

ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂCIO
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ

Anderson Cruz de Almeida

DALTONISMO:
Da genética à integração na sociedade

Rio de Janeiro

2012

Anderson Cruz de Almeida

DALTONISMO:

Da genética à integração na sociedade

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio
como requisito parcial para aprovação no curso
técnico de nível médio em saúde com habilitação
em Análises Clínicas

Orientador: Marcos Antônio Pereira Marques

Co-orientador: Flávio Henrique Marcolino Paixão

Rio de Janeiro

2012

Anderson Cruz de Almeida

DALTONISMO:

Da genética à integração na sociedade

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio
como requisito parcial para aprovação no curso
técnico de nível médio em saúde com habilitação
em Análises Clínicas

Aprovado em ___ / ___ / ___

BANCA EXAMINADORA

Mestre Marcos Antônio Pereira Marques – Fiocruz

Mestre Flávio Henrique Marcolino Paixão – Fiocruz

Doutora Selma Majerowicz – Fiocruz

Dedico este trabalho a minha irmã, Cecília.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os familiares, amigos e professores que me acompanharam e me ajudaram na construção deste trabalho.

Agradeço as instituições Fiocruz e EPSJV que forneceram excelentes estruturas para melhor elaboração do trabalho.

RESUMO

O presente trabalho visa explorar e ampliar o estudo sobre o daltonismo. Desse modo, são considerados: a fisiologia do olho humano; a compreensão em nível genético das alterações do sentido cromático; e as formas de integração social dos daltônicos. A visão é um dos sentidos que possibilita a percepção do ambiente através de estímulos luminosos. O órgão responsável por este sentido são os olhos. Nos olhos existem dois tipos de fotorreceptores que captam os estímulos luminosos do ambiente: os bastonetes e os cones. Os cones são células que contém os pigmentos responsáveis pela captação de frequências de ondas do espectro luminoso. A anomalia nestas células faz com que a percepção da luz branca seja dada em proporções anômalas entre os três tipos de cones: para vermelho, para verde e para azul. As alterações na percepção das cores são conhecidas popularmente por daltonismo. Os tipos mais comuns de daltonismo são condicionados por um alelo mutante de um gene presente no cromossomo X. As deficiências de trita são as mais raras e diferem das demais, pois o gene que codifica o pigmento para azul é autossômico. Os defeitos do sentido cromático atingem um número significativo de pessoas, entretanto, muitas delas desconhecem a deficiência que as acomete. Neste caso, o indivíduo está sujeito a negligências de suas limitações podendo acarretar em constrangimentos e frustrações. Para evitar situações como estas, é necessário identificar a deficiência para mensurar o grau de limitação e, por conseguinte buscar novas alternativas de integração social.

Palavras Chave: Daltonismo. Luz. Cores. Visão. Genética. Adaptação social. Código para daltônicos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 Gravura de Newton observando o espectro luminoso pela ação da luz branca sobre o prisma.....	10
Ilustração 2 Experiência de Newton. Um feixe de luz solar atinge o prisma que refrata os raios de luz formando o espectro luminoso que alcança o anteparo.....	11
Ilustração 3 As três tríades de cores primárias, suas cores secundárias (intercessão entre duas primárias) e a resultante da mistura proporcional das três primárias (centro).....	12
Ilustração 4 Representação da estrutura do olho humano em corte transversal.....	13
Ilustração 5 Esquematização da retina humana.....	15
Ilustração 6 Curvas de sensibilidade dos três tipos de cone contra o comprimento de onda.....	16
Ilustração 7 Duas possibilidades de descendência com pais portadores do gene recessivo para daltonismo: descendência da relação entre pai afetado e mãe normal e entre mãe portadora e pai normal.....	19
Ilustração 8 Disposição dos genes de pigmento para visão de vermelho e verde.....	20
Ilustração 9 Código para daltônicos (Color ADD).....	22
Ilustração 10 Exemplo de utilização do sistema Color ADD em ambiente de trabalho.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	ESTUDOS SOBRE AS CORES.....	9
3	FISIOLOGIA DA VISÃO.....	13
4	NOMENCLATURA DOS TIPOS DE DALTONISMOS.....	17
5	HERANÇA GENÉTICA.....	19
6	RELEVÂNCIA SOCIAL.....	21
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
	REFERÊNCIAS.....	24

1. Introdução

Daltonismo é o nome mais comumente atribuído às anomalias congênitas que resultam em alterações da percepção das cores. Essa característica hereditária foi nomeada em homenagem ao filósofo natural inglês John Dalton (1766-1844). Dalton também possuía esse distúrbio visual e recebeu essa homenagem por ser o primeiro a estudar a deficiência em 1798 (BRUNI, 2006).

Assim como Dalton, as observações sobre as cores despertaram interesse em grandes artistas, filósofos e cientistas naturalistas a centenas de anos tais como Aristóteles, Leon Battista Alberti, Leonardo da Vinci e Newton. A base teórica destes pensadores construiu, juntamente com pesquisadores da atualidade, o conjunto de conhecimentos relativos às cores que hoje possibilitam a melhor compreensão do daltonismo (SACKS, 1995).

Esse tipo de deficiência visual afeta 10% da população masculina mundial, o equivalente a 350 milhões de pessoas (NEIVA, 2010), número mais elevado que o da população americana, terceira maior do mundo com aproximadamente 310 milhões de pessoas (MESENBOURG, 2010). Esta comparação oferece uma perspectiva diferente a respeito da deficiência, provocando reflexões a respeito das diferenças das percepções sensitivas de uma pessoa para outra. Além disso, ao expor a existência de uma enorme população de pessoas que enxergam o mundo de maneiras diferentes, coloca em questão um dos propósitos das cores: a linguagem (NEIVA, 2010).

O número de mulheres daltônicas quando comparado ao de homens é bastante inferior, com aproximadamente 0,5% da população feminina mundial daltônica. Essa diferença de valores entre homens e mulheres se deve a localização do gene recessivo no cromossomo X. A compreensão da genética dos defeitos da visão cromática também possibilita o melhor entendimento das diferenças entre as classes de daltonismo (MP SIMUNOVIC, 2009).

A alteração genética resulta em uma absorção desproporcional das cores que compõem a luz branca em células especializadas. Absorção refere-se à captação de fótons por pigmentos contidos nestas células para gerar impulsos elétricos responsáveis pela sensação visual (BRUNI, 2006).

O presente trabalho também propõe como um de seus objetivos o estudo e a reflexão da influência das cores nos aspectos sociais como segurança e saúde. Uma das propostas a serem apresentadas nesta monografia é a integração de interesses biológicos e sociais, analisando a relação adaptativa entre indivíduo e sociedade.

2. Estudos sobre as cores

Segundo Israel Pedrosa, em sua obra *O Universo da Cor*, “a cor não tem existência material. Ela é, tão-somente, uma sensação provocada pela ação da luz sobre o órgão da visão” (PEDROSA, 2003, p. 19). Este conceito mais preciso só foi possível graças ao desenvolvimento das ciências das ópticas química, física e fisiológica. Para a melhor compreensão do daltonismo o presente estudo propõe uma parte voltada especialmente para o entendimento da cor e das mudanças de ideia a seu respeito ao longo da história, uma vez que ainda há muito a ser estudado (PEDROSA, 2003).

Os primeiros a se interessarem pelas peculiaridades das cores foram filósofos do século IV a. C. destacando-se entre eles Aristóteles e Platão. Após esse período os estudos relacionados ao tema só reiniciaram, desta vez com um olhar científico, no século XV com Leonardo da Vinci e Leon Battista Alberti com interesses voltados à pintura. Com as observações de Newton no século XVII entre outros trabalhos como os de Francesco Maria Grimaldi e Christiaan Huygens, o fenômeno vinculou-se fortemente à física destacando a importância da luz e suas propriedades. (GUIMARÃES, 2003).

Até Leonardo da Vinci (1452-1519) formular um conjunto de preceitos a respeito das cores, não havia nada que pudesse ser considerado como teoria. Da Vinci foi pioneiro ao criar a Teoria das Cores e o primeiro a supor a luz branca como um composto de todas as cores. Apesar dos registros de Lucius Annaeus Seneca, no primeiro século depois de Cristo, sobre a dispersão da luz por uma vara de vidro – experimento parecido com o qual Newton viria usar – foi Leonardo o primeiro a tentar comprovar o fenômeno experimentalmente (PEDROSA, 2003).

Com um experimento simples, Leonardo pôde testar a teoria da composição da luz branca. Ao iluminar um lado de um objeto com a luz amarelada de uma vela, e do outro com uma luz natural azulada, Da Vinci percebeu que da intercessão entre as duas fontes luminosas formava-se o branco. Mais de um século após a morte de Leonardo da Vinci, Isaac Newton

coloca os fenômenos ópticos no eixo da física com experimentos que revolucionaram o modo de se pensar a luz (PEDROSA, 2003).

A obra de Isaac Newton (1642-1727) *Óptica*, publicada em 1704 é de extrema importância para o entendimento que hoje temos sobre as propriedades da luz. O físico inglês dividiu-a em três livros abordando diferentes temas sobre o assunto. No Livro I, Newton discorre a respeito de seus experimentos com prismas e da composição da luz branca e associa cor ao fenômeno da refração (ver Ilustração I) (MOURA, 2008).



Ilustração 1 – Gravura de Newton observando o espectro luminoso pela ação da luz branca sobre o prisma.

Fonte: <http://mar-palabrasilencio.blogspot.com.br/2012/08/newton.html> em 20 de nov. 2012.

Observando a deflexão de um raio de luz solar ao permear o prisma, Newton concluiu através da experimentação e de argumentos epistemológicos que a luz branca é uma mistura heterogênea composta por raios com refrangibilidades diferentes. Assim, ao transpassar o interior do prisma (alteração do meio *ar* para *vidro*) os raios do feixe de luz mudam seu ângulo de trajetória de acordo com seus índices de refração (MARTINS, 2003).

A refração está associada à variação da velocidade da luz com a mudança do meio de propagação. O índice de refração equivale à razão entre a velocidade de propagação da luz no vácuo pela velocidade de propagação no meio em questão (FERRARO, 2003). A luz vermelha é a de maior velocidade enquanto a violeta é a de menor. Portanto, em um meio material a luz violeta é que sofre maior refração enquanto a vermelha sofre a menor (ver Ilustração 2). Ou seja, o índice de refração em um mesmo material será máximo para violeta e mínimo para vermelho (FERRARO, 2003).

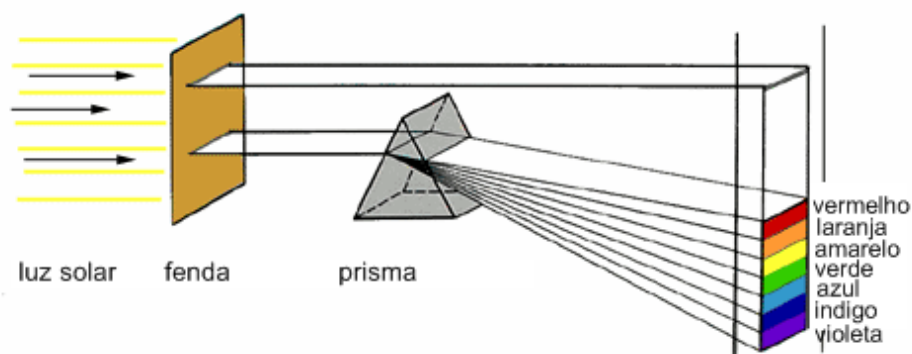


Ilustração 2 – Experiência de Newton. Um feixe de luz solar atinge o prisma que refrata os raios de luz formando o espectro luminoso que alcança o anteparo.

Fonte: <http://www.triplicecor.com.br/corantes/page/16/> em 21 de nov. 2012.

Através das conclusões obtidas a partir de experimentos, Isaac Newton faz distinção entre luzes primárias e compostas. Segundo Newton, diferentes raios de luz podem se dispor de diversas maneiras para exibir uma cor particular. A luz branca pode ser decomposta por um prisma, portanto, seria uma luz composta. As luzes primárias seriam aquelas que ao atravessar um prisma não se dividem em luzes de cores diferentes, sendo, portanto, cores puras (MARTINS, 2003).

Em sua obra *O universo da cor* (citada anteriormente), o artista plástico Israel Pedrosa classifica as luzes em três tríades distintas de cores primárias (ver Ilustração 3). A primeira tríade apresentada é a de cores-luz em que as cores primárias constituem-se do vermelho, verde e do azul-violetado. São apresentadas também as cores-pigmento compostas pelas cores vermelho amarelo e azul. Israel Pedrosa, como pesquisador da cor, ainda propõe uma terceira tríade formada pelas cores secundárias das cores-luz (magenta, amarelo e ciano). Desse modo essa nova classe denominada cores-pigmento transparentes primárias são inseridas nesse contexto ao lado das duas tríades já consagradas (PEDROSA, 2003).

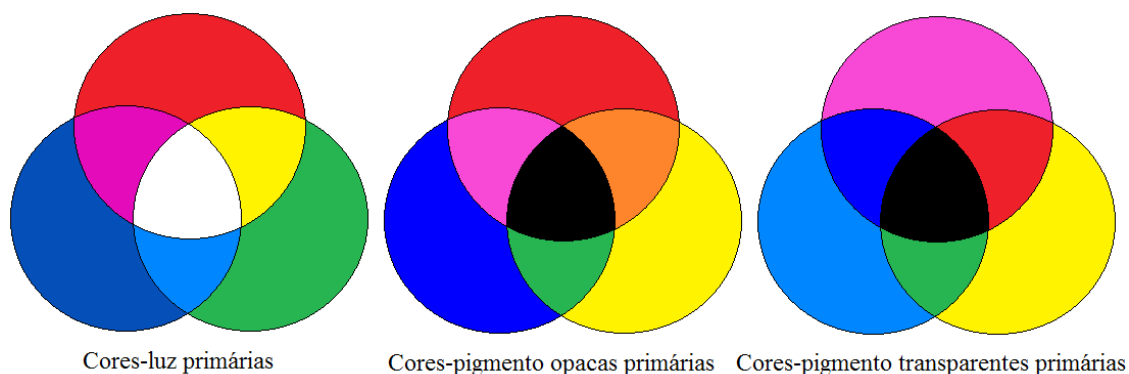


Ilustração 3 – As três tríades de cores primárias, suas cores secundárias (intercessão entre duas primárias) e a resultante da mistura proporcional das três primárias (centro). Para compreender melhor o conteúdo a seguir a análise da figura se torna quase indispensável.

Fonte: O autor.

As cores-luz estão associadas ao campo da física, como nos estudos de Newton, sendo providas de fontes luminosas diretas como o sol, lâmpadas e velas. Sua tríade primária é formada pelas cores vermelho, verde e azul-violetado. Misturando-se proporcionalmente os feixes de luz destas três, surge o branco, em uma síntese denominada aditiva. O amarelo nesse caso é uma cor secundária, pois pode ser obtido da mistura entre o verde e o vermelho (PEDROSA, 2003). Essa afirmação pode ser demonstrada no *Experimentum Crucis* elaborado por Newton em que uma lente converge dois feixes de cores distintas em um único ponto, criando uma terceira cor neste ponto de convergência (MARTINS, 2003).

As cores características de um composto químico qualquer se situam dentro da classe de cores-pigmento opacas. Elas se relacionam com as propriedades da matéria de absorver, refletir ou refratar a luminosidade. Sua tríade primária atende pelas cores vermelho, amarelo e azul. Nesta classe o amarelo é cor primária já que não pode ser decomposto em outras cores. A mistura proporcional destas cores primárias resulta em uma síntese subtrativa, com a produção do preto (PEDROSA, 2003).

Dos efeitos produzidos pelas propriedades dos corpos de filtrar a luz incidente por absorção, transparência e reflexão, surgem as cores-pigmento transparentes. Aquarelas e películas fotográficas são exemplos de onde ocorre esse tipo de cor. Suas cores primárias são o magenta, o amarelo e o ciano. Por serem as cores secundárias das cores-luz a mistura entre duas cores-pigmento transparentes produzem em síntese aditiva uma cor primária das cores

luz. Por exemplo, a mistura entre magenta com amarelo forma o vermelho (PEDROSA, 2003).

3. Fisiologia da visão

A visão é um dos sentidos que possibilita a percepção do ambiente através de estímulos luminosos. Os órgãos responsáveis por este sentido são os bulbos dos olhos. Estas estruturas são basicamente bolsas membranosas preenchidas por um líquido transparente e com uma entrada que permite a passagem da luz externa para o interior dos bulbos (ver Ilustração 5) (AMABIS, 2004).

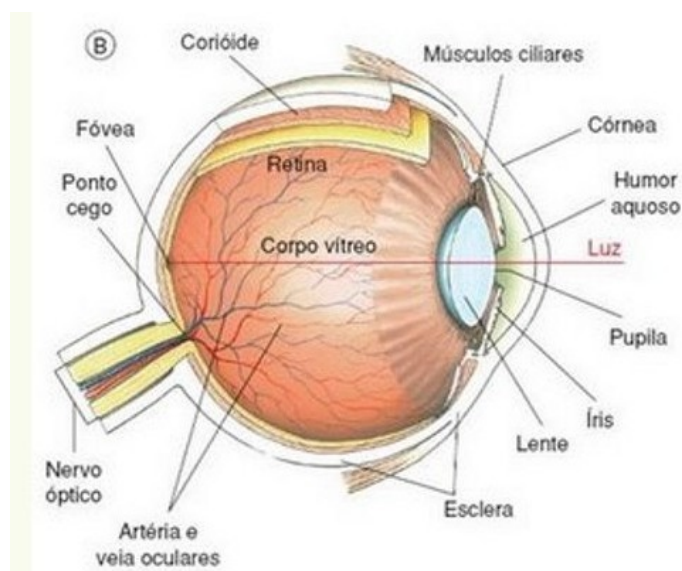


Ilustração 4 – Representação da estrutura do olho humano em corte transversal.

Fonte: AMABIS, 2004, p. 561

As pálpebras têm importância fundamental para a manutenção da fisiologia da superfície ocular. Internamente essas estruturas são revestidas pela conjuntiva, uma membrana fina, transparente e rica em vasos capilares que se estende por todo o bulbo ocular revestindo-o (PINHEIRO JR, 2007). Abaixo da conjuntiva está localizada a esclera, camada de tecido conjuntivo resistente que mantém a forma esférica do globo ocular. A esclera se apresenta na maior parte de sua extensão de cor branca. Apenas na parte anterior do bulbo, onde há uma curvatura projetada para o exterior, a esclera é transparente. Essa área transparente da esclera é chamada de córnea (AMABIS, 2004).

A coriÓide é uma película pigmentada e vascularizada presente sob a esclera. Sua função é nutrir e oxigenar as células do olho. A porção visível da coriÓide (devido à transparência da córnea) é a íris, um disco colorido com um orifício de tamanho regulável no centro. Esse orifício denomina-se pupila e sua regulação é dada pela contração de delicados músculos controlados pelo sistema nervoso autônomo. Essa regulação serve para mensurar a quantidade de luz que entra nos olhos (AMABIS, 2004).

O espaço entre a córnea e a íris é preenchido por um líquido transparente chamado humor aquoso. Logo atrás da íris vem a lente (antes conhecida como cristalino) que é uma estrutura proteica, translúcida, incumbida de estabelecer a nitidez e o foco da imagem. Seu formato biconvexo facilita a projeção dos raios na parte posterior do bulbo, próximos à fóvea, região mais sensível à luminosidade. A conformação da lente também é regulada por uma série de delicados músculos chamados músculos ciliares (AMABIS, 2004).

Após passar pela lente, o feixe de luz atravessa toda a câmara interior do bulbo que contém o corpo vítreo, um líquido viscoso e transparente. Só então a luz alcança a camada denominada retina que reveste internamente a câmara ocular. (AMABIS, 2004). É na retina onde se encontram as células fotossensíveis. Esta complexa camada é formada por um conjunto de células especializadas fotossensíveis e nervosas que levam a informação ao córtex visual (ver Ilustração 6) (BRUNI, 2006).

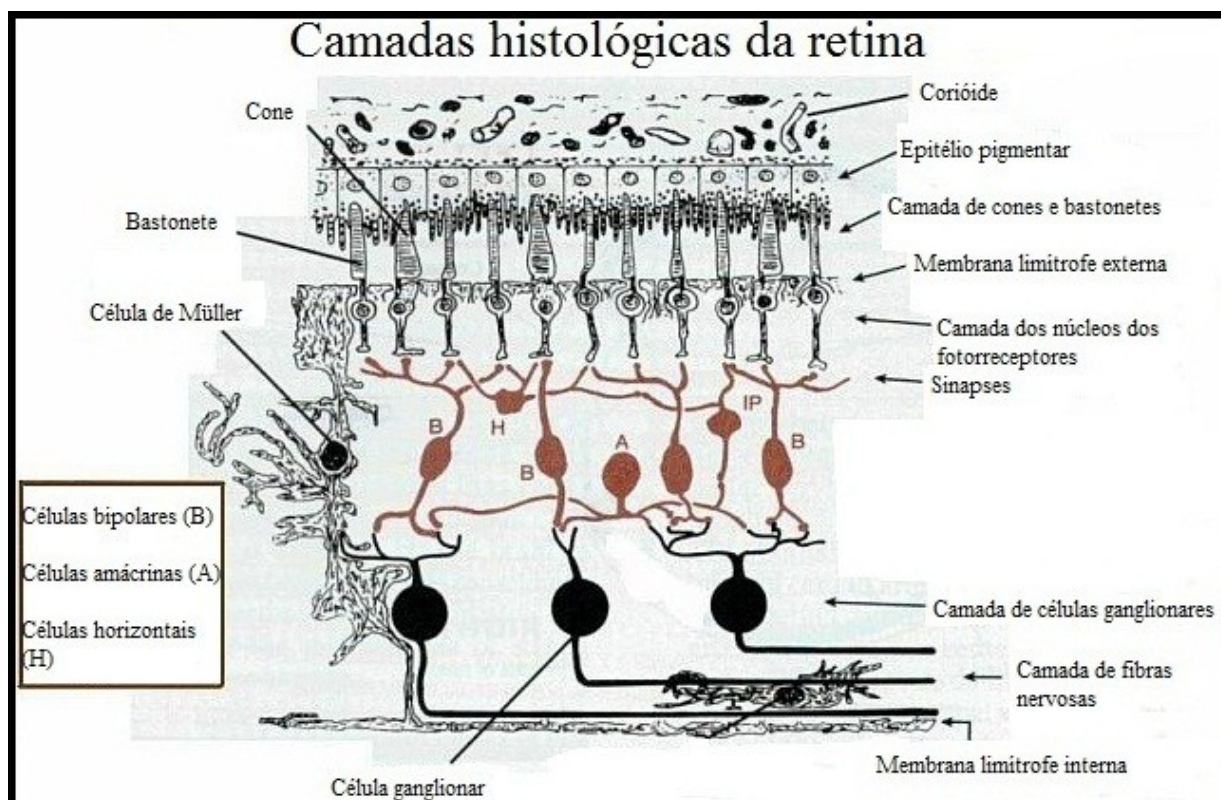


Ilustração 5 – Esquemática da retina humana.

Fonte: O autor.

Os bastonetes são células encontradas na periferia da retina e tem como função a percepção de luz quando em baixa intensidade (VOGEL, 2000). Eles compõem a maior parte da retina com números aproximados entre 90 (BRUNI, 2006) a 120 milhões (AMABIS, 2004) de células. Este tipo de fotorreceptor apresenta o primeiro pigmento desenvolvido na escala evolutiva da fisiologia da visão: a rodopsina (VOGEL, 2000). A rodopsina é uma substância composta por uma parte proteica, denominada opsina, e uma não proteica sendo esta o 11-cis-retinal, derivado da vitamina A (AMABIS, 2004).

A percepção das cores é obtida através da ação da luz nos cones que, assim como os bastonetes, é nomeado de acordo com suas características morfológicas. O número de cones é consideravelmente menor ao de bastonetes com aproximadamente 5 milhões de células (BRUNI, 2006). Os cones são mais encontrados ao centro da retina, na região da fóvea. Essas células podem ser divididas em três tipos diferentes: cones para azul, verde e vermelho. Essa distinção é feita de acordo com a sensibilidade do pigmento contido em seu interior em resposta a um determinado comprimento de onda (VOGEL, 2000). As estruturas moleculares

dos três pigmentos diferem umas das outras e da rodopsina por terem opsinas diferentes (MP SIMUNOVIC, 2009).

Os pigmentos contidos nos fotorreceptores absorvem os fótons da energia luminosa e convertem essa energia em impulsos elétricos. O olho humano tem capacidade de absorver fótons com comprimentos de onda entre 380 a 760 nanômetros (nm) (BRUNI, 2006).

Os cones para azul são aqueles que carregam o pigmento que tem uma máxima absorção para ondas curtas, em torno de 419nm, o que corresponde a um tom violeta. Nos cones para verde o comprimento que induz a absorção máxima é de 531nm, e nos cones para vermelho é de 558nm (ver Ilustração 7) (MP SIMUNOVIC, 2009).

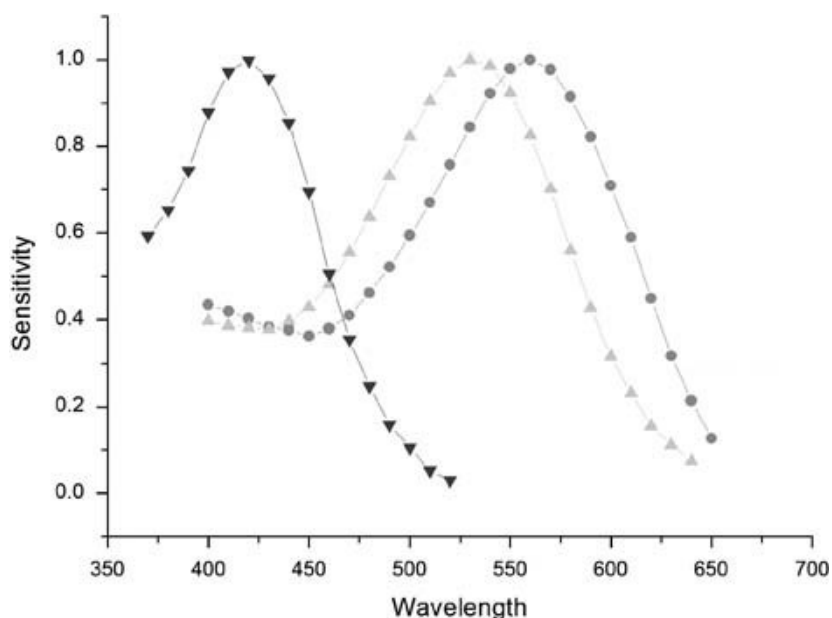


Ilustração 6 – Curvas de sensibilidade dos três tipos de cone contra o comprimento de onda. A curva dos triângulos invertidos refere-se aos cones para azul alcançando seu pico quando o comprimento de onda é de 419nm. Há de se destacar a sobreposição das curvas do cone para verde (triângulos para cima) e para vermelho (círculos) enquanto a curva do cone para azul está mais afastada.

Fonte: MP SIMUNOVIC, 2009, p. 748.

Depois de sensibilizados, os fotorreceptores da retina transferem essa energia em forma de impulsos nervosos para células bipolares e posteriormente às ganglionares. Os impulsos são conduzidos através da camada de fibras nervosas constituída por axônios das células ganglionares. Essas fibras se convergem formando o nervo óptico, o ponto cego da

retina (Reveja Ilustração 5). Com cerca de um milhão de células (número bem inferior ao de cones e bastonetes), uma única fibra corresponde à atividade de centenas de fotorreceptores (BRUNI, 2006).

4. Nomenclatura dos tipos de daltonismo

Para ser possível entender as diferenças na percepção das cores é necessário entender como funciona uma visão normal. O tricromatismo normal é o termo empregado para a visão normal, ou seja, aquela em que todas as três classes de cones têm seus pigmentos funcionando com máxima absorção (VOGEL, 2000).

As alterações anômalas na absorção máxima do pigmento visual são nomeadas como tricromatismo anômalo (BRUNI, 2006). Esta é classe mais branda e mais comum de daltonismo em que a luz branca é percebida através de proporções desiguais de vermelho, verde e azul (VOGEL, 2000). A classificação dos tipos de anomalias dentro deste grupo é feita a partir dos prefixos de origem grega: “protos” (primeiro), “deuteros” (segundo) e “tritos” (terceiro). Estes vão diferenciar a deficiência nos cones para vermelho, verde ou azul, respectivamente, onde existe alteração. Pode-se então distinguir três tipos de anomalias: protanomalia; deuteranomalia; e tritanomia. (BRUNI, 2006).

Os casos mais severos são os da visão dicromática em que não há a presença de um determinado tipo de cone. Nestes casos a prefixação não difere do tricromatismo anômalo, sendo assim descritos como protanopia, deuteranopia e tritanopia (VOGEL, 2000).

Existem ainda casos raríssimos em que a percepção do espectro luminoso é realizada por apenas um tipo de cone (BRUNI, 2006). Para ser ainda mais específico, neste caso, o espectro é percebido apenas por cones para azul, já que a probabilidade de outra combinação é desprezível (VOGEL, 2000). Essa deficiência pode ser descrita pelos nomes monocromatismo (BRUNI, 2006) ou monocromia (VOGEL, 2000).

Tabela 1 – Diferentes formas de deficiências congênitas na visão das cores.

Deficiência	Cone(s) afetado(s)	Hereditariedade	Prevalência
<i>Tricomatismo anômalo</i>			
Protanomalia	Vermelho	XLR	1.08%
Deuteranomalia	Verde	XLR	4.63%
Tritanomalia	Azul	AD	
<i>Dicromacia</i>			
Protanopia	Vermelho	XLR	1.01%
Deuteranopia	Verde	XLR	1.27%
Tritanopia	Azul	AD	1 in 500
<i>Monocromatismo/ Monocromia</i>			
Monocromatismo de cones para verde	Vermelho e azul	Dual XLR and AD	≤ 1 in 1 000 000
Monocromatismo de cones para vermelho	Verde e azul	Dual XLR and AD	≤ 1 in 1 000 000
Monocromatismo de cones para azul	Vermelho e Verde	XLR	1 in 100 000
Acromatopsia incompleta	Vermelho, verde e azul	AR	1 in 33 000–50 000

Fonte: MP SIMUNOVIC, 2009, p. 749.

5. Herança genética

O daltonismo é determinado por um gene recessivo localizado na parte não homóloga do cromossomo X, mais precisamente no gene Xq28, complexo gênico próximo da ponta longa do cromossomo (VOGEL, 2000). A localização no cromossomo sexual resulta em uma frequência muito superior em homens, uma vez que a mulher precisa apresentar o gene recessivo nos dois cromossomos (homozigota recessiva) para ser daltônica. Para que o homem adquira o daltonismo, basta apenas apresentar o cromossomo recessivo (LOPES, 1999). A partir da Ilustração 4 é possível perceber a proporção distinta entre homens e mulheres induzida pela posição do gene no cromossomo sexual.

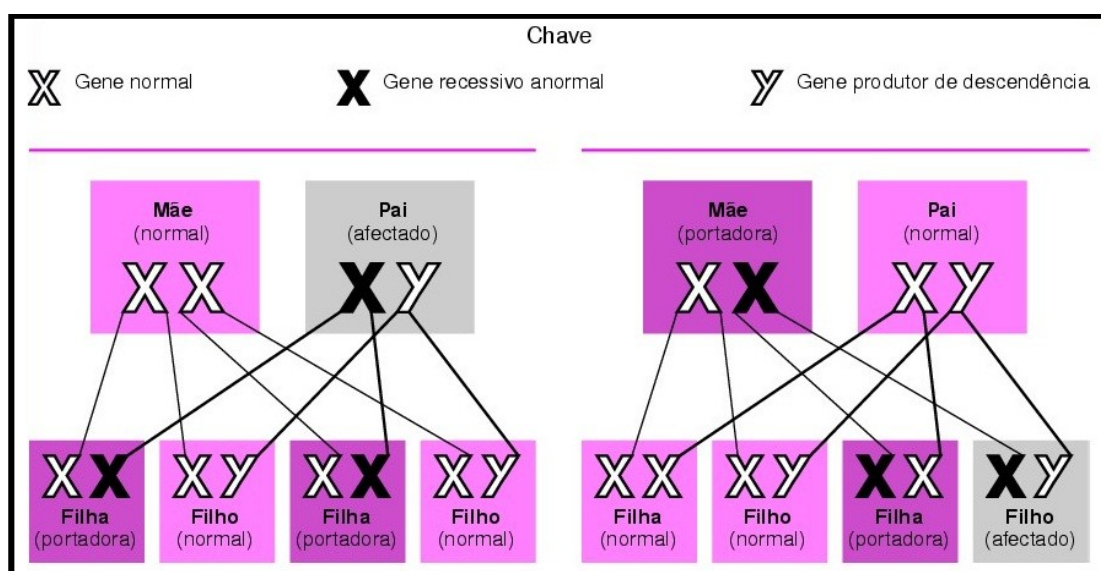


Ilustração 7 – Duas possibilidades de descendência com pais portadores do gene recessivo para daltonismo: descendência da relação entre pai afetado e mãe normal e entre mãe portadora e pai normal.

Fonte: ww.portalsaofrancisco.com.br/alfa/daltonismo/daltonismo-7.php. Acesso em: 23 de abr. 2012

O gene que codifica a substância capaz de absorver comprimentos curtos de onda (pigmento para azul) está situado em um cromossomo autossômico (7q31), portanto não apresenta essa distinção numérica entre homens e mulheres. No entanto, esta anomalia é de raríssima ocorrência e por isso o daltonismo é muito associado ao cromossomo X (VOGEL, 2000).

Os genes que codificam os pigmentos para a visão de verde e vermelho estão localizados no mesmo cromossomo, o cromossomo X. Além disso, dois genes apresentam uma grande semelhança entre si que alcança os 98% de homologia. Já o gene para pigmento azul (localizado em um cromossomo diferente) quando comparado ao gene para pigmento verde, apresenta apenas 44% dos aminoácidos semelhantes. Dada a enorme homologia, os genes que codificam os pigmentos para verde e para vermelho ficam propensos a recombinações genéticas indevidas causadas por crossing desigual formando genes de fusão verde-vermelho e vermelho-verde (VOGEL, 2000).

No DNA, o gene para o pigmento vermelho antecede (em 5') o gene codificador para pigmento verde. No caso do gene para verde há um polimorfismo numérico podendo existir pessoas com mais de um gene, porém só o mais próximo no sentido 5' é expresso (VOGEL, 2000).

Na Ilustração 5 em **A**, está representada a disposição normal dos genes para a visão de vermelho e verde. Em **B** são apresentadas disposições onde existe alguma alteração genética, mesmo que esta modificação não comprometa a visão tricromática como em **c** (apenas o gene mais proximal é expresso). Assim como foi visto no capítulo anterior, os sufixos dos nomes informam se o daltônico enxerga uma determinada cor parcialmente ou se não é capaz de distingui-la (VOGEL, 2000).

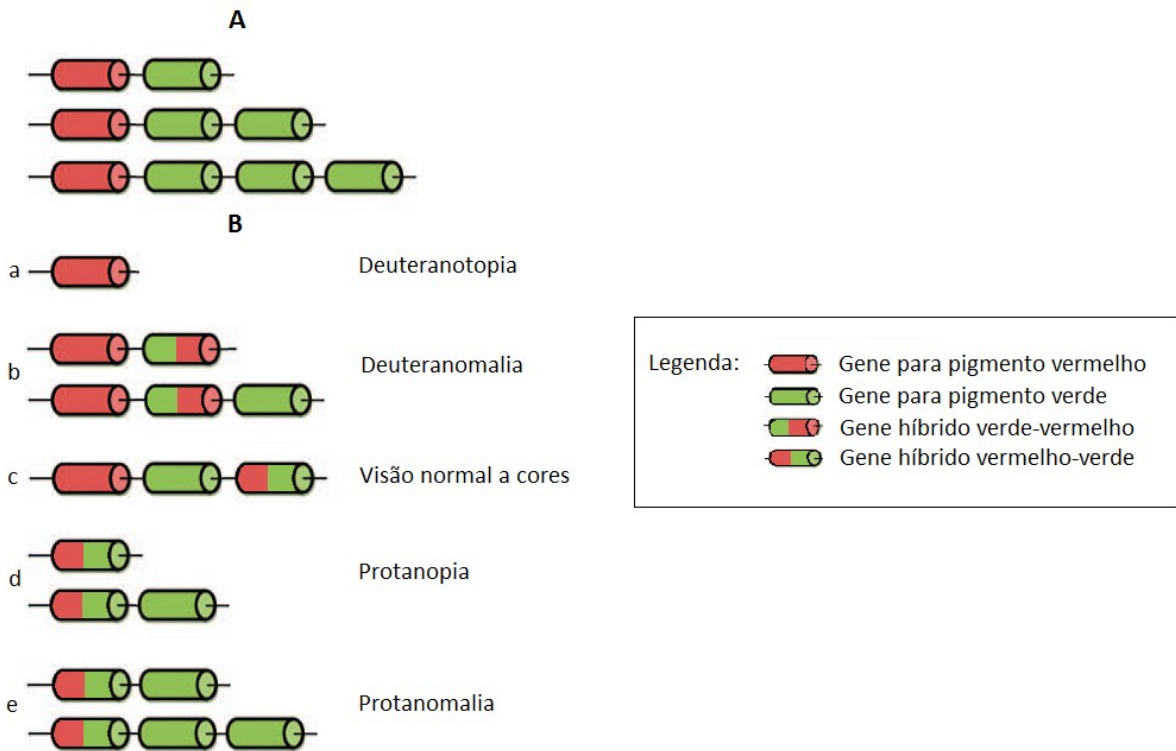


Ilustração 8 – Disposição dos genes de pigmento para visão de vermelho e verde.

Fonte: O autor.

O determinante para a expressão fenotípica para protanopia ou protanomalia é um polimorfismo serina/alanina na posição 180 da parte vermelha do gene de fusão. Caso haja uma serina neste sítio a expressão fenotípica é da pratanopia, contudo, se houver uma alanina a expressão é da protanomalia (VOGEL, 2000).

6. Relevância Social

As cores sempre exerceram um papel social importante como meio de comunicação e de expressão. Os diferentes significados que as cores adquiriram ao longo da história variam de acordo com a crença, nacionalidade e aspectos culturais. Atualmente, distúrbios na visão de cores podem afetar indivíduos em suas relações sociais cotidianas visto que, com o crescente desenvolvimento da difusão de informação, a cor ganha destaque por sua velocidade e praticidade de transmissão (BATTISTELLA, 2003).

Em pesquisas realizadas com daltônicos verificou-se que 37% não sabiam qual era o seu tipo de daltonismo, 51% não conseguiram “criar um código” que pudesse permitir a identificação correta das cores, e 90% pedem ajuda na compra do vestuário (NEIVA, 2010).

Em contraposição às dificuldades, 61% “criou” um processo de autoajuda na escolha do vestuário, o que representa a capacidade de adaptação. Essa pesquisa foi elaborada pelo designer Miguel Neiva em sua dissertação de mestrado. O estudo durou oito anos e neste período Neiva também pôde desenvolver um código de identificação das cores para daltônicos através de símbolos (NEIVA, 2010).

A partir do conhecimento sobre as cores primárias, Neiva pôde criar um código que partisse do mesmo princípio de simples e composto. Para isso, o *designer* se embasou na tríade de cores primárias azul, amarelo e vermelho, e as concedeu símbolos simples. A combinação desses três símbolos corresponde a uma nova cor, assim como acontece com a mistura das cores em si (NEIVA, 2010).

Os símbolos visuais são constituídos de cor e forma, porém, neste caso, eles são representados em preto e branco dado a necessidade de se estabelecer uma linguagem visual em que a cor não exerce a função de informar (NEIVA, 2010).

O código ainda engloba a diferenciação entre cores claras e escuras. Quando se deseja representar que uma cor se apresenta mais clara, utiliza-se um contorno preto ao redor do símbolo dessa determinada cor com o fundo em branco. Caso a cor seja mais escura, o fundo é preenchido de preto com o símbolo branco (NEIVA, 2010).

Nomeado *Collor-ADD*, o código (ver Ilustração 9) foi difundido com sucesso em alguns países da Europa, principalmente Portugal, país onde nasceu o idealizador do projeto. Assim como toda forma de linguagem, o *Collor-ADD* tenta ser o mais simples possível para que a informação a ser transmitida seja mais objetiva, sempre levando em consideração a principal finalidade do código: a acessibilidade (NEIVA, 2010).

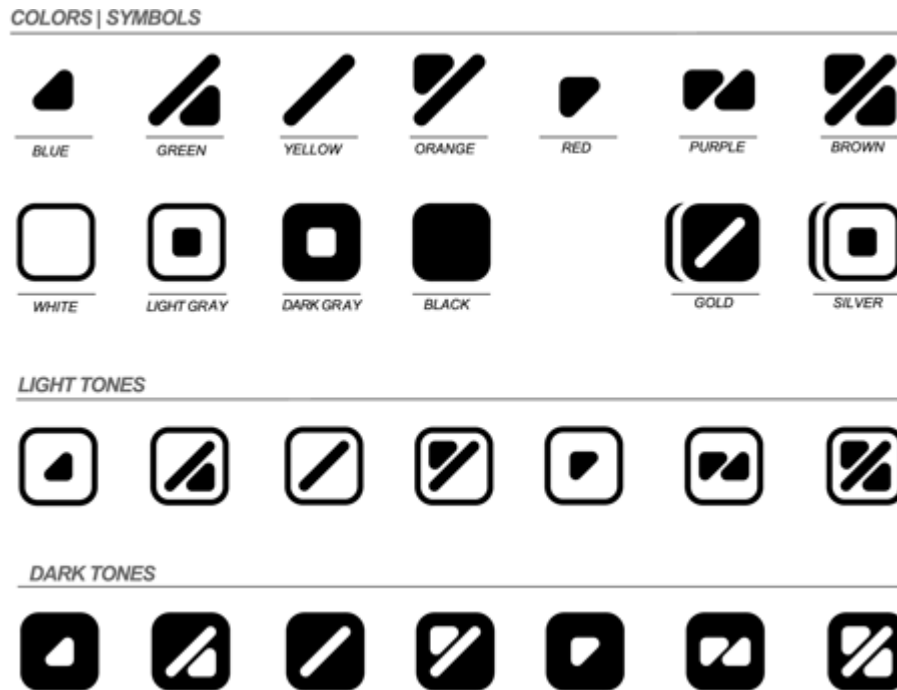


Ilustração 9 – Código para daltônicos (Color ADD).

Fonte: <http://www.coloradd.net/code.asp> Acesso em: 12 de maio 2012.

Em muitas profissões a visão cromática é fundamental para desempenhar funções de distinção, seja de utensílios, frascos, ou símbolos de avisos. Em casos como estes, o ambiente de trabalho pode ser adaptado para acolher o profissional daltônico como no exemplo mostrado na Ilustração 10 (BATTISTELLA, 2003).



Ilustração 10 – Exemplo de utilização do sistema Color ADD em ambiente de trabalho.

Fonte: <http://www.coloradd.net/code.asp> Acesso em: 12 de maio 2012.

Entretanto, existem profissões em que o emprego de um código é inviável. Como por exemplo, a leitura de uma lâmina histológica para um técnico de laboratório ou médico. Casos como esse, que podem colocar a segurança de pessoas em risco, demonstram o quanto é importante a identificação prévia do daltonismo.

7. Considerações finais

O prosseguimento dos estudos a respeito do daltonismo é de grande importância, principalmente para o grupo de pessoas que sofrem implicações causadas pela deficiência. Métodos de identificação da doença, assim como alternativas de acessibilidade, caso viessem a ser eficientemente difundidas, amenizariam os problemas enfrentados pelos daltônicos. Além disso, poderiam diminuir consideravelmente os riscos de erro no trabalho.

Os conhecimentos dos tipos de deficiência também devem ser passados adiante, principalmente para aquele que carrega o gene anômalo, pois desta forma, o indivíduo deficiente estará ciente de sua acuidade visual podendo assim, tomar os devidos cuidados em eventos em que é necessário fazer uma distinção cromática.

REFERÊNCIAS

AGGIO, Juliana. **O papel do corpo na percepção segundo Aristóteles**. São Paulo: USP, 6 fev. 2009.

AMABIS, José; MARTHO, Gilberto. **Biologia dos organismos**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004. v. 3, 561-564p.

BATTISTELLA, Márcia Regina. **A importância da cor em ambientes de trabalho: um estudo de caso**. Santa Catarina: UFSC, 2003. Disponível em:

<<http://www.veterinariosnodiva.com.br/books/A%20IMPORT%C2NCIA%20DA%20COR%20EM%20AMBIENTES%20DE%20TRABALHO.pdf>> Acesso em: 26 maio 2012.

BRUNI, Lígia; VELASCO, Antônio. **Sentido cromático: tipos de defeitos e testes de avaliação clínica.** Arquivo Brasileiro de Oftalmologia. 2006; 69(5):766-75 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abo/v69n5/a28v69n5.pdf>> Acesso em: 27 fev. 2012.

FERRARO, Nicolau Gilberto; JUNIOR, Francisco Ramalho; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os fundamentos da física.** 8. ed. São Paulo: Moderna, 2003. v. 2, 185-186p., 244-245p., 261-262p.

GUIMARÃES, Luciano. **As cores na mídia: a organização da cor-informação no jornalismo.** 1.ed. São Paulo: Annablume 2003. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Tj6wNTGp2gEC&oi=fnd&pg=PA9&dq=teoria+das+cores&ots=S1FPoZnNfx&sig=s_2Q-Ek0jwEvXhWgDVrkuWOOzM0#v=onepage&q=teoria%20das%20cores&f=false> Acesso em: 10 ago. 2012.

LOPES, Sônia. **Bio.** 4. ed. São Paulo: Saraiva1999. v. 3, 167-168p.

MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibelle Celestino. **A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula.** Ciência & Educação, 2003, v. 9, n. 1, p. 53-65.

MESENBOURG, Thomas. **2010 census results: United States national population.** United States census Bureau. Disponível em: <<http://www.census.gov/compendia/statab/>> Acesso em: 9 jan. 2013.

MOURA, Breno Arsioli; SILVA, Cibelle Celestino. **A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana.** Revista Brasileira de Ensino de Física, n. 1, 1602 (2008). v. 30, 2-4p. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n1/a16v30n1.pdf>> Acesso em: 22 jun. 2012.

MP SIMUNOVIC. **Colour vision deficiency.** Australia, Sydney: Sydney Eye Hospital. 20 nov. 2009. Disponível em: <<http://www.nature.com/eye/journal/v24/n5/pdf/eye2009251a.pdf>> Acesso em: 3 out. 2012.

NEIVA, Miguel. **Color add: color identification system**. 2010. Disponível em: <<http://www.coloradd.net/index.asp>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

PEDROSA, Israel. **O universo da cor**. Rio de Janeiro: Senac Nacional 2003. 19-36p.

(_____.) **Da cor à cor inexistente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Senac Nacional 2009. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=0BnWDhxTHsgC&printsec=frontcover&dq=da+cor+a+cor+inexistente&hl=pt-BR&sa=X&ei=J5gRUfvdHKaW0QHvm4CQCA&ved=0CDUQ6AEwAA>> Acesso em: 15 abril 2012.

PINHEIRO JR., Manuel Neuzimar. **Uso oral do olho de linhaça (*Linum usitatissimum*) no tratamento do olho seco de pacientes portadores da Síndrome de Sjögren**. Brasília: Faculdade de ciências da saúde da UnB. 2007. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/8135/1/2007_ManuelNeuzimarPinheiroJunior.pdf> Acesso em: 15 mar. 2012

SACKS, Oliver. **A ilha dos daltônicos**. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=fnpqpHJ_Py4C&oi=fnd&pg=PA4&dq=monografia+sobre+daltonismo&ots=xj6Z8hWyUQ&sig=4WvZ1Qsx14zVv8qxst-LgNesNmY#v=onepage&q&f=true> Acesso em: 30 de nov. 2011

SOARES, Renato. **Avaliação dos condutores portadores de discromatopsia congênita na percepção cromática da sinalização viária**. Brasília/DF, 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em Transportes)-Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/7257/1/2009_RenatoSoares.pdf> Acesso em: 30 de nov. 2011

VOGEL, Friedrich; MOTULSKY, Arno. **Genética humana: problemas e abordagens**. 3. Nacional, ed. Guanabara Koogan, 2000. 537-541p.