



O mecanismo da visão: o percurso da luz através do olho humano nos manuais escolares portugueses de ciências naturais (1900-1950)

Bento CAVADAS



RESUMO

Na sequência da comemoração do Ano Internacional da Luz (2015), o objetivo principal deste artigo é mostrar como o sentido da visão foi abordado nos programas e manuais escolares de ciências naturais publicados na primeira metade do século xx em Portugal. Para tal, utilizou-se um método de caráter qualitativo assente no conceito de transposição didática de Chevallard. A análise dos conteúdos programáticos de ciências naturais mostrou que o sentido da visão foi associado ao estudo da rubrica dos órgãos dos sentidos. A descrição anatômica do sentido da visão organizou-se essencialmente em torno do globo ocular e dos órgãos acessórios do olho. A análise dos manuais mostrou que a transposição didática do conhecimento científico sobre o sentido da visão se expressou através de descrições minuciosas das membranas e humores do olho, órgãos acessórios e da constituição e funcionamento do aparelho lacrimal. Os autores revelaram também um conhecimento aprofundado do mecanismo da visão, explicando com clareza o percurso da luz e a formação das imagens através dos vários constituintes do globo ocular até à retina. Os manuais publicados nas primeiras duas décadas do século xx foram mais exaustivos na abordagem a esses órgãos e ao mecanismo da visão do que os publicados entre as décadas de 1930 e 1950.

PALAVRAS-CHAVE • Ensino. Manuais escolares. Luz. Olho humano. Visão.

INTRODUÇÃO

Em 2015, a Unesco promoveu a comemoração do *International Year of Light and Light-based Technologies*, chamando a atenção para a importância da ciência da luz e a sua influência sobre a sociedade contemporânea.

A luz possui um papel vital no nosso quotidiano e os seus estudos são uma ciência de ponta no século XXI. Revolucionou a medicina, possibilitou a comunicação internacional através da Internet e continua a ser central na ligação dos aspectos culturais, económicos e políticos da sociedade global (IYL, 2015).

O estudo da luz está inevitavelmente associado ao estudo da óptica e este, por sua vez, ao do olho humano. Todavia, a compreensão da evolução do conhecimento sobre o olho humano da perspectiva da história da ciência e o modo como foi explorado em uma vertente pedagógica é um campo de estudo por desbravar.

É sabido que os manuais escolares são um repositório do conhecimento científico dominante em uma determinada época (cf. Choppin, 1992), pelo que a sua análise pode esclarecer como determinado conteúdo científico evoluiu e foi apresentado aos estudantes em uma perspectiva pedagógica. Assim, neste artigo, os manuais escolares portugueses de ciências naturais, essencialmente de zoologia, foram utilizados para aferir a transposição didática do conhecimento científico sobre o sentido da visão. De modo a melhor orientar a ação investigativa definiu-se uma questão-problema e estabeleceram-se os seguintes objetivos principais:

- Questão-problema: como foi realizada a transposição didática do conhecimento científico sobre o sentido da visão para os programas e manuais escolares de ciências naturais em Portugal?
- Objetivos principais: (1) comparar o modo como os programas escolares abordaram o sentido da visão; (2) analisar a transposição didática do conhecimento científico sobre o sentido da visão para os manuais escolares.

Tendo em conta o reconhecido distanciamento temporal que se interpõe na transposição do conhecimento científico para os manuais (cf. Choppin, 1992), considerou-se que um período de 50 anos (1900-1950) é suficiente para expressar mudanças razoáveis na transposição do saber sobre o olho humano para os manuais escolares. Por outro lado, esse período compreende duas importantes descobertas científicas sobre a luz e o olho humano: a descoberta do *quantum* de luz, apresentada por Albert Einstein em 1905, e a capacidade de resposta das células fotorreceptoras a um único fóton, descoberta por Hecht, Schlaer e Pirenne (1942). Assim, a análise de programas e manuais escolares circunscreveu-se aos publicados na primeira metade do século xx.

Na primeira parte deste trabalho será apresentado um breve enquadramento teórico que fundamenta a importância dos manuais como objeto de estudo e define as bases teóricas do trabalho da história da ciência da visão. Segue-se a fundamentação metodológica da investigação e a apresentação dos resultados, organizada em duas seções, a primeira destinada à análise dos programas e a segunda à análise do modo como os manuais transpuseram didaticamente o conhecimento científico sobre o sentido da visão. Por fim, apresentam-se algumas conclusões gerais sobre o estudo.

1 OS MANUAIS ESCOLARES E O PROCESSO DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Perseguindo o objetivo da história da ciência de compreender diversas ideias e teorias, mas no âmbito de uma concreta espaço-temporalidade teórica, social e cultural (cf. Gavroglu, 2007), os manuais escolares configuram-se como uma fonte privilegiada de acesso à história da ciência. De fato, o ensino das ciências no século XIX e na maior parte do século XX foi indissociável da sua utilização. Esses instrumentos pedagógicos foram uma ferramenta central na sala de aula, como atestaram Harms e Yager (1981), ao constatarem que 90% dos professores americanos de ciências usavam o manual escolar durante 95% do tempo de aula e que o currículo era usualmente ministrado a partir de um único manual escolar. Sendo assim, esses livros, além de constituírem o repositório científico das determinações programáticas, mostram como evoluiu o conhecimento de um determinado conceito ou fenômeno científico e permitem aferir as preferências dadas pelos autores a uma determinada teoria ou modelo científico, em detrimento de outro.

De fato, o estudo dos manuais pode permitir aferir parte da cultura escolar do ensino liceal, contribuindo para a compreensão do processo de construção histórica do código disciplinar (cf. Fernández, 1997), neste caso das ciências naturais, e ir ao encontro da linha de pensamento de Chervel, o qual afirmou que “o estudo dos conteúdos efetivamente ministrados é a tarefa principal do historiador das disciplinas” (1991, p. 77). É por essa razão que o presente artigo pretende clarificar o modo como os manuais transpuseram didaticamente o conhecimento científico sobre o sentido da visão. A pertinência deste estudo decorre também de não se terem encontrado estudos análogos nas principais bases de pesquisa bibliográfica, o que mostra a sua originalidade.

Tendo em conta que os manuais escolares estão a meio caminho entre o currículo prescrito institucionalmente e o currículo efetivamente ministrado em sala de aula pelos docentes, este artigo centrou-se no quadro de referência teórico associado ao conceito de transposição didática (cf. Chevallard, 1991), porque procurou mostrar como os autores dos manuais escolares transformaram os conhecimentos científicos, ou seja, o saber sábio, e as linhas programáticas, isto é, o saber a ensinar sobre o sentido da visão, em discurso textual nessas obras. Após os programas estarem consolidados, inicia-se o processo que Chevallard designou transposição didática interna: “assim que os programas são elaborados, assinados, e constituem força de lei, inicia-se outro processo: o da transposição didática interna” (1991, p. 37). Nesse trabalho, o discurso dos manuais escolares sobre o sentido da visão é entendido como um dos possíveis mediadores no processo de transposição didática interna entre o programa e o saber que será efetivamente transmitido aos alunos, ou seja, o saber ensinado, pelos professores no interior do espaço escolar.

2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA DA VISÃO

Não sendo a intenção desta seção descrever exhaustivamente as personalidades e eventos que contribuíram para a ciência da visão, apresentam-se, no entanto, alguns acontecimentos substanciais sobre a óptica e o funcionamento do olho humano desde o século xvii até à década de 1950. Para a elaboração deste texto contribuiu substancialmente a lista de eventos compilada por Yellott (2015).

De acordo com Tossato, até ao início do século xvii a compreensão dos fenômenos ópticos era influenciada por três tradições de pesquisa: “uma filosófica ou física, na qual se consideravam principalmente as questões epistemológicas; uma médica, voltada para o estudo anatômico e fisiológico do olho; e uma tradição matemática, preocupada com a explicação geométrica da percepção espacial” (Tossato, 2005, p. 417). Seguindo esta última perspectiva, um dos primeiros trabalhos dedicados à óptica do olho humano deve-se a Kepler que publicou, em 1604, o livro denominado *Ad Vitellionem paralipomena, Quibus astronomiae pars optica traditur* (*Paralipômenos a Vitêlio. Onde se trata da parte óptica da astronomia*). Nesse trabalho, Kepler fez uma análise detalhada dos mecanismos responsáveis pela visão e estabeleceu os fundamentos para a compreensão da estrutura e função do olho humano (cf. Bernardo, 2009). Kepler abordou diversos fenômenos relacionados com a óptica do olho, afirmando que um corpo luminoso emite raios de luz em todas as direções, mas apenas vemos os que entram através da pupila, que funciona como um diafragma. A sua principal conquista foi a noção da inversão do cone visual euclidiano (cf. Tossato, 2007). Nesse livro, Kepler afirmou também que esses raios luminosos incidem sobre a retina, a parte receptora sensível do olho, local onde se formam imagens invertidas, concebendo a hipótese da imagem retiniana. Explicou, ainda, recorrendo a essas noções primordiais sobre o sentido da visão, os defeitos da visão e por que razão podem ser corrigidos através de lentes (cf. Encyclopædia Britannica, 2015). O fato de Kepler ter retirado da óptica referências psicológicas relacionadas com a percepção ou a sensação, centrando-se nos aspectos ópticos da visão e relacionando-os com a geometria, foi, para Tossato (2007), um dos seus maiores contributos para o estudo da óptica.

Alguns anos mais tarde, em 1619, Scheiner, no livro *Oculus* apresentou figuras bastante exatas da anatomia do olho e uma demonstração de que o seu processo de acomodação é ativo. Seis anos depois, em 1625, o próprio Scheiner observou diretamente pela primeira vez imagens na retina (cf. Yellott, 2015). A formação das imagens invertidas na retina foi confirmada por Descartes em uma interessante experiência em que raspou a esclerótica de um globo ocular de um boi, deixando-o transparente. Ao colo-

car esse olho em frente a uma janela e observando a parte por trás do mesmo, observou uma imagem invertida do cenário exterior (cf. Tombran-Tink & Barnstable, 2007).

Foi também Descartes que, em 1637, publicou *La dioptrique (A dióptrica)*, no qual apresentou uma teoria corpuscular da luz.

O ponto de vista de Descartes é admiravelmente claro: devemos compreender que a luz não é nem um atributo formal dos corpos luminosos, nem um estado quantitativo dos meios transparentes. A luz é, em vez disso, uma espécie de impulso exterior ou pressão exercida continuamente por objetos luminosos sobre o meio transparente e que passa simultaneamente através do olho (Smith, 1987, p. 14).

Outros fatos importantes sobre a visão devem-se à descoberta de fibras na retina, por Briggs em 1678 (cf. Yellott, 2015), e pela provável observação de cones e bastonetes realizada por Leeuwenhoek em 1684 (cf. Tombran-Tink & Barnstable, 2007). Mais tarde, essas descobertas foram complementadas pela descoberta do ponto cego, devida a Mariotte em 1681, e pela descrição detalhada da retina, por Jacob em 1819 (cf. Yellott, 2015; Tombran-Tink & Barnstable, 2007).

Um livro inevitável sobre este assunto é a obra *Optics (Óptica)* publicada pela primeira vez por Newton em 1704, na qual ele apresenta as suas deduções sobre fenômenos de refração e difração da luz, e o comportamento de misturas de cores (cf. Newton, 2010 [1704]).

Nos séculos XVIII e XIX, vários investigadores contribuíram para o aumento do conhecimento sobre a anatomia do olho humano e do seu funcionamento, destacando-se as contribuições de Donder, Listing e Helmholtz sobre os movimentos oculares que permitiram clarificar a função dos músculos para a rotação dos olhos e definir leis que regem esses movimentos (cf. Simonsz & Tonkelaar, 1990).

No século XX, destaca-se a descoberta do efeito fotoelétrico por Albert Einstein, publicado no artigo *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Einstein, 1905). Esse e outros artigos, daquele que foi considerado o *anno mirabilis* de Einstein, também podem ser consultados *online* (cf. Bezerra, 2005).

Duas décadas mais tarde, a compreensão da função do nervo óptico aprofundou-se com os trabalhos de Adrian e Matthews (cf. 1927, 1928a, 1928b) relacionados com a ação da luz sobre o olho, e, na década de 1940, Hecht, Schlarr e Pirenne (1942) descobriram que os bastonetes, um dos dois tipos de fotorreceptores, podem responder a apenas um único *quantum* de luz.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Um estudo de caráter qualitativo e realizado em torno da técnica de análise de conteúdo (cf. Amado, Costa & Crusoé, 2013; Bardin, 1979; Bogdan & Biklen, 1994) considerou-se ser o mais adequado, tendo em conta a questão-problema, os objetivos propostos e os pressupostos teóricos que fundamentam este artigo. Para cumprir os objetivos propostos, esta investigação dividiu-se em três fases:

PRIMEIRA FASE. Esta etapa, heurística, consistiu na recolha dos programas e manuais escolares de ciências naturais de referência do ensino liceal publicados na primeira metade do século xx em Portugal (cf. Cavadas, 2008). No caso dos manuais, recolheram-se, sempre que possível, as primeiras edições após a publicação do respectivo programa escolar que guiou a sua elaboração. Essa pesquisa desaguou na constituição do *corpus* documental seguinte (Quadro 1).

PROGRAMAS ESCOLARES		MANUAIS ESCOLARES				
Ano	Designação	Ano	Título	Autor(es)	Classe/Ano	Editora
1905	Programa de Ciências Naturais	1906	<i>Lições de Zoologia</i>	Bernardo Aires	4. ^a e 5. ^a classes	Livraria Cruz & C. ^a - Editores
1919	Programa de Ciências Físico-Naturais	1920	<i>Lições de Zoologia</i>	Bernardo Aires	3. ^a , 4. ^a e 5. ^a classes	Livraria Cruz & C. ^a – Editores
1926	Programa de Ciências Naturais	1930	<i>Noções de Zoologia</i>	Augusto Soeiro	5. ^a classe	Edição do Autor
1936	Programa de Ciências biológicas	1939	<i>Compêndio de Zoologia</i>	Seomara da Costa Primo	4. ^o , 5. ^o e 6. ^o anos	Livraria Bertrand
1948	Programa de Ciências Naturais	1950	<i>Compêndio de Zoologia</i>	Augusto Soeiro	2. ^o ciclo liceal	Livraria Simões Lopes

Quadro 1. *Corpus* de programas e manuais escolares (1900-1950).

SEGUNDA FASE. Destinou-se à concepção da grade de análise da anatomia do olho humano. Essa grade, construída através de um procedimento do tipo aberto (cf. Amado, Costa & Crusoé, 2013), estruturou-se em torno de categorias e subcategorias presentes no conteúdo dos manuais, tendo em conta os princípios, procedimentos e regras de categorização indicados na literatura especializada (cf. Amado, Costa & Crusoé, 2013; Bardin, 1979; Bogdan & Biklen, 1994). As categorias e subcategorias foram elaboradas tendo em conta as regras de exaustividade, exclusividade, homogeneidade, pertinência, objetividade e produtividade (cf. Amado, Costa & Crusoé, 2013).

TERCEIRA FASE. Esta fase, hermenêutica, dividiu-se em três momentos. Em uma primeira etapa, analisou-se o conteúdo dos programas de ciências naturais para evidenciar o modo como o legislador prescreveu o estudo do sentido da visão. O segundo momento consistiu na análise de conteúdo de cada um dos manuais para identificar as unidades de contexto e de registro, tal como definidas por Amado, Costa e Crusoé (2013). Cada uma das lições dos manuais sobre o sentido da visão foi definida como uma unidade de contexto. As unidades de registro das estruturas anatômicas corresponderam à sua designação lexical, quer no corpo do texto, quer na legenda das figuras. Apenas se contabilizou a presença ou a ausência dessas unidades de registro, independentemente da sua frequência (Quadro 3), tendo o processo de categorização seguido a aceção de Bardin (1979). No terceiro momento, identificaram-se as proposições correspondentes às unidades de registro das estruturas anatômicas do olho humano e do mecanismo da visão. Depois dessa identificação, interpretou-se o seu significado, de modo a aferir os traços comuns e as diferenças entre a transposição didática dos conhecimentos sobre a anatomia e o mecanismo da visão realizada pelos autores dos manuais escolares.

Os autores não indicaram nos manuais as fontes que utilizaram, mas, tendo em conta a influência da literatura científica francesa sobre a ciência portuguesa da época, utilizou-se como bibliografia científica de referência um livro publicado em 1903, *L'homme (anatomie et physiologie)*, da autoria de Colomb e Houlbert. Selecionou-se este livro porque antecede a publicação de todos os manuais analisados e está disponível no acervo da Biblioteca Nacional de Portugal (cota S.A. 14270 P.), o que provavelmente indicia a sua presença em Portugal na época em estudo e a possibilidade dos autores dos manuais terem acedido a essa obra. Para a análise da transposição didática da anatomia do globo ocular e do funcionamento do sentido da visão, principalmente no caso dos manuais mais recentes (cf. Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950), teve-se também em consideração a vigésima terceira edição da obra clássica, *Anatomy descriptive and applied*, de Henry Gray, publicada em 1926, também disponível na Biblioteca Nacional de Portugal (cota S.A. 12776 V.). Neste livro, Gray dedicou-se exclusivamente à

anatomia, enquanto Colomb e Houlbert, para além de uma descrição anatômica exaustiva do corpo humano, também apresentaram explicações sobre o seu funcionamento, o que se reveste de especial interesse para a explicação do mecanismo da visão.

4 ORIENTAÇÕES PROGRAMÁTICAS DE ZOOLOGIA PARA O ENSINO DO SENTIDO DA VISÃO

A análise global dos programas de ciências naturais publicados na primeira metade do século xx mostra que o estudo do sentido da visão enquadrou-se em uma rubrica programática sobre os órgãos dos sentidos. Assim, o primeiro programa de ciências naturais publicado no século xx, em 1905, consignou o estudo do sentido da visão na 5a classe de zoologia, na rubrica “Breves noções sobre a morfologia e fisiologia do aparelho locomotor, tegumentar, sistema nervoso e órgãos dos sentidos” (Decreto 3, 1905, p. 3.871). Em uma observação a essa rubrica programática, o legislador indicou que o professor, quando trata do estudo do sistema nervoso, devia também alertar os estudantes “sobre os cuidados que merecem os órgãos dos sentidos (alcool, tabaco, café)” (p. 3.871), portanto, uma clara alusão à necessidade de vincular normas da higiene a esses órgãos.

No programa de ciências físico-naturais de 1919, o “estudo elementar do esqueleto, aparelhos locomotores, sistema nervoso e órgãos dos sentidos” (Decreto 6.132, 1919, p. 2571) foi antecipado para a 4a. classe de zoologia, sendo novamente deslocado para a 5a. classe de zoologia através do decreto 12.594, que aprovou os programas dos cursos de instrução secundária de 1926. Uma leitura atenta do programa de ciências naturais de 1926 mostra que não há nenhuma referência direta ao estudo dos órgãos dos sentidos, tendo sido apenas consignada uma rubrica generalista ao estudo dos “tecidos e órgãos, sistemas e aparelhos, sua estrutura e funções, especialmente do homem” (Decreto 12.594, 1926, p. 1.781).

Em 1929, foram aprovados, através do Decreto n.º 16.362, novos e detalhados programas para os cursos complementares dos liceus (6a. e 7a. classes), no entanto, os programas de ciências naturais continuaram a não fazer referência ao estudo dos órgãos dos sentidos.

No início da década de 1930 foram publicados programas escolares sucessivos que trouxeram alguma instabilidade à elaboração dos manuais escolares. Em 1930, o decreto 18.885 aprovou os programas para todas as classes do ensino secundário a partir do ano letivo de 1930-1931. O estudo do sentido da visão continuou a ser prescrito na 5a. classe de zoologia, em uma rubrica semelhante às anteriores, designada “noções elementares sobre a fisiologia do aparelho locomotor, do sistema nervoso e dos órgãos

dos sentidos” (Decreto 18.885, 1930, p. 2.016), voltando também a ser elencados os cuidados a ter com os órgãos dos sentidos. A mesma rubrica voltou a ser repetida no decreto 20.369 que aprovou os programas do ensino secundário para o ano letivo de 1931-1932. Passados somente dois anos da aplicação deste programa, o governo, através do decreto 24.526 aprovou os programas que deveriam entrar em vigor no ano letivo 1934-1935. Nesse decreto, o legislador não atribuiu a devida importância no texto programático ao estudo dos órgãos dos sentidos porque apenas prescreveu, para a 5a. classe de zoologia, o estudo geral das “noções muito elementares de fisiologia humana” (Decreto 24.525, 1934, p. 1.813). Porém, esse programa volta a referir os cuidados a ter com os órgãos dos sentidos, pelo que seria expectável a sua abordagem.

O estudo do sistema nervoso voltou a ser especificado nos programas de ciências naturais de 1936, desta vez com maior detalhe, porque os conteúdos programáticos de zoologia, para a 6a. classe, envolviam o “estudo do organismo humano: esquema do sistema nervoso e órgãos dos sentidos (noções elementares)” (Decreto 27.085, 1936, p. 1271). No entanto, note-se que, ao contrário dos outros programas, não foram enunciados os cuidados a ter com os órgãos dos sentidos.

Em 1947, na sequência da publicação de um novo plano de estudos para o ensino liceal, surgem novos programas através da circular 1.418. No entanto, essa circular não procedeu a uma remodelação completa dos programas existentes, que apenas viria a ocorrer no ano seguinte, através do decreto 37.112, no qual o programa de ciências naturais prescrevia para o 5o. ano de zoologia o estudo do “aparelho locomotor, sistema nervoso e órgãos dos sentidos” (Decreto 37.112, 1948, p. 1.143). Nesse programa também é prescrito o estudo de noções gerais sobre higiene no organismo, daí Soeiro (1950) ter dedicado uma lição aos cuidados a ter com os órgãos da visão.

5 ANATOMIA DO OLHO HUMANO

O quadro 2 apresenta as unidades de contexto do *corpus* de manuais de ciências Naturais analisados. As unidades de contexto correspondem às lições que abordaram o sentido da visão. Nos manuais de Aires (1906, 1920) e Soeiro (1930, 1950) foi indicado o número da lição correspondente às unidades de contexto.

A análise das unidades de contexto mostrou que os autores preferiram separar, em seções distintas, a anatomia, a fisiologia e as regras de higiene do olho humano. Utilizaram diferentes expressões para designar de forma global o sentido da visão, como “aparelho visual” (cf. Aires, 1906, 1920) ou “a vista” (cf. Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950).

Unidades de Contexto	Manuais escolares				
	Aires (1906)	Aires (1920)	Soeiro (1930)	Primo (1939)	Soeiro (1950)
Anatomia	182. Aparelho visual	116. Aparelho visual		A vista	
	183. Olho	117. Olho	149 a 151. A vista	Olho	311 a 313. A vista
	184. Órgãos acessórios do aparelho da visão	118. Órgãos acessórios do aparelho da visão		Órgãos acessórios	
Fisiologia	185. Sentido da visão	193. Sentido da visão	152. Mecanismo da Visão	Mecanismo da visão	314. Mecanismo da visão
Higiene	186. Regras higiênicas da visão	194. Regras higiênicas da visão			325. Cuidados com a vista

Quadro 2. Unidades de contexto dos manuais escolares de ciências naturais (1900-1950).

O quadro anterior mostra ainda que os manuais de Aires (1906, 1920) foram os que dedicaram mais lições ao sentido da visão e que a designação das unidades de contexto é semelhante nos diferentes manuais.

No que diz respeito às unidades de contexto anatômicas, é notório que todos apresentaram uma lição preambular generalista sobre o aparelho visual, seguindo-se cerca de duas lições destinadas à descrição da anatomia do olho humano e das suas partes acessórias. Quanto às unidades de contexto fisiológicas, todos os autores destinaram uma das lições à explicação do mecanismo da visão. Apenas Aires (1906, 1920) e Soeiro (1950) atribuíram uma lição destinada aos cuidados de higiene a ter com esse sentido

Neste trabalho apresenta-se apenas a categorização das estruturas anatômicas do globo ocular (Quadro 3) e não das suas partes acessórias. A definição dessas categorias anatômicas baseou-se nas usadas por Colomb e Houlbert (1903; ver Fig. 1) e Gray (1926; ver Fig. 2). Considerou-se o nervo óptico como um órgão essencial do globo ocular, enquanto extensão nervosa da retina, embora essa categorização não fosse apresentada por Colomb e Houlbert (1903) ou Gray (1926).

Figura 1. Globo ocular e partes acessórias:
 Sc - esclerótida; Ch - coroideia (coróide);
 R - retina; H' - membrana hialóidea; N -
 nervo óptico; I - íris; Cr - cristalino; Pu -
 pupila; Ct - córnea transparente; Pc - mús-
 culos ciliares; Cha - câmara anterior; P -
 pálpebra; M - músculo da pálpebra; C - pes-
 tanas; Md - músculo motor do olho; J - man-
 cha amarela (Colomb & Houlbert, 1903, fig.
 158, p. 210).

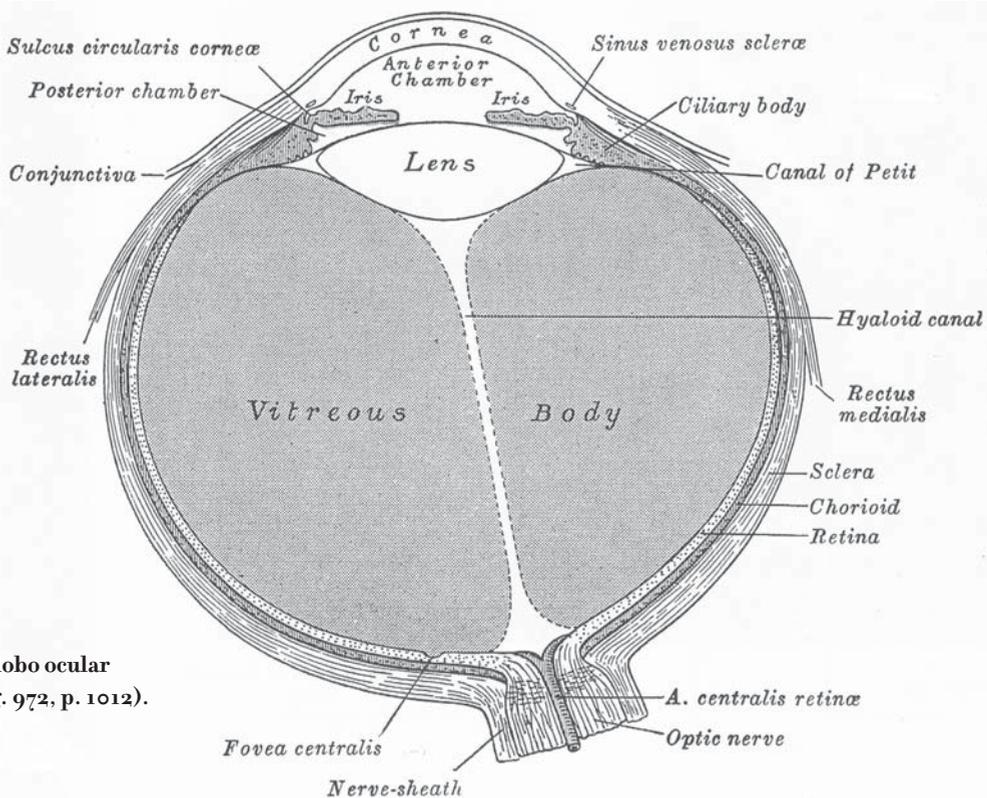
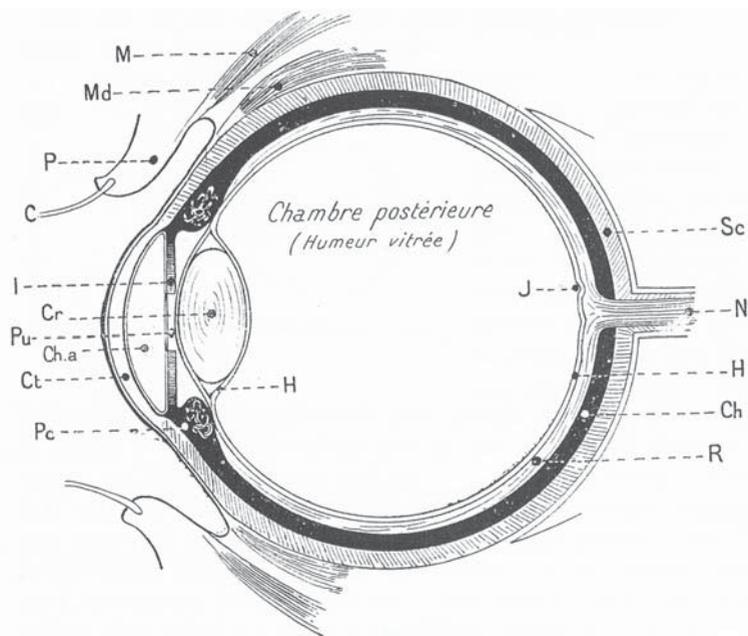


Figura 2. Globo ocular
 (Gray, 1926, fig. 972, p. 1012).

Categorias e subcategorias anatômicas		Manuais escolares				
		Aires (1906)	Aires (1920)	Soeiro (1930)	Primo (1939)	Soeiro (1950)
Globo ocular	Coroideia	✓	✓	✓	✓	✓
	Córnea	✓	✓	✓	✓	✓
	Íris	✓	✓	✓	✓	✓
	Pupila	✓	✓	✓	✓	✓
	Membranas					
	Esclerótica	✓	✓	✓	✓	✓
	Hialóidea	✓	✓			
	Retina	✓	✓	✓	✓	✓
	Cones	✓	✓			
	Bastonetes	✓	✓			
	Nervo ótico	✓	✓	✓	✓	✓
	Meios transparentes (Humores)					
	Cristalino	✓	✓	✓	✓	✓
Humor aquoso	✓	✓	✓	✓	✓	
Humor vítreo	✓	✓	✓	✓	✓	

Presença Ausência

Quadro 3. Categorização da anatomia do olho humano nos manuais escolares de ciências naturais (1900-1950).

O quadro anterior mostra que as subcategorias essenciais do globo ocular são comuns a todos os manuais analisados. Note-se ainda que Aires (1906, 1920; ver Fig. 3), Primo (1939; ver Fig. 3), Soeiro (1930, 1950; ver Fig. 4) apoiaram a descrição anatômica do globo ocular pela apresentação de ilustrações bastante semelhantes entre si e à usada por Colomb e Houlbert (1903).

Acerca da forma do olho humano, Aires (1906, 1920) caracterizou-a como sendo *esferoidal*, enquanto Primo (1939) e Soeiro (1930, 1950) preferiram o termo *globo*, igualmente usado por Colomb e Houlbert (1903). De forma geral, todos mencionaram que o olho é constituído por três membranas e três meios transparentes, que Aires (1906) também designou por “humores”. As três membranas que descreveram foram a esclerótica, coróide e a retina (cf. Aires, 1906, 1920; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950). Esta divisão geral do globo ocular difere da apresentada por Colomb e Houlbert (1903), na medida em que estes autores identificaram quatro membranas sobrepostas no olho: “(1) a esclerótica, (2) a coróide, (3) a retina; (4) a membrana hialoideia” (1903, p. 12).

No entanto, Aires (1906, 1920), embora não tenha considerado esta última membrana na descrição geral do globo ocular, mais tarde faz uma referência à mesma quando da caracterização do corpo vítreo. Quanto aos meios transparentes, mencionaram o humor aquoso, o cristalino e o corpo vítreo (cf. Aires, 1906, 1920; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950).

A esclerótica foi caracterizada como sendo uma membrana conjuntiva resistente (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903), fibrosa (cf. Gray, 1926; Primo, 1939), branca (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950), espessa (cf. Soeiro, 1950) e opaca (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Gray, 1926; Soeiro, 1930, 1950). Todos os autores referiram que o olho

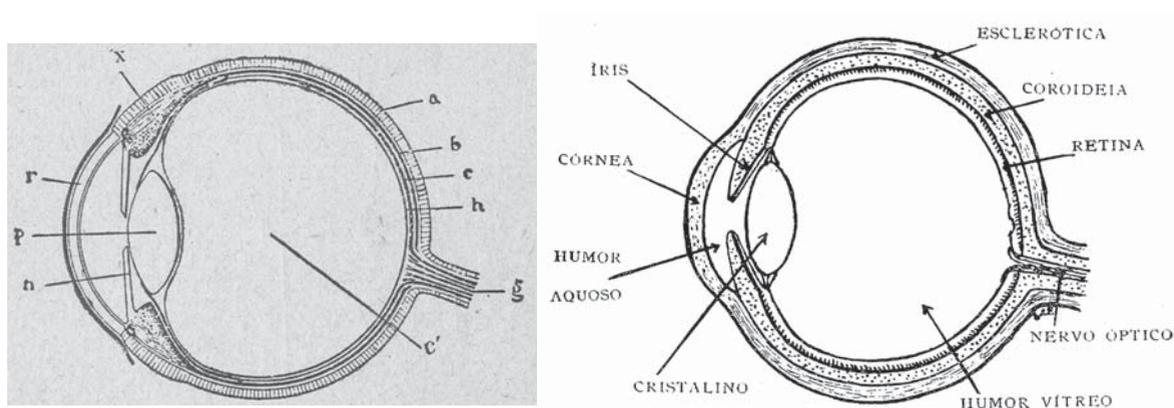


Figura 3. Corte longitudinal do globo ocular. Ilustração da esquerda: r – córnea; n – iris; p – cristalino; x – músculo ciliar; a – esclerótica; b – coroideia (coróide); c – retina; h – membrana hialoideia; c' – corpo vítreo; g – nervo óptico (Aires, 1906, fig. 59, p. 151; 1920, fig. 60, p. 97). Ilustração da direita (Primo, 1939, fig. 213, p. 322).

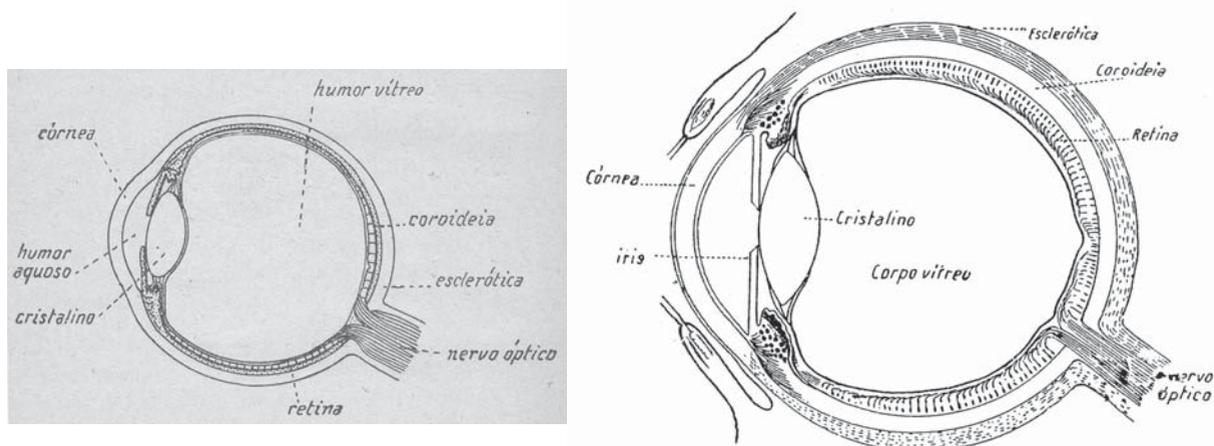


Figura 4. Corte longitudinal do globo ocular. Ilustração da esquerda (Soeiro, 1930, fig. 142, p. 188). Ilustração da direita (Soeiro, 1950, fig. 342, p. 403).

possui uma abertura na parte anterior, na qual se ajusta uma membrana análoga, mas transparente e mais convexa, designada *córnea*, que “deixa passar a luz” (Primo, 1939, p. 322) ou “os raios luminosos para o interior do globo ocular” (Soeiro, 1950, p. 403), propriedades também referidas por Colomb e Houlbert (1903). Na parte posterior da esclerótica existe uma perfuração que dá passagem ao nervo óptico (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Gray, 1926; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950). Primo (1939) acrescentou que o papel da esclerótica é protetor, uma função também indicada por Colomb e Houlbert (1903) e Gray (1926).

No interior da esclerótica, todos os autores, tal como fizeram Colomb e Houlbert (1903), indicaram que existe uma segunda membrana, a coróide. Essa membrana é abundante em vasos sanguíneos e possui, tal como a córnea, uma perfuração para a passagem do nervo óptico (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Gray, 1926; Primo, 1939). Colomb e Houlbert (1903) e Gray (1926) acrescentaram que a abundância de vasos sanguíneos deve-se à necessidade de nutrir o olho, mas essa função não foi indicada pelos autores dos manuais.

A coróide, quando chega à vizinhança da córnea, perde a forma esférica e transforma-se num disco circular e vertical, a íris (Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Gray, 1926; Primo, 1939; Soeiro, 1950). Os autores Aires (1906, 1920), Primo (1939) e Soeiro (1930, 1950) afirmaram, ainda, que a face externa da íris pode ter cores diversas o que origina, conseqüentemente, a diversidade de cor dos olhos, um fato também enunciado por Colomb & Houlbert (1903) e Gray (1926). O interior da íris, assim como o interior da coróide, são revestidos por uma substância que Aires (1906, 1920) e Soeiro (1930) designaram por pigmento negro, mas que Primo (1939) apenas caracterizou como possuindo uma face interna escura, tornando “o globo ocular numa verdadeira câmara escura” (Soeiro, 1930, p. 158). Na verdade, esse pigmento não é totalmente negro, mas castanho-escuro ou cor de chocolate, de acordo com Gray (1926).

A íris possui no seu centro uma abertura, a pupila (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Gray, 1926; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950). Acerca da pupila, Colomb e Houlbert (1903) acrescentaram que é através dela que os raios luminosos penetram no olho, mas essa função não foi explicada pelos autores. Segundo Aires (1906, 1920) e Primo (1939), é a presença de fibras musculares paralelas aos raios da íris e concêntrica à abertura da pupila que permite a contração ou a dilatação da mesma.

A retina foi caracterizada com bastante detalhe por Aires (1906, 1920; ver Fig. 5) e com menos precisão por Primo (1939) e Soeiro (1930, 1950), embora este último tivesse a consciência de que essa membrana “é a parte fundamental dos órgãos da visão” (Soeiro, 1950, p. 403).

Aires (1906, 1920) afirmou que a retina é incolor, transparente e que forra toda a coróide e a face interna da íris, enquanto Soeiro (1930, 1950) apenas referiu que se

localiza na face interna da coróide, posicionamentos também indicados por Colomb e Houlbert (1903) e Gray (1926). Todos os autores explicaram que apenas a seção da retina que vai do fundo do olho até próximo do equador é uma membrana sensível, “susceptível de ser impressionada pelos raios luminosos” (Soeiro, 1950, p. 404), com “células impressionáveis pela luz” (Primo, 1939, p. 323), sendo o resto apenas uma simples membrana. Essa relevância dada ao papel da retina também se encontra em Colomb e Houlbert: “é a membrana sensível por excelência porque está organizada para receber as impressões luminosas” (1903, p. 210; grifo no original) e Gray: “a retina é uma membrana nervosa delicada, na qual as imagens dos objetos externos são recebidas.” (1926, p. 1.019). Na mesma linha de pensamento, Aires (1906) referiu que na retina há um sistema complicado de células nervosas e Primo (1939) classificou-a como a membrana mais importante, porque é nela que se distribuem as terminações do nervo óptico. Aires (1906) explicou que nessa organização complexa, as células mais externas, situadas do lado da coróide, designam-se cones e bastonetes. No manual de 1920, ele não fez essa distinção no texto, embora tivesse legendado os cones e os bastonetes numa ilustração da retina igual à apresentada na figura 5. Não explicou, nesse momento, a diferença anatômica entre cones e bastonetes, embora fosse bastante conspícua na figura, mas indicou que a sua função é serem “receptores das impressões luminosas” (Aires, 1906, p. 152). Note-se que esta foi a única menção às células fotorreceptoras nos manuais analisados, mesmo nos mais recentes, e isto apesar de Gray (1926) ter salientado o seu importante papel. Mesmo após a descoberta da capacidade de resposta das células fotorreceptoras a um único fóton, descoberta por Hecht, Schlaer e Pirenne (1942), não se encontraram referências a essas células no manual de Soeiro (1950), um exemplo claro do distanciamento temporal que vai desde a produção da ciência à sua transposição para os manuais escolares. No entanto, Aires (1906) sabia que as células sensoriais da visão comunicam com células nervosas superficiais, que, por sua vez, ligam-se a células nervosas mais internas, cujo conjunto dos prolongamentos axiais constitui o nervo óptico.

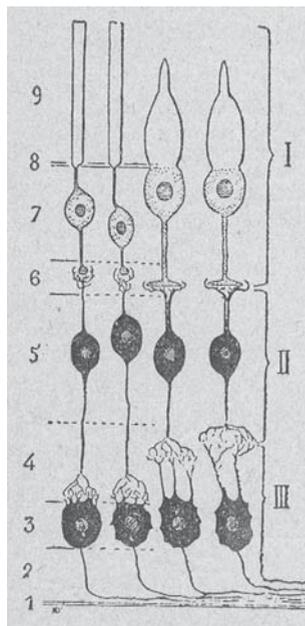


Figura 5. Esquema da retina: I - cones e bastonetes que são dependências das células visuais; II, III - células nervosas; 2 - fibras que pela sua união formam o nervo óptico (Aires, 1906, fig. 60, p. 152).

Primo (1939) referiu apenas que o nervo óptico atravessa a esclerótica e a coróide e distribui as suas terminações pela retina até às células visuais.

Os humores do olho foram caracterizados de forma análoga pelos diferentes autores. O cristalino é um corpo elástico transparente em forma de lente biconvexa, situado por trás da íris (cf. Aires, 1906, 1920; Gray, 1926; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950), cujo eixo passa pelo centro da pupila (cf. Aires, 1906, 1920), sendo mantido no seu lugar por um conjunto de fibrilas que constituem o que Primo designou por “ligamento suspensor” (1939, p. 323) e Aires por “músculo e processo ciliares” (1906, 1920, p. 153).

O humor aquoso é um líquido que ocupa o espaço entre a córnea e o cristalino (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Gray, 1926; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950), incolor (cf. Aires, 1906, 1920; Primo, 1939). O espaço entre a íris e a córnea foi designado por Soeiro (1930, 1950) como câmara anterior, tal como fizeram Colomb e Houlbert (1903) e Gray (1926; ver Fig. 2). Soeiro (1930, 1950) também foi o único autor a localizar a câmara posterior, embora de forma distinta nos manuais publicados em 1930 e 1950. No primeiro manual, a par de Colomb e Houlbert (1903; ver Fig. 1), localizou essa câmara entre o cristalino e a retina e explicou que está cheia de um líquido designado humor vítreo. No manual de 1950, e em concordância com Gray (1926; ver Fig. 2), corrigiu essa localização, informando que a câmara posterior se localiza entre o cristalino e a íris e que está cheia, não pelo humor vítreo, mas pelo humor aquoso, o mesmo líquido que preenche a câmara anterior.

Foi opinião consensual entre os autores que o humor vítreo, um líquido transparente e gelatinoso, “comparável à clara de ovo” (Soeiro, 1930, p. 189), localiza-se entre a face posterior do cristalino e a retina. Sobre este assunto, Aires (1906, 1920) preferiu distinguir ainda o corpo vítreo, isto é, o espaço entre cristalino e a retina, do humor vítreo, o líquido que ocupa esse espaço. Curiosamente, Soeiro parece ter feito alguma confusão entre a designação humor vítreo, usada no manual de 1930 para identificar o líquido que se situa entre o cristalino e a retina, e corpo vítreo, utilizado no manual de 1950 para identificar também esse líquido.

É na descrição desses órgãos que surge uma breve referência à membrana hialóideia, que, segundo Aires (1906, 1920), situa-se à frente da retina e envolve o humor vítreo. Colomb e Houlbert (1903) acrescentaram que, na sua parte anterior, essa membrana desdobra-se em dois folhetos, nos quais se localiza o cristalino, contudo, não foi identificada essa descrição anatômica nos manuais analisados. Mais tarde, Gray (1926) fez uma alusão ao canal hialoide (ver Fig. 2), uma estrutura que não se encontra representada na ilustração do globo ocular apresentada por Colomb e Houlbert (1903; ver Fig. 1).

6 O SENTIDO DA VISÃO

6.1 O MECANISMO DA VISÃO

Aires (1906, 1920) explicou o mecanismo da visão recorrendo a analogias entre o funcionamento do olho humano e lentes. Mencionou, a esse respeito, que “os meios transparentes do olho têm o efeito de uma lente biconvexa, destinada a formar sobre a retina a imagem nítida dos objetos” (Aires, 1906, p. 155). Por seu lado, Soeiro (1926, 1950) e Primo (1939) preferiram explicar esse funcionamento recorrendo a analogias com uma máquina fotográfica e o seu sistema de lentes (ver Fig. 6), tal como fizeram Colomb e Houlbert: “o globo ocular, considerado como um todo, pode ser comparado à câmara negra de um aparelho fotográfico” (1906, p. 211). No entanto, Colomb e Houlbert (1903) não apresentaram imagens comparativas entre uma máquina fotográfica e o olho humano, ao contrário de Soeiro (1926, 1950) e Primo (1939), limitando-se a apresentar uma figura da formação das imagens no olho (ver Fig. 7).

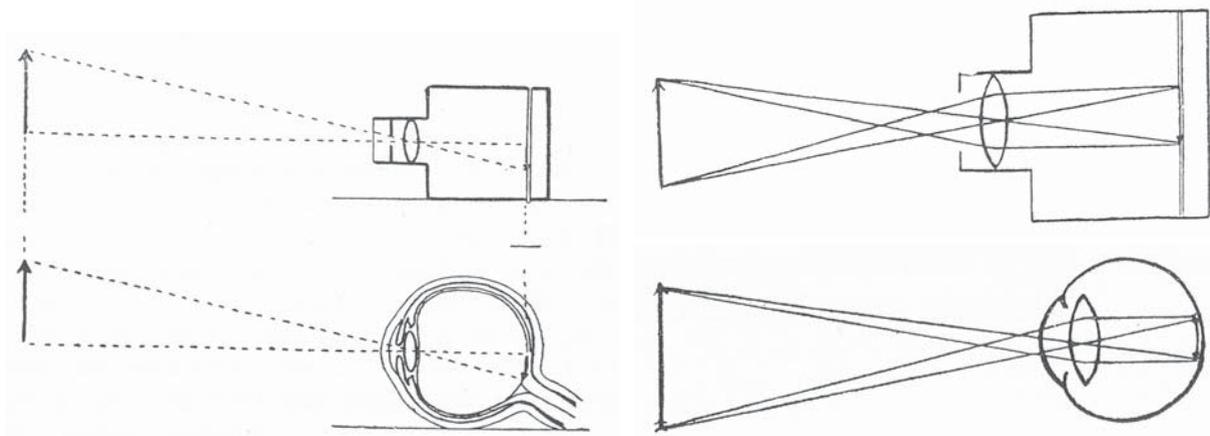


Figura 6. Comparação da formação das imagens em uma câmara escura e no globo ocular. Ilustração da esquerda (Soeiro, 1930, fig. 143, p. 190; 1950, fig. 243, p. 405). Ilustração da direita (Primo, 1939, fig. 216, p. 325).

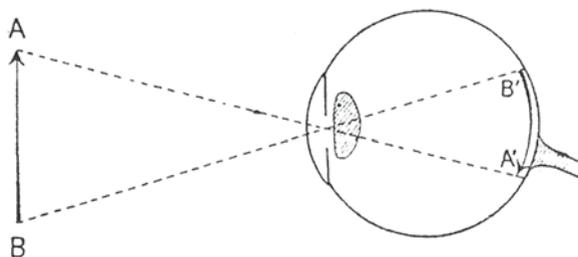


Figura 7. Formação das imagens no olho humano (Colomb & Houlbert, 1903, fig. 159, p. 212).

O texto que Primo apresentou para explicar essa analogia é bastante explícito:

Sabe-se que em uma câmara fotográfica, com uma lente ou sistema de lentes, que se comporta como uma lente convergente, se obtém uma imagem dos objetos colocados adiante da abertura do diafragma. Esta imagem real e invertida vai-se formar no fundo da câmara; e se neste estiver uma chapa, impregnada de certos sais sensíveis à luz, depois de tratamentos especiais no laboratório, podemos obter a imagem definitiva.

Também sabemos que variando a abertura do diafragma se consegue graduar a quantidade de luz conveniente e que, conforme a distância a que estiver o objeto, assim é preciso focar, isto é, variar a distância da lente à chapa, de modo a que a imagem vá nela formar-se com a maior nitidez (Primo, 1939, p. 325-6).

De acordo com Primo (1939) e Soeiro (1930, 1950), no olho humano existe um mecanismo de funcionamento análogo ao de uma máquina fotográfica porque os raios luminosos, atravessando os meios transparentes do olho humano – nomeadamente o cristalino (Soeiro, 1930, 1950) –, funcionam como uma lente convergente, permitindo a formação na retina de uma imagem real e invertida. A retina funciona como uma chapa fotográfica (cf. Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950), impregnada de sais de prata (Soeiro, 1930, 1950), em que os elementos impressionáveis pela luz são as células visuais, e as impressões levadas ao cérebro são transformadas na sensação visual (Primo, 1939).

É o poder de acomodação do olho humano que permite a observação de objetos expostos a distâncias variáveis (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950), um processo demonstrado por Scheiner, no livro *Oculus*, em 1619 (cf. Yellott, 2015). Caso contrário, se essa lente fosse invariável, as imagens nas retinas seriam confusas (cf. Aires, 1906, 1920). O poder de acomodação do olho humano resulta da ação do músculo ciliar sobre a curvatura do cristalino (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Soeiro, 1930, 1950) na sua face anterior (cf. Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950), que funciona como uma objetiva (cf. Colomb & Houlbert, 1903). Quando se observam objetos afastados, a curvatura do cristalino diminui e, quando se observam objetos próximos, a curvatura do cristalino aumenta (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939; Soeiro, 1930, 1950). Essa propriedade do cristalino foi explicada com clareza por Soeiro (1950) com recurso à ilustração da figura 8, bastante simplificada em comparação com a apresentada por Colomb e Houlbert (1903).

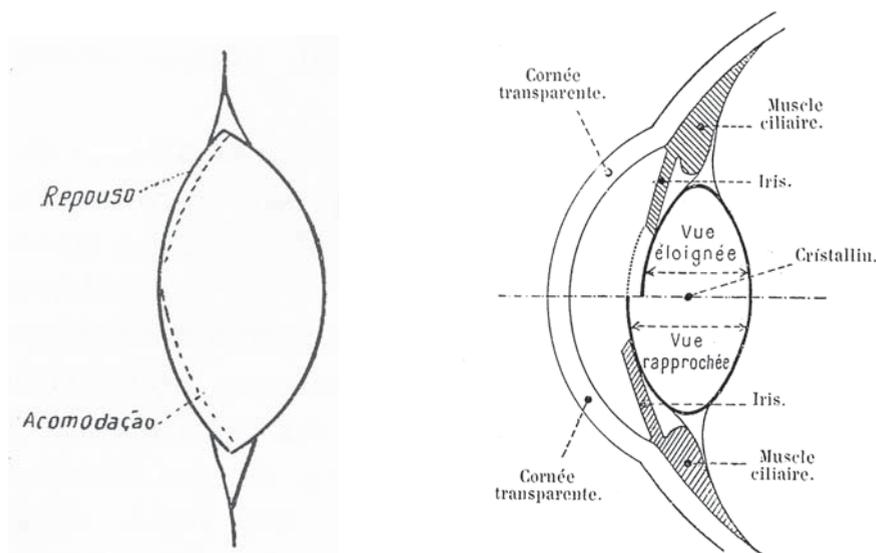


Figura 8. Acomodação do cristalino.

Ilustração da esquerda (Soeiro, 1950, fig. 344, p. 406).

Ilustração da direita (Colomb & Houlbert, 1903, fig. 161, p. 214).

No entanto, nenhum dos autores dos manuais referiu, como fizeram Colomb e Houlbert (1903), que o cristalino modifica a sua curvatura com o intuito das imagens se fixarem sobre a retina. Todavia, Aires (1906, 1920) salientou, tal como Colomb e Houlbert (1903), que esse poder de acomodação não é ilimitado e Primo (1939) e Soeiro (1926, 1950) reforçaram que diminui com a idade devido à redução da elasticidade do cristalino.

A distância mínima a que os objetos são vistos nitidamente, e que Aires designou por “distância mínima da visão distinta ou ponto próximo” (1906, p. 156), a mesma expressão usada por Colomb e Houlbert (1903), são, para a maioria das pessoas, de 12 a 15 cm. Nesse caso, um olho nessas condições designa-se por normal ou emetropo (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903), possuindo a forma de uma esfera quase perfeita (cf. Colomb e Houlbert, 1903). Pelo contrário, a distância máxima a que são vistos os objetos, ou seja, aquela em que o cristalino está relaxado e a sua curvatura diminui, é de 60 a 65 m e marca o ponto remoto (cf. Aires, 1906, 1920).

A caracterização das imagens fornecidas pelo olho foi realizada por Aires (1906, 1920) e Primo (1939), esta última com recurso à ilustração da figura 9.

Quando se incide uma luz (cf. Aires, 1906, 1920) ou uma vela acesa sobre os olhos (cf. Primo, 1939) e são observados lateralmente, é possível distinguir-se três imagens: duas direitas e uma invertida (cf. Aires, 1906, 1920; Primo, 1939). A primeira é forma-

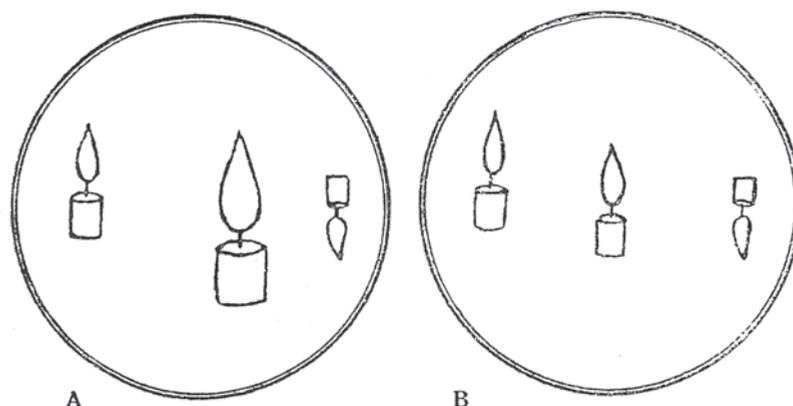


Figura 9. Imagens fornecidas por um olho: visão afastada (esquerda) e visão aproximada (direita) (Primo, 1939, fig. 218, p. 327).

da pela córnea e a segunda, maior e menos nítida, pela face anterior do cristalino (cf. Aires, 1906, 1920; Primo, 1939), funcionando ambos como espelhos convexos (cf. Primo, 1939); a terceira, invertida e mais pequena, é formada pela face posterior do cristalino (cf. Aires, 1906, 1920; Primo, 1939), funcionando como um espelho côncavo (cf. Primo, 1939). Aires (1906, 1920) referiu ainda que essas duas últimas imagens mudam de forma quando se afasta ou aproxima a luz, mostrando assim que as faces do cristalino mudam de curvatura. A origem das imagens invertidas na retina foi descrita com clareza por Colomb e Houlbert (1903) recorrendo a uma explicação vetorial do percurso dos raios luminosos (AB e A'B'), com recurso à figura 7.

O único autor a apresentar uma tentativa de explicação para o fato de vermos imagens direitas, embora na retina surjam invertidas, foi Aires (1906, 1920). Para tal, começou por explicar por que razão a imagem dos corpos não é dupla, dado que em cada retina se forma uma imagem. A explicação, de acordo com Aires é que “*por hábito*, aprendemos a referir as duas imagens formadas nas condições ordinárias, e portanto unicamente em certos pontos da retina (*pontos correspondentes*), a um só objeto” (1906, p. 158; 1920, p. 192; grifos no original). Mencionou que é talvez por essa razão que observamos os objetos direitos, embora as imagens na retina sejam invertidas. No entanto, essa explicação ignorou o papel do cérebro na reversão da imagem formada na retina, um papel que ainda não tinha sido bem compreendido na época, como se depreende por estas palavras de Colomb e Houlbert.

A imagem do objeto AB localiza-se em uma posição A'B' na retina, ou seja, numa posição invertida em relação ao objeto luminoso que produziu; é a impressão desta imagem que é transmitida ao cérebro através do nervo óptico e, embora invertida, nós temos a sensação de um objeto visto na sua posição verdadeira (1903, p. 212).

A afirmação anterior mostra que Colomb e Houlbert (1903) sabiam que as imagens invertidas eram enviadas ao cérebro, mas ainda não compreendiam o seu importante papel na transformação para a “posição verdadeira”.

O certo é que as imagens se deviam formar na retina com a maior nitidez possível. No entanto, para formar-se uma imagem nítida, é necessário que penetre no olho uma certa quantidade de luz através da dilatação ou contração da pupila (cf. Aires, 1906, 1920; Soeiro, 1930, 1950). No seu manual, Primo (1939) acrescentou que o diâmetro da pupila varia com a aproximação a objetos desigualmente iluminados. Assim, com a aproximação de uma vela acesa, o diâmetro da pupila reduz-se, deixando passar pouca luz, caso contrário o diâmetro aumenta. Desse modo, o globo ocular tem o poder de graduar a quantidade de luz que deve entrar (Primo, 1939). Embora mencionassem que é a pupila que se contrai ou dilata, tanto Primo (1939) como Soeiro (1930, 1950) atribuíram corretamente ao movimento da íris a responsabilidade por esse fenômeno. Esse órgão foi comparado por Colomb e Houlbert (1903) ao diafragma de uma máquina fotográfica, uma analogia repetida por Soeiro: “como acontece com a abertura do diafragma de uma máquina” (1930, p. 190; 1950, p. 404).

Para a imagem ser nítida também é necessário que apenas os raios centrais atavessem o olho, para não ocorrer a aberração de esfericidade (cf. Aires, 1906, 1920). Esse problema surge quando os raios luminosos que atravessam as margens das lentes não convergem com os raios centrais, dando imagens diferentes das produzidas por estes. Desse modo, essas imagens sobrepõem-se originando uma imagem confusa e produzindo o defeito das lentes conhecido por aberração de esfericidade (cf. Aires, 1906, 1920). Para resolver esse problema, a íris não deixa passar os raios luminosos que atravessam o cristalino perto dos seus limites.

Aires (1906, 1920) relatou ainda o importante papel da retina para a formação da visão. Mencionou que a visão perderia a sua nitidez se os raios luminosos que atingem a retina pudessem refletir-se porque originariam imagens que apenas serviriam para tornar confusa a produzida pelos raios exteriores. Esse problema é resolvido através do pigmento negro da coróide que tem a propriedade de absorver os raios que atravessam a retina (Aires, 1906, 1920) e que, de acordo com Colomb e Houlbert (1903), funciona como a camada de cor preta que reveste o interior de uma máquina fotográfica. Aires (1906, 1920), tal como Colomb e Houlbert (1903), referiu ainda que as impressões produzidas pela luz sobre a retina persistem durante algum tempo depois de desaparecer o corpo luminoso. É este fenômeno, que Aires designou por “persistência das impressões luminosas” (1906, p. 159; 1920, p. 193) e Colomb e Houlbert apenas por “persistência das impressões” (1903, p. 213), que explica o funcionamento do cinematógrafo. Quando as imagens visuais se sucedem mais depressa do que se apagam, as sensações correspondentes sobrepõem-se e confundem-se em uma única, tal como

ocorre quando se faz passar diante dos olhos rapidamente uma série de fotografias, dando a ilusão de movimento (cf. Aires, 1906, 1920). O mesmo acontece na experiência do disco de Newton, em que a sucessão rápida das sete cores do espectro solar dá a ilusão de luz branca.

6.2 OS DEFEITOS DA VISÃO

Normalmente, a imagem dos objetos forma-se sempre na retina, qualquer que seja a distância a que se encontrem (cf. Soeiro, 1930, 1950). Quando tal não ocorre, geram-se defeitos na visão. Os autores relataram essencialmente as características dos seguintes defeitos da visão, a hipermetropia (cf. Aires, 1906; Primo, 1939), a miopia (cf. Aires, 1906; Primo, 1939), o presbitismo (cf. Aires, 1906; Primo, 1939), o astigmatismo (cf. Aires, 1906; Primo, 1939), o daltonismo (cf. Aires, 1906, 1920), o estrabismo (cf. Aires, 1906) e o albinismo (cf. Aires, 1906, 1920). Esses defeitos também foram referidos por Colomb e Houlbert (1903), mas com o apoio de ilustrações, em alguns casos. Nenhum dos autores dos manuais caracterizou os defeitos da visão com ilustrações, no entanto, Aires (1906) explicou a forma como podem ser corrigidos através de lentes.

Acerca da hipermetropia, a sua origem resulta de um olho cujo diâmetro antero-posterior é mais curto do que o normal (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903; ver Fig. 10).

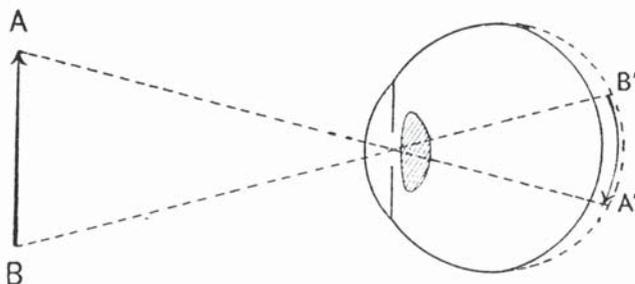


Figura 10. Olho hipermetrope, no qual a formação das imagens ocorre atrás da retina (Colomb & Houlbert, 1903, fig. 163, p. 216).

Esse olho não poderá observar nitidamente objetos muito distantes porque, ficando a retina muito perto do cristalino, os raios paralelos ao seu eixo irão encontrar-se atrás dessa membrana, formando-se, portanto, a imagem dos objetos atrás da retina (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939). Esse defeito é corrigido através da aplicação de lentes convergentes que fazem avançar para a retina as imagens dos objetos afastados (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903).

A miopia resulta do diâmetro antero-posterior do olho ser superior ao normal (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903; ver a Fig. 11).

Nesse caso, a imagem dos objetos afastados forma-se à frente da retina (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939), conduzindo o míope a ver mal os objetos

afastados, mas com nitidez os objetos próximos (Aires, 1906). Esse fenômeno corrige-se com lentes divergentes que permitem a observação nítida de imagens afastadas (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903).

O presbitismo não resulta de um defeito do globo ocular, mas sim do poder de acomodação do olho diminuir com a idade, impossibilitando a visualização nítida de imagens próximas (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903). Esse poder de acomoda-

ção reduzido deve-se à diminuição da elasticidade do cristalino, principalmente nas pessoas idosas (cf. Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939). Os objetos colocados à distância de 10 a 12 cm, formam a imagem atrás da retina, como nos hipermetropes. Devido a isso, este defeito da visão corrige-se da mesma forma que nestes, ou seja, através da aplicação de lentes convergentes (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903).

O astigmatismo deve-se à desigualdade de curvatura dos diferentes meridianos do globo ocular, não sendo por isso igualmente nítida a visão em todas as direções (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903). Nesse caso formam-se imagens deformadas, uma consequência dos raios não convergirem no mesmo ponto (cf. Colomb & Houlbert, 1903; Primo, 1939). Um olho com esse defeito de visão pode, por exemplo, ser normal para as linhas horizontais e míope para as verticais, ou vice-versa (Aires, 1906). Assim, o indivíduo tem tendência para alongar os objetos nas direções em que os observa mais nitidamente. Corrige-se esse defeito através do uso de lentes cilíndricas (cf. Aires, 1906; Colomb & Houlbert, 1903).

O estrabismo não foi apresentado por Aires (1906) na seção destinada aos efeitos da visão, mas como exemplo da má formação das imagens na retina. Os estrábicos, devido a músculos desiguais que comandam os movimentos dos olhos (cf. Colomb e Houlbert, 1903), veem objetos duplos enquanto não se habituam a referir ao mesmo objeto duas imagens formadas em pontos normalmente não correspondentes (cf. Aires, 1906). Esse exemplo foi distinto do que apresentou no manual de 1920, já que se nesse livro preferiu explicar que ao aplicar pressão sobre os olhos veem-se dois objetos, correspondentes a duas imagens.

O albinismo, de acordo com Aires (1906, 1920), resulta do fato de algumas pessoas não possuírem o pigmento da coróide, pelo que não veem quase nada quando a luz é muito intensa.

O daltonismo resulta de certas pessoas não distinguirem algumas cores, normalmente o vermelho e o verde (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903). Houve

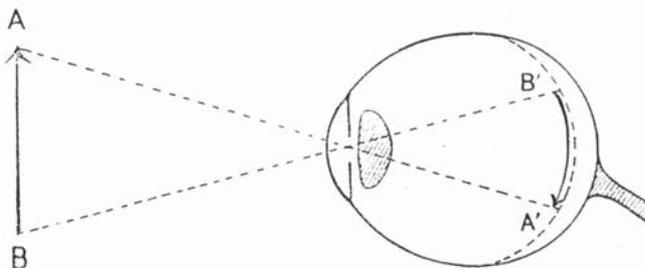


Figura 11. Olho míope, no qual a formação das imagens ocorre à frente da retina (Colomb & Houlbert, 1903, fig. 162, p. 215).

uma clara colagem do texto de Aires (1906, 1920) ao de Colomb e Houlbert (1903) quanto aos exemplos relativos à importância do daltonismo para o desempenho de algumas profissões, porque ambos indicaram os empregados do caminho-de-ferro e os marinheiros, ambas profissões em que se usam sinais coloridos. Aires (1906, 1920) ainda referiu um caso mais severo de daltonismo, a cromatopsia, um problema em que as pessoas não distinguem nenhuma cor, um problema inicialmente relatado por Dalton, em 1798 (cf. Yellott, 2015).

6.3 AS SENSACÕES VISUAIS E AS ILUSÕES ÓPTICAS

Aires (1906, 1920) foi o único autor a dedicar um capítulo aos fenômenos que designou por “sensações visuais”. Começou por explicar o significado do *ponto cego*. Referiu que o ponto cego é a parte da retina onde emerge o nervo óptico, pelo que é desprovido dos elementos sensíveis da retina (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903), os cones e bastonetes (cf. Aires, 1906, 1920), sendo, por isso, “insensível à luz” (Gray, 1926, p. 1.020). Para ilustrar a presença do ponto negro, Aires (1906, 1920) e Colomb e Houlbert (1903), apresentaram uma atividade prática, a experiência de Mariotte, o físico francês responsável pela descoberta do ponto cego (cf. Yellott, 2015). O primeiro procedimento consiste em marcar numa folha de papel branco dois pontos pretos à distância de alguns centímetros (cf. Aires, 1906, 1920), ou, em alternativa, dois círculos brancos num fundo negro, conforme proposto por Colomb e Houlbert (1903). De seguida, com um olho aberto e o outro fechado, deve-se fixar um desses pontos. Ao aproximar-se o papel da face, o olho aberto deixa de ver o segundo ponto, “precisamente quando a sua imagem se forma no ponto cego” (Aires, 1906, p. 157; 1920, p. 192). Colomb e Houlbert (1903) indicaram que esse fenómeno observa-se a uma distância de 20 a 25 cm da face.

Aires (1906, 1920) referiu, ainda, que as restantes partes da retina são sensíveis à luz de forma desigual. A região mais sensível, com aproximadamente 1 mm², designa-se por mancha amarela ou *fovea centralis*, está situada fora do ponto cego e apenas possui cones. Colomb e Houlbert designaram essa zona por “*tachejaune*” (mancha amarela) (p. 213) e identificaram-na com a letra J na ilustração da figura 1, enquanto Gray (1926) preferiu designá-la pela sua expressão em latim, *macula lutea*. De acordo com Aires (1906, 1920), é nela que se forma a imagem quando o olho fixa objetos diretamente, como no caso da leitura. Colomb e Houlbert (1903) aprofundaram essa explicação ao afirmarem que, como é a zona onde as imagens se formam com maior nitidez, dirigimos instintivamente os olhos de modo a que as imagens se formem nesse ponto.

Aires (1906, 1920) apresentou ainda as características da visão binocular e monocular. No caso da primeira, a sensação de relevo das imagens resulta das duas

imagens, direita e esquerda, não serem iguais porque cada olho vê certas partes do objeto que o outro não observa ou observa mal. No caso da visão monocular, a sensação de relevo, embora existente, é imperfeita, porque é realizada apenas através de um olho.

Outro aspecto curioso a que deu atenção foi às ilusões ópticas, um assunto também abordado por Colomb e Houlbert (1903). As ilusões ópticas, segundo Aires, resultam da “vista poder dar-nos ideias erradas” (1906, p. 159; 1920, p. 194). Um dos exemplos que Aires (1906, 1920) e Colomb e Houlbert (1903) apresentaram foi um quadrado branco sobre fundo negro e um quadrado negro sobre fundo branco, ao lado uns dos outros, darem a sensação de que o quadrado branco parece maior do que o preto. De acordo com Aires (1906, 1920), isso explica-se admitindo-se que os pontos brancos impressionam não só os pontos da retina em que se vão projetar, mas ainda os vizinhos, um fenômeno que designou irradiação. Colomb e Houlbert (1903) designaram da mesma forma esse fenômeno, mas não apresentaram a explicação anterior.

Outros exemplos de ilusões ópticas é o caso de uma reta cortada por um certo número de traços parecer maior do que uma reta contínua de igual comprimento, ou as árvores paralelas de um passeio parecerem-se encontrar ao longe (Aires, 1906, 1920). Várias ilusões que resultam do contraste das cores, e que não se encontram referidas no livro de Colomb e Houlbert (1903), também foram apresentadas por Aires (1906, 1920).

6.4 REGRAS HIGIÉNICAS DA VISÃO

A delicadeza dos órgãos que constituem a vista exige cuidados especiais para que possa funcionar devidamente (cf. Colomb & Houlbert, 1903; Soeiro, 1950). Nesse sentido, deve-se evitar as compressões fortes sobre os olhos, a ação do fumo (cf. Soeiro, 1950), do pó e do calor (cf. Colomb & Houlbert, 1903; Soeiro, 1950).

Um dos problemas que pode resultar do mau uso da vista é a miopia (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903). A miopia é causada por fatores como luz pouco intensa ou a visão demorada de pequenos objetos (cf. Aires, 1906, 1920; Colomb & Houlbert, 1903; Soeiro, 1950), as observações com o microscópio ou instrumentos de óptica semelhantes (cf. Aires, 1906, 1920).

Outro aspecto a que chamaram a atenção foi a qualidade da luz. Soeiro (1950) aconselhou que não é conveniente ler, escrever, bordar ou costurar a uma luz muito intensa, nem a uma luz deficiente. Aires (1906, 1920) explicou que a luz muito intensa, ou de média intensidade, mas atuando por muito tempo, produz oftalmias. Por essas razões, Aires (1906, 1920) e Soeiro (1950) sugeriram que os objetos de trabalho fossem colocados à distância de 30 a 40 cm. Nas escolas, o cumprimento dessa regra é ainda mais importante, pelo que os bancos não devem estar muito distantes da mesa e

a leitura deve ser realizada com o livro inclinado a 40° , com luz proveniente de ambos os lados (Aires, 1906, 1920). Aires (1906, 1920) sugeriu que é também aconselhável interromper a leitura de duas em duas horas e, na mesma linha de pensamento, Soeiro alertou que “quando haja necessidade dum trabalho demorado, devemos deixar descansar os olhos ao sentir a menor fadiga” (1950, p. 415). Aires (1906, 1920) fez ainda uma observação sobre as cores da luz mais aconselháveis para a leitura, indicando que as mais apropriadas são o azul e o verde, sendo a cor branca a mais prejudicial.

CONCLUSÃO

A análise global dos conteúdos programáticos da primeira metade do século xx mostrou que o estudo do sentido da visão se incorporou na temática “órgãos dos sentidos”, associado, em alguns casos, às normas de higiene desses órgãos.

No que diz respeito aos manuais, a análise de conteúdo evidenciou que os autores preferiram separar, em lições distintas, a anatomia do olho, o mecanismo da visão e as regras de higiene. Constatou-se ainda que a profundidade da abordagem ao sentido da visão foi desigual porque os manuais mais antigos, da autoria de Aires (1906, 1920) foram os mais detalhados, em comparação com os de Primo (1939) e Soeiro (1930, 1950). Através deste estudo foi notório que Aires (1906, 1920) apresentou uma descrição anatômica exaustiva, narrando com pormenor as várias estruturas do olho humano e o modo como interagem entre si para produzirem imagens.

A linha descritiva sobre o sentido da visão foi a seguida pelos livros científicos de referência da época, como o de Colomb e Houlbert (1903). É provável que a anatomia do sentido da visão apresentada em livros como o anterior tenha influenciado a transposição didática realizada por Aires (1906, 1920) nos manuais *Lições de zoologia*, dada a proximidade temporal entre essa obra e uma clara similitude entre a descrição das estruturas do olho humano e dos seus órgãos acessórios, em ambos os textos. De fato, todas as estruturas do sentido da visão referidas por Aires (1906, 1920) e pelos restantes autores podem-se encontrar na obra de Colomb e Houlbert (1903), tendo havido pouca evolução na transposição didática da anatomia da visão conhecida no início do século xx para os manuais publicados até ao final da primeira metade do século xx.

Globalmente, os aspectos materiais e iconográficos dos manuais publicados nas décadas de 1930 e 1950 não se distanciaram substancialmente dos publicados nas primeiras décadas do século xx. Os aspectos materiais e iconográficos dos manuais portugueses, a par dos manuais espanhóis, seguiam os modelos tradicionais e eram reproduzidos sobre suportes de baixa qualidade, as ilustrações eram pouco atrativas e impressas sobre papel reciclado, quase sempre em uma única cor (cf. Benito, 1998).

A apresentação de algumas imagens sobre o sentido da visão no livro de Colomb e Houlbert (1903), associada a uma descrição anatômica exaustiva, foi um estilo repetido nos manuais analisados. Porém, a apresentação de imagens sobre os componentes do olho humano, algumas bastante minuciosas, constituiu uma mais-valia para a aprendizagem dos estudantes, porque, desse modo, facilitaria a associação das complexas estruturas anatômicas que estavam a ser descritas textualmente à sua forma, posição e relação com outras estruturas indicadas nas figuras, à falta de modelos anatómicos do olho humano.

Levanta-se a hipótese dos autores se terem inspirado no estilo dos manuais dos seus antecessores para redigirem as suas obras, em virtude da similitude das unidades de contexto sobre o sentido da visão e do grau de profundidade com que foram apresentadas. De fato, até as ilustrações usadas pelos diferentes autores foram semelhantes.

Quanto ao mecanismo da visão, os autores apresentaram um conhecimento substancial sobre o percurso da luz através das diferentes estruturas do olho humano e o tipo de imagem resultante, com especial relevo para a formação das imagens na retina, embora tenha sido Aires (1906, 1920) a apresentá-lo com maior desenvolvimento. De fato, Aires (1906, 1920) foi o único a dedicar algumas lições às sensações visuais, ilusões ópticas, contraste das cores e à explicação sobre as condições necessárias para a nitidez das imagens.

O domínio dos conceitos de óptica esteve explícito também na exploração dos defeitos da visão por Aires (1906) e Primo (1939). Porém, acerca do processamento cerebral da visão, os autores pouco ou nada disseram. Sabiam com clareza que a imagem se formava na retina e que daí era transmitida ao nervo óptico, mas desconheciam o importante papel do encéfalo na descodificação desses sinais, porventura por ser ainda pouco conhecido nessa época.☉

Bento CAVADAS

Escola Superior de Educação,

Instituto Politécnico de Santarém,

Centro de Estudos Interdisciplinares em Educação e Desenvolvimento,

Universidade Lusófona, Portugal.

bento.cavadas@ese.ipsantarem.pt

The mechanism of vision:
the path of light through the human eye
in Portuguese textbooks of natural sciences (1900-1950)

ABSTRACT

Following the celebration of the International Year of Light (2015), the main objective of this article is to show how vision was presented in the curriculum and in natural science textbooks published in the first half of the 20th century in Portugal. For this purpose, a qualitative method based on the Chevallard's concept of didactic transposition was used. The content of the natural sciences curriculum showed that the study of vision was always associated to the study of sense organs. The anatomical description of the sense of vision was organized mainly around the eyeball and organs that are accessory to the eye. The analysis of textbooks showed that the didactic transposition of scientific knowledge about vision was based in detailed descriptions of the membranes and humors of the eye, of accessory organs and of the constitution and functioning of the lacrimal mechanism. The authors also showed a profound knowledge of the mechanism of vision, explaining clearly the path taken by light from the eyeball to the retina, leading to the formation of images. The textbooks published in the two first decades of the 20th century offered more complete accounts of these organs and the vision mechanism than those published between the 30's and the 50's.

KEYWORDS • Teaching. Textbooks. Light. Human eye. Vision.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAN, E. D., & MATTHEWS, R. The action of light on the eye: Part I. The discharge of impulses in the optic nerve and its relation to the electric changes in the retina. *The Journal of Physiology*, 63, 4, p. 378-414, 1927.
- _____. The action of light on the eye. Part II. The processes involved in retinal excitation. *The Journal of Physiology*, 64, 3, p. 279-301, 1928a.
- _____. The action of light on the eye. Part III. The interaction of retinal neurones. *The Journal of Physiology*, 65, 3, p. 273-98, 1928b.
- AIRES, B. *Lições de zoologia para a 4a e 5a classes dos lyceus*. Braga: Livraria Cruz Editores, 1906.
- _____. *Lições de zoologia para a 3a, 4a e 5a classes dos liceus*. Braga: Livraria Cruz Editores, 1920.
- AMADO, J. (Ed.). *Manual de investigação qualitativa em educação*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2013.
- AMADO, J.; COSTA, A. P.; & CRUSOÉ, N. A técnica da análise de conteúdo. In: AMADO, J. (Ed.). *Manual de investigação qualitativa em educação*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2013. p. 299-351.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1979.
- BENITO, A. E. (Ed.). *Historia ilustrada del libro escolar en España. De la posguerra la reforma educativa*. Madrid: Fundación Germán Sánchez Ruipérez, 1998.
- BERNARDO, L. M. *História da luz e das cores*. 2 ed. Porto: Editora da Universidade do Porto, 2009. v. 1.
- BEZERRA, V. A. Notícia bibliográfica sobre Einstein na Internet. *Scientiae Studia*, 3, 4, p. 741-4, 2005. Disponível em: <http://www.scientiaestudia.org.br/biblioteca/biblio_einstein.asp>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- BOGDAN, R., & BIKLEN, S. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora, 1994.
- CAVADAS, B. A evolução dos manuais escolares de ciências naturais do ensino secundário em Portugal 1836-2005. Salamanca, 2008. Tese (Doutorado em Educação). Facultad de Educación. Universidad de Salamanca.

- CHERVEL, A. Historia de las disciplinas escolares. Reflexiones sobre un campo de investigación. *Revista de Educación*, 295, p. 59-111, 1991.
- CHEVALLARD, Y. *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1991.
- CHOPPIN, A. *Manuels scolaires: histoire et actualité*. Paris: Hachette Éducation, 1992.
- CIRCULAR 1.418. *Diário do Governo, I Série*, 231, de 4 de outubro de 1947. (Circular aos reitores dos liceus acerca dos programas das disciplinas do curso geral dos liceus para servirem durante o ano letivo de 1947-48.)
- COLOMB, G. & HOULBERT, C. *L'homme (anatomie et physiologie)*. Paris: Armand Colin, 1903.
- DECRETO 3, de 3 de novembro de 1905. *Diário do Governo*, 250, de 4 de novembro de 1905. (Aprova os programas do ensino liceal – 1905.)
- DECRETO 6.132, de 26 de Setembro de 1919. *Diário do Governo, I Série*, 196, de 26 de setembro de 1919. (Aprova os programas e quadros de distribuição das disciplinas liceais – 1919.)
- DECRETO 12.594, de 2 novembro de 1926. *Diário do Governo, I Série*, 245, de 2 de novembro de 1926. (Aprova os programas dos cursos de instrução secundária – 1926.)
- DECRETO 16.362, de 14 de Janeiro de 1929. *Diário do Governo, I Série*, 11, de 14 de janeiro de 1929. (Aprova os programas dos cursos complementares dos liceus – 1929.)
- DECRETO 18.885. *Diário do Governo, I Série*, 225, de 27 de setembro de 1930. (Aprova os programas de todas as classes do ensino secundário para entrarem em vigor no ano letivo 1930-1931.)
- DECRETO 20.369. *Diário do Governo, I Série*, 232, de 8 de outubro de 1931. (Aprova os programas de todas as classes do ensino secundário para entrarem em vigor no ano letivo 1931-1932.)
- DECRETO 24.526, de 06 outubro de 1934. *Diário do Governo, I Série*, 235, de 6 de outubro de 1934. (Aprova os programas de todas as classes do ensino secundário para entrarem em vigor no ano letivo 1934-1935.)
- DECRETO 27.085, de 14 outubro de 1936. *Diário do Governo, I Série*, 241, de 14 de outubro de 1936. (Aprova os programas de todas as disciplinas do ensino liceal para entrarem em vigor no ano letivo 1936-1937.)
- DECRETO 37.112, de 22 outubro de 1948. *Diário do Governo, I Série*, 247, de 22 de outubro de 1948. (Aprova os programas das disciplinas do ensino liceal – 1948.)
- EINSTEIN, A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 322, 10, p. 891-921, 1905.
- ENCYCLOPÆDIA Britannica. *Johannes Kepler. German astronomer*, 2015. Disponível em: <<http://www.britannica.com/biography/Johannes-Kepler/Astronomical-work>>. Acesso em: 08 ago. 2015.
- FERNÁNDEZ, R. C. *Sociogénesis de una disciplina escolar: la Historia*. Barcelona: Ediciones Pomares-Corredor, 1997.
- GAVROGLU, K. *O passado das ciências como história*. Porto: Porto Editora, 2007.
- GRAY, H. *Anatomy descriptive and applied*. 23 ed. London: Longmans, 1926.
- HARMS, N. C. & YAGER, R. E. *What research says to the science teacher*. Washington: National Science Teachers Association, 1981. v. 3.
- HECHT, S.; SHLAER, S. & PIRENNE, M. H. Energy, quanta, and vision. *The Journal of General Physiology*, 25, 6, p. 819-40, 1942.
- UNESCO. International Year of Light and Light-based Technologies, 2015. Disponível em: <<http://www.light2015.org/Home/About.html>>. Acesso em: 07 ago. 2015. (IYL)
- NEWTON, I. *Opticks or, a Treatise of the reflections, refractions, inflections, and colours of light*. The Project Gutenberg EBook of Opticks, by Isaac Newton, 2010 [1704]. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/files/33504/33504-h/33504-h.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2015.
- PRIMO, S. DA C. *Compêndio de zoologia para o IV, V e VI anos dos liceus*. Lisboa: Livraria Bertrand, 1939.
- _____. *Curriculum vitae: Seomara da Costa Primo*. Lisboa: [s. n.], 1943.

- SIMONZ, H. J. & TONKELAAR, D. 19th century mechanical models of eye movements, Donders law, Listing's law and Helmholtz' direction circles. *Documenta Ophthalmologica*, 74, p. 95-112, 1990.
- SMITH, A. M. Descartes's theory of light and refraction: a discourse on method. *Transactions of the American Philosophical Society*, 77, 1987. Disponível em: <https://books.google.fr/books?id=Ei8LAAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 8 ago. 2015.
- SOEIRO, A. C. G. *Noções de zoologia segundo os programas da 5ª classe dos liceus*. Porto: Edição do Autor, 1930.
- _____. *Compêndio de zoologia para o 2º. ciclo liceal*. Porto: Livraria Simões Lopes, 1950.
- TOMBRAN-TINK, J. & BARNSTABLE, C. J. *Retinal degenerations: Biology, diagnostics and therapeutics*. New Jersey: Humana Press, 2007.
- TOSSATO, C. R. A função do olho humano na óptica do final do século XVI. *Scientiae Studia*, 3, 3, p. 415-41, 2005.
- _____. Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler. *Scientiae Studia*, 5, 4, p. 471-99, 2007.
- YELLOTT, J. Important dates in vision science. A chronological history of vision research: 1600-1960, 2015. Disponível em: <http://www.socsci.uci.edu/~jyellott/yellott_dates.html>. Acesso em: 08 ago. 2015.

