests and show compact and symmetrical dispersion, reflecting uniform chromatic sensitivity. The dispersion data for dichromats are presented alongside the ellipse representing the 97.5th percentile of trichromatic subjects, with the data showing a shift toward their respective color confusion lines in both tests, confirming that both tests

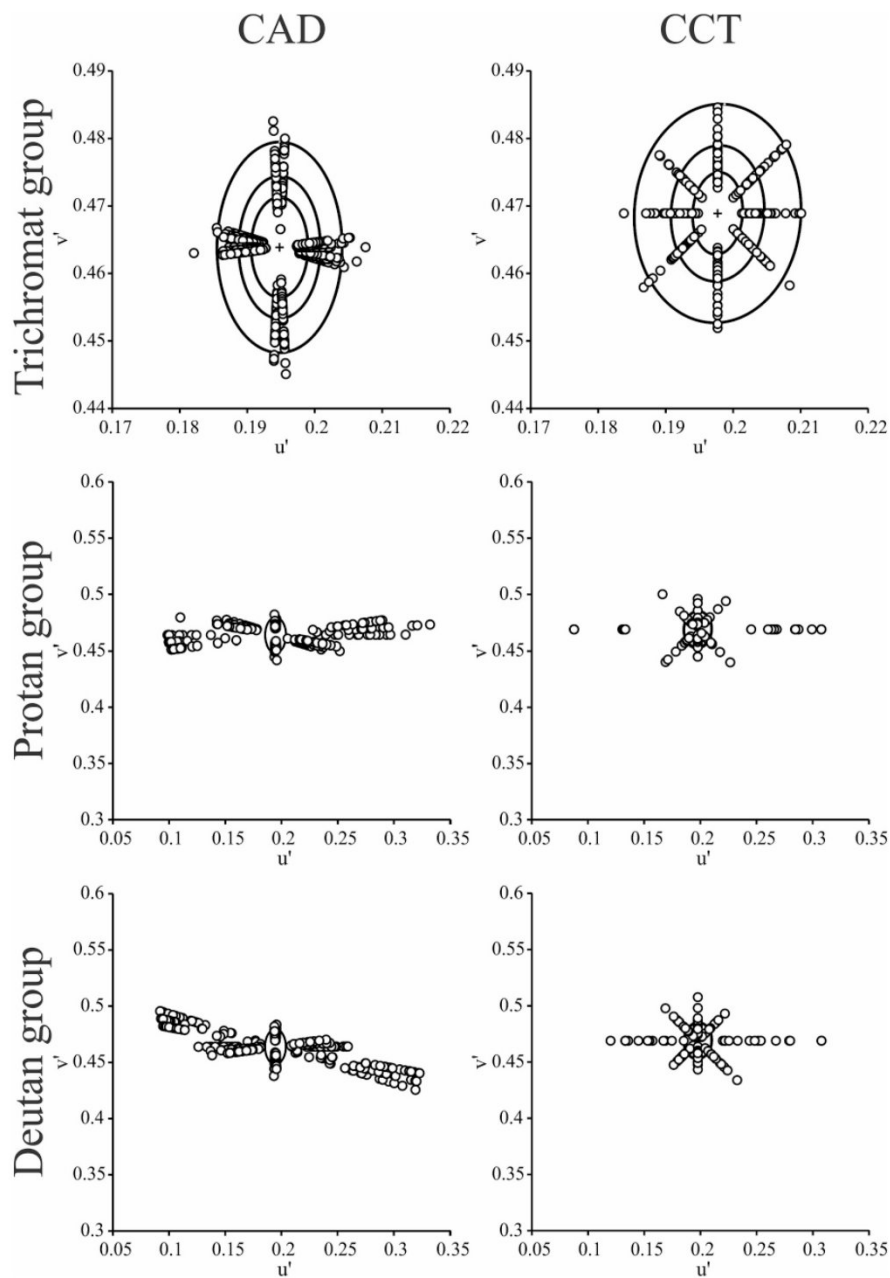


Fig. 2. Dispersion of color discrimination thresholds in trichromat, protan, and deutan subgroups. The figure illustrates the dispersion of color discrimination thresholds for the trichromat, protan, and deutan subgroups in the CAD and CCT tests, represented as ellipses. For the trichromat subgroup, three ellipses indicate the 2.5th percentile (innermost ellipse), the 50th percentile (middle ellipse), and the 97.5th percentile (outermost ellipse). For the protan and deutan subgroups, the data dispersion is compared against the 97.5th percentile ellipse of the trichromat subgroup.

effectively reveal the axes of color loss.

The CCT test showed higher coefficients of variation in rotation angles compared to the CAD test, particularly in the protan and deutan subgroups. In the protan group, CCT values exceeded 0.60 at 90°, 315°, and 135° (reaching up to 0.71), while the maximum values in the CAD test remained below 0.40. Similarly, the deutan group showed a value >0.60 in the CCT at 90°, which was not observed in the CAD. In contrast, the trichromat subgroup exhibited lower and comparable coefficients between tests (ranging from 0.31 to 0.36). These findings indicate that, for this parameter, the CCT test is more sensitive to chromatic discrimination at specific angular directions, such as 90°, 135°, and 315°, which are close to the protan and deutan confusion axes in the chromaticity space.

3.2. Descriptive statistics of the evaluative parameters of color discrimination

Tables 1 and 2 summarize the parameters derived from the color discrimination ellipses for the CAD and CCT tests, respectively. Overall, trichromats exhibited smaller values for ellipse areas and shorter protan and deutan vector lengths compared to dichromats ($p < 0.05$). The rotation angle also differed significantly between trichromats and dichromats ($p < 0.05$), indicating that the orientation of chromatic loss follows distinct patterns in individuals with color vision deficiency. In the CAD results, the deutan group exhibited a significantly longer tritan vector length compared to the protan and trichromat groups ($p < 0.05$). In contrast, this difference was observed in the CCT only between deutan and trichromatic participants ($p < 0.05$), suggesting a discrepancy in blue-yellow sensitivity estimates between the two methods.

3.3. Color discrimination threshold parameters ratio

The analysis of the ratio parameters revealed equivalence between the two tests in the following parameters: ellipse area and the size of the deutan and tritan vectors for the trichromat subgroup; ellipse area and the size of the tritan vector for the protan subgroup; and the size of the

Table 1
Statistical description of the chromatic discrimination threshold parameters of the CAD test.

Colour Assessment and Diagnosis					
	Area	Rot. ang.	Protan vector	Deutan vector	Tritan vector
<i>Trichromat Subgroup</i>					
Median	0.183	87.28	0.057	0.061	0.098
2.5 %	0.111	84.405	0.043	0.044	0.074
97.5 %	0.413	100.455	0.094	0.099	0.150
Q1	0.144	86.100	0.052	0.054	0.086
Q3	0.248	94.200	0.069	0.071	0.117
<i>Protan Subgroup</i>					
Median	3.800	3.900	1.001	0.336	0.108
2.5 %	1.747	2.972	0.235	0.113	0.0390
97.5 %	5.686	5.310	1.217	0.526	0.183
Q1	2.590	3.401	0.802	0.278	0.087
Q3	4.654	3.902	1.105	0.423	0.138
<i>Deutan Subgroup</i>					
Median	3.778	168.100	0.398	1.005	0.135
2.5 %	1.181	162.750	0.223	0.348	0.085
97.5 %	8.032	169.532	0.600	1.302	0.224
Q1	3.400	166.853	0.361	0.874	0.113
Q3	5.400	168.800	0.458	1.206	0.152
p	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05**

Rot. Ang., Rotation Angle; *Trichromatic subjects differ from deutan and protan subjects ($p < 0.05$); **Deutan subjects differ from trichromatic and protan subjects ($p < 0.05$). Area is represented by values times 10^3 , and vectors are represented by values times 10. Q1: first quartile; Q3: third quartile.

Table 2
Statistical description of the chromatic discrimination threshold parameters of the CCT test.

Cambridge Colour Test					
	Area	Rot. ang.	Protan vector	Deutan vector	Tritan vector
<i>Trichromat Subgroup</i>					
Median	0.208	90	0.065	0.067	0.090
2.5 %	0.068	64.509	0.037	0.038	0.060
97.5 %	0.563	105.163	0.123	0.124	0.149
Q1	0.154	85.813	0.060	0.060	0.076
Q3	0.261	90	0.077	0.074	0.111
<i>Protan Subgroup</i>					
Median	2.704	0	0.750	0.387	0.114
2.5 %	1.670	0	0.575	0.277	0.075
97.5 %	8.825	3.397	1.034	0.742	0.311
Q1	2.282	0	0.656	0.350	0.092
Q3	4.038	0.276	0.899	0.460	0.123
<i>Deutan Subgroup</i>					
Median	2.700	175.529	0.518	0.469	0.169
2.5 %	0.713	168.868	0.247	0.240	0.070
97.5 %	8.140	178.752	0.805	0.813	0.337
Q1	1.156	173.134	0.298	0.303	0.109
Q3	4.500	178.227	0.664	0.609	0.197
p	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05*	< 0.05**

Rot. Ang., Rotation Angle; *Trichromatic subjects differ from deutan and protan subjects ($p < 0.05$); **Deutan subjects differ from trichromatic and protan subjects ($p < 0.05$). Area is represented by values times 10^3 , and vectors are represented by values times 10. Q1: first quartile; Q3: third quartile.

protan and tritan vectors for the deutan subgroup, as these criteria had mean values close to one (Table 3).

Although the ratio results showed equivalence for nearly all parameters, five measures exhibited discrepancies between the CAD and CCT test results. Parameters with higher values in the CAD test, indicated by a ratio above one, included the size of the protan vector for the protan subgroup, ellipse area, and the size of the deutan vector for the deutan subgroup. The size of the deutan vector was the criterion showing the greatest divergence between the two tests, suggesting that the two tests may assess this axis differently.

On the other hand, the fact that parameters such as the size of the protan vector for the trichromat subgroup and the size of the deutan vector for the protan subgroup showed higher values in the CCT test, resulting in a ratio below one, may reflect lower specificity in assessing isolated chromatic axes, particularly when detecting alterations in subgroups that, theoretically, do not exhibit primary deficiencies along these axes.

Fig. 3 displays the dispersion of the color discrimination evaluation parameters between the CAD and CCT tests, along with a ratio line at one. The results demonstrate a clear separation of data between trichromats and dichromats, particularly in the parameter of area (Fig. 3A), rotation angle, which shows equivalence across all subgroups (Fig. 3B), and the size of the protan (Fig. 3C), deutan (Fig. 3D), and tritan vectors (Fig. 3E).

Table 3
Mean of the ratio and standard deviation of the results of color discrimination threshold data between the CAD and CCT tests.

Parameter	Trichromat subgroup	Protan subgroup	Deutan subgroup
Ellipse area	1.03 (± 0.64)	1.13 (± 0.37)	1.68 (± 0.93)
Protan vector	0.89 (± 0.29)	1.25 (± 0.23)	0.90 (± 0.32)
Deutan vector	0.91 (± 0.28)	0.87 (± 0.14)	2.06 (± 0.82)
Tritan vector	1.10 (± 0.32)	0.97 (± 0.26)	0.93 (± 0.23)

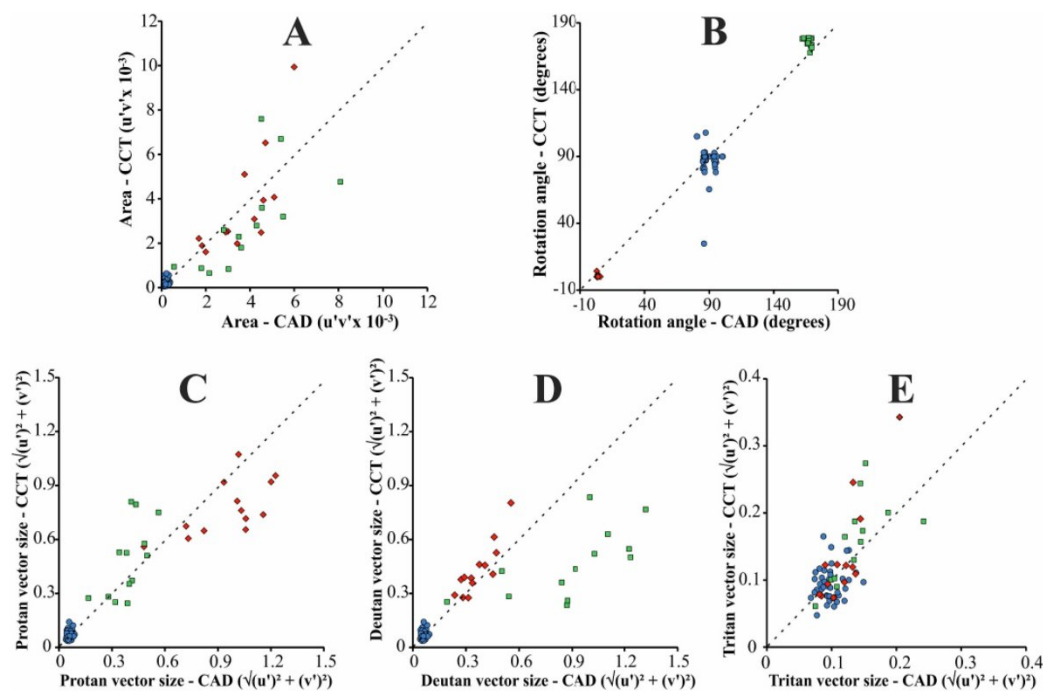


Fig. 3. Dispersion of ellipse area, rotation angle, and protan, deutan, and tritan vector size parameters for different sample subgroups estimated by the CAD and CCT tests. The figure shows the dispersion of parameters—ellipse area (A), rotation angle (B), protan vector size (C), deutan vector size (D), and tritan vector size (E)—for the trichromat, protan, and deutan subgroups measured by the CAD and CCT tests. Data points are plotted along a one-to-one ratio line (gray dotted line) indicating equivalence between test results. Sample subgroups are represented by different symbols: blue circles for trichromats, red diamonds for protans, and green squares for deutans. A clear separation between trichromat and dichromat subgroups is observed for ellipse area, rotation angle, protan vector size, and deutan vector size parameters, while for tritan vector size there is considerable overlap in data dispersion between subgroups. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

3.4. Correlations of color discrimination threshold parameters

To assess the correlation between color discrimination threshold parameter, the sample subgroups were merged into a single group, and a linear regression analysis was performed. Significant correlations were found between all the parameters analyzed in both the CAD and CCT tests: area ($r = 0.792$, $p < 0.001$), protan vector ($r = 0.807$, $p < 0.001$), deutan vector ($r = 0.789$, $p = 0.001$), and tritan vector ($r = 0.549$, $p < 0.001$). Indicating that both tests show equivalent results.

3.5. Agreement analysis of color discrimination threshold parameters

The results from the Bland-Altman method indicate agreement between the measurements of the two tests for the parameters of area ($p = 0.2904$), rotation angle ($p = 0.4474$), and the sizes of the protan ($p = 0.5184$) and tritan vectors ($p = 0.2698$; Fig. 4), as no statistical difference was found between these measurements. However, this finding contrasts with the deutan vector size parameter, where a statistically significant difference was observed ($p = 0.0152$), suggesting that despite the correlation observed between the tests for this parameter, a systematic discrepancy remains.

4. Discussion

This study compared the parameters used to assess color

discrimination as estimated by the CAD and CCT tests, with the aim of evaluating the degree of compatibility and agreement between these diagnostic tools. Although both tests are widely used in clinical and research settings (Truksa et al., 2025), they differ substantially in several methodological aspects.

Here, we demonstrated that both tests exhibit similar efficacy in distinguishing trichromats from dichromats, as there was a clear separation between these groups across all analyzed parameters, except for the tritan vector parameter. This was expected, since this axis is unaffected in either group. In line with Barbur et al., (2021), these results indicate that both tests are capable of isolating chromatic signals and selectively stimulating the red-green and blue-yellow mechanisms. In addition, both demonstrated high sensitivity in detecting acquired alterations and subtle differences between normal trichromats and less severely affected dichromats. These findings are consistent with previous studies on the CCT (Mollon & Reffin, 1989; Regan et al., 1994) and the CAD (Barbur, 2004; Rodriguez-Carmona et al., 2005).

Despite the clear separation between trichromats and dichromats, when analyzing the ratio of results between the tests across different subgroups (trichromats, protans, and deutans), we observed subtle differences in the sensitivity of each test for certain parameters. For example, the CAD test yielded higher values in the protan subgroup for the protan vector magnitude, and in the deutan subgroup for both the ellipse area and the deutan vector magnitude. This result is noteworthy, as it reveals greater sensitivity of the CAD compared to the CCT in

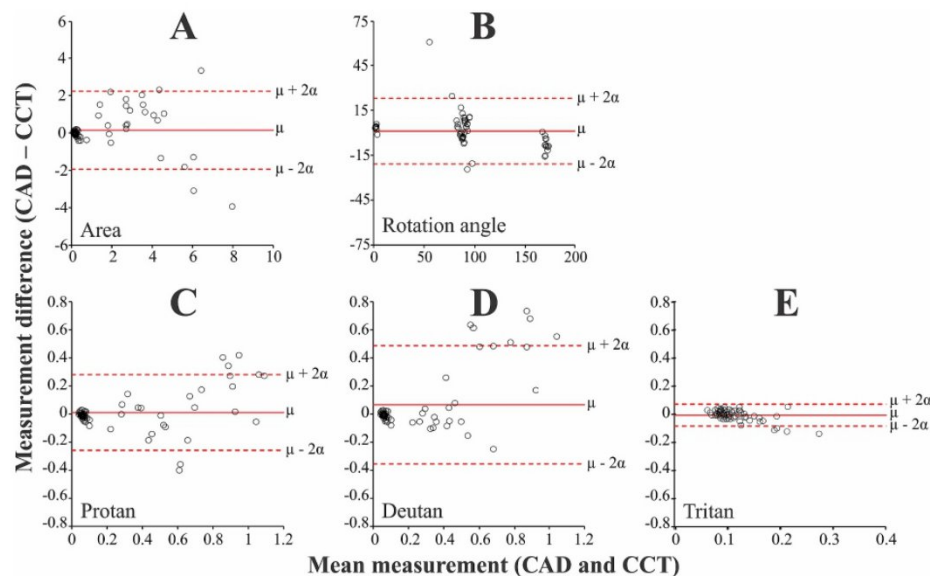


Fig. 4. Bland-Altman agreement analysis between CAD and CCT tests for ellipse area, rotation angle, protan, deutan, and tritan vector lengths. The panels show the dispersion of the differences versus the means of the measurements for ellipse area (A), rotation angle (B), and the lengths of the protan (C), deutan (D), and tritan (E) vectors obtained from the CAD and CCT tests. The deutan vector size parameter (D) did not show agreement between the two measurements, while all other parameters demonstrated good agreement. The solid red line represents the mean difference (μ), and the dashed red lines represent the limits of agreement ($\mu \pm 2\sigma$ standard deviations). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

evaluating and detecting color vision deficiencies along the protan and deutan axes. This finding is consistent with [Evans, Rodríguez-Carmona, and Barbur \(2020\)](#), who reported 100 % agreement between the CAD and the Nagel anomaloscope, which is considered the gold standard for determining and classifying protan and deutan deficiencies.

This divergence between the tests in the protan and deutan parameters may also be related to two key differences in the stimulus design of each test, namely the presence of dynamic noise and the motion of chromatic stimuli in the CAD. According to [Trukša, Juračević, Livžane, and Dzenis \(2017\)](#), dynamic components exert a measurable influence on the color perception mechanisms responsible for detecting stimuli along the protan and deutan confusion lines, resulting in elevated thresholds for these parameters. This difference may also be attributed to the arrangement of the vectors in the CIE 1976 color space used in the CCT protocol, which does not adequately align with the chromatic confusion lines. This misalignment may have impaired the test's ability to accurately detect deficits along these axes, particularly the deutan axis, where the vectors are positioned farther from the corresponding confusion lines.

Despite the subtle divergences observed between the tests, our concordance analysis demonstrated equivalence between the CAD and CCT results for most of the analyzed parameters, such as ellipse area, rotation angle, and the magnitudes of the protan and tritan vectors. The exception was the deutan vector magnitude, for which no agreement between the tests was observed. It is possible that the discrepancies in thresholds may have been mitigated by compensatory factors, such as the stimulus presentation time, which was longer in the CCT than in the CAD, possibly allowing participants to process the visual stimulus more effectively to perform the task, the stimulus size and consequently the retinal area stimulated, as well as the distinct staircase procedures adopted by each test. Together, our findings indicate that, despite the distinct methodological characteristics of each test, they ultimately

produce similar outcomes.

The comparison between the CAD and CCT tests is relevant not only to specialists familiar with these instruments but also to the broader vision science community. Although both are widely used diagnostic standards, their methodological differences raise questions about the consistency and interchangeability of their results in clinical and research contexts. Demonstrating strong overall agreement, alongside identifying specific divergences, helps clarify the appropriate applications of each protocol, guide test selection based on the type of color vision impairment, and contribute to the standardization of assessment procedures. These factors are essential for enabling more accurate diagnoses, improved monitoring of chromatic alterations, and greater comparability across studies, ultimately benefiting both clinical practice and scientific research.

5. Conclusion

Overall, the findings underscore the clinical and research relevance of both the CAD and CCT tests in the assessment of chromatic discrimination. Despite minor discrepancies observed in specific parameters, particularly within the protan and deutan subgroups, the general consistency between the tests supports their use as complementary diagnostic tools. The high sensitivity of both methods in distinguishing between normal and impaired color vision profiles reinforces their utility for early detection and monitoring of chromatic vision deficiencies. Understanding the methodological differences and unique strengths of each protocol can help guide the choice of the most appropriate test, depending on the context and the specific type of color vision impairment under evaluation.

CRediT authorship contribution statement

Joycianne Rodrigues Parente: Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Supervision, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation. **Eliza Maria da Costa Brito Lacerda:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Methodology, Investigation, Formal analysis. **Dora Fix Ventura:** Writing – review & editing. **Paulo Roney Kilpp Goulart:** Writing – review & editing. **Natalia B. Dutra:** Writing – review & editing. **Givago Silva Souza:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Supervision, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Leticia Miquilini:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Supervision, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization.

Funding

This work was supported by FINEP IBN-Net, FAPESPA and FAPESP Thematic Project 2022/00191-0. This research was supported by the following Grants: CNPq #431748/2016-0. JRP received CAPES fellowship for graduate student. GSS and DFV are CNPq Fellows. The CNPq Productivity Grants for DFV and GSS are 314630/2020-1 and 309936/2022-5, respectively.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data availability

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

References

- Barbur, J. L. (2004). 'Double-blindsight' revealed through the processing of color and luminance contrast defined motion signals. *Progress in Brain Research*, 144, 243–259. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(03\)14417-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(03)14417-2)
- Barbur, J. L., Rodriguez-Carmona, M., & Evans, B. E. W. (2021). Color vision assessment-3: An efficient, two-step, color assessment protocol. *Color Research & Application*, 46(1), 33–45. <https://doi.org/10.1002/col.22599>
- Birch, J. (2001). Congenital colour deficiency. In J. Birch (Ed.), *Diagnosis of defective colour vision* (2nd ed., pp. 20–29). Oxford: Butterworth Heinemann.
- Evans, B. E. W., Rodriguez-Carmona, M., & Barbur, J. L. (2020). Color vision assessment-1: Visual signals that affect the results of the Farnsworth D-15 test. *Color Research & Application*, 46(2), 193–205. <https://doi.org/10.1002/col.22596>
- Fanlo Zarazaga, A., Gutiérrez Vázquez, J., & Pueyo Royo, V. (2019). Review of the main color vision clinical assessment tests. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología (English Edition)*, 94(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.oftal.2018.08.006>
- Fanlo-Zarazaga, A., Echevarría, J. I., Pinilla, J., Alejandre, A., Pérez-Roche, T., Gutiérrez, D., Ortín, M., & Pueyo, V. (2024). Validation of a new digital and automated color perception test. *Diagnostics*, 14(4), 396. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14040396>
- Goulart, P. R. K., Bandeira, M. L., Tsubota, D., Oiwa, N. N., Costa, M. F., & Ventura, D. F. (2008). A computer-controlled colour vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, 25(3), 445–450. <https://doi.org/10.1017/S095252380800589>
- Hunt, R. W. G., & Pointer, M. R. (2011). Colour vision. In R. W. G. Hunt, & M. R. Pointer (Eds.), *Measuring Colour* (4th ed., pp. 1–492). West Sussex: John Wiley & Sons.
- Hovis, J. K., Milburn, N. J., & Nesthus, T. E. (2012). Hypoxia, color vision deficiencies, and blood oxygen saturation. *Journal of the Optical Society of America A*, 29(2), 268–274. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.29.00A268>
- Jennings, B. J., & Barbur, J. L. (2010). Colour detection thresholds as a function of chromatic adaptation and light level. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 30(5), 560–567. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2010.00773.x>
- Jolly, J. K., Pratt, L., More, A. K., Kwan, J., Jones, R. L., MacLaren, R. E., & Aslam, S. (2022). The effect of cataract on color vision measurement with the low-vision Cambridge Colour Test: Providing and adjustment factor for clinical trials. *Ophthalmology Science*, 2(2), Article 100153. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2022.100153>
- Kaiser, P. K., & Boynton, R. M. (1996). Subjective color phenomena. In P. K. Kaiser, & R. M. Boynton (Eds.), *Human color vision* (2nd ed., pp. 33–57). Washington: Optical Society of America.
- Konstantakopoulou, E., Rodriguez-Carmona, M., & Barbur, J. L. (2012). Processing of color signals in female carriers of color vision deficiency. *Journal of Vision*, 12(2), 1–11. <https://doi.org/10.1167/12.2.11>
- MacAdam, D. L. (1942). Visual sensitivities to color differences in daylight. *Journal of the Optical Society of America*, 32(5), 247–274. <https://doi.org/10.1364/JOSA.32.000247>
- Mancuso, K., Neitz, M., & Neitz, J. (2006). An adaptation of the Cambridge Colour Test for use with animals. *Visual Neuroscience*, 23(3–4), 695–701. <https://doi.org/10.1017/S0952523806233364>
- Mastey, R., Patterson, E. J., Curran, E., Rowland, J. S., Neitz, J., Neitz, M., & Carroll, J. (2019). Examining color discrimination of anomalous trichromats using the Colour Assessment and Diagnosis test and the Rayleigh anomaloscope. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 60(9), 1310.
- Mollon, J. D., & Reffin, J. P. (1989). A computer-controlled colour vision test that combines the principles of Chibret and of Stilling. *Journal of Physiology*, 414, 5P. Proceedings of the Physiological Society, 10–11.
- Moura, A. L., Teixeira, R. A., Oiwa, N. N., Costa, M. F., Feitosa-Santana, C., Callegaro, D., Hamer, R. D., & Ventura, D. F. (2008). Chromatic discrimination losses in multiple sclerosis patients with and without optic neuritis using the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, 25(3), 463–468. <https://doi.org/10.1017/S095252380800437>
- Pridmore, R. W. (2014). Orthogonal relations and color constancy in dichromatic color blindness. *PLoS One*, 9(9), Article e107035. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107035>
- Rodriguez-Carmona, M., O'Neill-Biba, M., & Barbur, J. L. (2012). Assessing the severity of color vision loss with implications for aviation and other occupational environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 83(1), 19–29. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3111.2012>
- Rodriguez-Carmona, M. L., Harlow, A. J., Walker, G., & Barbur, J. L. (2005). The variability of normal trichromatic vision and the establishment of the "normal" range. In *Proceedings of the 10th Congress of the International Colour Association* (Vol. 10, pp. 979–982). Granada, Espanha.
- Rodriguez-Carmona, M., Evans, B. E. W., & Barbur, J. L. (2020). Color vision assessment—2: Color assessment outcomes using single and multi-test protocols. *Color Research & Application*, 1–12. <https://doi.org/10.1002/col.22598>
- Regan, B. C., Reffin, J. P., & Mollon, J. D. (1994). Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. *Vision Research*, 34(10), 1279–1299. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)90203-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)90203-8)
- Silveira, L. C. L., Damin, E. T. B., Pinheiro, M. C. N., Rodrigues, A. R., Moura, A. L. A., Cortes, M. I. T., & Mello, G. A. (2003). Visual dysfunction following mercury exposure by breathing mercury vapour or by eating mercury-contaminated food. In J. D. Mollon, J. Pokorny, & K. Knoblauch (Eds.), *Normal and defective colour vision* (pp. 409–417). Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198525301.003.0044>
- Pedersen, H. R., Hagen, L. A., Landsend, E. C. S., & Gilson, S. J. (2018). Color vision in aniridia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 59(5), 2142–2152. <https://doi.org/10.1167/iov.17.23047>
- Souza, G. S., Malone, F. L., Crawford, T. L., Miquilini, L., Salomão, R. C., Guimarães, D. L., Ventura, D. F., Fitzgerald, M. E. C., & Silveira, L. C. L. (2014). Low number of luminance levels in the luminance noise increases color discrimination thresholds estimated with pseudoisochromatic stimuli. *Frontiers in Psychology*, 5, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01291>
- Tan, T. F., Wongsawad, W., Huraiah, H., Loy, M. J., Lwin, W. W., Mohd Rawi, N. A., Sidik, M., Grzybowski, A., Raman, R., Ruamviboonsuk, P., & Tan, A. C. S. (2023). Colour vision restrictions for driving: An evidence-based perspective on regulations in ASEAN countries compared to other countries. *Lancet Reg Health Southeast Asia*, 14, Article 100171. <https://doi.org/10.1016/j.lansea.2023.100171>
- Thyagarajan, S., Moradi, P., Membrey, L., Alistair, D., & Laidlaw, H. (2007). The effect of refractive blur on colour vision evaluated using the Cambridge Colour Test, the Ishihara pseudoisochromatic plates, and the Farnsworth Munsell 100 hue test. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 27, 315–319. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2007.00469.x>
- Trukša, R., Juračevska, K., Livžane, A., & Dzenis, J. (2017). Differences in chromatic sensitivity estimated using static and dynamic colour stimuli. In: *Proceedings of the latvian academy of sciences, section B: Natural, exact, and applied sciences*, 71(5), 380–386. <https://doi.org/10.1515/prolas-2017-0064>
- Trukša, R., Fomins, S., Jansone Langina, Z., & Tenisa, L. (2025). Dynamic-static color vision test—DSCVT. *Journal of the Optical Society of America A*, 42(3), 123–134. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.545294>
- Ventura, D. F., Costa, M. T. V., Costa, M. F., Berezovsky, A., Salomão, S., Simões, A. L., Lago, M., Canto Pereira, L. H. M., Faria, M. A. M., de Souza, J. M., & Silveira, L. C. L. (2004). Multifocal and full-field electroretinogram changes associated with color-vision loss in mercury vapor exposure. *Visual Neuroscience*, 21, 421–429. <https://doi.org/10.1017/S0952523804213372>
- Ventura, D. F., Simões, A. L., Tomaz, S., Costa, M. F., Lago, M., Costa, M. T. V., Canto Pereira, L. H. M., de Souza, J. M., Faria, M. M., & Silveira, L. C. L. (2005). Colour vision and contrast sensitivity losses of mercury intoxicated industry workers in Brazil. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19, 523–529. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2004.12.016>
- Ventura, D. F., Gualtieri, M., Oliveira, A. G. F., Costa, M. F., Quirós, P., Sadun, F., de Negri, A. M., Salomão, S. R., Berezovsky, A., Sherman, J., Sadun, A. A., & Carelli, V. (2007). Male prevalence of acquired color vision defects in asymptomatic carriers of Leber's hereditary optic neuropathy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48, 2362–2370. <https://doi.org/10.1167/iov.06-0331>

- Ventura, D. F., Costa, M. F., Gualtieri, M., Nishi, M., Bernicki, M., Bonci, D., & de Souza, J. M. (2003a). Early vision loss in diabetic patients assessed by the Cambridge Colour Test. In J. D. Mollon, J. Pokorny, & K. Knoblauch (Eds.), *Normal and defective colour vision* (pp. 391–399). Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198525301.003.0042>.
- Ventura, D. F., Silveira, L. C., Nishi, M., Costa, M. F., Gualtieri, M., Dos Santos, R. M. A., Pinto, C. T., Moura, A. L. A., Rodrigues, A. R., Sakurada, C., Sauma, M. F. L. C., & de Souza, J. M. (2003b). Color vision loss in patients treated with chloroquine. *Arquivos Brasileiro de Oftalmologia*, 66, 9–15. <https://doi.org/10.1590/S0004-27492003000600002>.
- Yang, Z., Yan, L., Zhang, W., Qi, J., An, W., & Yao, K. (2024). Dyschromatopsia: A comprehensive analysis of mechanisms and cutting-edge treatments for color vision deficiency. *Frontiers in Neuroscience*, 18, Article 1265630. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1265630>.
- Zagui, R. M. B., Henriques, L. D., & Costa, M. F. (2025). Psychophysical assessment of color vision with the Cambridge Color Vision Test in unilateral functional amblyopia. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 88(4). <https://doi.org/10.5935/0004-2749.2023-0263>.

APÊNDICE H – Artigo color vision and luminance discrimination throughout the life span

www.nature.com/scientificreports

scientific reports



OPEN Color vision and luminance discrimination throughout the life span

Thaise Cristina Barbosa Ferreira¹, Joycianne Rodrigues Parente², Luis Carlos Pereira Monteiro³, Bruna Rafaela Silva Sousa⁴, Rosa Maria Guimarães Brito⁵, Maria Izabel Côrtes Volpe⁵, Marcelo Fernandes Costa⁶, Dora Fix Ventura⁶, Givago Silva Souza^{3,4}, Paulo Roney Killp Goulart² & Leticia Miquilini²✉

Throughout the lifespan, humans exhibit varying abilities in perceiving color and luminance with sensitivity peaking at different stages. The interaction between luminance and color perception is likely influenced by the distinct developmental trajectories of the respective visual psychophysical channels. This study aimed to investigate how chromatic noise affects luminance discrimination thresholds in adolescents, young adults, and elderly individuals. Sixty participants with no visual complaints (20/20 or corrected binocular visual acuity, and no indication of color vision impairment in the Ishihara pseudoisochromatic plate test) were divided into three age groups: adolescents (15.7 ± 0.8 years), young adults (20–40 years), and elderly adults (60+ years). Participants underwent a luminance contrast discrimination task with chromatic noise masking using a mosaic stimulus, where four chromatic noise protocols were applied (protan, deutan, tritan, and a no-noise protocol). The results showed that luminance contrast thresholds were significantly elevated with the addition of chromatic noise in all groups compared to those without chromatic masking noise, but adults exhibited smaller differences in thresholds between the conditions with and without noise compared to participants in the adolescent and elderly groups ($p < 0.05$). The intergroup comparisons revealed that young adults had the lowest thresholds, followed by adolescents and elderly individuals ($p \leq 0.01$). Elderly participants exhibited higher luminance thresholds than young adults in all chromatic noise conditions, especially under the tritan protocol. These findings suggest that the maturation of luminance and color interaction is consolidated after adolescence, with sensitivity peaking of the mechanisms of color-luminance interaction in adulthood and declining in the elderly. The study provides insights into the developmental and aging processes of color-luminance interaction mechanisms, highlighting the continued maturation of color processing mechanisms in adolescence and their subsequent decline with age.

Keywords Luminance discrimination, Chromatic noise, Age-related vision changes, Color-luminance interaction, Visual sensitivity, Adolescence and aging

Perceptual interactions between color and luminance have been described under various experimental conditions^{1–5}. One method for studying these interactions is visual masking, which involves presenting spatial color noise over a luminance signal^{6,7}. Miquilini et al.⁴ developed a mosaic stimulus in which a target defined by a contrast in luminance was masked by chromatic noise, allowing the study of the threshold discrimination of the masked target. It was found that the luminance threshold contrasts were influenced by the saturation of the colors present in the color noise, with lower threshold contrasts observed in conditions of low color saturation or in the absence of color noise, indicating a suppressive effect of chromatic noise on luminance discrimination.

¹Faculdade de Psicologia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brazil. ²Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brazil. ³Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brazil. ⁴Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brazil. ⁵Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Amapá, Macapá, AP, Brazil. ⁶Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil. ✉email: leticia.miquilini@gmail.com

The results of Miquilini et al.⁴ reveal a mechanism of interactions between color and luminance that has been evaluated under conditions of absent or diminished color vision in samples with congenital color vision loss or deterioration of color vision due to the natural aging process^{8,9}.

Despite extensive literature describing that parallel visual processing pathways for luminance and color extend from the retina to the primary visual cortex without interaction between these information streams^{10–14}, there is a growing body of literature that details cortical mechanisms of interaction between color and luminance^{3,15–19}. There are cells in the primary visual cortex that respond only to color, others that respond only to luminance, and still others that respond to both color and luminance, which are thought to form the anatomophysiological substrate for the mechanisms of color and luminance interaction in the primary visual cortex¹⁶. Xing et al. (2015) identified the presence of interaction between brightness and color in the primary visual cortex through the recording of chromatic visual evoked potentials, this interaction arises in an inhibitory network generated by local brightness contrast at the boundary between the target and the background.

Moreover, recent evidence also indicates that the relationship between these mechanisms may not be restricted to the primary visual cortex but may involve higher-order cortical regions and be related to illumination processes and global scene analysis²⁰, just as individual variations in luminance sensitivity can predict differences in chromatic axes²¹.

Various studies indicate different trends of development, maturation, and aging of the achromatic and chromatic visual pathways (red-green and blue-yellow) throughout life (e.g.,^{22–25}). Studies using visual evoked potentials have assessed the development and maturation of the opponent pathways for luminance and color^{22,26,27}. The results showed that the main components of the achromatic response are already mature by as early as 3 months, while the components of the chromatic responses continue to change throughout the first year.

Similarly, psychophysical studies^{25,28,29} have demonstrated the presence of chromatic discrimination in the red-green pathways as early as two months of age. However, findings regarding the development of the blue-yellow opponent system remain controversial, with some studies reporting discrimination at two months and others suggesting it emerges at later stages of development.

Psychophysical studies suggest a similar maturation of chromatic pathways starting around the age of 10²⁴. Both electrophysiological and psychophysical studies have suggested that the performance of chromatic pathways in children only resembles that of adults after puberty, indicating a continuous development of color vision from childhood^{22,33}.

Despite the existing knowledge about the development of chromatic and achromatic visual pathways, little is known about the maturation of mechanisms related to the interaction between these two visual subsystems. Considering that protocols for assessing luminance discrimination masked by chromatic noise represent mechanisms of interaction between color and luminance, they can be used to evaluate how chromatic and achromatic pathways interact across different age groups throughout life. In the present study, we compared luminance contrast discrimination under and without chromatic masking in adolescents, young adults, and older adults.

Methods

Ethical aspects

This research was approved by the Ethics Committee of the Federal University of Pará (#6.546.671). All methods were performed in accordance with relevant guidelines and regulations. Consent from the legal guardians for the participation of minors in the study was obtained through the signing of an informed consent form, and the assent of the adolescents was obtained through their own signatures accompanied by consent of their legal guardians. Participants and their guardians were informed about the research objectives, the protocols to be applied, the potential benefits and risks involved, and the possibility of withdrawing from the study at any time according to their expressed wishes.

Participants

The present study recruited 20 adolescents aged 15–17 years old (mean age: 15.7 ± 0.8 years) and 20 young adult individuals aged 20–40 years old (mean age: 28.5 ± 9.8 years). Additionally, 20 older adults over 60 years (mean age: 60.2 ± 2.4 years) were included. All participants exhibited normal or corrected visual acuity of 20/20, assessed using the Freiburg Visual Acuity Test (FrACT), and had normal color vision based on the Ishihara pseudoisochromatic plate test³⁰. Participants also had no systemic diseases that could influence vision, congenital or acquired color blindness, or frequent exposure to solvents. Individuals were recruited through direct invitation or referrals from selected subjects.

Luminance contrast discrimination test

The experiment was conducted using a MacBook Pro LCD 1700 (1690 × 1050 pixel spatial resolution, frame rate of 75 Hz, and 10-bit color resolution). A program was written in MATLAB R2017b (Mathworks, Natick, MA, USA) to conduct the test. A CS-100A colorimeter (Konica Minolta, Osaka, Japan) was used to calibrate the monitor and for all color calculations in the test with all chromaticities calculated for a 2° observer angle and a D65 illuminant.

The test stimulus consisted of mosaics made up of 428 circles with diameters ranging from 0.12 to 0.49° of visual angle, viewed at a distance of 234 cm from the monitor. Sixteen different mosaic arrangements were created, with one of these arrangements randomly selected each time the stimulus was presented.

Four configurations of stimuli were presented similarly to previous studies by our group^{8,9}. In three of the four conditions, a luminance contrast in the shape of a Landolt C (external diameter 4.4°, internal diameter 2.2°, gap 1°) was shown in the mosaic, masked by chromatic noise. Three types of chromatic noise were used (protan,

deutan, tritan) (Fig. 1). Each type of chromatic noise consisted of 10 chromaticities with a vector magnitude of $0.04 \text{ u}'\text{v}'$ units, radially projected from a reference chromaticity (CIE 1976: $u' = 0.1947$; $v' = 0.4639$). To ensure a more uniform distribution of chromaticities along each confusion line, five chromaticities were spaced by 2 degrees in hue angle on either side of each color confusion line, resulting in five chromatic axes per protocol (see Fig. 2 for chromaticity distribution in the $u'v'$ color space). These axes were centered on the protan confusion line (protan protocol), the deutan confusion line (deutan protocol), and the tritan confusion line (tritan protocol). An additional condition without chromatic noise (non-noise protocol) was included, using only the reference chromaticity across the mosaic. These confusion lines represent directions in color space along which individuals with color vision deficiencies have difficulty discriminating chromatic differences. They correspond to the main axes of color confusion for protan (associated with L-cones), deutan (M-cones), and tritan (S-cones). These noise types were chosen because they align with the red-green and blue-yellow opponent channels, which are fundamental to human color perception.

The initial luminance of the target was set at 4 cd/m^2 , while the background had a fixed luminance of 40 cd/m^2 . A four-alternative forced-choice method (up, down, right, left) was applied to feed a two down/one up adaptive staircase procedure, as seen in Sousa et al.⁹ and Brito et al.⁸, corresponding to approximately 71% correct responses. Briefly, an error would lead to a decrease in the target's luminance, increasing the contrast relative to the background, while two correct responses would result in an increase in the target's luminance, decreasing the contrast between target and background. A total of 10 reversals were considered for the completion of the test in each protocol, with the last six reversals used to calculate the threshold contrast.

More details on the methodology can be found in previous studies by our group that utilized similar approaches^{8,9}.

Data analysis

To evaluate the effects of age group and protocol (protan, deutan, tritan, and achromatic) on estimated contrast thresholds, we applied Linear Mixed-Effects Models (LMMs). The main model included age group, protocol, and their interaction as fixed effects, with subject ID as a random effect to account for repeated measures. *p*-values were calculated using Type-III Wald chi-square tests. Post-hoc pairwise comparisons were performed using estimated marginal means, and Tukey's method was applied to correct for multiple comparisons. Model assumptions were evaluated through visual inspection of residuals using diagnostic plots along with the Shapiro-Wilk normality test and a Bartlett test of homogeneity of variance. Separate models were also fitted for threshold differences, following the same structure of fixed and random effects.

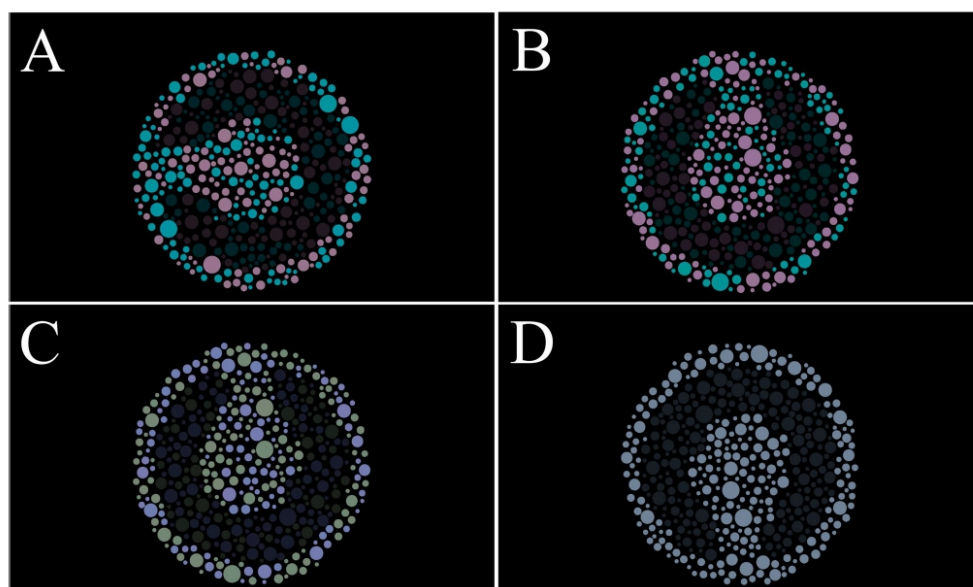


Fig. 1. Stimuli utilized in each experimental protocol: (A) protan, (B) deutan, (C) tritan, and (D) no-noise protocol. The luminance contrast of the stimuli was represented by a C-shaped target, with chromatic noise applied in protocols (A), (B), and (C) to mask the luminance contrast. In protocol (D), chromatic noise was absent.

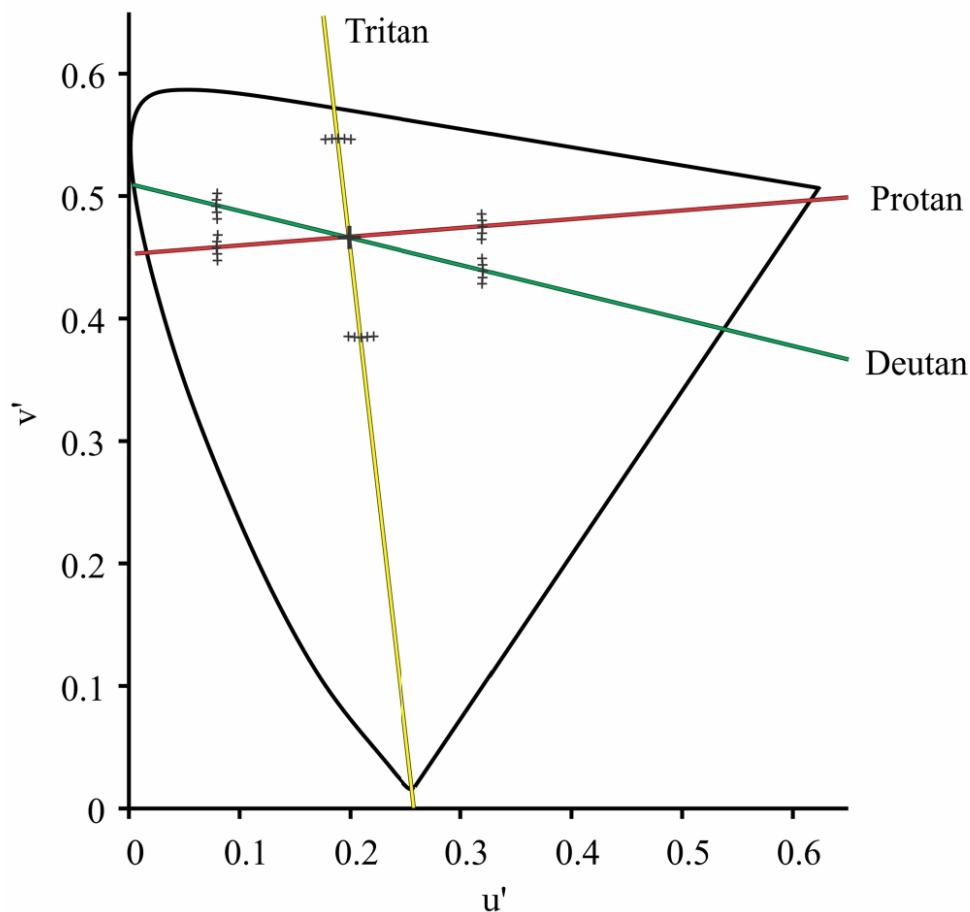


Fig. 2. Chromaticities used to compose the color noise for protan (red line), deutan (green line), and tritan (yellow line) in the CIE 1976 chromaticity diagram. The black crosses represent chromaticities spaced by 2 degrees in hue angle on either side of each color confusion line.

All statistical analyses and visualizations were performed using R software version 4.4.2, along with the following packages: *lme4* for model building, *lmerTest* for p -value computation, *car* for Type-III Wald chi-square tests, *performance* for residual diagnostics, *emmeans* for post-hoc comparisons, and *ggplot2* for data visualization. The significance level was set at $\alpha = 0.05$.

For the statistical analysis, consistent with the approved work plan, the luminance discrimination thresholds in relation to the saturation of the color noise were analyzed using a one-way ANOVA with Tukey's post hoc test to compare the estimated thresholds in the protan, deutan, tritan, and achromatic protocols of the luminance contrast discrimination test with color masking. A significance level of 0.05 was considered.

Results

The Fig. 3 displays box plots of the estimated luminance contrast thresholds across different stimulus conditions for each age group.

Table 1 shows the results of the comparison of discrimination thresholds considering the factors of stimulation protocols and age group. The results indicated a significant interaction between the age group and stimulation protocol factors.

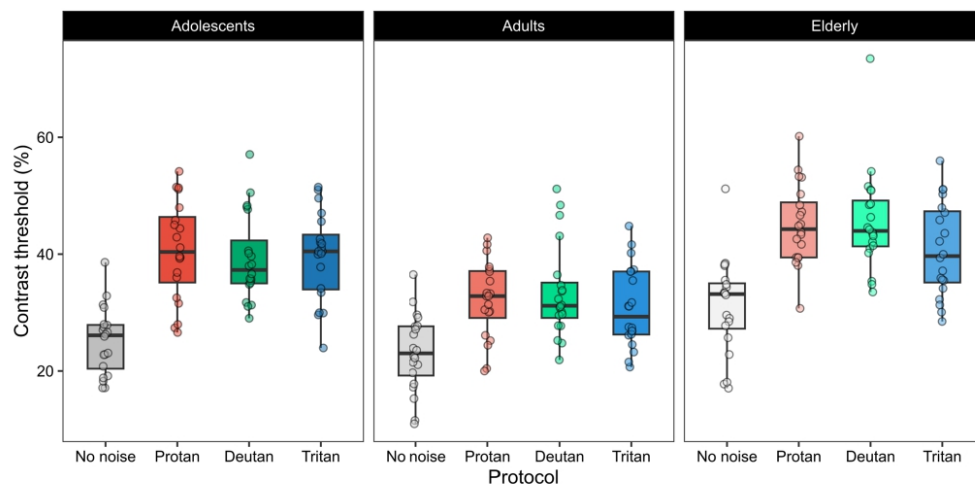


Fig. 3. Comparison of luminance contrast thresholds across different stimulus conditions for each age group. Box plots illustrate the distribution of luminance contrast thresholds. Each color corresponds to the protocol under which the thresholds were measured: gray for the no-noise protocol, red for the protan protocol, green for the deutan protocol, and blue for the tritan protocol. *Luminance contrast thresholds are significantly lower than those estimated for all three protocols with chromatic noise ($p < 0.05$). **Luminance contrast thresholds in the tritan protocol are significantly lower than those measured in the protan and deutan protocols ($p < 0.05$).

	χ^2	Df	p
Intercept	516.008	1	<0.001
Age group	27.722	2	<0.001
Protocol	175.734	3	<0.001
Age group: Protocol	23.505	6	<0.001

Table 1. Results of the Linear Mixed-Effects Model (LMM) for comparing luminance threshold across age groups and protocols. p -values were estimated using Type-III Wald chi-square tests.

Post-hoc comparisons showed that for all three age groups significantly lower thresholds were observed in the absence of noise compared to the other stimulus conditions. In the elderly group, not only were significantly lower thresholds noted in the absence of noise compared to the other stimulus conditions, but also a difference was found between thresholds estimated using the tritan protocol and those estimated using the protan and deutan protocols, with thresholds from the tritan protocol being lower than those from the other conditions with chromatic noise.

When considering the fixed factor of the type of stimulation protocol and comparing thresholds across age groups, it was observed that elderly participants exhibited higher threshold contrasts than both young adults and adolescents across all stimulation conditions ($p < 0.05$). In all stimulation conditions with the presence of chromatic noise, the adolescent group also demonstrated higher threshold contrasts compared to the adult group ($p < 0.001$); however, this was not observed in the no-noise condition, where adolescents and adults presented threshold contrasts without significant difference ($p = 0.738$). Figure 4 shows the comparison of luminance thresholds among the different age groups within each stimulation condition.

When assessing the difference between the thresholds estimated in conditions with and without chromatic noise, it was observed that there was a significant effect for the factors age and stimulation protocol, but no significance for the interaction of these factors, as seen in Table 2. Adults exhibited smaller differences in thresholds between the conditions with and without noise compared to participants in the adolescent and elderly groups ($p < 0.05$). Additionally, a significant difference was noted between the threshold differences when considering the protan and tritan protocols ($p = 0.007$).

Discussion

This study presented results on the interaction between color and luminance across different age groups (adolescents, adults, and elderly individuals), showing that the mechanisms of color-luminance interaction

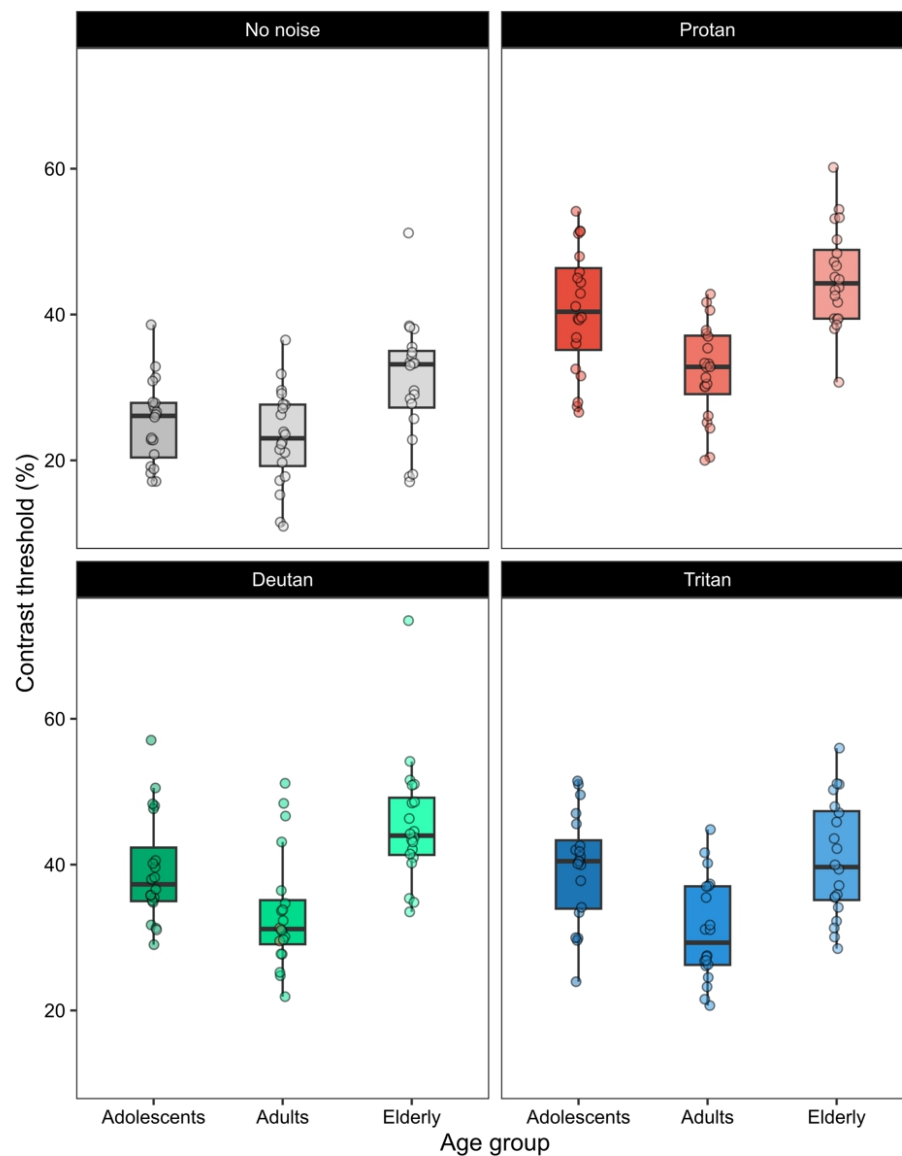


Fig. 4. Intergroup comparison of luminance contrast thresholds across different age groups within each protocol. *Luminance contrast thresholds in older participants were significantly higher than those in adolescent and adult participants ($p < 0.05$).

differ across these age ranges. The findings indicate that the presence of chromatic noise significantly elevated the luminance discrimination thresholds in all age groups, with the largest increase observed in the adolescent and elderly groups. This pattern of results reflects the complexity of the development and aging of the visual systems responsible for processing luminance and color information, which is consistent with previous studies conducted by our research group.

	χ^2	Df	p
Intercept	180.375	1	<0.001
Age group	18.541	2	<0.001
Protocol	10.205	2	0.006
Age group: Protocol	7.7776	4	0.1

Table 2. Results of the Linear Mixed-Effects Model (LMM) for comparing luminance threshold differences between conditions with and without chromatic noise across age groups and protocols. *p*-values were estimated using Type-III Wald chi-square tests.

Our group has previously investigated the influence of chromatic masking on luminance threshold discrimination using mosaic stimuli^{4,8,9}. The findings indicate that discrimination thresholds are strongly modulated by the saturation of colors in the noise⁴, (Sousa et al., 2020), and are significantly elevated under mosaic conditions compared to non-mosaic conditions⁴. This effect may reflect the perceptual strategy employed by observers, as mosaic patterns likely require a scanning process to identify the C-gap orientation. This process could lead to loss of information within the target stimulus, as proposed by Watanabe et al.³¹. Additionally, the elevated thresholds may also be influenced by the task demands, which involve integrating visual information across spatially distributed elements. This integration likely engages visual grouping mechanisms, and the interaction of these processes with chromatic noise may impose additional perceptual demands, further contributing to the increased thresholds observed.

In previous investigations, we explored how age might affect color-luminance interaction mechanisms, finding that especially under blue-yellow chromatic noise conditions, aging can interfere with chromatic suppression on luminance discrimination. The current study extended the investigation of color-luminance interaction to adolescents. In addition to confirming results previously observed in Brito et al.⁸ for adult and elderly data, we showed here that adolescents differ significantly from adults in quantitative parameters indicating the interaction between color and luminance.

The similarity in luminance threshold discrimination between adolescents and adults in the absence of chromatic noise suggests that the achromatic mechanism is fully developed, as indicated by earlier studies^{22,26,27,32}. However, it was observed that when exposed to chromatic masking, adolescents exhibited greater chromatic suppression on luminance threshold discrimination than adults, as evidenced by higher threshold contrasts in as evidenced by higher threshold contrasts in the color noise stimulation conditions. This indicates that the mechanisms of color or the interaction between color and luminance in adolescents' brains have not yet reached full development, as suggested by some studies^{22–24,33}.

These findings are also corroborated by studies like those by Fiorentini et al.³⁴, who demonstrated that aging leads to a general decline in contrast sensitivity for both luminance and chromatic signals. In our study, we observed a significant increase in luminance discrimination thresholds in the presence of chromatic noise, especially in elderly individuals, which may be explained by the deterioration of the visual pathways responsible for processing these signals over time. This suggests that the impact of aging on visual perception mechanisms, both for luminance and color, may be interconnected, and the interaction between these mechanisms may be similarly affected with age.

The study by Richardson et al.²¹, on the other hand, highlighted that individual differences in spectral sensitivity can influence both luminance and chromatic processing. Their findings suggest that these variations may impact the interaction between chromatic axes and luminance, which aligns with our observation that sensitivity to chromatic noise may be mediated by individual differences, especially between adolescents and adults. This interdependence between luminance and color is an important characteristic for understanding how different age groups process chromatic and achromatic stimuli.

Furthermore, Conway²⁰'s research on the role of S-cones in the visual pathways, particularly in the dorsal and ventral cortical areas, offers a crucial perspective for understanding our findings. Conway argues that the activation of S-cones, involved in chromatic contrast perception, is essential for analyzing illumination variations, such as shadows. Aging and the incomplete development of the visual system during adolescence may affect the ability to perceive these illumination variations, which would explain the differences in luminance discrimination thresholds observed between adolescents and adults.

These results indicate that while the achromatic mechanisms are already consolidated in adolescence, the chromatic systems and the interaction between color and luminance continue to develop throughout adolescence and into adulthood, as suggested by Knoblauch et al.²³ and Paramei & Oakley³³. The gradual deterioration of chromatic sensitivity observed in aging may impact luminance discrimination, particularly under chromatic masking conditions, as observed in our study.

There is an agreement in the literature that throughout adolescence, the brain undergoes significant changes in its volume, gray and white matter, plasticity, and neurotransmitter systems^{35–37}. More specifically regarding the visual pathways, studies show that the ventral temporal cortex, which processes information related to faces, size, and color, may undergo important changes during adolescence, such as reduced volume compared to the same region in adults³⁸. Although we do not have direct anatomical or physiological data from the brains of the adolescents tested, the structural and biochemical differences in the adolescent brain may potentially indicate changes in the mechanisms of color and luminance interaction that we have been studying.

A limitation of the present study is the restricted age range of adolescent participants, which was 15–17 years. Future studies should include a broader age range within childhood and adolescence to determine

whether this finding represents a continuum of developmental changes. In addition, the differences observed in luminance discrimination thresholds may be attributed to general differences in noise sensitivity rather than specific interactions between color and luminance. Further investigations are needed to explore this possibility, particularly by considering different types of masking.

The mechanisms of color and luminance interaction studied through color masking on the luminance threshold perception show potential for evaluating adolescent neurodevelopment, paving the way for the development of new evaluative methods for assessing the integrity of pathways across different age groups.

Conclusion

The present study, by comparing luminance contrast sensitivity with and without color masking, allowed for a better understanding of how interactions between chromatic and achromatic pathways occur throughout different life stages, extending the investigation to the adolescent age range.

The findings reinforce the hypothesis that the mechanisms of interaction between color and luminance undergo changes throughout life, highlighting the occurrence of a decrease in the suppressive effect of color on the luminance contrast threshold discrimination between adolescence and adulthood. This result suggests that while the achromatic mechanisms (related to luminance perception) are fully developed in adolescence, chromatic mechanisms are still maturing during this phase and may later show a decline due to aging. These findings are important for understanding how visual development and aging impact visual perception and pave the way for future research on visual neurodevelopment and age-related sensory processes.

Data availability

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Received: 17 January 2025; Accepted: 8 September 2025

Published online: 13 October 2025

References

- Cooper, B., Sun, H. & Lee, B. B. Psychophysical and physiological responses to gratings with luminance and chromatic components of different spatial frequencies. *J. Opt. Soc. Am. A* **29**(2), A314–A323. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.29.00A314> (2012).
- Cormenzana Méndez, I. et al. Color discrimination is affected by modulation of luminance noise in pseudochromatic stimuli. *Front. Psychol.* **7**, 1006. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01006> (2016).
- Li, X. et al. Mixing of chromatic and luminance retinal signals in primate area V1. *Cereb. Cortex* **25**(7), 1920–1937. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu002> (2015).
- Miquilini, L. et al. Influence of spatial and chromatic noise on luminance discrimination. *Sci. Rep.* **7**, 16944. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17334-5> (2017).
- Souza, G. S. et al. Low number of luminance levels in the luminance noise increases color discrimination thresholds estimated with pseudochromatic stimuli. *Front. Psychol.* **5**, 1291. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01291> (2014).
- Kim, Y. J. & Mullen, K. Suprathreshold interactions between color and luminance contrast: The effect of cross-oriented luminance contrast on perceived color contrast under dichoptic, monocular, and binocular viewing conditions. *J. Vis.* **16**(12), 1146. <https://doi.org/10.1167/16.12.1146> (2016).
- Switkes, E., Bradley, A. & De Valois, K. K. Contrast dependence and mechanisms of masking interactions among chromatic and luminance gratings. *J. Opt. Soc. Am. A* **5**(7), 1149–1162. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.5.001149> (1988).
- Brito, R. M. G. et al. Differences in chromatic noise suppression of luminance contrast discrimination in young and elderly people. *Vis. Neurosci.* **39**, E006. <https://doi.org/10.1017/S0952523822000050> (2022).
- Sousa, B. R. S. et al. Specificity of the chromatic noise influence on the luminance contrast discrimination to the color vision phenotype. *Sci. Rep.* **10**, 17897. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74875-3> (2020).
- Dacey, D. & Lee, B. The “blue-on” opponent pathway in primate retina originates from a distinct bistratified ganglion cell type. *Nature* **367**, 731–735. <https://doi.org/10.1038/367731a0> (1994).
- Kaplan, E. & Shapley, R. M. The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **83**(8), 2755–2757. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.8.2755> (1986).
- Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Amplitude and phase of responses of macaque retinal ganglion cells to flickering stimuli. *J. Physiol.* **414**(1), 95–106. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1989.sp017686> (1989).
- Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Nonlinear summation of M- and L-cone inputs to phasic retinal ganglion cells of the macaque. *J. Neurosci.* **9**(4), 1433–1442. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.09-04-01433.1989> (1989).
- Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Sensitivity of macaque retinal ganglion cells to chromatic and luminance flicker. *J. Physiol.* **414**(1), 223–243. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1989.sp017685> (1989).
- Burns, S. P., Xing, D. & Shapley, R. M. Comparisons of the dynamics of local field potential and multiunit activity signals in macaque visual cortex. *J. Neurosci.* **30**(41), 13739–13749. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0743-10.2010> (2010).
- Johnson, E. N., Hawken, M. J. & Shapley, R. The spatial transformation of color in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Nat. Neurosci.* **4**(4), 409–416. <https://doi.org/10.1038/86061> (2001).
- Martins, I. C. V. S. et al. Spatial frequency selectivity of the human visual cortex estimated with pseudo-random visual evoked cortical potential (VECP). *Vision. Res.* **165**, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.09.004> (2019).
- Risuenho, B. B. O., Miquilini, L., Lacerda, E. M. C. B., Silveira, L. C. L. & Souza, G. S. Cortical responses elicited by luminance and compound stimuli modulated by pseudo-random sequences: Comparison between normal trichromats and congenital red-green color blinds. *Front. Psychol.* **6**, 53. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00053> (2015).
- Shapley, R., Nunez, V. & Gordon, J. Low luminance contrast's effect on the color appearance of S-cone patterns. *Vision. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.visres.2024.108448> (2024).
- Conway, B. R. Color signals through dorsal and ventral visual pathways. *Vis. Neurosci.* **31**(2), 197–209. <https://doi.org/10.1017/S0952523813000382> (2013).
- Richardson, A. J., Lee, K. R., Crognale, M. A. & Webster, M. A. Using equiluminance settings to estimate the cardinal chromatic directions for individuals. *J. Opt. Soc. Am. A* **40**(3), A169–A177. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.480055> (2023).
- Crognale, M. A. Development, maturation, and aging of chromatic visual pathways: VEP results. *J. Vis.* **2**(6), 438–450. <https://doi.org/10.1167/2.6.2> (2002).
- Knoblauch, K., Vital-Durand, F. & Barbur, J. L. Variation of chromatic sensitivity across the life span. *Vision. Res.* **41**(1), 23–36. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(00\)00205-4](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(00)00205-4) (2001).

24. Ling, B. Y. & Dain, S. J. Development of color vision discrimination during childhood: Differences between blue-yellow, red-green, and achromatic thresholds. *J. Opt. Soc. Am. A* **35**(4), B35–B42. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.35.000B35> (2018).
25. Ventura, D. F. Visão de cores no primeiro ano de vida. *Psicol. USP* **18**(2), 83–97. <https://doi.org/10.1590/S0103-65642007000200006> (2007).
26. Hammarrenger, B., Lepore, F., Lippé, S. & Labrosse, M. Magnocellular and parvocellular developmental course in infants during the first year of life. *Doc. Ophthalmol.* **107**(3), 225–233. <https://doi.org/10.1023/B:DOOP.0000005331.66114.05> (2003).
27. Ossenblok, P., Reits, D. & Spekreijse, H. Analysis of striate activity underlying the pattern onset EP of children. *Vision. Res.* **32**(11), 2037–2045. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90044-J](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90044-J) (1992).
28. Hamer, R. D., Alexander, K. R. & Teller, D. Y. Rayleigh discriminations in young human infants. *Vision. Res.* **22**(5), 575–587 (1982).
29. Peeples, D. R. & Teller, D. Y. Color-vision and brightness-discrimination in 2-month-old human infants. *Science* **189**(4208), 1102–1103 (1975).
30. Ishihara, S. *Series of plates designed as tests for colour-blindness* (Handaya Hongo Harukich, 1997).
31. Watanabe, A., Pokorny, J. & Smith, V. C. Red-green chromatic discrimination with variegated and homogeneous stimuli. *Vision. Res.* **38**(8), 1033–1040. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00455-0](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00455-0) (1998).
32. Hammarrenger, B. et al. Developmental delay and magnocellular visual pathway function in very-low-birthweight preterm infants. *Dev. Med. Child Neurol.* **49**(1), 28–33. <https://doi.org/10.1017/S0012162207000084.x> (2007).
33. Paramet, G. V. & Oakley, B. Variation of color discrimination across the life span. *J. Opt. Soc. Am. A* **31**(4), A375–A384. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.31.00A375> (2014).
34. Fiorentini, A., Burr, D. & Morrone, M. C. Contrast sensitivity in aging: The effect of luminance and chromatic noise. *J. Vis.* **9**(3), 445–455 (1996).
35. Blakemore, S.-J. Imaging brain development: The adolescent brain. *Neuroimage* **61**(2), 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.080> (2012).
36. Gogtay, N. et al. Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **101**(21), 8174–8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101> (2004).
37. Pinto, J. G. A., Hornby, K. R., Jones, D. G. & Murphy, K. M. Developmental changes in GABAergic mechanisms in human visual cortex across the lifespan. *Front. Cell. Neurosci.* **4**, 16. <https://doi.org/10.3389/fncel.2010.00016> (2010).
38. Golarai, G., Liberman, A., Yoon, J. M. D. & Grill-Spector, K. Differential development of the ventral visual cortex extends through adolescence. *Front. Human Neurosci.* **3**, 80. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.080.2009> (2010).

Funding

This research was supported by the following grants: FINEP, IBN-Net #1723, and FAPESP Thematic Project 2022/00191-0. The article processing charge (APC) was financed by the Federal University of Pará (PROPESP/UFPA/PAPQ/PROAP/2025). TCBF received an FAPESPA undergraduate scholarship. J.R.P. received a CAPES master's fellowship. LCPM received a CAPES doctoral fellowship. DFV, MFC and GSS are CNPq Fellows. The CNPq Productivity Grants for DFV, MFC, and GSS are 314630/2020-1, 302552/2017-0, and 309936/2022-5, respectively.

Author contributions

T.C.B.F., J.R.P., L.C.P.M., G.S.S., L.M. contributed to the conception of the work. T.C.B.F., J.R.P., L.C.P.M., B.R.S.S., R.M.G.B., M.I.C.V., G.S.S., L.M. was involved in the investigation, methodology, formal analysis and writing – T.C.B.F., J.R.P., L.C.P.M., B.R.S.S., R.M.G.B., M.I.C.V., M.F.C., D.F.V., G.S.S., P.R.K.G., L.M. participated in review & editing. T.C.B.F., J.R.P., L.C.P.M., G.S.S., L.M. carried out the investigation, designed the experiments, data curation, formal analysis – T.C.B.F., J.R.P., B.R.S.S., G.S.S., L.M. original draft, visualization, supervision,. All authors reviewed and approved the manuscript.

Declarations

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Additional information

Correspondence and requests for materials should be addressed to L.M.

Reprints and permissions information is available at www.nature.com/reprints.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, which permits any non-commercial use, sharing, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if you modified the licensed material. You do not have permission under this licence to share adapted material derived from this article or parts of it. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

© The Author(s) 2025