

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E BIOLOGIA
CELULAR
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO NEUROCIÊNCIAS

LETÍCIA MIQUILINI DE ARRUDA FARIAS

Correlação entre parâmetros estimados pelos testes *Colour Assessment and Diagnosis* e *Cambridge Colour Test* na avaliação da discriminação de cores

BELÉM

2015

LETÍCIA MIQUILINI DE ARRUDA FARIAS

Correlação entre parâmetros estimados pelos testes *Colour Assessment and Diagnosis* e *Cambridge Colour Test* na avaliação da discriminação de cores

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia Celular da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do grau de mestre em Neurociências e Biologia Celular.

Área de concentração: Neurociências.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza.

BELÉM

2015

LETÍCIA MIQUILINI DE ARRUDA FARIAS

Correlação entre parâmetros estimados pelos testes *Colour Assessment and Diagnosis* e *Cambridge Colour Test* na avaliação da discriminação de cores

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia Celular (Área de Concentração: Neurociências) da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do grau de mestre em Neurociências e Biologia Celular.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza
Instituto de Ciências Biológicas, UFPA

Avaliadores:

Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira,
Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart
Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento, Universidade Federal do Pará

Profa. Dra. Eliza Maria da Costa Brito Lacerda
Faculdade de Castanhal, Universidade Federal do Pará

BELÉM

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Farias, Letícia Miquilini de Arruda, 1990-
Correlação entre parâmetros estimados pelos testes
Colour Assessment and Diagnosis e Cambridge Colour Test
na avaliação da discriminação de cores / Letícia
Miquilini de Arruda Farias. - 2015.

Orientador: Givago da Silva Souza.
Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Ciências
Biológicas, Programa de Pós-Graduação em
Neurociências e Biologia Celular, Belém, 2015.

1. Cor Percepção. 2. Visão Testes. 3.
Percepção visual. I. Título.

CDD 22. ed. 152.145



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA O MESTRADO

Programa: Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular

Área de concentração: Neurociências.

Candidata: LETÍCIA MIQUILINI DE ARRUDA FARIAS.

Tema: “Correlação entre parâmetros estimados pelos testes *Colour Assessment and Diagnosis* e *Cambridge Colour Test* na avaliação da discriminação de cores”.

Data: 31 de março de 2015, às 9h.

Local: Sala 01 do Núcleo de Medicina Tropical do ICB/UFGA.

Após a candidata apresentar os resultados do seu estudo e responder às perguntas dos examinadores, a comissão examinadora reuniu-se e resolveu pela sua:

APROVAÇÃO

REPROVAÇÃO

Nada mais havendo a tratar, o Presidente da Banca Examinadora deu por encerrados os trabalhos e esta ata foi assinada por todos os membros da comissão examinadora.

Prof. Givago da Silva Souza

(Presidente da banca examinadora e orientador, sem direito a voto)

Ausente

Profa. Dra. Dora Selma Fix Ventura, UFPA

(Membro Titular)

Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira, UFPA.

(Membro Titular)

Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart, UFPA.

(Membro Titular)

Profa. Dra. Eliza Maria da Costa Brito Lacerda, UFPA.

(Membro Suplente)

AGRADECIMENTOS

A Deus, força natural ou divina que me auxiliou nessa jornada.

A minha família pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Givago da Silva Souza pela orientação, paciência, compreensão, conhecimento e amizade.

A equipe do Laboratório de Neurologia Tropical pela amizade e apoio.

Aos amigos e voluntários que aceitaram participar desse projeto.

A CAPES, CNPQ, a UFPA e a FAPESPA pelo apoio financeiro.

Obrigada a todos que ajudam de forma direta e indireta na realização deste trabalho. Sou eternamente grata.

**“A espantosa realidade das cousas
É a minha descoberta de todos os dias.**

**Cada cousa é o que é,
E é difícil explicar a alguém quanto isso me alegra,
E quanto isso me basta.**

Basta existir para se ser completo.

[...]

**Eu não sei o que é que os outros pensarão lendo isto;
Mas acho que isto deve estar bem porque o penso sem estorvo,
Nem idéia de outras pessoas a ouvir-me pensar;
Porque o penso sem pensamentos
Porque o digo como as minhas palavras o dizem.”**

Alberto Caiero “Poemas Inconjuntos”

RESUMO

Os testes *Colour Assessment and Diagnosis* (CAD) e *Cambridge Colour Test* (CCT) têm sido amplamente utilizados em pesquisas básicas e clínicas, devido à alta sensibilidade e especificidade de seus resultados. Estes testes utilizam diferentes paradigmas de estimulação para estimar os limiares de discriminação de cor. Pouco se sabe sobre a relação de cada paradigma na avaliação da discriminação de cor nesses testes. Sendo assim, este trabalho objetiva comparar os parâmetros de avaliação da discriminação de cor estimados pelos testes CAD e CCT em sujeitos tricromatas e com discromatopsia congênita. Foram avaliados 59 sujeitos tricromatas e 38 sujeitos discromatópsicos (16 protans, 22 deutans) com idade média de $26,32 \pm 8,9$ anos. Foram testados 66 sujeitos nos testes CAD e CCT, 29 sujeitos no teste CAD e 2 sujeitos no teste CCT. O fenótipo da visão de cores de todos os sujeitos foi determinado através de uma bateria de testes psicofísicos e a estimativa dos limiares de discriminação de cor foi avaliada pelos testes CAD e CCT. Os dados de limiares de discriminação de cor foram ajustados a funções de elipse. Os critérios analisados para cada sujeito foram: a área da elipse, o ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan, deutan e tritan. Para cada um dos parâmetros foi realizada: estatística descritiva, análise da dispersão dos parâmetros entre os testes CAD e CCT e dos parâmetros em conjunto, razão entre os parâmetros, correlação dos parâmetros a três modelos matemáticos e análise de concordância. Os parâmetros de área e tamanho dos vetores deutan e tritan do subgrupo tricromata; área e tamanho do vetor tritan do subgrupo protan; e tamanho dos vetores protan e tritan do subgrupo deutan apresentaram equivalência entre os resultados de ambos os testes. Os parâmetros de área, ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan e tritan apresentaram concordância de medidas entre os testes CAD e CCT. Fatores como as localizações distintas das coordenadas centrais dos testes CAD e CCT e a disposição espacial dos vetores no espaço de cor da CIE 1976 no teste CCT podem ter influenciado na determinação de limiares de discriminação cromática de ambos os testes. Apesar de utilizarem paradigmas distintos na configuração da estimulação, os testes CAD e CCT são equiparáveis.

Palavras-chave: CAD, CCT, *Colour Assessment and Diagnosis*, *Cambridge Colour Test*, visão de cores, limiar de discriminação cromática, discromatopsia.

ABSTRACT

The Colour Assessment and Diagnosis (CAD) and Cambridge Colour Test (CCT) tests are widely used in basic and clinic researches, because of high sensibility and specificity of your results. These tests use distinct paradigms of stimulation to estimate the color discrimination thresholds. It is not well known about the relationship of results of each paradigm in the evaluation of color discrimination in these tests. So, the present study aimed to compare the parameters of evaluation of color discrimination estimated from CAD and CCT tests. Fifty-nine trichromat subjects and thirty eight subjects with congenital dyschromatopsia (16 protans, 22 deutans) with mean age of $26,32 \pm 8,9$ years-old were evaluated. 66 subjects were tested in CAD and CCT tests, 29 subjects in the CAD test and 2 subjects in the CCT test. The color vision phenotype of all subjects was determined through a battery of psychophysical tests and the estimative of color discrimination thresholds was evaluated by CAD and CCT tests. The data of color discrimination thresholds was fitted ellipses. The criteria analyzed to each subject were: area of the ellipses, angle of rotation of the ellipses and size of protan, deutan and tritan vectors. For each one of parameters was realized: descriptive statistic, analysis of dispersion of parameters between CAD e CCT tests and the combination of these parameters in each test, ratio between the parameters, correlation of parameters to three mathematical models and analysis of agreement. The parameters of area and size of deutan and tritan vectors of trichromat subgroup, area and size of tritan vector of protan subgroup, and size of protan and tritan vectors of deutan subgroup exhibited equivalence between the results of both tests. The parameters of area, angle of rotation and size of protan and tritan vectors showed agreement of measures between your results. Factors as the distincts localizations of neutral points of CAD and CCT tests and the spatial arrangement of the vectors in the CIE 1976 color space in the CCT test may have influenced the determination of chromatic discrimination thresholds of both tests. Despite using distinct paradigms in configuration of stimulation, the tests CAD and CCT are comparable.

Keywords: CAD, CCT, Colour Assessment and Diagnosis, Cambridge Colour Test, color vision, threshold of chromatic discrimination, dyschromatopsia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo esquemático do experimento de Maxwell.	22
Figura 2	Modelo esquemático do experimento de Helmholtz.	23
Figura 3	Exemplo de estimulação exibida pelo teste <i>Cambridge Colour Test</i> .	34
Figura 4	Exemplo de estímulo apresentado pelo teste <i>Colour Assessment and Diagnosis</i> .	36
Figura 5	Escala optométrica de Snellen.	43
Figura 6.	Pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara.	44
Figura 7	Modelo representativo dos estímulos apresentados pelo anomaloscópio HMC.	47
Figura 8	Modelo representativo dos estímulos do teste <i>Colour Assessment and Diagnosis</i> .	48
Figura 9	Vetores utilizados pelo teste CAD no espaço de cor da CIE 1976.	49
Figura 10	Estímulos apresentados no teste <i>Cambridge Colour Test</i> .	52
Figura 11	Vetores utilizados pelo teste CCT no espaço de cor da CIE 1976.	53
Figura 12	Coordenadas centrais dos testes CAD e CCT com seus respectivos vetores no espaço de cor da CIE 1976.	54
Figura 13	Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo tricromata para o teste CAD.	58
Figura14	Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo tricromata para o teste CCT.	59
Figura 15	Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo protan no teste CAD.	60
Figura 16	Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo protan no teste CCT.	61

Figura 17	Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo deutan no teste CAD.	62
Figura 18	Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo deutan no teste CCT.	63
Figura 19	Dispersão do parâmetro de área da elipse para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um	71
Figura 20	Dispersão do parâmetro de ângulo de rotação para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um.	72
Figura 21	Dispersão do parâmetro de tamanho do vetor protan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um.	73
Figura 22	Dispersão do parâmetro de tamanho do vetor deutan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um.	74
Figura 23	Dispersão do parâmetro de tamanho do vetor tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um.	75
Figura 24	Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores deutan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CAD em uma linha de razão um.	76
Figura 25	Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores deutan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CCT em uma linha de razão um.	77
Figura 26	Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CAD em uma linha de razão um.	78
Figura 27	Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan para	79

os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CCT em uma linha de razão um.

- Figura 28** Dispersão dos parâmetros tamanho dos vetores protan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CAD em uma linha de razão um. 80
- Figura 29** Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CCT em uma linha de razão um. 81
- Figura 30** Distribuição dos resultados de limiares de discriminação de cor do parâmetro área em modelos matemáticos e resíduos dos testes CAD e CCT. 84
- Figura 31** Distribuição dos resultados de limiares de discriminação de cor do parâmetro tamanho do vetor protan em modelos matemáticos e resíduos dos testes CAD e CCT. 85
- Figura 32** Distribuição dos resultados de limiares de discriminação de cor do parâmetro tamanho do vetor tritan em modelos matemáticos e resíduos dos testes CAD e CCT. 86
- Figura 33** Distribuição dos resultados de limiares de discriminação de cor do parâmetro tamanho do vetor deutran em modelos matemáticos e resíduos dos testes CAD e CCT. 87
- Figura 34** Dispersão das medidas de diferença e média da área da elipse e ângulo de rotação dos testes CAD e CCT. 89
- Figura 35** Dispersão das medidas de diferença e média do tamanho dos vetores dos testes CAD e CCT. 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação das discromatopsias congênitas a partir do número de pigmentos de cones na retina.	26
Tabela 2	Prevalência dos diferentes tipos de discromatopsia congênitas nos gêneros.	28
Tabela 3	Dados de coeficiente de variação dos ângulos de rotação dos testes CAD e CCT.	57
Tabela 4	Descrição estatística dos parâmetros de limiares de discriminação cromática do teste CAD.	65
Tabela 5	Descrição estatística dos parâmetros de limiares de discriminação cromática do teste CCT.	66
Tabela 6	Média da razão e desvio padrão dos resultados dos dados de limiares de discriminação de cor entre os testes CAD e CCT.	67
Tabela 7	Parâmetros de avaliação de ajuste de modelo matemático a correlação dos critérios dos testes CAD e CCT.	83

LISTA DE ABREVIATURAS

CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
NGL	Núcleo Geniculado Lateral
L	Long-wavelength
M	Medium-wavelength
S	Short-wavelength
CAD	Colour Assessment and Diagnosis
RCLD	Ruído de contraste de luminância dinâmico
CCT	Cambridge Colour Test
HMC	Heidelberg Multi Color
EPR	Erro Padrão da Regressão

SUMÁRIO

	RESUMO	
	ABSTRACT	
	LISTA DE FIGURAS	
	LISTA DE TABELAS	
	LISTA DE ABREVIATURAS	
1.	INTRODUÇÃO	18
1.1.	TEORIAS DA VISÃO DE CORES EM HUMANOS	18
1.2.	DISFUNÇÕES NA VISÃO DE CORES	25
1.2.1.	Discromatopsia congênita	25
1.2.2.	Discromatopsia adquirida	29
1.3.	MÉTODOS PSICOFÍSICOS DE AVALIAÇÃO DA VISÃO DE CORES	30
1.3.1.	<i>Cambridge Colour Test</i>	32
1.3.2.	<i>Colour Assessment and Diagnosis</i>	35
1.4.	OBJETIVOS	39
1.4.1.	Objetivo Geral	39
1.4.2.	Objetivos Específicos	39
2.	MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1.	SUJEITOS	40
2.2.	TESTES DE AVALIAÇÃO VISUAL	41
2.2.1.	Escala Optométrica de Snellen	41
2.2.2.	Figuras Pseudoisocromáticas de Ishihara	42
2.2.3.	Anomaloscopia Espectral	42
2.2.4.	<i>Colour Assessment and Diagnosis</i>	45
2.2.5.	<i>Cambridge Colour Test</i>	50
2.3.	ANÁLISE DE DADOS	55
3.	RESULTADOS	57
3.1.	DISPERSÃO DOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE CORES	57
3.2.	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS AVALIATIVOS DA DISCRIMINAÇÃO DE COR	64

3.3.	RAZÃO ENTRE OS RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR	67
3.4.	DISPERSÃO DOS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR	69
3.5.	CORRELAÇÕES DOS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR EM FUNÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS	82
3.6.	ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA ENTRE OS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR	88
4.	DISCUSSÃO	91
4.1.	DADOS NORMATIVOS DOS TESTES CAD E CCT	92
4.2.	RAZÃO DOS RESULTADOS ENTRE CAD E CCT	92
4.3.	USO DA DISPERSÃO E CORRELAÇÃO DOS DADOS NA IDENTIFICAÇÃO DE SUJEITOS COM ALTERAÇÕES CONGÊNITAS NA VISÃO DE CORES	94
4.4.	ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA	96
5.	CONCLUSÕES	97
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
	APÊNDICE 1	110
	ANEXO 1	112
	ANEXO 2	117

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEORIAS DA VISÃO DE CORES EM HUMANOS

A cor é definida como a resposta perceptual à estimulação do espectro de luz visível no sistema visual (Guimarães, 2004; Long et al., 2006). Esta possui três dimensões psicológicas: matiz, saturação e brilho. O matiz é o aspecto dos comprimentos de ondas de luz. A saturação é a quantidade relativa de branco contida na cor, ou seja, é o quanto a cor percebida se distancia de um branco neutro e o brilho é a intensidade aparente de luz percebida (Kaiser e Boynton, 1996, Long et al., 2006).

A visão de cores em humanos é fundamentada em duas teorias principais: a teoria tricromática e a teoria da oponência de cores.

Baseado nos postulados de Isaac Newton sobre luz e cores, Thomas Young, no início do século XIX, postulou a teoria tricromática. Esta teoria propunha que a percepção de todas as cores visíveis era possível devido a um processo de mistura de cores realizado por três tipos de receptores retinianos os quais seriam excitados pelos diferentes comprimentos de onda de luz e que cada um destes receptores estaria associado a uma das três cores primárias: vermelho, verde e violeta (Young, 1802, 1817).

Na metade do século XIX, a teoria tricromática foi corroborada através dos postulados de Maxwell e Helmholtz acerca dos testes de equalização de cores. James Maxwell (1831-1879) desenvolveu um experimento denominado topo colorido no qual o estímulo do teste era constituído de um pequeno disco central contendo a cor da amostra a ser equalizada e ao seu redor, três discos coloridos representando as três cores primárias organizadas em proporções diferentes. Estes discos eram montados em cima de um pião (**Figura 1**). A tarefa do sujeito era averiguar se a quantidade das três cores primárias externas era equalizada a cor do disco central quando o pião era rotacionado. Se isto não ocorresse, as proporções das cores externas eram reajustadas até que fosse descoberta a quantidade necessária de cada cor para criar uma ilusão de única cor com o disco central. Para eliminar a diferença do brilho entre o disco central e as demais cores, quantidades variadas de cor preta eram adicionadas ao disco central. Uma vez encontrada a equalização das cores entre os discos, um perímetro escalonar era usado para analisar em centímetros o espaço ocupado por cada disco externo. A partir deste experimento, James Maxwell comprovou que todas as cores

podem ser produzidas pelas diferentes combinações das três cores primárias como também criou equações que mensuravam o quanto seria necessário de cada cor primária para originar uma determinada cor. Baseado nisto, ele gerou um triângulo cromático onde todas as cores poderiam ser reproduzidas a partir do cálculo da distância de cada uma das extremidades nos quais estavam localizadas as cores puras. Este triângulo de cores foi o precursor do diagrama de cromaticidade criado pela *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE)¹ em 1931 (Birch, 2001a; Longair, 2008).

Nos experimentos de Herman von Helmholtz, os estímulos do teste eram constituídos por quatro luzes espectrais dispostas em cima de uma tela bipartida onde estavam representados o campo de teste e o campo de mistura. No campo de teste, uma luz monocromática era projetada como amostra de referência de cor para a equalização e no campo de mistura, três luzes monocromáticas representando as três cores primárias eram projetadas em intensidade diferentes (**Figura 2**). A tarefa do sujeito era igualar a luz composta do campo de mistura à luz do campo de teste. Para isto, o sujeito ajustava as quantidades das três luzes do campo de mistura para reproduzir metamericamente a percepção da cor do campo de teste. Uma vez encontrada a equalização da cor dos dois campos, os valores dos comprimentos de onda monocromáticos emitidos por cada projetor eram mensurados. Este protocolo era repetido para todos os comprimentos de ondas do espectro visível (Barnes, 2013, Goldstein, 2013). A partir deste experimento, Herman Helmholtz concluiu que pessoas com visão de cores normal necessitam apenas de três tipos de comprimentos de onda de luz diferentes para equalizar todas as cores do espectro visível.

Baseado nisto, Helmholtz postulou que os três tipos de receptores retinianos apresentavam atividade excitatória diferenciada para os diversos comprimentos de onda de luz e que estes poderiam ser classificados a partir de sua preferência de absorção: os receptores sensíveis ao vermelho absorveriam preferencialmente comprimentos de onda longos, os receptores sensíveis ao verde seriam estimulados preferencialmente pelos comprimentos de onda médios e os receptores sensíveis ao azul absorveriam preferencialmente os comprimentos de onda curtos. Cada um destes receptores exibe

¹ No intuito de criar uma referência de uso para os sistemas de medição e especificação de cor, a *Commission Internationale de l'Eclairage*, em 1931, desenvolveu o diagrama de cromaticidade da CIE. Este diagrama foi construído a partir das funções obtidas através de experimentos de equalização de cor. As cores primárias adotadas pelo diagrama são teóricas, portanto não existem fisicamente e são representados por X, Y e Z. Devido à falta de uniformidade perceptual em algumas partes do diagrama de cromaticidade de 1931, a CIE aperfeiçoou as funções de equalização de cor e em 1976, gerou o espaço de cor da CIE conhecido também como CIELUV (Nakato, 1996, Birch, 2001). Nas páginas 45 e 48 pode ser visualizada uma representação do espaço de cor da CIE 1976.

diferentes curvas de sensibilidade espectral que se sobrepõem em determinadas faixas e que apresentam distintos picos de absorção (Barnes, 2013, MacAdam, 1970). Devido as suas contribuições à teoria de Thomas Young, a teoria tricromática também ficou conhecida como teoria de Young-Helmholtz (Finger, 2001, Birch, 2001a, Barnes, 2013, Goldstein, 2013).

Através das contribuições de Young, Maxwell e Helmholtz, foi possível comprovar que a mistura de três cores primárias em determinadas proporções poderia originar todas as cores percebidas pelos humanos e que a ausência ou funcionamento anormal de um ou mais receptores retinianos poderia produzir distúrbios congênitos na percepção de cores.

Apesar de explicar os fenômenos perceptuais de perdas congênitas na visão de cores e percepção de todas as cores através da mistura de três cores primárias, a teoria tricromática não é suficiente para explicar outros fenômenos perceptuais tais quais: pós-imagem, contraste simultâneo, aparência das cores e discromatopsias adquiridas (Kaiser e Boynton, 1996, Birch, 2001a, Fairchild, 2005, Shergill, 2012).

Em 1878, Ewald Hering postulou uma teoria alternativa à teoria tricromática, a qual contemplava os fenômenos perceptuais não explicados por esta (Mollon, 2003, Fairchild, 2005). Essa teoria foi denominada teoria da oponência de cor, pois propunha que a visão de cores em humanos ocorria através da atividade de três pares de canais oponentes de processamento visual. Dois desses mecanismos seriam de natureza cromática: verde opondo-se ao vermelho e azul opondo-se ao amarelo, e um deles de natureza de luminância: branco opondo-se ao preto (Kaiser e Boynton, 1996, Birch, 2001a, Finger, 2001, Fairchild, 2005, Shergill, 2012). A resposta de uma cor em via de oponência antagoniza a resposta de sua cor correspondente. Portanto, a percepção de todas as cores visíveis ocorreria pela comparação da atividade de excitação e inibição dos sinais captados pelos receptores nas vias de oponência (Shergill, 2012).

Ao longo do século XX, a teoria da oponência de cor foi ratificada através de diversos experimentos, porém três estudos foram essenciais: os experimentos de Jameson e Hurvich (1955, 1957) sobre cancelamento de cor, os experimentos de DeValois et al. (1958) sobre respostas oponentes nas células do núcleo geniculado lateral (NGL) em macacos e os experimentos de Derrington et al. (1984) sobre mecanismos cromáticos de oponência no núcleo geniculado lateral de macacos.

Para mensurar a distribuição espectral das respostas acromáticas e cromáticas em humanos, Jameson e Hurvich (1955, 1957) desenvolveram uma técnica denominada método de cancelamento de cor. Esta técnica consistia na projeção de um estímulo monocromático no qual o sujeito testado deveria adicionar outro estímulo monocromático oponente ao inicial no

intuito de cancelar a percepção das duas cores no campo de teste. Portanto, fazendo com que a cor resultante da mistura das luzes monocromáticas não aparentasse nem a cor do estímulo inicial nem a cor adicionada. Através destes experimentos, Jameson e Hurvich observaram que os membros oponentes de cada par de cores preto-branco, verde-vermelho e azul-amarelo apresentaram comportamento antagônico ao seu par, exibindo funções psicofísicas com amplitudes positivas ou negativas de respostas opostas ao resultado de sua cor oponente, assim comprovando as características de oponência das vias.

Para avaliar os padrões de resposta das células do núcleo geniculado lateral, De Valois et al. (1958, 1966) realizaram registros eletrofisiológicos destas células em macacos. Um dos olhos dos macacos foi selecionado para ser estimulado por feixes de luz projetados em filtros monocromáticos. Os estímulos variavam em intensidade luminosa e duração. A partir do número de picos apresentados por cada luz monocromática foi possível gerar as curvas de sensibilidade espectral para cada estímulo. Através dos achados destes estudos, De Valois e grupo constataram que, em determinadas camadas, as células do NGL apresentaram um padrão de resposta ON (excitação ao aparecimento de luz) ou OFF (excitação pela ausência de luz) dependendo do comprimento de onda de luz. As células destas camadas exibiam quatro configurações de respostas: vermelho-*on* e verde-*off*, verde-*on* e vermelho-*off*, azul-*on* e amarelo-*off* e amarelo-*on* e azul-*off* os quais caracterizaram a existência de vias de oponência cromática em macacos.

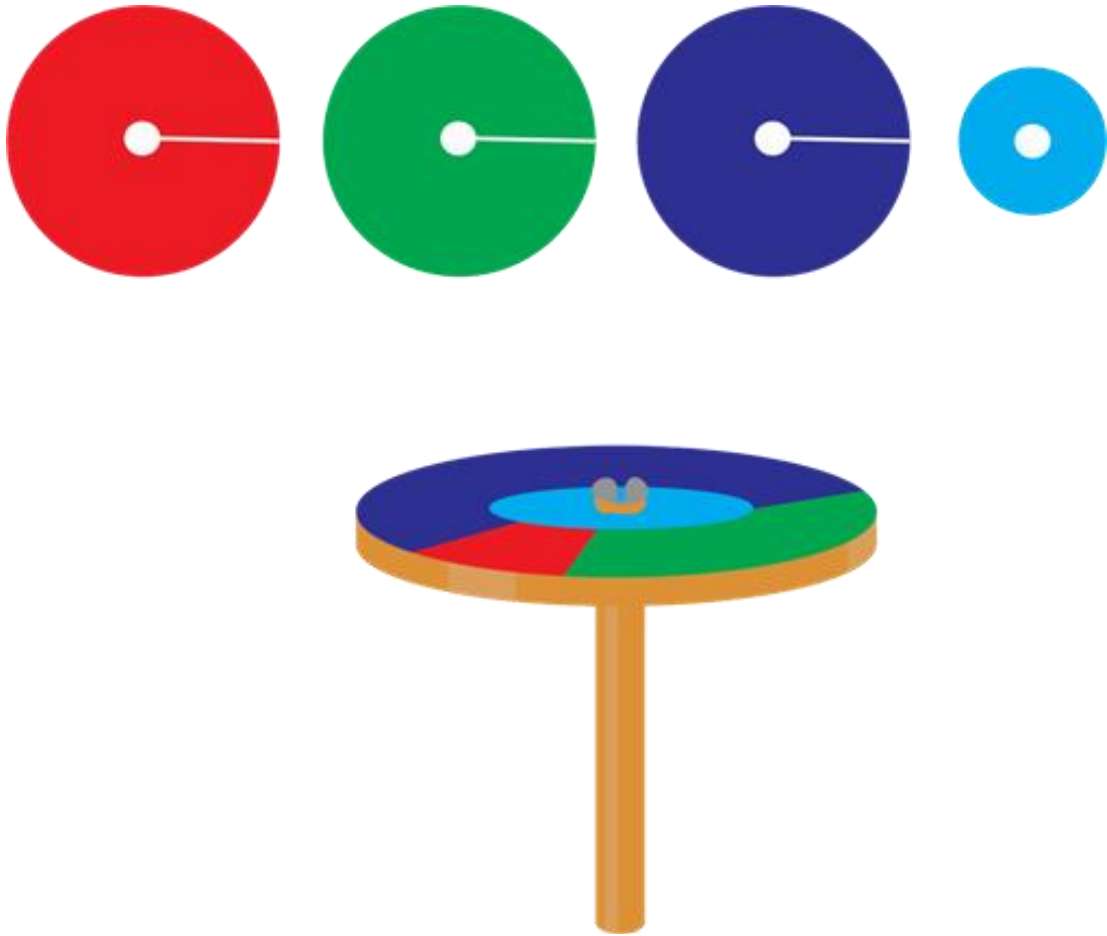


Figura 1. Modelo esquemático do experimento de Maxwell. Em cima de um disco de madeira foram montados quatro discos de papéis coloridos: três discos maiores representando as cores primárias e um disco central representando a cor da amostra a ser equalizada. Estes discos estão inseridos em cima de um pião que era girado para descobrir se a proporção das cores dos discos externos equalizava a cor do disco central. Se a rotação gerasse a ilusão de única cor, um perímetro escalonar era utilizado para ler o espaço ocupado pelos discos externos. Assim, foram criadas várias equações para indicar a quantidade necessária de cada cor primária para reproduzir determinada cor. (Baseado em: <http://www.handprint.com/HP/WCL/colortop.html>).

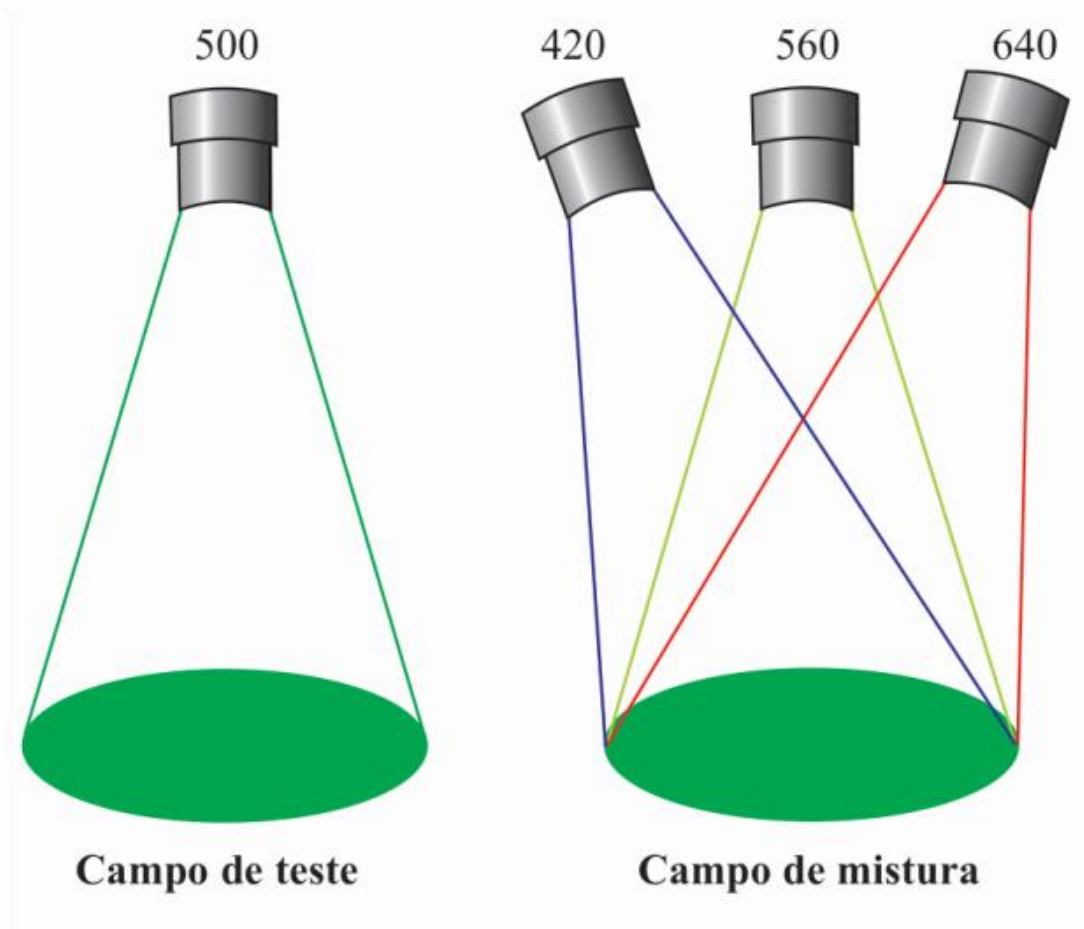


Figura 2. Modelo esquemático do experimento de Helmholtz. Quatro projetores de luzes espectrais foram montados acima de uma tela de fundo branco partido em dois campos: campo de teste, onde uma luz monocromática projetava a amostra de cor de referência para a equalização e o campo de mistura, onde três luzes monocromáticas eram projetadas em magnitudes variadas. O objetivo deste experimento era equalizar as três luzes monocromáticas do campo de mistura a cor da luz de referência do campo de teste, ou seja, tornar os campos metaméricos entre si. Este teste foi realizado para todo o espectro visível. (Modificado de: Goldstein, 2013).

Diferente do estudo de De Valois et al. (1958, 1966), Derrington et al. (1984) desenvolveram uma técnica eletrofisiológica para analisar as propriedades cromáticas das células do núcleo geniculado lateral em macacos através da posição dos planos nulos de cada célula. Os planos nulos eram representados pelos pontos brancos dos eixos ortogonais do espaço tridimensional criado pelo estudo, o qual permitia por meio de sua posição, a identificação do azimute e elevação de cada célula. A técnica consistia na apresentação de grades senoidais moduladas ao longo dos vetores nos pontos brancos do espaço tridimensional em macacos. Através da quantificação do azimute e da elevação, Derrington concluiu que, em baixas frequências temporais e espaciais, as células que apresentam estreita distribuição no azimute e ampla dispersão no fator elevação recebem entradas igualmente opostas dos cones verde e vermelho ou recebem entradas de cones azuis quase igualmente opostas às entradas de combinação de cones verde e vermelho, comprovando a oponência presente nas células do núcleo geniculado lateral em macacos.

Através das contribuições destes estudos foi possível explicar conceitos de cores complementares, pós-imagem, contraste simultâneo e a perda seletiva da discriminação de cores em determinadas vias de oponência nas discromatopsias adquiridas.

Atualmente, a teoria tricromática e a teoria de oponência de cor são consideradas complementares, pois atuam em diferentes níveis do processamento visual (Donders, 1881, Kries, 1882, Crone, 1999, Birch, 2001a, Finger, 2001). Enquanto a teoria tricromática ocorre no nível dos fotorreceptores, a teoria de oponência de cor representa o processamento pós-receptoral (Donders, 1881, von Kries, 1882, Crone, 1999, Birch, 2001a, Finger, 2001). Em conjunto, estas teorias caracterizam o processamento normal da visão de cores em humanos cuja capacidade de percepção de todo o espectro visível acontece a partir da comparação das respostas dos estímulos captados pelos três tipos de cones em vias de oponência e consecutivamente, no substrato neural. Caso haja falha em algum dos níveis do processamento visual, a visão de cores poderá ser comprometida, gerando o aparecimento de discromatopsias.

1.2. DISFUNÇÕES NA VISÃO DE CORES

Os distúrbios da percepção cromática denominada como discromatopsia podem ser ocasionadas por fatores congênitos ou ambientais. Devido a sua natureza de origem, a discromatopsia pode ser dividida em dois subgrupos: hereditária ou adquirida.

1.2.1. Discromatopsia hereditária ou congênita

A discromatopsia congênita é caracterizada pela ausência ou funcionamento anormal de um ou mais fotopigmentos dos cones na retina, devido a alterações nos genes responsáveis pela codificação dos fotopigmentos nos cromossomos X (cones L e M) e 7 (cone S) (Nathans et al., 1986, Deeb, 2004). Esta disfunção afeta ambos os olhos e as perdas detectadas nos eixos de confusão de cores² permanecem estáveis ao longo da vida.

Segundo Wright (1946, 1952), existem três tipos de classificação das discromatopsias congênitas a partir de suas expressões fenotípicas: monocromata, dicromata e tricromata anômalo (Tabela 1).

A monocromacia é a capacidade de equalização de todo o espectro visível através de um ou dois tipos de fotorreceptores. Neste tipo de discromatopsia, a equalização pode ser expressa sob dois fenótipos: típico e atípico. A visão do monocromata típico é caracterizada pela ausência de todos os cones funcionais na retina, utilizando somente os bastonetes para a captação dos estímulos luminosos para gerar a visão do sujeito. Por sua vez, a visão do monocromata atípico é determinada pela combinação das respostas dos estímulos absorvidos pelos bastonetes e de um tipo de cone na retina (Kaiser e Boylon, 1996, Birch, 2001b).

² Eixos de confusão de cor conhecidos também como linhas de confusão de cor são faixas isocromáticas onde os sujeitos discromatopsicos não distinguem as variações de cromaticidade. Estas linhas podem ser representadas no diagrama de cromaticidade da CIE. Para cada classe de fotopigmento de cone ausente existe um eixo de confusão de cor específico. As linhas de confusão de cor dos sujeitos discromatopsicos do tipo protan e deutan foram descritos por Pitt (1935) e do tipo tritan por Wright (1952).

Tabela 1. Classificação das discromatopsias congênitas a partir do número de pigmentos de cones na retina (Adaptação de Birch, 2001b).

Número de pigmentos de cones	Tipo	Denominação	Discriminação de matiz
Nenhum	Monocromata	Monocromata típico	Nenhum
Um	Monocromata	Monocromata atípica	Capacidade limitada em condições de visão mesotópica
Dois	Dicromata	Protanopia Deuteranopia Tritanopia	Severamente prejudicada
Três	Tricromata anômalo	Protanômalo Deuteranômalo Tritanômalo	Intervalo de leve a grave

Na dicromacia, a equalização de todo o espectro visível é realizada por dois tipos de cones. Nesta alteração, existem três subdivisões que classificam o tipo de dicromacia presente a partir da falta de uma classe de cone na retina. Os indivíduos portadores de protanopia, deuteranopia e tritanopia exibem a ausência de fotopigmentos funcionais nos cones L, M e S, respectivamente. Por isto, os sujeitos protanópicos e deuteranópicos apresentam falhas na discriminação de cores no eixo de confusão verde/vermelho, enquanto os sujeitos tritanópicos exibem perdas na discriminação de cores no eixo de confusão azul/amarelo (Kaiser e Boylon, 1996, Birch, 2001b, Hunt e Pointer, 2011).

A tricromacia anômala é caracterizada pela capacidade de equalização de todo o espectro visível por meio de três tipos de cones, porém devido à distorção na sensibilidade espectral de uma das classes de cones na retina, o tricromata anômalo possui uma visão de cores diferenciada do sujeito tricromata normal. Esta disfunção é composta por três subgrupos, que identificam o tipo de tricromacia anômala com base na classe de fotopigmento de cone com funcionamento anormal. Os sujeitos protanômalos, deuteranômalos e tritanômalos apresentam fotopigmentos com sensibilidade espectral modificada nos cones L, M e S, respectivamente. Devido às variações na expressão fenotípica da tricromacia anômala, os indivíduos protanômalos e deuteranômalos podem mostrar perdas na discriminação de cores nos eixos verde/vermelho, enquanto os indivíduos tritanômalos podem expor falhas na

discriminação de cores nos eixos azul/amarelo (Kaiser e Boylon, 1996, Birch, 2001b, Hunt e Pointer, 2011).

A incidência das discromatopsias congênitas varia drasticamente dentre as diversas expressões fenotípicas, populações e gêneros (**Tabela 2**). Em monocromatas, a prevalência entre mulheres e homens varia entre 0,002% a 0,003%, respectivamente (Hunt e Pointer, 2011). Em dicromatas, a incidência da protanopia situa-se em torno de 0,70% a 1,49% em homens e 0,01% a 0,03% em mulheres (Koliopoulous et al., 1976, Steward e Cole, 1989, Modarres et al., 1996, Birch, 2001b, Rogosic et al., 2003). Em deuteranópicos, a prevalência em homens é de 0,90% a 1,70% e em mulheres é de 0,01% a 0,03% (Koliopoulous et al., 1976, Steward e Cole, 1989, Modarres et al., 1996, Birch, 2001b, Rogosic et al., 2003) e na tritanopia, a incidência entre mulheres e homens varia entre 0,001% a 0,002%, respectivamente (Hunt e Pointer, 2011). Em tricromatas anômalos, a prevalência da protanomalia em homens ocorre em torno de 0,07% a 1,48% e 0,03% a 0,11% em mulheres (Koliopoulous et al., 1976, Steward e Cole, 1989, Modarres et al., 1996, Birch, 2001b, Rogosic et al., 2003) e na deuteranomalia, a incidência em homens varia entre 3,30% a 5% e em mulheres entre 0,2% a 0,35% (Koliopoulous et al., 1976, Steward e Cole, 1989, Modarres et al., 1996, Birch, 2001b, Rogosic et al., 2003). A prevalência da tritanomalia na população mundial é rara, havendo relatos escassos de sua ocorrência (Schmidt, 1970).

Tabela 2. Prevalência dos diferentes tipos de discromatopsia congênitas nos gêneros.

Tipo de deficiência de cor	Estudo	Prevalência (%)
Monocromatismo típico	Hunt e Pointer, 2011	0,002 (F) a 0,003 (M)
Monocromatismo atípico	-	-
Protanopia	Rogosic et al, 2003	1,49 (M)
	Birch, 2001b	0,01 (F) a 1,00 (M)
	Modarres et al, 1996	0,97 (M)
	Steward e Cole, 1989	0,03 (F) a 0,70 (M)
	Koliopoulous et al, 1976	0,01 (F) a 1,00(M)
Deuteranopia	Rogosic et al, 2003	0,90 (M)
	Birch, 2001b	0,01 (F) a 1,00 (M)
	Modarres et al, 1996	1,14 (M)
	Steward e Cole, 1989	0,03 (F) a 1,70 (M)
	Koliopoulous et al, 1976	0,02 (F) a 1,14 (M)
Tritanopia	Hunt e Pointer, 2011	0,001 (F) a 0,002 (M)
Protanomalia	Rogosic et al, 2003	1,48 (M)
	Birch, 2001b	0,03 (F) a 1,00 (M)
	Modarres et al, 1996	0,11 (F) a 1,14 (M)
	Steward e Cole, 1989	0,03 (F) a 0,07 (M)
	Koliopoulous et al, 1976	0,03 (F) a 1,20 (M)
Deuteranomalia	Rogosic et al, 2003	4,61 (M)
	Birch, 2001b	0,35 (F) a 5,00 (M)
	Modarres et al, 1996	0,32 (F) a 4,91 (M)
	Steward e Cole, 1989	0,2 (F) a 3,30 (M)
	Koliopoulous et al, 1976	0,35 (F) a 4,61 (M)
Tritanomalia	-	-

(F), Feminino; (M), Masculino; -, Não foram encontrados estudos.

1.2.2. Discromatopsia adquirida

A discromatopsia adquirida é descrita como a perda parcial ou total da discriminação de cores causada por fatores ambientais tais como intoxicação a metais e solventes orgânicos (Gobba et al., 1991, Valic et al., 1997, Gonzalez et al., 1998, Ventura et al., 2005, Lacerda et al., 2012), uso de drogas farmacológicas ou de abuso (Cruz-Coke, 1965, Dias, 1990, Linda Vu et al., 1999) e processos patológicos que tenham como ação secundária danos nos diversos níveis do processamento visual (Sample et al., 1986, Silverman et al., 1990, Tregear et al., 1997). Nesta disfunção, ambos os olhos são acometidos em magnitudes diferentes, podendo modificar-se ao longo dos anos, devido à progressão ou regressão da ação do agente causador desta discromatopsia, e a perda da discriminação de cores pode ocorrer com ou sem seletividade para os eixos verde-vermelho e azul-amarelo. A incidência deste distúrbio atinge os gêneros igualmente. Segundo Verriest (1963), a partir da classificação do tipo de eixo afetado pela perda da discriminação de cor, a discromatopsia adquirida pode expressar quatro fenótipos: discromatopsia adquirida sem eixo proeminente, discromatopsia adquirida tipo I, tipo II e tipo III.

A discromatopsia adquirida sem eixo proeminente é caracterizada por afetar indiscriminadamente os eixos verde-vermelho e azul-amarelo em níveis leves, na forma tricromática, e em graus severos, na forma monocromática, impossibilitando a discriminação de cores. Cistos maculares e ambliopia tóxica são alguns dos agentes causadores deste tipo de distúrbio (Verriest, 1963).

Na discromatopsia adquirida do tipo I, a visão de cores do sujeito apresenta falhas de graus leves a severos na discriminação de cores nos eixos verde-vermelho e pequena ou nenhuma perda na discriminação de cores no eixo azul-amarelo. A percepção de cores do portador desta disfunção é semelhante a dos indivíduos discromatópicos do tipo protan. Doenças como esclerose da coróide e degeneração macular juvenil podem ocasionar distúrbios desta classe (Verriest, 1963, Hart Jr., 1987).

A discriminação de cores na discromatopsia adquirida do tipo II também exibe perdas no eixo verde-vermelho em níveis leves a severos, porém difere do tipo I, pois apresenta concomitantemente falhas em graus leves no eixo azul-amarelo. A percepção de cores do portador deste distúrbio equivale a dos sujeitos discromatópsicos do tipo deutan. Neurite óptica e atrofia óptica adquirida são alguns dos agentes causadores desta disfunção (Verriest, 1963, Hart Jr., 1987).

A discromatopsia adquirida do tipo III exibe falhas leves a moderadas na discriminação de cores no eixo azul-amarelo com pequena deterioração no eixo verde-vermelho. A percepção de cores do indivíduo com este distúrbio é similar a dos sujeitos discromatópsicos do tipo tritan. Doenças como glaucoma e retinopatia diabética podem acarretar estas disfunções (Verriest, 1963, Hart Jr., 1987).

A prevalência das discromatopsias adquiridas varia drasticamente dentre os seus subtipos. No estudo de Verriest (1963), foram encontrados 6,5% de discromatópsicos adquiridos sem eixo proeminente, 15,5% do tipo I, 23% do tipo II e 55% do tipo III.

1.3. MÉTODOS PSICOFÍSICOS DE AVALIAÇÃO DA VISÃO DE CORES

Em decorrência da elevada variedade fenotípica das discromatopsias, seus graus de acometimento e conseqüente impacto na qualidade de vida dos portadores desta disfunção, a avaliação da visão de cores por métodos psicofísicos torna-se uma ferramenta essencial para o diagnóstico destes distúrbios.

Segundo Dain (2004), os testes psicofísicos são classificados em quatro subgrupos: ordenamento, equalização, nomeação e figuras pseudoisocromáticas.

Com a finalidade de classificar e medir o grau de severidade da perda na discriminação de cores nas discromatopsias foram desenvolvidos os testes de ordenamento (Kaiser e Boyton, 1996, Birch, 2001c). Este exame consiste na apresentação aleatória de peças coloridas onde o sujeito é instruído a agrupá-las ou ordená-las em uma sequência, seguindo o parâmetro de semelhança de matiz, brilho ou saturação exibido na peça de referência, o ponto inicial do teste. Cada peça contém uma amostra de matiz extraída do sistema de cores Munsell. A categorização e o nível de severidade da perda na discriminação de cores são medidos por meio da quantificação dos erros cometidos na ordenação ou

agrupamento correto das peças. Os exames mais utilizados são o *Farnsworth D-15* e o *Farnsworth-Munsell 100 Hue* (Birch, 2001c).

Os testes de equalização são utilizados para fins de identificação e classificação das discromatopsias. Esses testes podem apresentar dois tipos de métodos: a projeção de luzes espectrais coloridas, no qual o sujeito testado tem como tarefa a equalização de duas cores, relatando se os pares de cores estão ou não equalizados, ou a exposição de cinco cores em uma página, onde o sujeito deve selecionar quais de quatro cores assemelham-se mais a cor de referência. Por meio do cálculo do coeficiente anômalo, a média das tentativas de ajuste ou a quantificação das respostas corretas, a identificação e classificação das discromatopsias são realizadas. O teste de equalização mais aplicado clinicamente e na pesquisa é a anomaloscopia espectral, pois esta é considerada um teste padrão ouro para a identificação, classificação, medição de severidade e diagnóstico de discromatopsias (Birch, 2001c, Dain, 2004).

No intuito de identificar a presença de discromatopsias e mensurar a habilidade de discriminar cores adequadamente em determinadas situações do cotidiano em que é necessária a denominação de cores, foram desenvolvidos os testes de nomeação (Birch, 2001c). O teste consiste na apresentação de uma ou duas luzes coloridas no qual o sujeito deve denominar e/ou responder, através de uma ação pré-estabelecida, qual a cor correspondente ao estímulo exibido. Dependendo do tipo de exame aplicado, as luzes expostas podem ser verde, vermelho e branco ou verde, vermelho, branco, azul e amarelo. A partir do cálculo da média de acerto das apresentações realizadas é feita a identificação e mensuração da discriminação de cores do sujeito testado. Os exames mais usados clinicamente são *Farnsworth Lantern* e *Holmes-Wright Lantern* (Yates e Heikens, 2001, Birch, 2001c, Dain, 2004).

Os testes de figuras pseudoisocromáticas são utilizados nas avaliações cujo objetivo é a identificação e a classificação das discromatopsias (Kaiser e Boyton, 1996, Birch, 2001c). Estes testes foram baseados nos princípios de Stilling³. O estímulo do teste é composto por um agrupamento de círculos com luminâncias e tamanhos variados dispostos em uma configuração de alvo e fundo que são somente diferenciados pela cromaticidade.

As cores que compõem o estímulo estão localizadas dentro de zonas isocromáticas, as quais são percebidas como cores distintas em indivíduos tricromatas

³ Em 1877, Stilling propôs duas estratégias para eliminar os artefatos de borda e de luminância existentes nas primeiras figuras pseudoisocromáticas desenvolvidas. Primeiro, o alvo e fundo do estímulo deveriam ser quebrados em pequenas manchas com seu próprio contorno e segundo, a luminância empregada no estímulo deveria variar aleatoriamente em cada mancha.

normais e como cores iguais para sujeitos discromatópicos. O alvo do teste pode ser um numeral, letra, símbolo, optótipo ou um padrão a ser traçado. A tarefa do sujeito é indicar qual alvo foi observado na figura quando o via. Através da quantificação dos erros cometidos na leitura das figuras, a identificação e classificação das discromatopsias são realizadas. Os testes mais empregados clinicamente e para fins de pesquisa são as figuras pseudoisocromáticas de Ishihara e as figuras pseudoisocromáticas da *American Optical Hardy-Rand-Rittler* (AO-HRR) (Kaiser e Boyton, 1996, Birch, 2001c, Dain, 2004).

Recentemente, foram desenvolvidos dois testes psicofísicos baseados na configuração pseudoisocromática: o teste *Colour Assessment and Diagnosis* (CAD) e o *Cambridge Colour Test* (CCT). O CAD e o CCT são testes computadorizados que avaliam a visão de cores através da estimativa de limiares de discriminação cromática. Para tal fim, estes testes utilizam a estratégia de variação de cromaticidade entre o alvo e fundo de modo adaptativo ao longo do teste para estabelecer o limiar no qual o sujeito possui a capacidade de distinguir as cores entre o alvo e fundo. A determinação do limiar é realizada através do método de escada, o qual diminuirá e aumentará a cromaticidade entre o alvo e fundo dependendo do desempenho do sujeito. Para garantir que o indivíduo testado está somente utilizando a informação cromática para a visualização do alvo, o CAD e o CCT utilizam modulações de ruídos de mascaramento distintos na configuração de seus estímulos. Estes testes avaliam diversas direções no espaço de cor da CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) a fim de medir os limiares de discriminação de cor nestas direções e a partir dos resultados, inferir sobre possíveis perdas na discriminação de cores ou falhas congênitas.

1.3.1. Cambridge Colour Test (CCT)

Em 1989, John Mollon e colegas da Universidade de Cambridge, Reino Unido, desenvolveram um novo método de avaliação da visão de cores, o teste *Cambridge Colour Test* (CCT) (Mollon e Reffin, 1989, Regan et al., 1994). Este teste associa o ruído espacial de luminância e ruído espacial de tamanho na configuração de sua estimulação no intuito de mascarar quaisquer resíduos de contraste de luminância e artefatos de borda existentes no estímulo que possa fornecer pistas não cromáticas para a identificação deste.

O estímulo do teste é composto por um mosaico de círculos, que variam aleatoriamente em tamanho e luminância, disposto em um fundo preto. Um subconjunto

destes círculos destaca-se dos demais devido à diferença de cromaticidade, constituindo perceptualmente um alvo no formato de C de Landolt (**Figura 3**). O alvo do teste pode ser apresentado em quatro orientações: para cima, para baixo, para a direita e para a esquerda. A tarefa do sujeito é indicar, verbalmente ou por meio de um controle de respostas, para onde estava orientada a abertura do C. Cada vez que o sujeito acerta a orientação do estímulo há diminuição da distância cromática entre o estímulo e o alvo. A cada erro na tarefa há aumento no contraste. O procedimento de estimativa do limiar de discriminação é controlado por um método de escada. O teste permite estimar o limiar de discriminação de cor em um número variado de eixos de cor. O CCT é composto por duas versões de exame: o teste Trivector e o teste das elipses.

O teste Trivector é uma versão mais curta do exame, no qual são medidos os limiares de discriminação cromática em três vetores correspondentes aos eixos de confusão de cor protan, deutan e tritan. Este teste promove uma boa triagem para a detecção de discromatopsias e pode ser utilizado como modo de habituação para a realização da versão do exame mais longa, o teste das elipses.

O teste das elipses é uma avaliação da visão de cores mais detalhada em que são estimadas elipses de discriminação de cor em cinco pontos centrais no diagrama da CIE 1976. Cada ponto apresenta uma cromaticidade de fundo diferente. A partir de cada ponto são gerados vetores que irão estabelecer os limiares de discriminação cromática nas direções em que foram projetados. Dependendo da configuração do exame, podem ser empregados de oito a vinte vetores em cada ponto. Após a determinação de todos os limiares investigados são geradas cinco elipses de discriminação de cor de MacAdam (MacAdam, 1942, Regan e Mollon, 1993). A área e o ângulo de rotação destas elipses dispostas nos eixos de confusão de cor indicam o tipo de perda na discriminação de cores.

Devido à alta sensibilidade e especificidade atribuída aos resultados apresentados pelo teste CCT (Regan et al., 1994; Ventura et al., 2003a), este exame tornou-se um instrumento de investigação para diversos tipos de pesquisas como

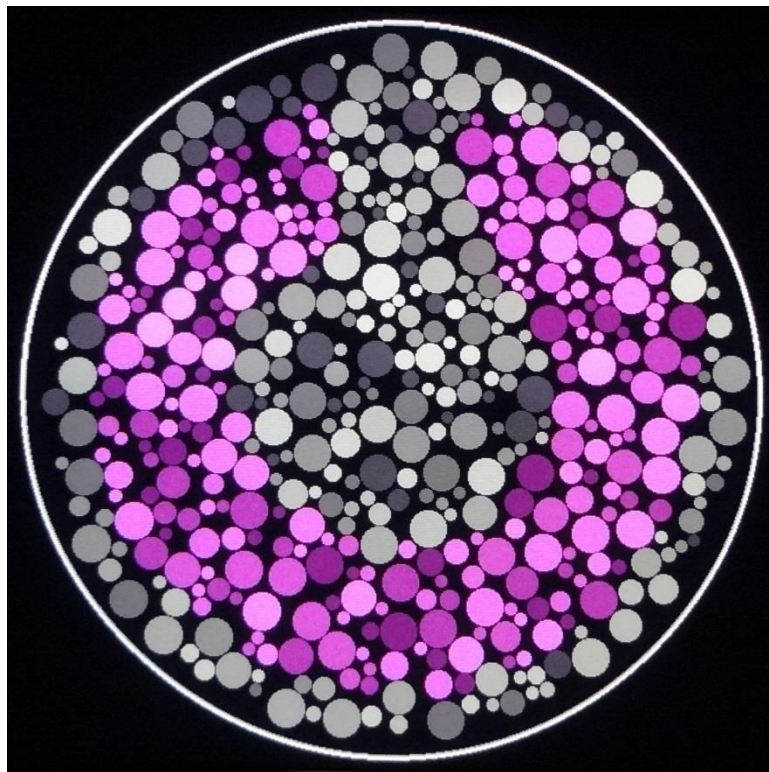


Figura 3. Estimulação exibida pelo teste *Cambridge Colour Test*. O estímulo é composto por um arranjo de círculos com variação de tamanho (10 tamanhos) e luminância (6 valores) no qual se destaca um alvo no formato do C de Landolt que somente é diferenciado do fundo pela presença de cromaticidade. O diâmetro do estímulo é de 5° de ângulo visual, o diâmetro externo do alvo teve 4,4° de ângulo visual, o diâmetro interno do alvo é de 2,2° de ângulo visual e a abertura do C é de 1° de ângulo visual.

diabetes (Ventura et al., 2003c), esclerose múltipla (Moura et al., 2008), atrofia óptica dominante (Simunovic et al., 1998), doença de Parkinson (Regan et al., 1998), neuropatia óptica hereditária de Leber (Ventura et al., 2007), pacientes tratados com cloroquina (Ventura et al., 2003b), pacientes intoxicados por mercúrio (Silveira et al., 2003, Ventura et al., 2004, 2005) e em pesquisas de ciência básica com sujeitos não verbais e não humanos (Mancuso et al., 2006, Thyagarajan et al., 2007, Goulart et al., 2008, Souza et al., 2014).

1.3.2. *Colour Assessment and Diagnosis (CAD)*

Baseado na técnica de mascaramento espaço-temporal de luminância (Birch et al., 1992, Barbur et al., 1994, Barbur, 2004), Barbur e colaboradores desenvolveram o teste CAD. Esta técnica tem como princípio o isolamento dos sinais cromáticos pelo uso do ruído de contraste de luminância dinâmico (RCLD), o qual emprega uma modulação espaço-temporal de luminância aleatória para mascarar os artefatos de borda e os resíduos de contraste de luminância existentes no estímulo cromático que possa auxiliar na identificação deste

O teste consiste na apresentação de um estímulo formado por um arranjo de quadrados modulados pelo RCLD, gerado no centro de um campo de fundo uniforme. A luminância de cada quadrado pertencente ao arranjo muda aleatoriamente durante toda a apresentação do estímulo. Um subconjunto de quadrados coloridos compõe o alvo do teste, o qual se desloca diagonalmente ao longo do mosaico de quadrados com ruído de contraste de luminância dinâmico (**Figura 4**). A movimentação do alvo pode ser exibida em quatro direções: direita para cima, direita para baixo, esquerda para cima e esquerda para baixo. A tarefa do sujeito é indicar qual foi a direção final do alvo por meio do controle de respostas.

O teste CAD apresenta quatro configurações de exame: modo de aprendizado, triagem nos limites, triagem rápida e teste definitivo.

O modo de aprendizado é um módulo de treinamento utilizado para que o sujeito se adapte ao funcionamento do teste. Neste exame são apresentados estímulos com elevada cromaticidade em relação ao fundo ao longo de doze vetores. Cada estímulo correspondente a um vetor é exibido duas vezes. Tanto tricromatas quanto discromatópsicos são capazes de visualizar os estímulos cromáticos apresentados.

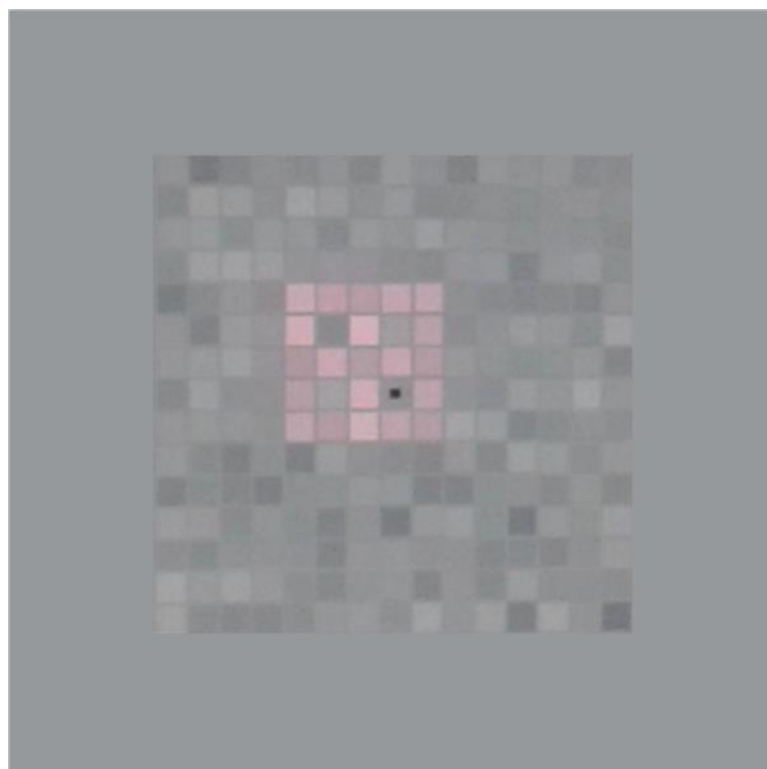


Figura 4. Estímulo apresentado pelo teste *Colour Assessment and Diagnosis*. O estímulo do teste é composto por uma matriz de quadrados (15x15 quadrados, 3,11° x 3,11° de ângulo visual), modulada pelo ruído de contraste de luminância dinâmico, disposta em um fundo de campo uniforme e isocromático ($x = 0,305$; $y = 0,323$). O alvo do teste é formado por um subconjunto de quadrados (5x5 quadrados, 1,04° x 1,04° de ângulo visual) que se diferencia do fundo somente pela cromaticidade. O alvo movimenta-se diagonalmente dentro do mosaico de quadrados.

A triagem nos limites é um exame empregado para investigar se o sujeito testado apresenta o limite mínimo de discriminação de cores no eixo verde-vermelho necessário para determinados ambientes profissionais, tais como aviação e marinha, como também para medir os limiares de discriminação de cores no eixo verde-vermelho. Este modo é composto por duas fases: a primeira fase corresponde a uma rápida triagem ao longo de doze vetores e, na segunda fase, é feita uma avaliação mais detalhada ao longo de doze vetores, nos quais são medidos os limiares de discriminação de cor. No final da segunda fase, o exame disponibiliza uma opção de avaliação dos limiares de discriminação de cor no eixo azul-amarelo.

O modo de rápida triagem é um teste breve usado para averiguar se o sujeito apresenta visão de cores normal. O exame analisa dezesseis vetores distribuídos nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo. Cada estímulo correspondente a um vetor é exibido três vezes.

A categoria definitiva é formada por um subconjunto de quatro testes, nos quais são avaliados os limiares de discriminação cromática em dezesseis vetores seguindo um método de escada. Estes testes foram configurados para avaliar a visão de cores nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo (teste completo) além de analisar detalhadamente cada tipo de eixo deficiente em sujeitos discromatopsicos, provendo mais informações sobre suas perdas na discriminação de cores (teste protan, deutan e tritan). Os testes desta categoria apresentam conjuntos de vetores específicos para cada tipo de investigação. O teste completo é a configuração mais utilizada para determinar os limiares de discriminação cromática.

Por ser uma ferramenta de alta especificidade e sensibilidade (Seshadri et al., 2005), a tecnologia do teste CAD vem sendo utilizada em diversas investigações, seja em pesquisas de ciência básica (Barbur et al., 1998, Barbur et al., 2008, Connolly et al., 2008, Rodríguez-Carmona et al., 2008, Jennings e Barbur, 2010, Konstantakopoulou et al., 2012, Rodríguez-Carmona et al., 2012) ou em estudos de ciência aplicada, como glaucoma (Rauscher et al., 2013), neurite ótica e esclerose múltipla (Moro et al., 2007) e diabetes e degeneração macular relacionada a idade (O'Neill-Biba et al., 2010).

Apesar dos testes CAD e CCT terem o mesmo objetivo de estimar limiares de discriminação de cor, estes testes baseiam-se em paradigmas distintos para a configuração do seu estímulo. Ambos os testes apresentam distinções na modulação de ruídos, luminância empregada, nos tipos de campo de fundo, dimensões do estímulo, diagramas de cromaticidade, conjuntos de vetores avaliados, tempo de apresentação do

estímulo e entre outros. Deste modo, estes testes apresentam tarefas visuais diferentes, podendo ocasionar a estimulação de distintas áreas do córtex visual para o processamento destas informações, o que pode gerar resultados de limiares de discriminação de cores diferentes quando comparados intra-sujeito. Em vista disso, a proposta deste estudo é comparar os resultados destes testes em sujeitos tricromatas e discromatópicos a fim de investigar se os parâmetros de avaliação da discriminação de cores medidos pelo CAD e CCT são compatíveis entre si.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo Geral

Comparar os parâmetros de avaliação da discriminação de cores estimados pelos sistemas *Colour Assessment and Diagnosis* (CAD) e *Cambridge Colour Test* (CCT).

1.4.2. Objetivos Específicos

Descrever a avaliação da discriminação de cores estimada pelo sistema CAD para uma população de indivíduos tricromatas normais e indivíduos discromatópicos.

Descrever a discriminação de cor estimada pelo sistema CCT para uma população de indivíduos tricromatas normais e indivíduos discromatópicos.

Mensurar a razão entre os parâmetros de avaliação da discriminação cromática através dos sistemas CAD e CCT.

Descrever as elipses de discriminação de cores para os parâmetros avaliativos de discriminação de cores estimados pelos sistemas CAD e CCT.

Avaliar modelos de correlação entre os resultados da avaliação da discriminação de cores estimados pelo CAD e CCT.

Avaliar a concordância entre os parâmetros de limiares de discriminação de cor mensurados pelos sistemas CAD e CCT.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética em pesquisa envolvendo seres humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará como parte integrante do projeto “Correlação entre resultados eletrofisiológicos e psicofísicos para avaliação da visão de cores de sujeitos tricromatas e discromatópsicos” correspondente ao protocolo #375.242 - CEP/NMT (**Anexo 1**).

2.1. SUJEITOS

Noventa e sete sujeitos (30 mulheres e 67 homens) com idade média de $26,33 \pm 8,9$ anos foram testados neste estudo. A amostra foi composta por 59 tricromatas normais, 16 discromatópsicos do tipo protan e 22 discromatópsicos do tipo deutan. Foram avaliados 66 sujeitos (idade média: $25,53 \pm 7,82$ anos) nos testes CAD e CCT, 29 indivíduos no teste CAD (idade média: $28,14 \pm 11$ anos) e 2 sujeitos no teste CCT (idade média: $31 \pm 12,73$ anos).

Os sujeitos foram recrutados através de convite feito pelos integrantes da pesquisa. Todos os indivíduos que participaram deste estudo assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido atestando o conhecimento dos procedimentos que iriam ser feitos e a participação voluntária (**Apêndice 1**). Para integrar a amostra, os sujeitos deveriam obedecer aos seguintes critérios de inclusão: acuidade visual normal ou corrigida para 20/30, ausência de patologias neurológicas e oftalmológicas com exceção de miopia, hipermetropia e astigmatismo, desde que portassem lentes de correção, ausência de exposição a químicos, doenças sistêmicas e histórico de infecções que pudessem prejudicar o sistema visual.

Após a triagem, os indivíduos foram avaliados por quatro testes de discriminação de cores: teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara, teste anomaloscopia espectral, CAD e CCT. Para a classificação das perdas de visão de cores no eixo verde-vermelho foram contabilizados os erros cometidos no teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara, o valor do coeficiente de anomalia do teste de anomaloscopia espectral, ângulo de rotação e a área da elipse dos sistemas CAD e CCT.

Os testes de escala optométrica de Snellen e do teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara foram realizados em ambiente iluminado e os demais testes

foram realizados em ambientes escuros com fonte de luz única do monitor de teste. O teste de escala optométrica de Snellen foi realizado em ambos os olhos e todos os demais testes foram realizados monocularmente, sendo o olho escolhido para ser testado aquele com menor erro de acuidade visual.

2.2. TESTES DE AVALIAÇÃO VISUAL

2.2.1. Escala Optométrica de Snellen

A acuidade visual foi medida através da tabela de optótipos de Snellen como triagem para inclusão na amostra. A escala optométrica de Snellen foi composta por optótipos que estavam dispostos em ordem decrescente e variaram em escalas decimais de 0,1 a 1,0. Cada linha representava estímulos de mesma unidade decimal e que estavam associados a um valor de acuidade visual. Portanto, quanto maior foi a unidade decimal, melhor foi a acuidade visual do indivíduo (**Figura 5**).

O protocolo experimental foi realizado em ambiente iluminado e monocularmente em ambos os olhos. O sujeito foi posicionado a 5 metros de distância da tabela e foi instruído a fazer a leitura dos optótipos indicados pelo examinador informando a orientação da letra “E” (cima, baixo, esquerda e direita). A leitura aconteceu no sentido de cima para baixo. O critério considerado para o avanço das linhas foi o acerto de 75% das orientações dos optótipos. Quando o sujeito apresentava erros acima da porcentagem estipulada era solicitado que o mesmo repetisse a linha anterior mais uma vez.

A acuidade visual foi mensurada através do cálculo de uma fração onde o numerador foi a distância a qual o sujeito encontrava-se da tabela e o denominador foi a distância máxima legível do quadro.

O padrão de normalidade estabelecido para este teste é 20/20.

2.2.2. Figuras Pseudoisocromáticas de Ishihara

Este teste foi utilizado para auxiliar na classificação do fenótipo da visão de cores dos sujeitos da amostra. O teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara foi realizado através do livro “*Ishihara’s Tests for Colour Deficiency*”, com 38 figuras (Ishihara, 1997).

Este livro possui figuras compostas por estímulos pseudoisocromáticos que são organizados em uma configuração de alvo e fundo. O alvo formado pelos estímulos revela um número que é somente diferenciado do fundo pela cromaticidade (**Figura 6**). Neste estudo foram utilizadas somente as primeiras vinte e cinco figuras contidas no livro.

As figuras foram exibidas em uma distância de 75 cm com angulação de cerca de 45° entre o olho do paciente e a superfície da figura. A tarefa do sujeito era responder qual número constava na figura indicada quando o via. A passagem das figuras ocorria a cada três segundos independentemente da resposta do indivíduo.

As respostas foram comparadas a uma planilha de acompanhamento do teste que continha os resultados esperados para tricromatas e discromatópicos congênitos. Esta tabela estava inclusa no manual do teste (**Anexo 2**).

O sujeito foi considerado sem alteração na visão de cores no eixo verde-vermelho para este teste caso possuísse até oito erros na leitura das figuras (Ishihara, 1997).

2.2.3. Anomaloscopia espectral

O teste de anomaloscopia espectral foi realizado através do Anomaloscópio HMC (Heidelberg Multi Color, Heidelberg, Alemanha) da marca Oculus, modelo 47715 e o programa com versão 2.73.

O exame consistia na projeção de um estímulo circular bipartido horizontalmente com 2° de ângulo visual no qual era exibida uma luz amarela de referência (589 nm) na parte inferior e uma mistura de luzes espectrais vermelha (666 nm) e verde (549 nm) na parte superior (**Figura 7**) que, em certas combinações de brilho, mimetiza a percepção da cor percebida no campo inferior. A tarefa do sujeito foi equalizar o campo superior ao inferior quanto à cor e o brilho, ajustando a intensidade da luz amarela de referência.

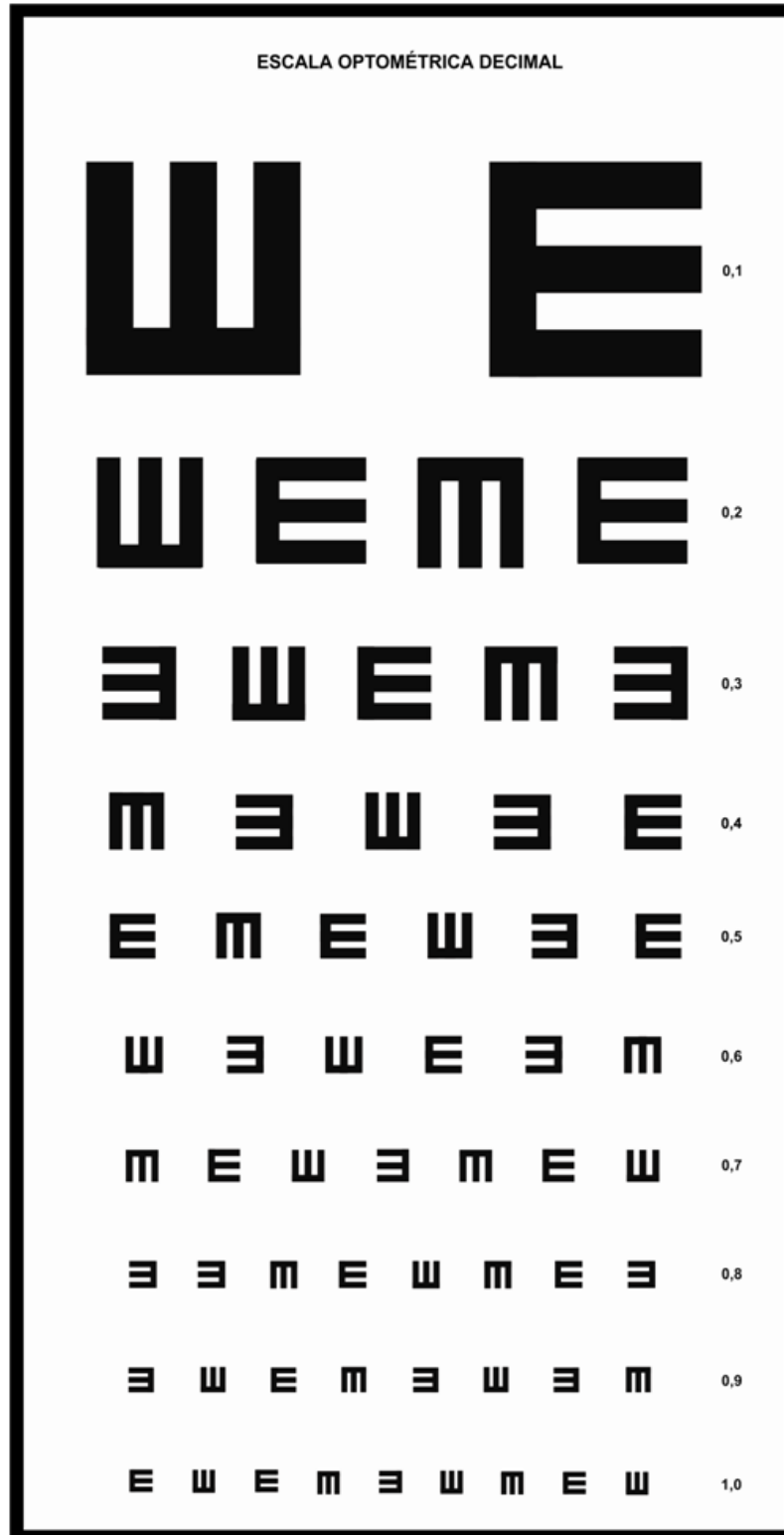


Figura 5. Escala optométrica de Snellen. O sujeito teve que identificar a orientação do estímulo a partir das linhas superiores às inferiores. Para mudar de linha de leitura, o sujeito deveria ter desempenho de pelo menos 75% de acerto. O valor da acuidade era o correspondente à última linha lida que tinha atingido o critério de acerto.

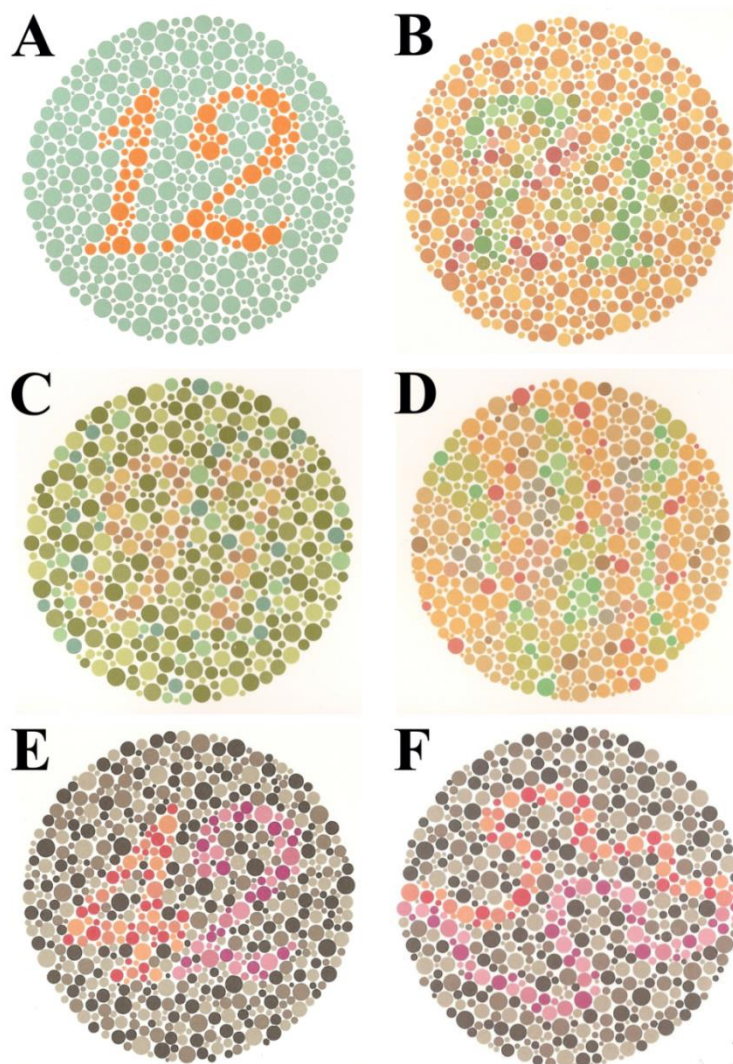


Figura 6. Pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara. **(A)** Representação da prancha introdutória. Esta pode ser visualizada por todos os sujeitos, não apresenta ruído de luminância e as cores não caem sobre linhas de confusão deutan ou protan. **(B)** Prancha do tipo transformação. Ela apresenta dois tipos de estímulos; um somente observado por tricromatas e o outro por discromatópsicos. **(C)** Prancha do tipo de desaparecimento. O número somente é visualizado por indivíduos tricromatas. **(D)** Prancha do tipo dígito escondido. O número somente é observado por sujeitos discromatópsicos. **(E)** e **(F)** Pranchas do tipo classificação. Os indivíduos discromatópsicos do tipo protan e deutan grave conseguem ver somente um dos estímulos presentes nas pranchas. **(A)**, **(B)**, **(C)**, **(D)** e **(E)** são placas utilizadas em sujeitos alfabetizados e **(F)** é somente utilizado em sujeitos analfabetos ou não verbais.

O protocolo experimental foi configurado para ser executado manualmente. O examinador foi responsável por alterar a mistura de luzes enquanto o paciente modificava a luz de referência. O teste foi iniciado a partir de uma combinação da mistura de luzes e a luz de referência, a qual o paciente deveria responder se o estímulo estava homogêneo ou heterogêneo. Caso o sujeito afirmasse que os semicírculos estavam iguais, aquele ponto era considerado como o ponto central, posição adotada como referência para a marcação dos demais pontos. Se isto não ocorresse, o examinador mostrava outros pontos de mistura de luzes e luz de referência para o indivíduo até que este indicasse a equalização do estímulo. Entre a aparição de estímulo e balização de um ponto, o equipamento exibia um estímulo neutro por alguns segundos para evitar a formação de pós-imagem. Após a demarcação do centro, os próximos pontos eram registrados até que o sujeito informasse a impossibilidade de equalização dos campos, assim finalizando o teste.

O avanço da marcação dos pontos no exame seguiu parâmetros diferentes. Para tricromatas, a alteração do ajuste da mistura de luzes acontecia a cada unidade, enquanto que para os discromatópicos congênitos, a mudança ocorria a cada cinco unidades.

O coeficiente de anomalia foi determinado através dos valores de localização dos últimos pontos onde o sujeito indicou a equalização dos semicírculos. O padrão de normalidade estabelecido pelo teste foi o coeficiente de anomalia entre 0,7 a 1,4.

2.2.4. *Colour Assessment and Diagnosis*

O sistema *Colour Assessment and Diagnosis* (CAD) é constituído pelo notebook Dell, modelo Latitude E5410 com processador Intel® Core™ i3, 1,86 GB de RAM e placa gráfica Intel HD graphics, monitor LCD da marca NEC 22", modelo MultiSync P221w, com resolução espacial 1680x1050 pixels e o controle de respostas da marca Targus, modelo #AKP03EU.

O estímulo do teste CAD foi composto por um mosaico de quadrados (15 quadrados x 15 quadrados) correspondente a 3,11° quadrados de ângulo visual. Cada quadrado apresentou 0,21° quadrados de ângulo visual e foi modulado pelo ruído de contraste de luminância dinâmico (RCLD). O RCLD é caracterizado por uma mudança de luminância a cada 50 a 80 ms, sendo escolhido um de 64 valores de luminância entre 42,5 e 25,5 cd/m² para compor a luminância do quadrado. O alvo do estímulo foi formado por um subconjunto de quadrados (5 quadrados x 5 quadrados) cuja a dimensão espacial corresponde a 1,04° quadrados de ângulo visual. O RCLD do alvo é o mesmo do restante do estímulo. A

cromaticidade do alvo foi modulada ao longo de dezesseis vetores (Figura 9), enquanto a cromaticidade dos demais quadrados que compõem o estímulo foi de $x = 0,305$ e $y = 0,323$. O estímulo estava inserido em uma área uniforme e isocromática ao fundo do estímulo e com luminância média de 34 cd/m^2 .

A cada apresentação do estímulo, durante um período de dois segundos, o alvo se deslocava ao longo das diagonais do estímulo em quatro possíveis orientações quanto a posição final do movimento: em cima à direita, em cima à esquerda, embaixo à direita e embaixo à esquerda. O eixo de cor no qual é modulada a cromaticidade do alvo e a posição do alvo era escolhida aleatoriamente em cada tentativa.

Para a execução do experimento, o sujeito foi posicionado a 1,4 m de distância do monitor de teste e foi instruído a indicar a posição final do alvo, acionando uma das quatro alternativas presentes no controle de respostas. Se o indivíduo não visualizasse a direção final, este era orientado a escolher qualquer uma das possíveis posições em um controle de resposta, pois o estímulo seguinte seria somente apresentado caso o sujeito selecionasse uma resposta ao alvo anterior.

O protocolo experimental foi constituído por duas etapas: a fase de treinamento e o teste definitivo. Na fase de treinamento foi aplicada à opção de teste *modo de aprendizagem*. Nesta versão, foram avaliados somente vetores de alta cromaticidade em duas apresentações, no intuito de verificar a habituação do sujeito ao funcionamento do exame. Se o indivíduo acertasse todas as direções dos estímulos exibidos, este era considerado apto à próxima fase. Para a realização do teste definitivo foi usado o *protocolo completo*. Neste teste foram utilizados dezesseis vetores intercalados regidos por um método de escada de dois acertos e um erro para avaliar o limiar de discriminação de cor.

Após o término deste protocolo, o equipamento diagnostica as possíveis perdas de visão de cores nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo, além de classificar o tipo de discromatopsia congênita, caso o indivíduo a tenha. O sujeito foi considerado tricromata normal caso exibisse resultado dentro da faixa de normalidade estabelecida pelo grupo controle pré-existente no equipamento.

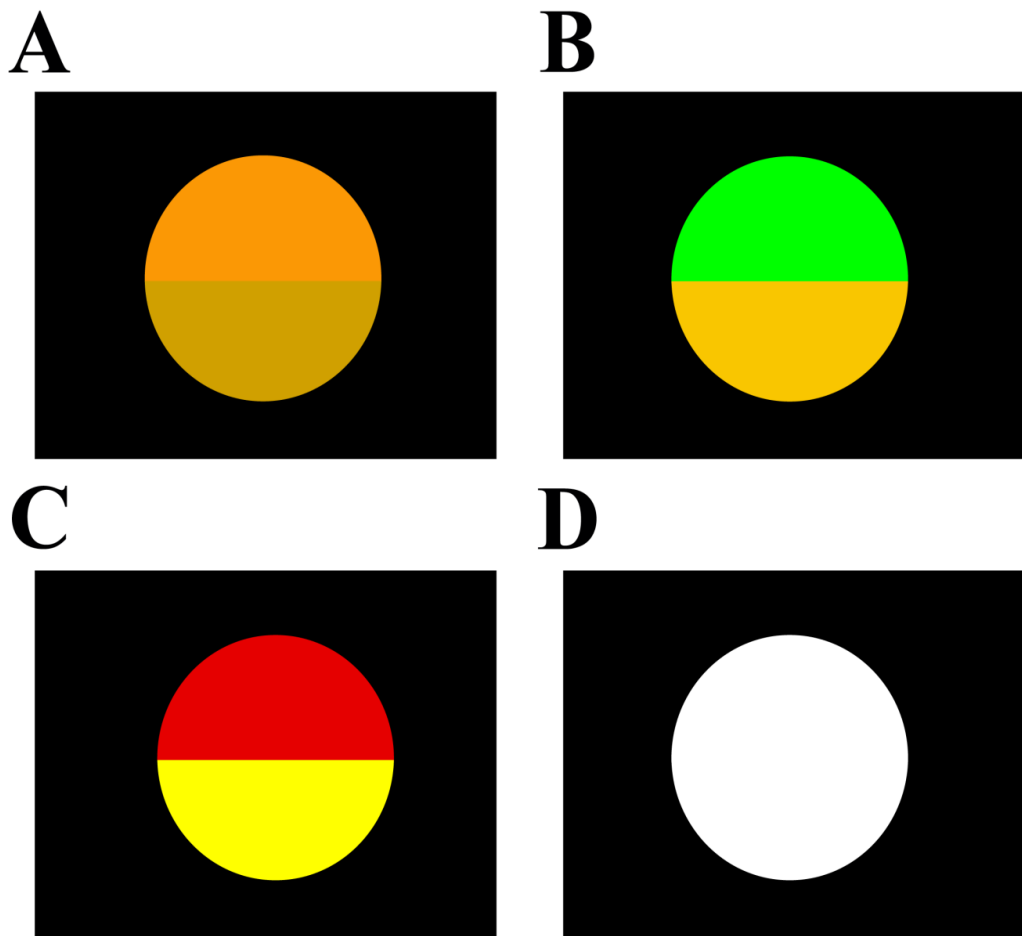


Figura 7. Modelo representativo dos estímulos apresentados pelo anomaloscópio HMC. (A), (B) e (C) Estímulos circulares bipartidos em diversas faixas de mistura de luzes e luz de referência e (D) Estímulo neutro projetado para evitar adaptação durante o teste.

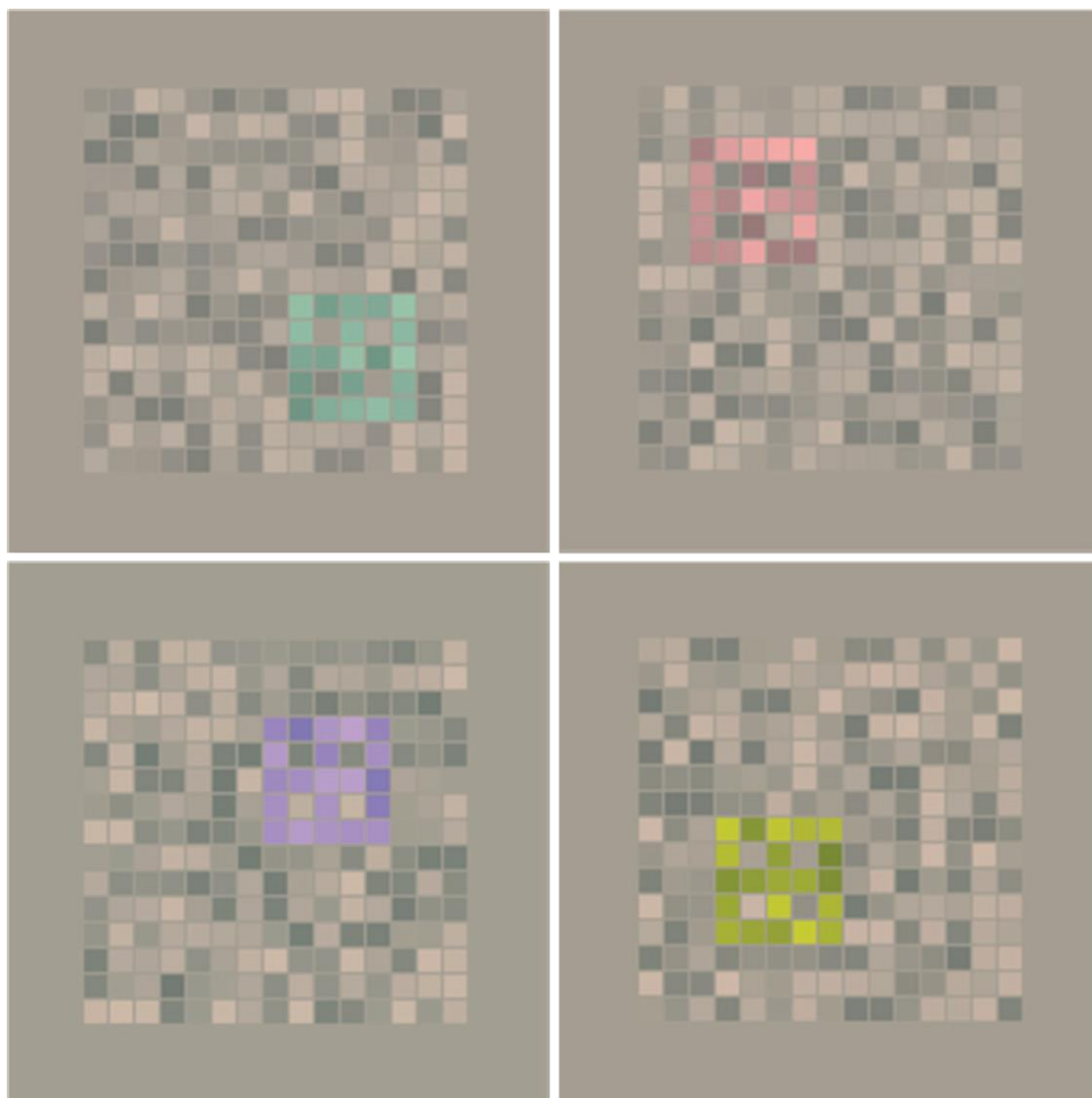


Figura 8. Modelo representativo dos estímulos do teste *Colour Assessment and Diagnosis*. Um alvo composto por uma matriz de 5 x 5 quadrados se diferenciava da matriz do fundo apenas pela cromaticidade dos seus elementos. Cada quadrado do estímulo apresentava mudanças de luminância aleatoriamente a cada 50 a 80 ms (ruído temporal). O alvo surgia em uma das 4 extremidades do estímulo e movimentava-se na diagonal. O sujeito devia indicar a direção do movimento do alvo através de um controle de resposta (Modificado de: Barbur e Connolly, 2001).

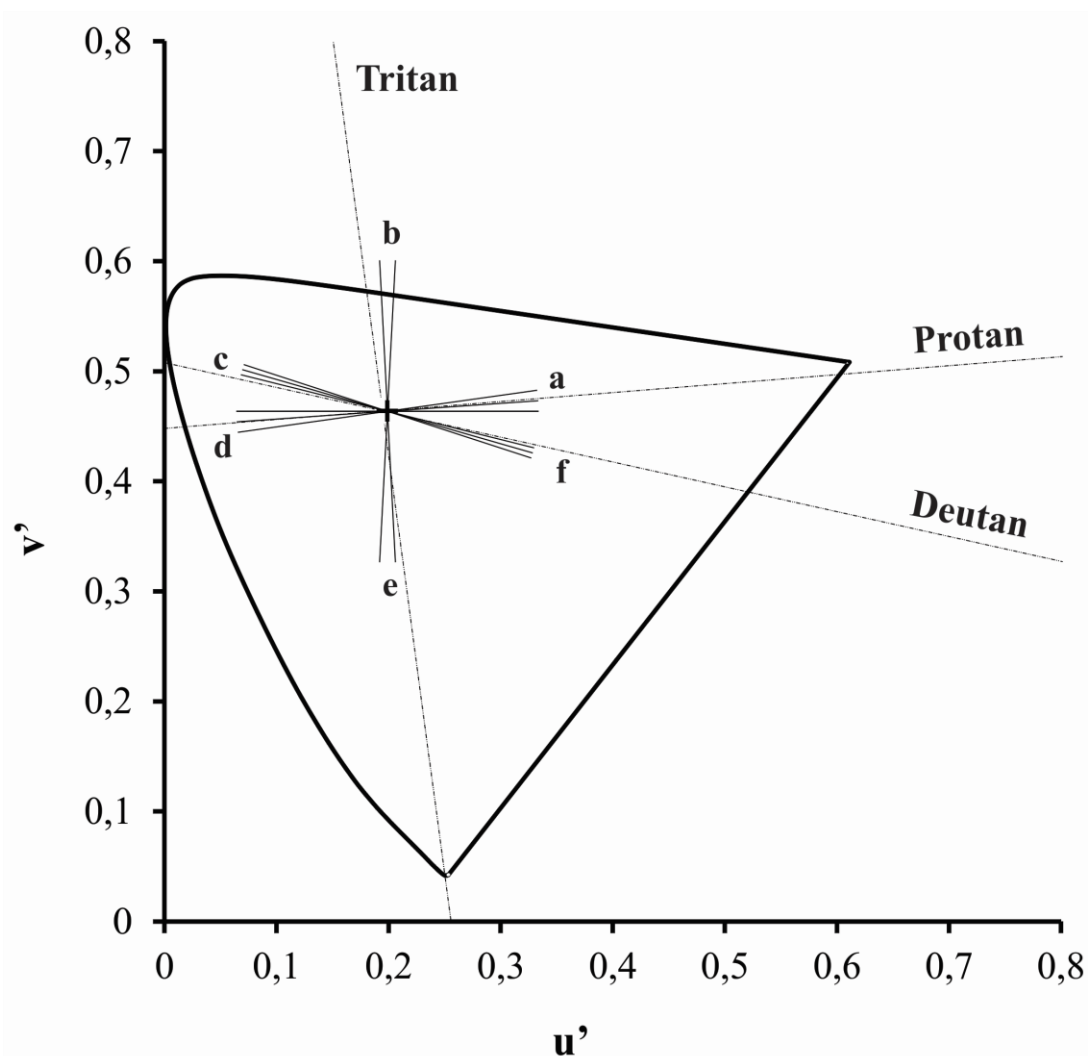


Figura 9. Vetores utilizados pelo teste CAD no espaço de cor da CIE 1976. A cromaticidade do alvo foi modulada em dezesseis vetores. (a) representa os ângulos de rotação: 0° , 4° e 8° ; (b) representa os ângulos de rotação: 87° e 93° ; (c) representa dos ângulos de rotação: 162° , 164° e 166° ; (d) representa os ângulos de rotação: 180° , 184° e 188° ; (e) representa os ângulos de rotação: 267° e 273° ; (f) representa os ângulos de rotação: 343° , 346° e 350° . As linhas tracejadas representam os eixos de confusão de cor protan, deutan e tritan. A linha contínua representa os valores limítrofes do espaço de cor da CIE 1976.

2.2.5. *Cambridge Colour Test*

O sistema *Cambridge Colour Test* (CCT) é composto pelos seguintes equipamentos: microcomputador Dell modelo Precision T3400, com processador Intel® Core™ 2 Duo, 2 GB de RAM, disco rígido de 160 GB e processador gráfico NVIDIA Quadro NVS 290, monitor CRT da marca Mitsubishi, modelo Diamond Pro 2070 SB-BR 22", com resolução espacial 1600x1200 pixels e taxa de amostragem de 85 Hz, frequência horizontal entre 30-140 kHz e frequência vertical de 50 a 160 Hz, receptor de sinal Visage e controle de respostas CT6 (*Cambridge Research Systems*, CRS, Reino Unido). O programa utilizado pelo teste CCT tinha versão 2.30.

A composição do estímulo utilizou a configuração pseudoisocromática na qual se destacava um alvo sobre um fundo. A única diferença entre o alvo e o fundo era a cromaticidade. A integração perceptual do alvo permitia a identificação de um C que era apresentado em quatro possíveis orientações usando como referência a abertura do C: para cima, para baixo, para a direita e para a esquerda (**Figura 10**). A cromaticidade e posição da abertura do alvo alteravam-se a cada apresentação do estímulo. A cromaticidade do alvo era determinada por oito vetores distribuídos no espaço de cor da CIE 1976 (**Figura 11**). A cromaticidade do fundo era determinada pelas coordenadas centrais de $u' = 0,1977$ e $v' = 0,4689$, localizadas no espaço de cor da CIE 1976. O ruído espacial de luminância utilizado neste estímulo variou aleatoriamente em seis níveis de luminância equidistantes num intervalo de 8 a 18 cd/m^2 . O alvo possuía as seguintes dimensões: diâmetro externo: $4,3^\circ$, diâmetro interno: $2,2^\circ$ e abertura do alvo: 1° .

A modalidade escolhida no programa para a avaliação do limiar de discriminação de cor foi o *teste de elipses*. Para a execução do mesmo, o indivíduo foi posicionado a 3,25 m de distância do monitor de teste e foi instruído a informar verbalmente qual era direção da abertura do C. O estímulo era exibido por três segundos e as respostas do sujeito eram registradas através de um controle de respostas pelo examinador (CT6, CRS, Reino Unido).

As respostas do sujeito testado alimentavam um procedimento psicofísico de escada para estimar o limiar de discriminação de cores em um determinado eixo cromático. O limiar de discriminação cromática foi estimado em oito vetores distribuídos no espaço de cor da CIE 1976 a 45° um do outro e regidos por um método de escada adaptativo, com regras de acerto e erro 1:1, 10 reversões e estimativa de limiar baseada na média das últimas 6 reversões.

Em caráter comparativo, na figura 12 é exibida a disposição das coordenadas centrais e vetores utilizados pelos testes CAD e CCT no espaço de cor da CIE 1976.



Figura 10. Estímulos apresentados no teste *Cambridge Colour Test*. Os estímulos exibidos apresentaram configuração pseudoisocromática com ruído espacial de luminância e tamanho (círculos com diferentes tamanhos e brilhos). O alvo se diferenciava do mosaico do fundo pela diferença de cromaticidade e era representado pela percepção de um C, que poderia aparecer com a abertura voltada para a direita, esquerda, para cima ou para baixo. O sujeito testado tinha que indicar a orientação da abertura do C.

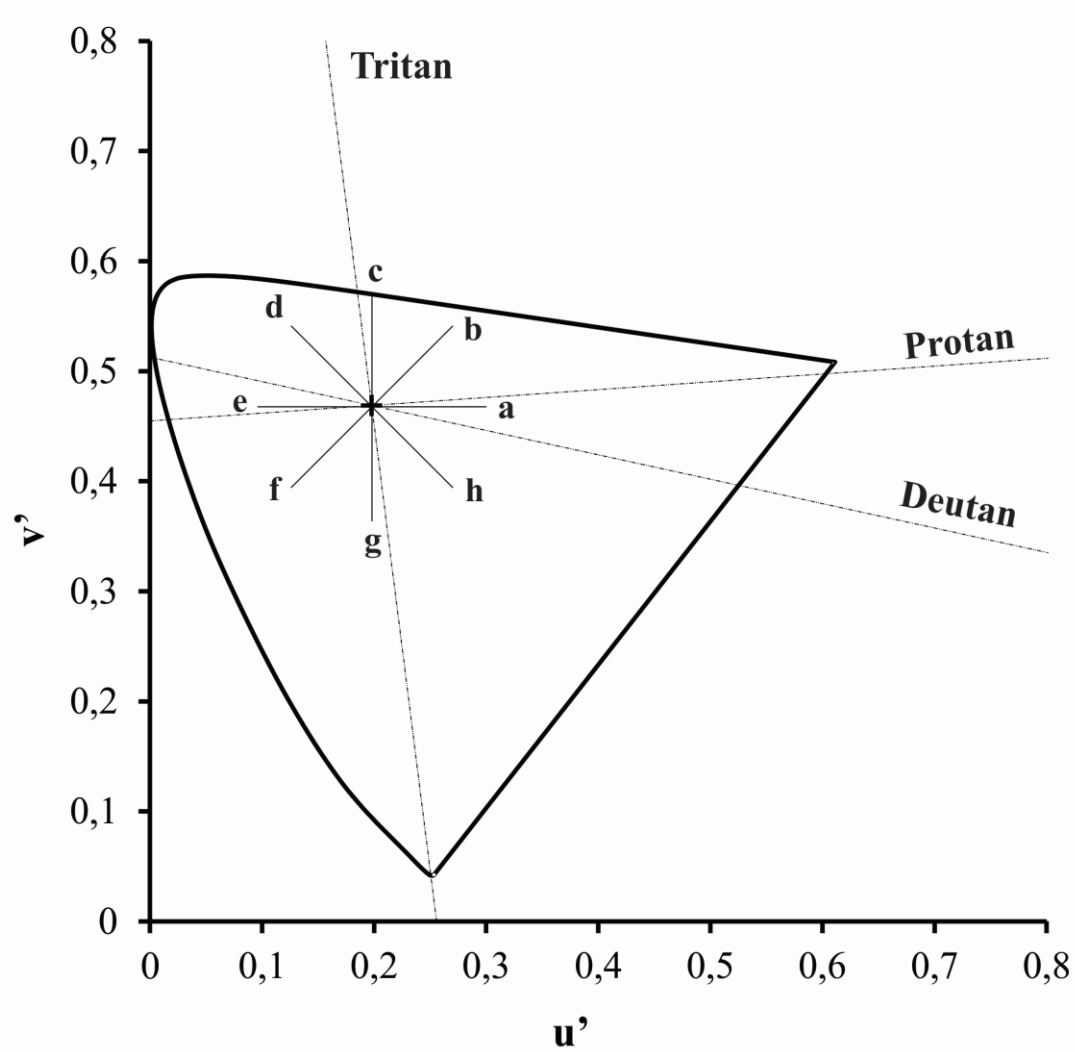


Figura 11. Vetores utilizados pelo teste CCT no espaço de cor da CIE 1976. A cromaticidade do alvo é comandada por oito vetores espaçados a 45° um dos outros. (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h) representam os ângulos de rotação 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°, respectivamente. As linhas tracejadas representam os eixos de confusão de cor protan, deutan e tritan. A linha contínua representa os valores limítrofes do espaço de cor da CIE 1976.

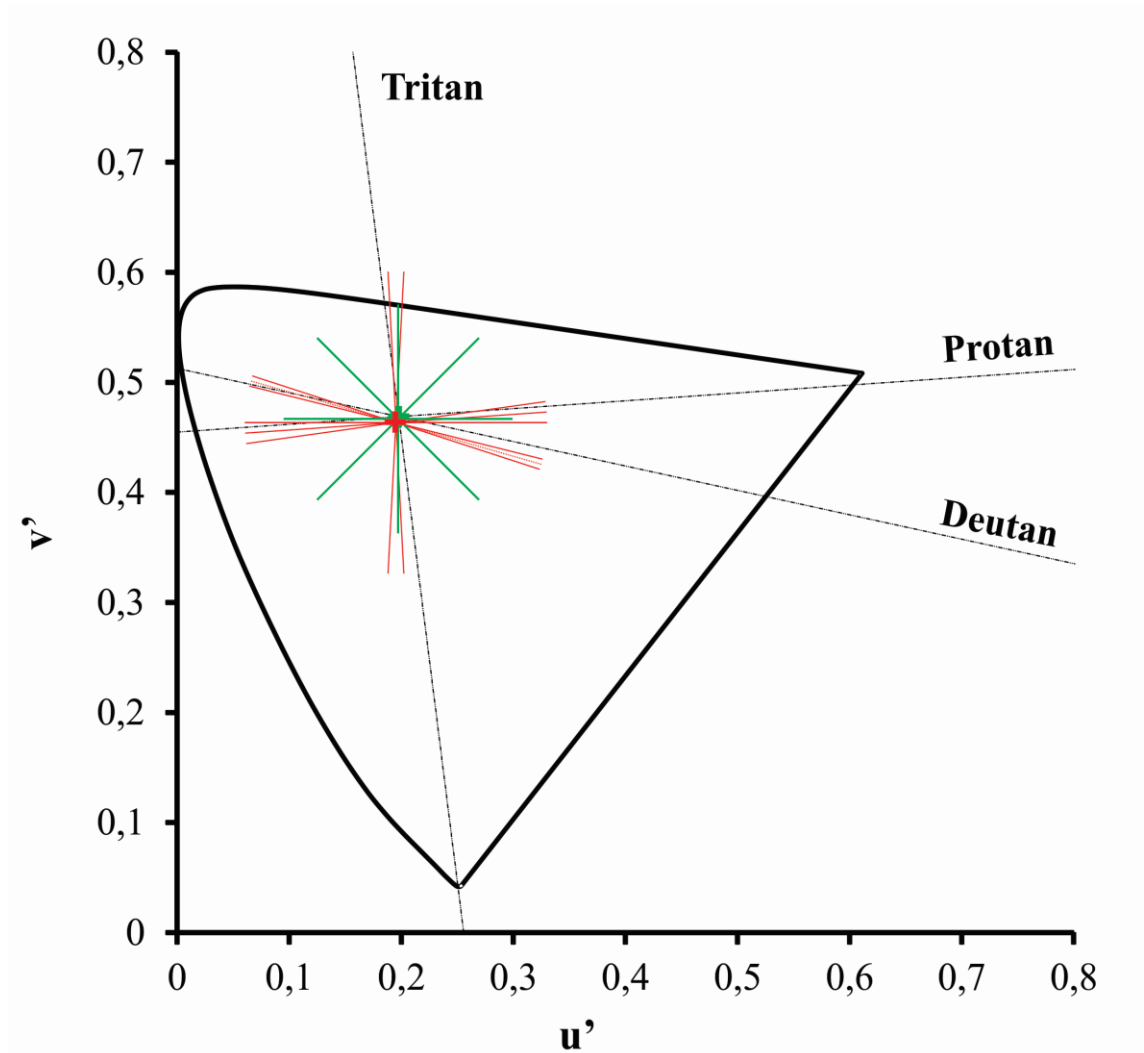


Figura 12. Coordenadas centrais dos testes CAD e CCT com seus respectivos vetores no espaço de cor da CIE 1976. As cruzes vermelha e verde representam as coordenadas centrais dos testes CAD ($u' = 0,1947$, $v' = 0,4639$) e CCT ($u' = 0,1977$, $v' = 0,4689$), respectivamente. As linhas contínuas vermelhas e verdes representam os vetores utilizados para avaliar os limiares de discriminação cromática dos testes CAD e CCT, respectivamente. As linhas tracejadas representam os eixos de confusão de cor protan, deutan e tritan. A linha contínua representa os valores limítrofes do espaço de cor da CIE 1976.

2.3. ANÁLISE DE DADOS

Os dados dos testes CAD e CCT foram extraídos e analisados através dos programas Microsoft Excel® 2007, BioEstat® 5.3 e MATLAB® R2012a.

Os dados de limiar de discriminação de cor nos diferentes eixos cromáticos em cada teste foram usados para encontrar o melhor modelo de elipse que se ajustava a eles. Foi utilizado o método elipsóide de Khachiyan para determinar as elipses de discriminação de cor em cada teste. A partir das elipses foram extraídos os valores de área, ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan, deutan e tritan. Os valores de área da elipse foram multiplicados por dez elevado a potência e os valores de tamanho dos vetores protan, deutan e tritan foram multiplicados por dez para auxiliar na visualização dos dados.

Para a análise da estatística descritiva dos testes CAD e CCT, a amostra deste estudo foi subdividida em dois grupos: grupo avaliado pelo teste CAD, composto por 95 sujeitos, e grupo avaliado pelo teste CCT, composto por 68 indivíduos. Para cada grupo foi realizada as medidas da mediana, 1º e 3º quartis e percentis de 2,5% e 97,5% para os parâmetros de área da elipse, ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan, deutan e tritan. Para avaliar a diferença de discriminação de cores entre tricromatas e discromatópsicos em cada um dos testes foram utilizados os testes de Kruskal-Wallis para análise não paramétrica, ou ANOVA de uma via, para análise paramétrica, com nível de significância de 0,05. Quando necessário foi aplicado teste post-hoc de Dunn seguindo a análise Kruskal-Wallis ou teste de Tukey seguindo a análise do ANOVA uma via.

Para avaliar a relação entre os resultados dos testes CAD e CCT, foi analisada a razão dos resultados de limiares de discriminação de cor entre os dois testes nos diferentes subgrupos avaliados. Em seguida, foi feita a análise de variância para cada parâmetro utilizando os testes de Kruskal-Wallis ou ANOVA de uma via com nível de significância de 0,05. Quando necessário foi aplicado teste post-hoc de Dunn ou teste de Tukey. Além disso, foi feita uma análise da dispersão dos dados de cada parâmetro entre os dois testes e dos parâmetros de cada teste sendo analisados em conjunto. Na análise da dispersão dos dados de cada parâmetro foi utilizada uma linha de razão um para representar a equivalência ideal entre os resultados de ambos os testes. Quanto mais próximos à linha de razão estiverem os resultados de dispersão dos critérios analisados nos subgrupos amostrais, maior será a equivalência entre esses parâmetros. O critério escolhido para determinar a equivalência

destes parâmetros a linha de razão 1, será a razão dos resultados dos parâmetros entre ambos os testes analisados.

Foi testada a correlação entre os resultados dos testes CAD e CCT através de três modelos: linear, exponencial e potência. Cada modelo de correlação testado foi avaliado através do erro padrão da regressão (EPR) e da análise de resíduos. O erro padrão da regressão é uma medida que avalia o desvio padrão total dos valores encontrados no ajuste com os valores dos dados. Quanto mais próximo a zero for o valor encontrado por este índice, menor será o erro do valor do componente aleatório, assim melhor será o ajuste deste modelo aos dados.

Para avaliar a concordância dos parâmetros avaliativos da discriminação de cor dos testes CAD e CCT, foi utilizada a análise de concordância entre métodos de Bland-Altman. Este método faz uso de uma análise gráfica obtida a partir das diferenças entre os valores medidos em ambos os testes e a média entre os valores medidos em ambos os testes em conjunto com dois desvios padrões. Para avaliar se os dados de ambos os testes concordavam estatisticamente foi usado o teste T de Student para uma amostra com média de valor zero para avaliar a dispersão dos valores de diferença das medidas. No caso do resultado do teste T de Student para uma amostra apresentar $p > 0,05$, os dados obtidos em ambos os testes foram considerados concordantes.

3. RESULTADOS

3.1. DISPERSÃO DOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE CORES

Nas **Figuras 13 a 18** são exibidas as dispersões dos limiares de discriminação de cor dos subgrupos tricromata, protan e deutan estimados pelos testes CAD e CCT. Nas **Figuras 13 e 14**, os dados de dispersão de limiares de discriminação de cor dos sujeitos tricromatas são apresentados juntos com as elipses referentes aos percentis 2,5%, 50% e 97,5% para os resultados do CAD e do CCT, respectivamente. Nas **Figuras 15 a 18**, os dados de dispersão dos limiares de discriminação de cor dos sujeitos discromatópicos são exibidos junto à elipse referente ao percentil de 97,5% dos sujeitos tricromatas.

A dispersão dos dados do subgrupo tricromata apresentou maior coeficiente de variação nos ângulos de rotação: 164°, 343° e 350° no teste CAD e 90°, 180° e 225° no teste CCT. A dispersão dos dados do subgrupo protan apresentou maior coeficiente de variação nos ângulos de rotação: 93°, 184° e 267° no teste CAD e 90°, 135° e 315° no teste CCT. A dispersão dos dados do subgrupo deutan apresentou maior coeficiente de variação nos ângulos de rotação: 180°, 188° e 267° no teste CAD e 0°, 90° e 135° no teste CCT. Na **Tabela 3** são exibidos os três maiores valores de coeficiente de variação dos ângulos de rotação avaliados nos testes CAD e CCT.

Tabela 3. Dados de coeficiente de variação dos ângulos de rotação dos testes CAD e CCT.

	Coeficiente de variação (Ângulo de rotação)					
	CAD			CCT		
Subgrupo tricromata	0,31 (343°)	0,31 (350°)	0,34 (164°)	0,34 (180°)	0,36 (90°)	0,36 (225°)
Subgrupo protan	0,36 (93°)	0,35 (267°)	0,39 (184°)	0,66 (90°)	0,63 (315°)	0,71 (135°)
Subgrupo deutan	0,42 (180°)	0,34 (188°)	0,36 (267°)	0,49 (135°)	0,53 (0°)	0,61 (90°)

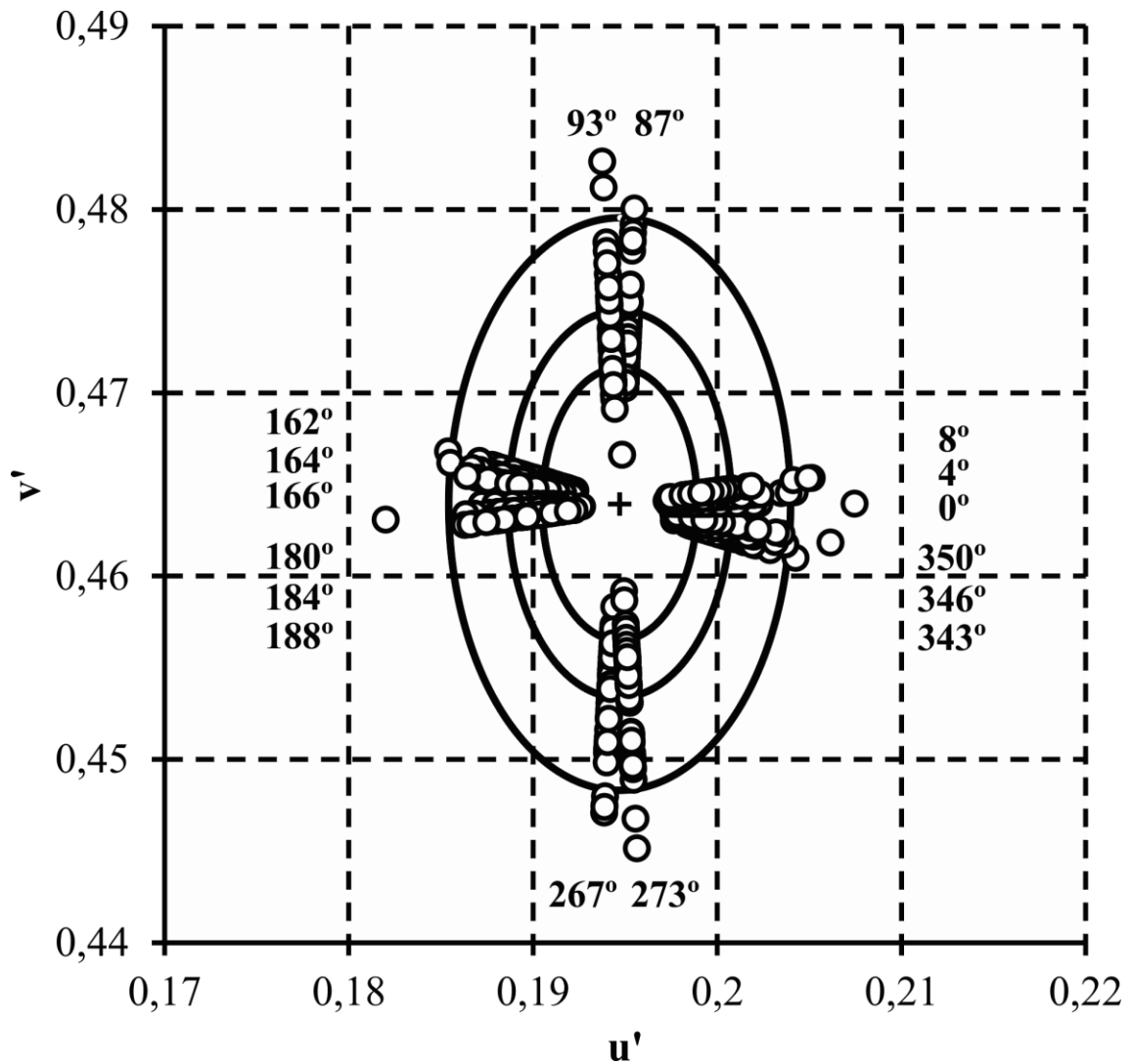


Figura 13. Dispersão dos dados de limiaries em elipses de discriminação de cor do subgrupo tricromata para o teste CAD. A distribuição dos limiaries é comparada a três elipses de discriminação de cor correspondentes aos limites de percentil 2,5% (elipse mais interna), 50% (elipse intermediária) e 97,5% (elipse mais externa).

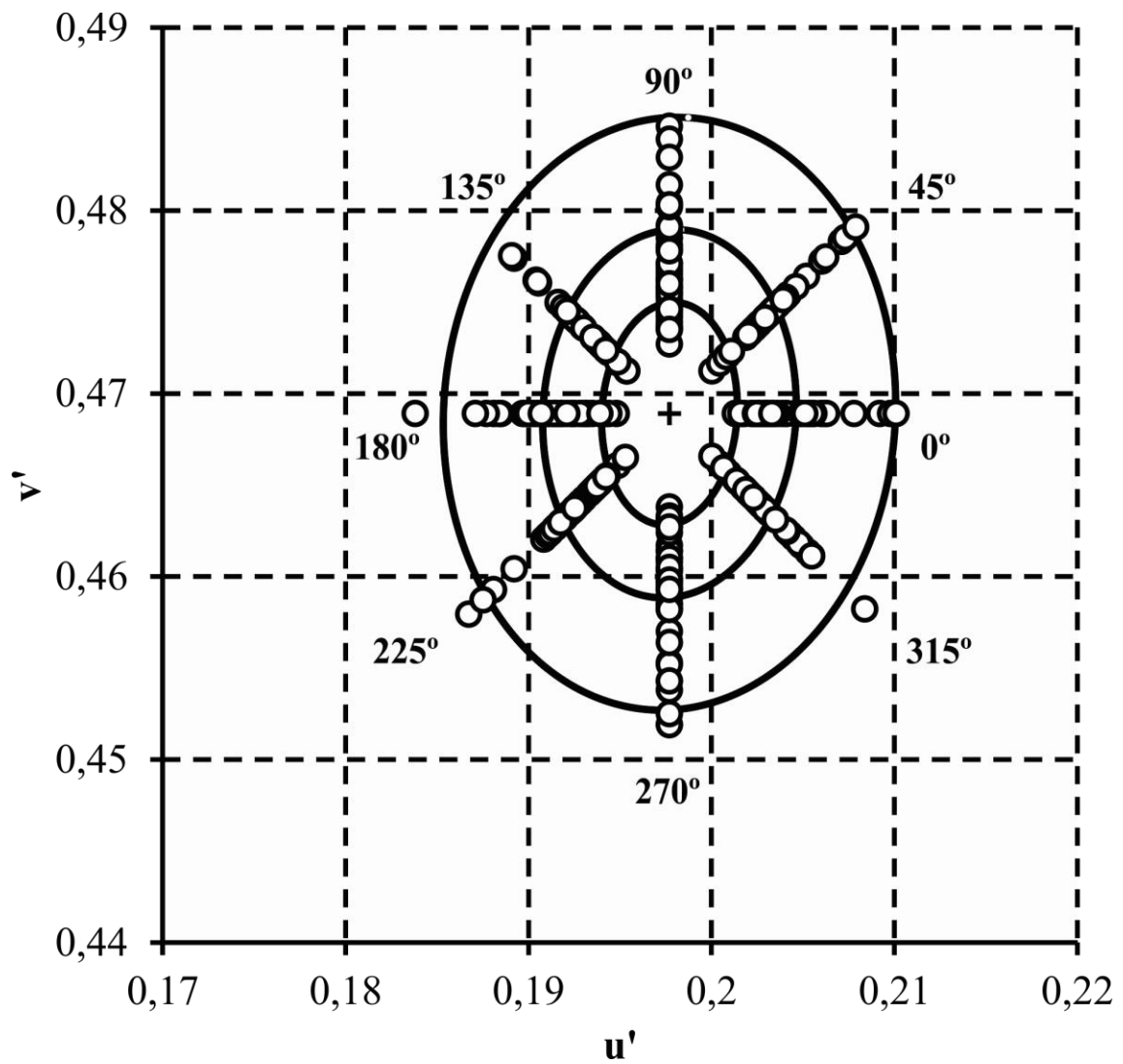


Figura 14. Dispersão dos dados de limiars em elipses de discriminação de cor do subgrupo tricromata para o teste CCT. A distribuição dos limiars é comparada a três elipses de discriminação de cor correspondentes aos limites de percentil 2,5% (elipse mais interna), 50% (elipse intermediária) e 97,5% (elipse mais externa).

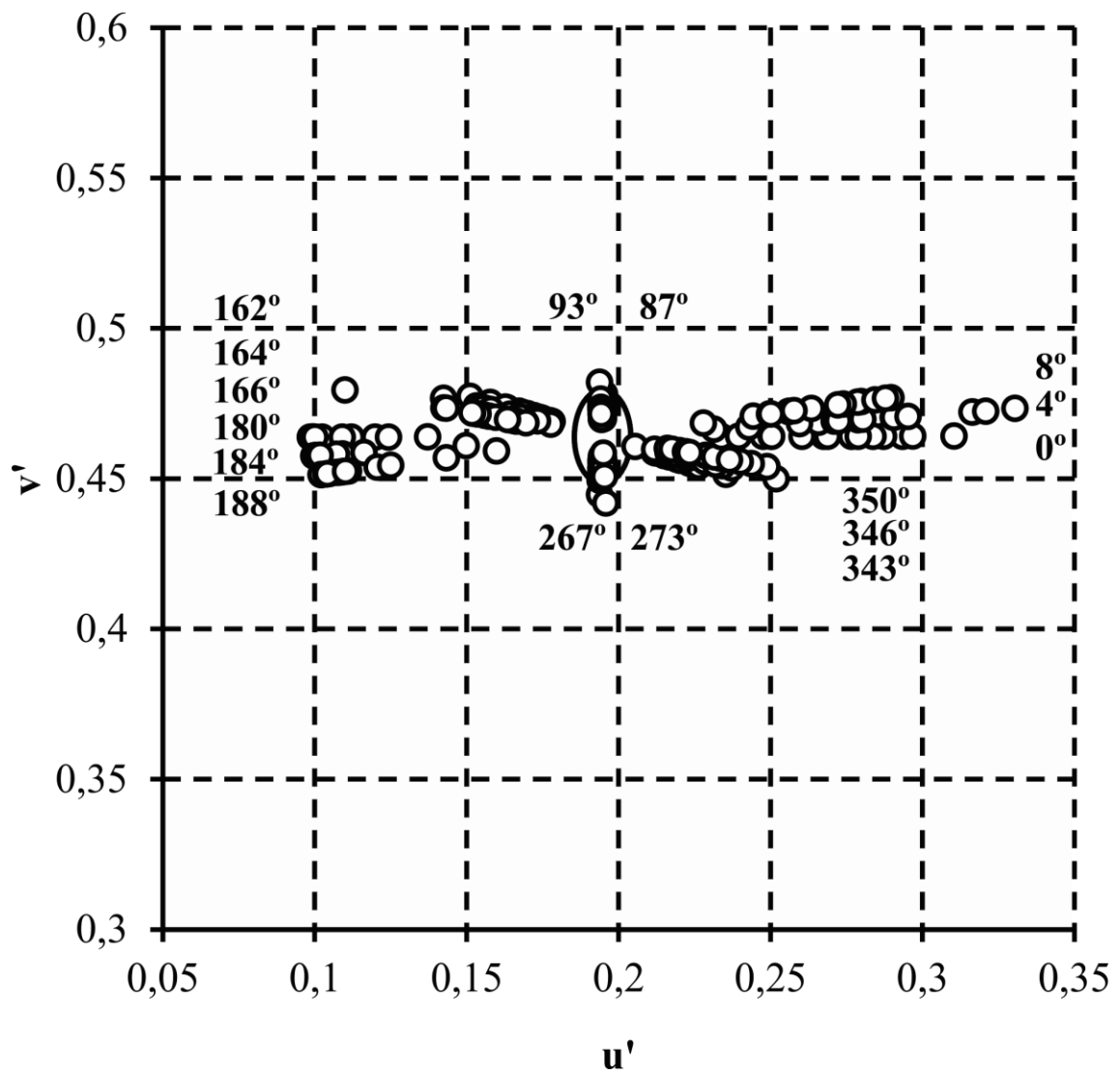


Figura 15. Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo protan no teste CAD. A dispersão dos dados é comparada a elipse correspondente ao percentil 97,5% do subgrupo tricromata.

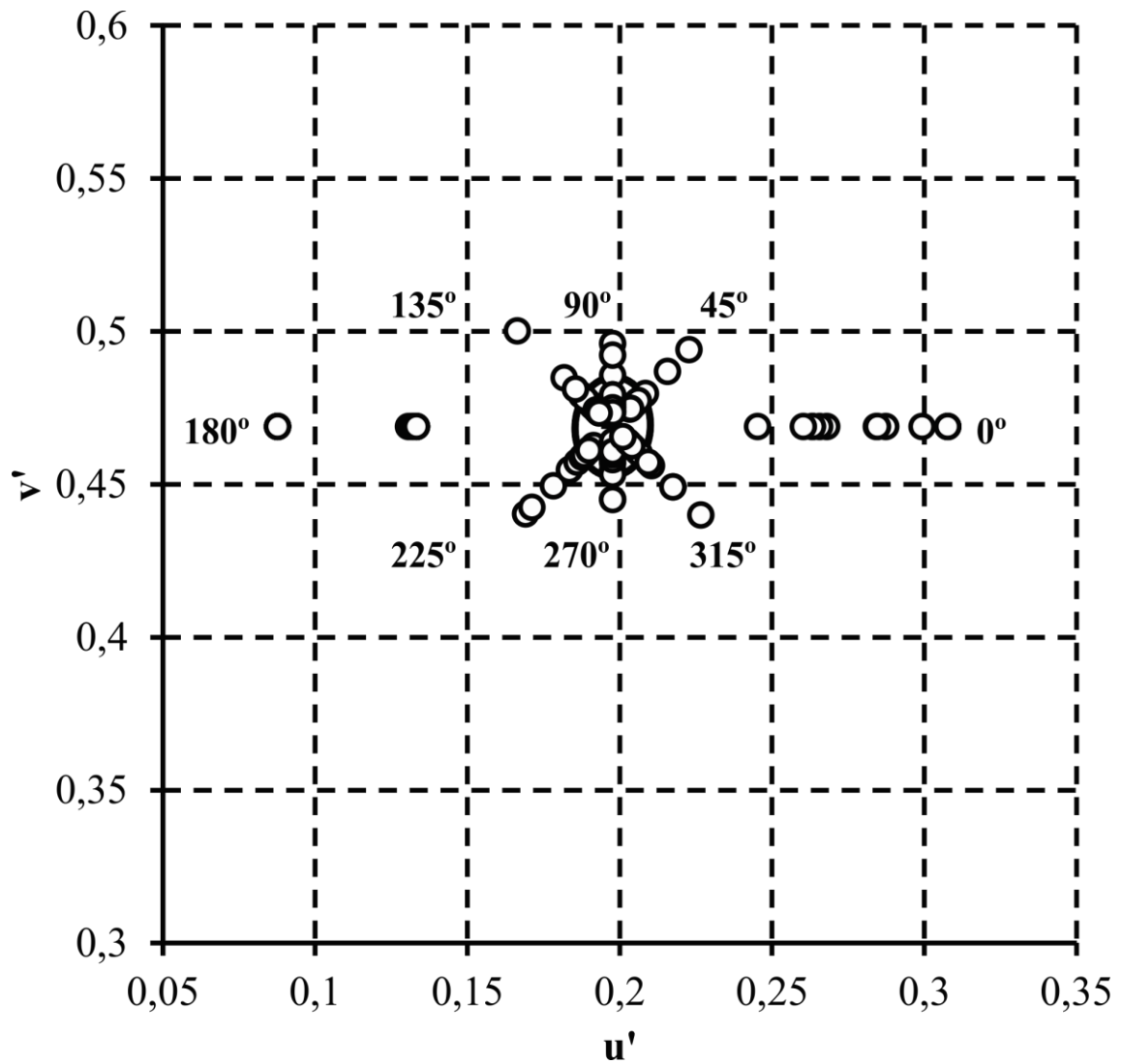


Figura 16. Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo protan no teste CCT. A dispersão dos dados é comparada a elipse correspondente ao percentil 97,5% do subgrupo tricromata.

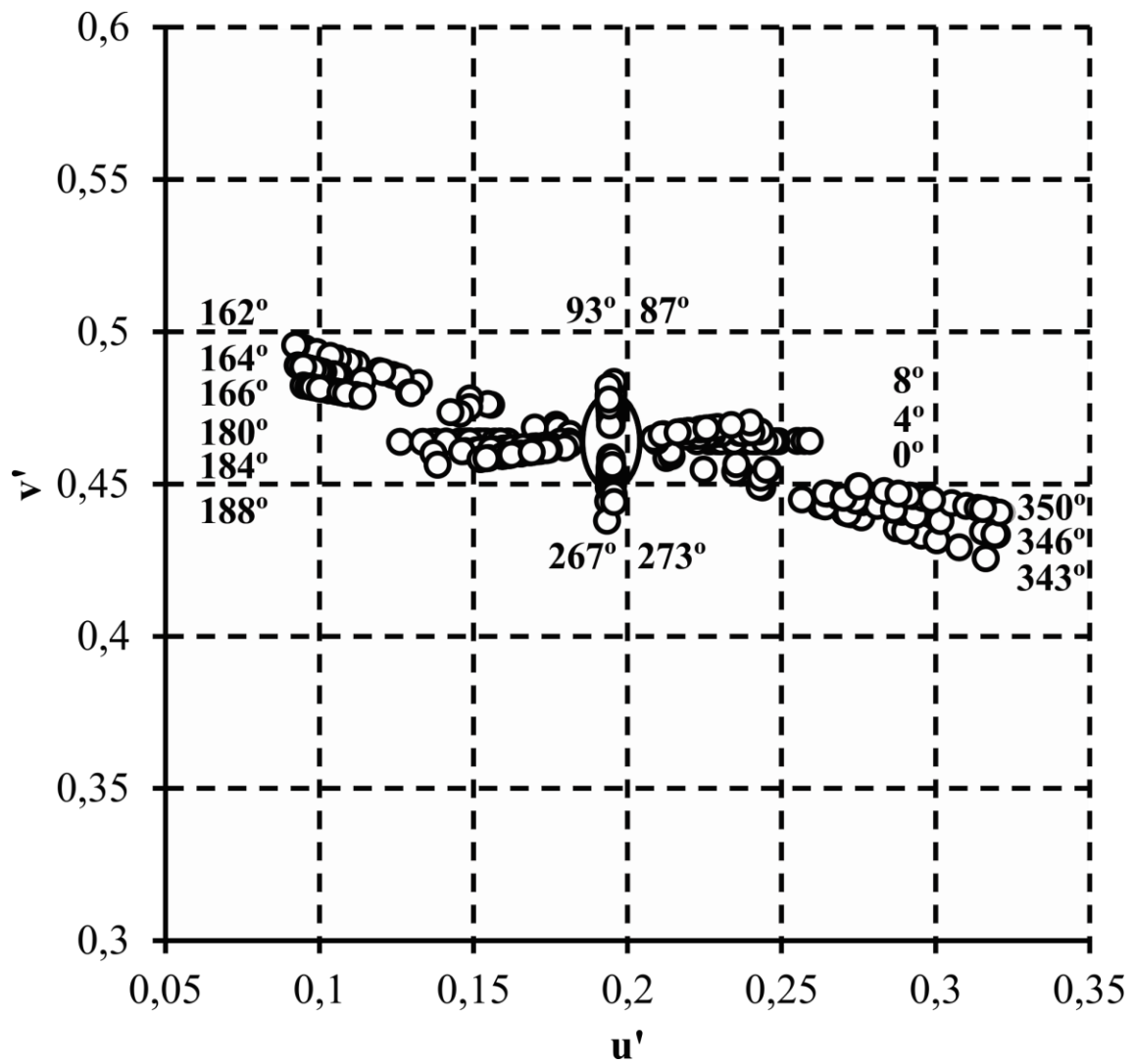


Figura 17. Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo deutan no teste CAD. A dispersão dos dados é comparada a elipse correspondente ao percentil 97,5% do subgrupo tricromata.

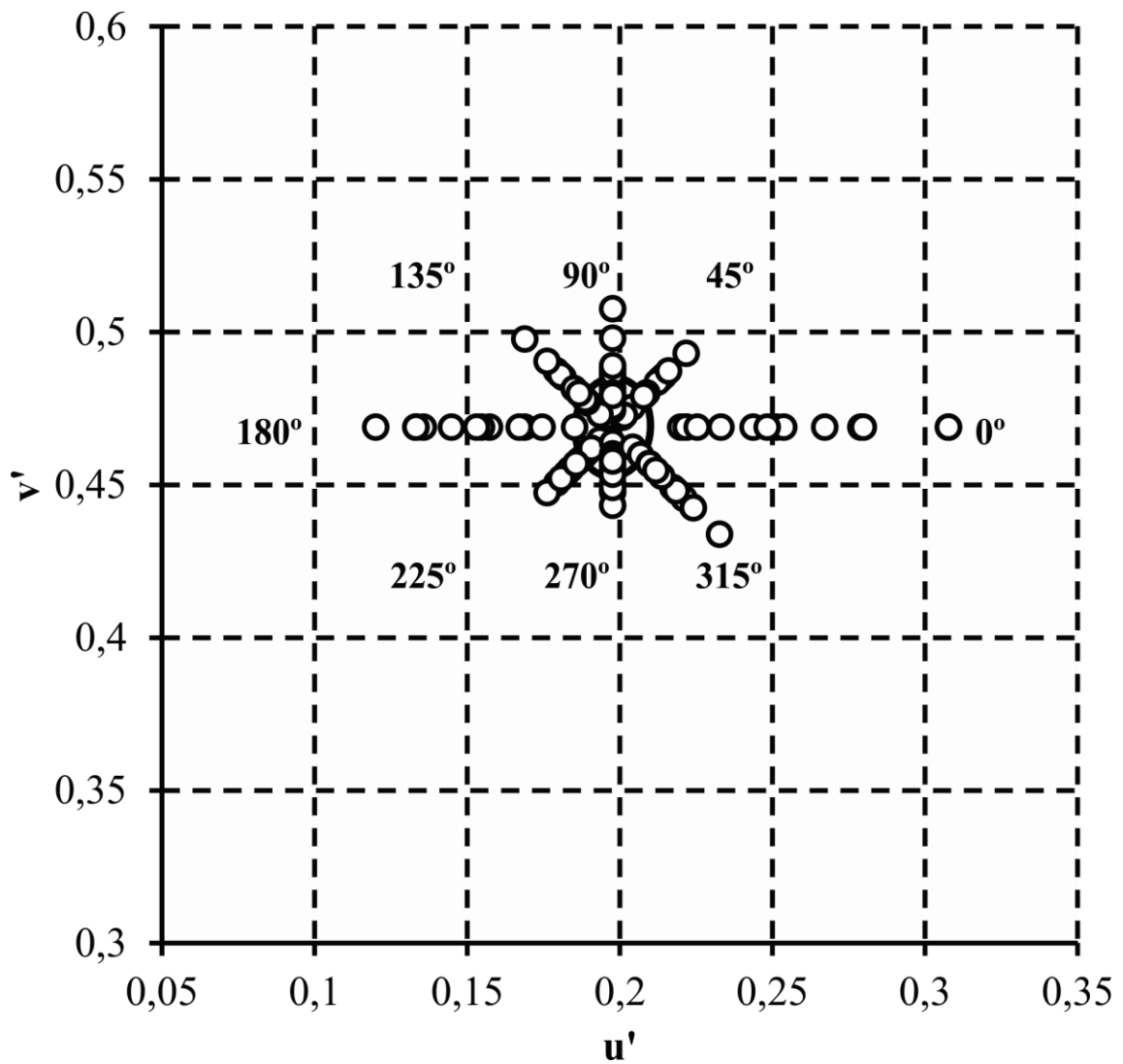


Figura 18. Dispersão dos dados de limiares em elipses de discriminação de cor do subgrupo deutan no teste CCT. A dispersão dos dados é comparada a elipse correspondente ao percentil 97,5% do subgrupo tricromata.

3.2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS AVALIATIVOS DA DISCRIMINAÇÃO DE COR

A **Tabela 4** apresenta a estatística descritiva dos critérios analisados a partir das elipses de discriminação de cor do teste CAD. O subgrupo tricromata apresentou menores valores de área da elipse, tamanho dos vetores protan e deutan quando comparada com os subgrupos discromatópsicos ($p < 0,05$). No parâmetro de ângulo de rotação, o subgrupo tricromata exibiu diferença estatística entre os subgrupos protan e deutan ($p < 0,05$). O subgrupo deutan exibiu maior tamanho do vetor tritan do que os subgrupos tricromata e protan ($p < 0,05$).

Na **Tabela 5** é exibida a estatística descritiva dos parâmetros avaliativos de discriminação de cor do teste CCT. Para os critérios de área e tamanho dos vetores protan e deutan, o subgrupo tricromata exibiu menores valores do que os subgrupos discromatópsicos ($p < 0,05$). Para o parâmetro de ângulo de rotação, o subgrupo tricromata apresentou diferença estatística entre os subgrupos discromatópsicos ($p < 0,05$). No parâmetro de vetor tritan, o subgrupo tricromata exibiu diferença estatística somente com o subgrupo deutan ($p < 0,05$).

Tabela 4. Descrição estatística dos parâmetros de limiares de discriminação cromática do teste CAD.

<i>Colour Assessment and Diagnosis</i>					
Subgrupo tricromata					
	Área($\times 10^3$)	Âng. de rot.	V. Protan($\times 10$)	V. Tritan($\times 10$)	V. Deutan($\times 10$)
Mediana	0,1825*	87,28*	0,057	0,098	0,061
P2,5%	0,1109	84,4050	0,0428	0,0738	0,0444
P97,5%	0,4131	100,4550	0,0936	0,1498	0,0988
1° Quartil	0,1439	86,1000	0,0519	0,0861	0,0542
3° Quartil	0,2483	94,2000	0,0690	0,1170	0,07090
Subgrupo protan					
	Área($\times 10^3$)	Âng. de rot.	V. Protan($\times 10$)	V. Tritan($\times 10$)	V. Deutan($\times 10$)
Mediana	3,8000	3,9000	1,0095	0,1075	0,3364
P2,5%	1,7470	2,9722	0,2345	0,03800	0,1125
P97,5%	5,6863	5,3103	1,2174	0,1832	0,5257
1° Quartil	2,5897	3,4010	0,8020	0,0874	0,2777
3° Quartil	4,6540	3,9017	1,1052	0,1317	0,4297
Subgrupo deutan					
	Área($\times 10^3$)	Âng. de rot.	V. Protan($\times 10$)	V. Tritan($\times 10$)	V. Deutan($\times 10$)
Mediana	3,7781	168,1000	0,3980	0,1345	1,0050
P2,5%	1,1811	162,7500	0,2234	0,0849	0,3481
P97,5%	8,0317	169,5321	0,6002	0,2244	1,3016
1° Quartil	3,4000	166,8533	0,3610	0,1125	0,8735
3° Quartil	5,4000	168,8000	0,4578	0,1523	1,2058
p	< 0,05*	< 0,05*	< 0,05*	< 0,05**	< 0,05*

Âng. de rot., Ângulo de rotação; *Sujeitos tricromatas diferem de sujeitos deutans e protans ($p < 0,05$); ** Sujeitos deutans diferem dos sujeitos tricromatas e protans ($p < 0,05$).

Tabela 5. Descrição estatística dos parâmetros de limiares de discriminação cromática do teste CCT.

<i>Cambridge Colour Test</i>					
Subgrupo tricromata					
	Área($\times 10^3$)	Âng. de rot.	V. Protan($\times 10$)	V. Tritan($\times 10$)	V. Deutan($\times 10$)
Mediana	0,2083	90	0,0654	0,0900	0,0672
P2,5%	0,0679	64,5086	0,0365	0,0603	0,0381
P97,5%	0,5630	105,16304	0,1225	0,1494	0,1239
1° Quartil	0,1541	85,8126	0,0595	0,0760	0,0601
3° Quartil	0,2613	90	0,0772	0,1111	0,0741
Subgrupo protan					
	Área($\times 10^3$)	Âng. de rot.	V. Protan($\times 10$)	V. Tritan($\times 10$)	V. Deutan($\times 10$)
Mediana	2,7036	0	0,7495	0,1143	0,3873
P2,5%	1,6996	0	0,5746	0,0745	0,2765
P97,5%	8,8245	3,3970	1,0343	0,3112	0,7417
1° Quartil	2,2818	0	0,6595	0,0916	0,3503
3° Quartil	4,0382	0,2755	0,8992	0,1228	0,4595
Subgrupo deutan					
	Área($\times 10^3$)	Âng. de rot.	V. Protan($\times 10$)	V. Tritan($\times 10$)	V. Deutan($\times 10$)
Mediana	2,7000	175,5294	0,5177	0,1690	0,4687
P2,5%	0,7131	168,8680	0,2472	0,0704	0,2403
P97,5%	8,1400	178,7515	0,8049	0,3374	0,8129
1° Quartil	1,1564	173,1344	0,2978	0,1093	0,3030
3° Quartil	4,5000	178,2270	0,6644	0,1972	0,6090
p	< 0,05*	< 0,05*	< 0,05*	< 0,05**	< 0,05*

Âng. de rot., Ângulo de rotação; *Sujeitos tricromatas diferem de sujeitos deutans e protans ($p < 0,05$); **
Sujeitos tricromatas e deutan apresentam diferença estatística ($p < 0,05$).

3.3. RAZÃO ENTRE OS RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR

Na **Tabela 6** é apresentado à média e desvio padrão da razão dos valores dos critérios avaliados para os testes CAD e CCT.

Tabela 6. Média da razão e desvio padrão dos resultados dos dados de limiares de discriminação de cor entre os testes CAD e CCT.

	Subgrupo tricromata	Subgrupo protan	Subgrupo deutan
Área	1,03 ($\pm 0,64$)	1,13 ($\pm 0,37$)	1,68 ($\pm 0,93$)
Vetor Protan	0,89 ($\pm 0,29$)	1,25 ($\pm 0,23$)	0,90 ($\pm 0,32$)
Vetor Tritan	1,10 ($\pm 0,32$)	0,97 ($\pm 0,26$)	0,93 ($\pm 0,23$)
Vetor Deutan	0,91 ($\pm 0,28$)	0,87 ($\pm 0,14$)	2,06 ($\pm 0,82$)

O subgrupo tricromata exibiu valores próximos a média de 1 para os parâmetros de área da elipse e tamanho dos vetores tritan e deutan, mostrando a equivalência dos resultados apresentados em ambos os testes. Para o parâmetro de tamanho do vetor protan, o subgrupo tricromata exibiu valor abaixo de um, mostrando que os resultados deste subgrupo para este parâmetro apresentaram maiores valores no teste CCT. Quanto ao subgrupo protan, os resultados de área da elipse e tamanho do vetor tritan apresentaram comportamento similar aos do subgrupo tricromata ao exibir médias em torno de 1, no entanto no parâmetro de tamanho do vetor protan, o subgrupo protan expôs valores acima de 1, demonstrando que os resultados do teste CAD exibiam maiores valores que os resultados do teste CCT. Neste parâmetro, o subgrupo protan apresentou diferença estatística entre os subgrupos tricromatas e deutan ($p < 0,01$, ANOVA uma via). Para o parâmetro de tamanho do vetor deutan, o subgrupo protan apresentou resultados com média abaixo de um, exibindo resultados maiores deste parâmetro no teste CCT.

Para o subgrupo deutan, houve polarização dos resultados para os critérios analisados. Os parâmetros de tamanho de vetores protan e tritan apresentaram valores médios em torno de um, demonstrando proporcionalidade entre os resultados de ambos os testes, enquanto os parâmetros de área da elipse e o tamanho do vetor deutan exibiram valores acima de 1, mostrando que o teste CAD apresentou maiores valores nos resultados do que os do teste CCT, destacando-se o parâmetro de tamanho do vetor deutan, que exibiu resultados do

teste CAD duas vezes maiores do que os do teste CCT. No parâmetro de área, o subgrupo deutan exibiu diferença estatística entre o subgrupo tricromata ($p < 0,05$, Kruskal-Wallis) e no parâmetro de tamanho do vetor deutan, o subgrupo deutan apresentou diferença estatística entre os subgrupos tricromata e deutan ($p < 0,01$, Kruskal-Wallis).

3.4. DISPERSÃO DOS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR

Nas **Figuras 19 a 23** são exibidas as dispersões dos parâmetros avaliativos de discriminação de cor entre os testes CAD e CCT em conjunto com uma linha de razão 1. No parâmetro de área da elipse, os subgrupos tricromata e protan apresentaram dispersão de dados em torno da linha de razão um, exibindo equivalência entre os resultados em ambos os testes. Apesar da dispersão de alguns dados do subgrupo deutan apresentarem-se próximos a linha de razão um, a razão exibida por este subgrupo para este critério foi de 1,68, indicando que os resultados de área da elipse deste subgrupo apresentam maiores valores no teste CAD. Para o parâmetro de ângulo de rotação, todos os subgrupos amostrais apresentaram dispersão de resultados próxima a linha de razão um, demonstrando a equivalência deste parâmetro para ambos os testes. No parâmetro de tamanho do vetor protan, somente o subgrupo deutan apresentou a dispersão dos dados próximos à linha de razão um, enquanto o subgrupo tricromata exibiu razão igual a 0,89, demonstrando que os resultados deste subgrupo apresentam maiores valores no teste CCT, portanto exibindo maior dispersão de dados no eixo y correspondente ao teste CCT e o subgrupo protan exibiu razão igual a 1,25, indicando que neste subgrupo, os maiores valores de resultados pertencem ao teste CAD e possuem maior dispersão de dados no eixo x correspondente ao teste CAD. No parâmetro de tamanho do vetor deutan, somente o subgrupo tricromata apresentou dispersão dos resultados em torno da linha de razão um, enquanto o subgrupo protan exibiu valor de razão igual a 0,87, indicando que os resultados deste subgrupo apresentam maiores valores no teste CCT, e o subgrupo deutan apresentou o valor de razão igual a 2,06, demonstrando que os resultados deste subgrupo eram duas vezes maiores que os resultados expostos pelo teste CCT. Para o parâmetro de tamanho do vetor tritan, todos os subgrupos amostrais apresentaram dispersão de dados próximos à linha de razão um.

A análise da dispersão dos parâmetros entre os testes CAD e CCT permitiu também observar que houve separação dos dados dos subgrupos tricromata e discromatópicos para os critérios de área, ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan e deutan, e para o parâmetro de tamanho do vetor tritan houve sobreposição da dispersão dos dados entre os subgrupos tricromata e discromatópicos, como era esperado.

Na análise da dispersão dos parâmetros em conjunto de cada teste, observou-se que no teste CAD, todas as combinações de parâmetros de tamanho dos vetores apresentaram boa separação dos dados do subgrupo tricromata dos dados dos subgrupos discromatópicos,

destacando-se as combinações dos parâmetros tamanho do vetor protan-tamanho do vetor deutan e tamanho do vetor protan-tamanho do vetor tritan. No teste CCT, observou-se que na combinação dos parâmetros de tamanho do vetor deutan-tamanho do vetor tritan e tamanho do vetor protan-tamanho do vetor tritan, o subgrupo tricromata apresentou a dispersão de dados dispostos na linha de razão um, portanto, exibindo que estes conjuntos de parâmetros do teste CCT quando avaliados entre si, não apresentam uma distinção adequada entre cada parâmetro. Para a combinação de tamanho do vetor protan-tamanho do vetor deutan, observou-se que o subgrupo deutan apresentou a dispersão de dados próximos à linha de razão um, deste modo exibindo uma distinção inadequada destes parâmetros entre si. Os resultados da análise de dispersão dos parâmetros combinados podem ser vistos nas **Figuras 24 a 29**.

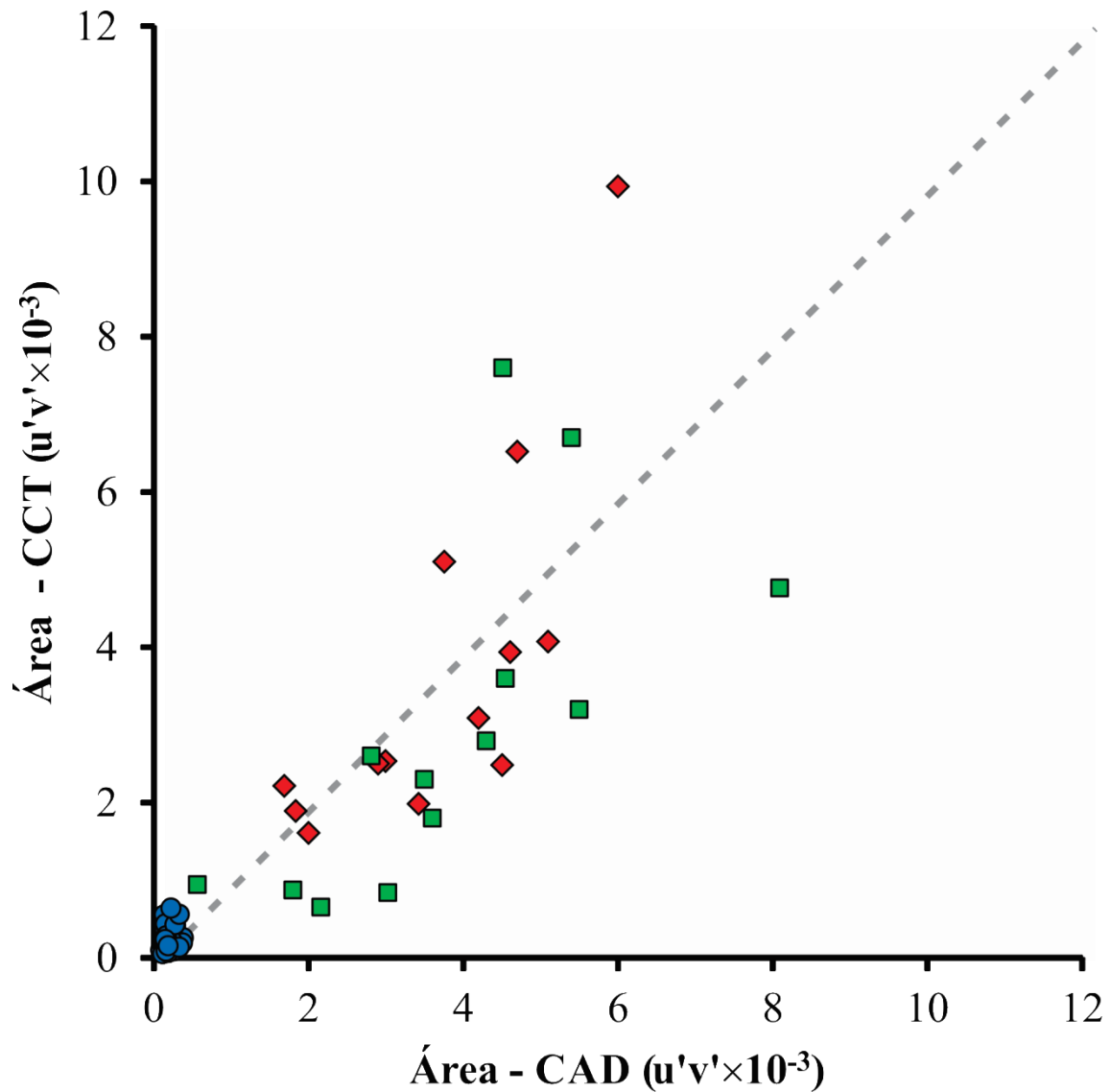


Figura 19. Dispersão do parâmetro de área da elipse para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados do parâmetro de área nos testes CAD e CCT. Os subgrupos tricromatas e protan mostraram equivalência de resultados de ambos os testes para esse parâmetro.

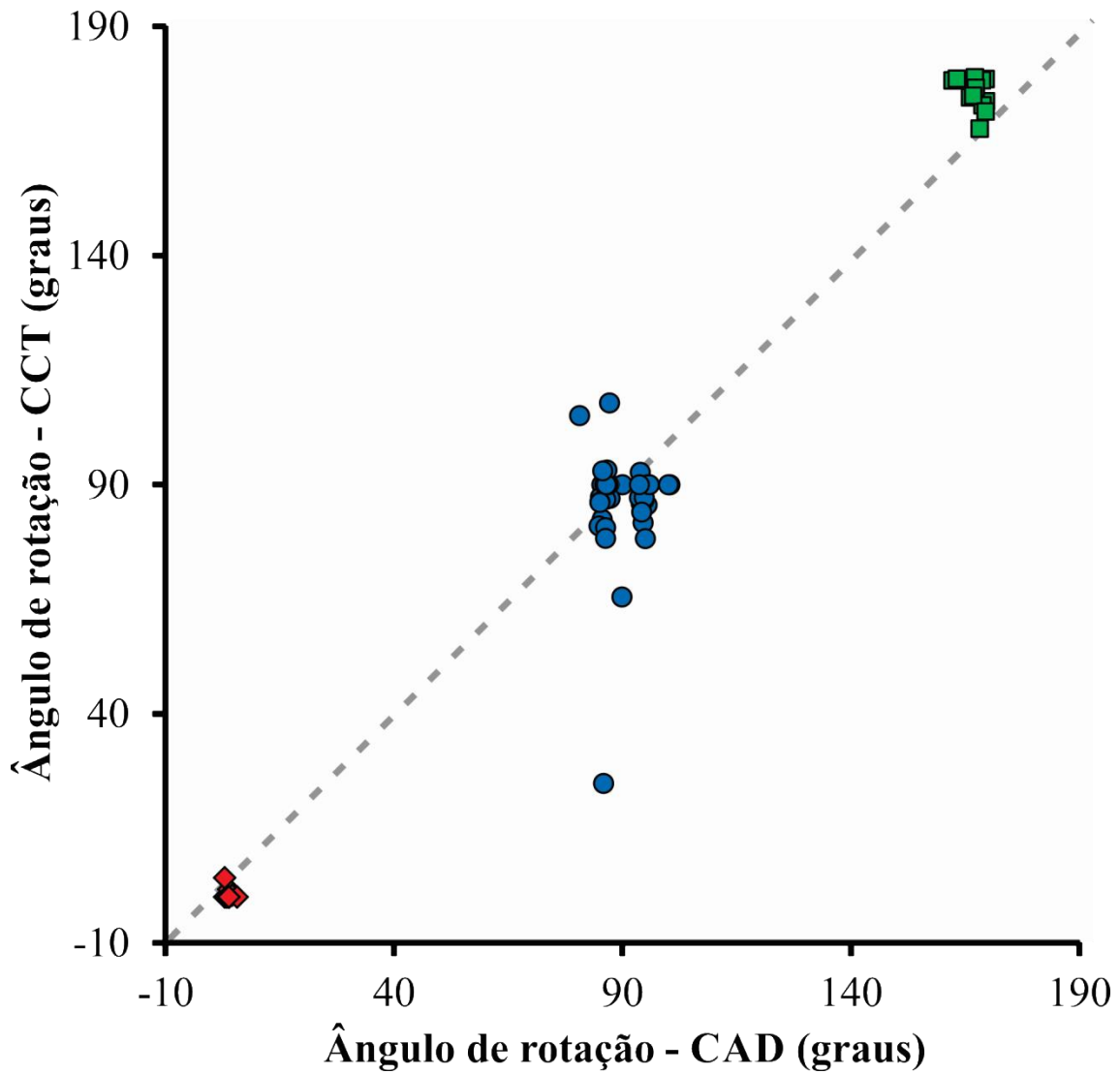


Figura 20. Dispersão do parâmetro de ângulo de rotação para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados do parâmetro de ângulo de rotação nos testes CAD e CCT. Todos os subgrupos amostrais apresentaram equivalência de resultados em ambos os testes neste parâmetro.

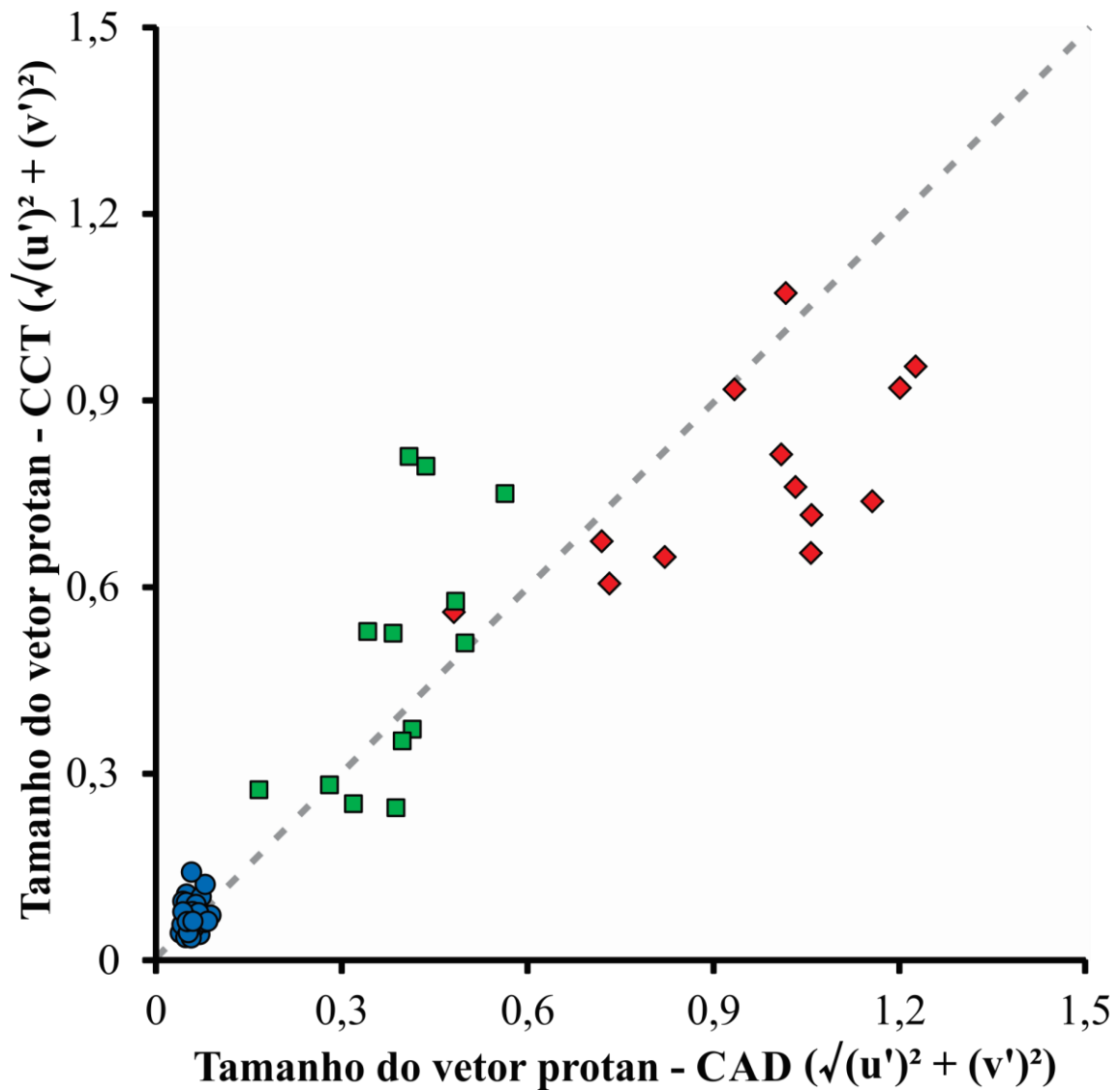


Figura 21. Dispersão do parâmetro de tamanho do vetor protan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados do parâmetro de tamanho do vetor protan nos testes CAD e CCT. Somente o subgrupo deutan apresentou equivalência de resultados em ambos os testes.

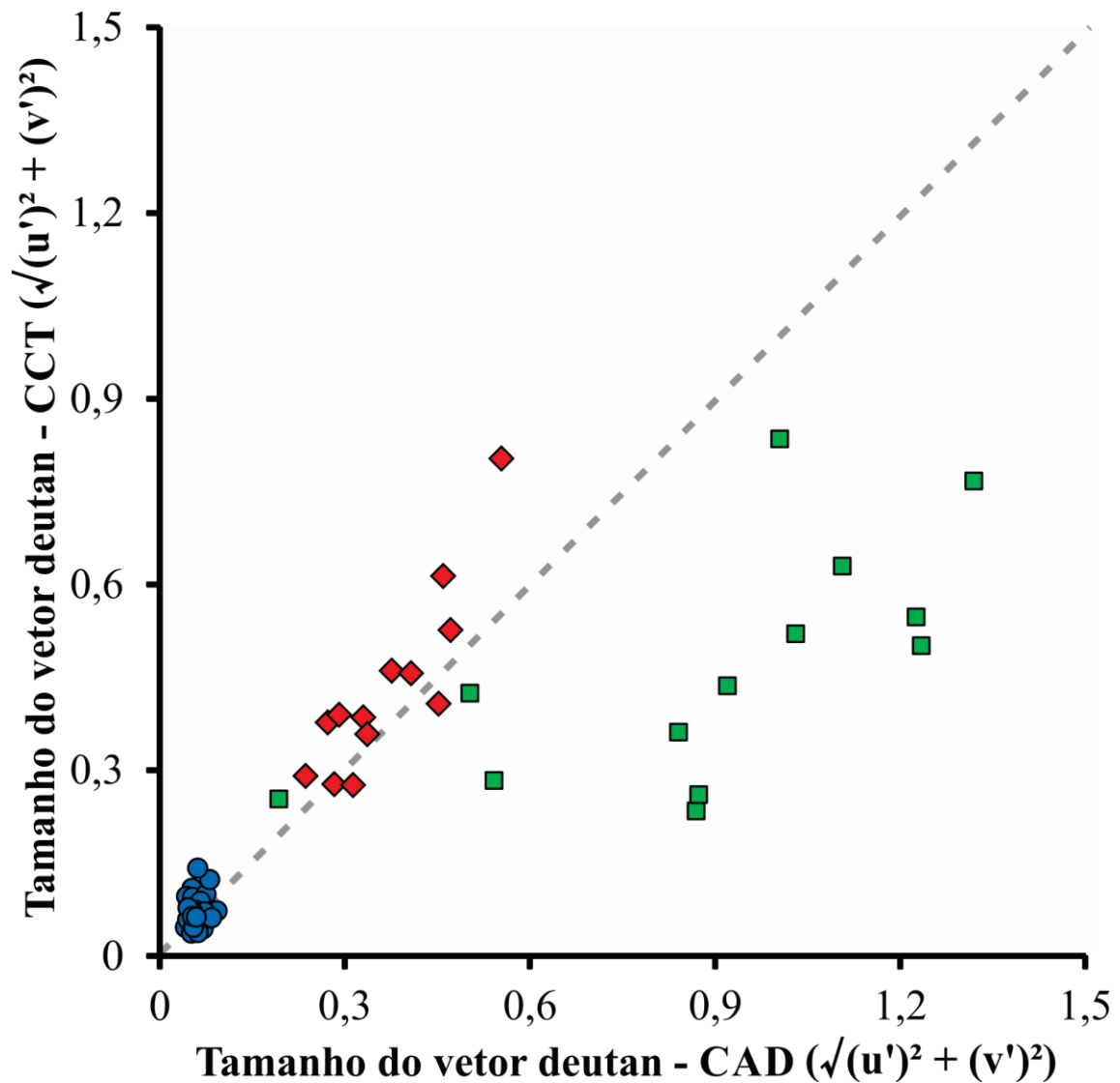


Figura 22. Dispersão do parâmetro de tamanho do vetor deutã para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutã: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados do parâmetro de tamanho do vetor deutã nos testes CAD e CCT. Somente o subgrupo tricromata apresentou equivalência de resultados em ambos os testes.

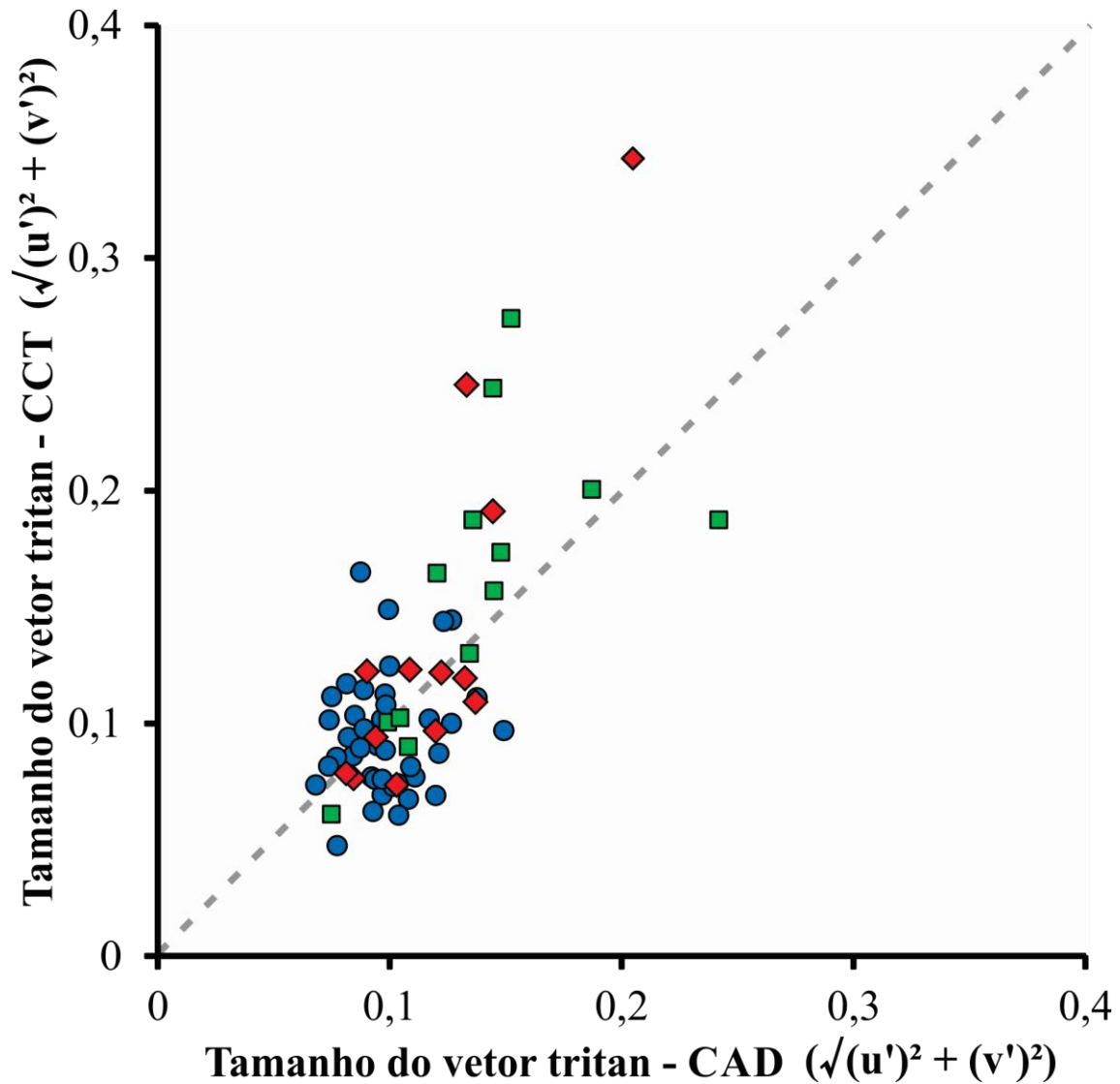


Figura 23. Dispersão do parâmetro de tamanho do vetor tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelos testes CAD e CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados do parâmetro de tamanho do vetor tritan nos testes CAD e CCT. Todos os subgrupos amostrais apresentaram equivalência de resultados em ambos os testes.

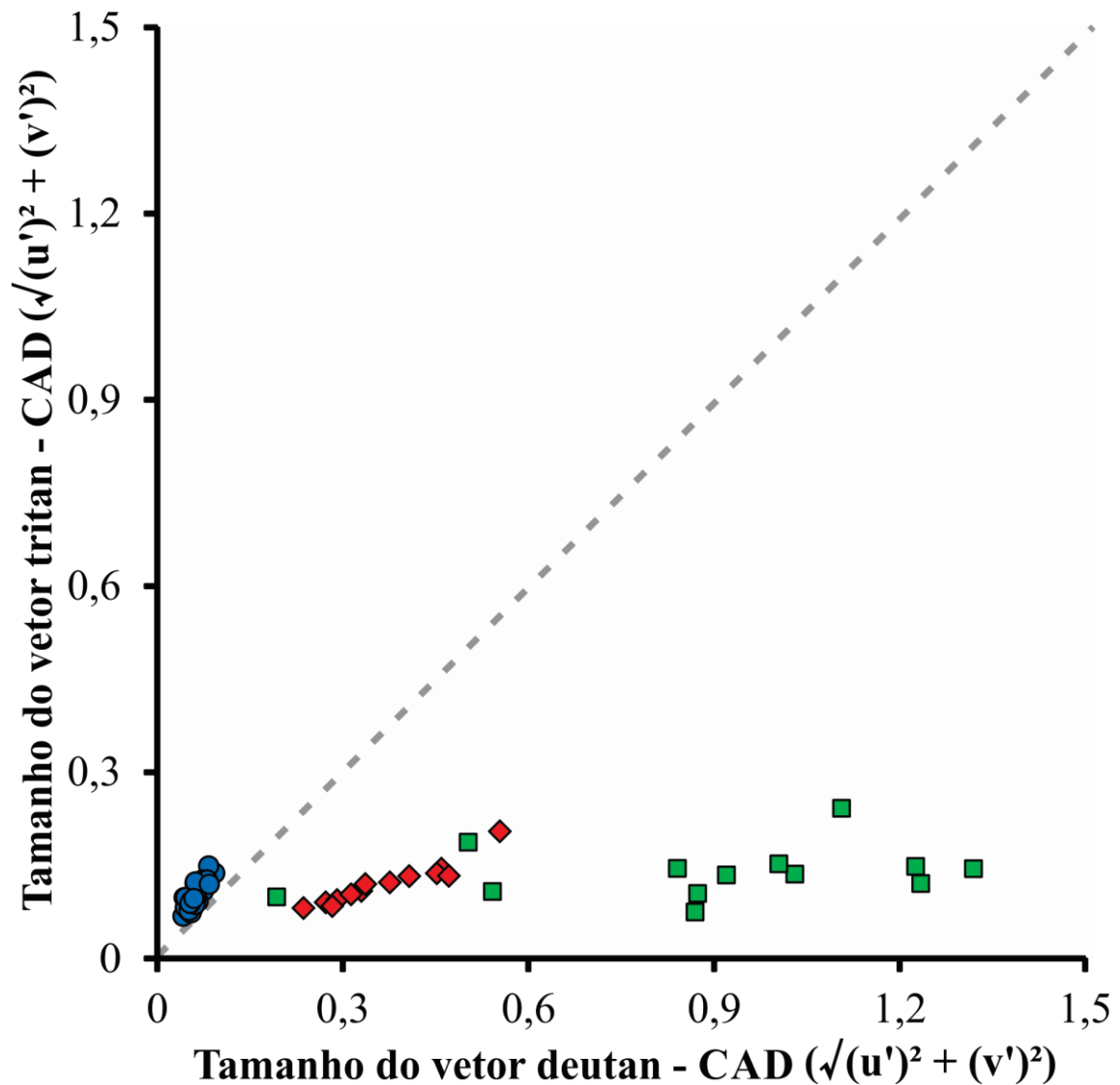


Figura 24. Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores deutan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CAD em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados dos parâmetros de tamanho dos vetores deutan e tritan no teste CAD. O subgrupo tricromata apresentou boa separação dos dados em relação aos subgrupos discromatopsicos.

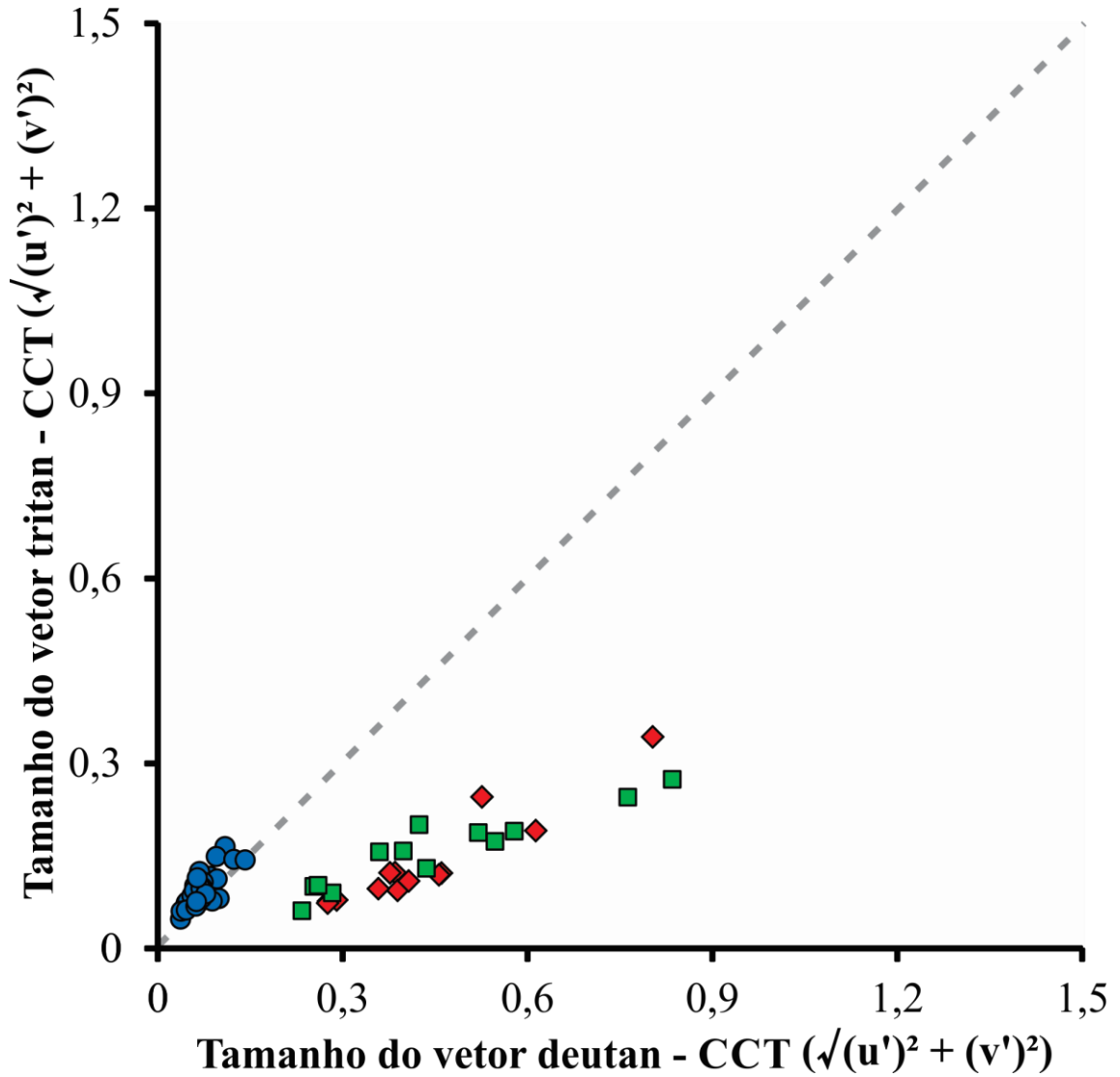


Figura 25. Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores deutan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados dos parâmetros de tamanho dos vetores deutan e tritan no teste CCT. O subgrupo tricromata apresentou dispersão dos dados semelhante para os parâmetros de tamanho dos vetores deutan e tritan, exibindo uma distinção inadequada destes parâmetros para este subgrupo.

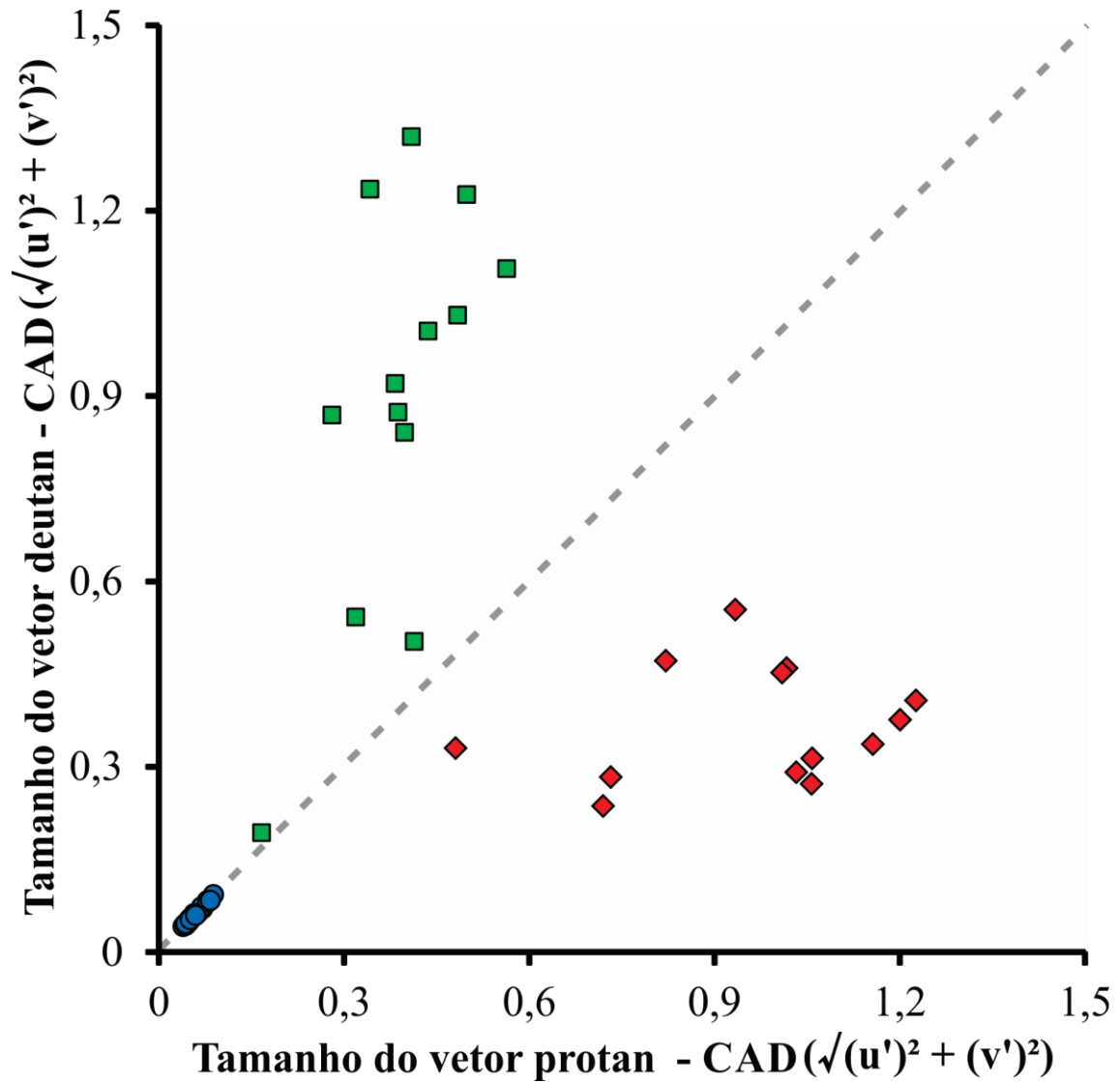


Figura 26. Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CAD em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan no teste CAD. Todos os subgrupos amostrais exibiram boa separação de dados.

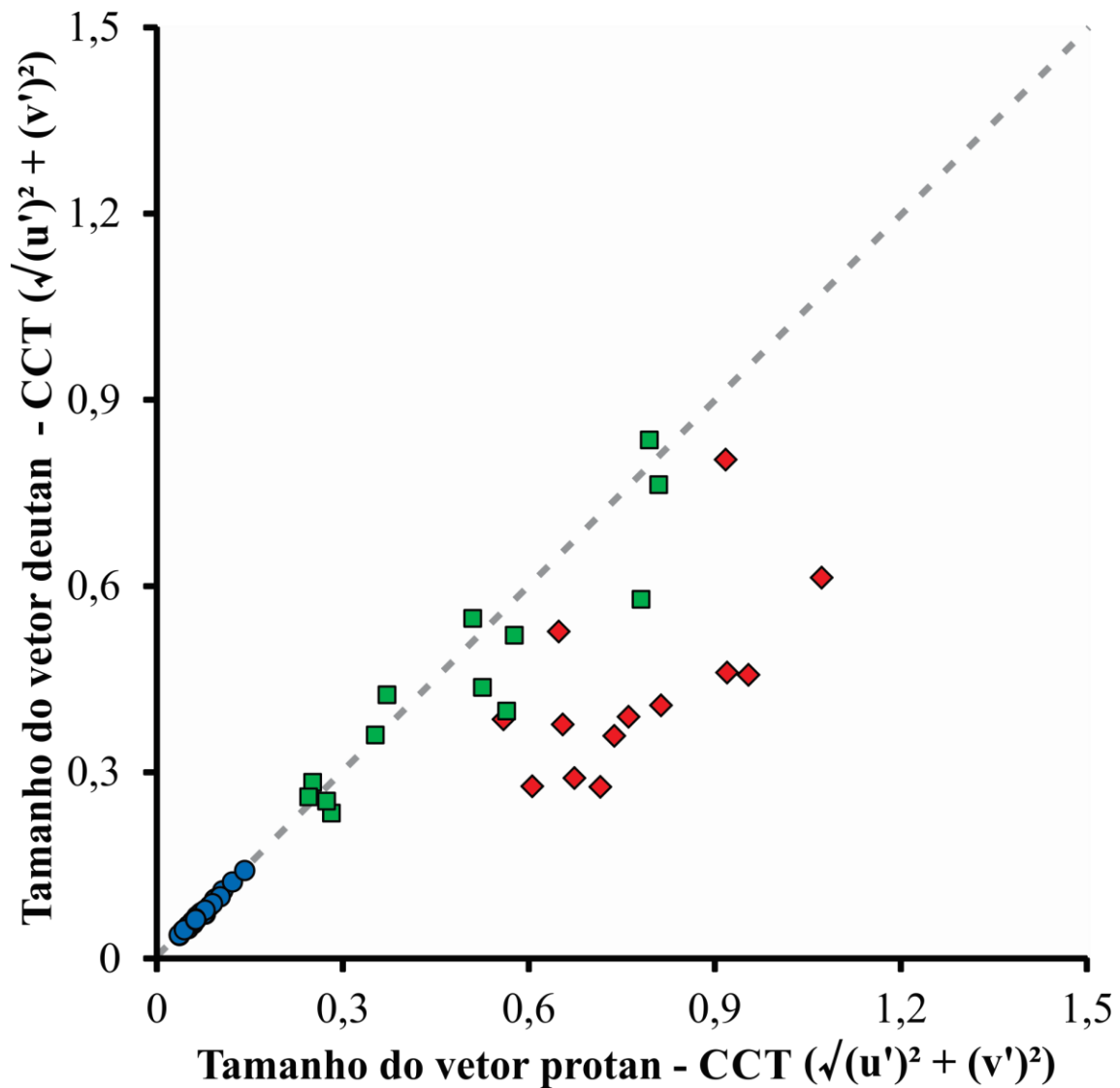


Figura 27. Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan no teste CCT. O subgrupo deutan apresentou dispersão de dados semelhante para os parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan, exibindo uma distinção inadequada destes parâmetros para este subgrupo.

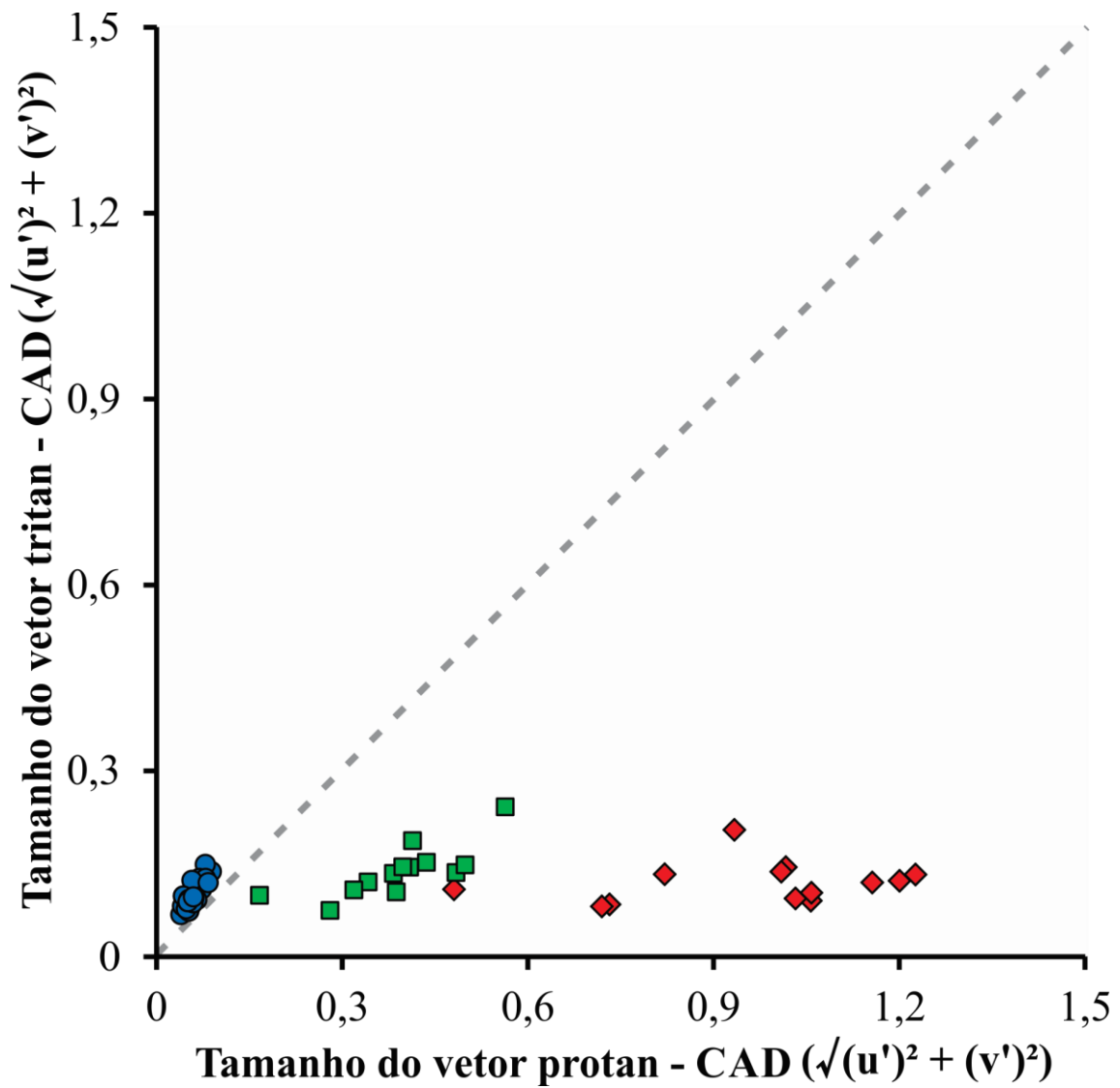


Figura 28. Dispersão dos parâmetros tamanho dos vetores protan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CAD em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutan: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e tritan no teste CAD. Todos os subgrupos amostrais exibiram separação dos dados.

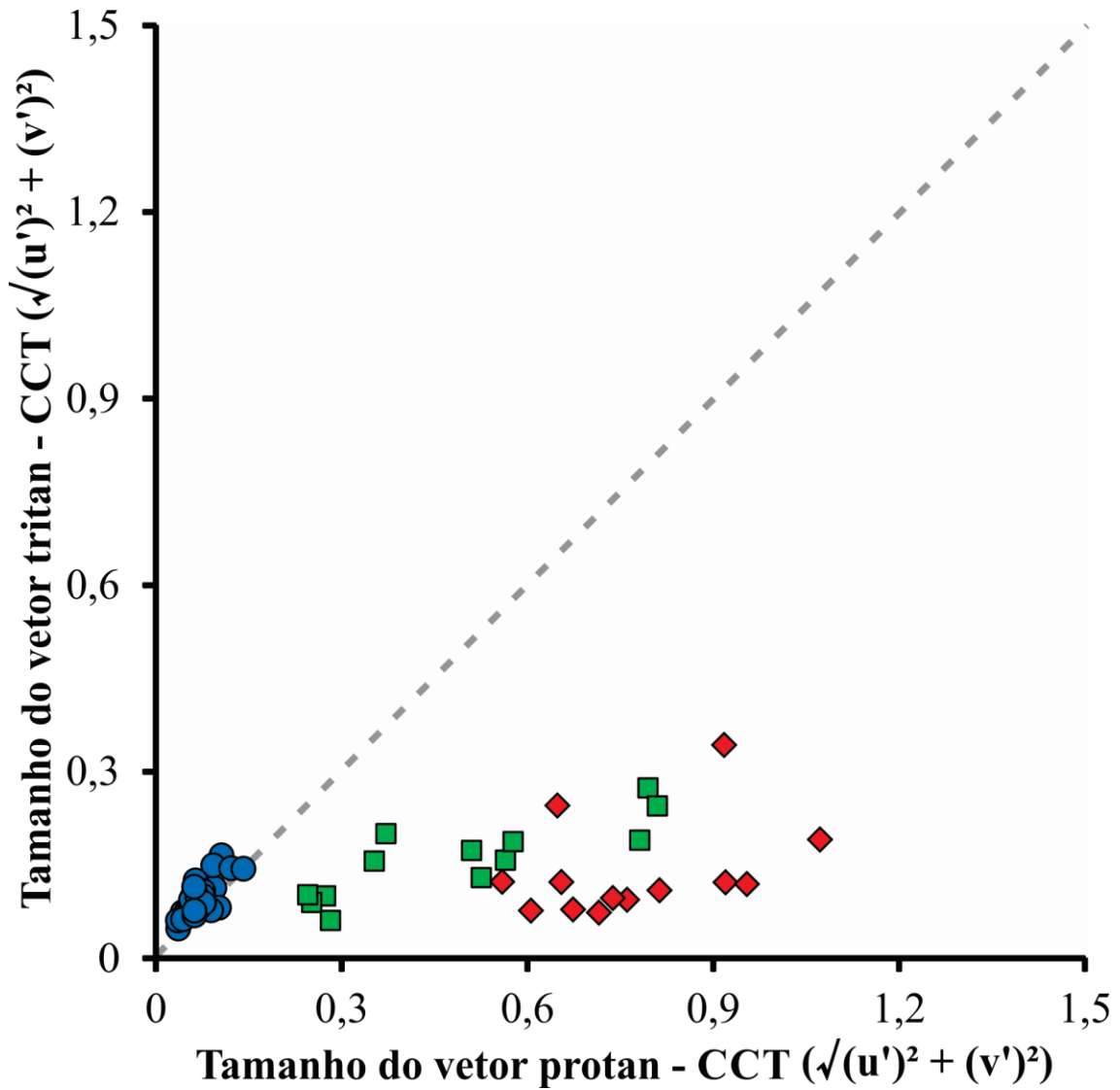


Figura 29. Dispersão dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e tritan para os diferentes subgrupos amostrais estimados pelo teste CCT em uma linha de razão um. Subgrupos amostrais: tricromata: círculo azul; protan: losango vermelho; e deutana: quadrado verde. A linha cinza pontilhada representa a razão 1 entre os resultados dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e tritan no teste CCT. O subgrupo tricromatas apresentou dispersão de dados semelhante aos parâmetros de tamanho do vetor protan e tritan, exibindo uma distinção inadequada destes parâmetros para este subgrupo.

3.5. CORRELAÇÕES DOS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR EM FUNÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

Para avaliar a correlação dos critérios de limiares de discriminação de cor, os subgrupos amostrais foram agrupados em somente um grupo. Todos os parâmetros analisados apresentaram correlação significativa nos testes CAD e CCT (área: $r_s = 0,792$, $p < 0,001$; vetor protan: $r_s = 0,807$, $p < 0,001$; vetor tritan: $r_s = 0,549$, $p < 0,001$ e vetor deutan: $r_s = 0,789$, $p = 0$).

A partir dos resultados de correlação, foram selecionados três modelos de função: linear, exponencial e potência para averiguar qual destes representa adequadamente a dispersão dos dados de limiar de discriminação de cor.

Para a determinação do modelo matemático, foi utilizado como índice, o erro padrão da regressão (EPR). O padrão estabelecido para a classificação de ajuste mais adequado à dispersão dos resultados de correlação foi o menor valor apresentado neste quesito.

Os valores do índice utilizado para avaliar o ajuste das funções matemáticas às correlações dos parâmetros de limiares de discriminação de cor nos testes CAD e CCT estão exibidos na **Tabela 7**.

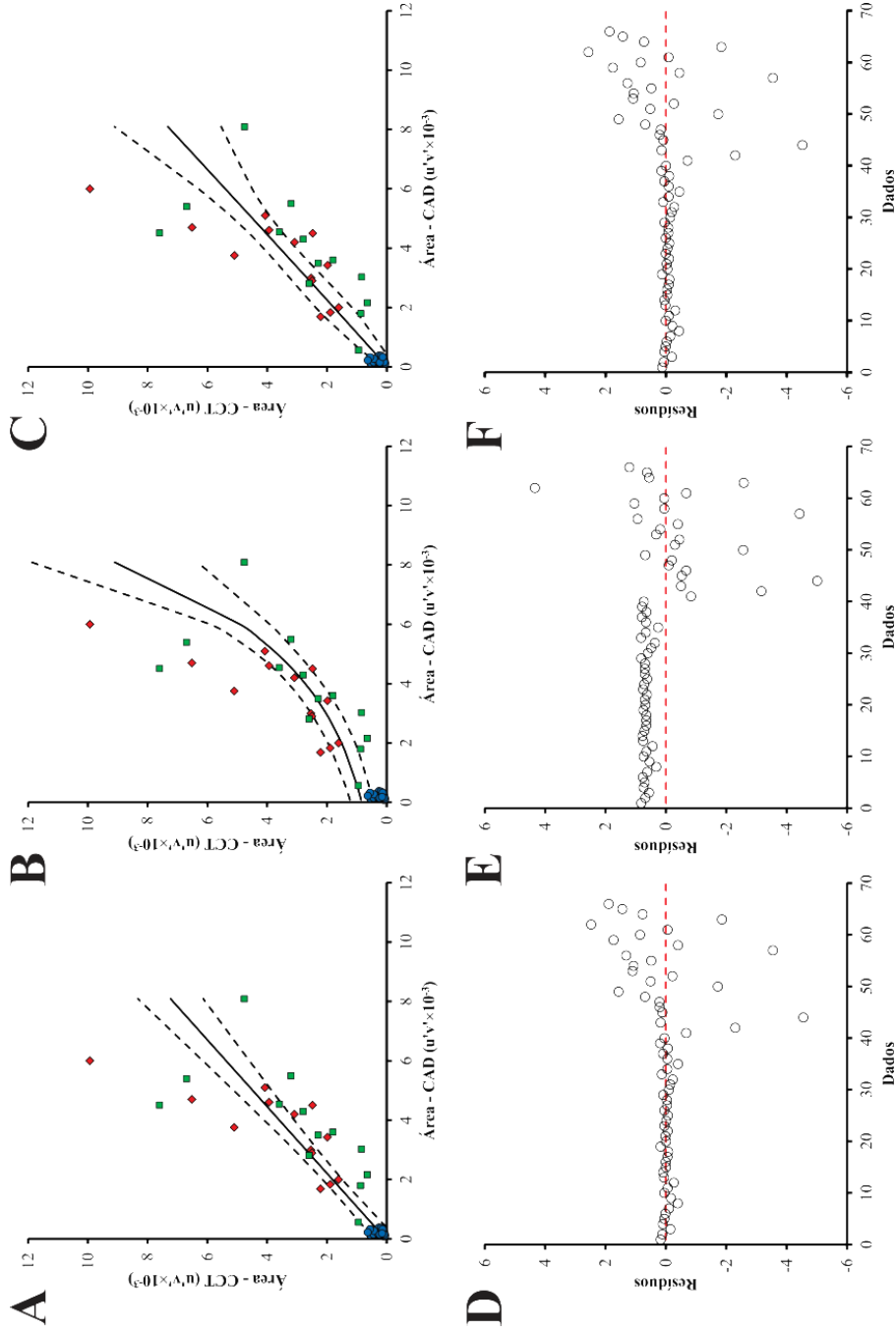
Não foi possível delimitar somente um único modelo matemático de função para todos os parâmetros da amostra, pois os critérios de área e do tamanho do vetor tritan exibiram melhor ajuste dos resultados ao modelo de função linear, enquanto os parâmetros de tamanho do vetor protan e deutan mostraram melhor conformação ao modelo de função potência.

Nas **Figuras 30 a 33** são exibidas a distribuição dos resultados de limiares de discriminação de cor dos testes CAD e CCT em função dos três modelos matemáticos. As esferas azuis, vermelhas e verdes representam os subgrupos tricromata, protan e deutan, respectivamente, enquanto as linhas pretas pontilhadas e linha contínua representam o intervalo de confiança e linha de tendência, respectivamente.

Tabela 7. Parâmetros de avaliação de ajuste de modelo matemático a correlação dos critérios dos testes CAD e CCT.

Área					
Linear		Exponencial		Potência	
EPR*	0,2296	EPR*	0,2491	EPR*	0,2313
rs	0,7924	rs	0,7924	rs	0,7924
p	2,26E-15	p	2,26E-15	p	2,26E-15
Vetor protan					
Linear		Exponencial		Potência	
EPR**	0,0343	EPR**	0,0376	EPR**	0,0315
rs	0,8075	rs	0,8075	rs	0,8075
p	2,60E-16	p	2,60E-16	p	2,60E-16
Vetor tritan					
Linear		Exponencial		Potência	
EPR**	0,0068	EPR**	0,0069	EPR**	0,0069
rs	0,5487	rs	0,5487	rs	0,5487
p	1,84E-06	p	1,84E-06	p	1,84E-06
Vetor deutan					
Linear		Exponencial		Potência	
EPR**	0,0198	EPR**	0,0221	EPR**	0,0176
rs	0,78925	rs	0,78925	rs	0,78925
p	0	p	0	p	0

EPR, erro padrão da regressão; rs, coeficiente de correlação de Spearman, p, nível descritivo; (* - x10³; ** - x10)



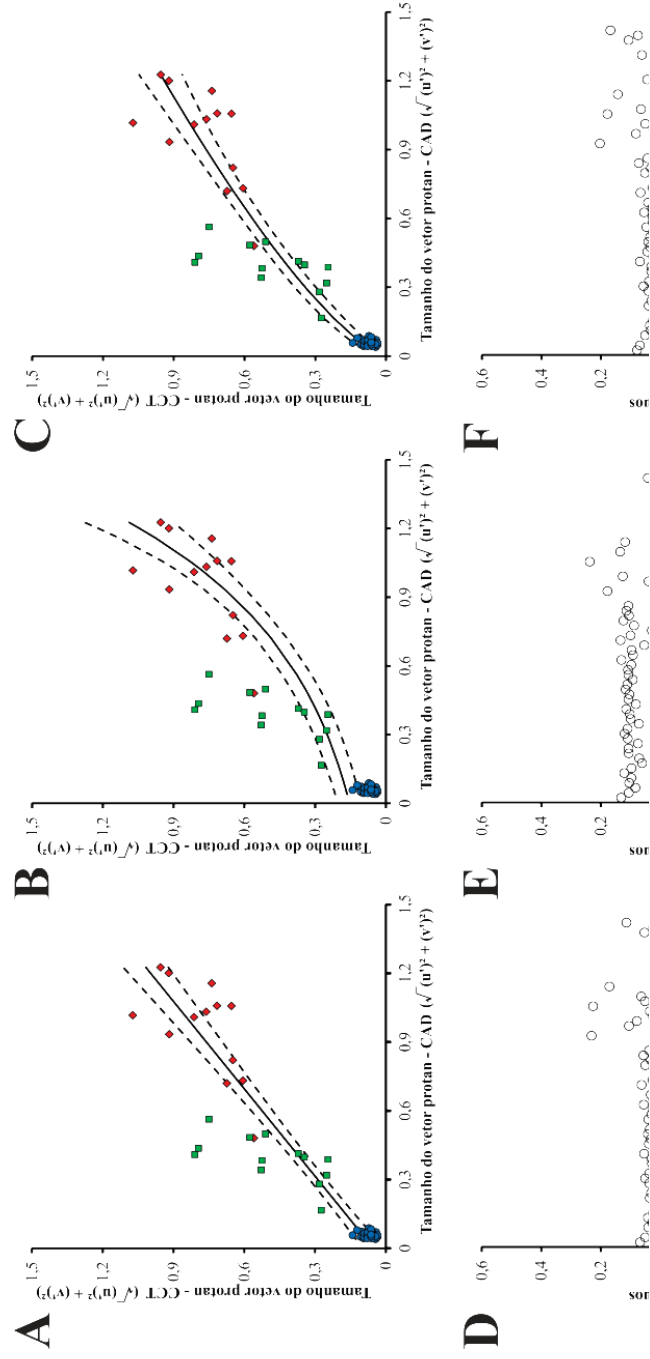
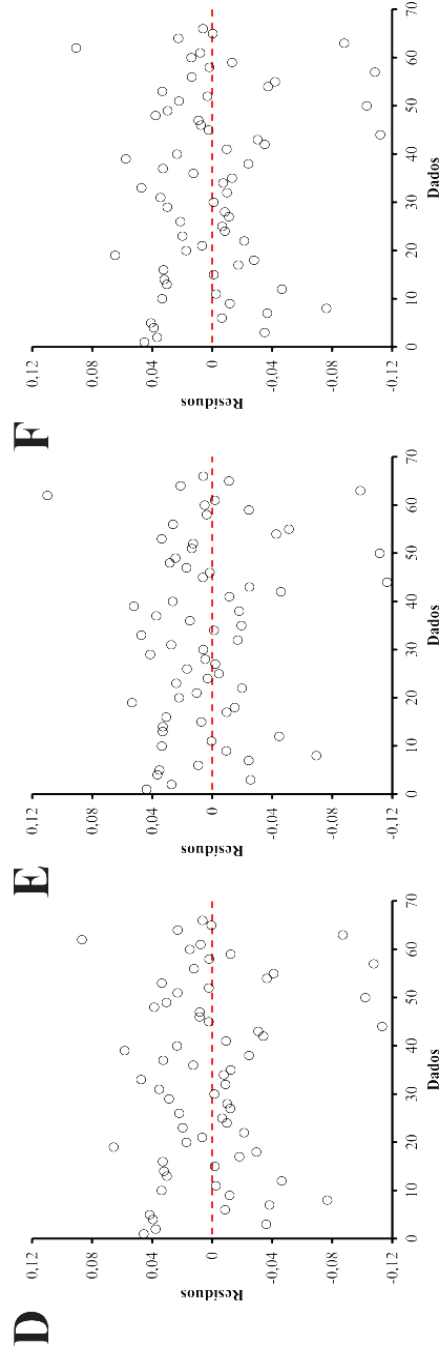
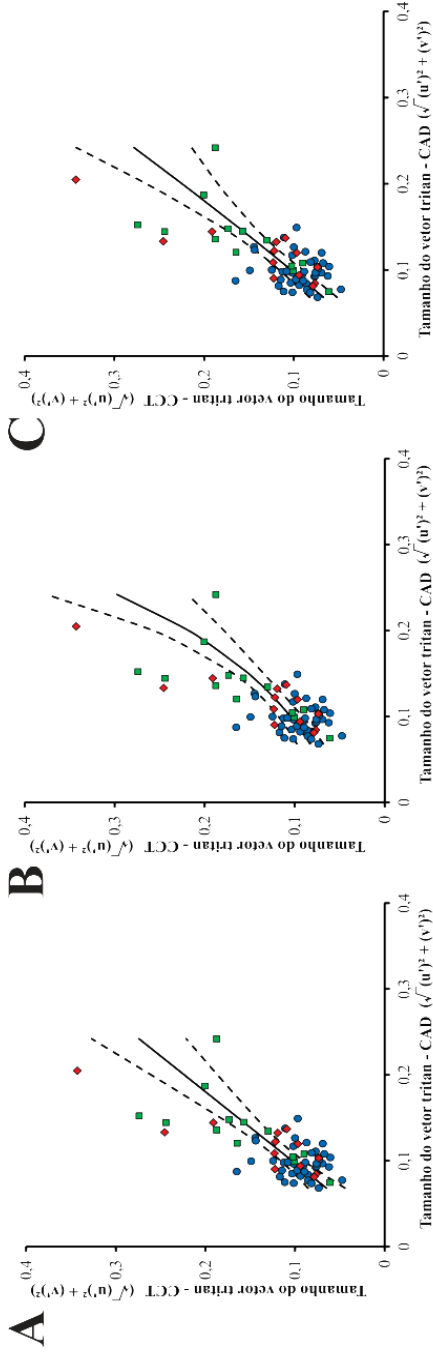


Figura 31. Distribuição dos resultados de limiares de discriminação de cor do parâmetro tamanho do vetor protan em modelos matemáticos e resíduos dos testes CAD e CCT. (A), (B) e (C) Representação dos resultados de tamanho do vetor protan em modelo linear, exponencial e potência e (D), (E) e (F) Distribuição dos seus resíduos, respectivamente. Nas figuras (A), (B) e (C), o círculo azul, quadrado verde e losango vermelho representam os subgrupos tricromata, deutân e protân, respectivamente, a linha preta contínua representa o modelo ajustado aos dados e as linhas tracejadas representam os limites de confiança do modelo. Nas figuras (D), (E) e (F), a linha vermelha tracejada representa o resíduo zero.



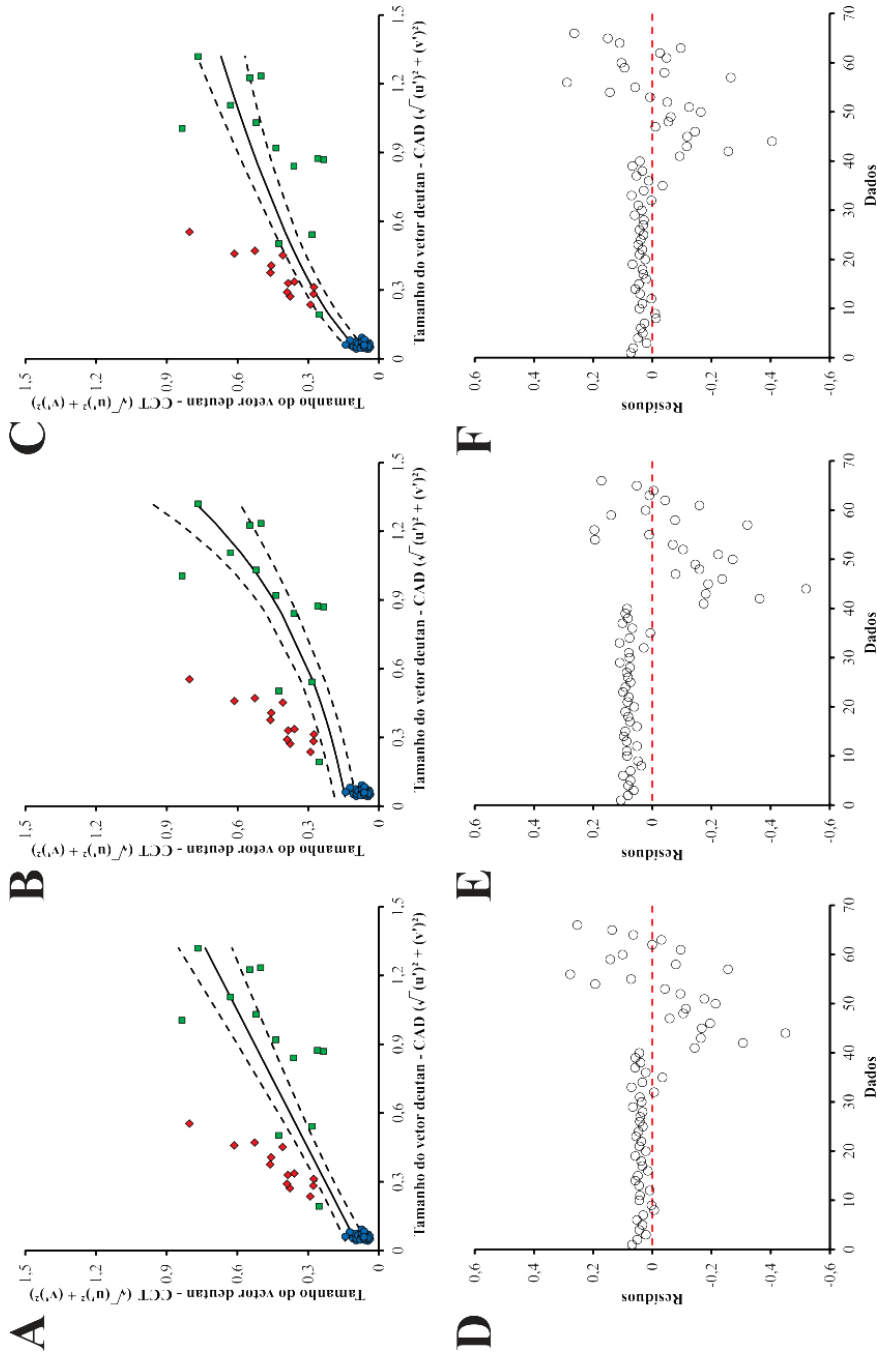


Figura 33. Distribuição dos resultados de limites de discriminação de cor do parâmetro tamanho do vetor deutan em modelos matemáticos e resíduos dos testes CAD e CCT. (A), (B) e (C) Representação dos resultados de tamanho do vetor deutan em modelo linear, exponencial e potência e (D), (E) e (F) Distribuição dos seus resíduos, respectivamente. Nas figuras (A), (B) e (C), o círculo azul, quadrado verde e losango vermelho representam os subgrupos tricromata, deutan e protan, respectivamente, a linha preta contínua representa o modelo ajustado aos dados e as linhas tracejadas representam os limites de confiança do modelo. Nas figuras (D), (E) e (F), a linha vermelha tracejada representa o resíduo zero.

3.6 ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA ENTRE OS PARÂMETROS DE LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR

Nas **Figuras 34 a 35** são exibidas as distribuições dos dados de diferença e média das medidas dos critérios de avaliação da discriminação de cores dos testes CAD e CCT através do método de Bland-Altman.

Os parâmetros de área, ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan e tritan não apresentaram diferenças estatísticas entre as suas medidas, portanto estes critérios apresentaram concordância entre as suas medidas nos testes CAD e CCT, enquanto o parâmetro de tamanho de vetor deutan apresentou diferença estatística entre as suas medidas ($p = 0,0152$), assim exibindo a ausência de concordância entre esta medida nos testes CAD e CCT.

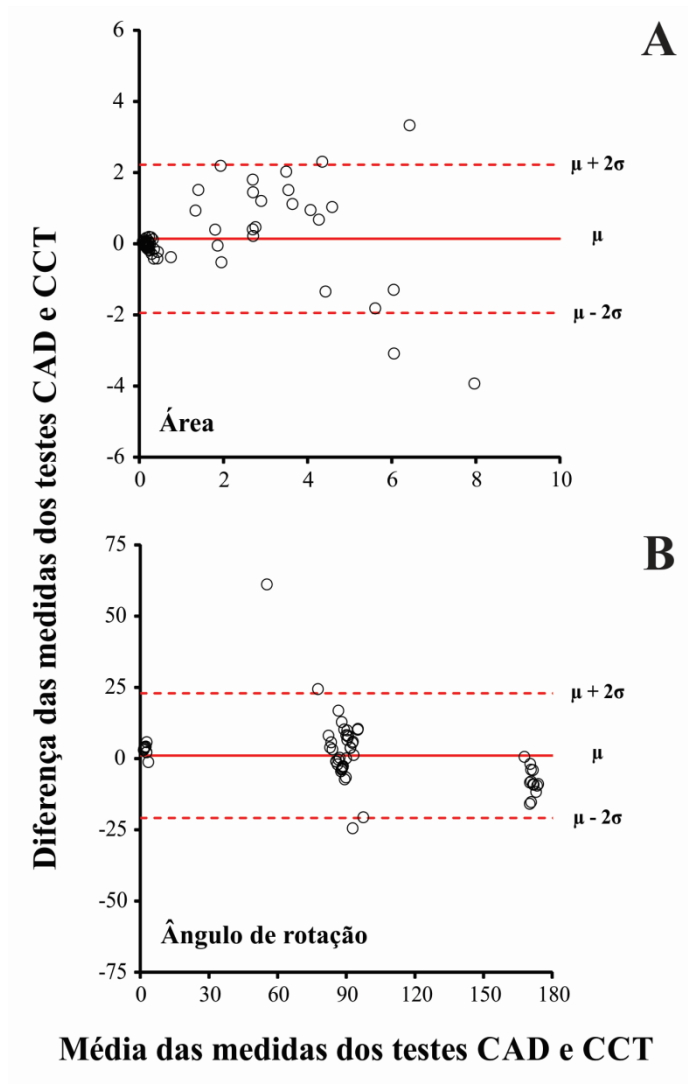


Figura 34. Dispersão das medidas de diferença e média da área da elipse e ângulo de rotação dos testes CAD e CCT. A linha contínua vermelha representa a média da diferença das medidas de área e as linhas tracejadas vermelhas representam a média da diferença mais dois desvios padrões. Os parâmetros de área da elipse e ângulo de rotação, representados por (A) e (B), respectivamente, apresentaram concordância entre as medidas dos testes CAD e CCT (área da elipse - $p=0,2904$; ângulo de rotação - $p=0,4474$).

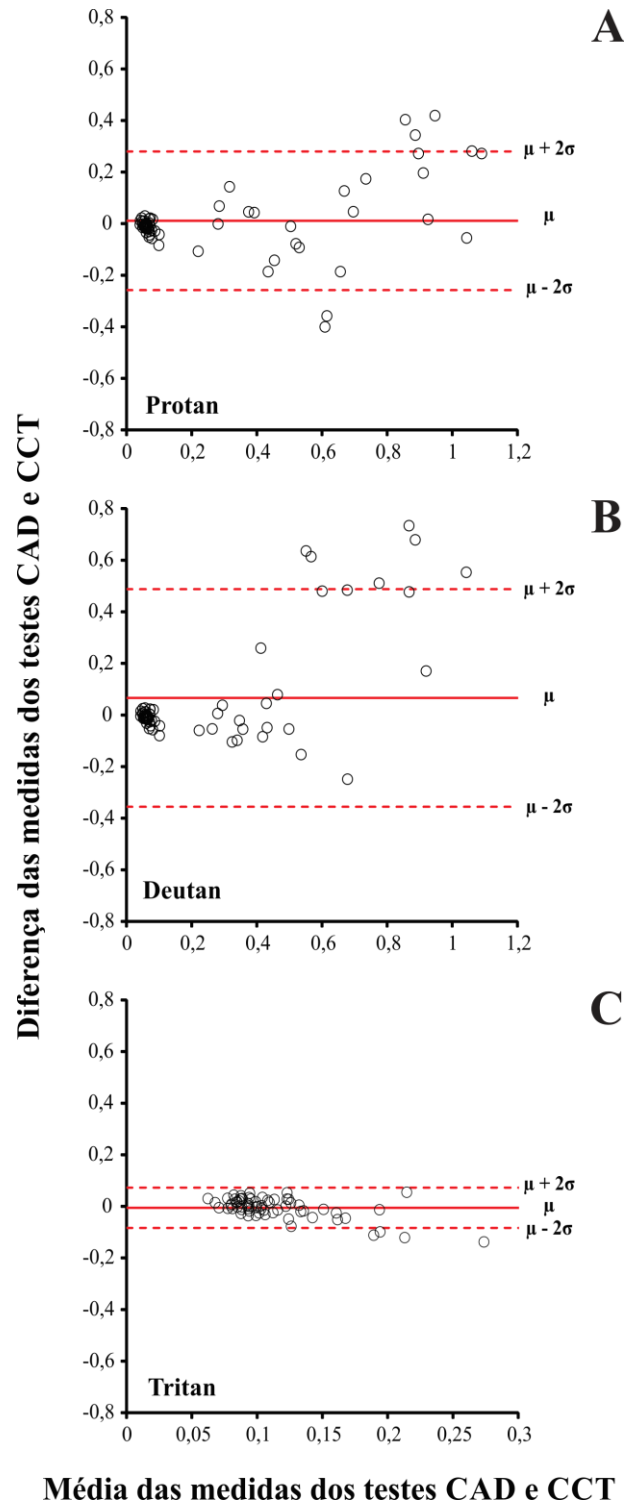


Figura 35. Dispersão das medidas de diferença e média do tamanho dos vetores dos testes CAD e CCT. A linha contínua vermelha representa a média da diferença das medidas de área e as linhas tracejadas vermelhas representam a média da diferença mais dois desvios padrões. Os parâmetros de tamanho dos vetores protan e tritan representados por (A) e (C), respectivamente, apresentaram concordância entre as medidas dos testes CAD e CCT (protan - $p=0,5184$; tritan - $p= 0,2698$). O parâmetro de tamanho do vetor deutan representado por (B), não apresentou concordância entre as medidas dos testes CAD e CCT ($p= 0,0152$).

4. DISCUSSÃO

Diferentes testes psicofísicos têm sido utilizados na avaliação da visão de cores em humanos, porém são poucos os testes que utilizam estímulos limiares. Tais estímulos medem os limiares de discriminação cromática e comprovadamente provem mais informações cromáticas do que os testes que empregam estímulos supralimiais (Paramei, 2012).

Atualmente, os testes mais utilizados na avaliação dos limiares de discriminação de cor que empregam os estímulos limiares são os testes CAD e CCT. Devido ao seu alto grau de especificidade e sensibilidade, estes testes têm sido usados em diversos estudos de ciência básica e clínica (Barbur et al., 1998, Barbur et al., 2008, Connolly et al., 2008, Rodríguez-Carmona et al., 2008, Jennings e Barbur, 2010, Konstantakopoulou et al., 2012, Rodríguez-Carmona et al., 2012), Rauscher et al., 2013, Moro et al., 2007, O'Neill-Biba et al., 2010, Ventura et al., 2003c, Moura et al., 2008, Simunovic et al., 1998, Regan et al., 1998, Ventura et al., 2007, Ventura et al., 2003b, Silveira et al., 2003, Ventura et al., 2004, 2005, Mancuso et al., 2006, Thyagarajan et al., 2007, Goulart et al., 2008, Souza et al., 2014).

Apesar destes testes possuírem o mesmo objetivo metodológico, os paradigmas de estimulação empregados pelos testes CAD e CCT são diferentes, o que pode gerar limiares de discriminação cromática distintos quando avaliados intra-sujeito. Portanto, neste trabalho buscou-se comparar os parâmetros de avaliação da discriminação de cores estimados pelos testes CAD e CCT no intuito de investigar a relação e influência do emprego de paradigmas de estimulação distintos na determinação de limiares de discriminação cromática.

Os resultados deste estudo mostraram que possíveis fatores como a disposição espacial dos vetores no espaço de cor da CIE 1976 no teste CCT e as localizações distintas das coordenadas centrais dos testes CAD e CCT podem ter influenciado na determinação de limiares de discriminação cromática de ambos os testes, no entanto através dos resultados exibidos na análise de concordância de Bland-Altman, foi comprovado que estas variáveis não influenciaram significativamente nas medidas dos parâmetros de área, ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan e tritan, portanto os testes CAD e CCT podem ser considerados equiparáveis.

4.1. DADOS NORMATIVOS DOS TESTES CAD E CCT

A partir dos dados de dispersão obtidos nos testes CAD e CCT foram construídas elipses de discriminação de cor para cada subgrupo amostral. No parâmetro de ângulo de rotação, tanto as elipses de discriminação de cor do teste CAD de cada subgrupo quanto às do teste CCT apresentaram orientação em direção às suas respectivas linhas de confusão de cor conforme descrito por Pitt (1935) e Wrigh (1952).

No intuito de comparar os parâmetros analisados neste estudo com os da literatura, somente os critérios de área e ângulo de rotação do teste CCT foram compatíveis com os outros parâmetros avaliados em outros trabalhos para o subgrupo tricromata. Os dados de ângulo de rotação e área da elipse para o teste CAD não foram descritos nos artigos de dados normativos de Rodriguez-Carmona et al. (2005) e Barbur et al. (2006).

Para o parâmetro de ângulo de rotação do teste CCT, este estudo demonstrou que as elipses de discriminação de cor do subgrupo tricromata apresentaram mediana igual a 90° . Este achado corrobora com os resultados encontrados na literatura, os quais expunham que a tendência de orientação da elipse de coordenadas centrais de $u' = 0,1977$ e $v' = 0,4689$ era em cerca de 80° a 90° (Ventura et al., 2003a, Castelo-Branco et al., 2004, Costa et al., 2006 e Paramei, 2012).

Com relação à área da elipse do teste CCT, este estudo exibiu resultados de mediana da área do subgrupo tricromata igual a $0,208 u'v' \times 10^{-3}$. Conforme o trabalho de Ventura et al. (2003), a média da área do subgrupo tricromata da elipse de coordenadas centrais de $u' = 0,1977$ e $v' = 0,4689$ era igual a $0,337 u'v' \times 10^{-3}$. O resultado de nosso estudo apresentou valor de área do subgrupo tricromata menor do que o descrito pela literatura.

4.2. RAZÃO ENTRE OS RESULTADOS DOS TESTES CAD E CCT

A análise da razão dos resultados dos parâmetros dos testes CAD e CCT exibiu a equivalência de resultados entre os dois testes nos critérios de área e tamanho dos vetores deutân e tritan para o subgrupo tricromata; área e tamanho do vetor tritan para o subgrupo protân; e tamanho dos vetores protân e tritan para o subgrupo deutân. Apesar dos resultados de razão exibir equivalência em quase todos os critérios na amostra, cinco medidas

destacaram-se das demais, devido à discrepância entre os valores da razão dos resultados nos testes CAD e CCT. Os parâmetros que obtiveram maiores valores no teste CAD foram: o tamanho do vetor protan para o subgrupo protan e a área e o tamanho do vetor deutan para o subgrupo deutan, sendo este último, o critério que exibiu a maior disparidade de resultados entre os dois testes, enquanto que os parâmetros que expressaram maiores valores no teste CCT foram: o tamanho do vetor protan para o subgrupo tricromata e o tamanho do vetor deutan para o subgrupo protan. Tais fenômenos podem ter ocorrido por causa da presença do ruído temporal de luminância na estimulação do teste CAD, das localizações distintas das coordenadas centrais dos testes CAD e CCT e/ou da disposição espacial dos vetores no espaço de cor da CIE 1976 no teste CCT.

Com relação à presença do ruído temporal de luminância, Regan et al. (1994) discutiram sobre as possíveis desvantagens do uso de ruído temporal de luminância na estimulação. Estes autores afirmavam que o uso do ruído temporal de luminância poderia induzir a introdução de ruído nas fibras menores do nervo óptico que carregam a informação cromática, assim aumentando os limiares de cor. No entanto, os resultados dos estudos de Birch et al. (1992), Barbur et al. (1994) e Barbur (2004) sobre o uso do ruído temporal de luminância no estímulo, afirmaram que a utilização do mesmo não interfere significativamente nos resultados de limiares de discriminação cromática dos sujeitos tricromatas normais. Em nosso estudo, os resultados de área e tamanho dos vetores deutan e tritan do subgrupo tricromata apresentaram resultados de razão em torno de um, demonstrando a equivalência dos resultados dos testes CAD e CCT para estes parâmetros, portanto evidenciando que o uso do ruído temporal de luminância na estimulação do teste CAD não influencia nos resultados do subgrupo tricromata. Assim, os achados encontrados no nosso estudo corroboram com os achados descritos nos trabalhos de Birch et al. (1992), Barbur et al. (1994) e Barbur (2004).

No que concerne à localização das coordenadas centrais, tanto o teste CAD quanto o teste CCT empregam em sua estimulação pontos centrais localizados em diferentes regiões do espaço de cor da CIE 1976. Apesar destas coordenadas centrais não estarem dispostas em regiões muito distantes, ambos os testes avaliam os limiares de discriminação cromática a partir destes pontos centrais, portanto esta distância pode introduzir um viés nos resultados da avaliação da visão de cores quando ambos os testes são comparados, pois a região onde estão localizadas as coordenadas centrais de cada teste podem apresentar mais facilidade ou dificuldade para executar a tarefa de discriminação de cores para o sujeito, por ventura gerando resultados de limiares de discriminação cromática maiores ou menores. Deste

modo, todos os resultados apresentados neste estudo podem estar sendo influenciados por esta variável.

Em relação à disposição espacial dos vetores no espaço de cor da CIE 1976 no teste CCT, observa-se que a distribuição espacial destes vetores em relação às linhas de confusão de cor protan, deutan e tritan é diversa, sendo que nenhum dos oito vetores utilizados nesta configuração de teste encontra-se dentro das coordenadas de um dos eixos de confusão de cor. Enquanto os vetores localizados a 0° e 180° estão próximos da linha de confusão de cor protan e os vetores de 90° e 270° estão próximos ao eixo de confusão de tritan, os vetores de 45° , 135° , 225° e 315° encontram-se dispersos no espaço de cor da CIE longe de quaisquer eixos de confusão de cor, o que pode influenciar na avaliação mais adequada dos limiares de discriminação de cores para os sujeitos discromatópsicos do tipo protan e deutan.

Regan et al. (1994) afirmaram que a determinação do comprimento da elipse irá depender de como exatamente um dos vetores avaliados coincidirá com um dos eixos de confusão de cor no teste, assim sendo quanto mais distante os vetores avaliativos dos limiares de discriminação cromática estiverem das linhas de confusão de cor, os resultados encontrados poderiam apresentar maior ou menor comprimento da elipse. Por isso, supõe-se que devido a esta distância, os resultados relacionados a estes eixos de confusão de cor como tamanho dos vetores protan e deutan serão afetados, ou seja, os valores destes critérios poderão ser menores ou maiores quando comparados aos do teste CAD, onde os vetores analisam os limiares de discriminação cromática nas faixas de confusão de cor. Assim, ocasionando a disparidade entre os resultados de razão entre os testes CAD e CCT nestes parâmetros.

4.3. USO DA DISPERSÃO E CORRELAÇÃO DOS DADOS NA IDENTIFICAÇÃO DE SUJEITOS COM ALTERAÇÕES CONGÊNITAS NA VISÃO DE CORES

Nos resultados de dispersão de dados com a linha de razão um entre os testes CAD e CCT, notou-se a equivalência dos dados dos subgrupos tricromata e protan para o critério de área, do subgrupo deutan para o parâmetro de tamanho do vetor protan, do subgrupo tricromata para o parâmetro de tamanho do vetor deutan e de todos os subgrupos para os critérios de ângulo de rotação e tamanho do vetor tritan. Tais resultados podem ter

ocorrido em decorrência das localizações distintas das coordenadas centrais dos testes CAD e CCT e/ou da disposição espacial dos vetores no espaço de cor da CIE 1976 no teste CCT. A partir destes resultados de dispersão dos dados, observou também a separação dos dados dos subgrupos tricromata e discromatópsicos para todos os parâmetros analisados, menos para o critério de tamanho do vetor tritan como era esperado. Estes resultados indicam que ambos os testes apresentam alta sensibilidade e especificidade para a detecção de sujeitos com alterações na visão de cores. Os nossos resultados estão de acordo com o que fora exibido em estudos individuais do teste CCT (Mollon e Reffin, 1989 e Regan et al., 1994) e do teste CAD (Rodriguez-Carmona et al., 2005 e Barbur et al., 2004). Apesar dos resultados apresentarem a separação dos subgrupos tricromata e discromatópsicos, observou-se que houve sobreposição de alguns dados dos subgrupos protan e deutan nos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan, sugerindo que a utilização de ambos os testes em conjunto para classificar o tipo de discromatopsia congênita não é eficiente. Nos parâmetros de área e tamanho do vetor tritan é esperado que houvesse sobreposição de dados entre os subgrupos protan e deutan.

Nos resultados da avaliação dos parâmetros em conjunto dos testes CAD e CCT, observou-se que somente os parâmetros de tamanho do vetor protan – tamanho do vetor tritan e tamanho do vetor protan - tamanho do vetor deutan do teste CAD apresentaram separação adequada dos dados entre os três subgrupos amostrais. Portanto, mostrando que com somente alguns pares de parâmetros do teste CAD é possível indicar se o sujeito é tricromata normal ou possui alterações na visão de cores e qual é o tipo de discromatopsia apresentada. Para os resultados do teste CCT, observou-se que na combinação dos parâmetros de tamanho do vetor deutan-tamanho do vetor tritan e tamanho do vetor protan-tamanho do vetor tritan, o subgrupo tricromata não exibiu distinção adequada entre cada parâmetro, enquanto na combinação de tamanho do vetor protan-tamanho do vetor deutan, notou-se que o subgrupo deutan apresentou distinção inadequada destes parâmetros entre si. Portanto, a utilização destes parâmetros em conjunto não é indicada para a identificação e classificação de discromatopsias. Tais resultados no teste CCT podem ter ocorrido devido à disposição espacial dos vetores no espaço de cor da CIE 1976 deste teste, o qual se apresenta distante das linhas de confusão de cor.

Na análise das correlações de modelos matemáticos entre os testes CAD e CCT, notou-se uma polarização de resultados nos ajustes dos dados as funções matemáticas. Os parâmetros de área e tamanho do vetor tritan apresentaram melhor ajuste a função linear e os parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan exibiram melhor ajuste a função potência. Apesar desta polarização, os valores de erro padrão da regressão e os coeficientes das funções

exibidos entre os modelos potência e linear eram muito similares, quando a função potência era escolhida como melhor ajuste, deste modo os parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan, assim como os critérios de área da elipse e tamanho do vetor tritan exibiram tendência à linearidade dos dados.

4.4. ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA

Os resultados deste estudo mostraram que os parâmetros de área da elipse, ângulo de rotação e tamanho dos vetores protan e tritan apresentaram concordância de medidas entre os testes CAD e CCT. Somente o critério de tamanho do vetor deutan não exibiu concordância entre as medidas destes testes. Possivelmente a falta de concordância deste parâmetro devesse as diferentes localizações dos pontos centrais de ambos os testes e a disposição espacial dos vetores do teste CCT longe dos eixos de confusão de cor deutan. Os resultados de razão e dispersão dos limiares de cor e parâmetros avaliativos dos testes CAD e CCT corroboram com este resultado.

Portanto, apesar dos testes CAD e CCT apresentarem diferenças na modulação de ruídos, luminância empregada, nos tipos de campo de fundo, dimensões do estímulo, diagramas de cromaticidade, conjuntos de vetores avaliados e tempo de apresentação do estímulo, estas variáveis não geraram diferenças significativas entre eles.

5. CONCLUSÕES

Os testes CAD e CCT apresentaram boa separação de dados entre os subgrupos tricromata e discromatópicos, porém exibiu sobreposição de alguns dados dos subgrupos protan e deutan, sugerindo que a utilização de ambos os testes em conjunto para classificar o tipo de discromatopsia congênita não é eficiente.

Os parâmetros tamanho do vetor protan – tamanho do vetor tritan e tamanho do vetor protan – tamanho do vetor deutan do teste CAD apresentaram a melhor separação de dados entre os três subgrupos amostrais. Estes parâmetros podem ser utilizados em conjunto para indicar se o sujeito é tricromata normal ou discromatópico e qual é o tipo de cone deficiente que causa a discromatopsia.

No atual protocolo de elipses aplicado neste estudo, a distribuição dos vetores do teste CCT no espaço de cor da CIE 1976, desfavorece a avaliação da discriminação de cores em sujeitos discromatópicos, pois nenhum dos vetores testados encontra-se próximo das linhas de confusão de cor, agravando mais ainda a avaliação dos sujeitos discromatópicos do tipo deutan, pois a localização dos vetores encontra-se mais distante que os demais. Sugere-se que o protocolo seja modificado para que aumente o número de vetores na análise.

Houve correlação linear em todos os parâmetros analisados nos testes CAD e CCT. Apesar dos parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan apresentarem melhor ajuste a função potência, os valores de erro padrão da regressão e os coeficientes exibidos na função potência possuíam resultados similares aos valores de EPR e coeficientes apresentados pela função linear, portanto exibindo uma tendência a linearidade dos dados para os parâmetros de tamanho dos vetores protan e deutan.

Apesar do parâmetro de tamanho do vetor deutan não apresentar concordância entre as medidas, os testes CAD e CCT apresentaram concordância nos demais índices, portanto, os testes CAD e CCT podem ser considerados equiparáveis.

O teste CAD apresentou resultados mais concisos para estimativa dos limiares de discriminação de cor em todos os subgrupos analisados quando comparados ao teste CCT, portanto recomendasse a utilização deste teste para avaliação da visão de cores mais precisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBUR, J. L. 'Double-blindsight' revealed through the processing of color and luminance contrast defined motion signals. *Progress in Brain Research*, v. 144, p. 243-259, 2004.
2. BARBUR, J. L., HARLOW, A. J., PLANT, G. T. Insights into the different exploits of colour in the visual cortex. *Proceedings of the Royal Society London*, v. 258, p. 327-334, 1994.
3. BARBUR, J. L., RODRIGUEZ-CARMONA, M., HARLOW, J. A., MANCUSO, K., NEITZ, J., NEITZ, M. A study of unusual Rayleigh matches in deutan deficiency. *Visual Neuroscience*, v. 25, p. 507-516, 2008.
4. BARBUR, J. L., WOLF, J., LENNIE, P. Visual processing levels revealed by response latencies to changes in different visual attributes. *Proceedings of the Royal Society of London*, v. 265, p. 2321-2325, 1998.
5. BARNES, J. *Essential biological psychology*. India: Sage Publications, 2013. 416 p.
6. BIRCH, J., BARBUR, J. L., HARLOW, A.J. New method based on random luminance masking for measuring isochromatic zones using high resolution colour displays. *Ophthalmic and Physiological Optics*, v. 12, p. 133-136, 1992.
7. BIRCH, J. Clinical test design and administration. In: BIRCH, J. *Diagnosis of defective colour vision*. 2^a ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001c. p 38-50.
8. BIRCH, J. Colour vision theories. In: BIRCH, J. *Diagnosis of defective colour vision*. 2^a ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001a. p. 9-12.

9. BIRCH, J. Congenital colour deficiency. In: BIRCH, J. *Diagnosis of defective colour vision*. 2^a ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001b. p. 20-29.
10. CASTELO-BRANCO, M., FARIA, P., FORJAZ, V., KOZAK, L.R., AZEVEDO, H. Simultaneous comparison of relative damage to chromatic pathways in ocular hypertension and glaucoma: correlation with clinical measures. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, v. 45, p. 499-505, 2004.
11. CONNOLLY, D. M., BARBUR, J. L., HOSKING, S. L., MOORHEAD, I. R. Mild hypoxia impairs chromatic sensitivity in the mesopic range. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, v. 49, p. 820-827, 2008.
12. COSTA, M. F., VENTURA, D. F., PERAZZOLO, F., MURAKOSHI, M., SILVEIRA, L. C. L. Absence of binocular summation, eye dominance, and learning effects in color discrimination. *Visual Neuroscience*, v. 23, p. 461-469, 2006.
13. CRONE, R. A. *A history of color: the evolution of theories of lights and color*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. 282 p.
14. CRUZ-COKE, R. Colour-blindness and cirrhosis of the liver. *The Lancet*, v. 285, p. 1131-1133, 1965.
15. DAIN, S. J. Clinical colour vision tests. *Clinical and Experimental Optometry*, v. 87, p. 276-293, 2004.
16. DE VALOIS, R. L., SMITH, C. J., KITAI, S. T., KAROLY, A. J. Response of single cells in monkey lateral geniculate nucleus to monochromatic light. *Science*, v. 127, p. 238-239, 1958.

17. DE VALOIS, R. L., ABRAMOV, I., JACOBS, G. H. Analysis of response patterns of LGN cells. *The Journal of the Optical Society of America A*, v. 56, p. 966-977, 1966.
18. DEEB, S. S. Molecular genetics of colour vision deficiencies. *Clinical and Experimental Optometry*, v. 87, p. 224-229, 2004.
19. DERRINGTON, A. M., RAUSKOPF, J., LENNIE, P. Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *The Journal of Physiology*, v. 357, p. 241-265, 1984.
20. DIAS, P. L. R. Dyschromatopsia in heroin addicts. *British Journal of Addiction*, v. 85, p. 241-244, 1990.
21. DONDERS, C. Ueber farbensysteme. *Archiv für Ophthalmologie*, v. 27, p. 155-223, 1881.
22. FAIRCHILD, M. D. Human Color Vision. In: FAIRCHILD, M. D. *Color Appearance Models*. 2^a ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2005. p. 1-34.
23. FINGER, S. Color vision. In: FINGER, S. *Origins of neuroscience: a history of explorations into brain function*, New York: Oxford University Press, 1994. p. 96-107.
24. GOBBA, F., GALASSI, C., IMBRIANI, M., GHITTORI, S., CANDELA, S., CAVALLERI, A. Acquired dyschromatopsia among styrene exposed workers. *Journal of Occupational Medicine*, v. 33, p. 761-765, 1991.
25. GOLDSTEIN, E. B. Perceiving Color. In: GOLDSTEIN, E. B. *Sensation and Perception*. 9^a ed. Belmont: Cengage Learning, 2013. 496 p.

26. GONZALEZ, M., VELTEN, M., CANTINEAU, A. Increased acquired dyschromatopsia among solvent-exposed workers: an epidemiology study on 249 employees of an aluminum-foil printing factory. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 71, p. 317-324, 1998.
27. GOULART, P. R. K., BANDEIRA, M. L., TSUBOTA, D., OIWA, N. N., COSTA, M. F., VENTURA, D. F. A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, v. 25, p. 445-450, 2008.
28. GUIMARÃES, L. *A cor como informação: a construção biofísica, lingüística e cultural da simbologia das cores*. 3ª ed. Pinheiros: Annablume, 2004. 160 p.
29. HART JR., W. M. Acquired dyschromatopsias. *Survey of Ophthalmology*, v. 32, p. 10-31, 1987.
30. HUNT, R. W. G., POINTER, M. R. Colour Vision. In: HUNT, R. W. G., POINTER, M. R. *Measuring Colour*. 4ª ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2011. 492 p.
31. HURVICH, L. M., JAMESON, D. An opponent-process theory of color vision. *Psychological Review*, v. 64, p. 384-404, 1957.
32. ISHIHARA, S. *Series of Plates Designed as Tests for Colour-blindness*. Tokyo: Handaya Hongo Harukich, 1997. 5 p.
33. JAMESON, D., HURVICH, L. M. Some quantitative aspects of an opponent-colors theory. I. Chromatic responses and spectral saturation. *The Journal of the Optical Society of America A*, v. 45, p. 546-552, 1955.

34. JENNINGS, B. J., BARBUR, J. L. Colour detection thresholds as a function of chromatic adaptation and light level. *Ophthalmic and Physiological Optics*, v. 30, p. 560-567, 2010.
35. KAISER, P. K., BOYNTON, R. M. Subjective color phenomena. In: KAISER, P. K., BOYNTON, R. M. *Human color vision*. 2^a ed. Washington: Optical Society of America, 1996. p. 33-57.
36. KOLIOPOULOS, J., IORDANIDES, P., PALMERIS, G., CHIMONIDOU, E. Data concerning colour vision deficiencies amongst 29,985 young Greeks. *Modern Problems in Ophthalmology*, v. 17, p. 161-164, 1976.
37. KONSTANTAKOPOULOU, E., RODRIGUEZ-CARMONA, M., BARBUR, J. L. Processing of color signals in female carriers of color vision deficiency. *Journal of Vision*, v. 12, p. 1-11, 2012.
38. KRIES, V. J. *Die gesichts-empfindungen und ihre analyse*. Leipzig: Veit & Comp., 1882. 186 p.
39. LACERDA, E. M. C. B., LIMA, M. G., RODRIGUES, A. R., TEIXEIRA, C. E. C., DE LIMA, L. J. B., VENTURA, D. F., SILVEIRA, L. C. L. Psychophysical evaluation of achromatic and chromatic vision of workers chronically exposed to organic solvents. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2012, p. 1-7, 2012.
40. LINDA VU, B. L., EASTERNBROOK, B., HOVIS, J. K. Detection of colour vision defects in chloroquine retinopathy. *Ophthalmology*, v. 106, p. 1799-1803, 1999.

41. LONG, F., YANG, Z., PURVES, D. Spectral statistics in natural scenes predict hue, saturation, and brightness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 103, p. 6013-6018, 2006.
42. LONGAIR, M. S. Maxwell and the science of colour. *Philosophical Transactions of Royal Society*, v. 366, p. 1685-1696, 2008.
43. MacADAM, D. L. *Sources of color science*. Cambridge: MIT Press., 1970. 282 p.
44. MacADAM, D. L. Visual sensitivities to color differences in daylight. *Journal of the Optical Society of America A*, v. 32, p. 247-274, 1942.
45. MacEVOY, B. The color top. *In color theory*. Disponível em: <http://www.handprint.com/HP/WCL/colortop.html> . Acesso em 23 de outubro 2014.
46. MANCUSO, K., NEITZ, M., AND NEITZ, J. An adaptation of the Cambridge Colour Test for use with animals. *Visual Neuroscience*, v. 23, p. 695-701, 2006.
47. MODARRES, M., MIRSAMADI, M., PEYMAN, G. A. Prevalence of congenital color deficiencies in secondary-school students in Tehran. *International Ophthalmology*, v. 20, p. 221-222, 1996.
48. MOLLON, J. D. The origins of modern color science. In: SHEVELL, S. *Color Science*. Washington: Optical Society of America; 2003. p. 1-39.
49. MOLLON, J. D., REFFIN, J. P. A computer-controlled color-vision test that combines the principles of Chibret and of Stilling. *Journal of Physiology*, p. 414, 1989.

50. MORO, S. I., RODRIGUEZ-CARMONA, M., FROST, E. C., PLANT, G. T., BARBUR, J. L. Recovery of vision and pupil responses in optic neuritis and multiple sclerosis. *Ophthalmic and Physiological Optics*, v. 27, p. 451-460, 2007.
51. MOURA, A. L., TEIXEIRA, R. A., OIWA, N. N., COSTA, M. F., FEITOSA-SANTANA, C., CALLEGARO, D., HAMER, R. D., VENTURA, D. F. Chromatic discrimination losses in multiple sclerosis patients with and without optic neuritis using the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, v. 25, p. 463-468, 2008.
52. NATHANS, J., THOMAS, D., HOGNESS, D. S. Molecular genetics of human color vision: the genes encoding blue, green, and red pigments. *Science*, v. 232, p. 193-202, 1986.
53. O'NEILL-BIBA, M., SIVAPRASAD, S., RODRIGUEZ-CARMONA, M., WOLF, J. E. BARBUR, J. L. Loss of chromatic sensitivity in AMD and diabetes: a comparative study. *Ophthalmic and Physiological Optics*, v. 30, p. 705-716, 2010.
54. PARAMEI, G. V. Color discrimination across four life decades assessed by the Cambridge Colour Test. *Journal of the Optical Society of America A*, v. 29, p. 290-297, 2012.
55. PITT, F. H. G. Characteristics of dichromatic vision: with an appendix on anomalous trichromatic vision. *Medical Research Council Special Report Series*, p. 1-58, 1935.
56. RAUSCHER, F. G., CHISHOLM, C. M., EDGAR, D. F., BARBUR, J. L. Assessment of novel binocular colour, motion and contrast tests in glaucoma. *Cell and Tissue Research*, v. 353, p. 297-310, 2013.
57. REGAN, B. C., FREUDLANDER, N., KOLLE, R., MOLLON, J. D., PAULUS, W. Colour discrimination thresholds in Parkinson's disease: results obtained with

- a rapid computer-controlled colour vision test. *Vision Research*, v. 38, p. 3427–3431, 1998.
58. REGAN, B. C., MOLLON, J. D. Discrimination ellipses in the MacLeod-Boynton diagram: results for normal and colour-deficient subjects obtained with a CRT display. In: DRUM, B. (ed.). *Colour Vision Deficiencies XII*, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 445-452.
59. REGAN, B. C., REFFIN, J. P., MOLLON, J. D. Luminance noise and the rapid-determination of discrimination ellipses in color deficiency. *Vision Research*, v. 34, p. 1279-1299, 1994.
60. RODRIGUEZ –CARMONA, M., O’NEILL –BIBA, M., BARBUR, J. L. Assessing the severity of color vision loss with implications for aviation and other occupational environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 83, p. 19-29, 2012.
61. RODRIGUEZ-CARMONA, M. L., HARLOW, A. J., WALKER, G., BARBUR, J. L. The variability of normal trichromatic vision and the establishment of the “normal” range. IN: *Proceedings of 10th Congress of the International Colour Association*, 10, 2005, Granada: Espanha, 2005, p. 979-982.
62. RODRÍGUEZ-CARMONA, M., SHARPE, L. T., HARLOW, J. A., BARBUR, J. L. Sex-related differences in chromatic sensitivity. *Visual Neuroscience*, v. 25, p. 433–440, 2008.
63. ROGOŠIĆ, V., BOJIC, L., KARAMAN, K., LAKOŠ-KRZELJ, V., MENDEŠ, D. IVANIŠEVIĆ, I. Frequency of congenital dyschromatopsias in male population of the split-dalmatian county in Croatia. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, p. 1-4, 2003.
64. SAMPLE, P. A., WEINREB, R. N., BOYNTON, R. M. Acquired dyschromatopsia in glaucoma. *Survey of Ophthalmology*, v. 31, p. 54-64, 1986.

65. SCHMIDT, I. On congenital tritanomaly. *Vision Research*, v. 10, p. 717- 743, 1970.
66. SESHADRI, J., CHRISTENSEN, J., LAKSHMINARAYANAN, V., BASSI, C. J. Evaluation of the new web-based “Colour Assessment and Diagnosis” test. *Optometry and Vision Science*, v. 82, p. 882-885, 2005.
67. SHERGILL, H. K. *Experimental Psychology*. Nova Déli: PHI Learning, 2012. 368 p.
68. SILVEIRA, L.C.L., DAMIN, E.T.B., PINHEIRO, M.C.N., RODRIGUES, A.R., MOURA, A.L.A., CÔRTEZ, M.I.T., MELLO, G.A. Visual dysfunction following mercury exposure by breathing mercury vapour or by eating mercury-contaminated food. In: MOLLON, J.D., POKORNY, J., KNOBLAUCH, K. (eds.). *Normal and Defective Colour Vision*. Oxford: Oxford University Press, 2003. p. 409– 417.
69. SILVERMAN, S. E., HART, W. M. JR, GORDON, M. O., KILO, C. The dyschromatopsia of optic neuritis is determined in part by the foveal/perifoveal distribution of visual field damage. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, v. 31, p. 1895-1902, 1990.
70. SIMUNOVIC, M.P., VOTRUBA, M., REGAN, B.C., MOLLON, J.D. Colour discrimination ellipses in patients with dominant optic atrophy. *Vision Research*, v. 38, p. 3413-3419, 1998.
71. 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. Low number of luminance levels in the luminance noise increases color discrimination thresholds estimated with pseudoisochromatic stimuli. *Frontiers in Psychology*, v. 5, p. 1-7, 2014.

72. STEWARD, J. M., COLE, B. L. Incidence of congenital colour vision defects in an Australian optometric population. In: Drum, B. Verriest, G. (eds). *Colour Vision Deficiencies IX*. Maryland: Springer Netherlands, 1989. p. 109-111.
73. STILLING, J. Die prüfung des farbensinnes beim eisenbahn- und marinepersonal. Kassel: *Theodor Fischer*, 1877.
74. THYAGARAJAN, S., MORADI, P., MEMBREY, L., ALISTAIR, D., LAIDLAW, H. 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*, v. 27, p. 315-319, 2007.
75. TREGEAR, S. J., KNOWLES, P. J, RIPLEY, L. G., CASSWELL, A. G. Chromatic-contrast threshold impairment in diabetes. *Eye*, v. 11, p. 537-546, 1997.
76. VALIC, E., WALDHÖR, T., KONNARIS, C., MICHITSCH, A., WOLF, C. Acquired dyschromatopsia in combined exposure to solvents and alcohol. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 70, p. 403-406, 1997.
77. VENTURA, D. F., COSTA, M. F., GUALTIERI, M., NISHI, M., BERNICKI, M., BONCI, D., DE SOUZA, J. M. Early vision loss in diabetic patients assessed by the Cambridge Colour Test. IN: MOLLON, J.D., POKORNY, J., KNOBLAUCH, K. (eds.). *Normal and Defective Colour Vision*. Oxford: Oxford University Press, 2003c. p. 391-399.
78. VENTURA, D. F., GUALTIERI, M., OLIVEIRA, A. G. F., COSTA, M. F., QUIROS, P., SADUN, F., DE NEGRI, A. M., SALOMÃO, S. R., BEREZOVSKY, A., SHERMAN, J., SADUN, A. A., CARELLI, V. Male prevalence of acquired color vision defects in asymptomatic carriers of Leber's

- hereditary optic neuropathy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, v. 48, p. 2362-2370, 2007.
79. 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. Multifocal and full-field electroretinogram changes associated with color-vision loss in mercury vapor exposure. *Visual Neuroscience*, v. 21, p. 421-429, 2004.
80. 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. Color vision loss in patients treated with chloroquine. *Arquivos Brasileiro de Oftalmologia*, v. 66, p. 9-15, 2003b.
81. VENTURA, D. F., SILVEIRA, L. C. L., RODRIGUES, A. R., DE SOUZA, J. M., GUALTIERI, M., BONCI, D., COSTA, M. F. Preliminary norms for the Cambridge Colour Test. IN: MOLLON, J. D., POKORNY, J., KNOBLAUCH, K. (eds.). *Normal and Defective Colour Vision*. Oxford: Oxford University Press, 2003a. p. 331-339.
82. 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. A. M., SILVEIRA, L. C. L. Colour vision and contrast sensitivity losses of mercury intoxicated industry workers in Brazil. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 19, p. 523-529, 2005.
83. VERRIEST, G. Further studies on acquired deficiency of color discrimination. *Journal of the Optical Society of America A*, v. 53, p. 185-195, 1963.
84. WRIGHT, W. D. *Researches on normal and defective colour vision*. London: Henry Kimpton, 1946. 383 p.

85. WRIGHT, W. D. The characteristics of tritanopia. *Journal of the Optical Society of America A*, v. 42, p. 509-521, 1952.
86. YATES J. T., HEIKENS, M. F. Colour vision testing – methodologies: update and review. IN: MENU J.-P., IVAN D. (eds.): *RTO technical report 16. Operational Colour Vision in the Modern Aviation Environment*. Neuilly-sur-Seine: Research and Technology Organization/North Atlantic Treaty Organization, 2001. p. 21-41.
87. YOUNG, T. Chromatics. *Supplement to the Encyclopaedia Britannica*, v. 3, p. 141-163, 1817.
88. YOUNG, T. The Bakerian lecture: on the theory of light and colours. *Philosophical Transactions of Royal Society*, v. 92, p. 12-48, 1802.

APÊNDICE 1



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

PROJETO: CORRELAÇÃO ENTRE RESULTADOS ELETROFISIOLÓGICOS E PSICOFÍSICOS PARA AVALIAÇÃO DA VISÃO DE CORES DE SUJEITOS TRICROMATAS E DISCROMATÓPSICOS

ESCLARECIMENTOS DA PESQUISA

Este trabalho busca estudar pessoas saudáveis e deficientes para enxergar cores. O conhecimento produzido por este estudo tem o objetivo de desenhar novos exames para a avaliação da visão de cores associando testes que necessitam ou não da colaboração ativa da pessoa testada.

Para isso esse estudo convidará todos os pacientes normais e com alteração de visão de cor encaminhados ao laboratório de Neurologia Tropical, bem como funcionário do local de pesquisa e conhecidos de membros do grupo de pesquisa, de ambos os sexos e todas as idades, para **voluntariamente** realizarem avaliação visual. As pessoas que participarem deste estudo terão que responder se conseguem ver ou não desenhos em monitores de computador e terão que usar eletródios no couro cabeludo para obtenção da atividade elétrica do cérebro provocada por estímulos visuais. Não há riscos de choque elétrico.

Os dados pessoais, clínicos e laboratoriais serão coletados através de cuidadosa avaliação visual e entrevista com o paciente.

O possível risco do projeto para a pessoa que será testada está em ela sentir-se cansada durante os testes. Portanto, é dado intervalos entre os testes para que não haja prejuízo ao bem estar do sujeito. Caso o participante sinta mal estar, o teste é finalizado.

Os benefícios para a pessoa que participará voluntariamente da pesquisa é que ela terá uma avaliação médica visual importante. Para a ciência, o benefício será o de contribuir para aumentar os conhecimentos sobre a visão de cor em seres humanos gerando dissertação, resumos de congressos e artigos no meio científico.

Deixamos claro que as pessoas testadas serão **voluntárias** (ou seja, não receberão dinheiro ou qualquer outra gratificação para participar da pesquisa) e poderão desistir em qualquer parte do processo de avaliação visual.

Esclarecemos que todos os dados dos pacientes serão usados em uma pesquisa que servirá para a melhoria de métodos de reconhecimento de alterações visuais que acometem o ser humano. Garantimos a privacidade e o anonimato das pessoas testadas no uso dos dados na pesquisa científica.

Responsável: Letícia Miquilini de Arruda Farias

End: Av. Generalíssimo Deodoro, 92.

Fone: 3201 6819

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Declaro que li as informações acima sobre a pesquisa, que me sinto perfeitamente esclarecido sobre o conteúdo da mesma, assim como seus riscos e benefícios. Declaro ainda que, por minha livre vontade, aceito participar da pesquisa cooperando com a coleta de dados.

Belém, / / .

Assinatura do sujeito da pesquisa ou do responsável

ANEXO 1

NÚCLEO DE MEDICINA
TROPICAL-NMT/
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: CORRELAÇÃO ENTRE RESULTADOS ELETROFISIOLÓGICOS E PSICOFÍSICOS PARA AVALIAÇÃO DA VISÃO DE CORES DE SUJEITOS TRICROMATAS E DISCROMATÓPSICOS

Pesquisador: Letícia Miqullini de Arruda Farias

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 05271813.1.0000.5172

Instituição Proponente: Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA

Patrocinador Principal: CONS NAC DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLÓGICO
FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP
Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP
FUNDAÇÃO AMAZONIA PARAENSE DE AMPARO A PESQUISA - FAPESPA
Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 375.242

Data da Relatoria: 28/08/2013

Apresentação do Projeto:

Trata-se de estudo experimental, não invasivo, de avaliação da visão de cromática humana, no qual se propõe a estabelecer uma relação entre os resultados de diferentes testes psicofísicos e eletrofisiológicos que avaliam a visão de cores no eixo verde-vermelho, com o intuito de atingir um maior refinamento dos procedimentos de diagnóstico.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Avaliar possível correlação entre os resultados de testes psicofísicos (Pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara, Colour Assessment and Diagnosis - CAD, Cambridge Colour Test - CCT) e testes eletrofisiológicos (potencial cortical provocado visual- padrão reverso cromático e acromático) aplicados para avaliação de cor em sujeitos tricromatas e discromatopsicos.

Objetivo Secundário:

-Descrever visão de cores de sujeitos tricromatas e discromatopsicos através das pranchas

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92

Bairro: Umarizal

CEP: 66.055-240

UF: PA

Município: BELEM

Telefone: (91)3201-6857

E-mail: cepbel@ufpa.br

NÚCLEO DE MEDICINA
TROPICAL-NMT/
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 375.242

pseudoisocromáticas de Ishihara.

-Descrever a visão de cores de sujeitos tricromatas e discromatópicos através do teste Colour Assessment and Diagnosis CAD.

-Descrever a visão de cores de sujeitos tricromatas e discromatópicos através do Cambridge Colour Test CCT.

-Descrever a visão de cores de sujeitos tricromatas e discromatópicos através dos testes eletrofisiológicos de obtenção do potencial cortical provocado visual- padrão reverso cromático.

-Descrever a visão de luminância de sujeitos tricromatas e discromatópicos através dos testes eletrofisiológicos de obtenção do potencial cortical provocado visual- padrão reverso acromático.

-Correlacionar resultados dos testes psicofísicos estudados.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Os participantes envolvidos nesta pesquisa não serão submetidos a nenhum risco que cause danos físicos ou mentais, pois os testes utilizados não são invasivos. O possível desconforto que a pessoa possa sofrer será o tempo que irá doar para a realização dos testes.

Benefícios:

Os benefícios para a pessoa que participará voluntariamente da pesquisa é que ela terá uma avaliação médica visual importante. Para a ciência, o benefício será o de contribuir para aumentar os conhecimentos sobre a visão de cor em seres humanos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Hipótese:

Diferentes testes que avaliam a visão de cores devem estar ativando os mesmos grupos neuronais e os resultados destes testes devem apresentar um grau de correlação tanto em sujeitos com visão de cor normal quanto alterada.

Metodologia Proposta:

O presente estudo pretende avaliar 150 indivíduos de ambos os sexos, sendo 100 controles e 25

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92	CEP: 66.055-240
Bairro: Umarizal	
UF: PA	Município: BELEM
Telefone: (91)3201-6857	E-mail: cepbel@ufpa.br

NÚCLEO DE MEDICINA
TROPICAL-NMT/
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 375.242

sujeitos protan e 25 deutan. Os sujeitos serão recrutados através de convite direto entre conhecidos dos integrantes da pesquisa, funcionários e estudantes da UFPA, por indicação de pacientes alvos da pesquisa ou encaminhados pelo DETRAN-PA. Os voluntários que aceitarem participar do projeto serão esclarecidos quanto aos objetivos, protocolos empregados, os possíveis desconfortos e sobre a possibilidade de desistência da pesquisa em qualquer momento conforme a sua vontade. Em seguida, os sujeitos que estiverem de total acordo com o estudo assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido aonde irão permitir a utilização dos dados coletados nesta pesquisa. Posteriormente, os participantes serão submetidos à anamnese onde irão informar dados pessoais, informações profissionais, história médica, pessoal e familiar. Ao terminar a anamnese, os sujeitos irão realizar três testes de triagem: a placa de optótipos de Snellen, a autorefratometria e o teste Heidelberg - Multi - Color Anomalouskop Rayleigh. Caso fossem aprovados nos critérios de inclusão, os sujeitos iniciarão a bateria de testes de avaliação de cor que será constituída de três testes psicofísicos: o teste de discriminação de cores com pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara, os testes de avaliação de cor Colour Assessment and Diagnosis (CAD) e Cambridge Colour Test (CCT); e dois testes eletrofisiológicos para obtenção do potencial cortical provocado visual com padrão reverso - protocolos com estímulos acromático e cromático. Todos os testes serão realizados em ambiente escurecido tendo como única fonte proveniente de luz, o equipamento ou a tela do monitor de estimulação com exceção do teste de discriminação de cores através de pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara, e monocularmente, sendo que o olho escolhido para aplicação será o de melhor acuidade. Quando ambos os olhos exibirem a mesma acuidade, o critério de escolha será o menor valor de refração apresentado por cada olho.

Critério de Inclusão:

- Acuidade visual igual ou corrigida para 20/30.
- Ausência de doenças oftalmológicas com exceção de miopia, astigmatismo e hipermetropia.
- Ausência de doenças neurológicas.
- Ausência de exposição prévia a químicos que comprovadamente causem danos visuais.
- Ausência de histórico de infecção que comprovadamente cause danos visuais.
- Ausência de doença sistêmicas que comprovadamente cause alteração visual.

Metodologia de Análise de Dados:

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92	CEP: 66.055-240
Bairro: Umarizal	
UF: PA	Município: BELEM
Telefone: (91)3201-6857	E-mail: cepbel@ufpa.br

NÚCLEO DE MEDICINA
TROPICAL-NMT/
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 375.242

Os parâmetros analisados nestes protocolos são a quantidade e porcentagem de erros cometidos na leitura das pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara, as médias dos tamanhos dos vetores 150° e 330° e 0° e 180° do CAD e CCT, respectivamente, amplitude de pico a linha de base dos componentes N1 para os registros obtidos com estimulação cromática e P1 para os registros obtidos com estimulação de contraste de luminância. Além da razão entre as amplitudes das respostas corticais de cor e luminância. O valor do coeficiente de correlação linear de Pearson será utilizado como parâmetro de avaliação da associação entre duas variáveis e o valor da correlação múltipla para a análise da associação de três variáveis. Os critérios serão processados no programa de planilhas do programa Microsoft EXCEL e os seus resultados serão comparados. O método estatístico que será utilizado é o coeficiente de correlação linear de Pearson que servirá como parâmetro de avaliação da associação entre duas variáveis e o coeficiente de variação, para avaliar a variabilidade dos dados. Por fim, será criado um gráfico tridimensional dos resultados das correlações para mostrar a disposição espacial de cada grupo.

Desfecho Primário:

Encontrar diversas correlações entre os testes utilizados para todos os grupos da amostra, podendo assim definir com clareza quais protocolos se adequam melhor a cada grupo experimental gerando resultados com alta taxa de confiabilidade.

Desfecho Secundário:

Descrever a visão de cores dos sujeitos tricromatas e discromatópicos a partir de todos os protocolos empregados nesta pesquisa, encontrar correlações entre os testes psicofísicos e gerar um gráfico tridimensional para auxiliar na visualização dos dados da amostra, tornando futuramente este artifício uma ferramenta que auxiliará a visualizar a distribuição dos resultados de perda de visão de cores no eixo verdevermelho nas mais diversas patologias.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os documentos foram apresentados. Contudo, na avaliação passada haviam sido feitas as seguintes recomendações, definidas como pendências:

1. Ajustar o cronograma de execução.
2. Inserir os dados de contato do CEP no TCLE.

As pendências acima apresentadas foram resolvidas.

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92	CEP: 66.055-240
Bairro: Umarizal	
UF: PA	Município: BELEM
Telefone: (91)3201-6857	E-mail: cepbel@ufpa.br

NÚCLEO DE MEDICINA
TROPICAL-NMT/
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 375.242

Recomendações:

Sem

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Dado que as pendências foram resolvidas, o protocolo é dado com aprovado.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

BELEM, 28 de Agosto de 2013

Assinador por:
ANDERSON RAIOL RODRIGUES
(Coordenador)

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92
Bairro: Umarizal **CEP:** 66.055-240
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91)3201-6857 **E-mail:** ceptel@ufpa.br

ANEXO 2



Teste das Lâminas Pseudoisocromáticas de Ishihara

Planilha para acompanhamento do teste de Ishihara								
Placa	Normal	Discriminação				Resposta do Sujeito		
		Deficiente		Ausente	D	E		
1	12	12		12				
2	8	3		X				
3	6	5		X				
4	29	70		X				
5	57	35		X				
6	5	2		X				
7	3	5		X				
8	15	17		X				
9	74	21		X				
10	2	X		X				
11	6	X		X				
12	97	X		X				
13	45	X		X				
14	5	X		X				
15	7	X		X				
16	16	X		X				
17	73	X		X				
18	X	5		X				
19	X	2		X				
20	X	45		X				
21	X	73		X				
		Protan		Deutan				
		Grave	Leve	Grave	Leve			
22	26	6	(2) 6	2	(2) 6	X		
23	42	2	(4) 2	4	(4) 2	X		
24	35	5	(3) 5	3	(3) 5	X		
25	96	6	(9) 6	9	(9) 6	X		

Conclusão:
