

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Física

ÓPTICA E A VISÃO HUMANA

André Buzatto Correa Bueno

Prof. Dr. Francisco José dos Santos

Rio Claro (SP)

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

ANDRÉ BUZATTO CORREA BUENO

ÓPTICA E A VISÃO HUMANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Rio Claro - SP

2012

ANDRÉ BUZATTO CORRÊA BUENO

ÓPTICA E A VISÃO HUMANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Licenciado em Física

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Francisco José dos Santos (orientador)

Prof. Dr. Edson José Vasques

Prof. Dr. Gerson Antonio Santarine

Rio Claro, 05 de Novembro de 2012

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Paulo Roberto Corrêa Bueno e Maria Cristina Buzatto Corrêa Bueno pelo suporte e ajuda em todos os momentos, principalmente na minha formação em Física e ao restante da família pelo apoio.

Aos amigos e colegas de curso pelos bons e maus momentos juntos, onde tudo cooperou para uma melhor formação de cada um.

Aos professores que lecionaram a mim nesses quatro anos de curso, pela paciência para ensinar e me auxiliar em todas as dificuldades encontradas, em especial ao meu orientador, Francisco José dos Santos, por aceitar o desafio de iniciar este trabalho, e me ajudar a concluí-lo com sucesso.

A minha noiva Natalia Batagello Vieira pelo amor e alegria em todos os momentos do caminho até aqui trilhado.

E a todos os demais que me ajudaram a chegar até aqui, meus sinceros agradecimentos.

“(...) Eis que o temor do Senhor é a sabedoria,
e apartar-se do mal é a inteligência.”

Jó 28:28

RESUMO

A óptica consiste no estudo da interação da luz com sistemas físicos, e a visão humana é fruto da interação da luz com o globo ocular (um sistema físico muito particular). Realiza-se nesse trabalho um estudo básico da relação entre a óptica e a visão humana e apresenta-se:

- Os fundamentos e as propriedades físicas que caracterizam a luz e as cores e características dos meios de incidência

- As leis básicas da óptica geométrica, baseadas na propagação retilínea da luz na forma de raio de luz, na independência dos raios de luz e no princípio de reversibilidade dos feixes de luz. Esses princípios são apresentados no processo de formação das imagens em lentes e espelhos e aplicados ao estudo da formação da imagem no olho humano.

- As leis da refração e reflexão e tipos de lentes, que permitem a construção de dispositivos ópticos para o estudo do universo físico e dos aparelhos de correção de defeitos da visão.

- Analisa-se o processo de visão humana que consiste na recepção da luz (radiação eletromagnética na faixa de comprimento de onda visível para nós) pelo olho e o envio da informação obtida pela retina para a interpretação pelo cérebro. A visão envolve a relação biofísica entre a luz e a estrutura biológica do olho constituída pela córnea, a íris, o cristalino e a retina. Avalia-se como cada parte do olho executa uma função na recepção e envio da informação das imagens até o cérebro.

Palavras-chave: Óptica. Visão. Luz.

ABSTRACT

Optics consists in the study of interaction of light with physical systems. The human vision is a product of the interaction of light with the eye (a very peculiar physical system). Here we present a basic study of the relationship between the optics and human vision, including:

- The fundamentals and physical properties who characterize the light and the colors and the characteristics of the incidence mediums.
- The basics laws of geometrical optics, based in the rectilinear propagation of light in the form of a light ray, in the independence of light rays and in the principle of reversibility of the light beams. This principle is present in the process of image formations in lenses and mirrors and applied in the study of image formation in the human eye.
- The refraction and reflection laws and types of lenses, who permits the construction of optics devices for the study of physical universe, and the appliances to correct vision diseases.
- Presents the human vision process as consisting in the reception of light (electromagnetic radiation in the zone of wavelength visible to us) through the eye and the sending of information obtained by the retina to the brain where it is interpreted. The vision involves a biophysical relation between the light and the biological structure of the eye who is constituted by cornea, iris, crystalline and retina. Analyzes is made of how some parts of the eye performs a function in the reception and sending of information of the images to the brain.

Keywords: Optics. Human vision. Light.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 A LUZ.....	2
2.1 Óptica	3
2.2 Fontes de luz.....	3
2.3 Meios de incidência	4
2.4 Características da luz (radiação eletromagnética)	5
2.4.1 Frequência e período	5
2.4.2 Comprimento de onda	6
2.4.3 Velocidade	6
2.5 Luz monocromática e luz policromática.....	6
2.6 Cor e velocidade da luz	7
2.7 Índice de refração	8
2.7.1 Índice de refração absoluto.....	8
2.7.2 Refringência.....	8
2.7.3 Influência da frequência da luz no índice de refração	8
2.7.4 Índice de refração relativo	3
2.8 Refração e reflexão.....	3
2.8.1 Refração.....	3
2.8.2 Reflexão.....	3
CAPÍTULO 3 LENTES ESFÉRICAS	15
3.1 Classificação e comportamento	3
3.1.1 Classificação.....	3
3.1.2 Comportamento óptico	3

3.2	A influência do índice de refração.....	3
3.3	Centro óptico	3
3.4	Focos, distância focal e pontos antiprincipais	21
3.4.1	Focos.....	21
3.4.2	Distância focal	22
3.4.3	Pontos antiprincipais	23
3.4.4	Imagem real e virtual.....	23
3.5	Construção gráfica das imagens nas lentes esféricas.....	3
3.5.1	Lente divergente	3
3.5.2	Lente convergente.....	24
CAPÍTULO 4 EQUAÇÕES		28
4.1	Equação de Gauss	28
4.2	Aumento linear transversal.....	28
4.3	Vergência.....	29
CAPÍTULO 5 INSTRUMENTOS ÓPTICOS		30
5.1	A lupa (microscópio simples).....	30
5.2	Microscópio composto	32
5.3	Luneta	33
5.4	Telelupa	34
5.5	Óculos.....	35
CAPÍTULO 6 O OLHO HUMANO		37
6.1	Câmera fotográfica	37
6.2	Constituição	38
6.3	O processo da visão	39
6.4	Espectro visível	40

CAPÍTULO 7 DOENÇAS DA VISÃO E POSSÍVEIS CORREÇÕES.....	42
7.1 Miopia.....	42
7.2 Hipermetropia.....	43
7.3 Astigmatismo.....	43
7.4 Presbiopia	44
7.5 Catarata.....	45
7.6 Toxoplasmose.....	46
CAPÍTULO 8 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A óptica é um ramo de grande importância no estudo da física, podendo ser aplicada, por exemplo, com o uso de microscópios na biologia, para o estudo de microrganismos como vírus e bactérias, de telescópios na astronomia, para a observação de elementos do cosmos como planetas, estrelas e nebulosas e também para explicar e auxiliar na correção de problemas visuais. A óptica estuda os fenômenos da interação da luz com sistemas físicos, e nesse trabalho é de especial interesse o estudo físico do processo da visão humana.

O processo de visão humana consiste na recepção da luz (radiação eletromagnética na faixa de comprimento de onda visível para nós) pelo olho e o envio da informação obtida pela retina para a interpretação pelo cérebro. A visão não é um fenômeno apenas óptico físico e envolve a relação biofísica entre a luz e a estrutura biológica do olho constituída pela córnea, a íris, o cristalino e a retina. O olho funciona como uma câmera fotográfica que capta as imagens e as envia, por meio do nervo óptico, para a região posterior (occipital) do cérebro, onde os estímulos visíveis são transformados nas imagens como nós as vemos.

São objetivos desse trabalho:

- Estudo dos conceitos fundamentais da óptica e os dispositivos ópticos básicos;
- Analisar as funções físicas das diversas estruturas do olho humano e a sua relação com a visão;
- Estudar os problemas da visão e os dispositivos/processos físicos de correção.

CAPÍTULO 2

A LUZ

No estudo da óptica, a luz é o agente físico que atuando nos órgãos visuais, produz a sensação da visão. É uma energia radiante, aquela que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas, como as ondas de rádio, TV e de radar, raios infravermelhos, raios ultravioleta, raios gama etc. Sendo uma onda eletromagnética, ela se propaga em dois campos variáveis periodicamente, um elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si e à direção de propagação da onda, ilustrada na Figura 2.1 a seguir.

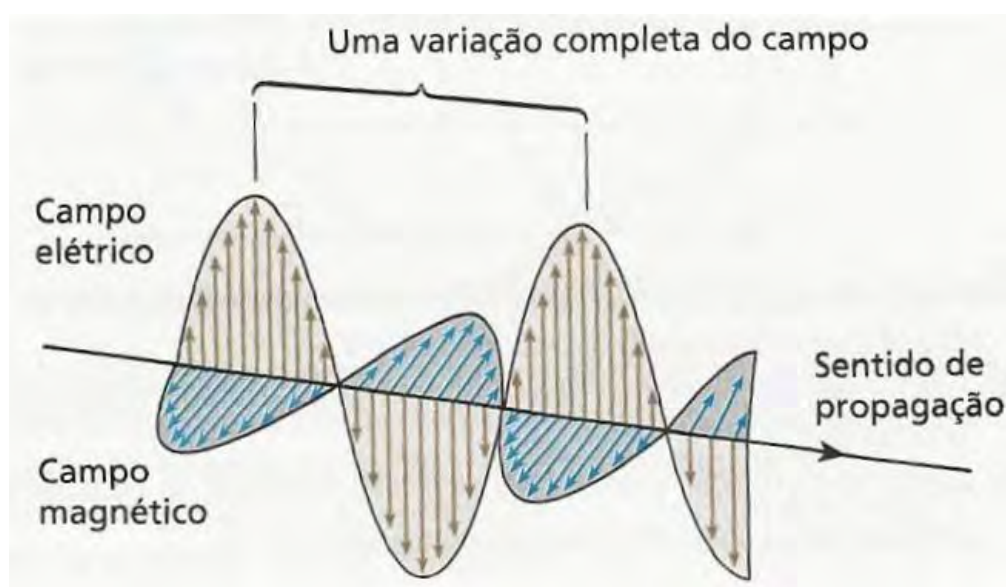


Figura 2.1 – Propagação ondulatória da luz. Fonte: Newton et al (2007)

Contudo, segundo YOUNG E FREEDMAN (2009), além da natureza ondulatória, a luz possui natureza corpuscular, necessária para explicar sua emissão e absorção. Esses dois aspectos foram conciliados em 1930, com o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica, teoria que os explica simultaneamente.

2.1 Óptica

A óptica é a parte da Física que trata dos fenômenos causados pela luz. Algumas de suas aplicações são: correção de defeitos da visão; construção de instrumentos ópticos de observação como lupas, lunetas e telescópios; estudo da estrutura do átomo entre outras.

2.2 Fontes de luz

Fontes de luz são todos os corpos dos quais se pode receber luz. Podem ser classificadas como fontes primárias, quando emitem luz própria, ou secundárias, que enviam a luz que recebem de outras fontes.

Nas Figuras 2.2 e 2.3 temos um exemplo de fonte primária (sol) e outra secundária (lua, iluminada pelo sol), respectivamente.



Figura 2.2 – Fonte primária. Fonte: NEWTON et al (2007)



Figura 2.2 – Fonte secundária. FILHO E SOUZA (2012)

2.3 Meios de incidência

Existem três meios em que a luz interage: Meios transparentes, meios translúcidos e meios opacos. Nas Figuras 2.4 à 2.6, apresentam-se esquemas dos mesmos.

Meios transparentes: São aqueles que permitem que a luz os atravesse descrevendo trajetórias regulares e bem definidas. O único meio absolutamente transparente é o vácuo. Entretanto, em camadas de espessura não muito grande, também podem ser considerados transparentes o ar atmosférico, a água pura, o vidro hialino e outros. (NEWTON et al, 2007)

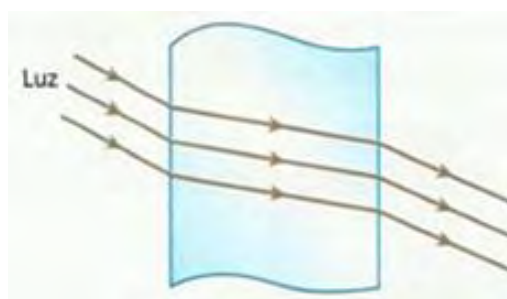


Figura 2.3 – Esquema de meio transparente. Fonte: NEWTON et al (2007)

Meios translúcidos: São aqueles em que a luz descreve trajetórias irregulares com intensa difusão (espalhamento aleatório), provocada pelas partículas desses meios. É o que ocorre, por exemplo, quando a luz atravessa a neblina, o vidro leitoso, o papel vegetal e o papel-manteiga.

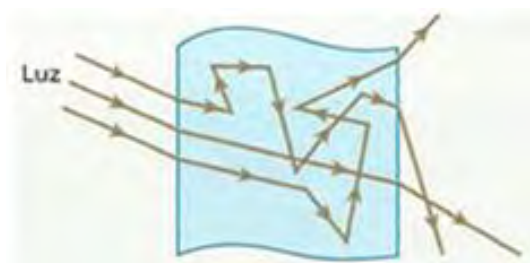


Figura 2.4 – Esquema de meio translúcido. Fonte: NEWTON et al (2007)

Meios opacos: São aqueles através dos quais a luz não se propaga. Depois de incidir num meio opaco, a luz é parcialmente absorvida e parcialmente refletida por ele, sendo a parcela absorvida convertida em outras formas de energia, como a energia térmica. Quando se apresentam em camadas de razoável espessura, são opacos os seguintes meios: alvenaria, madeira, papelão, metais etc.

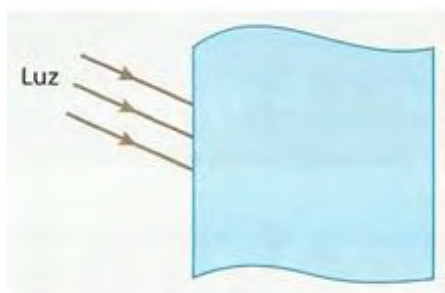


Figura 2.5 – Esquema de meio opaco. NEWTON et al (2007)

2.4 Características da luz (radiação eletromagnética)

Apresentam-se nesta seção as propriedades que caracterizam a luz como radiação eletromagnética.

2.4.1 Frequência e período

Todo fenômeno ondulatório é caracterizado por se manifestar com frequência, período de oscilação e velocidade de propagação.

Define-se frequência (f), como a razão do número completo de variações (ciclos) por unidade de tempo (s) realizados por uma onda eletromagnética, ou luz considerada. Sua unidade no SI é o hertz ($\text{Hz} = \text{um ciclo por segundo}$). A frequência é representada por:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

sendo T o período da luz, ou seja, o intervalo de tempo para que ocorra uma única variação (ciclo) completa dos campos, como mostrado na Figura 2.1.

No intervalo de radiação do espectro eletromagnético, correspondente à luz visível, cada frequência determina a sensação de uma cor.

2.4.2 Comprimento de onda

Segundo NEWTON et al (2007), a distância percorrida pela luz durante 1 período chama-se comprimento de onda da luz (λ) e sua unidade no SI é o metro (m).

2.4.3 Velocidade

Segundo TIPLER E MOSCA (2008), a velocidade de propagação de uma onda é dada pela razão entre o espaço percorrido pela luz e o tempo gasto para percorrê-lo; e pode ser expressa pela relação:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2.2)$$

Considerando a equação (2.1):

$$v = \lambda f \quad (2.3)$$

2.5 Luz monocromática e luz policromática

Uma luz é considerada monocromática quando é constituída de ondas eletromagnéticas de uma única frequência, e policromática quando é constituída de ondas eletromagnéticas de varias frequências distintas.

A “luz branca” solar costuma ser descrita por meio de sete cores componentes (apesar de haver uma infinidade de cores entre elas):

- Vermelho – menor frequência

- Alaranjado
- Amarelo
- Verde
- Azul
- Anil
- Violeta – maior frequência

2.6 Cor e velocidade da luz

Quando a luz se propaga no vácuo, a velocidade de propagação é exatamente a mesma qualquer que seja a cor, isto é, qualquer que seja a sua frequência.

Segundo YOUNG E FREEDMAN (2009), a luz se propaga no vácuo com velocidade igual a $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Em um meio qualquer, que não seja o vácuo, como consequência da equação (2.3), percebe-se que quando a frequência da luz é alterada, altera-se também sua velocidade. A Figura 2.7 apresenta um gráfico da velocidade da luz em relação a sua frequência no vácuo e em um meio material.

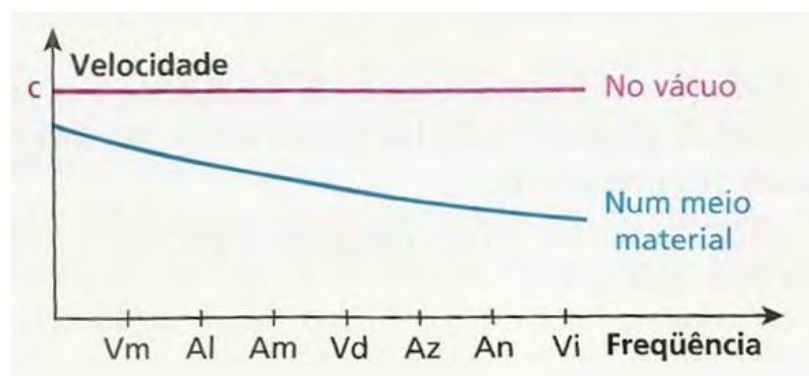


Figura 2.6 – Gráfico velocidade x frequência. Fonte: NEWTON et al (2007)

2.7 Índice de refração

A refração da luz quando passa de um meio para outro, consiste no desvio da radiação alterando a sua direção de propagação.

2.7.1 Índice de refração absoluto

Segundo TIPLER E MOSCA (2008), o índice de refração η , é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo, c , e a velocidade no meio, v ;

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (2.4)$$

Como a velocidade de propagação da luz no vácuo é c , percebe-se que a razão terá valor 1, ou seja, o índice de refração no vácuo, qualquer que seja a frequência da luz, vale 1.

2.7.2 Refringência

A refringência de um meio em relação a outro depende do índice de refração de ambos. O meio com maior valor de índice de refração será mais refringente em relação àquele com menor valor.

2.7.3 Influência da frequência da luz no índice de refração

O índice de refração do vácuo é igual a 1, qualquer que seja a luz considerada, enquanto o índice de refração de um meio material depende da frequência da luz considerada.

A Figura 2.8 apresenta o gráfico de variação do índice de refração da luz no vácuo e em outro material, conforme a frequência da luz aumenta e a Tabela 2.1 mostra os valores do índice de refração do vidro “*crown leve*” para algumas cores:

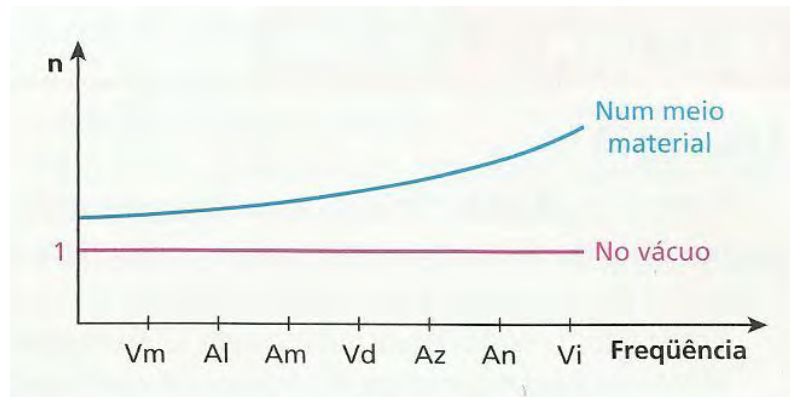


Figura 2.7 – Gráfico índice de refração x frequência. Fonte: NEWTON et al (2007)

Tabela 2.1 – Valores de índice de refração para algumas cores. Fonte NEWTON et al (2007)

Cor	η
Vermelha	1,513
Alaranjada	1,514
Amarela	1,517
Verde	1,519
Azul	1,528
Violeta	1,532

Na Tabela 2.2 a seguir, são apresentados alguns meios e seus respectivos índices de refração para a luz amarela emitida pelo sódio.

Tabela 2.2 – Valores de índice de refração para diversos materiais. Fonte: NEWTON et al (2007)

Material	η
Ar seco (0 °C, 760 mm Hg)	1,000292
Gás carbônico (0 °C, 760 mm Hg)	1,00045
Gelo (-8 °C)	1,310
Água (20 °C)	1,333
Etanol (20 °C)	1,362
Tetracloroeto de carbono	1,466
Glicerina	1,470
Monoclorobenzeno	1,527
Vidros	de 1,4 a 1,7
Diamante	2,417
Sulfeto de antimônio	2,7

2.7.4 Índice de refração relativo

Segundo Newton et al (2007), o índice de refração relativo de um meio 2 em relação a um meio 1, é simbolizado por $\eta_{2,1}$ e definido por:

$$\eta_{2,1} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad (2.5)$$

2.8 Refração e reflexão

2.8.1 Refração

A refração da luz é o fenômeno que consiste no fato da luz ser transmitida de um meio para outro com diferentes índices de refração, alterando sua velocidade e direção de propagação.

Se o raio incide em um meio mais refringente que o de origem, se aproximará da reta normal, como é o caso das Figuras 2.9 e 2.10, onde o feixe parte do ar e incide na água ($n_{\text{ar}} < n_{\text{água}}$)

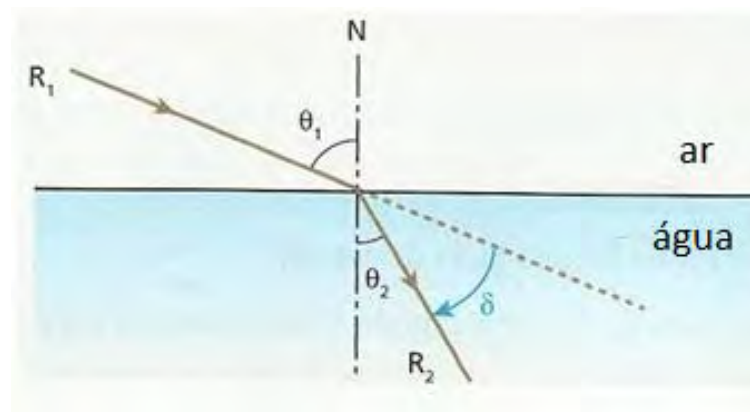


Figura 2.8 – Ilustração da refração da luz. Fonte: NEWTON et al (2007) modificada



Figura 2.9 – Pincel de luz refratando. Fonte: NEWTON et al (2007)

Entretanto, se um feixe incide em um meio menos refringente que seu meio de origem, ele se afasta da normal, como é o caso apresentado na Figura 2.11, em que o feixe de luz vai da água ao ar.

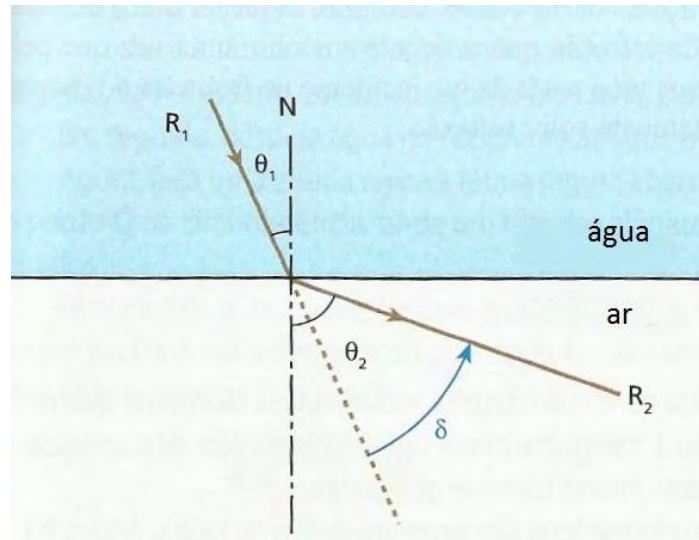


Figura 2.10 – Feixe de luz afastando-se da normal. Fonte: NEWTON et al (2007)

Segundo WALKER (2009), a lei da refração diz que o raio refratado está no plano de incidência e tem um ângulo de refração θ_2 que está relacionado com o ângulo de incidência θ_1 ;

$$\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_2 \sin \theta_2 \quad (2.6)$$

Percebe-se que, quando o raio incidente tem ângulo nulo em relação a normal, não haverá desvio desse raio no meio. A Figura 2.12 ilustra essa situação.

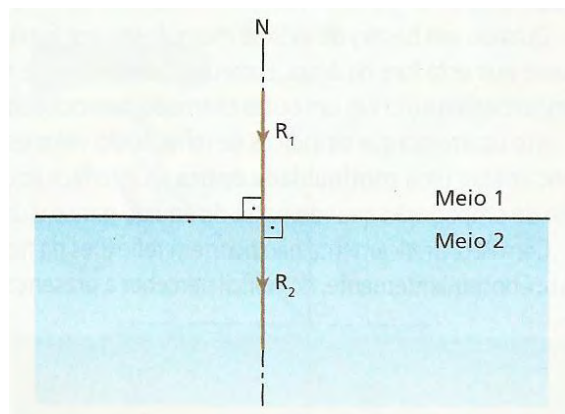


Figura 2.11 – Refração sem desvio. Fonte: NEWTON et al (2007)

2.8.2 Reflexão

A reflexão da luz é o fenômeno que consiste no fato de a luz voltar a se propagar no meio de origem, após incidir na superfície de separação desse meio com o outro. A Figura 2.13, apresenta a reflexão de um raio de luz em uma superfície polida e refletora (S).

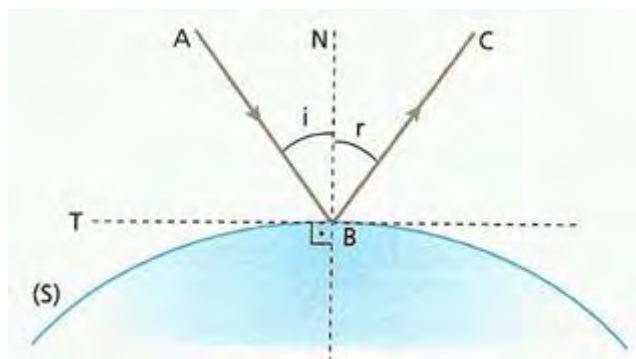


Figura 2.12 – Ilustração da reflexão da luz. Fonte: NEWTON et al (2007)

Segundo Walker (2009), a lei da reflexão diz que o raio refletido está no plano de incidência e tem um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência. Na Figura 2.13 isso significa que

$$i = r \quad (2.7)$$

O espelho plano é um exemplo de superfície refletora, sendo uma superfície plana, polida e com alto poder refletor. A Figura 2.14 ilustra um feixe de luz incidindo em um espelho plano.

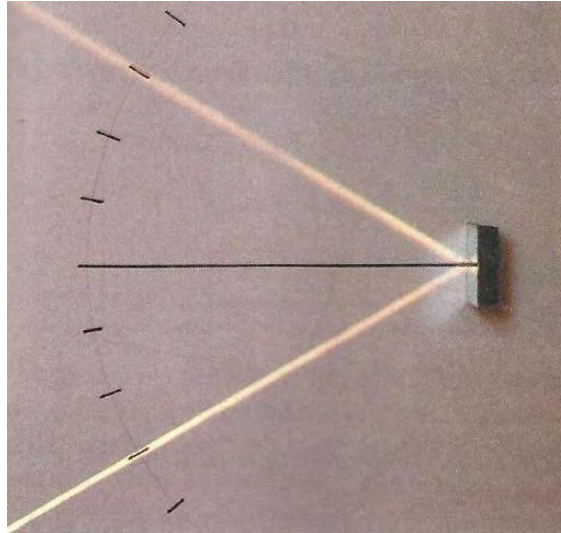


Figura 2.13 – Espelho plano. Fonte: NEWTON et al (2007)

CAPÍTULO 3

LENTEs ESFÉRICAS

Segundo WALKER (2009), uma lente é um corpo transparente limitado por duas superfícies refratoras com um eixo central em comum.

Segundo NEWTON et al (2007) a lente esférica é uma associação de dois dióptros (sistemas formados por dois meios homogêneos e transparentes), sendo um necessariamente esférico e outro plano ou também esférico.

Lentes são corpos transparentes, geralmente fabricados em vidro, cristal ou acrílico. Quando são atravessadas pela luz, fazem com que ela sofra duas refrações (Figura 2.4).

3.1 Classificação e comportamento

3.1.1 Classificação

As lentes esféricas classificam-se em duas grandes categorias, dependendo da espessura da região periférica comparada à espessura da região central: lentes de bordas finas e lentes de bordas grossas.

Nas Figuras 3.1 e 3.2, apresentam-se os três tipos de lentes de bordas finas e de bordas grossas, respectivamente.

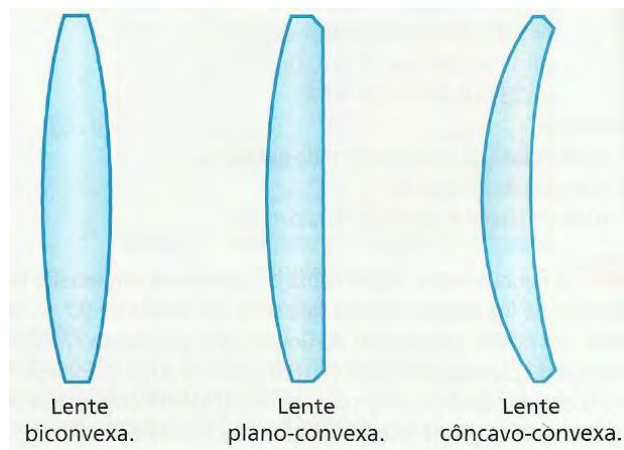


Figura 3.1 – Lentes de bordas finas. Fonte: NEWTON et al (2007)

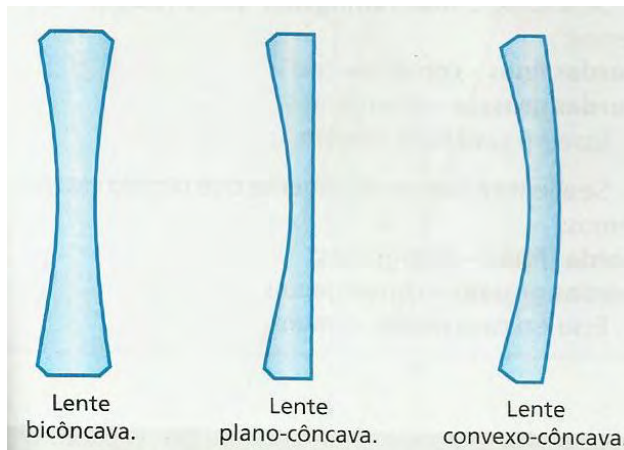


Figura 3.2 – Lentes de bordas grossas. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.1.1 Comportamento óptico

As lentes esféricas podem apresentar dois comportamentos ópticos distintos: comportamento convergente e comportamento divergente

Segundo WALKER (2009), uma lente que faz com que raios luminosos inicialmente paralelos ao eixo central se aproximem do eixo é convergente, e uma lente que faz com que os raios luminosos se afastem desse eixo é divergente. A Figura 3.3 ilustra uma lente convergente e a Figura 3.4 uma lente divergente.

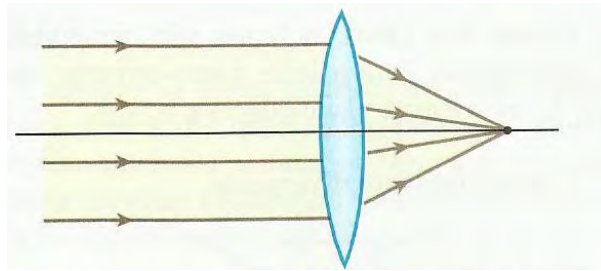


Figura 3.3 – Lente convergente. Fonte: NEWTON et al (2007)

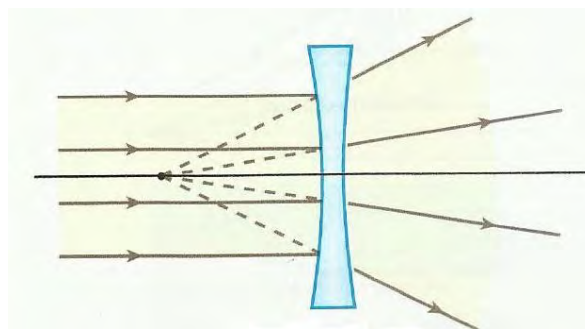


Figura 3.4 – Lente divergente. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.2 A influência do índice de refração

Segundo GREF (2005), o fato de uma lente ser convergente ou divergente depende do meio onde ela se encontra, pois esses comportamentos estão associados às diferenças entre os índices de refração do material que é feita a lente e do meio que a envolve.

As Figuras 3.5 e 3.6 apresentam, respectivamente, o comportamento de uma lente plano-convexa e outra plano-côncava, quando seus índices de refração forem maiores que a do meio que as envolve ($n_2 > n_1$).

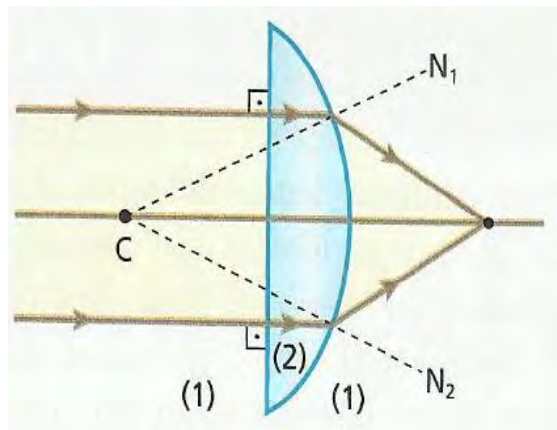


Figura 3.5 – Lente plano-convexa convergente. Fonte: NEWTON et al (2007)

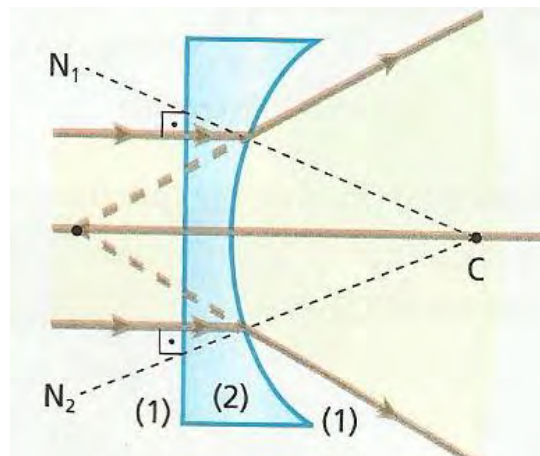


Figura 3.6 – Lente plano-côncava convergente. Fonte: NEWTON et al (2007)

As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam, respectivamente, as mesmas lentes, mas com índices de refração menores que os do meio que as envolve ($\eta_2 < \eta_1$).

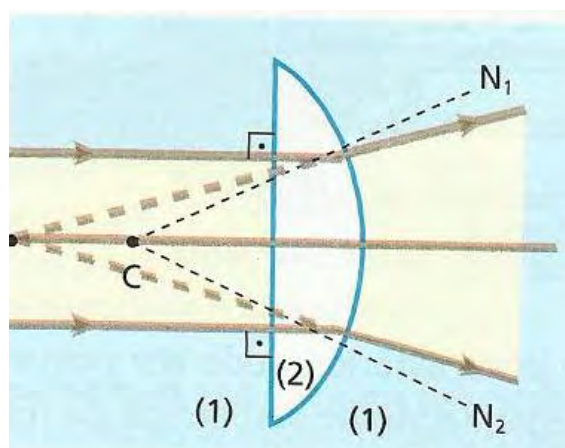


Figura 3.7 - Lente plano-convexa divergente. Fonte: NEWTON et al (2007)

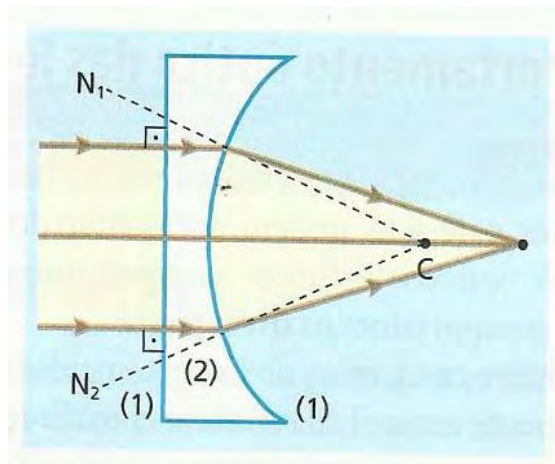


Figura 3.8 - Lente plano-côncava divergente. Fonte: NEWTON et al (2007)

Percebe-se então, que caso a lente seja mais refringente que o meio externo, teremos bordas finas convergentes e bordas grossas divergentes e caso contrário, teremos bordas finas divergentes e bordas grossas convergentes.

Nas Figuras 3.9 e 3.10, raios luminosos atravessam uma lente biconvexa e outra bicôncava, respectivamente, cujos índices de refração são maiores que o do meio que as envolve. A primeira tem comportamento convergente e a segunda divergente.

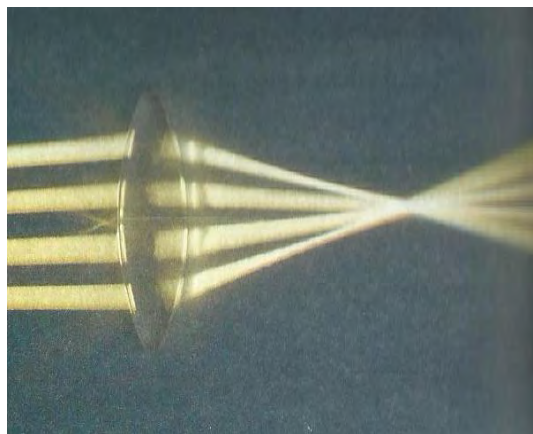


Figura 3.9 – Lente biconvexa. Fonte: NEWTON et al (2007)

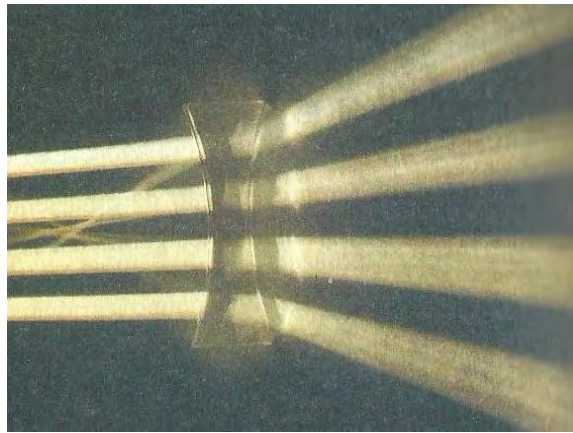


Figura 3.10 – Lente bicôncava. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.3 Centro óptico

O centro óptico (O) de uma lente esférica é o ponto do eixo principal por onde passa um raio luminoso que não sofre desvio angular, o que é ilustrado na Figura 3.11.

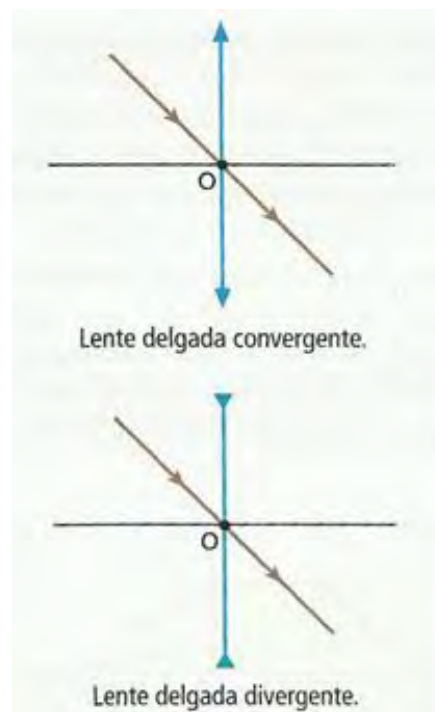


Figura 3.11 – Centro óptico de uma lente esférica. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.4 Focos, distância focal e pontos antiprincipais

3.4.1 Focos

As lentes esféricas têm dois focos principais: o foco objeto (F) e o foco imagem (F').

Os raios luminosos incidentes em uma lente convergente ou divergente, das quais estes raios emergem paralelos entre si e ao eixo principal, apresentam-se alinhados no foco objeto. A Figura 3.12 ilustra a experiência.

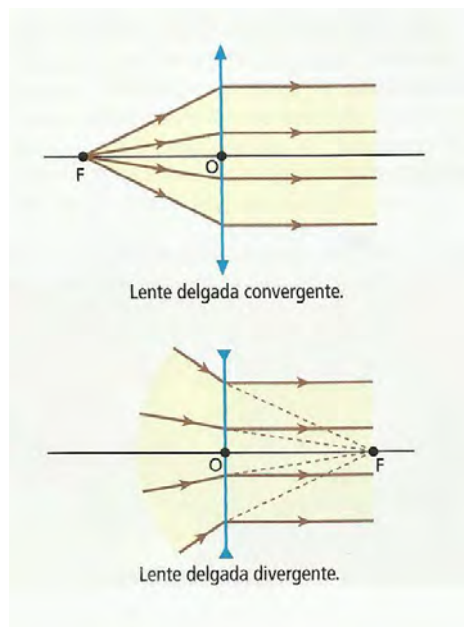


Figura 3.12 – Foco objeto. Fonte: NEWTON et al (2007)

Entretanto, raios emergentes de uma lente convergente ou divergente, incidindo-na paralelos entre si e ao eixo, apresentam-se alinhados no foco imagem, como ilustra a Figura 3.14.

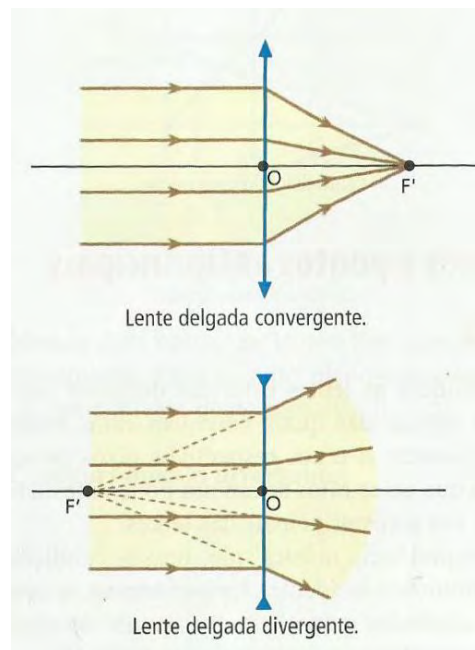


Figura 3.13 – Foco imagem. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.4.2 Distância focal

Em cada lente, o segmento FO tem a mesma medida que o segmento $F'O$, sendo os comprimentos FO ou $F'O$ denominados de distância focal (f), como vemos na Figura 2.14.

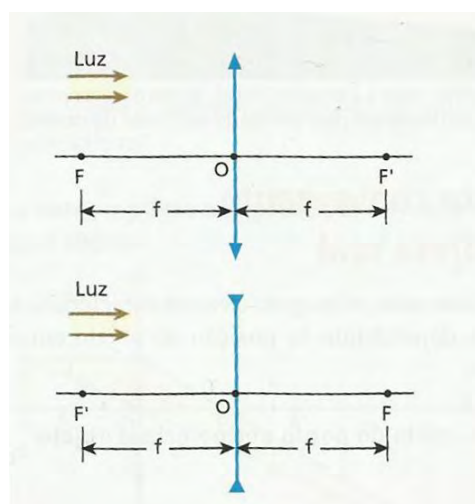


Figura 3.14 – Distância focal. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.4.3 Pontos antiprincipais

Os pontos antiprincipais são pontos do eixo principal de uma lente, cuja distância em relação ao centro óptico vale $2f$, como vemos na Figura 3.15. A é o ponto antiprincipal objeto, e A' o ponto antiprincipal imagem.

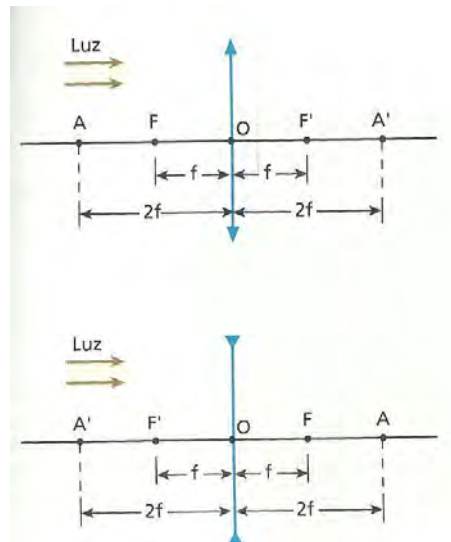


Figura 3.15 – Pontos antiprincipais. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.4.4 Imagem real e virtual

Segundo WALKER (2009), uma imagem real, é aquela que pode ser produzida em uma superfície, como em um monitor ou em uma tela de cinema. Por outro lado, imagem virtual é aquela que existe apenas no cérebro, embora pareça existir no mundo real.

3.5 Construção gráfica das imagens nas lentes

3.5.1 Lente divergente

No caso de uma lente divergente, em qualquer posição que estiver o objeto em relação à lente, a imagem obtida terá sempre as mesmas características, formando-se sempre entre o

centro óptico e o foco imagem, sendo virtual, direita e reduzida. A Figura 3.16 ilustra a situação, onde S é o objeto, S' a imagem, R o raio que incide paralelo ao eixo e R' o raio que incide no centro óptico.

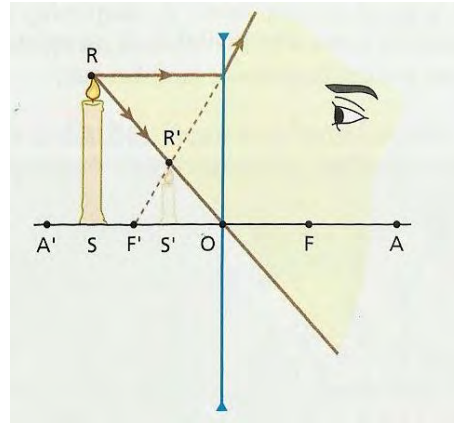


Figura 3.16 – Imagem em lente divergente. Fonte: NEWTON et al (2007)

3.5.2 Lente convergente

No caso de uma lente convergente, a imagem tem características diferentes, que dependerão da posição do objeto em relação à lente.

- Objeto além do ponto antiprincipal objeto:

Imagem localizada entre o foco imagem e o ponto antiprincipal imagem, sendo ela real, invertida e reduzida.

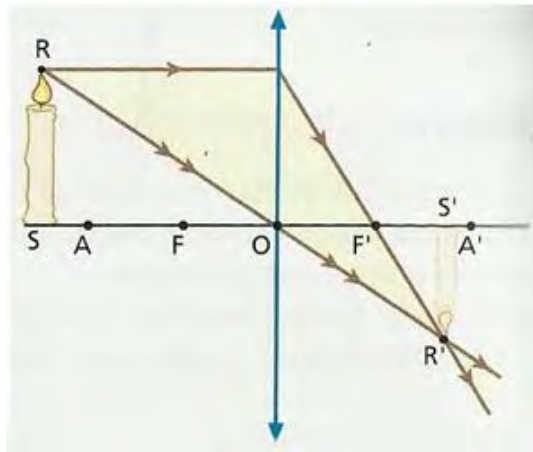
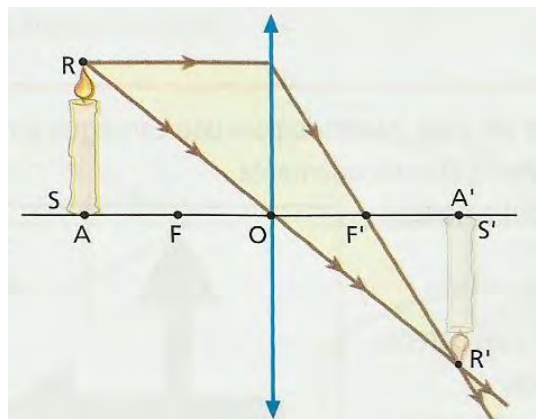


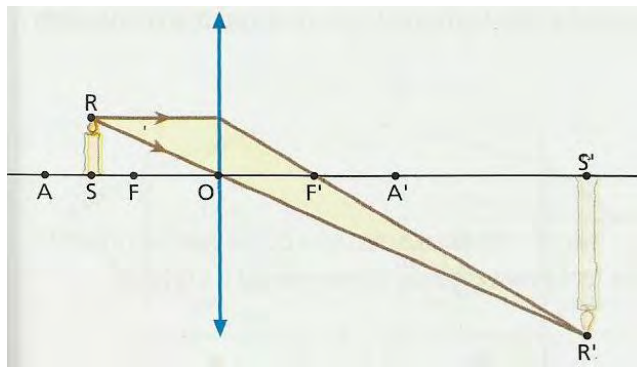
Figura 3.17 – Imagem em lente convergente (I). Fonte: NEWTON et al (2007)

- Objeto no ponto antiprincipal objeto:
Imagem localizada no ponto antiprincipal imagem, sendo ela real, invertida e do mesmo tamanho que o objeto.



• **Figura 3.18** – Imagem em lente convergente (II). Fonte: NEWTON et al (2007)

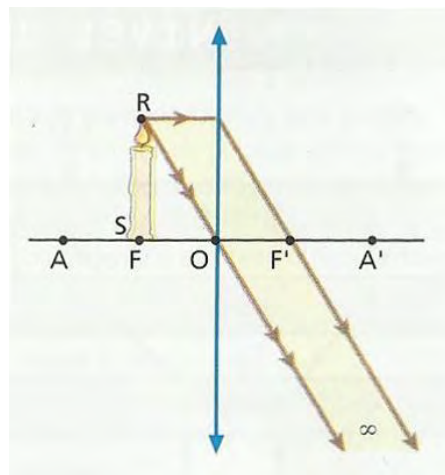
- Objeto entre o ponto antiprincipal objeto e o foco objeto:
Imagem localizada além do ponto antiprincipal imagem, sendo ela real, invertida e ampliada.



- **Figura 3.19** – Imagem em lente convergente (III). Fonte: NEWTON et al (2007)

- Objeto no foco objeto:

A imagem “forma-se no infinito” sendo, portanto, imprópria, pois os raios luminosos emergentes do sistema são paralelos.



- **Figura 3.20** – Imagem em lente convergente (IV). Fonte: NEWTON et al (2007)

- Objeto entre o foco objeto e o centro óptico:

A imagem se forma entre o ponto antiprincipal objeto e o foco objeto, sendo ela virtual, direita e ampliada.

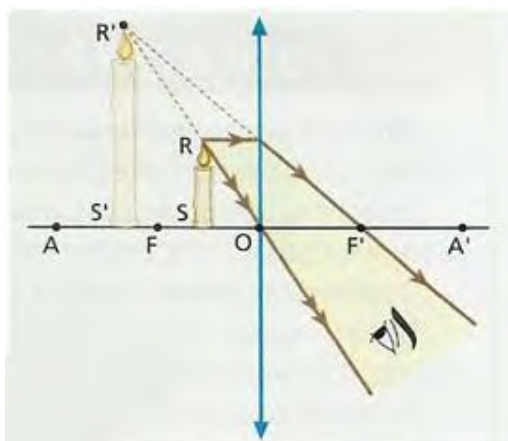


Figura 3.21 – Imagem em lente convergente (V). Fonte: NEWTON et al (2007)

CAPÍTULO 4

EQUAÇÕES

Nesse capítulo, apresentam-se equações da óptica para cálculos de propriedades das lentes esféricas.

4.1 Equação de Gauss

Segundo TIPLER E MOSCA (2008), para calcular a distância focal (f) de uma lente, utilizamos a equação

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (4.1)$$

sendo f a distância focal, s a distância do objeto ao centro óptico, s a distância do objeto ao centro óptico e s' a distância da imagem ao centro óptico.

- $f > 0$ para lentes convergentes;
- $f < 0$ para lentes divergentes;
- $s > 0$ pra toda lente;
- $s' > 0$ para imagens reais e
- $s' < 0$ para imagens virtuais.

4.2 Aumento linear transversal

Segundo NEWTON et al (2007), o aumento linear transversal é uma grandeza adimensional, dada pela relação entre a ordenada da imagem (i) e a ordenada do objeto (o), e também é igual à razão negativa de s' sobre s :

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{s'}{s} \quad (4.2)$$

- $o > 0$ para todo objeto direito;
- $i > 0$ para imagens direitas e
- $i < 0$ para imagens invertidas.

4.3 Vergência

A vergência é uma grandeza física que quantifica a capacidade que as lentes têm de desviar os raios luminosos, e é dada pelo inverso da distância focal. Sua unidade no Sistema Internacional é a dioptria (di).

$$V = \frac{1}{f} \quad (4.3)$$

- $f > 0$ e $V > 0$ nas lentes convergentes, onde os focos são reais e
- $f < 0$ e $V < 0$ nas lentes divergentes, onde os focos são virtuais.

CAPÍTULO 5

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

Para correção de problemas de visão, estudos que vão desde o cosmos até de vírus e bactérias e auxílios em certas atividades, podem ser utilizados diferentes instrumentos ópticos, específicos para cada situação. Apresentam-se aqui, alguns destes instrumentos, e alguns casos em que podem ser utilizados.

5.1 A lupa (microscópio simples)

A lupa é constituída de uma única lente esférica convergente com distância focal da ordem de centímetros, sendo utilizada como lente de aumento. A Figura 5.1 ilustra uma lupa de mão.



Figura 5.1 – Lupa de mão. Fonte: BRASILESCOLA.COM

A lupa conjuga uma imagem virtual, direita e maior que o objeto, quando este for real e estiver localizado a uma distância inferior à sua distância focal, como ilustra a Figura 5.2.

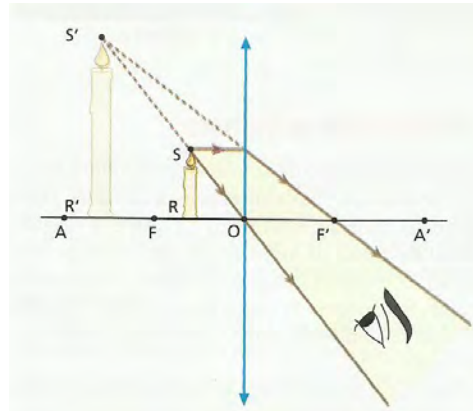


Figura 5.2 – Esquema da imagem formada pela lupa. Fonte: NEWTON et al (2007)

Há lupas especialmente produzidas para o auxílio de certas atividades. A Figura 5.3 ilustra uma lupa de pescoço que pode auxiliar em trabalhos manuais, como tricô e crochê; A Figura 5.4 ilustra uma lupa tipo régua que auxilia na leitura; A Figura 5.5 ilustra uma lupa de apoio cujo design possibilita a leitura e escrita embaixo da lente.



Figura 5.3 – Lupa de pescoço. Fonte: PROVISTA.COM.BR



Figura 5.4 – Lupa tipo régua. Fonte: PROVISTA.COM.BR



Figura 5.5 – Lupa de apoio. Fonte: PROVISTA.COM.BR

5.2 Microscópio composto

O microscópico composto, ilustrado na Figura 5.6, é constituído de dois sistemas convergentes de lentes associadas, sendo estes a objetiva, que capta a primeira imagem do objeto, e a ocular, que forma a imagem final. Este instrumento óptico é muito utilizado no estudo de biologia, para análise de células, tecidos e microrganismos por exemplo.

O objeto a ser analisado, deve estar posicionado um pouco além do foco objeto da objetiva, que conjugará a ele uma imagem real, invertida e ampliada (i_1), posicionada entre o foco objeto e o centro óptico da ocular, funcionando para esta, como objeto. Por fim, a ocular conjugará essa “imagem-objeto” como se fosse uma lupa, ou seja, a imagem final será direita,

virtual e ampliada (i_2). Porém, tomando por base o objeto inicial, a imagem final será observada invertida, como ilustra a Figura 5.7.



Figura 5.6 – Microscópio composto. Fonte: NEWTON et al (2007)

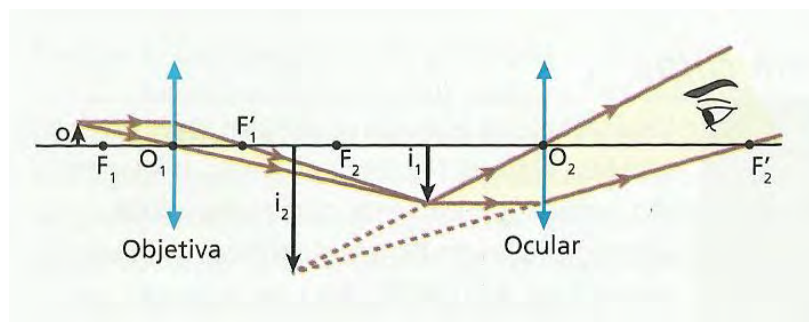


Figura 5.7 – Esquema da imagem formada pelo microscópio composto. Fonte: NEWTON et al (2007)

5.3 Luneta

A luneta, ilustrada na Figura 5.8, tal como o microscópio composto, é constituído de dois sistemas convergentes de lentes associadas (objetiva e ocular) que têm as mesmas funções, e sendo muito utilizada na astronomia, ramo da física que estuda os corpos celestes.

A luz emanada de um corpo longínquo (no “infinito”) incide na objetiva, formando uma imagem real, invertida e ampliada (i_1), posicionada entre o foco objeto e o centro óptico da ocular. Essa imagem funciona como objeto para ocular, que conjuga a ele uma imagem virtual, direita e ampliada (i_2), sendo observada invertida pelo observador, como ilustra a Figura 5.9.



Figura 5.8 – Luneta. Fonte: submarino.com.br

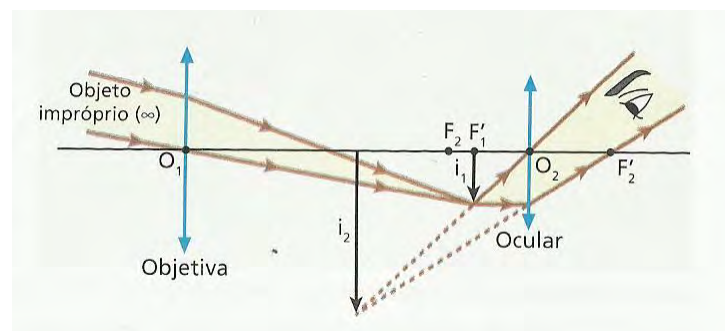


Figura 5.9 – Esquema da imagem formada pelo telescópio. Fonte: NEWTON et al (2007)

5.4 Telelupa

A telelupa, ilustrada na Figura 5.10, é um instrumento óptico portátil que auxilia a visão de longe. Pode ser usada na escola ou para orientação ao ar livre.



Figura 5.10 – Telescópio. Fonte: civiam.com.br

A telescópio possui três lentes convergentes. A imagem (i_1) formada pela primeira lente, que é móvel, funciona como objeto para a segunda lente. A imagem (i_2) formada por esta, é direita, ampliada e localizada entre o foco e o centro óptico da terceira lente, funcionando como objeto para ela. Assim, a imagem final (i_3) vista pelo observador, será ampliada, direita e real em relação ao objeto O , como ilustra a Figura 5.11.

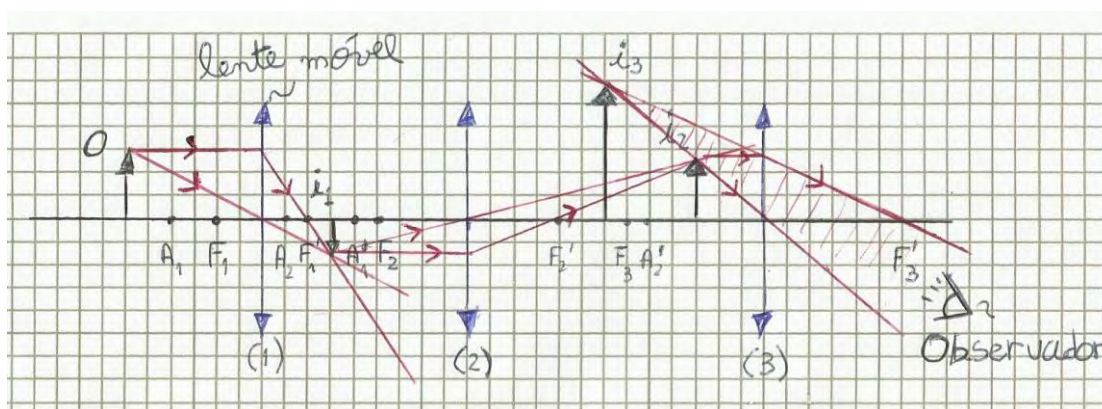


Figura 5.11 – Esquema da imagem formada pela telescópio.

5.5 Óculos

Os óculos são instrumentos ópticos para correção de alguns problemas visuais. Possui uma lente para cada olho, e estas podem ser quanto à superfície, esféricas ou cilíndricas e

quanto ao campo de visão, monofocais, bifocais ou multifocais. A Figura 5.12 ilustra um óculos.



Figura 5.12 – Óculos. Fonte: oculosshop.com.br

CAPÍTULO 6

O OLHO HUMANO

6.1 Câmera fotográfica

Segundo GREF (2005), o olho humano é equivalente ao sistema óptico da câmera fotográfica.

A câmera fotográfica é um dispositivo destinado à fixação de imagens. Com um sistema convergente de lentes, projeta uma imagem real e invertida sobre um anteparo fotossensível em que ela fica gravada, devido a fenômenos fotoquímicos ou fotoeletrônicos.

O filme fotográfico (conversor eletrônico), é colocado no interior de uma câmara escura; o diafragma controla a quantidade de luz que aí penetra e o obturador regula o intervalo de tempo durante o qual o filme fica exposto à luz. A Figura 6.1, ilustra uma câmera fotográfica com alguns detalhes.

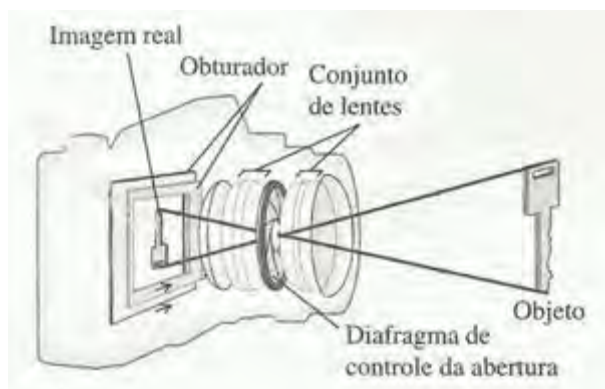


Figura 6.1 – Câmera fotográfica. Fonte: YOUNG E FREEDMAN (2008) modificada

6.2 Constituição

Segundo GREF (2005), o olho humano é um órgão aproximadamente esférico, com diâmetro em torno de 25 mm e constituído basicamente por:

- Sistema de lentes (córnea e cristalino) – atuam como o sistema de lentes da câmera fotográfica, desviando e focalizando a luz incidente;
- Diafragma variável (pupila) – assim como o diafragma da câmera fotográfica, controla automaticamente a quantidade de luz que entra no olho. Sua variação de diâmetro é feita pela íris, músculos que respondem pela coloração do olho.
- Anteparo fotossensível (retina) – responsável pela formação de imagens, sendo como uma tela, onde estas se projetam. Possui células fotossensíveis (cones e bastonetes), que convertem a luz em impulsos elétricos que vão do nervo óptico ao cérebro.

Ainda segundo GREF (2005), além destes, o olho possui outros componentes que o caracterizam como uma câmera propriamente dita, sendo eles a esclerótica e a coróide. Os outros componentes do olho humano têm por função fornecer nutrientes e adequar a pressão interna do olho, sendo eles o humor aquoso e humor vítreo.

Segundo NEWTON et al (2007), o cristalino é deformável pela ação dos músculos ciliares, para acomodar a visão, e os cones e bastonetes são células que, além de decodificarem os sinais luminosos em sinais elétricos, promovem a percepção das cores e do preto e do branco, respectivamente. Na Figura 6.2 temos uma foto da visão ampliada dos cones e bastonetes e a Figura 6.3 representa esquematicamente alguns detalhes do olho humano.

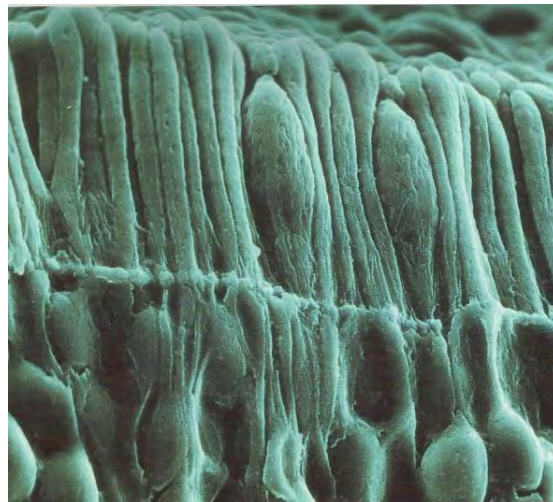


Figura 6.2 – Cones e bastonetes. Fonte: HEWITT (2002)

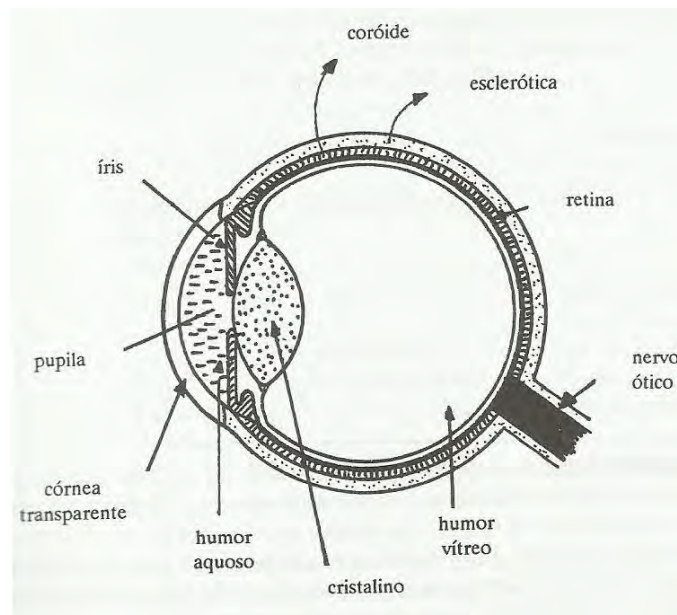


Figura 6.3 – Esquema do globo ocular humano. Fonte: GREF (2005)

6.3 O processo da visão

Segundo GREF (2005), a córnea ($\eta = 1,37$) é o primeiro meio transparente encontrado pela luz, que após refratar-se nela, incide no humor aquoso ($\eta = 1,33$), um meio líquido. Depois de a luz ter sido controlada pela íris, atinge o cristalino ($\eta = 1,38$ a $1,41$), que a converge na retina.

O sistema óptico do globo ocular conjuga aos objetos uma imagem real e invertida, projetada na retina que transforma as informações luminosas que lá incidem em sinais elétricos que vão do nervo óptico até o cérebro onde são interpretadas. A Figura 6.4 ilustra esse processo.

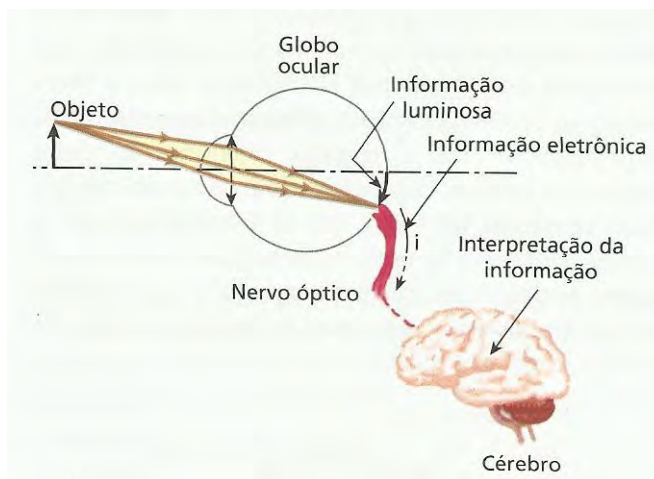


Figura 6.4 – Processo da visão. Fonte: NEWTON et al (2007)

Segundo NEWTON et al (2007), embora a imagem retiniana seja invertida, o cérebro tem a faculdade de interpretá-la corretamente.

6.4 Espectro visível

Segundo HEWITT (2002), a classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência, constitui o espectro eletromagnético, ilustrado na Figura 6.5, em frequência crescente.

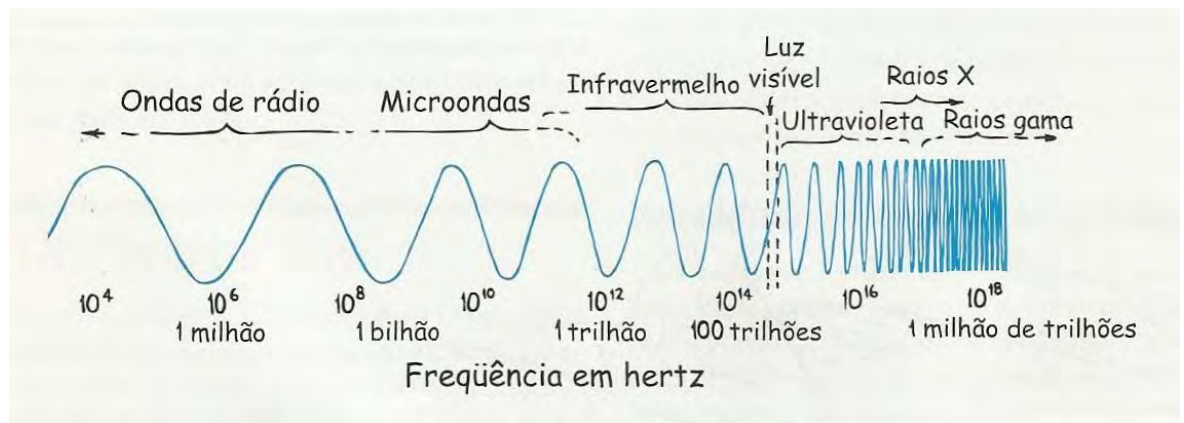


Figura 6.5 – Espectro eletromagnético. Fonte: HEWITT (2002)

A Figura 6.6 ilustra o espectro de luz visível, mostrando a variação das frequências, em ordem decrescente, e comprimentos de onda para várias cores.

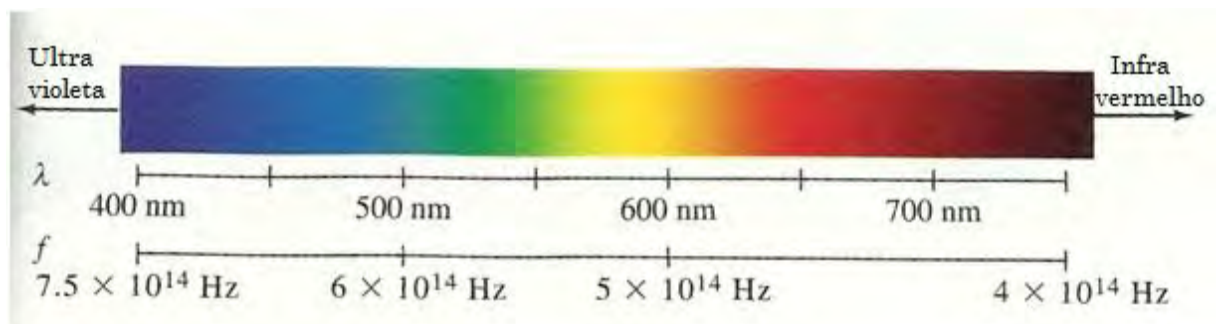


Figura 6.6 – Espectro visível. Fonte: GIANCOLI (2005) modificada.

CAPÍTULO 7

DOENÇAS DA VISÃO E POSSÍVEIS CORREÇÕES

7.1 Miopia

Segundo TIPLER E MOSCA (2008), um olho com miopia focaliza os raios de um objeto distante em um ponto na frente da retina. Uma lente divergente corrige este defeito. A Figura 7.1 e 7.2 ilustram o defeito e sua correção, respectivamente.

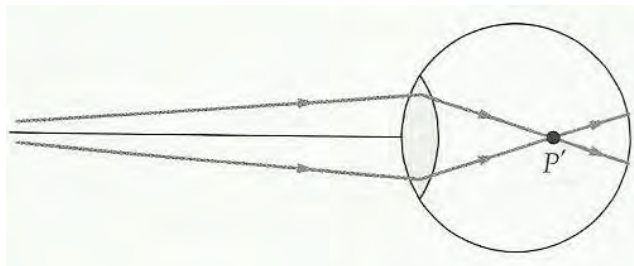


Figura 7.1 – Olho míope. Fonte: TIPLER E MOSCA (2008)

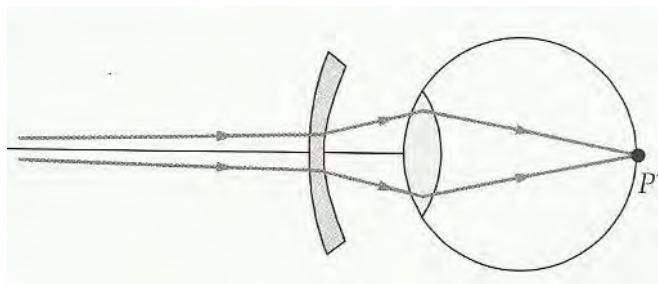


Figura 7.2 – Correção para um olho míope. Fonte: TIPLER E MOSCA (2008)

7.2 Hipermetropia

Um olho com hipermetropia focaliza os raios de um objeto próximo em um ponto atrás da retina. Uma lente convergente corrige este defeito, A Figura 7.3 e 7.4 ilustram o defeito e sua correção, respectivamente.

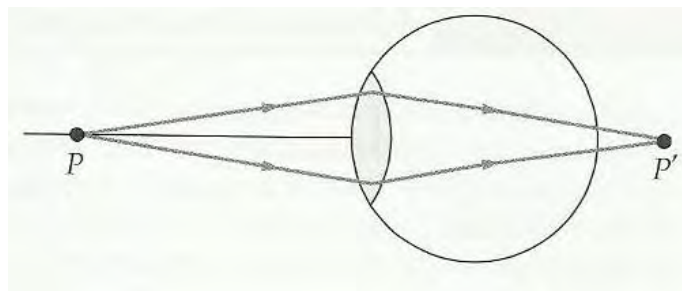


Figura 7.3 – Olho hipermetrope. Fonte: TIPLER E MOSCA (2008)

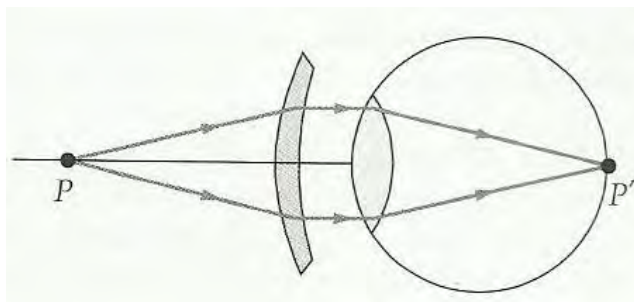


Figura 7.4 – Correção para um olho hipermetrope. Fonte: TIPLER E MOSCA (2008)

7.3 Astigmatismo

O astigmatismo deve-se a irregularidades na forma e curvatura da córnea e/ou do cristalino. A correção é feita com o uso de uma lente cilíndrica, ilustrada na Figura 7.5, cujo objetivo é compensar a assimetria do sistema óptico ocular. A Figura 7.6 ilustra um olho com astigmatismo e sua correção com essa lente.

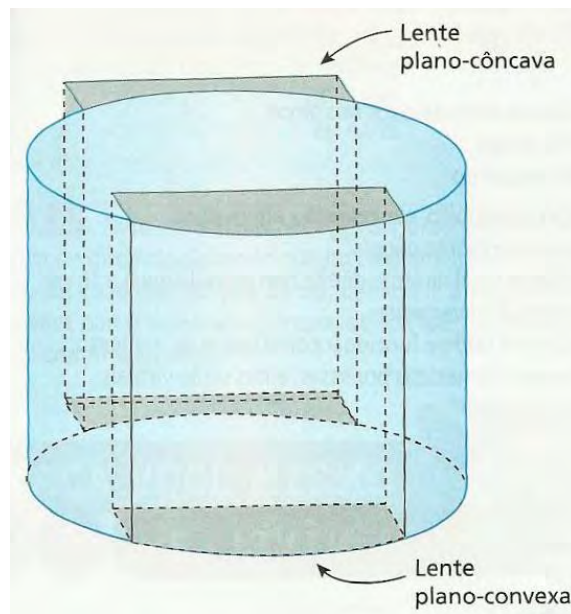


Figura 7.5 – Lente cilíndrica. Fonte: NEWTON et al (2007)

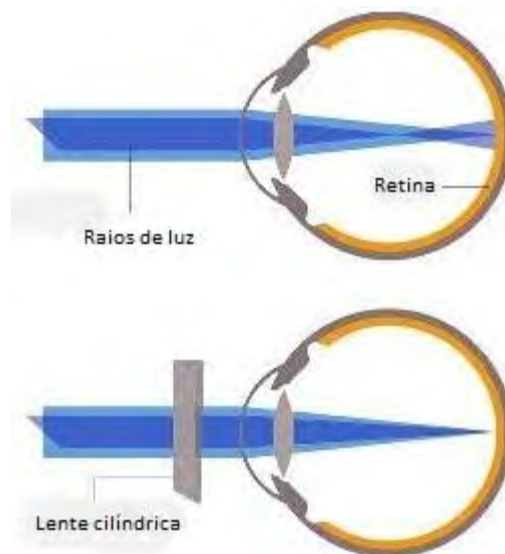


Figura 7.6 – Olho com astigmatismo correção. Fonte: opticacastanheira.com modificada

7.4 Presbiopia

A presbiopia ocorre devido ao enrijecimento dos músculos ciliares com o passar da idade, o que limita a acomodação visual.

Esse defeito dificulta a visualização de objetos próximos e longínquos. A correção é feita mediante o uso de lentes bifocais, que tem uma região destinada à visão de objetos longínquos e outra destinada à visão de objetos próximos. A Figura 7.7 ilustra um óculos com lentes bifocais.

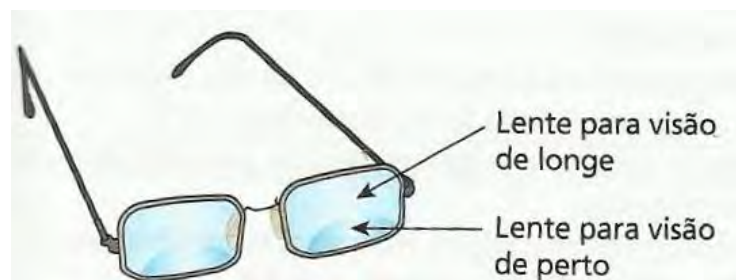


Figura 7.7 – Óculos com lentes bifocais. Fonte: NEWTON et al (2007)

7.5 Catarata

Segundo VARELLA (2012), a catarata é uma lesão ocular que atinge e torna opaco o cristalino, o que compromete a visão, podendo ser uma doença congênita ou adquirida.

Ainda segundo VARELLA (2012), o único tratamento para catarata é o cirúrgico. O objetivo da cirurgia é substituir o cristalino danificado por uma lente artificial que recuperará a função perdida, ou seja, convergir os raios de luz à retina. A Figura 7.8 ilustra um olho normal e outro com catarata.

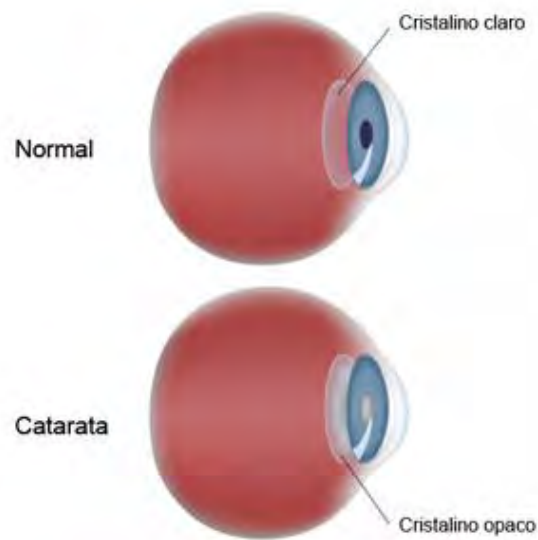


Figura 7.8 – Catarata. Fonte: ivcampinas.com.br

7.6 Toxoplasmose

Segundo VARELLA (2012), a toxoplasmose é uma doença infecciosa, causada por um protozoário chamado *Toxoplasma gondii*, encontrado nas fezes dos gatos e outros felinos. A Figura 7.9 ilustra este protozoário.

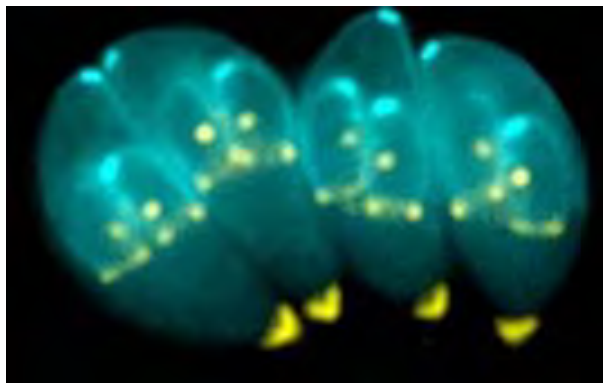


Figura 7.9 – *Toxoplasma gondii*. Fonte: g1.globo.com

A toxoplasmose pode ser congênita (transmitida da mãe para o feto), ou adquirida pela ingestão de alimentos contaminados – em especial carnes cruas ou mal passadas, principalmente de porco e de carneiro e vegetais que abriguem os cistos do *Toxoplasma*.

Segundo CRUZ (2007), a toxoplasmose é a causa mais frequente de uveíte posterior e sua manifestação mais comum é a coriorretinite, com grave lesão da retina e consequentemente, causa de perda irreversível na visão. A Figura 7.10 ilustra uma retina normal em comparação à Figura 7.11 que ilustra uma retina infectada por toxoplasmose.



Figura 7.10 – Retina. Fonte: kellogg.emich.edu



Figura 7.11 – Retina infectada por toxoplasmose. Fonte: clinicabelfort.com.br

CAPÍTULO 8

CONCLUSÃO

O presente trabalho cumpriu com os objetivos de estudar conceitos fundamentais da óptica, analisar as funções físicas de diversas estruturas do olho humano relacionando-as com o processo de visão, e mostrar a importância da óptica na correção de problemas visuais.

A visão não é um fenômeno apenas óptico físico e envolve a relação biofísica entre a luz e a estrutura biológica do olho constituída pela córnea, a íris, o cristalino e a retina. O olho funciona como uma câmera fotográfica que capta as imagens e as envia, por meio do nervo óptico, para o cérebro. Procurou-se associar às diversas partes do olho humano dispositivos ópticos e meios físicos; evidenciando um enfoque físico ao estudo da visão a exemplo de: cristalino/lente convergente, retina/sensor óptico, cristalino saudável/meio transparente, cristalino com catarata/meio translúcido ou opaco etc.

Alguns dos problemas visuais como a miopia, a hipermetropia e a catarata, podem ser curados através de cirurgias. Conforme a medicina avançou ao longo do tempo, e as técnicas cirúrgicas se tornaram mais seguras e eficazes, problemas que antes não tinham cura ou eram complicados de se resolver, como a catarata, tornaram-se de fácil correção.

Apesar do avanço médico, entretanto, ainda nem todos os defeitos visuais têm tratamento pela intervenção cirúrgica, como é o caso da toxoplasmose. Os instrumentos ópticos têm então, papel de grande importância no auxílio de uma boa visão daqueles que por algum motivo não tem a opção da cirurgia para correção de seu defeito visual.

Espera-se a descoberta de novos tratamentos médicos e o surgimento e aperfeiçoamento de instrumentos ópticos para correção das mais diversas doenças desse sentido fundamental do nosso corpo: a visão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIVIAM. **Necessidades especiais: Baixa visão: Telelupas e telebinoculares.** Disponível em: www.civiam.com.br. Acesso em 23 jun. 2012.
- CLÍNICA BELFORT. **Toxoplasmose Ocular.** Disponível em: <http://www.clinicabelfort.com.br>. Acesso em 24 jun. 2012.
- CRUZ, M.A. **Gestantes, seus gatos e a toxoplasmose.** Disponível em <http://www.crmv-pr.org.br>. Acesso em 19 jun. 2012.
- FILHO, K.S.O.; SARAIVA, M.F.O. **Lua.** Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br>. Acesso em: 18 mai. 2012.
- GIANCOLI, D.C., **Physics: Principles with Applications.** Upper Saddle River, New Jersey, Editora Pearson, (2005), 6ª edição.
- GRF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, **Física 2: Física térmica, Óptica.** São Paulo, SP, Editora USP, (2005), 5ª edição.
- G1. **Ciência e saúde: Medicina.** Disponível em: <http://www.g1.globo.com>. Acesso em 24 jun. 2012.
- HEWITT, P.G., **Física Conceitual.** São Paulo, SP, Editora Bookman, (2002), 9ª edição.
- INSTITUTO DA VISÃO CAMPINAS. **Catarata.** Disponível em: <http://www.ivcampinas.com.br>. Acesso em 24 jun. 2012.
- NEWTON et al, **Tópicos de Física Vol. 2: Termologia, Ondulatória, Óptica.** São Paulo, SP, Editora Saraiva, (2007), 18ª edição.
- OCULOSSHOP. **Óculos: Óculos de grau.** Disponível em: <http://www.oculosshop.com.br>. Acesso em 23 jun. 2012.
- ÓPTICA CASTANHEIRA. **Informação.** Disponível em <http://www.opticacastanheira.com>. Acesso em 18 jun. 2012.
- PROVISTA. **Lupas.** Disponível em: <http://www.provista.com.br>. Acesso em 23 jun. 2012.
- RIGOR. **Fique de olho: Lentes: Tipos.** Disponível em: <http://www.laboratoriorigor.com.br>. Acesso em 24 jun. 2012.
- SUBMARINO. **Esporte & Lazer: Binóculos e Lunetas.** Disponível em <http://www.submarino.com.br>. Acesso em 18 jun. 2012.
- TIPLER, P.A; MOSCA, G.. **Física para cientistas e engenheiros Vol. 2: Eletricidade e Magnetismo, Óptica.** Rio de Janeiro, RJ, Editora LTC, (2009), 6ª edição.
- UNIVERSITY OF MICHIGAN: KELLOGG EYE CENTER. **Instructional Mode: Instructional Mode Index: Macular Region.** Disponível em <http://www.kellogg.umich.edu/theeyeshaveit/index.html>. Acesso em 24 jun. 2012.

VARELLA, D. **Toxoplasmose**. Disponível em: <http://drauziovarella.com.br>. Acesso em 19 jun. 2012.

WALKER, J., **Fundamentos de Física Vol. 4: Óptica e Física moderna**. Rio de Janeiro, RJ, Editora LTC, (2009), 8ª edição.

YOUNG, H.D; FREEDMAN R.A., **Sears & Zemansky: Física IV: Ótica e Física moderna**. São Paulo, SP, Editora Pearson, (2009), 12ª edição.