



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Ciências da Saúde

Visão das Cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue

Cláudia Margarida Figueiredo Mota

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Optometria em Ciências da Visão
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Amélia Nunes

Covilhã, Outubro de 2011

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que de perto me apoiaram e incentivaram para a realização deste trabalho. Aos meus pais, irmãos e família que me apoiaram e motivaram para seguir em frente, perante situações menos favoráveis. Amigos e colegas de trabalho que também me encorajaram e fizeram ver que eu também seria capaz.

Em especial a minha orientadora pela iniciativa, coragem e força que me deu. Foi graças a ela que surgiu a solução para conseguir chegar até aqui, não foi feito o que inicialmente tínhamos pensado, mas aqui fica um trabalho de investigação que no futuro me poderá ajudar e abrir outras portas. Agradeço a paciência que teve durante este ano pois não foi fácil como aprendiz na área da investigação foi percorrido um longo e difícil caminho, até chegar aqui.

A ti Cristina, um muito obrigado pelo apoio, dedicação e compreensão.

Entre muitos outros que estiveram presentes e que de uma forma ou outra deram o seu contributo.

A todos o meu profundo e sincero agradecimento.

Resumo

O Presente trabalho teve por finalidade fazer uma revisão bibliográfica acerca do tema, a avaliação da visão das cores e os vários sistemas de análise do teste *Farnsworth Munsell 100-Hue*. Foram avaliadas várias publicações nacionais e internacionais, seleccionadas de forma criteriosa quanto ao material e método utilizados e que se adequassem e satisfizessem os objectivos desta revisão bibliográfica. Foram encontrados na totalidade 877 documentos, dos quais apenas 46 foram analisados, segundo os critérios de selecção. Concluiu-se que o método de análise mais utilizado é a análise quadrante.

Os defeitos na visão cromática podem ser divididos em duas grandes classes: defeitos congénitos e defeitos adquiridos. Entender e diferenciar estas duas condições é importante na prática clínica, tanto para diagnóstico dos defeitos congénitos, como para diagnóstico e acompanhamento dos defeitos adquiridos.

Actualmente estão disponíveis diversos testes clínicos que podem ser aplicados no diagnóstico das discromatopsias, porém, é necessário conhecer-se as vantagens de uns em relação aos outros, bem como a fiabilidade dos seus resultados, para que se possa seleccionar a melhor ferramenta de trabalho na hora de avaliar a visão das cores. Os testes de visão das cores são usados para os mais diversos fins, desde a simples triagem, passando pela diferenciação e qualificação do tipo de defeito até a orientação vocacional.

De entre a diversidade de testes disponíveis no mercado para a avaliação dos defeitos cromáticos, só alguns permitem quantificar a severidade do defeito, sendo o teste das 100 tonalidades de *Farnsworth Munsell (FM-100)*, o mais utilizado. Os defeitos adquiridos são melhor reproduzidos pelo teste de FM-100, mas na maioria das vezes, os resultados revelam um padrão pouco característico de defeito. Dada a grande dificuldade na diferenciação de discromatopsias congénitas de adquiridas, nos últimos tempos, várias propostas de análise de resultados têm sido apresentadas para a análise deste teste, como alternativas à análise convencional.

Palavras-chave:

Farnsworth Munsell-100, defeitos na visão das cores, visão das cores, método de Vingrys, análise quadrante, método convencional.

Abstract

The present paper aims to systematically review the literature on the subject of evaluation of colour vision and the various test systems for analyzing the Farnsworth-Munsell 100. We evaluated several national and international publications, judiciously selected as the material and method used and that fit and met the objectives of this systematic review. Found 877 documents in total, of which only 46 were analyzed according to the selection criteria. It was concluded that the most widely used analysis' method is the quadrant's analysis.

Colour vision defects can be divided into two major categories: birth defects and acquired defect. Understand and differentiate these conditions is important in clinical practice, both for diagnosis of defects, as for diagnosis and monitoring of acquired defects.

Currently several clinical trials are available that can be applied for diagnosis of color blindness, however, you need to know the advantages of one over the other, and the reliability of their results, so you can select the best working tool time to evaluate color vision. Tests for color vision are used for different purposes, ranging from simple screening, through differentiation and determination of the type of defect to the vocational orientation.

Among the variety of commercially available tests for the evaluation of chromatic defects, only a few can be used to quantify the severity of the defect, and the testing of 100 shades of Fransworth Munsell 100-Hue is the most used. The acquired defects are best reproduced by the FM-100 test, but in most cases, the results reveal a pattern uncharacteristic of defect. Given the great difficulty in differentiating congenital from acquired color blindness, at the last time, several proposals for analysis of results have been presented for the analysis of this test, as alternatives to conventional analysis.

Keywords

Farnsworth Munsell 100-Hue, defects in colour vision, colour vision, Vingrys' method, quadrant's analysis, the conventional method.

Índice

Agradecimentos	III
Resumo	IV
Abstract	V
Índice	VI
Índice de figuras	VIII
Índice de acrónimos	IX
Capítulo I	1
1. Introdução	1
2. Objectivos	2
Capítulo II	3
3. Metodologia	3
Capítulo III	4
4. Processamento da visão das cores	4
4.1 Tipos de fotorreceptores	5
4.2 Teoria da visão das cores	6
4.3 Factores que afectam a visão das cores	6
5. Tipos de defeitos na visão das cores	7
5.1 Defeitos congénitos	8
5.2 Defeitos adquiridos	9
6. Avaliação da visão das cores	10
6.1 Testes de visão das cores	12
6.1.1 Testes Pseudoisocromáticos	12
6.1.2 Testes de ordenação ou arranjo de cores	13
6.1.3 Testes de Equalização	14
6.1.3.1 Anomaloscópios	14
6.1.3.2 Teste da City University	15
6.1.4. Teste de nomeações de cores	16
6.1.5. Testes Computadorizados	16
7. Teste Farnsworth Munsell100-Hue	18
7.1 Cálculo da pontuação de erros	18
7.2 Características do teste	19
7.3 Tipos de análise para interpretação do teste FM-100	20
7.3.1 Análise Convencional	21
7.3.2 Análise Quadrante	22

7.3.3 Análise de Vingrys	23
8. Aplicações do teste FM-100	25
Capítulo IV	27
9. Conclusões Gerais	27
10. Bibliografia/Referencias	29

Índice de Figuras

Fig.1 Secção transversal de um segmento da retina humana	5
Fig.2 Sensibilidade espectral dos cones e dos bastonetes	6
Fig.3 Diagrama de cromaticidade da CIE.	11
Fig.4 Teste de Ishihara.	13
Fig.5 Farnsworth Panel D-15.	14
Fig.6 Anomaloscópio de Neitz.	15
Fig.7 City University Test.	15
Fig.8 Testes de nomeação de cores.	16
Fig.9 Imagem do Cambridge Colour Test.	17
Fig.10 Imagem do arranjo de cores do teste computadorizado Seohan.	17
Fig.11 Farnsworth Munsell 100-Hue Test.	18
Fig.12 Gráficos polares do teste de Farnsworth Munsell 100-Hue mostrando defeitos da sensibilidade cromática.	19
Fig.13 Gráfico representativo com os 3 tipos de defeitos identificados segundo a distribuição.	21
Fig.14 Classificação dos tipos de defeitos adquiridos, segundo a análise quadrante.	22
Fig.15 Resultados do teste de cores Farnsworth Munsell 100-Hue obtidos através do programa FM 100 Hue test Scoring software v 3.0.	24

Índice de Acrónimos

B - Blue (Azul)

CDVs - Colour Difference Vectors (diferença de cor dos vectores)

CIE - The Commission Internationale de l'Eclairage (Comissão Internacional de Iluminação)

G - Green (Verde)

Hz - Hertz

K - Kelvin

L - Long (Longos)

M - Medios

Nm - Nanómetros

NO - Neurite optica

P - Purple (Roxo)

R - Red (Vermelho)

S- Short (Curtos)

SNC- Sistema Nervoso Central

X - Eixo horizontal

Y - Eixo vertical

Y - Yellow (Amarelo)

V - Frequência

λ - Comprimento de onda

Capítulo I

1. Introdução

A visão é um mecanismo complexo onde a Acuidade Visual é um parâmetro muito importante mas limitado. Existem outros parâmetros que também são importantes e por vezes pouco valorizados, que auxiliam no diagnóstico de muitos problemas como o campo visual, a sensibilidade ao contraste e a visão das cores. (1)

A avaliação das funções visuais tem um papel muito importante, na prática clínica; tem como objectivo auxiliar nos diagnósticos diferenciais de doenças oculares, bem como também no seu acompanhamento e evolução, determinando se o tratamento adoptado está a ser eficaz ou não.

O interesse e a curiosidade sobre o fenómeno da visão das cores remontam à antiguidade, com especulações feitas por vários filósofos, cientistas, fisiologistas e analistas. (2)

Aristóteles, demonstrando o seu interesse pelo assunto afirmava que as cores principais eram sete e que as demais eram resultantes da mistura das originais. (3)

No século XVI, *Leonardo da Vinci* recolheu um conjunto de dados e foi o responsável pela criação de uma teoria para as cores. Posteriormente e baseado nos seus apontamentos foi publicado “O tratado da pintura e da paisagem” onde foi demonstrado experimentalmente que a cor branca é composta pela união de todas as cores. (4)

No século XVIII (1704), *Sir Isaac Newton* publica o livro “Óptica: Um tratado sobre a reflexão, a refração e as cores da luz”. (2) A maior contribuição desta obra foi demonstrar o mecanismo de coloração dos corpos através da absorção e reflexão dos raios luminosos, além de introduzir o conceito de comprimento de onda, propriedade dos raios simples que permite defini-los quantitativamente. (5)

Johann Wolfgang Von Goethe, em 1820 publica o seu “Esboço de uma teoria das cores”, trabalho esse que foi a base para a divisão dos campos que estudam as cores:

- Óptica Fisiológica;
- Óptica Física;
- Óptica Físico-Química. (6)

A avaliação da visão das cores é uma ferramenta valiosa para a compreensão de como se processa este fenómeno nos indivíduos comuns e principalmente nos que apresentam alterações na sensibilidade cromática.

É necessário conhecer a importância da visão das cores no dia-a-dia de cada um. A sua identificação nem sempre é uma tarefa fácil, nem praticada por todos, acontece que a sua utilidade na prática clínica é muito importante visto ter varias aplicações; nomeadamente

Visão das cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue na discriminação de uma sensibilidade cromática deficiente bem como no diagnóstico e acompanhamento de muitas doenças.

2.Objectivos

Esta dissertação tem como objectivo principal, efectuar uma revisão bibliográfica, baseada na literatura científica existente e mais relevante sobre o tema “ Avaliação da Visão das Cores”.

Enumerando de seguida os vários pontos de interesse:

1. Analisá-lo de forma a avaliar o ‘estado-da-arte’ sobre o tema;
2. Organizar a informação recolhida, de forma a clarificar e definir melhor o tema;
3. Nomear e quantificar quais os testes usados para avaliar a visão das cores, os existentes e os mais utilizados, tanto a nível clínico como a nível da investigação;
4. Analisar os vários métodos de análise do *Farnsworth Munsell 100-Hue* e verificar qual dos métodos é o mais utilizado, na prática clínica.

Capítulo II

3. Metodologia

Como metodologia para este trabalho de revisão bibliográfica, foram utilizados documentos disponíveis em sites de bases de dados nacionais e internacionais.

Dos vários motores de busca disponíveis na Internet foram utilizados a “*sciencedirect*”, a “*Pubmed*” e o “Google académico”, pela sua credibilidade na comunidade científica e pelo seu impacto. Usando as seguintes palavras-chave:

- *Farnsworth Munsell 100-Hue*;
- *Color vision defects*;
- *Quadrant analysis*;
- *Conventional method*;
- *Methods of Vingrys*
- *Methods of analysis*

A pesquisa de artigos realizou-se durante o período do mês de Janeiro a Março de 2011, recorrendo aos vários motores de busca acima referidos, não fazendo restrições temporais.

Em cada motor de busca surgiram imensos documentos. Posteriormente, procedeu-se à selecção dos documentos mais relevantes, tendo como critério o seu conteúdo, que deveria estar centrado nas metodologias de análise do teste *Farnsworth Munsell 100-Hue*.

Através do motor de busca *sciencedirect* foram encontrados 140 documentos, em que somente 15 dos quais foram analisados, visto abordarem vários métodos de análise aplicados ao teste FM-100. Da mesma forma consultando o site da *Pubmed*, foram encontrados 189 documentos, em que somente 17 dos documentos abordavam os vários métodos de análise. E por fim, na página do Google académico surgiram 548 documentos dos quais somente 14 eram mais relevantes, em relação à temática dos métodos de análise.

No total foram consultados 877 documentos.

Capítulo III

4. Processamento da Visão das Cores

A perfeita percepção das cores faz parte da interação do indivíduo com o seu ambiente e com o seu meio social.

A percepção das cores é o resultado de uma sensação visual causada pela absorção de fótons por parte dos fotopigmentos dos cones. Uma determinada cor ou comprimento de onda é definido através de três características básicas, o Tom ou Matiz, a Saturação e o Brilho. (7)

O olho humano é capaz de captar fótons com comprimentos de onda entre os 380nm e os 760nm e converter essa energia em impulso eléctrico, que será levado ao cérebro (8). Por outras palavras, a luz que entra no olho antes de ser processada pelo sistema nervoso central (SNC), atravessa quatro níveis em que o sinal poderá ser modificado (9). Os vários níveis pelos quais a luz irá passar são os filtros pré-receptoriais, os cones, os filtros pós-receptoriais e o último nível que são as células ganglionares (Fig.1). (10)

Antes de atingir os fotorreceptores, a luz atravessa estruturas que funcionam como filtros pré-receptoriais que alteram o comprimento de onda da luz incidente, sendo elas a córnea, o humor aquoso, o cristalino, o humor vítreo e a fóvea. O cristalino e a fóvea, são os filtros pré-receptoriais com o papel mais importante e mais significativo. O cristalino tem uma grande tendência para absorver comprimentos de onda curtos e a fóvea possui um pigmento xantófilo, que tem a capacidade de absorver o mesmo tipo de comprimentos de onda (10,11). Os fotorreceptores, em particular os cones, desempenham o papel mais importante na fisiologia da visão das cores, porque se localizam nas camadas mais internas da retina e recebem a luz que ultrapassa as várias camadas retinianas, originando o impulso eléctrico. (12)

Após atravessar os fotorreceptores, os sinais são modificados por processos pós - receptoriais para chegar ao último nível, a camada das células ganglionares e finalmente, a informação viaja através do nervo óptico, dando continuidade até ao SNC. (12)

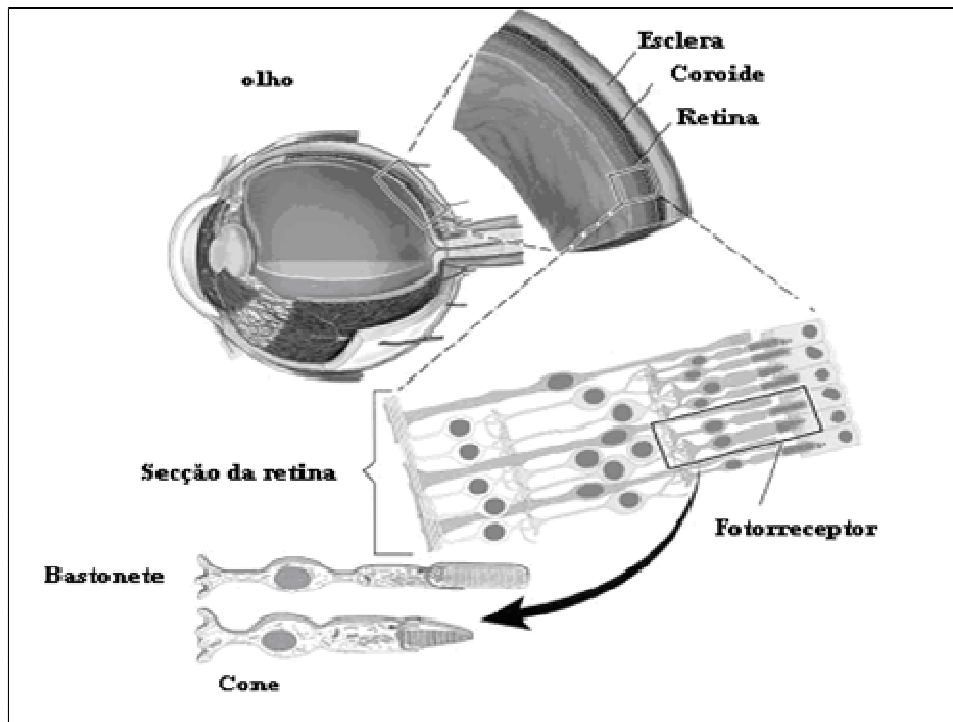


Fig.1 Secção transversal de um segmento da retina humana. (12)

4.1 Tipos de Fotorreceptores

Existem dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes, que actuam em condições de iluminação diferentes. Os cones funcionam sob condições de visão fotópica e são as células responsáveis pela visão das cores em indivíduos normais. Os bastonetes funcionam em condições de baixa iluminação, também designada de visão escotópica. (12)

Existem cerca de 5 milhões de cones e 92 milhões de bastonetes na retina humana. Os cones estão mais concentrados na parte central da retina mais especificamente na zona da fóvea. À medida que nos vamos afastando do centro, a sua densidade diminui e aumenta o número de bastonetes. (13)

Os cones são classificados de acordo com a sua sensibilidade espectral às diferentes faixas de comprimentos de onda longos, médios e curtos, ou também pelas suas siglas de L, M e S, respectivamente. (7)

Os cones sensíveis ao vermelho são maximamente estimulados por comprimentos de onda longos na ordem dos 570nm. Os cones sensíveis ao verde são mais estimulados por comprimentos de onda médios na ordem dos 540nm. Por último, os cones sensíveis ao azul são mais estimulados por comprimentos de onda curtos, da ordem dos 440nm (Fig.2). (7,12)

A densidade populacional dos três tipos de fotorreceptores dos cones é distinta nas diferentes partes do olho. Na retina central a distribuição proporcional dos cones é de aproximadamente 20 Vermelhos: 40 Verdes: 1 Azul. (12)

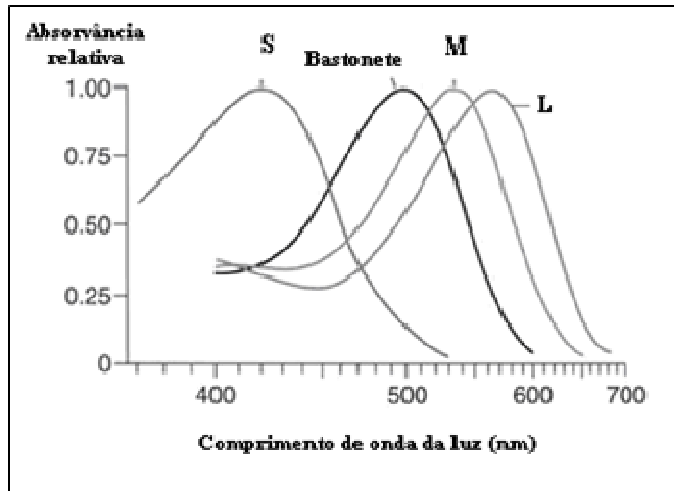


Fig.2 Sensibilidade espectral dos cones e dos bastonetes. (12)

4.2 Teorias da Visão das Cores

Actualmente existem duas teorias para classificar a visão das cores, a teoria tricromática e a teoria das cores oponentes, as duas complementam-se e são a base do entendimento da visão das cores. (2)

A teoria tricromática foi proposta no início do século XIX por *Young* e *Helmholtz*, ambos fisiologistas e é a base da óptica fisiológica. Esta teoria mostra que o olho humano possui três tipos diferentes de fotorreceptores visuais, os cones, S, M e L com picos de sensibilidade máxima à luz azul, verde e vermelha, respectivamente. (14) No entanto, a teoria tricromática não consegue explicar alguns fenómenos cromáticos encontrados na natureza. Em particular, ela falhava ao explicar o porquê de certas combinações de cores se cancelarem umas às outras e o porquê de isso não ocorrer com outras combinações. (2)

Assim, o fisiologista alemão *Ewald Hering*, em 1878, propôs a teoria das cores oponentes, sugerindo a existência de três canais de cores oponentes, mutuamente inibitórios: o vermelho - verde, o azul - amarelo e o branco - preto. (15)

4.3 Factores que afectam a visão das cores

Existem vários factores que afectam a visão das cores, nomeadamente a iluminação, o tamanho do campo visual e os problemas cognitivos e emocionais. Para minimizar erros, estas variáveis devem ser controladas ao máximo. (12)

Segundo os autores *Melamud A* e companheiros em 2004, os factores a ter em conta na avaliação da visão das cores são:

1. A iluminação; deve ser sempre apropriada consoante as normas prescritas. Para além da fonte de iluminação, o nível de iluminação também é muito importante visto que níveis muito elevados podem provocar um

Visão das cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue encandeamento e diminuir a saturação da percepção das cores. Por outro lado, o contrário pode deteriorar a discriminação das mesmas.

2. O tamanho do campo visual; é afectado tanto pela distância do observador ao objecto como pelo tamanho do próprio objecto.
3. A ansiedade; a realização do teste pode produzir ansiedade, afectando negativamente a concentração e a capacidade cognitiva.
4. A fiabilidade; é testada apresentando o mesmo teste repetidas vezes ao mesmo individuo e comparando os resultados. Caso os resultados sejam constantes considera-se o teste fiável. No entanto é necessário algum cuidado porque alguns testes envolvem aprendizagem após repetidas realizações.
5. A validade; pode ser obtida comparando o desempenho do sujeito com um observador-padrão.

Além destes factores, também existem factores de carácter fisiológico que afectam a sensibilidade cromática. A fóvea e o cristalino são os principais contribuintes para estas alterações. (12)

A fóvea é um pigmento amarelo inerte que cobre 10° da retina central. A quantidade e a densidade varia de individuo para individuo, mas permanece constante ao longo do tempo. Com o aumento da densidade do cristalino, devido à idade, a sua capacidade para absorver os comprimentos de onda curtos também aumenta. Esta propriedade afecta a discriminação da tonalidade azul nas pessoas de mais idade (10,11). Por esta razão, os indivíduos mais idosos têm maior dificuldade em discriminar a tonalidade azul que os indivíduos jovens. (12)

Por estas razões, todos estes aspectos devem ser considerados no momento de avaliar a visão das cores e de interpretar os resultados dessa avaliação.

5. Tipos de defeitos na visão das cores

Os defeitos da sensibilidade cromática podem ser divididos em duas grandes classes:
(2)

Defeitos congénitos;

Defeitos adquiridos;

O entendimento e a diferenciação destas duas condições são fundamentais para que o examinador tenha condições de organizar o acompanhamento e a terapêutica do seu paciente. (2)

5.1 Defeitos congénitos

O primeiro estudo sobre as alterações congénitas na visão das cores foi feito pelo cientista inglês *John Dalton*, em 1798, originada e baseada pela sua própria dificuldade para ver as cores, pois era portador de protanopia (16). Assim surgiu a designação de daltonismo para classificar a deficiência congénita na visão das cores. (2)

Nos defeitos congénitos ambos os olhos estão afectados da mesma maneira, pois estão presentes desde o nascimento; afecta maioritariamente o sexo masculino, o defeito é estável ao longo da vida, é facilmente classificável, não afecta a acuidade visual e existe uma maior predominância de defeitos protan e deutan do que defeitos tritan. (17)

Estes tipos de defeitos ocorrem quando existe uma anomalia nos fotopigmentos dos cones ou quando não estão todos os tipos de cones activos. As classificações dos defeitos cromáticos estabelecem-se de acordo com o tipo de fotorreceptores que o sujeito possui ou com o funcionamento anómalo de algum dos fotorreceptores. (2,12)

Segundo os autores *Bruni LF* e *Cruz AAV* em 2006, a terminologia utilizada na classificação dos defeitos cromáticos congénitos é:

a) Tricromatismo anómalo; percebe a luz branca através de proporções anómalas de vermelho, verde e azul. É tricromata porque possui os três tipos de cones e é anómalo porque um deles funciona de forma anómala.

b) Dicromatismo; percebe branco com estímulos de apenas dois tipos de cones diferentes. É dicromata porque possui dois tipos de cones.

c) Monocromatismo; percebe branco com qualquer um dos estímulos. É monocromata porque possui apenas um tipo de cone ou não possui nenhum.

A designação de protan, deutan e tritan, surgiu do grego para designar o defeito no vermelho, verde e azul respectivamente. (8,18)

A terminação “omalia” utiliza-se para classificar os defeitos mais leves na visão das cores e a terminação “opia” é utilizada para classificar as situações mais graves visto terem em falta, um dos fotopigmentos. (20)

O tricromatismo anómalo ocorre quando existe uma alteração de um dos fotopigmentos dos cones, particularmente nos casos de protanomalia e deuteranomalia. A tritanomia não é tão frequente. (2,19)

O dicromatismo pode-se classificar como protanopia que é a ausência de fotopigmentos eritrolábeis (maior sensibilidade à luz vermelha); como deuteranopia que é a ausência de fotopigmentos clorolábeis (maior sensibilidade à luz verde) e como tritanopia que é a ausência de fotopigmentos cianolábeis (maior sensibilidade à luz azul), este defeito cromático é mais raro do que os anteriores. (2)

Todos estes defeitos têm uma incidência superior em homens do que em mulheres, sendo o mais comum a deuteranomalia. (20)

5.2 Defeitos adquiridos

Os defeitos adquiridos podem obter-se ao longo da vida e sofrer alterações no tipo e severidade do defeito. Também se tem constatado uma igualdade de incidência tanto no sexo masculino como no sexo feminino e uma predominância dos defeitos tritan. (17)

Os defeitos adquiridos surgem de problemas secundários associados a estados patológicos, tanto oculares como sistémicos. (12) Normalmente são acompanhados de perda de acuidade visual e de defeitos no campo visual. Os defeitos cromáticos adquiridos tendem a afectar os dois olhos de forma independente. (17)

As causas das discromatopsias adquiridas podem ter origem em alterações nos filtros pré-receptoriais (cristalino, fóvea, pupila), na redução da densidade óptica dos fotopigmentos dos cones (S, M e L), na perda desequilibrada dos tipos de cones e em alterações a nível do processamento pós-receptorial. (21) Neste caso normalmente os três cones são afectados, embora, não necessariamente da mesma forma. (22)

Existem várias doenças que podem afectar a visão das cores nomeadamente, a esclerose múltipla, a diabetes, o glaucoma, a neuropatia óptica, entre outras. (1,22)

Quando existe ou surge uma alteração na visão das cores, pode ser uma indicação de uma alteração no progresso da doença ou indício de toxicidade, provocada por algum medicamento. No entanto, não se deve esquecer que com o aumento da idade pode-se verificar uma alteração ao nível do cristalino e de outras componentes da anatomia ocular, que podem também provocar alterações na visão das cores. (12,22)

No que respeita à classificação dos defeitos cromáticos adquiridos, é comum a utilização da terminologia protan, deutan e tritan, para designar a deficiência. No entanto, esta classificação não é fácil, já que é usual existir compromisso nos três eixos. (20)

Em 1912, *Köllner*, um cientista alemão, formulou uma lei que postulava que as deficiências cromáticas do tipo azul-amarelo (tritan) eram resultado de doenças da retina, enquanto, as deficiências do tipo vermelho-verde (protan e deutan) eram relacionadas com alterações do nervo óptico. Ao longo do tempo, várias pesquisas foram demonstrando que existem evidentes excepções a essa lei, sendo o glaucoma uma importante excepção. (23-25)

Marré em 1973 propôs uma classificação, baseando-se na análise quantitativa dos três mecanismos dos cones, considerando as deficiências ao nível do receptor e não nas interacções dos sinais oponentes e postula que os defeitos vermelho-verde geralmente estão associados a problemas com as vias ópticas, desde as células ganglionares até o córtex. São problemas que tendem a ser progressivos e podem envolver todas as cores, mas o eixo vermelho-verde estará mais acometido. Os defeitos azul-amarelo geralmente originados na retina, tendem a preservar mais o eixo vermelho-verde do que o azul-amarelo. (26-28) Podem ser combinados com o primeiro tipo, à medida que progridem para a perda total da percepção das cores. Na verdade, é uma referência à Lei de Köllner. (29)

A classificação mais generalizada e utilizada na prática clínica dos nossos dias é a classificação de *Verriest*, (30) que subdivide os defeitos cromáticos adquiridos em 3 tipos:

Visão das cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue

- Tipo I defeito vermelho-verde (protan), que envolve perda da função dos cones;
- Tipo II defeito vermelho-verde (deutan), afectando a transmissão de sinais do nervo óptico;
- Tipo III defeito azul-amarelo (tritan), relacionado com problemas na retina e coróide.

Outras denominações podem ser aplicadas aos defeitos adquiridos: (20)

- a) Acromatopsia; sinónimo de monocromatismo ou ausência da percepção das cores.
- b) Cromatopsia; quando há uma distorção da percepção cromática, havendo mudança na sensação da cor percebida. Podendo levar a xantopsias, eritropsias, cianopsias e cloropsias, que são distorções cromáticas que tornam os objectos amarelados, avermelhados, azulados e esverdeados, respectivamente.
- c) Discromatopsia; percepção anormal das cores, mais aplicável aos distúrbios adquiridos do que aos congénitos.
- d) Agnosias cromáticas; alterações de percepção cromática resultantes de lesões corticais cerebrais.

6.Avaliação da visão das cores

Os testes de visão das cores são usados para os seguintes fins: (12,31)

- Triagem;
- Caracterizar o tipo de defeito;
- Diferenciar entre defeito congénito e adquirido;
- Avaliar a severidade do defeito;
- Para orientar testes vocacionais.

A avaliação da sensibilidade cromática só tem valor científico se for realizada sob as condições de iluminação padronizadas. Os testes para avaliação da visão das cores obedecem à padronização de reprodução de cores proposta pela CIE em 1931. Essa comissão adoptou um método colorimétrico baseado nas especificações de cores num sistema cartesiano de três coordenadas, o chamado Diagrama de Cromaticidade ou Espaço de Cores da CIE (Fig.3). (31)

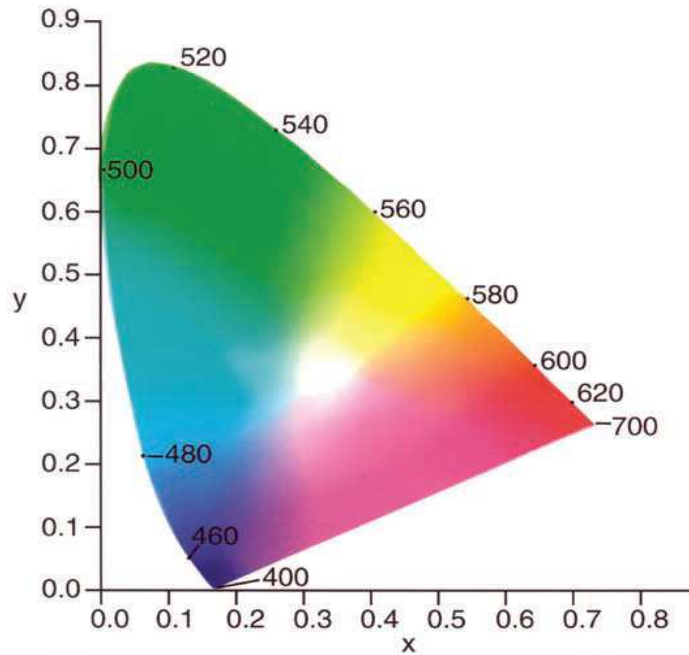


Fig.3 Diagrama de cromaticidade da CIE. (12)

Essa padronização é baseada na temperatura de cor ou cromaticidade de cada uma das diferentes fontes luminosas. Temperatura de cor é a medida científica do equilíbrio dos comprimentos de onda encontrados em qualquer luz “branca”. A temperatura da cor está directamente relacionada com a temperatura física do filamento nas lâmpadas incandescentes, de forma que a escala de temperatura Kelvin (K) é utilizada para descrever a temperatura da cor. (2)

A unidade para a cromaticidade no sistema internacional é o Kelvin (K), e graficamente pode ser representado num sistema cartesiano nas coordenadas x e y no Diagrama de Cromaticidade da CIE. (12)

Recomenda-se o uso da lâmpada de *Macbeth*, porque proporciona uma temperatura de cor de 6.740° K, que corresponde à fonte iluminante C, representativa da luz do dia, de acordo com a padronização da CIE. (8)

Mesmo atendendo a estas recomendações, não existe um teste ideal para avaliar a visão das cores e que forneça o diagnóstico exacto. Assim, o uso de dois ou três testes independentes fornece um resultado mais fiável, embora isso nem sempre seja possível.

A avaliação da sensibilidade cromática deve ser feita monocular, pois podem ocorrer diferenças no desempenho entre os olhos, principalmente quando se pesquisam defeitos adquiridos.

É importante saber qual o objectivo do teste e a especificidade do indivíduo na avaliação da visão das cores. O diagnóstico e a classificação de um defeito na sensibilidade cromática são uma tarefa longa e exige experiência.

6.1 Testes de Visão das Cores

Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários testes para avaliar a visão das cores, mas actualmente apenas se encontram alguns testes em circulação. Apenas irão ser abordados os testes mais conhecidos, dando breves explicações sobre os mesmos.

Segundo *Dain e Melamud* em 2004, os testes disponíveis no mercado têm diferentes características e podem agrupar-se nas seguintes categorias os testes pseudoisocromáticos: os testes de arranjo de cor, os testes de equalização, os testes de nomeação e os testes computadorizados.

6.1.1 Testes Pseudoisocromáticos

J. Stilling em 1873 introduziu pela primeira vez desenhos pseudoisocromáticos. (8,12) São, hoje em dia os testes de triagem mais utilizados na prática clínica isto porque, são baratos, têm uma maior durabilidade e são fiáveis. Podem ser usados com crianças e adultos analfabetos. A maioria dos testes pseudoisocromáticos são utilizados para avaliar as deficiências congénitas do vermelho-verde. (12)

Existe uma grande variedade deste tipo de testes, todos eles construídos sobre o mesmo princípio, onde geralmente se observa um objecto delineado por uma diferença de cores, com um fundo de igual reflectância e luminosidade. O objecto pode ser um número, uma letra, um padrão a ser traçado, um símbolo ou um optótipo, como o C de *Landolt* ou o E de *Snellen* para analfabetos. De todos os tipos de testes para a visão das cores estes têm maior escolha e variedade. (31) O teste de *Ishihara* (Fig.4) é sem dúvida o teste de placas mais conhecido e usado no mundo. Foi publicado pela primeira vez em 1906 e foi reproduzido em várias edições, ao longo dos anos. Possui placas de demonstração, mascaradas, escondidas e diagnósticas. As edições mais usadas possuem números e linhas traçadas como objectos para serem identificados. Actualmente, estão disponíveis as versões de 24 e de 38 placas. Ao longo dos anos, têm sido feitas várias avaliações sobre a eficácia do teste de *Ishihara*, que passou por aperfeiçoamentos, graças às modernas técnicas de diferenciação e reprodução de cores. (2,31)

Estudos demonstram que este ainda continua a ser o teste de visão das cores mais eficaz para uma rápida identificação das deficiências congénitas. Apesar de ser desenvolvido para detecção e diagnóstico das alterações congénitas, o teste de *Ishihara* também pode ser usado na detecção de defeitos adquiridos na visão das cores. (32,33) O teste de *Ishihara* contém também placas que visam diferenciar protanomalias de deuteranomalias. Não possui placas para identificação de tritanomalias congénitas, mas pacientes com deficiências adquiridas severas do tipo III da classificação de *Verriest* podem cometer erros semelhantes àqueles com deficiência vermelho-verde. (33)

O teste tem duas grandes lacunas: não tem placas para detecção de anomalias tritan e não consegue fornecer uma avaliação quantitativa da deficiência apresentada, pois não possui placas para determinar da gravidade do defeito. (2,31)

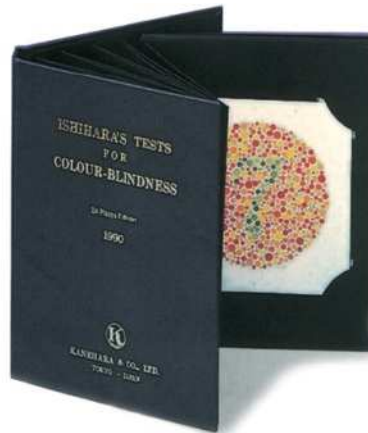


Fig.4 Teste de Ishihara. (34)

6.1.2 Testes de ordenação ou arranjo de cores

Farnsworth foi o criador dos testes *Farnsworth Munsell 100-Hue* e o *Farnsworth Munsell D-15* no início dos anos 40. Posteriormente acrescentou modificações em ambos os testes. (12)

O FM-100 foi desenvolvido por *Farnsworth* e teve como objectivo avaliar a visão das cores com papéis coloridos extraídos do livro de cores de *Munsell*, os quais diferem somente no tom ou matiz, mantendo a saturação e o brilho constantes, quando analisadas por indivíduos normais. (35)

No sistema de *Munsell*, são utilizadas cinco cores, o vermelho (R), o amarelo (Y), o verde (G), o azul (B) e o roxo (P). Estas são divididas por mais cinco tons, RY, YG, GB, PB, PR. Cada tom é subdividido em 10 passos, por exemplo 1PR para 10PR. Portanto existem 100 tons no sistema de *Munsell*, no entanto, não existem 100 tons no FM-100. *Farnsworth* descobriu que a dificuldade em distinguir tons adjacentes não era igual ao redor do círculo de cores de *Munsell*. Assim, numa tentativa de criar um espaçamento mais uniforme, removeu 15 cores. (31)

O *Farnsworth Munsell D-15* (Fig.5) também utiliza cores do círculo de *Munsell*, usando menos tons. (36) Este é composto por uma caixa com uma peça colorida fixa no início da sequência a ser reproduzida e 15 peças coloridas móveis. É pedido à pessoa que coloque as peças na sequência correcta. A interpretação é dada pela inspecção visual da sequência montada. (2)



Fig.5 Farnsworth Munsell D-15. (12)

A finalidade é distinguir defeitos severos da visão cromática dos defeitos médios e dos indivíduos normais. (2) Também identifica defeitos no azul-amarelo e monocromacia. (12)

Juntamente com o teste de *Ishihara*, é um dos testes mais aplicados nas baterias de testes clínicos, sendo também largamente usado na avaliação de defeitos adquiridos da sensibilidade cromática. (37,38)

Lanthyony desenvolveu um novo teste na década de 70 do passado século. (12) O teste de *Lanthyony D-15 Desaturated*, tem como objectivo avaliar os indivíduos que conseguiram realizar o teste de *Farnsworth Munsell D-15* sem dificuldades. É esperado que os mesmos indivíduos cometam erros nessa segunda avaliação, pois as peças desse teste possuem menores diferenças de cores que o primeiro. Também vem sendo muito usado no estudo das deficiências adquiridas na visão das cores. (38)

6.1.3 Testes de Equalização

6.1.3.1-Anomaloscópios

Os anomaloscópios permitem a classificação fiel das deficiências congénitas, diferenciando indivíduos com tricromatismo anómalo de normais e dicromatas de tricromatas anómalos, além de identificar tricromatismo anómalo severo. (2)

O anomaloscópio de *Nagel* foi desenvolvido em 1907, com o objectivo de diferenciar deficiências do tipo deutan de protan, sendo considerado o teste mais sensível para esse fim. Baseia-se na equação de Rayleigh, que usou uma mistura de luzes espectrais de lítio (670nm) e tório (535nm) para mimetizar o espectro do sódio (589nm): Vermelho + Verde = Amarelo. (31,39)

Em termos de comprimento de onda, o anomaloscópio de *Nagel* utiliza luz de 670,8nm (vermelho) com luz de 546nm (verde). Essa mistura de cores espectrais resulta no amarelo de comprimento de onda de 589,3nm. (20)

Visão das cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue

O anomaloscópio de *Nagel* já não está disponível comercialmente, porém, existem dois anomaloscópios equivalentes que podem ser encontrados actualmente, o *Neitz* (Fig.6) e o *Oculus Heidelberg*. (31)



Fig.6 Anomaloscópio de Neitz. (40)

6.1.3.2- Teste da *City University* (CUT)

Este teste é constituído por dez placas (Fig.7), com 5 pontos coloridos cada. O indivíduo testado é solicitado a escolher, entre os quatro pontos de cores diferentes, o que mais se assemelha à cor do ponto que está no centro da figura. Um dos pontos será a alternativa correcta e os outros três são escolhidos de forma a localizarem-se nos eixos de confusão de defeitos deutan, protan e tritan. (2)

Este teste tem um grau de dificuldade semelhante ao teste de *Farnsworth Munsell D-15*. A vantagem é que neste teste o indivíduo não manipula nem danifica as características ideais do mesmo, dado que não toca nas placas. Pode ser usado para testar defeitos congénitos e adquiridos. (41,42)



Fig.7 Teste City University. (43)

6.1.4 Testes de nomeação de cores

Conhecidos como lanternas coloridas, não são testes muito fiáveis para avaliar detalhadamente as alterações da visão cromática. Porém, podem ter um desempenho satisfatório nas avaliações ocupacionais, nomeadamente ferroviários, marinheiros e motoristas, pois simulam uma situação prática. Podem ser altamente influenciados pelas diferenças de intensidade luminosa. (2)

Os testes desta categoria são (Fig.8), o teste *Farnsworth Lantern* (FaLant), utilizados na marinha norte-americana, para triagem dos candidatos na marinha e aeronáutica. (44) É mais difícil passar nesse teste do que no teste de *Farnsworth D-15*. Não se encontra comercialmente, mas o equipamento *Stereo Optical OPTEC 900* é usado como alternativa. (2) O *Holmes-Wright Lantern* (H-W), cuja sensibilidade para detecção de defeitos congénitos é de cerca de 80%, mas recentemente, este equipamento também se tornou indisponível. (45,46)

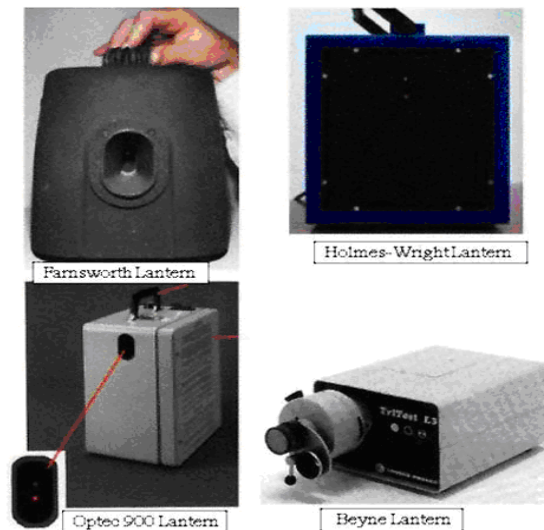


Fig.8 Testes de nomeação de cores. (47)

6.1.5 Testes Computadorizados

A avaliação da visão das cores é algo muito recente, daí ainda não existir muita bibliografia com exemplos de investigações que usaram os testes computadorizados. Irão ser abordados alguns dos testes existentes usados em estudos científicos.

Recentemente, alguns testes aplicados por computador, como o *Cambridge Colour Test* (Fig.9), têm sido aplicados em estudos científicos, com a vantagem de permitir o ajuste da diferença de cromaticidade entre o alvo e o fundo, de acordo com a performance do indivíduo examinado. (2)

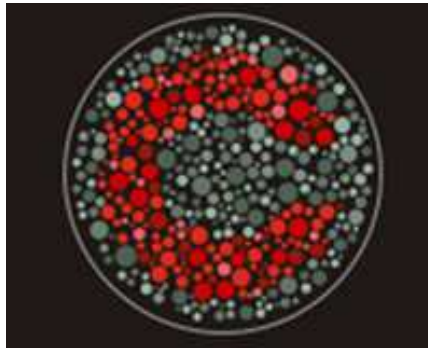


Fig.9 Imagem do *Cambridge Colour Test*. (48)

Foi criado um programa de computador *TwoDocs Test*, que pode ser usado na avaliação das funções visuais tais como: a sensibilidade ao contraste e a percepção das cores. Segundo os autores, o teste consiste num grupo de programas capazes de apresentar rapidamente as diversas variações da cor e do contraste ao paciente, como também diagnosticar as suas alterações. No entanto, não há relatos na literatura da validação clínica deste instrumento diagnóstico. (1)

O teste computadorizado de *Seohan* (Fig.10) foi desenvolvido para diferenciar deficiências congênicas de deficiências adquiridas na visão das cores. É um arranjo de cores baseado em testes que inclui o vermelho, o verde, o amarelo e o azul. É constituído por quatro quadrantes que contém 85 tonalidades. O I Quadrante é composto por tons de amarelo, o II quadrante é composto por tons de verde, o III quadrante é composto por tons de azul e o IV quadrante é composto por tons de vermelho. A pontuação de erro para o quadrante II e IV representam defeitos no eixo do verde-vermelho e a pontuação de erro para os quadrantes I e III representam defeitos no eixo do azul-amarelo. (49)



Fig.10 Imagens do arranjo de cores do teste computadorizado *Seohan*: (A, D) vermelho, (A) amarelo, (B) verde e (C) azul. (49)

7. Teste Farnsworth Munsell 100-Hue

Segundo *Bruni e Cruz* em 2006, o teste FM 100-Hue (Fig.11) possui 85 peças, distribuídas por 4 caixas. Cada caixa contém duas peças fixas que servem de referência, uma no início e outra no fim da sequência. As peças móveis (numeradas) são as que ficam entre as peças de referência. Estas, depois de extraídas da caixa e misturadas entre si, devem ser recolocadas na ordem correcta. A distribuição das peças nas caixas é a seguinte:

- Caixa 1: peça 85 à 21 (rosa a alaranjado até amarelo);
- Caixa 2: peça 22 à 42 (amarelo a azul-esverdeado);
- Caixa 3: peça 43 à 63 (azul-esverdeado a azul-púrpura);
- Caixa 4: peça 64 à 84 (azul a púrpura-avermelhado até rosa).



Fig.11 *Farnsworth Munsell 100-Hue Test*. (12)

Alguns exemplos que explicam a variedade de propósitos para que foi usado: (55)

- Exame de inspecção de uma boa visão das cores,
- Testar o tipo e grau do defeito na visão das cores,
- Selecção de candidatos para treino vocacional,
- Efeitos provocados por medicação nos tratamentos médicos.

7.1 Cálculo da pontuação de erros

Farnsworth elaborou um método para avaliar a pontuação dos erros, atribuindo um ponto a cada peça de cor, que é a soma da diferença absoluta entre o número de uma peça de cor e o número das peças de cor colocadas ao lado dela. As peças de cores colocadas na sequência correcta recebem a pontuação ou também designado como *score* de 2.

Por exemplo, uma sequência de peças supostamente arranjadas por um paciente:

1, 2, 3, 5, 4, 8, 7, 6, 9

Para se saber as pontuações de uma peça (pontuação parcial), deve-se proceder da seguinte forma: para a peça 2 a pontuação é $(2-1) + (3-2) = 2$ (normal), ou seja, está colocada no lugar correcto, entre as peças 1 e 3. Para a peça 8 o *score* é $(8-4) + (8-7) = 5$, sendo a pontuação parcial de 3, pois deve-se subtrair 2 que é a pontuação mínima possível. (2)

Além deste método de cálculo existe outro proposto por *Kinnear* que se baseia na posição que a peça deve ocupar no teste. (12)

As pontuações individuais das peças numeradas são então transferidas para um diagrama polar, onde a circunferência representa as 85 cores e o raio representa o *score* parcial do erro para cada peça móvel. De acordo com os padrões característicos do gráfico formado, pode ser possível classificar o indivíduo como portador de defeito cromático do tipo protan, deutan, tritan, ou como portador de baixa discriminação cromática sem padrão definido. Actualmente, dispomos de programas que permitem o lançamento da sequência elaborada pelo paciente directamente no computador, que fornece entre outros dados, o gráfico polar e a análise do método desenvolvido por *Vingrys*. (51)

Na figura 12, podemos ver exemplos de gráficos polares construídos através do “software” que acompanha o teste.

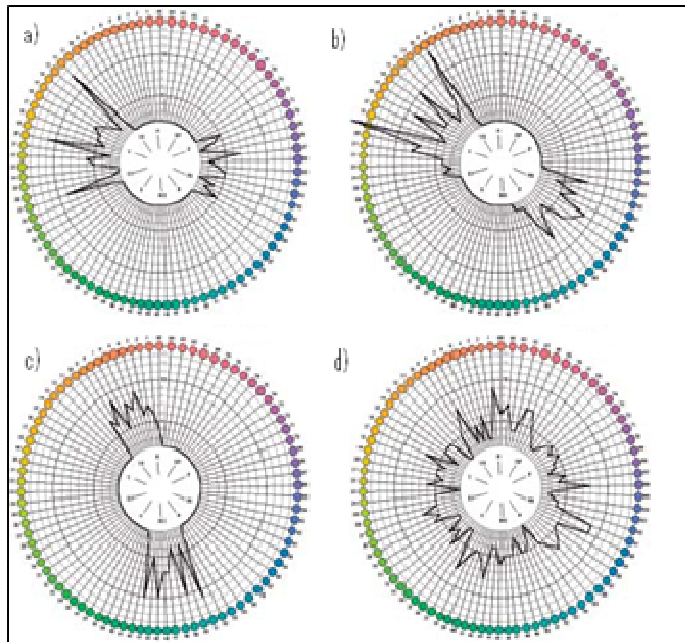


Fig.12 Gráficos polares do teste de *Farnsworth Munsell 100-Hue* mostrando defeitos da sensibilidade cromática dos tipos a) protan, b) deutan, c) tritan e d) inespecífico. (2)

7.2 Características do teste

O desempenho na realização do teste depende da idade do paciente, verificando-se um melhor desempenho por volta da 2ª e 3ª década de vida. A partir daí, o desempenho cai progressivamente. (52) Nos dois extremos da idade, a pontuação dos erros tende a ser maior, mostrando por vezes um defeito do tipo tritan. Nos indivíduos idosos, pode estar relacionado com a perda de transparência do cristalino, que se torna amarelado com o aumento da idade. Nos mais jovens, esse facto pode ser atribuído entre outras coisas, à falta de atenção durante o exame. (2)

A avaliação da visão das cores pelo teste FM-100 é valiosa na prática clínica, porém o seu uso é limitado devido ao facto de ser um teste longo e que depende inteiramente da colaboração e do entendimento do paciente. (2)

Foram descritas algumas tentativas para melhorar a sua aplicação. O trabalho de *Nichols* mostrou que o uso isolado da caixa 2, para o acompanhamento de pacientes com neuropatias ópticas adquiridas tem a sensibilidade e a especificidade semelhantes ao teste inteiro. (53)

A grande vantagem do uso deste teste é que ele pode ser aplicado em indivíduos com deficiências congénitas e em indivíduos com deficiências adquiridas. Porém, o seu uso no estudo das deficiências congénitas é limitado, pois nem sempre consegue classificar o defeito com clareza. (54) O seu valor no estudo das deficiências adquiridas é notável, principalmente para efeito de seguimento, devido essencialmente ao sistema de pontuação, que permite classificar o nível de discriminação da cor. Outra aplicação importante do teste FM 100-Hue é a promoção da classificação de indivíduos com visão cromática normal em grupos que possuem discriminação cromática alta, média e baixa, factor extremamente importante para o desempenho profissional em alguns sectores específicos, como nas indústrias têxteis e de tintas. (2)

7.3 Tipos de análise para interpretação do FM-100

Segundo os autores do teste FM 100-Hue, este teste foi concebido para: (55)

1. Nível de Discriminação: Classificar pessoas com visão das cores normal em classes de discriminação das cores superior, média e inferior;
2. Defeito cromático: Para medir zonas de confusão em pessoas com defeitos cromáticos.

As peças do teste são ordenadas segundo uma gradação de cor e posteriormente os erros cometidos são marcados num gráfico polar (ver figura 13). Depois de o padrão ter sido traçado, há vários métodos para interpretar os resultados, dependendo da informação que se pretende do teste: nível de discriminação ou defeito cromático.

O nível de discriminação é encontrado com base na pontuação total de erros cometidos ao longo do teste (ver ponto seguinte 7.3.1). O tipo de defeito cromático neste tipo de teste tem sido objecto de vários tipos de análise.

Neste trabalho, apenas se irão explicar os métodos de análise mais referenciados na literatura científica, ou seja a análise convencional, a análise quadrante e o método de *Vingrys*. No entanto deve-se referenciar que existem outros métodos de análise menos conhecidos e aplicados na prática clínica, como por exemplo o método de *Knoblauch* (56) e *Jonathan D. Victor* (57) entre outros.

7.3.1 Análise Convencional

A interpretação do teste é efectuada ao longo de três dimensões relacionadas com a severidade, a selectividade e o tipo de defeito na visão das cores. A severidade do defeito é determinada pela pontuação total do erro, a selectividade e o tipo de defeito são avaliados com base na inspecção visual do diagrama polar da pontuação de erros parciais associadas a cada uma das 85 peças do teste. A selectividade prende-se, com a forma como os erros estão distribuídos no gráfico, ou pelas regiões das peças que apresentam maior concentração de erros. O tipo de defeito é dado pela orientação do eixo que apresenta maior magnitude da pontuação de erro. (55)

A análise convencional permite classificar os defeitos cromáticos por inspecção visual nos tipos protan, deutan, tritan (Fig.13) ou inespecífico.

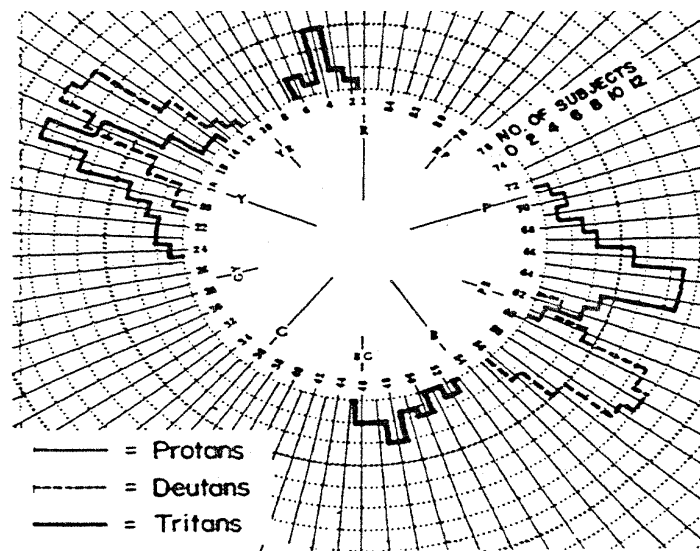


Fig.13 Gráfico representativo com os 3 tipos de defeitos identificados segundo a distribuição. (55)

Os defeitos protan são também conhecidos como a cegueira vermelha, sendo sujeitos que apresentam maior dificuldade na discriminação das peças situadas no intervalo entre o 62 e o 70. Os defeitos deutan também são conhecidos como cegueira verde, têm o seu ponto médio entre as peças 56 e 61. O defeito tritan que também é conhecido por cegueira azul tem o seu ponto médio entre as peças 46 e 52. A classificação de defeito inespecífico é dado quando o sujeito tem dificuldades em discriminar cores em todo o espectro, não se verificando nenhuma preferência por um intervalo em concreto. (55)

A maior vantagem da análise de Farnsworth é permitir classificar a visão das cores por nível de discriminação. Esta análise assenta no sistema de pontuação de erros total do teste onde são utilizadas as seguintes normas de classificação: (55)

Visão das cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue

- Descriminação superior; em cerca de 16% da população ocorrem 0 a 4 transposições no 1º teste, ou um total de erros de 0 a 16. Esta pode ser a causa para o percurso da competência superior da discriminação das cores.
- Descriminação média; em cerca de 68% da população ocorrem um total de erros entre os 20 e os 100 nos primeiros testes. Isto pode ser tido como um percurso de uma competência normal para discriminação das cores
- Descriminação baixa; em cerca de 16% da população ocorre um total de erros superior a 100%. A primeira repetição do teste pode mostrar um aumento, mas os seguintes já não vão afectar o resultado.

7.3.2 Análise Quadrante

Na análise quadrante, cada peça do teste FM-100 é classificada como representando o processamento de uma das funções visuais: vermelho/verde (V+V) ou azul/amarelo (A+A). As pontuações de erro de cada peça são somadas em regiões V+V ou A+A separadamente, obtendo-se portanto, duas pontuações de erros parciais (PEP), uma relativa à região do vermelho/verde e outra relativa à região do azul/amarelo.

A diferença entre os resultados do vermelho/verde e do azul/amarelo elimina a sua variância e permite a avaliação do eixo.

A pontuação de erros parciais vermelho/verde ou dos quadrantes vermelho+verde (PEP-V+V) inclui a pontuação da peça 13 até à 33 e da peça 55 até à 75, e a pontuação de erros parciais azul/amarelo ou dos quadrantes azul+amarelo (PEP-A+A) inclui a pontuação da peça 1 a 12, da peça 34 à 54 e da peça 76 até à 84 como representado na figura 14. (59)

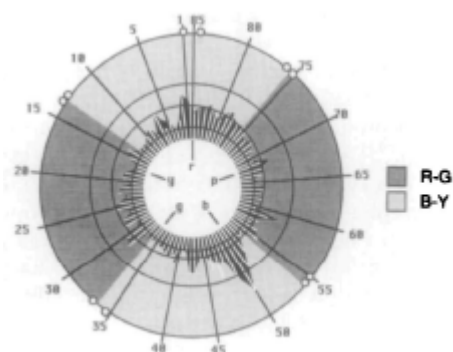


Fig.14 Classificação dos tipos de defeitos adquiridos, segundo a análise quadrante. A região mais sombreada assinalada por R-G representa os quadrantes vermelho+verde e as zonas mais claras, assinaladas por B-Y representa os quadrantes azul+ amarelo. (59)

O tipo de defeito cromático é definido através da relação entre os valores das raízes quadradas das pontuações de erros parciais; se a raiz quadrada da pontuação de erros parciais

A+A for maior do que a pontuação de erros parciais V+V, está presente um defeito azul/amarelo e vice-versa.

Segundo *Smith* e companheiros em 1985, o tipo de defeito é obtido pela diferença das pontuações parciais quadrantes (PPQ), como demonstra a seguinte equação:

$$PPQ = \sqrt{PEP(A + A)} - \sqrt{PEP(V + V)} \quad (1)$$

Ou seja, caso o valor das pontuações parciais de quadrantes (PPQ) seja positivo indica que a pontuação de erros A+A excede a pontuação de erros V+V, o que representa um compromisso do eixo azul/amarelo e um índice negativo indica que a pontuação de erros V+V excede a dos A+A, o que caracteriza um compromisso do eixo vermelho/verde.

Têm sido propostas outras relações entre as pontuações parciais de erros dos quadrantes para classificar o tipo de defeito, sendo o quociente entre as pontuações parciais, o utilizado mais recentemente na análise quadrante. (49)

Shin (49) em 2006 adaptou este método de análise estabelecendo uma relação entre os quocientes (RQ) dos erros cometidos no eixo azul/amarelo (A+A) e no eixo vermelho/verde (V+V). Segundo esta adaptação o cálculo desta razão é dado pela seguinte equação:

$$RQ = \frac{\sqrt{PEP(A + A)}}{\sqrt{PEP(V + V)}} \quad (2)$$

Quando obtemos $RQ > 1$ (superior a um), estamos perante um defeito mais acentuado no azul-amarelo e se obtemos $RQ < 1$ (inferior a um), indica um defeito mais acentuado para o vermelho-verde. Segundo esta análise, a selectividade dos defeitos nos eixos vermelho/verde ou azul/amarelo, pode ser definida com base na relação entre as pontuações parciais de erros, de modo que nos casos em que as pontuações parciais de cada par de quadrantes são semelhantes, o defeito é classificado como não selectivo.

7.3.3 Análise Vingrys

A análise de Vingrys é feita através de cálculos matemáticos complexos, actualmente disponíveis em software digital. Este método usa o espaço de cromaticidade CIE L e V para calcular a diferença entre cores e usa vectores para fazer a ligação entre as cápsulas adjacentes. Esta análise pode ser usada para qualquer teste de arranjo de cores. (58)

Visão das cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue

Basicamente o método assenta no cálculo do momento de inércia dos vectores da diferença de cor (CDVs) do padrão do arranjo. Este cálculo gera três factores que quantificam o arranjo das peças. O primeiro é o ângulo de confusão, que identifica o tipo de defeito cromático, o segundo é o índice de confusão (C-index) que quantifica o grau da perda de cor em relação a um arranjo perfeito e o terceiro é o índice de selectividade (S-index), que quantifica o grau de polaridade ou a falta de aleatoriedade no arranjo de uma dada peça. (51,58) O ângulo do raio máximo fornece uma estimativa para o eixo de confusão média de um observador ao passo que o seu comprimento dá uma estimativa da pontuação de erro expresso como um índice de confusão. A relação entre o raio máximo e o raio mínimo é chamado de S-index para o índice de dispersão e também pode ser usado para descrever o grau de dispersão, de polaridade ou de selectividade para a posição de uma cápsula em particular. (51)

Se o arranjo do teste ocorre num padrão aleatório, esse índice pode vir a ser relativamente pequeno porque nenhum eixo de orientação predomina a colocação da cápsula. Índices altos indicam uma forte orientação polar, típica de observadores dicromáticos e servem para confirmar as perdas visuais. (51)

A pontuação total de erros pode ser calculada a partir dos raios menores e maiores de modo a obter a raiz quadrada da soma dos quadrados. Sempre que o S-índice é grande, esse erro será aproximado ao comprimento do raio maior, porque o raio menor terá pouco efeito sobre o total. (51)

Um arranjo perfeito das cápsulas no FM-100 dá os seguintes resultados: Angle=54,15°, S-índice = 1.28 e C-índice =1.0 (Fig.15). (51)

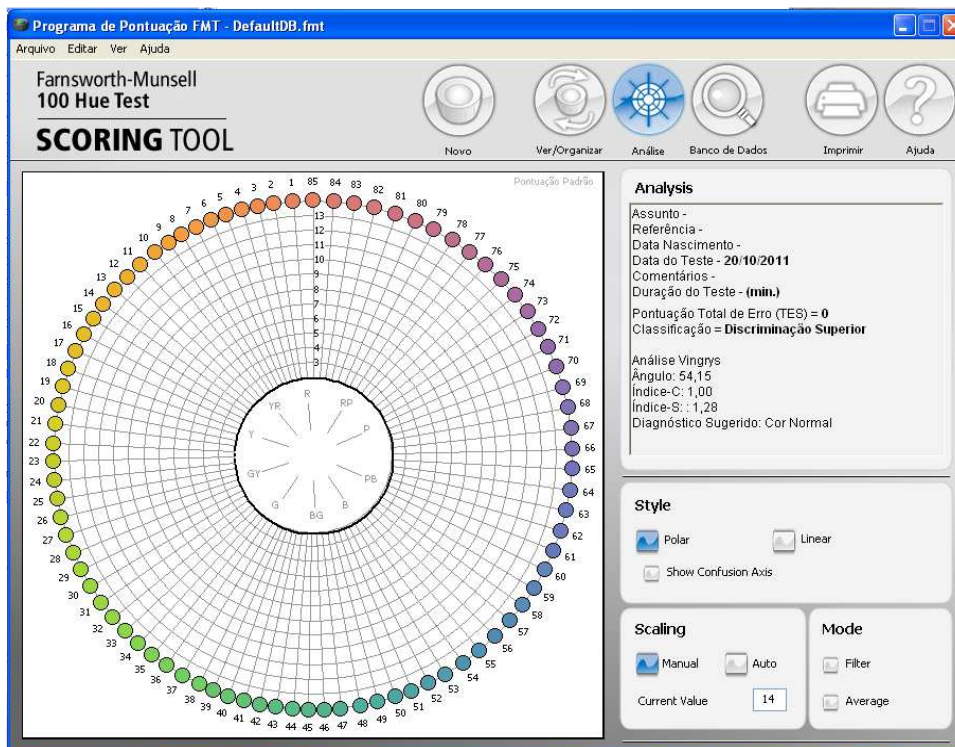


Fig.15 Resultados do teste de cores Farnsworth Munsell 100-Hue obtidos através do programa FM 100 Hue test Scoring software v 3.0.

8. Aplicações do teste FM-100

Neurite Óptica (NO)

Schneck e colaboradores em 1997 efectuaram um estudo de seguimento em 438 doentes com neurite óptica onde avaliaram diversos parâmetros visuais. Os pacientes foram avaliados no início da doença (no prazo de 8 dias, desde o início dos sintomas) e posteriormente foram acompanhados regularmente (durante 1 ano). As funções visuais avaliadas foram a visão espacial (acuidade visual e a sensibilidade ao contraste), os campos visuais e a visão das cores. Foi aplicado o teste FM-100 para descrever os tipos de defeitos na visão das cores presentes na fase aguda da NO e após seis meses de tratamento. Os resultados do teste foram analisados pelo método de análise quadrante descrita por *Smith* em 1985 (60). Os resultados deste estudo mostram que a maioria dos participantes apresentou maiores dificuldades cromáticas no eixo azul-amarelo na fase aguda da doença e maiores dificuldades cromáticas no eixo vermelho-verde após 6 meses de tratamento. Os autores concluem que os doentes que sofrem de NO podem mudar o tipo de defeito ao longo do tempo. Concluem também que a NO não é caracterizada por defeitos selectivos no eixo vermelho-verde, pelo que a avaliação da visão das cores como teste clínico, não é suficiente para o diagnóstico da NO. (59)

Katz em 1995, procurou caracterizar as discromatopsias adquiridas em pacientes com neurite óptica, para determinar o tipo e a gravidade do defeito na visão das cores e a sua relação com a visão central e a acuidade espacial. O seu trabalho permitiu um acompanhamento temporal dos doentes de modo a analisar as alterações nas discromatopsias ao longo do tempo. Foi também seu objectivo determinar a aplicabilidade da lei de Köllner em pacientes com NO. O estudo foi realizado antes e durante a fase do tratamento da NO tendo decorrido no espaço temporal entre o dia 1 de Julho de 1988 e o dia 30 de Junho de 1991. Durante este período, foram observados 488 pacientes, a todos eles foram feitos exames oftalmológicos e neurológicos, incluindo testes padronizados da função visual que incluía testes de visão das cores. Para a avaliação da visão das cores foi usado o teste FM 100-Hue e os resultados deste foram analisados pelo método da análise quadrante. Na fase aguda da doença os defeitos mais frequentes foram no eixo azul-amarelo, enquanto, os defeitos vermelho-verde foram mais comuns passados 6 meses de tratamento. Como conclusão do estudo, a NO não obedece à lei de *Kollner*, visto nenhum defeito na visão das cores estar associado à doença mas sim à visão espacial inicial. (59,60)

Glaucoma

No estudo de *Bassi* e companheiros realizado em 1993 numa população de doentes com glaucoma, foram comparados os resultados da visão das cores avaliada clinicamente através de três testes diferentes: o teste de *Farnsworth Munsell 100-Hue*, o teste de

Farnsworth D-15 e o teste de *L'Anthony D-15* saturado. O objectivo do trabalho foi determinar se o teste Farnsworth D-15 e o teste de *L'Anthony D-15* saturado poderiam ser usados para prever o desempenho no teste FM 100-Hue. A população clínica foi composta por 35 pacientes com glaucoma aos quais foram apresentados os 3 testes. Os resultados foram tratados segundo a análise de *Vingrys*, calculando o ângulo de confusão, o índice de selectividade *S-index*, baseados na pontuação de erros e o índice de confusão *C-index*, baseados na ordem em que são colocadas as peças. (51) Os resultados deste trabalho revelaram que a pontuação de erro do teste FM-100 estava relacionada com o *C-index* do D-15 e do D-15 saturado, além disso o *S-index* do FM-100 pode ser previsto pelos *S-index* do D-15 e do D-15 saturado. Por sua vez, o ângulo do FM-100 não pode ser previsto pelos outros 2 testes. Como conclusão, os autores afirmam que o teste D-15 saturado pode ser utilizado para avaliar a gravidade da diminuição da visão das cores em alguns pacientes, visto ser mais rápido de executar. (38)

Pigmento macular em olhos asiáticos e caucasianos

No estudo de *Dain* e companheiros em 2004 o objectivo pretendido era verificar se as diferenças do pigmento macular entre olhos asiáticos e olhos caucasianos poderiam dar origem a diferentes desempenhos no teste FM-100. Neste estudo foi avaliado o desempenho do teste FM-100 em condições normais em 3 grupos diferentes, com diferente pigmentação macular e faixas etárias distintas. Mediu-se também o tamanho da pupila. O grupo com olhos de cor azul (presume-se que têm pigmentação macular baixa) executou o teste de visão das cores muito melhor do que o grupo com olhos de cor castanhos (presume-se que têm pigmentação macular mais intensa). O tamanho da pupila e conseqüente redução da iluminação na retina teve um papel muito importante no desempenho do teste. Essa diferença no tamanho pupilar também foi avaliado em homens e mulheres, que reforçaram a importância do tamanho pupilar e não apenas a importância do pigmento macular, como factor de diferença no desempenho do teste de visão das cores entre olhos asiáticos e não asiáticos. Conclui-se com este estudo que o tamanho pupilar pode ter uma significativa importância no desempenho da visão das cores, na população jovem e saudável. (62)

Capítulo IV

9. Conclusões Gerais

Ao longo deste trabalho de revisão bibliográfica da literatura tentou-se compreender e descrever o tema sobre a visão das cores e comparar os diversos métodos de análise do *Farnsworth Munsell-100 Hue*.

Os defeitos na visão cromática podem ser divididos em duas grandes classes: defeitos congénitos e defeitos adquiridos. Entender e diferenciar estas duas condições é importante na prática clínica, tanto para diagnóstico dos defeitos congénitos, como para diagnóstico e acompanhamento dos defeitos adquiridos.

Existem vários aspectos a ter em conta durante a realização dos testes de visão das cores, entre os quais, a iluminação, a idade, a ansiedade e a concentração.

Para avaliar a visão das cores o profissional deve ter um conhecimento bem definido da utilidade de cada teste, pois no mundo do mercado actual ainda existe uma grande variedade de testes. No entanto, para uma avaliação completa deve-se usar mais do que um teste, pois cada um tem uma actuação específica.

A avaliação da sensibilidade cromática deve ser feita monocular, isto quando se fala de defeitos adquiridos porque nos congénitos ambos os olhos são afectados de igual forma.

O teste Farnsworth Munsell 100-Hue é muito útil no estudo de defeitos adquiridos na visão das cores, como por exemplo, no acompanhamento de distúrbios do nervo óptico ou na retinopatia diabética. Como também é muito importante para seleccionar candidatos para um local de trabalho específico que exija uma boa discriminação da visão das cores, como por exemplo, fábricas, têxteis, entre outros.

A grande vantagem do FM-100 é que o teste pode ser usado em indivíduos com defeitos congénitos ou adquiridos. Limitado na classificação dos defeitos congénitos porque nem sempre consegue classificar o defeito em protan ou deutan. Nos defeitos adquiridos tem um papel de seguimento. Classifica pessoas normais com discriminação alta, média e baixa. É um teste muito valioso, porém o seu uso é limitado devido ao facto de ser um teste longo e que depende inteiramente da colaboração e entendimento do paciente.

Visão das cores e Sistemas de análise do teste Farnsworth Munsell 100-Hue

Existem vários métodos de análise para o teste FM 100-Hue, o mais usado nos trabalhos práticos encontrados na pesquisa foi a análise quadrante. Para a análise do FM-100 é importante usar sempre o mesmo método, para se poder comparar os resultados.

Nos artigos que foram usados para dar exemplos das várias aplicações do FM 100-Hue, verificou-se que ao nível da neurite óptica a avaliação da visão das cores não é suficiente para o diagnóstico da NO.

Este trabalho fica como base para desenvolver, posteriormente, técnicas clínicas para uma resposta rápida da avaliação da visão das cores e de forma prática encaminhar o paciente da melhor forma.

10. Bibliografia/ Referencias

1. Kjaer PK, Salomão SR, Belfolt R, Colella ALD. Validação clínica de testes psicofísicos computadorizada para avaliação da visão das cores e sensibilidade ao contraste. Arq. Brás. Oftal; 2000 Jun;63(3):185-89.
2. Bruni LF, Cruz AAV. 2006; “Sentido cromático: tipos de defeitos e testes de avaliação clínica”; Arq. Brás. Oftalm; 2006;69(5):766-75.
3. Kaiser PK, Boynton RM. Human color vision. 2nd ed. Washington: Optical Society of America; 1986.
4. Pedrosa I. Leonardo da Vinci e a teoria das cores. In: Pedrosa I, editor. Da cor à cor inexistente. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília; 1982;p.37-48.
5. Pedrosa I. Newton e a óptica física. In: Pedrosa I, editor. Da cor à cor inexistente. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília; 1982;p.49-51.
6. Pedrosa I. O Esboço de uma teoria das cores, de Goethe. In: Pedrosa I, editor. Da cor à cor inexistente. Rio de Janeiro: Universidade de Brasília; 1982;p.53-66.
7. Benson WE. An introduction to color vision. In: Tasman W, Jaeger EA, editors. Duane’s Clinical Ophthalmology. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1995;p.1-19
8. Krill AE. Evaluation of color vision. In: Krill AE, editor. Hereditary retinal and choroidal diseases. London: Harper & How; 1972;p.309-40.
9. Swanson WH. Color vision: assessment and clinical relevance. In: Fuller DG, Birch DG, editors. Ophthalmology clinics of North America. Philadelphia: WB Saunders Co; 1989;p.391-413.
10. Pokorny J, Smith VC, Lutze M. Aging of the human lens. Appl Optics; 1987;26:1437-1440.
11. Sample PA, Esterton FD, Weinreb RN, et al. The aging lens: in vivo assessment of light absorption in 84 human eyes. Invest Ophthalmol; 1988;29:1306-11.
12. Melamud A, Hagstrom S, Traboulsi EI. Colour vision testing. Ophthalmic Genetics; 2004;25(3):159-87.

13. Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE, Hendrickson AE. Human photoreceptor topography. *J Comp Neurol*; 1990;292(4):497-523.
14. Mollon JD. Introduction. In: Mollon JD, Pokorny J, Knoblauch K, editors. *Colour and defective colour vision*. New York: Oxford University Press; 2003.
15. Gouras P. Color vision. In: Kandel EC, Schwartz JH, editors. *Principles of neurologic science*. New York: Elsevier; 1985;p.384-95.
16. Greenaway F. *John Dalton and the atom*. New York: Cornell University Press. 1966.
17. Pacheco-Cutillas M, Edgar DF, Sahraie A. Acquired colour vision defects in glaucoma - their detection and clinical significance. *Br J Ophthalmol*; 1999;83(12):1396-402.
18. Von Kreis J. Uber Farbensysteme. *Z Psychol Physiol Sinnesorg*; 1897;13:241-324.
19. Schmidt I. On congenital tritanomaly. *Vision Res*; 1970;10(8):717-43.
20. Fletcher R, Voke J. *Defective colour vision. Fundamentals, diagnosis and management*. Bristol: Adam Hilger; 1985.
21. Swanson WH, Cohen JM. Colour vision. *Ophthalm Clin North Am*; 2003;16(2):179-203.
22. Neitz.M, Neitz J, "Color Vision Defects"; *Encyclopedia of life sciences*; 2005.
23. Grutzner P. Acquired color vision defects. In: Jameson D, Hurvich LM, editors. *Handbook of sensory physiology*. Berlin: Springer Verlag; 1972;p.643-59.
24. Hong SM. Types of acquired color vision defects. *AMA Arch Ophthalmol*; 1957;58(4):505-9.
25. Verriest G. Further studies on acquired deficiency of color discrimination. *J Opt Soc Am*; 1963;53:185-95.
26. Pinckers A, Marré M. Basic phenomena in acquired colour vision deficiency. *Doc Ophthalmol*; 1983;55(3):251-71.
27. Marré M, Marré E. Different types of acquired colour vision deficiencies on the base of CVM patterns in dependence upon the fixation mode of the diseased eye. *Mod Probl Ophthalmol*; 1978;19:248-52.

28. Marré M. The investigation of acquired colour vision deficiencies. In: Marre M. Colour. London: Adam Hilger; 1973;p.99-135.
29. Köllner H. Die Storungen des Farbensinnes Ihre Kilnische Bedeutung und ihre Diagnose. Berlin: Karger; 1912.
30. Verriest G. Further studies on acquired deficiency of color discrimination. J Opt Soc Am; 1963;53:185-95.
31. Dain SJ. Clinical colour vision tests"; Clinical and Experimental Optometry; 2004 jul;87:276-293.
32. Alwis DV, Kon CH. A new way to use the Ishihara test. J Neurol; 1992;239(8):451-4.
33. Birch J. Colour vision tests: general classification. In: Foster DH, editor. Inherited and acquired colour vision deficiencies: fundamental aspects and clinical studies. Boca Raton: CRC Press; 1991;p.215-33.
34. Medicineto Lda, comercio e assistencia técnica de equipamento medico, [Online] 2010. [cited 2011 Maio]. Available from:
URL: http://www.medicineto.pt/?m=pages&page=equipamento_medico&p=desc&id=721
35. Farnsworth D. The Farnsworth-Munsell 100-Hue Test for the examination of color discrimination. Maryland: Munsell Color; 1957.
36. Farnsworth D. The Farnsworth dichotomous test for color blindness. New York: Psychological Corporation; 1947.
37. Collin HB. Recognition of acquired colour defects using the panel D-15. Aust J Optom; 1966;49:342-7.
38. Bassi CJ, Galanis JC, Hoffman J. Comparison of the Farnsworth-Munsell 100- Hue, the Farnsworth D-15, and the L'Anthony D-15 desaturated color tests. Arch Ophthalmol; 1993;111(5):639-41.
39. Rayleigh L. Experiments on colour. Nature; 1881;25:64-6.
40. Costa MF. Perdas de Função Visual na Distrofia Muscular de Duchenne: visão de cores e visão de contraste de luminância temporal e espacial; 2004 Ago;p.43.

41. Birch J. Clinical use of the City University Test (2nd Edition). *Ophthalmic Physiol Opt*; 1997;17(6):466-72.
42. Oliphant D, Hovis JK. Comparison of the D-15 and City University (second) color vision tests. *Vision Res*; 1998;38(21):3461-5.
43. MIC Global (UK) [Online] 2011 [cited 2011 Out 10]. Available from: [URL:http://www.micglobal.co.uk/city-university-colour-vision-test-i2011.html](http://www.micglobal.co.uk/city-university-colour-vision-test-i2011.html)
44. Birch J, Dain SJ. Performance of red-green color deficient subjects on the Farnsworth Lantern (FALANT). *Aviat Space Environ Med*; 1999;70(1):62-7.
45. Vingrys AJ, Cole BL. Validation of the Holmes-Wright lanterns for testing colour vision. *Ophthalmic Physiol Opt*; 1983;3(2):137-52.
46. Hovis JK, Oliphant D. Validity of the Holmes-Wright lantern as a color vision test for the rail industry. *Vision Res*; 1998;38(21):3487-91.
47. Kalloniatis M, Luu C. The Perception of Color. Department of Optometry and Vision Sciences University of Melbourne, Australia [online] 2005 May 1 [cited 2011 Out 15]; Available from: [URL:http://0www.ncbi.nlm.nih.gov/ilsprod.lib.neu.edu/books/NBK11538/](http://0www.ncbi.nlm.nih.gov/ilsprod.lib.neu.edu/books/NBK11538/)
48. Cambridge research systems. Tools for vision science [online] 2011 Out 15 [cited 2011 Out 15]; Available from: [URL:http://www.crsLtd.com/catalog/metropsis/CCT.html](http://www.crsLtd.com/catalog/metropsis/CCT.html)
49. Shin MD, Park MD, Hwang MD, Wee MD, Lee MD. A New Color Vision Test to Differentiate Congenital and Acquired Color Vision Defects. *American Academy of Ophthalmology*; 2007;114:1341-47
50. SESHADRI J, LAKSHMINARAYANAN V, CHRISTENSEN J. Farnsworth and Kinneer method of plotting the Farnsworth Munsell 100-Hue test scores: a comparison. *Journal of Modern Optics*; 2006 Jul 20;53(11):1643-46.
51. Vingrys AJ, King-Smith PE. A quantitative scoring technique for panel tests of color vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci*; 1988;29(1):50-63.
52. Kinneer PR, Sahraie A. New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70. *Br J Ophthalmol*; 2002;86(12):1408-11.

53. Nichols BE, Thompson HS, Stone EM. Evaluation of a significantly shorter version of the Farnsworth-Munsell 100-hue test in patients with three different optic neuropathies. *J Neuroophthalmol*; 1997;17(1):1-6.
54. Birch J. Use of the Farnsworth-Munsell 100-Hue test in the examination of congenital colour vision defects. *Ophthalmic Physiol Opt*; 1989;9(2):156-62.
55. Farnsworth D. The Farnsworth Munsell 100-Hue test for the examination of color discrimination. Manual by Dean Farnsworth; 1957.
56. Knoblauch K. On Quantifying the Bipolarity and Axis of Farnsworth-Munsell 100-Hue Test. *Invest Ophthalmol Vis Sci*; 1987;28:707-10.
57. Victor JD. Evaluation of Poor Performance and Asymmetry in the Farnsworth-Munsell 100-Hue Test. *Invest Ophthalmol Vis Sci*; 1988;29:476-48.
58. Bassi C J; Galanis J C; Hoffman J. Comparison of the Farnsworth-Munsell 100-Hue, the Farnsworth D-15, and the L'Anthony D-15 Desaturated Color Tests. *Arch Ophthalmol*; 1993 May;111:639-41.
59. Schneck ME, Portnoy GH. Color vision defect type and spatial vision in the optic neuritis treatment trial. *Invest Ophthalmol Vis Sci*; 1997;38:2278-89.
60. Smith VC, Pokorny J, Pass AS. Color-Axis Determination on the Farnsworth-Munsell 100-Hue test. *American Journal of Ophthalmology*; 1985 Jul;100:176-82.
61. Katz B. *Transactions of the American Ophthalmological Society*; 1995; 93: 685-708.
Available from: URL:[The dyschromatopsia of optic neuritis: a descriptive analysis of data from the optic neuritis treatment trial.](#)
62. Dain SJ, Cassimaty VT, Psarakis DT. Differences in FM 100-Hue test performance related to iris colour may be due to pupil size as well as presumed amounts of macular pigmentation. *Clinical and Experimental Optometry*; 2004 Jul;87(4-5):322-5.