

---

Experiência 8

# INSTRUMENTOS ÓTICOS

- Esta aula estudará imagens que são formadas quando raios de luz encontram superfícies planas ou curvas entre dois meios.
- Na aula anterior já estudámos espelhos e nesta aula vamos estudar lentes.
- Vamos continuar a usar a aproximação de que a luz viaja em linha reta.
- Vamos também estudar como combinar várias lentes para formar instrumentos óticos como telescópios, microscópios ou lentes de máquinas fotográficas.



# Imagens formadas por refração

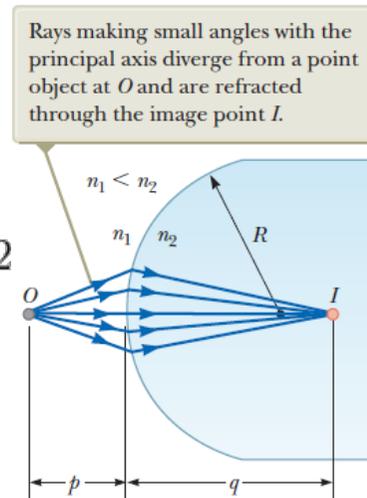
- Considere-se o caso em que raios de luz são refratados numa superfície entre dois materiais transparentes. Pela lei de Snell- Descartes:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Leftrightarrow n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$$

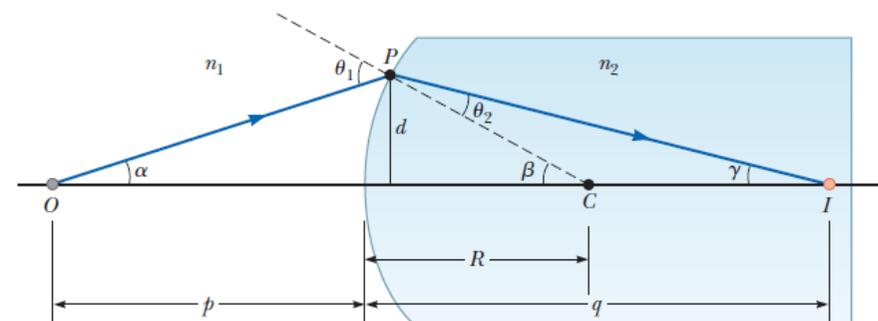
se  $\theta_1$  e  $\theta_2$  forem pequenos.

- É possível demonstrar que para raios paraxiais (fazem um ângulo pequeno em relação ao eixo principal):

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$



Para imagens formadas por refração:  
 $q$  é positivo quando a imagem é formada na parte de trás da superfície (imagem real).  
 $R$  é positivo quando a superfície é convexa.



# Imagens formadas por lentes finas

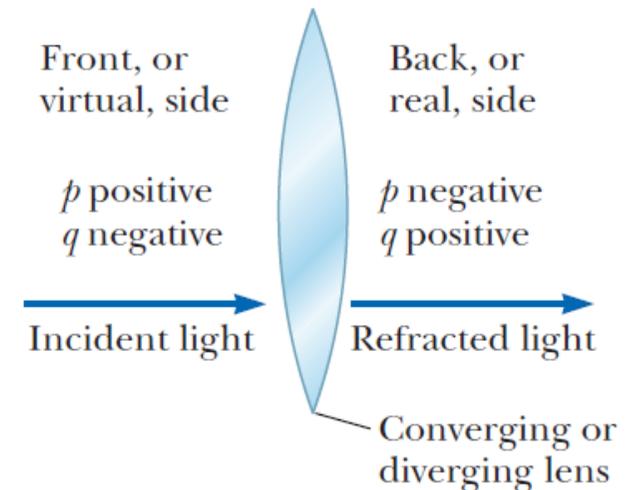
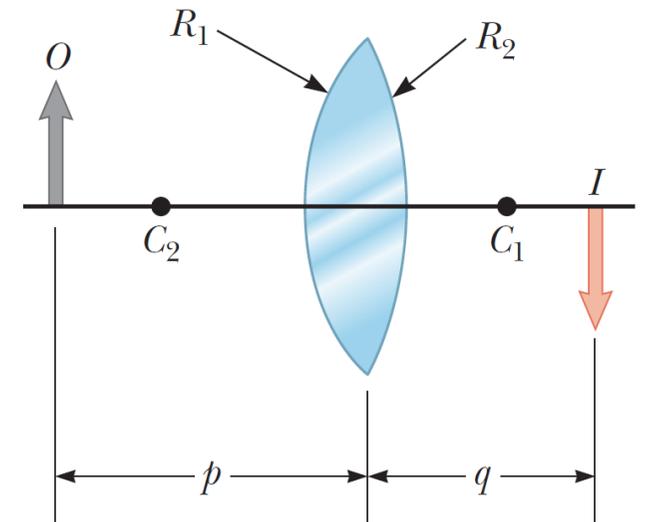
- É possível demonstrar que para uma lente fina (i.e., espessura muito menor do que os raios de curvatura das superfícies  $R_1$  e  $R_2$ ):

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

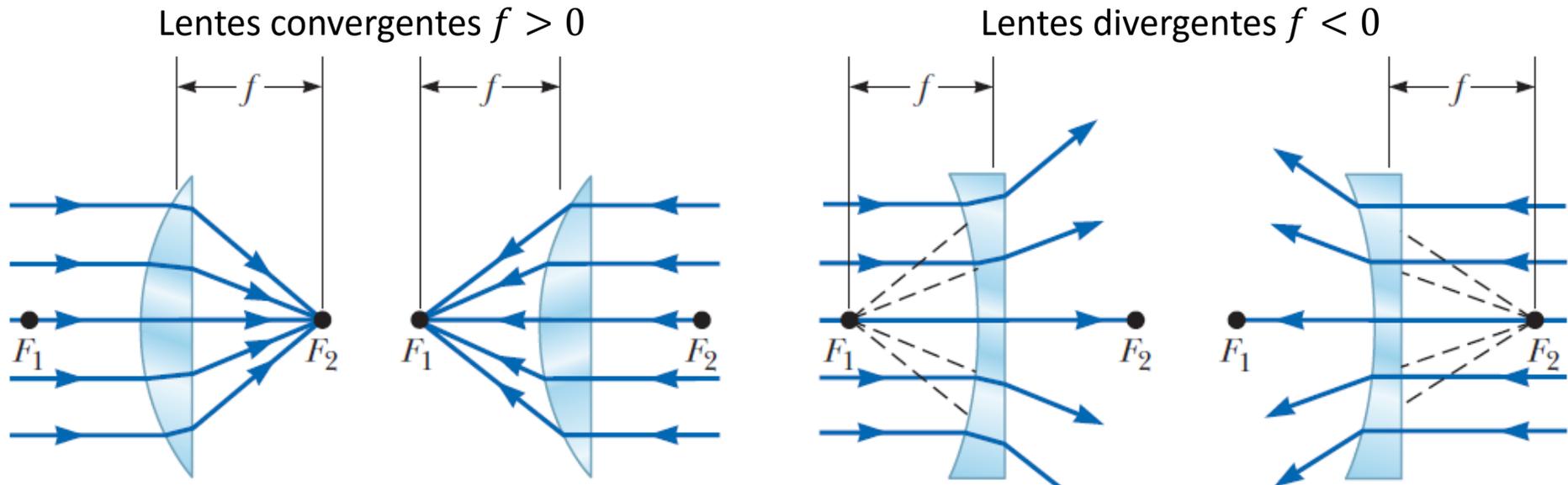
- Onde se pode concluir que:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

- (Equação dos fabricantes de lentes.)



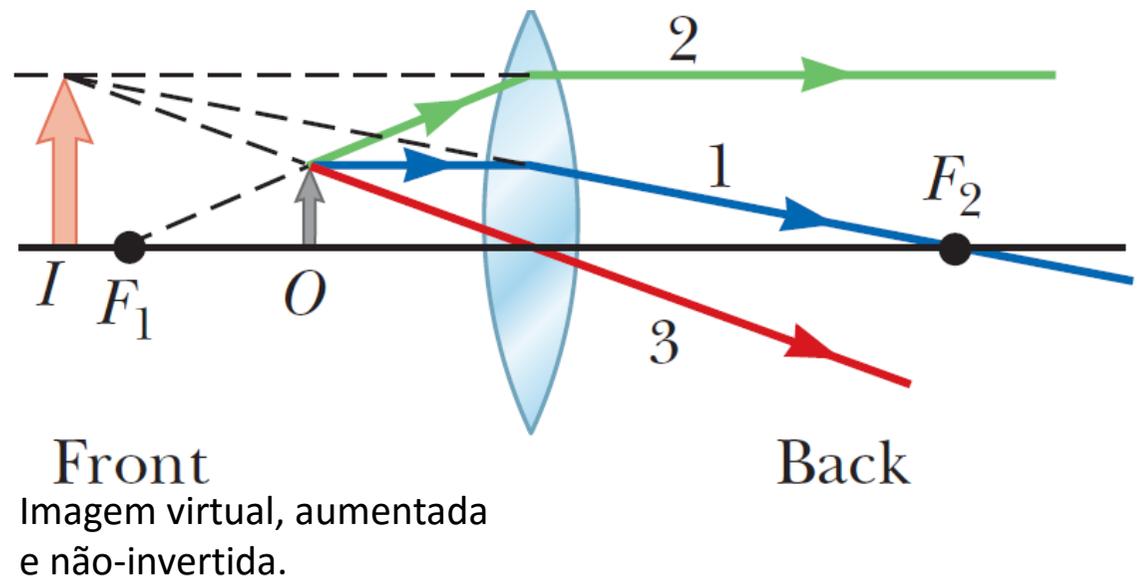
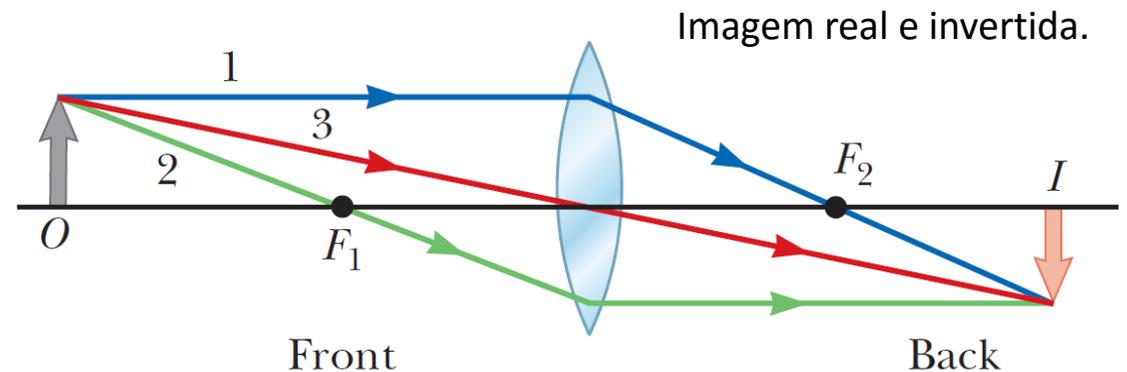
# Lentes convergentes e divergentes



Quantity	Positive When ...	Negative When ...
Object location ( $p$ )	object is in front of lens (real object).	object is in back of lens (virtual object).
Image location ( $q$ )	image is in back of lens (real image).	image is in front of lens (virtual image).
Image height ( $h'$ )	image is upright.	image is inverted.
$R_1$ and $R_2$	center of curvature is in back of lens.	center of curvature is in front of lens.
Focal length ( $f$ )	a converging lens.	a diverging lens.

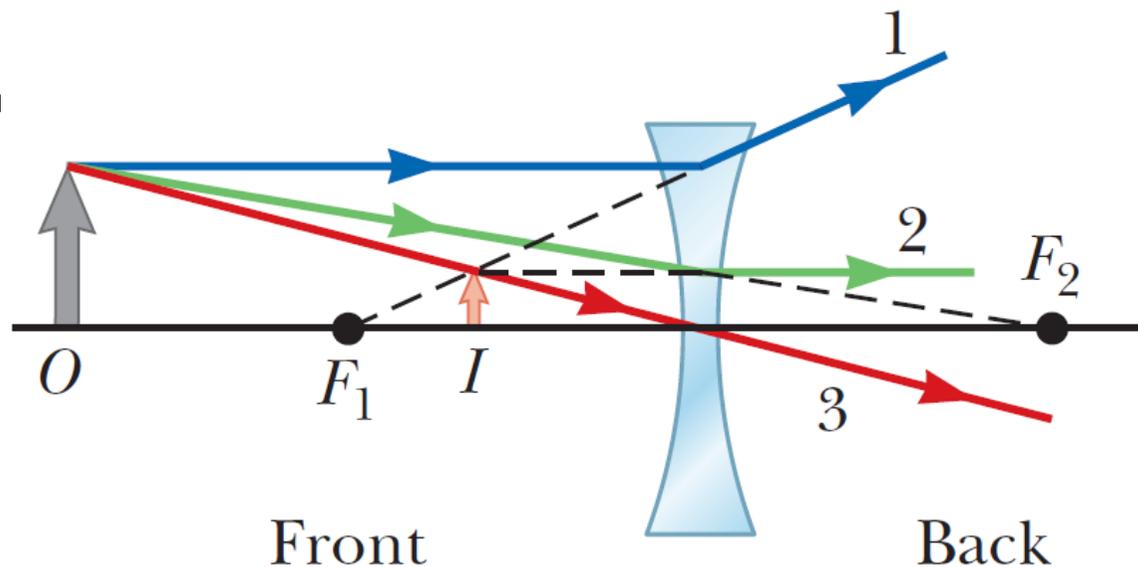
# Diagramas de raios para lentes finas convergentes

- Raio 1: Desde o topo do objeto até à lente, paralelamente ao eixo principal. Depois o raio é refratado passando pelo ponto focal ( $F_2$ ).
- Raio 2: Desde o topo do objeto passando pelo ponto focal (ou desde  $F_1$ , passando pelo topo do objeto se  $p < f$ ). Depois é refratado paralelamente ao eixo principal.
- Raio 3: Desde o topo do objeto passando pelo centro da lente. Depois continua em linha reta.



# Diagramas de raios para lentes finas divergentes

- Raio 1: Desde o topo do objeto até à lente, paralelamente ao eixo principal. Depois o raio é refratado como se viesse do ponto focal ( $F_1$ ).
- Raio 2: Desde o topo do objeto em direção ao ponto focal  $F_2$ . Depois é refratado passando a ser paralelo ao eixo principal.
- Raio 3: Desde o topo do objeto passando pelo centro da lente. Depois continua em linha reta.



A imagem é sempre virtual, não-invertida e mais pequena que a original.

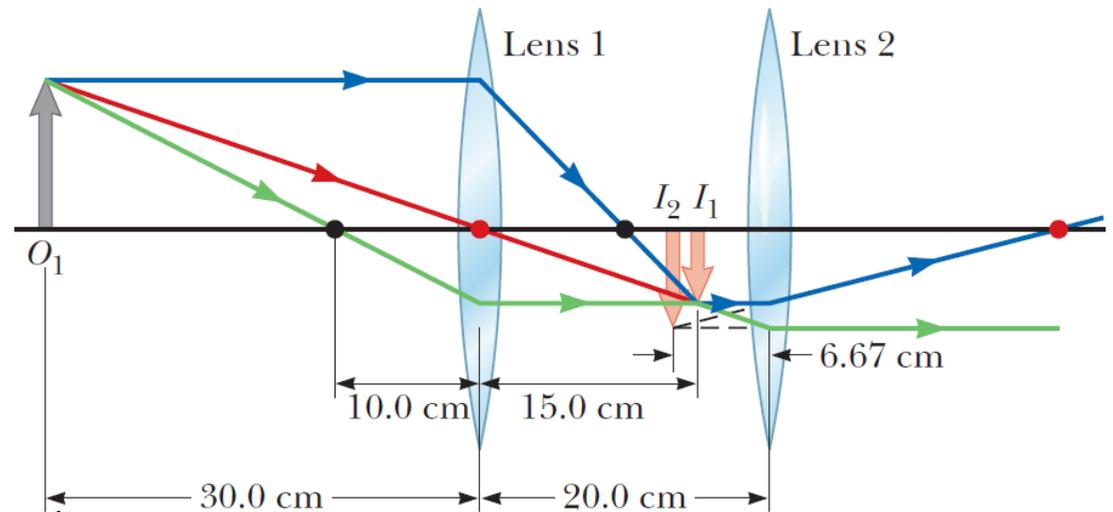
# Combinações de lentes finas

- Quando temos duas lentes finas, a imagem da primeira lente é tratada como o objeto da segunda lente.

- A magnificação total é:

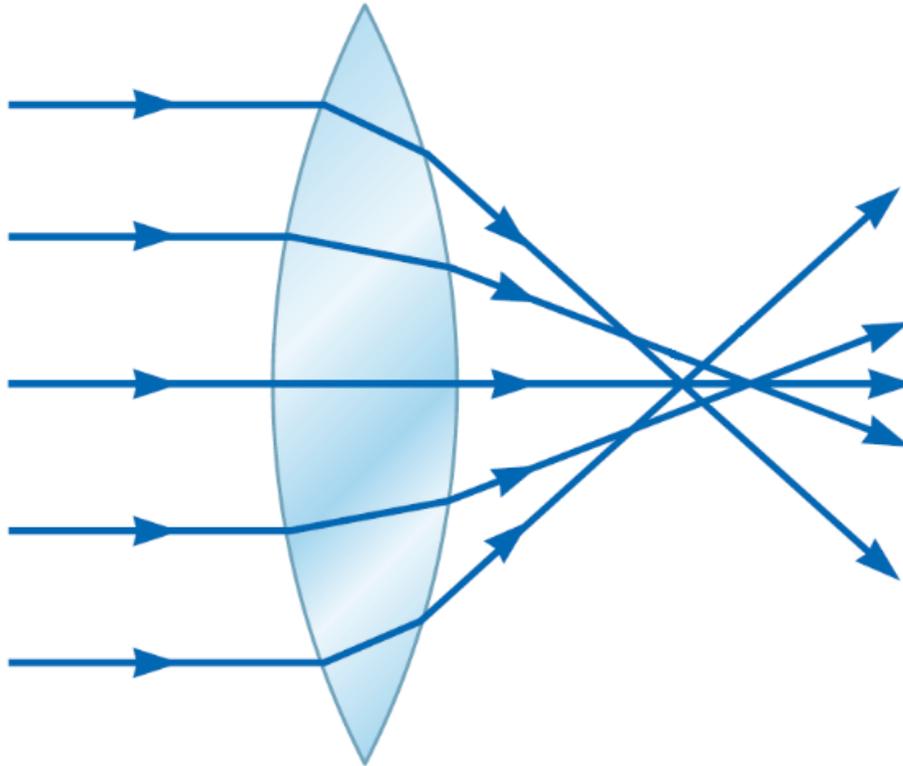
$$M = M_1 M_2$$

- Se estivermos a considerar mais do que duas lentes, estas considerações podem ser generalizadas.

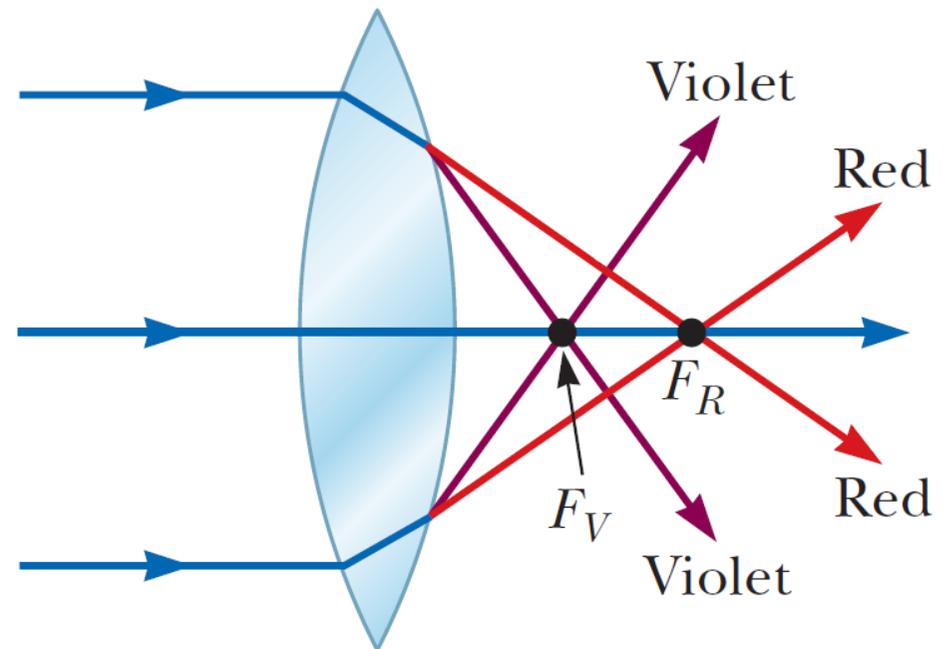


# Aberrações das lentes

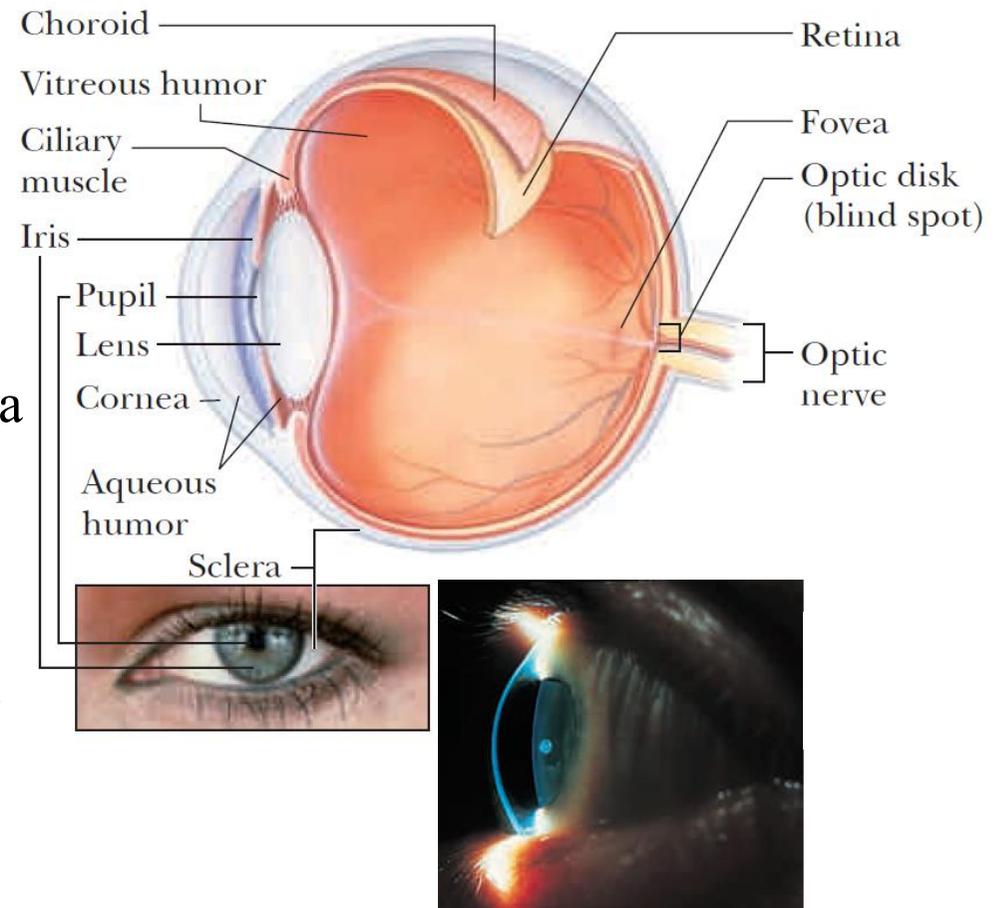
Aberrações esféricas



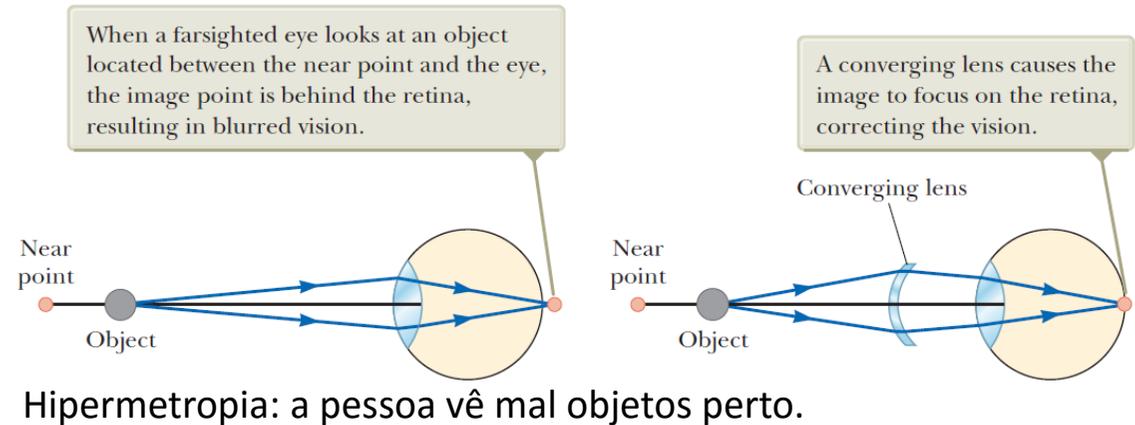
Aberrações cromáticas



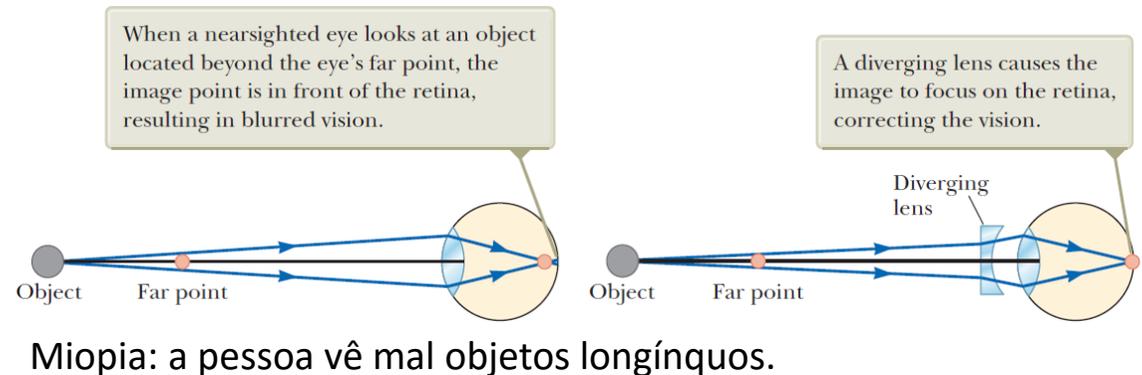
- A luz passa pela córnea (uma estrutura transparente), o humor aquoso (uma estrutura transparente), uma abertura variável (a pupila, que é uma abertura da íris) e o cristalino (ou lente).
- O olho consegue-se focar num objeto através de um processo chamado **acomodação**, no qual a forma do cristalino se muda de forma a que a sua distância focal seja diferente.
- A acomodação está limitada a objetos entre um ponto próximo (valor médio de 25 cm) e um ponto distante ( $\approx +\infty$ ).
- A imagem é formada na retina, onde estão células fotossensíveis (cones e bastonetes).



- Hipermetropia: Há um desequilíbrio entre a distância focal do sistema cristalino-córnea e o comprimento do olho. Desta forma os raios convergem depois de atingir a retina. A correção é uma lente convergente.



- Miopia: Um desequilíbrio semelhante faz com que os raios converjam antes de atingir a retina. A correção é uma lente divergente.

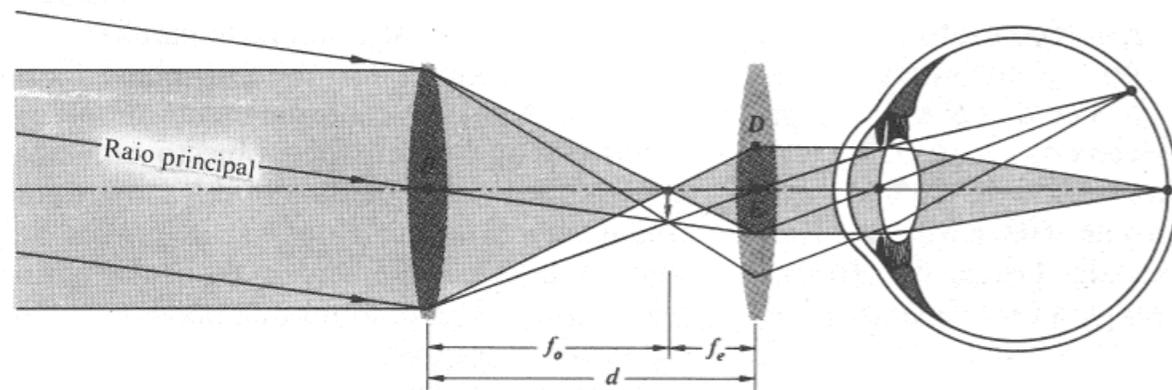


Potência de uma lente:  $P = 1/f$ , em Dioptrias ( $f$  em metros).

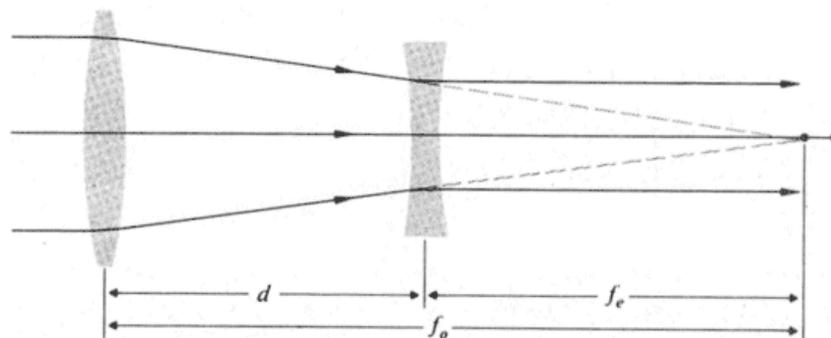
## Telescópios (dióptricos ou refractores)

- Vamos considerar apenas sistemas afocais, ou seja, para objetos longínquos os raios incidentes constituem um feixe paralelo (não é necessário a acomodação do olho).

Telescópio de Kepler  
ou Luneta Astronómica

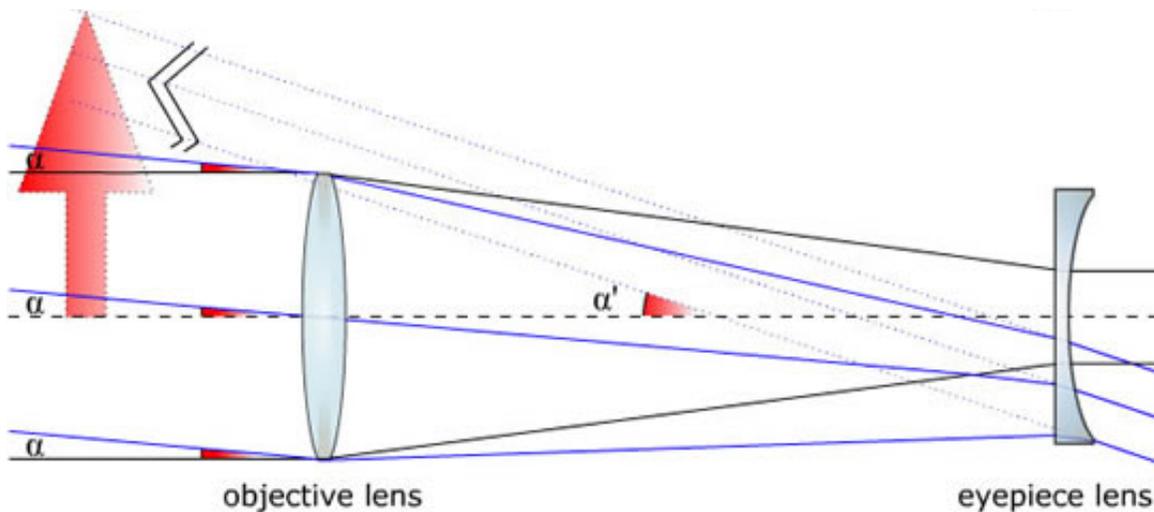
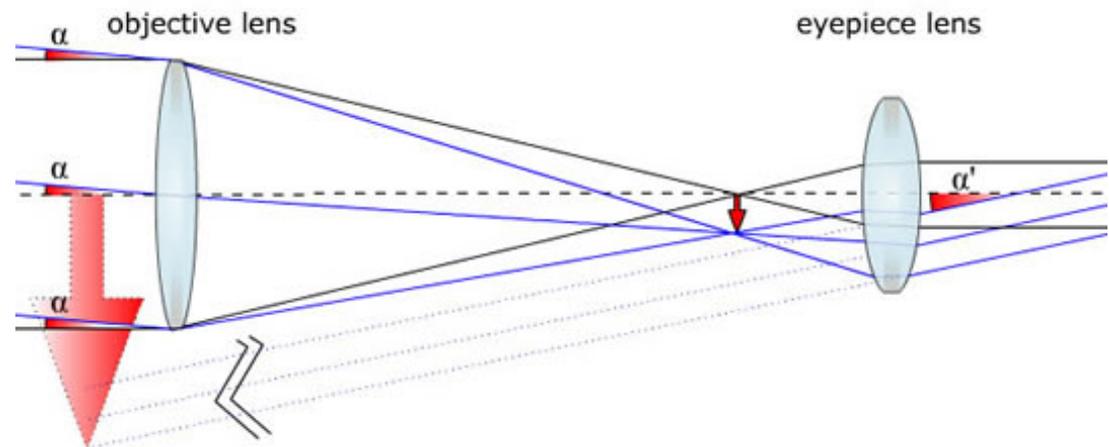


Telescópio de Galileu



## Telescópios (dióptricos ou refractores)

Telescópio de Kepler  
ou Luneta Astronómica



Telescópio de Galileu

# Microscópio composto

- É um instrumento ótico composto por duas lentes:
  - Objetiva: Distância focal ( $f_o$ ) muito curta ( $< 1 \text{ cm}$ ).
  - Ocular: Distância focal ( $f_e$ ) de alguns centímetros.
- As duas lentes estão separadas de uma distância  $L \gg f_o, f_e$ .

