

Estudo de deficiências visuais para a reintegração cromática

Ana Bailão¹ | Sérgio Nascimento² | Ana Calvo³ | Rocio Bruquetas^{4*}

¹ CITAR, Escola das Artes, Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal

² Departamento de Física, Universidade do Minho, Portugal

³ Universidad Complutense de Madrid, Faculdade de Belas Artes, Madrid, Espanha

⁴ Instituto del Patrimonio Cultural Español, IPCE, Madrid, Espanha

Resumo

A perceção visual do profissional de conservação e restauro é fundamental na prática da reintegração cromática. Nesta etapa o conservador-restaurador tem de conseguir distinguir diferentes matizes em torno da lacuna e, inclusive, na totalidade da obra. Todavia, estas capacidades fisiológicas raramente são consideradas quando se inicia a formação no sector, e muitos são os alunos e profissionais de conservação e restauro que desconhecem o seu nível de discriminação de cor. O objetivo deste artigo é, através da comparação com um tricromata normal, dar a conhecer as capacidades e limitações de um aluno com deuteranomalia no processo de reintegração cromática.

Palavras-chave:

Deficiência visual, testes de diagnóstico, tricromata anómalo, deuteranomalia, reintegração cromática.

ESTUDIO DE DEFECIENCIAS VISUALES PARA LA REINTEGRACIÓN CROMÁTICA

Resumen

La percepción visual de la conservación y restauración profesional es esencial en la práctica de la reintegración cromática. En esta etapa el conservador-restaurador debe ser capaz de distinguir los diferentes matices en torno a la laguna e incluso en la totalidad de la obra. Sin embargo, estas capacidades fisiológicas poco son consideradas cuando se inicia la formación en el sector, y muchos son los estudiantes y profesionales de la conservación y restauración que no conocen su nivel de discriminación de colores. El propósito de este artículo es, por comparación con un tricromata normal, dar a conocer los tipos de defectos visuales, las pruebas de diagnóstico y las capacidades y limitaciones de un alumno con deuteranomalia en el proceso de reintegración cromática

* Os autores escrevem de acordo com as normas decorrentes do Acordo Ortográfico

Palabras-clave:

Deficiencia visual, pruebas de diagnóstico, tricromata anómalo, deuteranomalía, reintegración cromática.

STUDY OF COLOUR VISION DEFICIENCIES FOR CHROMATIC REINTEGRATION

Abstract

The visual perception of the professional of conservation and restoration is essential in the chromatic reintegration practice. At this stage the conservator-restorer must be able to distinguish different hues and shades around the loss and even in the totality of the artwork. However, these physiological capabilities are rarely considered when initiating training in the sector, and there are many students and professionals of conservation and restoration unaware of their level of colour discrimination. The purpose of this article, through comparison with a normal trichromate, is to make known the types of visual deficiencies, the diagnostic tests and the capabilities and limitations of a student with deuteranomaly in chromatic reintegration process.

Keywords:

Visual deficiencies, diagnostic tests, anomalous trichromat, deuteranomaly, chromatic reintegration.

Introdução

A visão das cores desempenha um papel importante na conservação e restauro, nomeadamente na identificação de fenómenos de degradação e de materiais, no processo de limpeza ou de reintegração cromática, entre outros. O diagnóstico do tipo de deficiência visual na visualização das cores (DVC), e sobretudo, do grau de severidade, é um dado importante para a orientação vocacional de estudantes e profissionais de conservação e restauro.

O primeiro relatório reconhecido sobre a visão anormal das cores é do químico John Dalton (Hunt, *et al.*, 1995: 984-988). Foi publicado em 1798 e intitula-se *Factos extraordinários relacionados com a visão das cores* (Dalton, 1798). Como resultado, a deficiência foi chamada de daltonismo por reconhecimento às observações de Dalton acerca da sua própria deficiência visual das cores (DVC). Dalton era um deuteranope (Mollon, Dulai, Hunt, 1997: 15-33).

Após a publicação de Dalton, seguiram-se inúmeros trabalhos sobre esta temática, como é o exemplo de Goethe em 1810 (Finger 1994: 99), de August Seebeck em 1837 (Collins, 1925, Finger, 1994: 99), de George Wilson em 1855 ou B.J. Jeffries (Jeffries, 1883). Antes da viragem do século, cientistas como James Clerk Maxwell e Hermann von Helmholtz, bem

como os estudantes de Helmholtz, Johannes Adolf von Kries e Arthur König, descreveram e definiram as deficiências cromáticas congénitas bem como as anomalias adquiridas devido a doenças oculares (Pokorny, Smith, 1986: 1573). Lord Rayleigh descobriu a tricromacia anómala em 1881 (Pokorny, Smith, 1986: 1573; Mollon, 2003: 31) e Nagel, em 1907, atribui o seu nome ao instrumento utilizado para medir a equação de Rayleigh, o Anomalo-scópio de Nagel, fundamental na classificação dos defeitos congénitos de visão das cores (Pokorny, Smith, 1980: 311; Pokorny, Smith, 1986: 1573). Atualmente este equipamento está descontinuado, existindo dois outros anomaloscópios equivalentes, tais como o Neitz e o Oculus Heidelberg (Dain, 2004: 276-293).

A deficiência visual, geralmente apelidada de daltonismo, é uma condição hereditária em que há alteração dos pigmentos visuais e que tem como consequência a incapacidade, ou a diminuição da capacidade, de distinguir as cores, sob condições normais de iluminação. A protanopia e a deuteranopia, as duas formas mais comuns de cegueira hereditária para as cores, são anomalias de visão das cores vermelho-verde, causadas pela ausência dos fotorreceptores retiniais vermelho ou verde, respetivamente (Wong, 2011: 441). O daltonismo afeta uma porção significativa da população humana, 8% dos homens e 0,4% das mulheres, nas sociedades caucasianas (Birch, 1998). De um quinto a um terço dos adultos com visão cromática anómala não tem consciência dessa deficiência (Cole 2007: 157). No estudo de Steward e Cole (1989: 289), 5% dos dicromatas e 25% dos tricromatas anómalos desconheciam a sua deficiência na distinção das cores e, de acordo com Pickford, os alunos das escolas das artes podem também ignorar a sua anomalia, mesmo quando o grau de severidade é elevado (Pickford, 1972: 102-114).

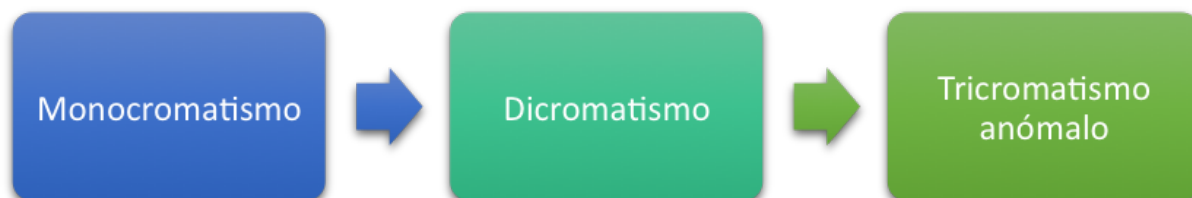
Uma pessoa com visão normal das cores é chamada tricromata porque tem a sensibilidade normal de resposta das células dos três pigmentos¹, e todas as partes do espectro de luz aparecem coloridas. Um tricromata diz-se anómalo quando dois pigmentos atuam ao mesmo tempo ou se um dos três tem uma disfunção (X-rite, 2011: 1.6).

A deficiência visual analisada neste artigo tem origem congénita, isto é, resulta de alterações na sensibilidade espectral dos pigmentos verde (M) e vermelho (L). Esta modificação é genética, sendo geralmente uma condição relacionada com o género (Neitz, Neitz, 2011: 5), uma vez que resulta de um defeito no cromossoma "X", chamado gene "recessivo ligado ao cromossoma "X"². Existem outras deficiências que surgem por lesões ou doença (St. Thomas Hospital, 2007).

¹ A retina inclui várias camadas de fotorreceptores designados por bastonetes e pigmentos, cuja nomenclatura deriva da sua forma alongada e cónica, respetivamente (Seely et al, 1997: 504; Fairchild, 2005: 6). Estes últimos podem ser subdivididos em três espécies, de acordo com as diferentes respostas aos comprimentos de onda de luz: comprimento de onda longo (L), comprimento de onda médio (M), e comprimento de onda curto (S). Estas células servem claramente a visão das cores. Os recetores L têm um pico de resposta no vermelho, os M no verde e os S no azul (Fairchild, 2005: 7-9).

² Se um homem herda um cromossoma X afetado será daltónico, enquanto as mulheres que têm dois cromossomas X, serão daltónicas se ambos estiverem afetados. Se só um cromossoma estiver afetado a mulher será portadora e poderá transmiti-lo à sua descendência. Um pai pode contribuir para o daltonismo das filhas, mas não dos filhos (Figure 1) (X-Rite 2011: 1.6; Neitz, Neitz, 2011: 5). Segundo Joel Pokorny e Vivianne C. Smith (1980: 311), as

Os tipos de deficiência cromática são classificados em função dos fotorreceptores³ disponíveis no olho:



Na tabela seguinte serão apresentadas as principais características de cada um dos tipos de anomalia.

TIPO DE DALTONISMO	NÚMERO DE PIGMENTOS	DISCRIMINAÇÃO DE CORES
MONOCROMATISMO	Sem pigmentos	Ausente
	Só um tipo de pigmento	Ausente
DICROMATISMO	Apenas dois tipos de pigmentos estão disponíveis e o terceiro está completamente ausente	Severamente alterada
TRICROMATISMO ANÓMALO	Todos os pigmentos disponíveis mas com picos de sensibilidade deslocados num deles.	Espectro cromático reduzido Grau de gravidade de ligeiro a grave.

Tabela 1 – Classificação do daltonismo congénito (Birch, 1998: 30).

Os dicromatas e tricromatas anómalos podem ser classificados ainda em função do pigmento em falta ou com anomalia. Na tabela 2 pode observar-se as três designações para cada uma das deficiências visuais.

TIPO DE DEFEITO	PIGMENTO S (AZUL)	PIGMENTO M (VERDE)	PIGMENTO L (VERMELHO)
AUSÊNCIA	Tritanopia	Deuteranopia	Protanopia
DISFUNÇÃO	Tritanomalia	Deuteranomalia	Protanomalia

Tabela 2 – Descrição dos três tipos de dicromatas e tricromatas anómalos em função da ausência ou disfunção dos cones ou pigmentos, respetivamente.

deficiências congénitas estacionárias para vermelho-verde, com a herança do gene recessivo ligado ao cromossoma "X", ocorrem em 45% das populações europeias e norte-americanas e afetam 8% a 10% dos homens.

³ São os três tipos de pigmentos que fornecem a propriedade fundamental da visão cromática humana, a tricromacia (Mollon, 2003: 4). Se o pico de sensibilidade de um dos fotorreceptores se desloca para outro ou se estiver em falta, a pessoa visualiza um espectro de cores mais restrito. Como um pico pode ser deslocado, parcial ou totalmente, qualquer tipo de gravidade é possível. Quanto mais próximos os picos estiverem entre si, maior será a gravidade da deficiência cromática: fraca, moderada, forte, ou "cegueira" completa para as cores, que só ocorre no caso de restar apenas um pigmento.

Em função do pigmento com anomalia, os tricromatas anómalos podem visualizar mais ou menos cores do espectro visível. Na tabela 3 faz-se a indicação da causa e dos sintomas mais comuns.

NOME	CAUSA	SINTOMAS
PROTANOMALIA	A curva de resposta do pigmento vermelho moveu-se no sentido da extremidade azul do espectro	Discriminação Vermelho-verde reduzida, as cores vermelhas aparecem mais escurecidas que o normal.
DEUTERANOMALIA	A curva de resposta do pigmento verde moveu-se no sentido da extremidade vermelha do espectro	Discriminação Vermelho-verde reduzida, sem escurecimento anormal de cores.
TRITANOMALIA	A curva de resposta do pigmento azul moveu-se no sentido da extremidade vermelha do espectro	Discriminação Azul-amarelo reduzida, sem escurecimento anormal de cores. Anomalia em investigação.

Tabela 3 – Causas e sintomas das três categorias de tricromatas anómalos (Fletcher & Voke, 1985).

A ocorrência dos diferentes tipos de daltonismo varia significativamente. Assiste-se, continuamente, a uma percentagem elevada de deficiência congénita para vermelho-verde na população masculina humana. A tricromacia deuteranómala, que afeta os pigmentos sensíveis a comprimentos de onda médios, é a forma mais comum (cerca de 6-7%) comparativamente à tricromacia protanope anómala e à dicromacia (cada uma com cerca de 1%) (Wright, 1946; Pokorny, et al., 1979: 183-241; Sharpe, et al., 1999: 3-51; Shevell & Chang He, 1997: 1115; Baraas, et al., 2006: 629-635).

Para o diagnóstico das deficiências visuais existem vários testes de diagnóstico, sendo alguns deles recomendados nos cuidados de saúde primários (Cole, 2007: 158). Podem ser utilizados por diferentes motivos:

- ✓ Triagem;
- ✓ Caracterizar o tipo de deficiência visual;
- ✓ Diferenciar entre deficiência congénita e adquirida;
- ✓ Avaliar a severidade do defeito;
- ✓ Para orientar testes vocacionais.

Os testes de visão cromática podem ser classificados em quatro tipos: placas pseudoisocromáticas⁴, ordenação⁵, correspondência⁶ e nomeação⁷. Para o ensaio experimental deste estudo foram utilizados o *Ishihara test* e o Farnsworth 100 Hue test, bem como o *Cambridge colour test* e o anomaloscópio de Nagel.

O presente estudo é um ensaio no qual se utilizam os testes mencionados com os seguintes objetivos: diagnosticar qual o grau de severidade de um aluno de conservação e restauro com anomalia visual; avaliar quais as capacidades desse aluno, em comparação com outro com a visão normal das cores, durante a prática da reintegração cromática. Embora se saiba *a priori* que o seu espectro seja mais reduzido do que o normal, pretende-se conseguir identificar quais os matizes a que tem mais e menos dificuldade de visualização. Esta informação é útil para orientar o aluno em aula para pinturas ou tons onde o campo espectral seja visível pelo estudante.

TESTES SELECIONADOS

Os testes selecionados para este caso de estudo foram os seguintes: Ishihara test, Cambridge Colour test, Farnsworth 100 Hue Test e Anomaloscópio.

Ishihara test

O teste Ishihara é, à semelhança de outros testes de placas pseudoisocromáticas⁸, utilizado como teste de triagem na prática clínica por ser barato, duradouro e fiável (Bruni e Cruz, 2006: 766-775; Dain, 2004: 276-293)⁹. Este teste foi desenvolvido para deteção¹⁰ e

⁴ Nos testes de placas pseudoisocromáticas a pessoa tem de identificar qual é a forma dos números incorporados num fundo, como é o caso do teste de *Ishihara*, das placas *American Optical Hardy-Rand-Rittler*, das Placas Pseudoisocromáticas Padrão (PPP) e do *Cambridge Colour Test*.

⁵ No caso dos testes de ordenação o indivíduo tem de organizar um conjunto de superfícies coloridas codificadas na sequência certa, segundo o matiz, como o *Farnsworth Munsell 100 Hue Test* (FM 100), o *Farnsworth D15*, o *HVC Color Vision Skill Test*, o *Adam desaturated D15* e o *Lanthony New Colour test*.

⁶ O objetivo dos testes de correspondência é reproduzir uma determinada cor com dois conjuntos de luzes diferentes. Em função do acerto da cor é possível distinguir deficiências do tipo "deutan" de "protan" e quantificar o grau de severidade. Os exemplos de testes nesta categoria são: o Anomaloscópio (baseado na equação de Rayleigh), o *Medmont C-100*, o *The City University Test* (CUT) e o *Intersociety Color Council Colour Matching Aptitude Test* (CAT).

⁷ Nos testes de nomeação, o indivíduo tem de nomear determinada cor corretamente, como por exemplo, no teste de *Farnsworth-Lantern* (ou teste FaLant); *Holmes-Wright* (HW), *Lanterna Spectrolux*, *Lanterna Beyne* e *Lanterna Edridge-Green*.

⁸ As placas pseudocromáticas foram introduzidas pelo professor J. Stilling em Strassburg no ano 1873 (Melamud *et al.*, 2004: 159-187). O teste de Ishihara foi publicado pela primeira vez em 1906 e foi reproduzido em várias edições, ao longo dos anos. As edições mais usadas possuem números e linhas traçadas para serem identificados. Atualmente estão disponíveis as versões de 14 (versão concisa) 24 e de 38 placas (Bruni e Cruz, 2006: 766-775). A maioria dos testes pseudoisocromáticos são utilizados para avaliar as deficiências congénitas do vermelho-verde e podem ser usados com crianças e adultos analfabetos (Melamud *et al.*, 2004: 159-187).

⁹ Têm sido feitas várias avaliações sobre a eficácia do teste de Ishihara, tendo sido submetido a processos de aperfeiçoamentos devido às modernas técnicas de diferenciação e reprodução de cores.

¹⁰ Contém placas que visam diferenciar protanomalias de deuteranomalias, também conhecidas por anomalias verde-vermelho (Birch, 1997: 403-408). Apesar das suas inúmeras vantagens apresenta duas limitações: não tem placas para a deteção de tritanómalos, isto é, indivíduos que confundem azuis e amarelos e não consegue fornecer uma avaliação quantitativa (Cole, 1963:113-118) de um tricromata anómalo, pois não possui placas para determinar a gravidade do defeito congénito ou adquirido (Bruni e Cruz, 2006; Dain, 2004).

diagnóstico das alterações congénitas, todavia também pode ser empregue na deteção de defeitos adquiridos na visão das cores (Alwis e Kon, 1992; Birch, 1991). Consiste numa série de números e traços compostos por diferentes pontos coloridos, como está representado na Figura 2. Os números podem ser simples ou com dois dígitos e têm de ser identificados verbalmente. Os traços destinam-se a indivíduos que não consigam ler números. Este teste permite distinguir tricromatas normais dos dicromatas, monocromatas e tricromatas anómalos (Fletcher & Voke, 1985).

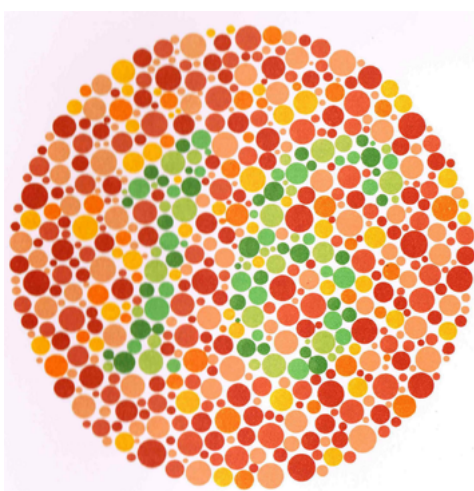


Figure 2 – Exemplo de uma placa do teste de Ishihara (SHINOBU ISHIHARA, 2012).

Os números e traços resultam em placas de padrões que se dividem em quatro categorias: transformação, esbatimento, dígito escondido e diagnósticas (ver Figura 3).

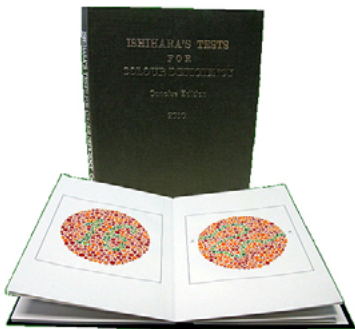

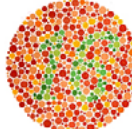

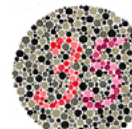
	Tipo Placas	ISHIHARA TEST	Resultados
 <p data-bbox="236 1794 531 1883">O teste não é capaz de avaliar o grau de deficiência de um tricromata anómalo</p>	Transformação		Um observador normal vê o número 8, enquanto um daltónico vê o número 3.
	Esbatimento		Um observador normal vê o número 16, enquanto um daltónico não lê os números corretamente.
	Dígito escondido		Um observador normal não deve ver nada, enquanto uma pessoa daltónica vê o número 2.
	Diagnósticas		Um observador normal vê o número 3 e o número 5. Os deuteranopes vêm o 3, enquanto os protanopes vêm o 5.

Figure 3 – Exemplos de placas do teste de Ishihara Esquema da autoria de Ana Bailão.

Cambridge Colour test

O *Cambridge Colour Test* (Mollon e Regan, 2000) é um teste de despistagem¹¹ que procura identificar o tipo de anomalia com base na capacidade que o examinando tem para perceber um padrão alvo em forma de C, rotativo, sob um fundo cromático¹². É usado para analisar com detalhe as alterações na discriminação da cor de defeitos congénitos e de defeitos adquiridos, uma vez que permite ao investigador monitorar quantitativamente ao longo do tempo a progressão ou regressão da doença (ver Figura 4)¹³. No entanto, este teste falha na identificação de anómalos ligeiros. Podem ocorrer falsos negativos, isto é, o teste pode indicar um observador anómalo como normal, para além de existir maior variância dos valores no caso dos anómalos. Pensa-se, que pela forma como o teste está construído, os observadores anómalos podem usar pistas de luminância e não de cor, como seria o ideal. Por este motivo, o teste foi realizado mas o resultado não foi considerado, pelo facto dos valores suscitarem dúvidas na avaliação do grau de severidade do aluno com visão anómala das cores.

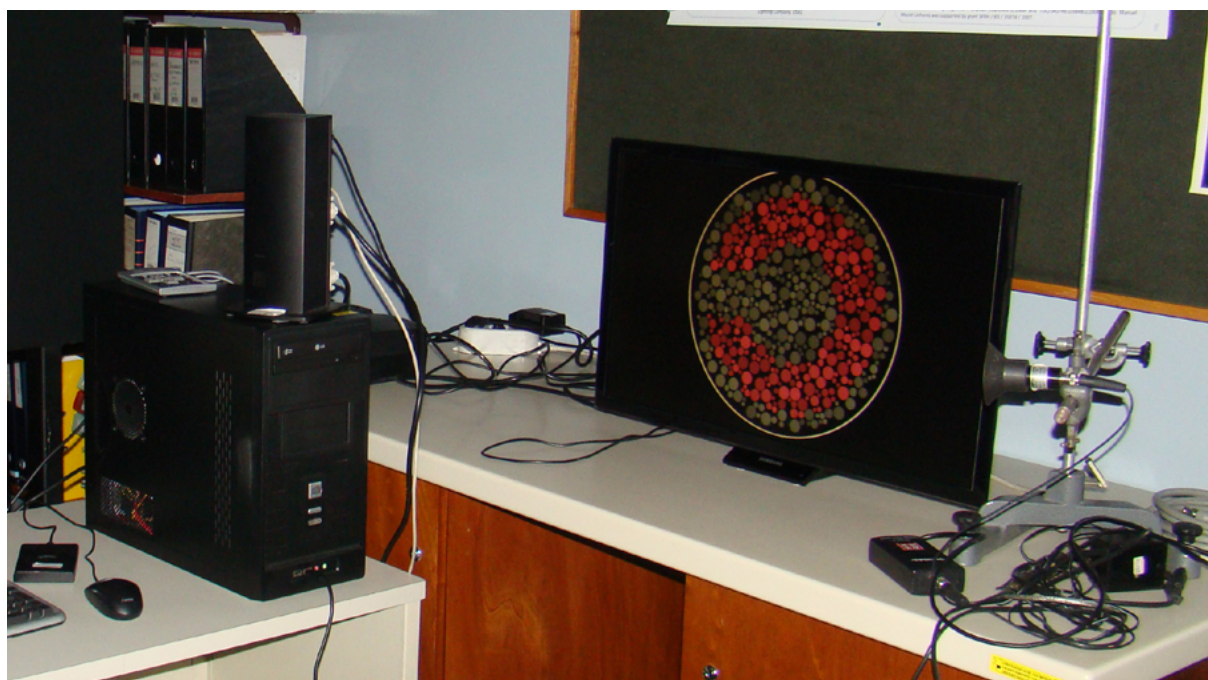


Figura 4 – Cambridge Colour Test. Visualização do equipamento informático do Departamento de Física da Universidade do Minho. © Ana Bailão.

¹¹ Este teste combina princípios antigos com tecnologia moderna. O estímulo assemelha-se ao tradicional teste de Ishihara, anteriormente analisado, uma vez que recorre a placas pseudoisocromáticas, mas é computadorizado. A diferença entre o *Cambridge Colour Test* e outros testes com discos pseudoisocromáticos reside no alvo. Enquanto testes como o Ishihara utilizam caracteres alfanuméricos, cuja sequência pode ser estudada pelo indivíduo antes da sua realização, no *Cambridge Colour Test* o alvo é sempre um C com quatro orientações possíveis e aleatórias, sendo improvável a sua previsão.

¹² O padrão alvo tem a forma de um C, diferindo do fundo em cromaticidade. O fundo e o alvo são compostos por vários círculos discretos, cada um com o seu contorno. A luminância de cada círculo surge aleatoriamente. Estas duas manobras pretendem assegurar que o indivíduo detete o alvo apenas pela verdadeira visão das cores e não por pistas associadas ao contorno ou a diferenças de luminosidade.

¹³ Os farmacologistas, por exemplo, usam o *Cambridge Colour Test* para a monitorização, a curto e longo prazo, de anomalias visuais ocasionadas por doenças e medicamentos que afetam substancialmente a visão das cores.

Farnsworth 100 Hue Test

O *FM 100 Hue Test* é um teste de ordenação. Foi concebido para analisar o nível de discriminação de tricromatas normais, isto é, classificar pessoas com visão das cores normal em classes: superior, média e inferior, e para medir as zonas de confusão de pessoas com deficiências visuais (Farnsworth, 1957).

O teste é composto por um total de 85 cores em cápsulas de plástico, numeradas e removíveis. Cada cápsula tem um matiz diferente, mas com a mesma luminosidade e saturação (Farnsworth, 1957: 2; Dain, 2004: 276-293). As cápsulas estão separadas em quatro caixas, duas de 21 e duas de 22 peças. Além disso, cada caixa contém duas cápsulas-piloto coloridas fixas nos extremos, perfazendo um total de noventa e três cápsulas (ver Figura 5).



Figura 5 - *Farnsworth-Munsell 100-hue test*. © Ana Bailão.

Aos indivíduos solicita-se que sequenciem as 21 ou 22 cápsulas amovíveis, de modo a mudar progressivamente o matiz, tendo como ponto de partida e referência a cápsula-piloto fixa no lado esquerdo de cada caixa. A ordenação das cápsulas é feita da esquerda para a direita. Quanto mais próximo estiver da sequência correta, melhor é a capacidade da pessoa para a discriminação ou distinção de cores (Bailão, 2012).

Este teste é utilizado (Bruni e Cruz, 2006: 769) para:

- Analisar a capacidade para distinção de tonalidades;
- Identificar o tipo de deficiência na visão das cores;
- Seleção de candidatos para treino vocacional;
- Avaliar os efeitos provocados por medicação nos tratamentos médicos.

O resultado do teste é calculado com um programa de computador chamado *FM Hue Test Scoring Software*¹⁴ (ver Figura 6).

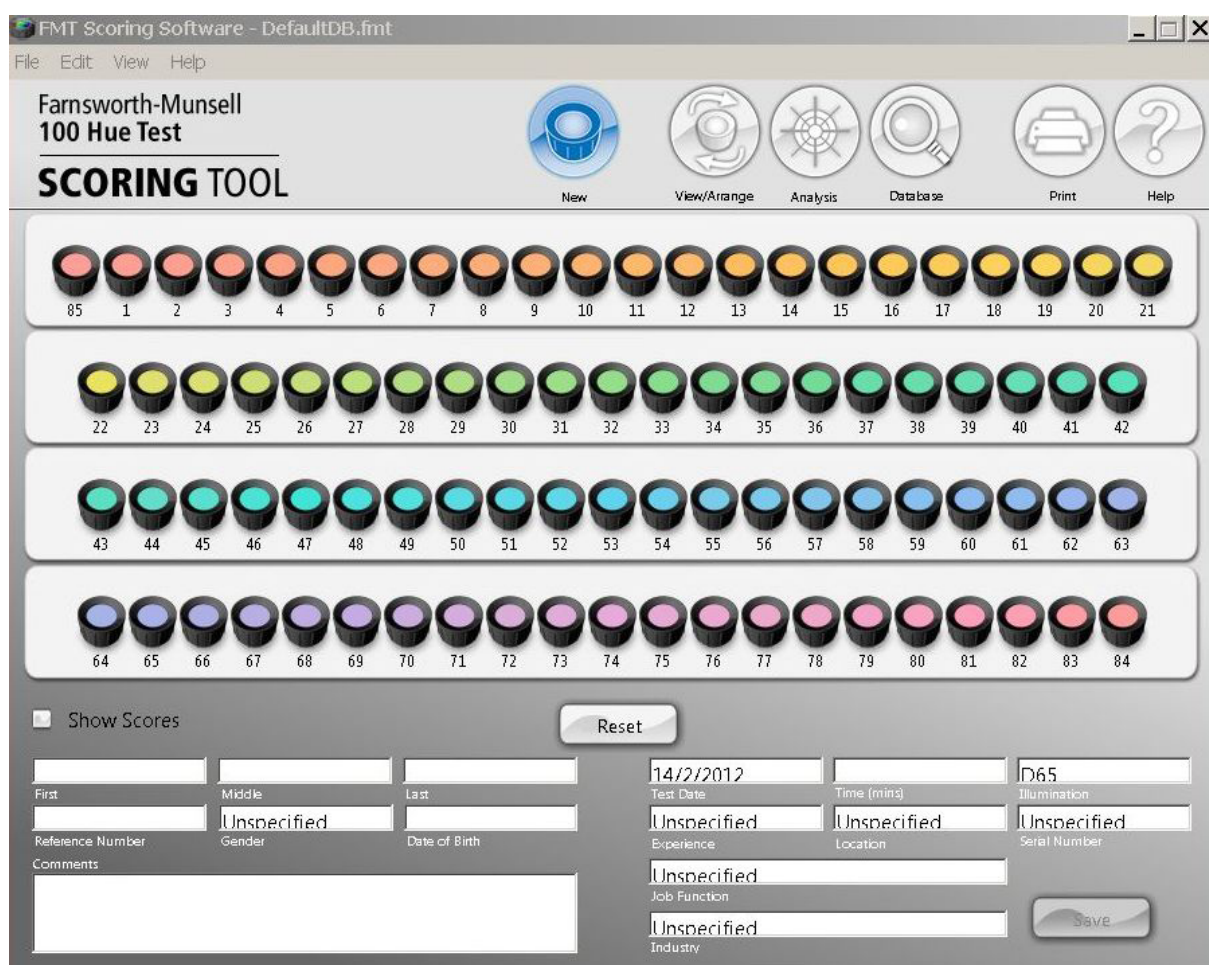


Figura 6 – Vista do programa informático *FM Hue Test Scoring Software*. Imagem extraída do programa.

¹⁴ Este programa foi desenvolvido para acelerar e simplificar o registo dos dados do teste e a respetiva ordem das cápsulas. A contagem é feita da seguinte forma: cada transposição simples corresponde a quatro pontos, enquanto uma pontuação “perfeita” equivale a 2. Quanto mais alta for a pontuação, pior é a capacidade de discriminação cromática do sujeito. Este é um dos muitos programas que exige que os dados sejam introduzidos manualmente e que funciona em ambiente *Windows* (HIDAYAT, 2008: 36-40).

O programa fornece, igualmente, um conjunto de ferramentas analíticas e administrativas, através das quais os dados podem ser apresentados com um gráfico polar (Figura 7 (a)) ou em formato de gráfico linear (Figura 7 (b)), bem como analisados de acordo com uma variedade de algoritmos.

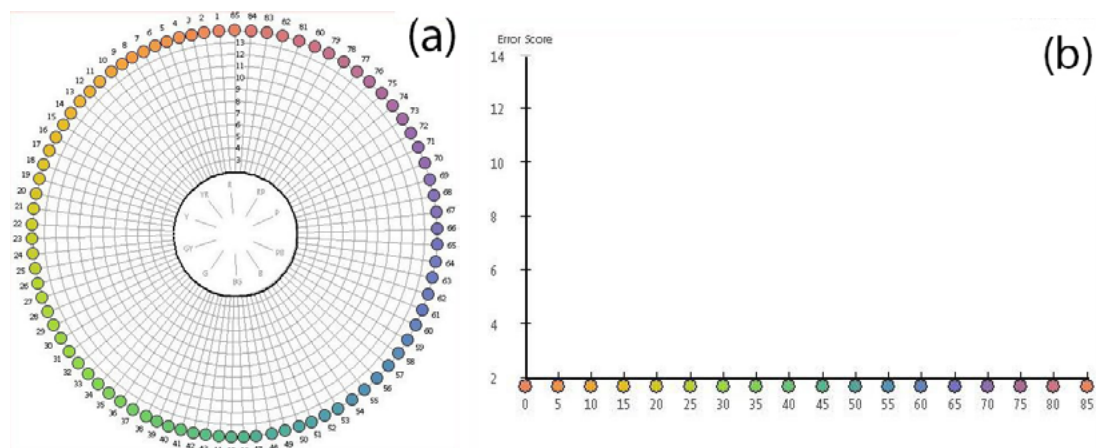


Figura 7 – Exemplo de um gráfico polar (a) e de um gráfico linear (b) de um indivíduo com um resultado “perfeito” na discriminação de matizes.

Anomaloscópio

A anomaloscopia¹⁵ é uma técnica de identificação de anomalias na visão das cores, que permite classificar as deficiências congénitas, diferenciando indivíduos com tricromatismo anómalo de normais e dicromatas de tricromatas anómalos, além de conseguir quantificar o grau de severidade de um tricromata anómalo (Bruni e Cruz, 2006: 773).

¹⁵ O teste feito com um anomaloscópio diz-se de equalização, uma vez que o objetivo é reproduzir uma determinada cor com dois conjuntos de luzes diferentes e distinguir deficiências do tipo “deutan” de “protan”. Este equipamento recorre a uma equação de combinação de cores específica, chamada a combinação de *Rayleigh* (Lord Rayleigh, 1881: 64-66). É uma equação de cor que mostra uma reprodução de amarelo (geralmente no comprimento de onda dos 589 nm), mediante uma mistura de vermelho (670 nm) e verde (535 nm) (Shevell & Chang He, 1997 115-1127; Schmidt, 1955: 514-522). Aos observadores normais correspondem sempre as mesmas proporções das intensidades das luzes a misturar e aos observadores com problemas na visão das cores correspondem proporções características de cada tipo de anomalia. Assim, é possível determinar a anomalia conhecendo as proporções das misturas (ver Figura 8).

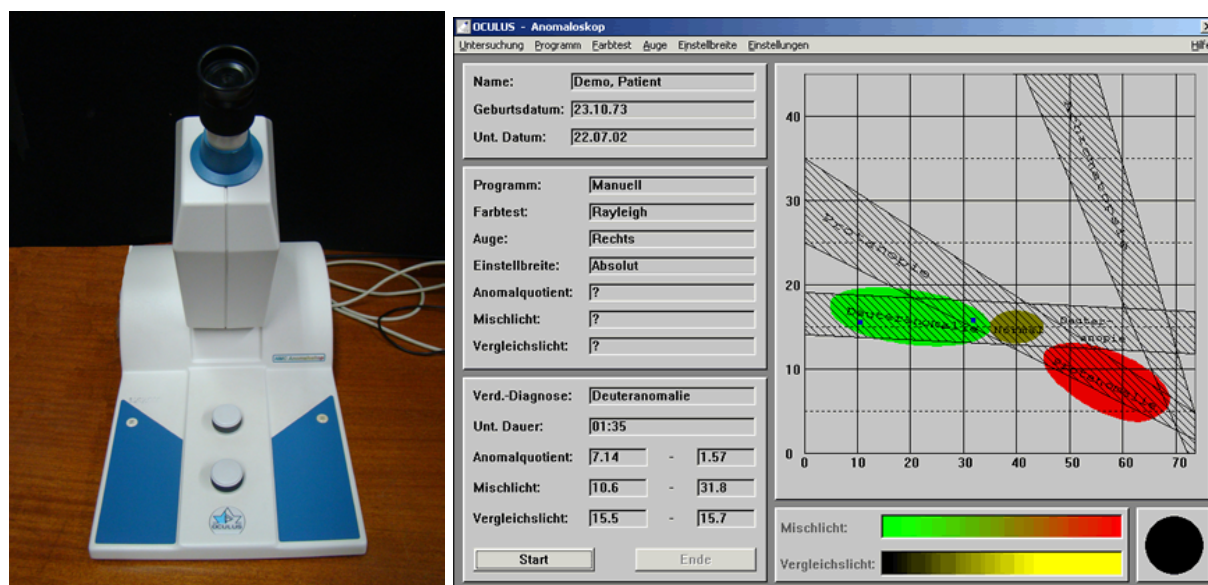


Figura 8 – Observação do Anomaloscópio da OCULUS do Departamento de Física da Universidade do Minho (© Ana Bailão) e do respetivo *software* para registo de dados.

Cada um destes testes contribui para o diagnóstico das deficiências visuais. Todavia, por vezes não são suficientes para se perceber se o daltonismo afeta significativamente os juízos de cor em superfícies do mundo real, principalmente no tricromatismo anómalo (Baraas *et al.*, 2006), e ainda mais, se o grau de severidade for ligeiro. De acordo com Saiful Azlan Rosli, *as pessoas com deficiência cromática ligeira, como as com tricromatismo anómalo leve e moderado, confundem normalmente as cores escuras ou pálidas. Além disso, alguns tipos de deficiência cromática alteram luminância relativa dos objetos* (Rosli, 2010: 6). No entanto, a deficiência leve e moderada na visualização das cores diverge entre os indivíduos. Por este motivo, foi necessário realizar testes de cor ao tricromata anómalo em estudo e comparar os resultados com os de um tricromata normal.

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso que aqui se apresenta não tem um objetivo estatístico. Trata-se de um ensaio, comparativo, entre um tricromata anómalo e um tricromata normal. É uma experiência que vem na continuidade de uma investigação realizada em 2011 (Bailão, 2012)¹⁶. Recorreu-se assim a dois alunos voluntários de conservação e restauro, ambos com interesse pela cor e pela reintegração cromática.

¹⁶ Em 2011 efetuou-se um estudo com o Farnsworth-Munsell 100-hue test para avaliar a capacidade de discriminação de cores de 25 estudantes de licenciatura em conservação e restauro. Com base nos resultados obtidos 52% dos estudantes demonstraram ter uma capacidade normal para a distinção de cor e dois dos 25 indivíduos revelaram ter uma discriminação de cor inferior. Ambos eram do sexo masculino, mas apenas um tinha consciência desta sua limitação. Um dos alunos é um tricromata anómalo (com os três pigmentos disponíveis) enquanto o outro é um dicromata (ausência de um pigmento).

Um dos estudantes tem visão cromática normal e o outro é consciente da sua baixa capacidade para a discriminação de cores, não conseguindo estimar a severidade da deficiência. Numa primeira fase foram usados o teste de *Ishihara* e o teste *Farnsworth 100 Hue*; numa segunda fase utilizaram-se o Anomaloscópio da *OCULUS* e o *Cambridge Colour test*. Determinada e quantificada a anomalia congénita do estudante, efetuaram-se testes práticos de cor para avaliar a forma como a deficiência visual diagnosticada influenciava o estudante durante a prática da reintegração cromática.

Procedimento

Os testes de *Ishihara* e de *Farnsworth 100 Hue* foram realizados sob as mesmas condições de luz. Os dois estudantes voluntários estavam sentados a uma mesa com uma lâmpada fluorescente Kelvin 6500, com um índice de reprodução de cor (IRC) de 90 (Farnsworth, 1957; Steward & Cole, 1989: 288-295; Cole, 2004: 258-275). A intensidade da luz foi cerca de 300 lux, de acordo com algumas recomendações (Nathan, *et al.*, 1964: 1.041-1.045; Lakowski, 1969: 274).

O Teste de Ishihara

Foi utilizada uma versão abreviada do teste de Ishihara, composta por 14 placas. De acordo com Cole (Cole 2007: 159), «*não importa a edição utilizada, pois o critério de falha é de três ou cinco erros, sendo que o número total de erros não interfere no diagnóstico*». O teste foi realizado a 75 cm dos participantes, e inclinado, de modo a que o papel estivesse colocado no melhor ângulo em relação à linha de visão dos indivíduos (Shinobu Ishihara, 2012: 3). O tempo máximo de observação foi de 4 segundos por placa. Ambos os indivíduos foram instruídos a identificar o(s) número(s) e informados de que em cada página, era possível verem-se um, dois, ou nenhum dígito. No caso das placas com linhas, os participantes foram convidados a percorrer o caminho colorido com um pequeno pincel de cerdas macias entre as duas marcas "X". Após a conclusão do teste, o número total de erros foi avaliado de acordo com a seguinte interpretação (Crone, 1961: 298-305; Cole, 2007: 159):

- Erros em três ou mais placas numeradas, indica uma deficiência vermelho-verde com uma pequena probabilidade (2%) de um diagnóstico errado;
- Cinco ou mais erros indicam certas deficiências cromáticas para vermelho-verde;
- O número de erros não é proporcional ao grau de severidade. Indivíduos que erram pouco podem ter uma deficiência ligeira, mas aqueles que cometem um grande número de erros podem ter uma anomalia ligeira ou severa;
- As placas com dois números, um vermelho e um vermelho-púrpura, sob fundo cinzento, podem diferenciar defeitos protanopes de deuteranopes. Quando os indivíduos não conseguem ver o número vermelho é sinal de protanopia; quando não conseguem ver o vermelho-púrpura é deuteranopia. No entanto, nem sempre é possível obter uma resposta, uma vez que em 30% a 40% dos casos, ambos os números são vistos ou nenhum dos números é observado.

Além disso, na leitura dos resultados da edição abreviada de 14 placas, considera-se ainda que (Shinobu Ishihara, 2012:5).

- As placas de 1 a 11 diferenciam a visão normal da anómala;
- Se 10 ou mais placas forem lidas corretamente, a visão de cores é considerada normal.
- Se apenas 7 ou menos placas forem lidas de forma correta, a visão das cores é considerada anómala;
- Apenas os que lêem os 2 números da placa 9, e o fazem mais facilmente do que os da placa 8, são considerados anómalos (Shinobu Ishihara, 2012: 5).

O Teste de 100 Matizes de Farnsworth

Sob as mesmas condições de iluminação acima descritas, os dois indivíduos foram convidados a organizar um total de 85 cores (ver Figura 9). Após a conclusão do teste, o número total de erros foi calculado com o programa FM *Hue Test Scoring* e comparado com os dados-padrão de uma população de referência, proporcionada por Dean Farnsworth (Farnsworth, 1957: 4-6; Rigby, *et al.*, 1957: 4 - 6). Foram também determinados os eixos de confusão dos estudantes, ou seja, quais são os fotopigmentos dos cones que têm as características de absorção mais anormais do que outros.

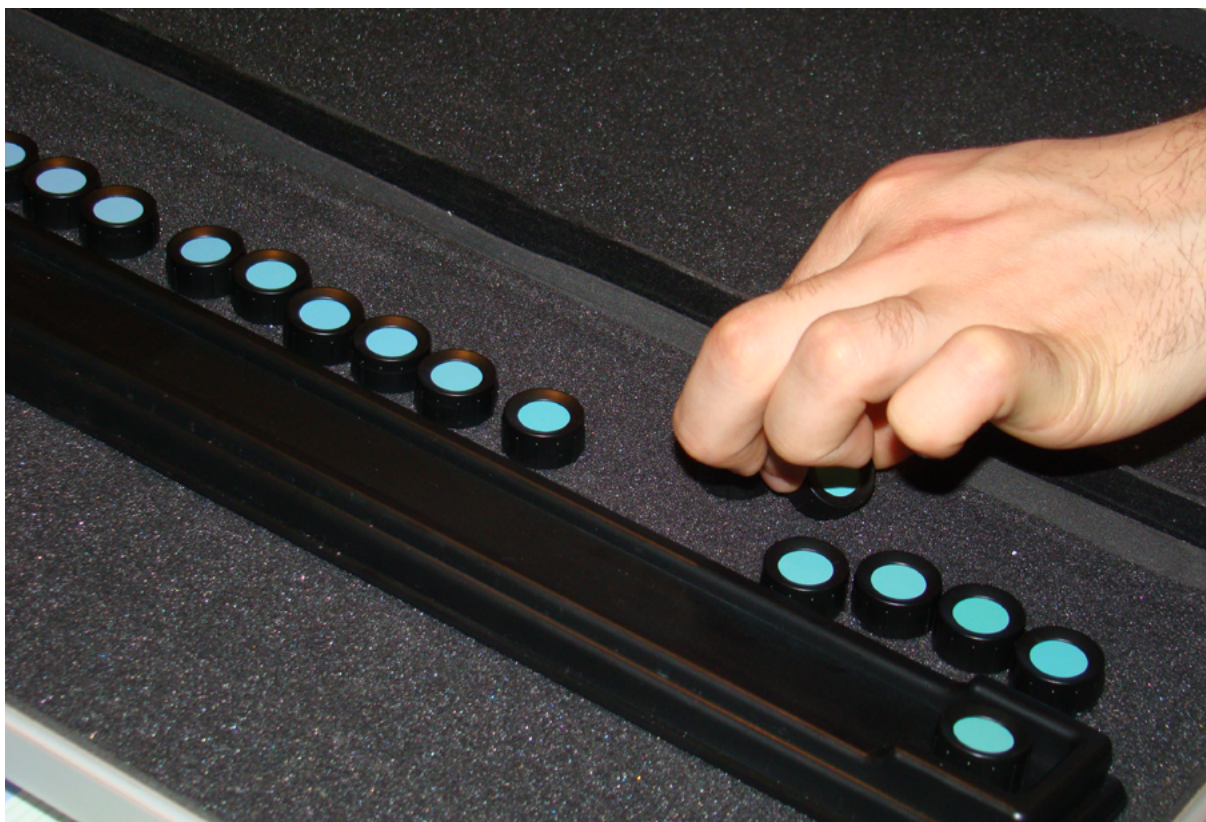


Figura 9 – Durante a ordenação de uma das quatro réguas do FM 100 Hue. © Ana Bailão.

Resultados

O estudante com visão normal das cores identificou as 14 placas coloridas e o outro aluno, consciente das suas limitações na discriminação cromática, errou em dez placas. Embora este resultado tenha levado a concluir que se tratava de um indivíduo com uma visão anómala, não foi indicativo do grau de severidade. O total de erros cometidos confirma apenas uma deficiência no vermelho-verde. A leitura do número 2 na placa 9, claramente mais rápida do que os dígitos da placa 8, também sugere uma anomalia. Através das placas diagnósticas 12 e 13, constatou-se que o estudante com defeito visual não conseguia identificar o número vermelho-púrpura, o que leva a concluir que é um "deutan", um indivíduo com uma ausência ou disfunção no pigmento verde. Após a conclusão do teste de *Ishihara* permaneceram algumas dúvidas, uma vez que o teste não distingue entre tricromatas anómalos e dicromatas e também em relação à gravidade da deficiência. Embora o aluno com tricromacia anómala não tenha identificado o número vermelho-púrpura das placas diagnósticas, informou que conseguia ver alguma coisa, embora sem uma forma definida. Os resultados obtidos com o teste de *Farnsworth 100 Hue* de discriminação de Cores revelam duas características essenciais:

- No caso do aluno de conservação com uma visão de cores normal, o teste FM evidência a sua excelente capacidade para distinguir matizes, na medida em que o resultado final é discriminação superior (Total Error Score (TES) = 12) (ver Figura 10);
- No caso do aluno com daltonismo, o teste FM evidência a sua baixa capacidade de discriminação (Total Error Score (TES) = 256) e também que a origem da sua confusão das cores reside no pigmento verde (ver Figura 10).

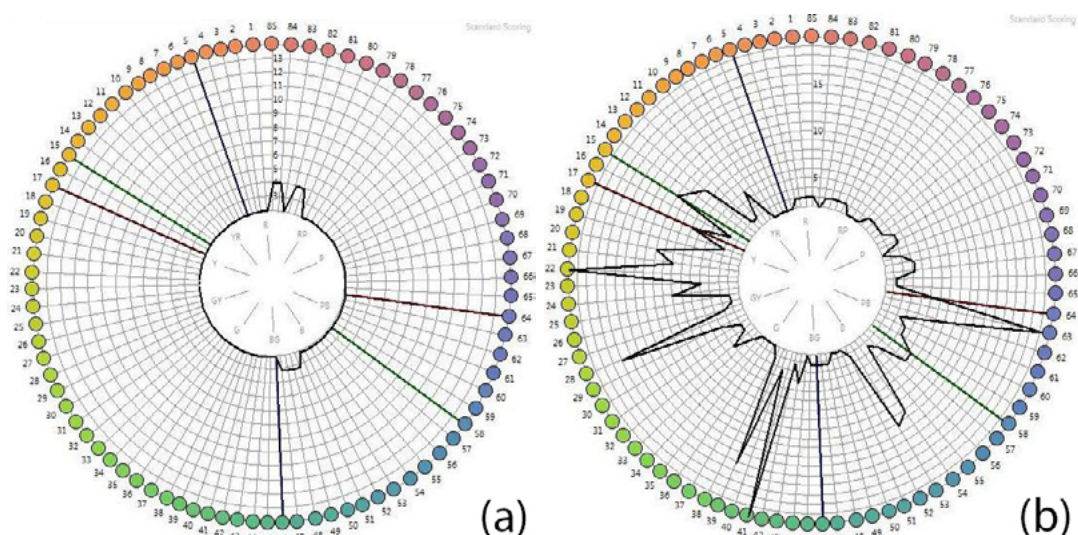


Figura 10 – Gráfico (a): Resultado do teste do aluno de conservação com visão cromática normal. Este tem uma capacidade de discriminação cromática superior. **Gráfico (b):** Resultado do teste do aluno de conservação com daltonismo e que aparenta ser um tricromata anómalo com deuteranomalia (eixo verde). Este indivíduo estava previamente ciente da sua baixa capacidade de discriminação cromática.

Os resultados de ambos os testes auxiliaram no diagnóstico. O estudante com anomalia visual parece ser um tricromata anómalo com deuteranomalia, isto é, este indivíduo parece ter os 3 fotopigmentos e, tal como os tricromatas normais, usa as três cores para poder combinar todos os tons espectrais, sendo por isso chamado de tricromata (Farnsworth, 1957: 4). No entanto, as proporções dos espectros de absorção são anómalos. O eixo de confusão a verde, indicado no gráfico (b) da Figura 10, revela que a absorção do pigmento “verde” é maior em relação aos outros dois. Todavia, a gravidade do defeito visual não é quantificável. Durante a realização do *FM 100 Hue test* o aluno também demonstrou mais dificuldade na ordenação de tons menos saturados.

As pessoas com deuteranomalia têm pigmentos sensíveis aos comprimentos de onda médios (verdes) mas com as curvas de absorção deslocadas no sentido dos vermelhos. Todavia, é importante anotar que, pelo facto da curva de resposta do pigmento verde se mover no sentido da extremidade vermelha do espectro, a discriminação vermelho-verde é reduzida, sem escurecimento anormal de cores. Isto significa que os vermelhos também são afetados. Ao realizar uma simulação para perceber qual é o aspeto real das cores para os tricromatas anómalo com deuteranomalia, o resultado consiste numa diminuição da saturação do vermelho e verde. O verde dos tons claros e escuros fica mais amarelo (ver Figura 11).

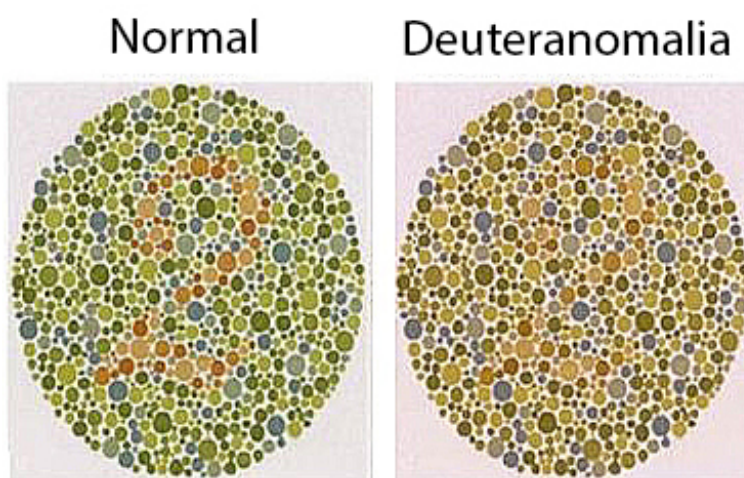


Figura 11 – Simulação da visão dos tricromatas anómalos com deuteranomalia (placa direita). Simulação *Adobe Photoshop*®. Nesta simulação não é possível controlar o grau de severidade, podendo estes tons variar de pessoa para pessoa
Concluída esta primeira fase do diagnóstico deu-se início à segunda etapa recorrendo ao anomaloscópio.

Anomaloscópio

A capacidade de discriminar cores varia muito entre indivíduos, mesmo entre tricromatas deuteranómalos com uma boa capacidade de discriminação cromática (Shevell & Chang He, 1997, 1115-1127). Normalmente a deuteranomalia apenas consegue ser caracterizada e quantificada usando o anomaloscópio.

O anomaloscópio utilizado nesta investigação foi o HMC (Heidelberg Multi-Color) da OCULUS, Inc (Figura 12). É um dispositivo controlado por um microprocessador para o diagnóstico da visão das cores na área vermelha/verde (equação Rayleigh) e na área azul/verde (equação Moreland)(Verriest, 1963).



Figura 12 – Durante a realização do teste do anomaloscópio por um dos alunos voluntários. Anomalóscopio HMC (Heidelberg Multi-Color) da OCULUS, Inc. © Ana Bailão.

No anomaloscópio o estudante observava o seu campo visual através de uma ocular. Este campo estava dividido em duas partes (dois semicírculos). Foram testados os dois olhos. Durante a realização do teste o aluno dava indicações sobre os dois semicírculos, dizendo quais as diferenças entre o semicírculo superior (vermelho-verde) e o semicírculo inferior (brilho do amarelo), para que o examinador ajustasse as tonalidades de modo a igualar os dois semicírculos. A anomalia foi caracterizada em função das proporções obtidas com a mistura de luzes.

Resultados

O resultado obtido com os testes anteriores é validado pelo anomaloscópio. O estudante é um tricromata anómalo com deuteranomalia. A gravidade da anomalia confirma-se ser ligeira. Na figura seguinte pode-se avaliar os resultados.

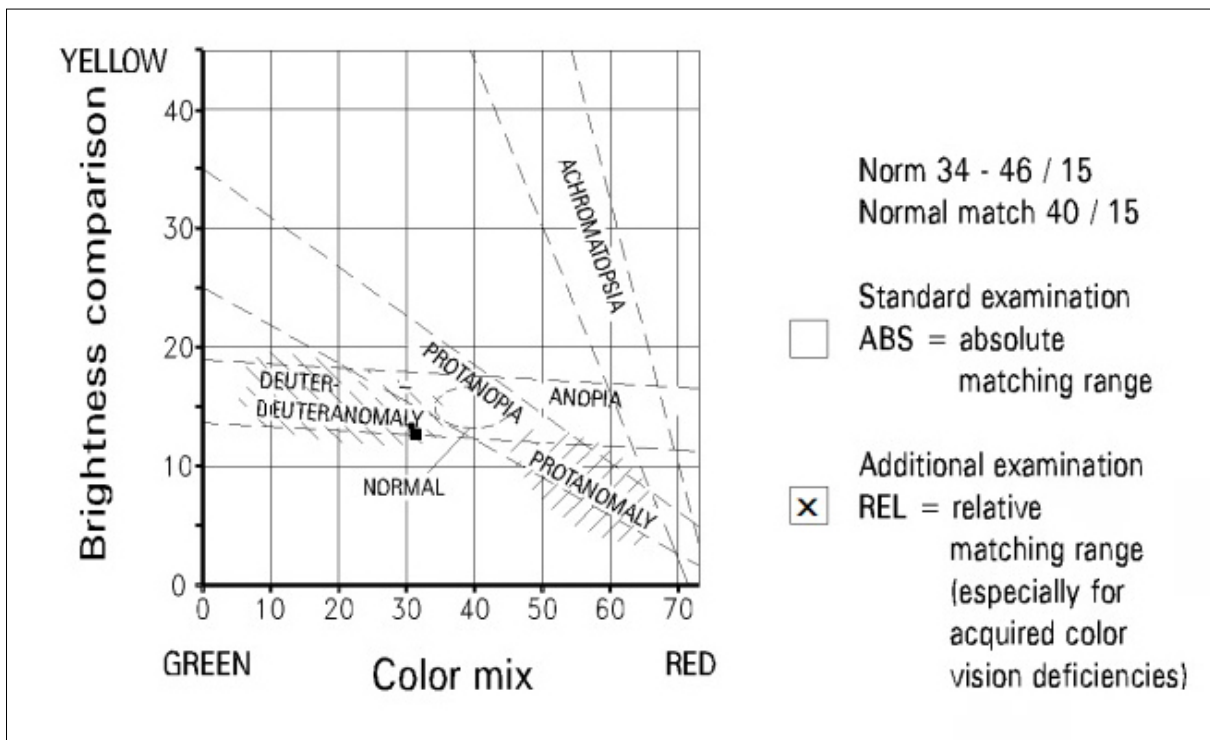


Figura 13 – Gráfico dos resultados obtidos com o anomaloscópio.

O acerto normal caracteriza-se pela obtenção de 40 valores no eixo da mistura de luzes e 15 valores na comparação de luminosidade. Como se pode avaliar pelo gráfico, o aluno teve alguma dificuldade no acerto da mistura das luzes verde e vermelha e menos na comparação do brilho proveniente da luz amarela. O resultado obtido foi 31,2/12,5.

A aceitação de apenas uma solução para o acerto das luzes, embora distinta dos limites do observador normal, é mais uma característica da tricromacia anómala ligeira, uma vez que os tricromatas anómalos, com uma deficiência severa, aceitam várias opções de acerto de cor (Gegenfurtner, Sharpe, 2001: 37).

O diagnóstico da anomalia permite ter uma noção sobre quais são as cores que o aluno tem mais dificuldade em discernir. Embora o estudante, por ser um tricromata normal, não veja determinados vermelhos e verdes, por ser portador de uma deuteranomalia ligeira consegue, muitas vezes, distinguir tons de vermelhos e verdes com relativa exatidão. Como deuteranómalo tem também problemas de perceção dos violetas, roxos, magentas e cinzentos (Gegenfurtner, Sharpe, 2001: 28), variando o número de tons distinguíveis em função da severidade da deficiência visual.

Conhecidos os resultados do estudante com anomalia visual decidiu-se efetuar testes de mistura e reprodução de cores, de modo a avaliar de que forma o grau de deficiência identificado afeta e limita o aluno durante o processo de reintegração cromática.

Testes de Mistura e Combinação de Cores

Durante a realização dos testes de mistura e combinação de cores, os dois voluntários, estudantes de conservação, estavam sentados numa mesa com uma lâmpada fluorescente Kelvin 6500, com um índice de reprodução de cor (IRC) de 90.

O objetivo deste teste consistia em praticar a reintegração numa placa com nove linhas interrompidas de cor. Os alunos tinham de fazer coincidir nove tons previamente pintados numa placa de madeira, sobre uma camada de primário acrílico com gesso da *Royal Talens*[®] (Figura 14). Todas as nove tonalidades foram feitas com aquarelas de *Winsor & Newton*[®]. À exceção do *Cerulean Blue* e do *Viridian*, ambas aquarelas da gama *Cotman*, as restantes tintas eram aquarelas da gama *Artists' Watercolours: Scarlet Lake, Cadmium Orange, Indathrone Blue, Violet Dioxazine, Burnt Umber, Brown Madder, Cadmium Yellow*¹⁷.

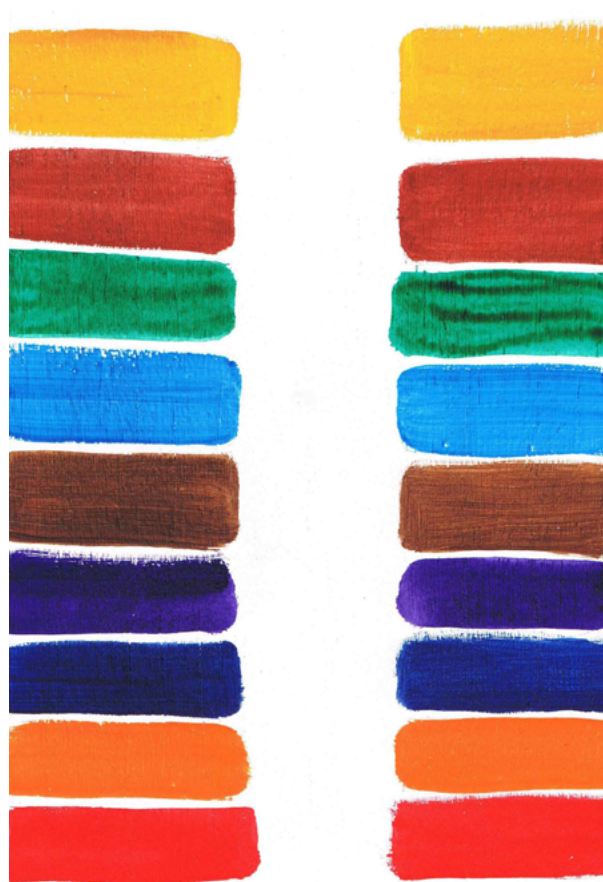


Figura 14 – Placa de madeira para o acerto de cores. © Ana Bailão.

¹⁷ Os nomes comuns das aquarelas estão na língua original para não induzir o leitor em erro.

Foram selecionados apenas seis tons para os estudantes realizarem a prática de reintegração na placa de madeira: *Winsor Lemon*, *Winsor Yellow*, *Scarlet Lake*, *Permanent Rose*, *French Ultramarine* and *Winsor Blue (Green Shade)*. As cores mencionadas representam o sistema de seis aguarelas recomendado pela marca *Winsor & Newton®* (Figura 15). Com esta paleta é possível obter matizes muito ou pouco saturados em função da tendência de cor selecionada (Bailão, 2013).

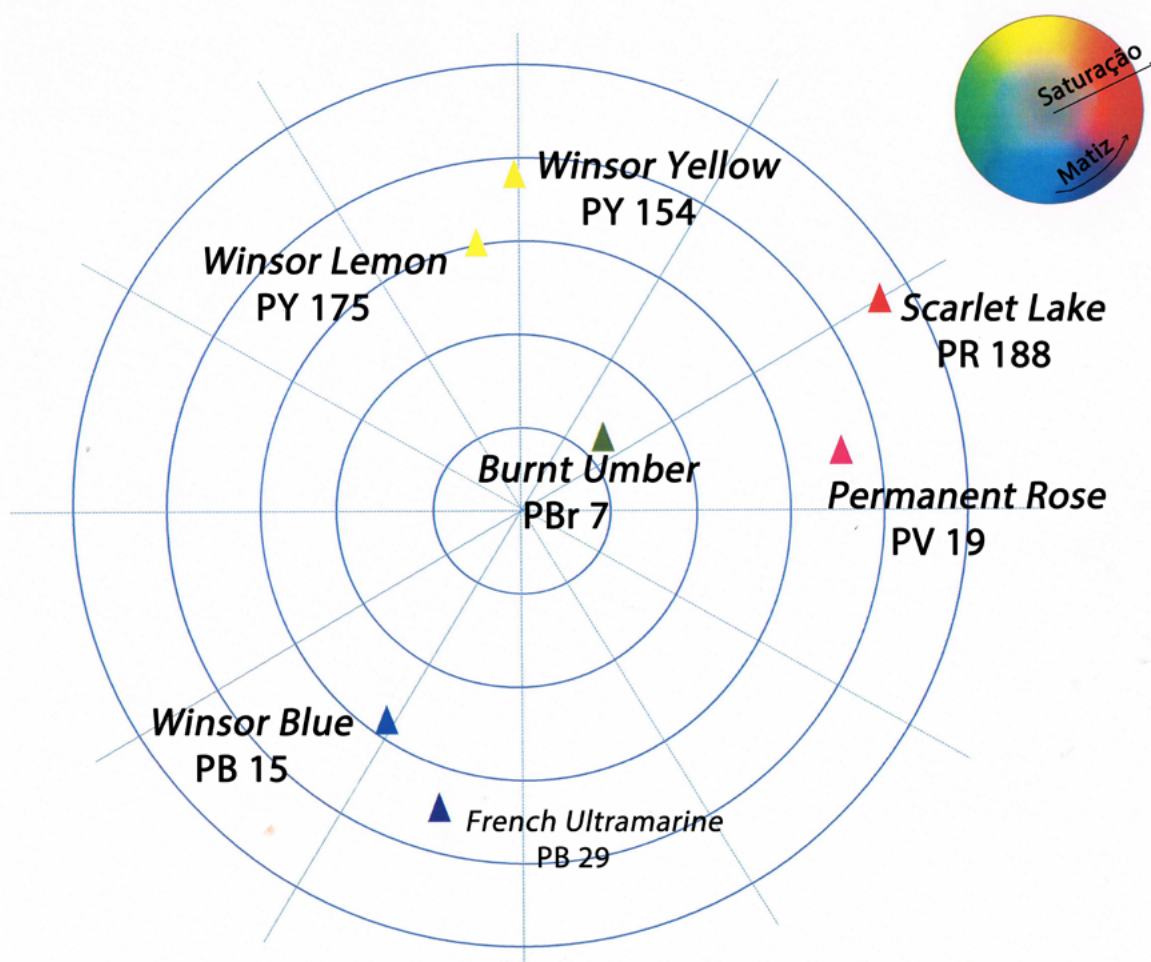


Figura 15 – Representação geométrica das seis aguarelas utilizadas no exercício de reintegração em função do matiz e da saturação. Localização de *Burnt Umber* (terra de sombra queimada), um tom pouco saturado e que servirá de referência para a interpretação dos resultados. © Ana Bailão.

Devido à paleta limitada de tons, os dois estudantes tiveram que realizar misturas de matizes para a reprodução e acerto das cores da placa de madeira. Esta condicionante ajudou a compreender a confusão de cores do aluno com daltonismo, além de facilitar a interpretação dos resultados.

Apesar de ambos os estudantes terem feito os testes de cor sob as mesmas condições de iluminação, constatou-se que o deuteranómalo procurava expor a tábua com diferentes orientações de incidência da luz quando tinha que reintegrar os tons mais claros e os mais escuros. Importa ainda referir que, em aula, este aluno também havia manifestado confusão na observação das cores quando as lacunas eram pequenas, talvez porque a cor da lacuna fosse facilmente modificada e influenciada pelas cores em torno (fenómeno de contraste de simultaneidade) (Bailão, Sustic, 2012).

Resultados

Das nove cores (Figura 16) o estudante com visão anómala teve claras dúvidas em duas: *Violet Dioxazine* e *Burnt Umber*. A primeira foi descrita como um azul-esverdeado e a segunda como um castanho-esverdeado. A reintegração final representa as observações do aluno (Figura 17 e 18).

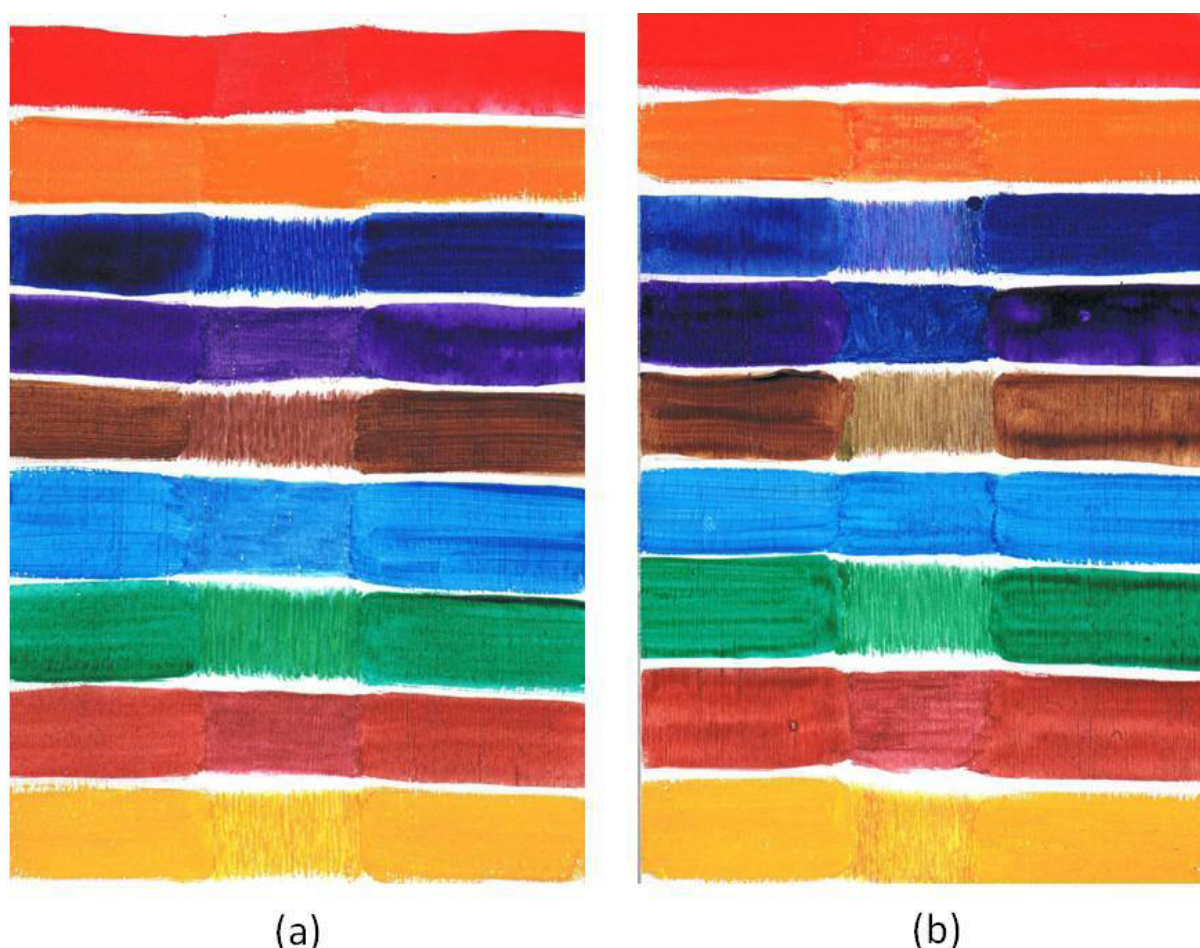


Figura 16 – Resultados finais da prática de reintegração cromática: (a) reintegração feita pelo estudante com visão cromática normal; (b) reintegração feita pelo aluno com daltonismo.
© Ana Bailão.

A dificuldade mais evidente está no acerto dos tons violeta e castanho, uma vez que a componente vermelha não foi observada.

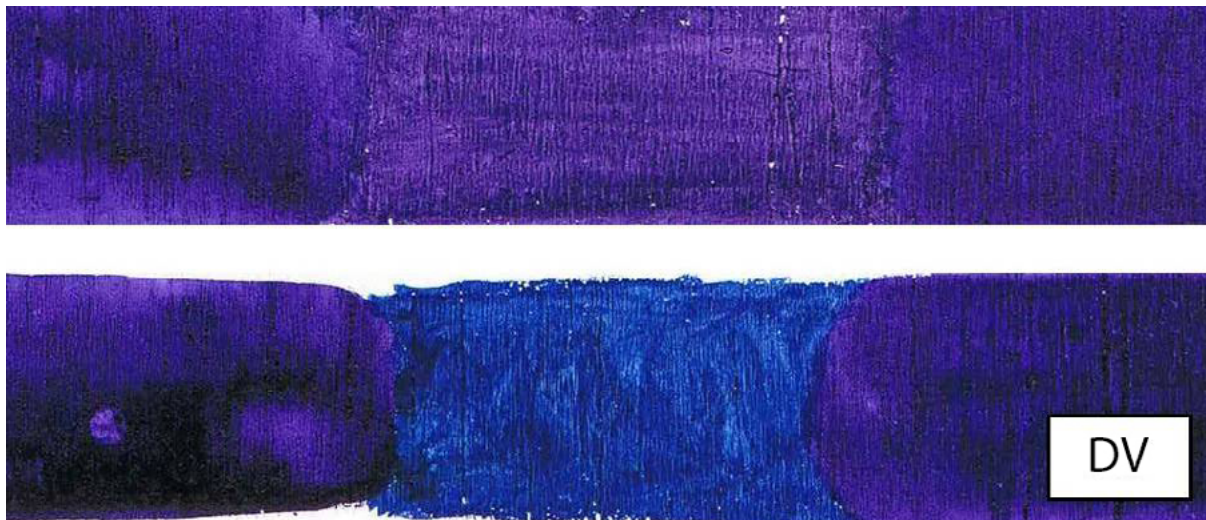


Figura 17 – Resultado final da reintegração cromática do tom *Violet Dioxazine*. Reintegração feita pelo tricromata normal (em cima); Reintegração feita pelo tricromata anómalo (em baixo) (DV = Deficiência de cor). © Ana Bailão.

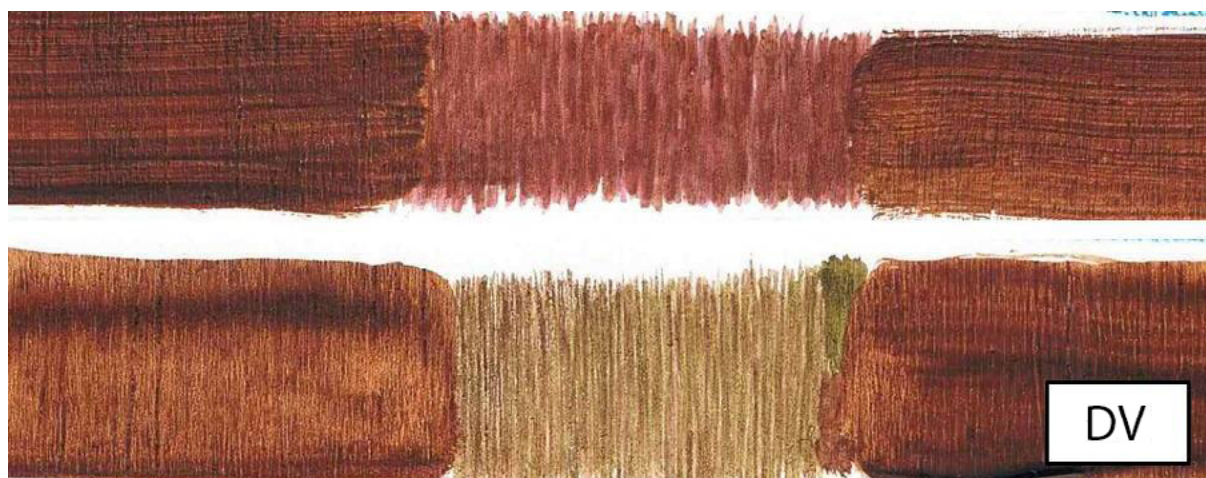


Figura 18 – Resultado final da reintegração cromática do tom *Burnt umber*. Reintegração feita pelo tricromata normal (em cima); reintegração feita pelo estudante com daltonismo (em baixo) (DV = Deficiência de cor). © Ana Bailão.

Para além da dificuldade sentida com o violeta e o castanho, o aluno também não viu inteiramente o vermelho do azul ultramarino, embora o tenha nomeado como azul avermelhado. A reintegração do verde ficou mais luminosa, embora tenha sido caracterizada como uma reprodução terminada (Figura 19).

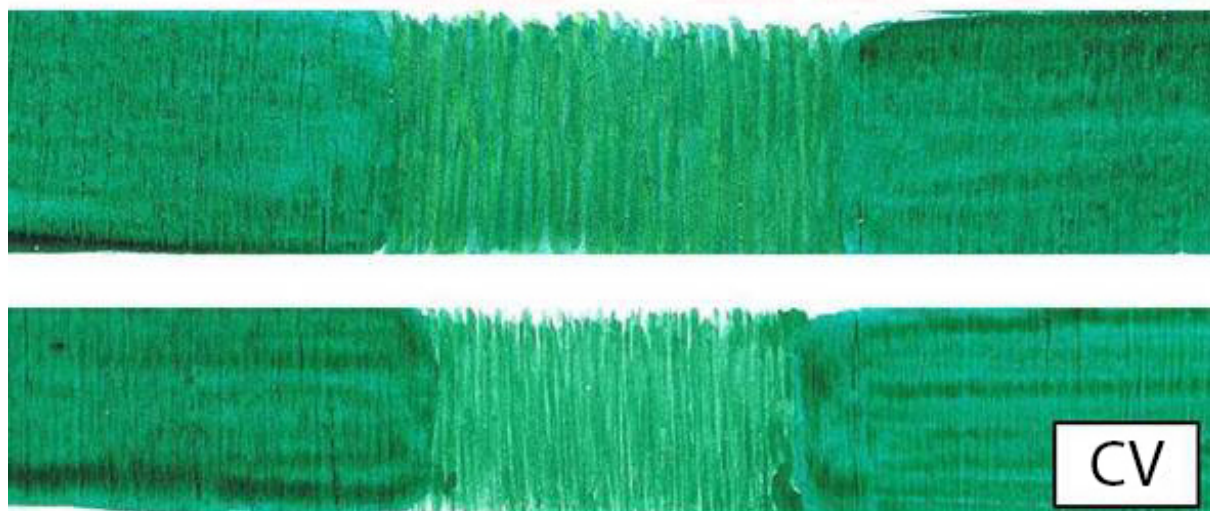


Figura 19 – Resultado final da reintegração cromática do *Viridian*. Reintegração feita pelo tricromata normal (em cima); reintegração feita pelo estudante com daltonismo (em baixo) (DV = Deficiência de cor). © Ana Bailão

Em relação aos restantes matizes da placa de madeira (Figura 16), o estudante com deficiência visual não manifestou mais dificuldade do que o tricromata normal na reprodução dos mesmos. A reintegração do vermelho, do laranja e do amarelo, matizes saturados, ficaram similares aos que foram reintegrados pelo aluno com visão cromática normal (Figura 20).

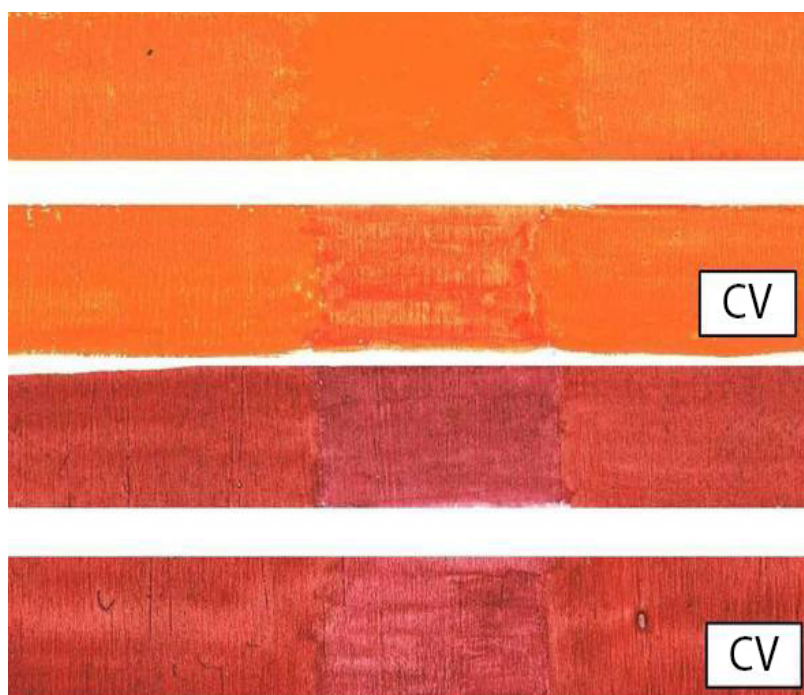


Figura 20 – Observação dos tons laranja, vermelho e verde na placa de madeira reintegrados pelos dois alunos. Os reintegrados pelo aluno com visão cromática anómala estão marcados com o rótulo (DV = Deficiência de cor). © Ana Bailão.

Com base nos resultados obtidos com os testes de diagnóstico e com os exercícios de reintegração cromática (Tabela 4) conclui-se que o deuteranómalo em estudo parece ter limitações na perceção de cores com tendência para o vermelho como o caso da magenta, do violeta, do roxo, do azul ultramarino. Faz ainda confusão com matizes claros e escuros, bem como com tons pouco saturados, como é o caso da terra de sombra queimada. Tem como capacidade visual a distinção de cores saturadas tais como amarelos, laranjas, vermelhos, azul ciano, azul cerúleo entre outros.

ALUNOS	MATIZES DA PLACA DE MADEIRA									Observações
	Scarlet Lake	Cadmium Orange	Inda-throne Blue	Violet di-oxazine	Burnt umber	Cerulean blue	Viridian	Brown madder	Cadmium yellow	
TRICOMATA NORMAL	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-
TRICOMATA ANÓMALO (Disfunção no pigmento verde)	√	√	X	X	X	√	√	√	√	O aluno não visualizou o vermelho das três cores assinaladas com X. Apesar de ter selecionado corretamente o matiz, não saturou a cor <i>Viridian</i> .

Legenda: √= Reprodução aproximada; X=Reprodução não atingida;

Tábua 4 – Tabela de resultados dos exercícios de reintegração cromática. Indicação das cores para as quais os indivíduos obtiveram uma reprodução cromática muito próxima dos tons originais.

Conclusões

A presença de pessoas com visão anómala das cores é uma realidade na conservação e restauro, entre estudantes e profissionais do setor. Diagnosticar o grau de severidade dos alunos é uma mais-valia, quer para que o professor o possa orientar em aula para as tarefas para as quais tem mais capacidades visuais, quer profissionalmente. O estudo aqui apresentado é um ensaio, direcionado para a reintegração cromática, mas que se pode estender a outro universo de amostra, com outros objetivos.

Entre os testes de diagnóstico utilizados nesta investigação, o anomaloscópio foi o que permitiu classificar e quantificar a anomalia do estudante, ajudando a eliminar algumas dúvidas que persistiram com os testes de *Ishihara*, *Cambridge Colour* e *Farnsworth 100 Hue*.

É importante saber qual o objetivo do teste e a especificidade do indivíduo na avaliação da visão das cores. Neste caso pretendia-se identificar o tipo de defeito, o grau de severidade e as capacidades e limitações de um aluno, consciente da sua deficiência visual, na observação das cores. Constatou-se que é um tricromata anómalo com deuteranomia, isto é, tem uma disfunção no pigmento M (verde). Como consequência o aluno tem mais dificuldade em ver alguns tons com comprimentos de onda médios e longos, pelo facto da curva de resposta do pigmento verde se mover para a extremidade vermelha do espectro. Confirmou-se ainda que a sua anomalia é ligeira, aumentando por isso a paleta de tons que consegue ver. Embora não possa visualizar os vermelhos e verdes da mesma forma que um tricromata normal, distingue muitos tons com relativa exatidão. Através deste ensaio conseguiu-se perceber que tons de baixa saturação dificultam a sua identificação e que o magenta, o violeta, o roxo e outras cores com vermelho e verde são igualmente afetadas. Nos testes práticos de cor confirmou-se que o aluno tem dificuldade em distinguir o violeta e o castanho, mas consegue reintegrar os restantes matizes tão bem quanto o tricromata normal. Apesar da disfunção do pigmento M, parece ser capaz de diferenciar facilmente o azul cerúleo, o azul ciano, o azul Prússia e também o verde viridiano (verde azulado), tendo mais dificuldade no azul ultramarino.

Constata-se ainda que devido ao facto de ter uma anomalia ligeira, consegue discriminar as cores desde que lhe sejam dadas pistas. Todavia, as suas aptidões visuais para desempenhar tarefas que o obriguem a distinguir diferenças subtis de matizes, especialmente se houver necessidade de ajuizar rapidamente, são reduzidas.

Assim, mesmo sendo capaz de acomodar a sua visão de cores e aprender a usar a cor, não é aconselhável que este estudante pratique a reintegração cromática, sobretudo de castanhos, violetas, roxos, magentas, azul ultramarino, negros, brancos e cinzas.

Na prática, um aluno com estas características poderia frequentar e efetuar a reintegração cromática em contexto de aula, desde que as cores a evitar estejam diagnosticadas, lhe seja atribuída uma peça orientada para o seu campo espectral visível, use uma paleta limitada de matizes e seja acompanhado por um tricromata normal.

É importante salientar que esta orientação visual só é possível porque a anomalia é ligeira. Formas mais complexas de cegueira de vermelho-verde, como o dicromatismo, não permitem a realização de qualquer ação para a qual seja necessária acuidade visual.

Referências

ALWIS, Dilogen V.; KON, Chee H.. «A new way to use the Ishihara test». *In Journal of Neurology*. 239 (8) (1992), pp. 451-454. [Consulta:03.04.2013]. [HTTP://LINK.SPRINGER.COM / ARTICLE/10.1007%2F00856810#](http://link.springer.com/article/10.1007%2F00856810#).

BAILÃO, Ana. «Colour discrimination in conservation students: the Farnsworth-Munsell 100– hue test», *In Ge-conservación*. 3 (2012), pp. 105-116. [Consulta: 15.04.2013]. [HTTP://WWW.GE-IIC.COM/OJS/INDEX.PHP/REVISTA/ARTICLE/VIEW/102/PDF](http://www.ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/102/pdf).

BAILÃO, Ana; SUSTIC, Sandra. «Matching colours in pictorial retouching: influence of the three colour dimensions and colour distortion phenomena». *In ECR - Estudos de Conservação e Restauro*. 4 (2012), pp. 14-28. [Consulta: 04.04.2013]. [HTTP://ARTES.UCP.PT/CITAR/ECR/ECR_04/ECR_04.PDF](http://art.es.ucp.pt/citar/ecr/ecr_04/ecr_04.pdf).

BAILÃO, Ana. 2013. «O sistema das nove cores na reintegração cromática de bens culturais». *In Ge-conservación*. 5 (2013), pp. 110-134. [Consulta: 12 Fevereiro 2014]. [HTTP://GE-IIC.COM/OJS/INDEX.PHP/REVISTA/ARTICLE/VIEW/171/PDF](http://ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/171/pdf).

BARAAS, Rigmor C.; FOSTER, David H.; AARO, Kinjiro; NASCIMENTO, Sérgio M. C. «Anomalous trichromats' judgments of surface color in natural scenes under different daylights». *In Vis Neurosci*. 23 (3-4), (2006), pp. 629-635 [Consulta: 25.05.2013]. [HTTP://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PUBMED/16962006](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16962006).

BIRCH, J. Colour vision tests: general classification. *In FOSTER, D.H. (ed.). Inherited and acquired colour vision deficiencies: fundamental aspects and clinical studies*. Boca Raton: CRC Press, 1991, pp. 215-233.

BIRCH, Jennifer. «Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency». *In Ophthalmic and Physiological Optics*. 17 (1997), pp. 403-408. [Consulta: 13.04.2013]. [HTTP://ONLINELIBRARY.WILEY.COM/DOI/10.1046/J.1475-1313.1997.97000227.X/ ABSTRACT](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1475-1313.1997.97000227.x/abstract).

BIRCH, Jennifer. *Diagnosis of Defective Colour Vision*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.

BRUNI, Lígia Fernanda; CRUZ, António Augusto Velasco e. «Sentido cromático: tipos de defeitos e testes de avaliação clínica». *In Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 69 (5) (2006), pp. 766-775 [Consulta: 24.03.2013]. [HTTP://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/239277645_SENTIDO_CROMTICO_TIPOS_DE_DEFEITOS_E_TESTES_DE_AVALIAO_CLINICA/FILE/50463529DA949692FC.PDF](http://www.researchgate.net/publication/239277645_SENTIDO_CROMTICO_TIPOS_DE_DEFEITOS_E_TESTES_DE_AVALIAO_CLINICA/FILE/50463529DA949692FC.PDF).

COLE, Barry L. «Misuse of the Ishihara test for colour blindness». *In British journal of physiological optics*. 20 (1963), pp. 113–118. [Consulta: 10.04.2013]. [HTTP://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PUBMED/14046164](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14046164).

COLE, Barry L. «The handicap of abnormal colour vision». *In Clinical and Experimental Optometry*. 87(4-5) (2004), pp. 258-275. [Consulta: 28.05.2013]. [HTTP://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PUBMED/15312030](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15312030).

COLE, Barry L. «Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice. *Clinical and Experimental Optometry*». 90 (3) (2007). pp. 157-175. [Consulta: 15.04.2013]. [HTTPS://WWW.YUMPU.COM/EN/DOCUMENT/VIEW/12270367/ASSESSMENT-OF-INHERITED-COLOUR-VISION-DEFECTS-IN-CLINICAL-PRACTICE](https://www.yumpu.com/en/document/view/12270367/assessment-of-inherited-colour-vision-defects-in-clinical-practice).

COLLINS, M. *Colour-Blindness*. New York: Harcourt, Brace, 1925.

CRONE, R.A. «Quantitative diagnosis of defective colour vision. A comparative evaluation of the Ishihara test, the Farnsworth dichotomous test and the Hardy-Rand-Rittler polychro-

matic plates». *In American Journal of Ophthalmology*. 51 (1961), pp. 298–305. [Consulta: 22.03.2013] [HTTP://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PUBMED/13696552](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13696552).

DAIN, S.J. «Clinical colour vision tests». *In Clinical and Experimental Ophthalmology*. 87 (4-5) (2004). pp. 276-293. [Consulta: 24.03.2013]. [HTTP://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PUBMED/15312031](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15312031).

DALTON, J. Extraordinary facts relating to the vision of colours: with observations. *Memoirs of the Literary Philosophical Society of Manchester*, (5) (1798), pp. 28-45. [Consulta: 08.05.2013]. [HTTP://BOOKS.GOOGLE.PT/BOOKS?ID=VScFAAAAQAAJ&DQ=EXTRAORDINARY%20FACTS%20RELATING%20TO%20THE%20VISION%20OF%20COLOURS%3A%20WITH%20OBSERVATIONS&PG=PA28#v=ONEPAGE&Q=EXTRAORDINARY%20FACTS%20RELATING%20TO%20THE%20VISION%20OF%20COLOURS:%20WITH%20OBSERVATIONS&F=FALSE](http://books.google.pt/books?id=VScFAAAAQAAJ&dq=EXTRAORDINARY%20FACTS%20RELATING%20TO%20THE%20VISION%20OF%20COLOURS%3A%20WITH%20OBSERVATIONS&pg=PA28#v=ONEPAGE&q=EXTRAORDINARY%20FACTS%20RELATING%20TO%20THE%20VISION%20OF%20COLOURS:%20WITH%20OBSERVATIONS&f=false).

FAIRCHILD, Mark D. *Color Appearance Models*, Second Edition. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.

FARNSWORTH, Dean. *Manual: The Farnsworth-Munsell 100-hue test for the examination of Color Discrimination*. New York: Munsell Color Co Inc., 1957.

FLETCHER, Robert; VOKE, Janet. *Defective Colour Vision: Fundamentals, Diagnosis and Management*. Bristol: Adam Hilger, 1985.

FINGER, Stanley. *Origins of neuroscience: a history of explorations into brain function*. Oxford, New York: Oxford University Press, Inc.1994.

GEGENFURTNER, Karl R.; SHARPE, Lindsay T. *Color Vision: From Genes to Perception*. England: Cambridge University Press, 2001.

HIDAYAT, Ray. Generating fast automated reports for the Farnsworth - Munsell 100-hue colour vision test. *In Proceedings of the New Zealand Computer Science Research Student Conference*. New Zealand, 2008, pp. 36-40. [Consulta: 12.05.2013]. [HTTP://NZCSRSC08.CANTERBURY.AC.NZ/SITE/PROCEEDINGS/INDIVIDUAL_PAPERS/PG037_GENERATING_FAST_AUTOMATED_REPORTS_FOR_THE_FARNSWORTH-MUNSELL_100-HUE_COLOUR_VISION_TEST.PDF](http://nzcsrsc08.canterbury.ac.nz/site/proceedings/individual_papers/pg037_generating_fast_automated_reports_for_the_farnsworth-munsell_100-hue_colour_vision_test.pdf).

HUNT, David M.; DULAI, Kanwaljit S.; BOWMAKER, James K.; MOLLON, John D. «The Chemistry of John Dalton's Color Blindness». *In Science*. (267) (1995), pp. 984-988. [Consulta: 24.05.2013]. [HTTP://VISION.PSYCHOL.CAM.AC.UK/JDMOLLON/PAPERS/DALTONSEYE.PDF](http://vision.psychol.cam.ac.uk/jdmollon/papers/daltonseye.pdf).

JEFFRIES, B.J. *Colour blindness-its dangers and detection*. Cambridge, USA: Riverside Press, 1883.

LAKOWSKI, R. «Theory and practice of colour vision testing: A review. Part 2». *In British Journal of Industrial Medicine*. 26 (4) (1969), pp. 265-288. [Consulta: 5.05.1013]. [HTTP://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PMC/ARTICLES/PMC1008985/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1008985/).

MELAMUD, A.; HAGSTROM, S.; TRABOULSI, E. «Colour vision testing». *In Ophthalmic Genetics*. 25 (3) (2004), pp. 159-187. [Consulta: 06.05.2013]. [HTTP://INFORMAHEALTHCARE.COM/DOI/ABS/10.1080/13816810490498341](http://informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/13816810490498341).

MOLLON, J.D.; DULAI, K.S.; HUNT, D.M. Dalton's colour blindness: an essay in molecular biography. In DICKINSON, C.M.; MURRAY, I.J.; CARDEN, D. (ed). *John Dalton's Colour Vision Legacy*. London: Taylor and Francis Ltd, 1997, pp. 15-33.

MOLLON, J. D.; REGAN, B.C. *Cambridge Colour Test. Handbook*. Oxford: University of Cambridge, 2000. [Consulta: 22.04.2014]. [HTTP://VISL.TECHNION.AC.IL/PROJECTS/2002W/THEORY.PDF](http://visl.technion.ac.il/projects/2002w/theory.pdf). (22/04/2014).

MOLLON, J. D. The origins of modern color science. In SHEVELL, S. (ed). *The Science of Color*. Oxford: Optical Society of America, 2003. pp.1- 39.

NATHAN, J.; HENRY, G.H.; COLE, B.L. «Recognition of colored road traffic light signals by normal and color-vision-defective observers». *In Journal of the Optical Society of America*. 54(8) (1964), pp. 1041-1045. [Consulta: 1.05.2013]. [HTTP://WWW.OPTICSINFOBASE.ORG/JOSA/ABSTRACT.CFM?URI=JOSA-54-8-1041](http://www.opticsinfobase.org/josa/abstract.cfm?URI=josa-54-8-1041).

NEITZ, Jay; NEITZ, Maureen. «The genetics of normal and defective color vision». *In Vision Research*. 51 (2011). pp. 633–651. [Consulta: 05.05.2013]. [HTTP://NEITZVISION.COM/CONTENT/PUBLICATIONS/2011-NEITZ-GENETICS_OF_NORMAL_AND_DEFECTIVE_CV-VISRES.PDF](http://neitzvision.com/content/publications/2011-Neitz-Genetics_of_Normal_and_Defective_CV-VisRes.pdf).

PICKFORD, R.W. «Colour defective art students in four art schools». *In British Journal of physiological optics*. 27 (2) (1972), pp. 102-114.

POKORNY, J.; SMITH, V.C.; VERRIEST, G. Congenital color defects. In POKORNY, J.; SMITH, V.C.; VERRIEST, G.; PINCKERS, A.J.L.G., (eds). *Congenital and Acquired Color Vision Defects*. New York: Grune and Stratton, 1979, pp. 183-241.

POKORNY, Joel; SMITH, Vivianne C. «A variant of red-green color defect». *In Vision Research*. (21) (1980), pp. 311-317. [Consulta: 17.05.2013]. [HTTP://MACBOY.UCHICAGO.EDU/~EYE1/PDF%20FILES/VARIANT%20VR%2081.PDF](http://macboy.uchicago.edu/~eye1/pdf%20files/variant%20vr%2081.pdf).

POKORNY, Joel; SMITH, Vivianne C. «Eye disease and color defects». *In Vision Research*. 26 (9) (1986), pp. 1573-1584. [Consulta: 17.05.2013]. [HTTP://MACBOY.UCHICAGO.EDU/~EYE1/PDF%20FILES/EYE%20DISEASE%20VR%2086.PDF](http://macboy.uchicago.edu/~eye1/pdf%20files/eye%20disease%20vr%2086.pdf).

RAYLEIGH, Lord. «Experiments in colour». *In Nature*, 25 (1881), pp. 64-66.

RIGBY, H.S.; WARREN, B.F., DIAMOND, J.; CARTER C.; BRADFIELD, J.W. «Colour perception in pathologists: the Farnsworth-Munsell 100-hue test». *In Journal of Clinical Pathologist*. 44 (9) 1991, pp.745-748. [Consulta: 20.05. 2013]. [HTTP://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/PMC/ARTICLES/PMC496721/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC496721/).

ROSLI, Saiful Azlan. *Colour Vision Test: An Order of Difficulty*. Master thesis. Austrália: University of New South Wales. 2010. [Consulta: 12 May 2013]. [HTTP://KOLEKSI.UITM.EDU.MY/DIGITAL_PUBLIC/THESIS24/SAIFUL%20AZLAN%20ROSLI%2010_24.PDF](http://koleksi.uitm.edu.my/digital_public/thesis24/saiful%20azlan%20rosli%2010_24.pdf).

SCHMIDT, Ingeborg. «Some problem related to testing color vision with the Nagel anomaloscope». *In Journal of the Optical Society of America*, 45 (7) (1955), pp. 514-522. [Consulta: 15.05.2013]. [HTTP://WWW.OPTICSINFOBASE.ORG/JOSA/ABSTRACT.CFM?URI=JOSA-45-7-51](http://www.opticsinfobase.org/josa/abstract.cfm?URI=josa-45-7-51).

SHARPE, Lindsay T.; STOCKMAN, Andrew; JÄGLE, Herbert; NATHANS, Jeremy. «Opsin genes, cone photopigments, color vision, and color blindness». In GEGENFURTNER, K. R.; SHARPE, L. T. (eds). *Color vision*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999, pp. 3-51.

SPALDING, J. Anthony B. «Colour vision deficiency in the medical profession». In *British Journal of General Practice*. 49 (1999), pp. 469-475. [Consulta: 12 May 2013]. [HTTP://WWW.TESTINGCOLORVISION.COM/INCLUDES/FCKEDITOR/EDITOR/IMAGES/CMS/COLOUR%20VISION%20DEFICIENCY%20IN%20THE%20MEDICAL%20PROFESSION.PDF](http://www.testingcolorvision.com/includes/fckeditor/editor/images/cms/colour%20vision%20deficiency%20in%20the%20medical%20profession.pdf)».

SHEVELL, Steven K; CHANG HE, Ji. «The visual Photopigments of simple Deuteranomalous Trichromats Inferred from Color Matching». In *Vision Research*. 37 (9) (1997), pp. 1115-1127 [Consulta: 25.05.2013]. [HTTP://SHEVELL.UCHICAGO.EDU/PUBLICATIONS/SHEVELL%20&%20HE%20%20VR%201997.PDF](http://shevell.uchicago.edu/publications/shevell%20&%20he%20%20vr%201997.pdf)».

SEELY, Rod R.; STEPHENS, Trent D.; TATE, Philip. *Anatomia e Fisiologia* Lisboa: Lusodidacta, 1997, p. 504.

STEWARD, J.M.; COLE, B.L. «What do color vision defectives say about everyday tasks? ». In *Optometry and Vision Science*, 66 (5) (1989), pp. 288-295. [Consulta: 28.03.2013]. [HTTP://JOURNALS.LWW.COM/OPTVISSCI/ABSTRACT/1989/05000/WHAT_DO_COLOR_VISION_DEFECTIVES_SAY_ABOUT Everyday.6.ASPX](http://journals.lww.com/optvissci/abstract/1989/05000/what_do_color_vision_defectives_say_about_everyday.6.aspx)».

SHINOBU Ishihara, M. D. *The Series of Plates Designed as a Test for Colour Deficiency*. Concise Edition. Japan: Kanehara Trading, Inc., 2012.

ST. THOMAS HOSPITAL. *X Linked Inheritance. Information for Patients and Families*. London: St. Thomas Hospital, 2007.

VERRIEST, G. Further studies on acquired deficiency of color discrimination. In *Journal of the Optical Society of America*. (53) (1963), pp.185-195. [Consulta: 23.04.2014]. [HTTP://WWW.OPTICSINFOBASE.ORG/JOSA/ABSTRACT.CFM?URI=JOSA-53-1-185](http://www.opticsinfobase.org/josa/abstract.cfm?URI=josa-53-1-185).

WILSON, George. *Research on colour blindness: with a supplement on the danger attending the present system of railway and marine coloured signals*. Edinburgh; Sutherland; Knox, South Bridge; London: Simpkin, Marshall and Co. 1855. [Consulta: 24.05. 2013]. [Https://archive.org/details/researchesincol00wilsgoog](https://archive.org/details/researchesincol00wilsgoog).

WRIGHT, William David. *Researches on Normal and Defective Color Vision*. London: Henry Kimpton, 1946.

WONG, Bang. «Color blindness». In *Nature Methods* 8 (6) (2011), p. 441. [Consulta: 20.05. 2013]. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1038/NMETH.1618](http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.1618)».

X-RITE. *Fundamentals of color and appearance. A Practical Approach to Understanding and Managing Color Quality* Michigan: X-Rite Incorporated, 2011.

Agradecimentos

Ao financiamento da bolsa de doutoramento FCT com a referência SFRH/BD/ 69783/2010; aos dois estudantes de conservação e restauro, Dan Cimpan e Daniel Vega, por se terem voluntariado e colaborado neste estudo.

Currículo dos autores

Ana Bailão: É licenciada (pré-bolonha) em Conservação e Restauro pelo Instituto Politécnico de Tomar (2005) e mestre pela Universidade Católica Portuguesa (2010). Teve como tema de investigação as metodologias e as técnicas de reintegração cromática em pintura de cavalete. Atualmente é doutoranda na mesma instituição, em colaboração com o Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia das Artes (CITAR) e o *Instituto del Patrimonio Cultural de España* (IPCE). O seu tema de doutoramento é o dos critérios de intervenção e estratégias para a avaliação da qualidade em reintegração cromática de pintura de cavalete.

Contacto: ANA.BAILAO@GMAIL.COM

Sérgio Nascimento: É licenciado em Física pela Universidade do Porto e doutorado em Ciências da Cor pela Universidade de Keele, Reino Unido. Ensina no Departamento de Física disciplinas de Física, Óptica e Ciências da Visão e faz investigação no âmbito do Centro de Física em colorimetria e visão das cores. Em particular, interessa-se por aplicações da imageologia multi e hiperespectral, pela constância das cores de superfície e por modelos da visão a cores.

Contacto: SMCN@FISICA.UMINHO.PT

Ana Calvo: Doutora em Belas Artes pela *Universidad Politécnica de Valencia*, no programa de Conservação do Património. Licenciada em Historia de Arte e especialista em Conservação e Restauro de Pintura (ESCRBC de Madrid). Atualmente é professora na Licenciatura em Conservação e Restauro do Património Cultural, Mestrado e Doutoramento, na Faculdade de Belas Artes da *Universidad Complutense de Madrid*; e membro dos grupos de investigação TDCRP (UCM) e do CITAR (UCP)

Contacto: ANCALVO@ART.UCM.ES

Rocio Bruquetas: Doutora em Historia da Arte pela *Universidad Complutense de Madrid* e Diplomada em Conservação e Restauro de Bens Culturais, especialista em Pintura (*Escuela de Conservación y Restauración de Bienes Culturales* de Madrid). Desde 1986 trabalha como Restauradora de Pintura de Cavalete no *Instituto del Patrimonio Cultural de España* (IPCE), do Ministério de Educação, Cultura e Desporto. A sua especialidade como investigadora são as fontes para o estudo da tecnologia artística, sobre as quais tem publicado numerosos artigos e colaborações em livros. Destaca-se a publicação da sua tese de doutoramento no ano de 2002: *Técnicas y materiales de la pintura española en los Siglos de Oro*.

Contacto: ROCIO.BRUQUETAS@MECD.ES