

Tema#4&5: Óptica Geométrica & Ondulatória

Bartolomeu Joaquim Ubisse

Instituto Superior de Ciências de Saúde (ISCISA)

(Aulas preparadas para estudantes de Anatomia Patológica)

22 de Setembro de 2021

Conteúdos

- 1 Porque estudar Óptica Geométrica no curso de Saúde?
- 2 Princípios da óptica geométrica
- 3 Meios ópticos
- 4 Interação da luz com a matéria
- 5 Lentes
 - Óptica do olho humano
- 6 Óptica ondulatória
 - Difração por uma fenda circular
 - Polarização

Porque estudar Óptica Geométrica no curso de Saúde?

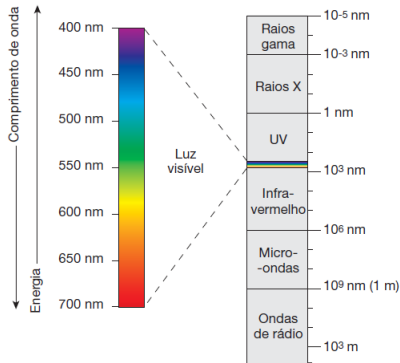


Figura 1: Espectro
electromagnético
[Silverthorn,D.U.,2017]

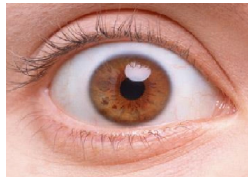


Figura 2: Olho [url1]



Figura 3:
Microscópio óptico
[url2]

A óptica geométrica dedica-se ao estudo das propriedades da luz usando a hipótese de que a mesma (a luz) propaga-se em linha recta - raio luminoso.

Princípios da óptica geométrica

Os princípios da óptica geométrica explicam como é que os raios da luz se comportam durante a sua propagação em diversos meios. Assume-se porém, que os tais meios são **homogêneos** e **isotrópicos**. Tais princípios são:

- 1 **Princípio da propagação rectilínea da luz**- a luz se propaga em linha recta e em todas as direcções;
- 2 **Princípio da independência dos raios de luz**- ao cruzarem-se, dois raios de luz atravessam um ao outro como se inexistissem mutuamente.
- 3 **Princípio da reversibilidade dos raios de luz**- o sentido de propagação dos raios de luz é reversível.

O conjunto de raios luminosos é denominado de feixe luminoso (Fig.4)

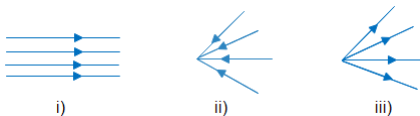


Figura 4: Feixe luminoso: i) paralelo; ii) convergente; iii) divergente

Meios ópticos

A luz pode-se propagar através de vários meios, a saber:

- **Transparentes** - aqueles em que a luz é transmitida com pouca ou nenhuma redução da sua intensidade. Consegue-se através destes meios enxergar com nitidez (ex: vidro, ar, e entre outros).
- **Translúcidos** - permitem a transmissão parcial da luz, porém, não é possível enxergar com nitidez através desses meios (ex: papel vegetal, névoa, vidro fosco, etc).
- **Opacos** - interrompem a passagem da luz, refletindo-a ou absorvendo-a quase na sua totalidade (ex: metais, ossos, etc).
 - A opacidade de um meio óptico depende de muitos factores, isto é, da densidade, distância percorrida pela luz para atravessar o meio e também da frequência da própria luz em causa (alguns meios são opacos apenas para algumas frequências - cores).

Interação da luz com a matéria

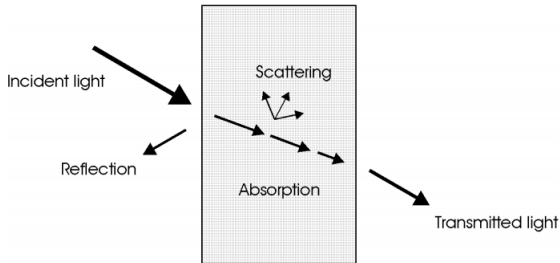


Figura 5: Fenómenos que ocorrem com a luz quando incide sobre a matéria

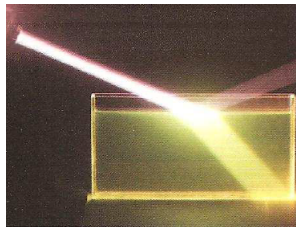


Figura 6: Reflexão e refração de um feixe de luz incidente em uma superfície de água

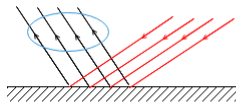
Por enquanto interessa-nos analisar os fenômenos de reflexão e refração visto que os outros são de natureza ondulatória e faremos menção no próximo capítulo (Óptica ondulatória)

Interação da luz com a matéria - Reflexão

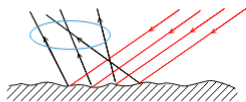
Reflexão - é o fenómeno que ocorre quando a luz que incide sobre uma superfície reflectora retorna ao meio de propagação de origem.

Existem dois tipos de reflexão:

- regular
- difusa



Reflexão regular

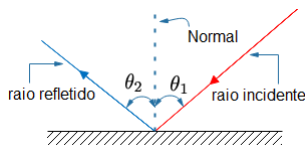


Reflexão difusa

Nós estamos interessados em reflexão regular

Leis de reflexão da luz

- 1 O raio incidente, o raio refletido e a normal são coplanares;
- 2 O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão ($\theta_1 = \theta_2$).



Interação da luz com a matéria - Refracção

Refracção - é o fenómeno que ocorre quando a luz ao passar de um meio para o outro muda a sua velocidade.

Princípio de Fermat

A luz sempre procura percorrer a trajectória que leva menos tempo.

Quando a luz propaga-se de um meio para o outro, muda da sua velocidade. Para cada meio, a velocidade depende da propriedade desse meio, isto é, do índice de refração do meio.

$$v_{meio} = \frac{c}{n_{meio}} \quad (1)$$

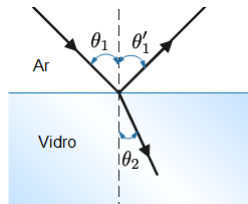
Onde, v_{meio} é a velocidade da luz no meio, n_{meio} é o índice de refração do meio (é adimensional) e c é a velocidade da luz no vácuo ($c = 3 \times 10^8 m/s$)

Interação da luz com a matéria - Refracção

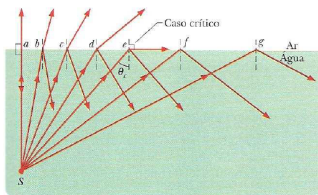
Leis da refração da luz

- 1 O raio incidente, o raio refletido e a normal são coplanares;
- 2 Lei de Snell - Decartes (mais conhecida pela lei de Snell)

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$



Reflexão total- ângulo crítico (θ_c)



$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (3)$$

A reflexão interna total só pode ocorrer quando o índice de refração do meio incidente for maior que o do meio refragente.

Interação da luz com a matéria - Refracção

Tabela 1: Índice de refração de alguns meios

Meios	Índice de refração
Água (20°C)	1.33
Ar (1atm, 20°C)	1.003
Córnea	1.37 - 1.38
Humor aquoso	1.33
Cristalino	1.38 - 1.41
Humor vítrio	1.33
Vidro "Crown"	1.56
Vidro "flint" denso	1.66
Polietileno	1.50 - 1.54

Lentes - são dispositivos ópticos cujo funcionamento baseia-se na refração da luz.

As lentes classificam-se em dois tipos:

- Convergentes;
- Divergente

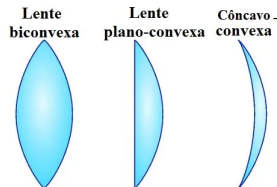


Figura 7: Lentes convergentes

❶ **Lentes convergentes** - apresentam a parte do centro mais espessa que as bordas. Elas podem ser (Vide Fig.7):

- ❶ **Biconvexas**: quando tem duas partes convexas;
- ❷ **Plano-convexas**: quando tem um lado plano e outro convexo;
- ❸ **Côncavo-convexas**: quando tem um lado côncavo e o outro convexo.

- ② **Lentes divergentes** - apresentam o centro mais fino que as bordas. Elas podem ser :

- ① **Bicôncavas**: quando tem as duas faces côncavas;
- ② **plano-côncavas**: quando tem um lado plano e o outro côncavo;
- ③ **convexo-côncavas**: quando tem um lado convexo e outro côncavo.

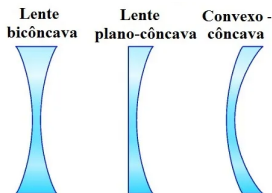


Figura 8: Lentes divergentes

Lentes - Elementos geométricos

Os elementos das lentes esféricas são:

- Centros de curvatura das faces esféricas (C_1 e C_2);
- Raios de curvatura das faces esféricas (R_1 e R_2);
- Eixo principal da lente, onde estão contidos o centro C_1 e o vértice V_1 ;
- Espessura da lente (e);
- Vértices da lente (V_1 , V_2).

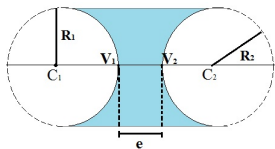


Figura 9: Lente côncava

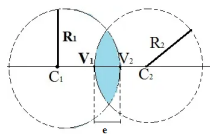


Figura 10: Lente convexa

No nosso estudo vamos considerar as lentes delgadas, i.é., aquelas nas quais a distância do objecto (p), a distância da imagem (i) e os raios de curvatura (R_1 e R_2) são muito maiores que a espessura da lente (e).

Lentes - Formação de imagens

Uma lente pode produzir uma imagem de um objecto porque é capaz de desviar os raios luminosos. Porém, o desvio só tem lugar quando o índice de refração da lente for diferente à do meio.

A formação de imagens nas lentes esféricas exige que tracemos os **raios de luz notáveis** que são refratados através da lente.

- ❶ Todo o raio que incide paralelamente ao eixo principal é refratado passando pelo foco principal (F) e vice-versa;
- ❷ Todo o raio que incide passando pelo centro óptico é refratado sem sofrer nenhum desvio lateral.
- ❸ A imagem é sempre formada no ponto onde cruzam-se dois raios de luz refratados

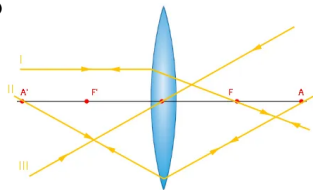


Figura 11:

Lentes - Formação de imagens

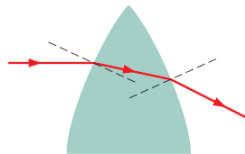
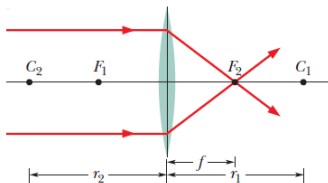


Figura 12: Formação das imagens nas lentes convergentes

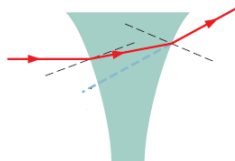
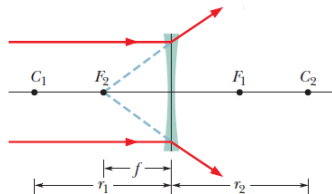


Figura 13: Formação das imagens nas lentes divergentes

Lentes - Formação de imagens

As imagens formadas podem ser classificadas em dois tipos:

- 1 Imagem real - quando é formada no lado da lente oposto ao objeto, através do cruzamento de pelo menos dois raios refratados. Esta imagem é invertida.
- 2 Imagem virtual - quando é formada do mesmo lado que o objeto pelo cruzamento de prolongamentos dos raios de luz. Esta imagem é direita.

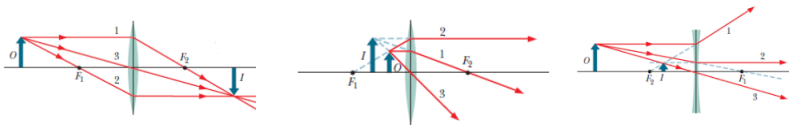


Figura 14: Formação das imagens nas lentes convexas e côncavas

Lentes - Equações das lentes

As relações entre as distâncias objecto (O) e imagem (i) assim como as alturas (h e h')

$$\frac{h}{h'} = \frac{O}{i} \quad (4a)$$

Os triângulos rectângulos $OF'P$ e $A'B'F'$ são semelhantes:

$$\frac{h}{h'} = \frac{f}{i - f} \quad (4b)$$

Conjugando-se as eqs. 4a e 4b obtém-se a equação das lentes também conhecida por equação dos pontos conjugados e/ou equação de Gauss expressa por:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{O} + \frac{1}{i} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (5)$$

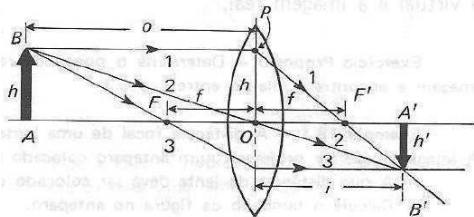


Figura 15:

Lentes - Equações das lentes: Magnificação

A ampliação lateral ou ampliação linear transversal é a razão entre os comprimentos das alturas, imagem e do objecto, isto é,:

$$A = -\frac{h'}{h} \quad (6)$$

O sinal negativo (-) é devido ao facto de a imagem ser invertida

Vergência de uma lente

É a capacidade que uma lente tem de desviar a trajectória dos raios luminosos.

Uma vergência positiva indica que a lente é convergente, enquanto uma vergência negativa indica que ela é divergente.

$$C = \frac{1}{f} \quad (7)$$

Onde, C é a convergência em dioptria (di) e f é a distância focal em metros.

Óptica do olho humano

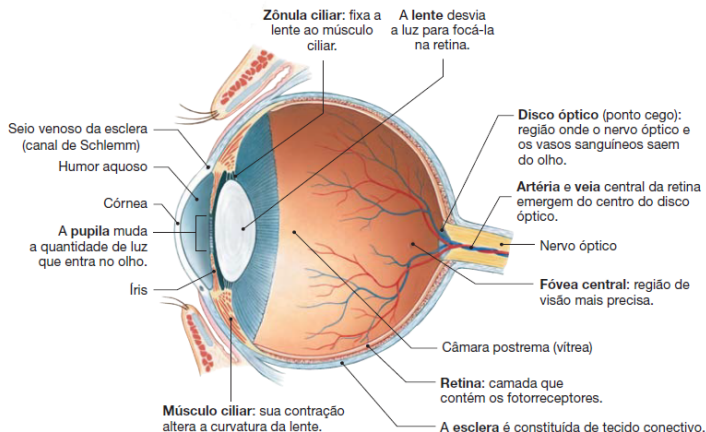


Figura 16: Olho humano [Silverthorn, D.U. 2017]

Óptica do olho humano - Cont.

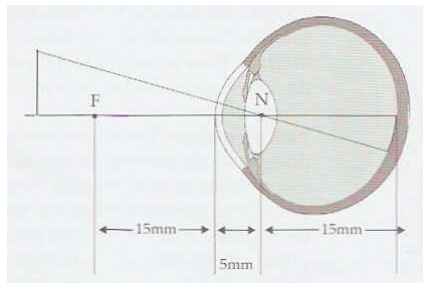


Figura 17: Olho humano [Garcia, E.A., sd]

Superfícies refractoras principais:

- interface ar- córnea
- interface córnea - humor aquoso
- interface humor aquoso - cristalino
- interface cristalino - humor vítreo

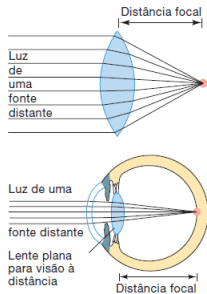
O olho humano possui uma convergência (potência) que varia de 51 – 64D

No meio intra-ocular considera-se $n \sim 1.333$

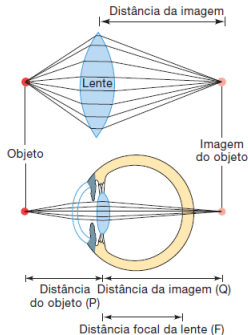
Óptica do olho humano - Cont.

Para uma visão nítida, o ponto focal precisa incidir na retina.

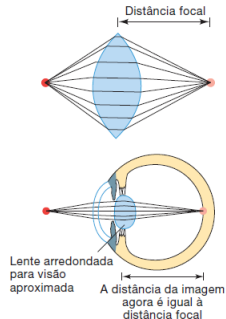
(c) Raios de luz paralelos passam através da lente aplanada, e o ponto focal incide na retina.



(d) Para objetos próximos, o feixe de luz não é mais paralelo. A lente e sua distância focal não mudaram, mas o objeto é visto fora de foco, uma vez que o feixe de luz não é focalizado na retina.



(e) Para manter um objeto em foco à medida que ele se aproxima, a lente torna-se mais arredondada (curvada).



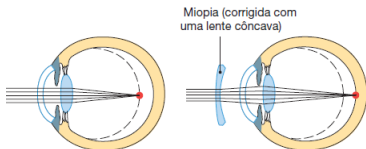
⇒ As mudanças na forma da lente (cristalino) são controladas pelo músculo ciliar.

Óptica do olho humano- Defeitos ópticos do olho

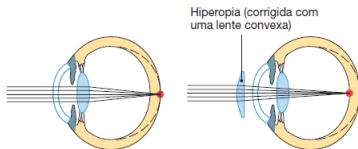
O olho humano pode ter vários tipos de defeitos, como por exemplo, aberrações, defeitos de transparência, de forma e muito mais. Na nossa análise consideraremos os defeitos de forma.

Quanto à forma, o globo ocular pode ter três defeitos, i.é., **miopia**, **hipermetropia** e **estigmatismo**

(j) A Miopia ocorre quando o ponto focal incide na frente da retina.



(i) A hiperopia, ou hipermetropia, ocorre quando o ponto focal incide atrás da retina.



O estigmatismo surge devido às imperfeições de curvatura do cristalino e da córnea. Assim, a luz sofre refrações diferentes nas diferentes secções do cristalino e da córnea. A correcção é feita com recurso a **lentes cilíndricas** ou **toroidais**.

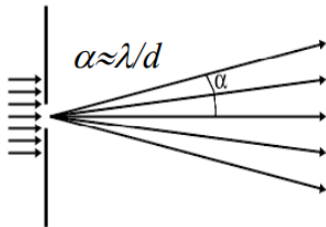
ÓPTICA ONDULATÓRIA

Óptica Ondulatória

Alguns aspectos da luz não são explicados com base na hipótese de propagação retilínea da luz.

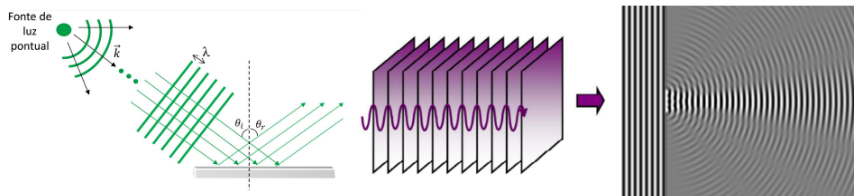


Óptica Geométrica: Quando a luz atravessa orifícios ou barreiras com dimensões (d) muito maiores que seu comprimento de onda (λ) não manifesta seu caráter ondulatório e efeitos como a difração podem ser ignorados. A luz pode ser representada por raios que em um meio uniforme se propagam em linha reta com velocidade c/n .



Óptica Ondulatória: Quando a luz atravessa orifícios ou barreiras com dimensões (d) da ordem do seu comprimento de onda (λ) manifesta-se seu caráter ondulatório em fenômenos como a difração.

Óptica Ondulatória - Difração

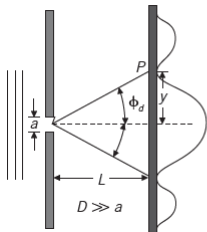


Difração - é um fenómeno que ocorre com as ondas quando elas passam por um orifício ou contornam um objecto com dimensões da ordem do seu comprimento de onda. Quando a luz passa por esses objecto ou orifícios, a trajectória dos raios luminosos sofre um encurvamento .

Cada frente quando chega na fenda cria nova fonte (Princípio de Huygens) e, na interceção cria-se interferências resultando em uma série de franjas claras e escuras (máximos e mínimos de interferência).

Óptica Ondulatória - Difração por uma fenda circular

Consideremos uma fenda circular, como é o caso da maioria dos olhos humanos, e vamos determinar a posição angular do primeiro mínimo.



$$\sin \phi_d = 1.22 \frac{\lambda}{a} \quad (8)$$

Onde, λ é o comprimento de onda e a é o diâmetro da fenda circular.

O poder de resolução¹ é:

$$\phi_d = \arcsin \left(1.22 \frac{\lambda}{a} \right) \quad (9)$$

Quanto menor o ângulo ϕ_d , maior é o poder de resolução.

¹A separação angular entre dois pontos objectos de modo que o mesmo seja visto com dealhes

TPC

Explique no máximo em cinco páginas o que entende por polarização da luz, tipos de polarização e a sua relevância no seu curso de saúde.

Entregue o trabalho até dia 26/09/2021. O link está no repositório em uso para esta cadeira.