

# Óptica

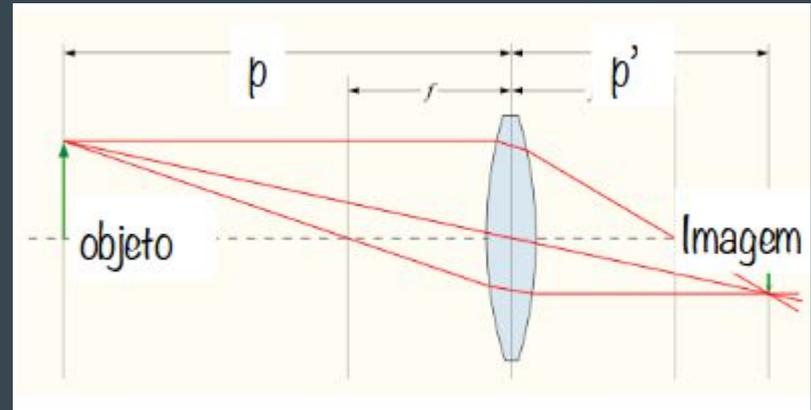


Aula 7-Instrumentos Ópticos  
ewout@usp.br

# Aula passada

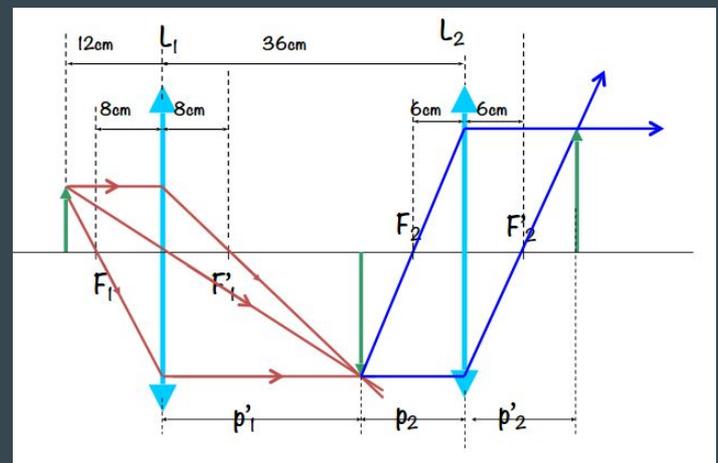
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{p'}{p}$$



Convenção de sinais:  $f < 0$  lente divergente,  $p' < 0$  imagem virtual

Associação de lentes: a ideia que a imagem do 1o elemento óptico pode ser considerada objeto do 2o elemento.



# Hoje: instrumentos ópticos

1. Conceito de Aumento e a lupa simples

1a. Resolução

2. Telescópios

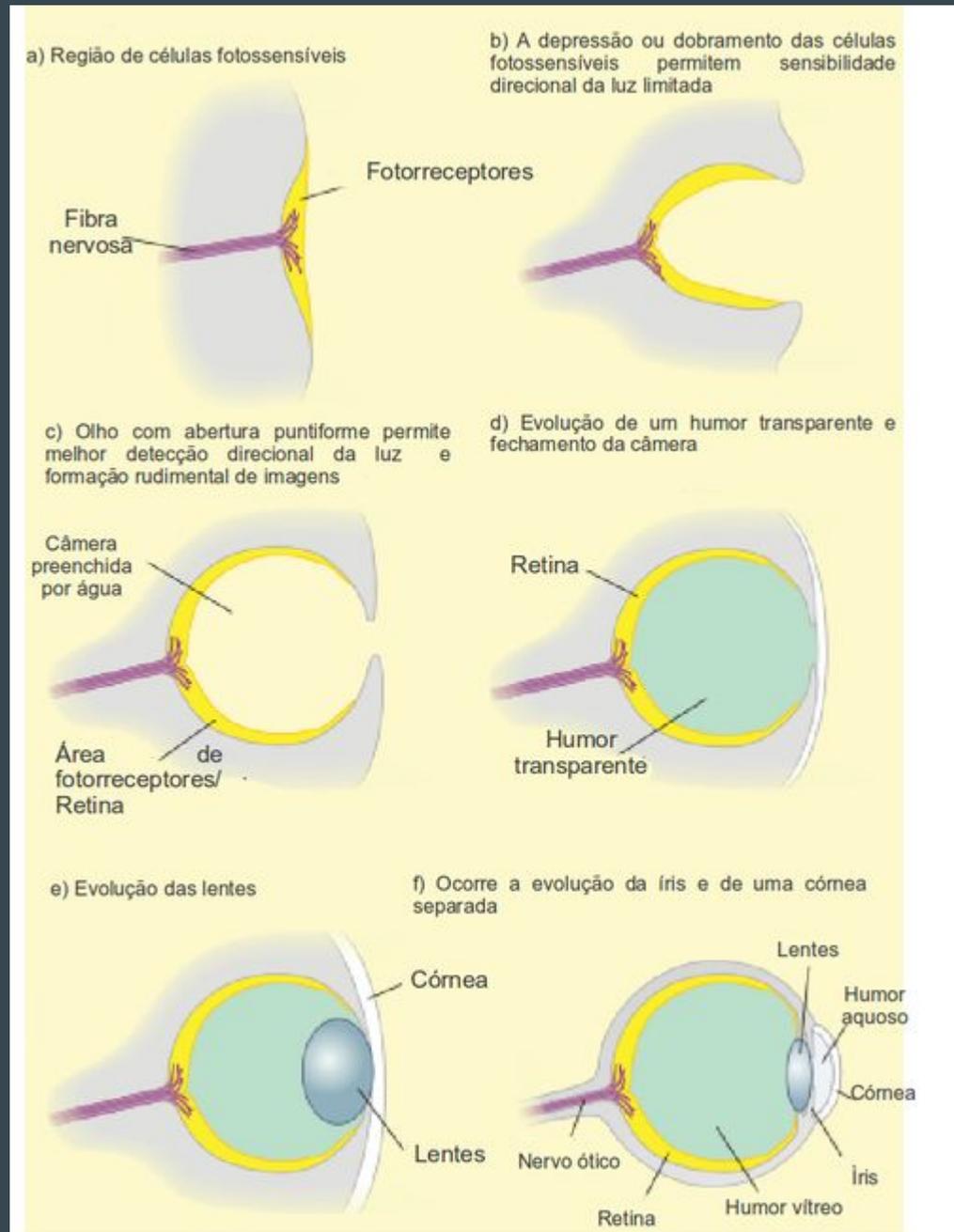
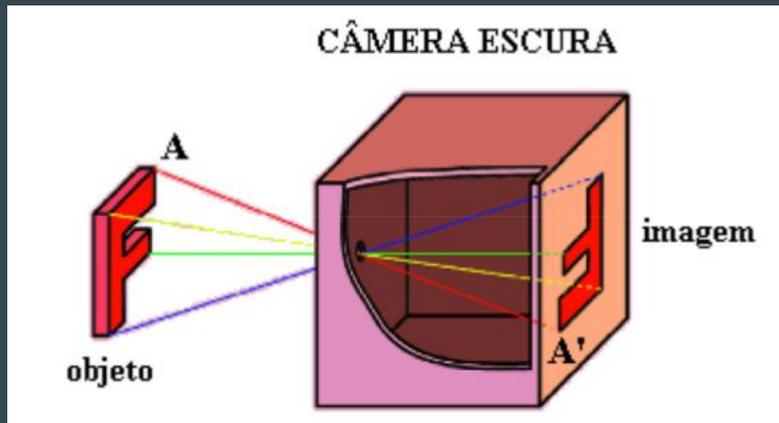
3. Olho e óculos

4. Microscópios

# Evolução dos Olhos

Formação de imagem em olhos e instrumentos ópticos.

O fundamento é a câmara escura. Lentes permitem coletar mais luz.

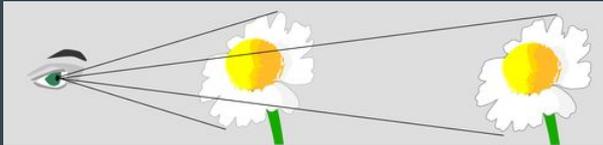


# Aumento angular

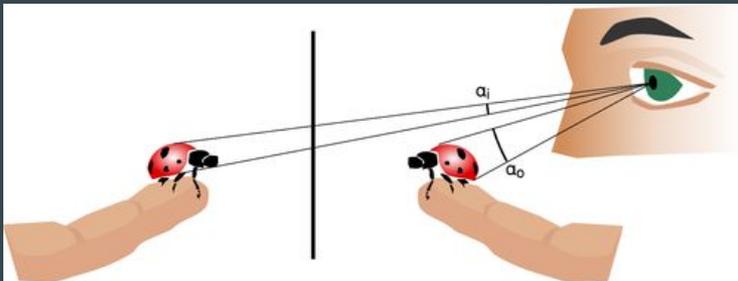
Aumento transversal nem sempre é o conceito mais útil. Objetos **parecem** maiores porque projetam imagens maior na retina!

Ampliação angular  $M = \alpha/\alpha'$

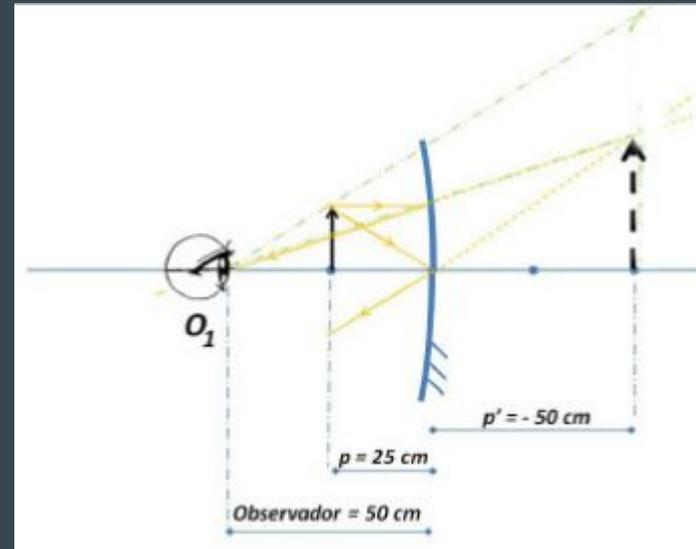
1



2



3



$f=50$  cm,  $p=25$ cm  $\rightarrow$   $p'=-50$ cm  
e  $M_T = 2$ . Mas não parece!

# Aumento linear nem sempre é o conceito mais útil

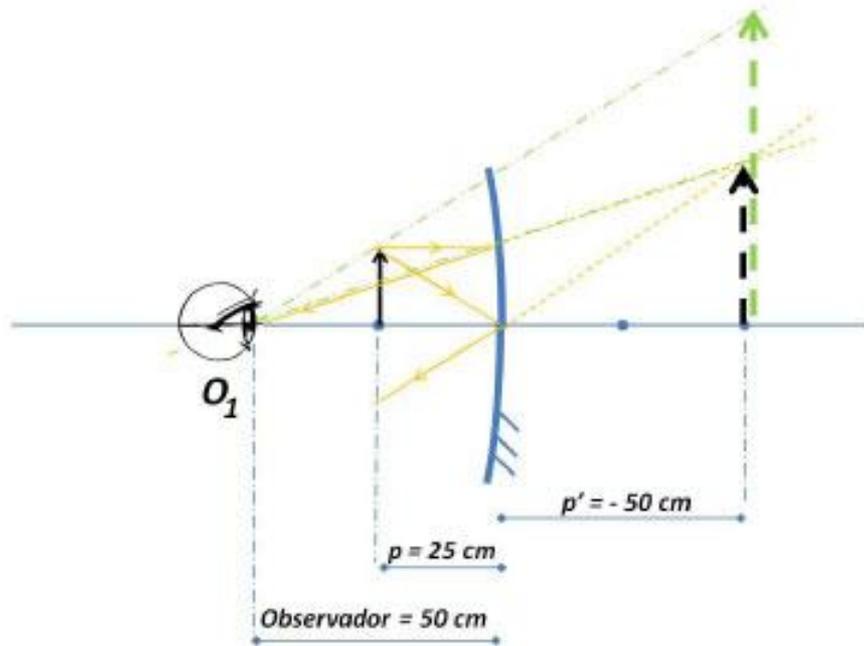
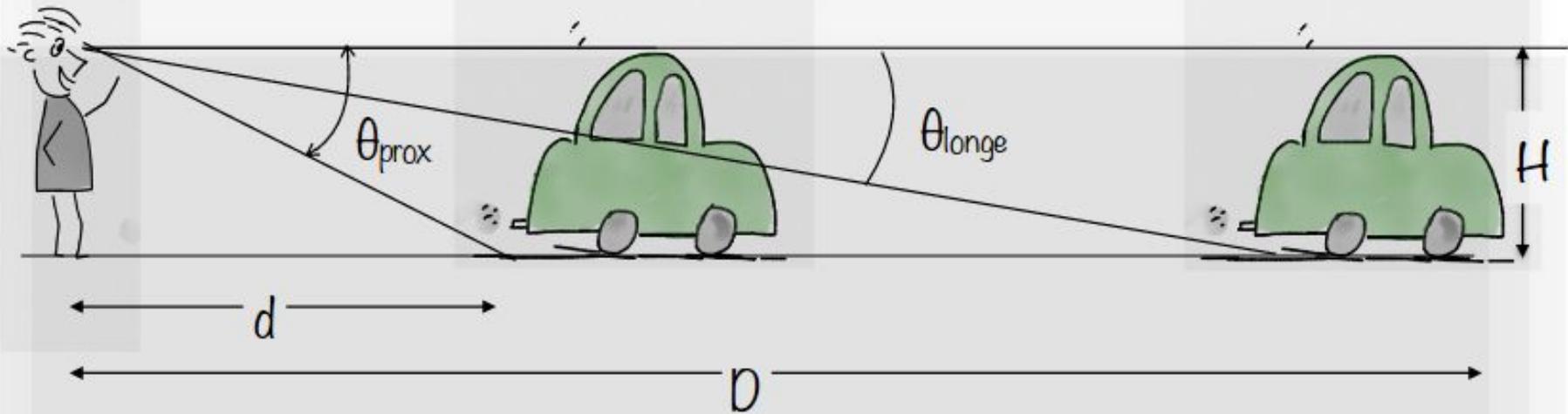


Figura 2 - Objeto colocado entre o vértice e o foco do espelho na posição  $p = 25$  cm. A distância focal ( $f$ ) é 50 cm e o observador está sobre o eixo principal na posição  $x = 50$  cm. A imagem é virtual, direita e localizada no ponto  $p' = -50$  cm. A imagem tem um Aumento Linear transversal (AL) igual a 2, mas nota-se claramente que o ângulo visual da imagem é menor do que o ângulo visual do objeto.



Figura 5 - Reprodução experimental da Fig. 2. A vela acesa (objeto) está colocada entre o vértice e o foco do espelho na posição  $p = 25$  cm. A máquina fotográfica (observador) está sobre o eixo principal na posição  $x = 50$  cm. O aumento linear transversal (AL) da imagem vale 2. Porém, percebe-se que a imagem fotografada é duas vezes menor do que o objeto.

# Tamanho angular



$$\left. \begin{aligned} \tan \theta_{prox} &= H/d \\ \tan \theta_{longe} &= H/D \end{aligned} \right\} \theta_{prox} > \theta_{longe}$$

O tamanho angular de um objeto depende da distância de observação

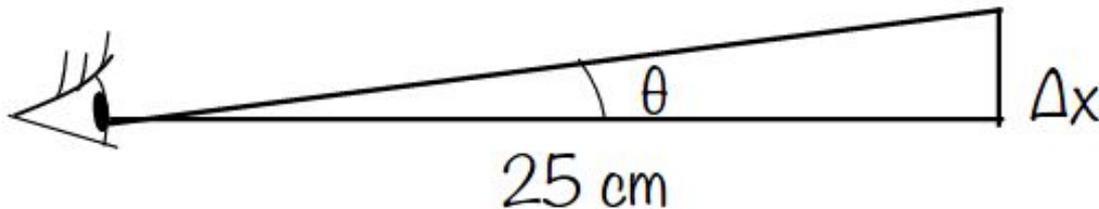
Quanto mais próximo do observador maior o tamanho angular de um objeto.

# Exercício rápido

1. Estimar, de forma bem aproximada, o **tamanho angular** (em radianos) da unha do seu polegar, com seu braço esticado
2. Um objeto de **1 metro de altura** parece ter o tamanho da sua unha. A **qual distância** fica?

# Tamanho angular

Visão Normal- Distância mínima de aproximação para boa acomodação do olho = 25 cm



Resolução Angular do olho humano =  $1,5 \times 10^{-4}$  rad \*

$$\tan \theta = (\Delta x) / (250 \text{ mm}) \cong \theta$$

$$\Delta x \cong 0,04 \text{ mm}$$

\* Tipler -cap.33

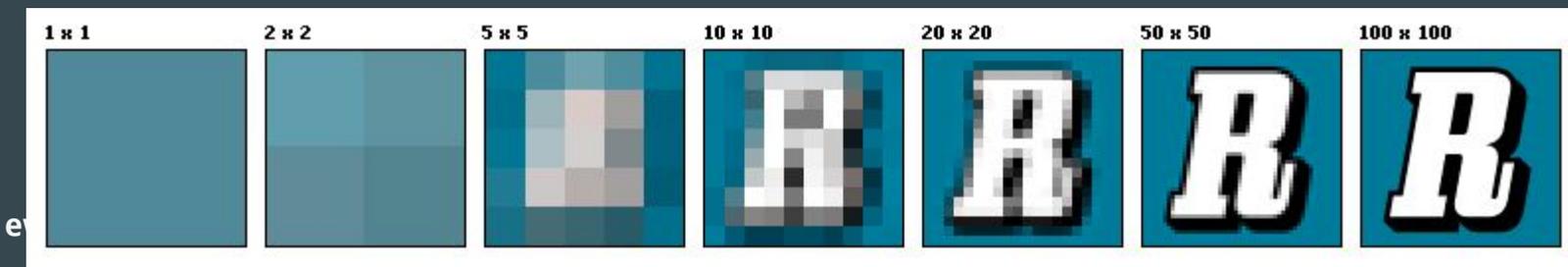
# [intermezzo] O conceito de resolução

“Zoom and enhance”, quais são os limites?

Resolução = menor diferença ainda distinguível

Para imagens, a resolução é limitada fundamentalmente pelo número de “pixels” do sensor (ou células na retina do olho)

Distinguir duas linhas no sensor ou retina: limitada pelo número de “pixels” / cm



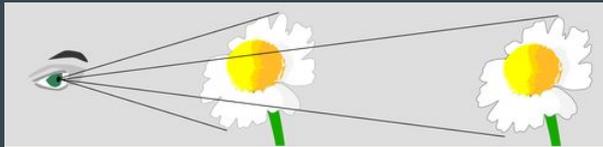
# A Lupa e aumento angular

Lupa: coloque o objeto entre o ponto focal e a lente.

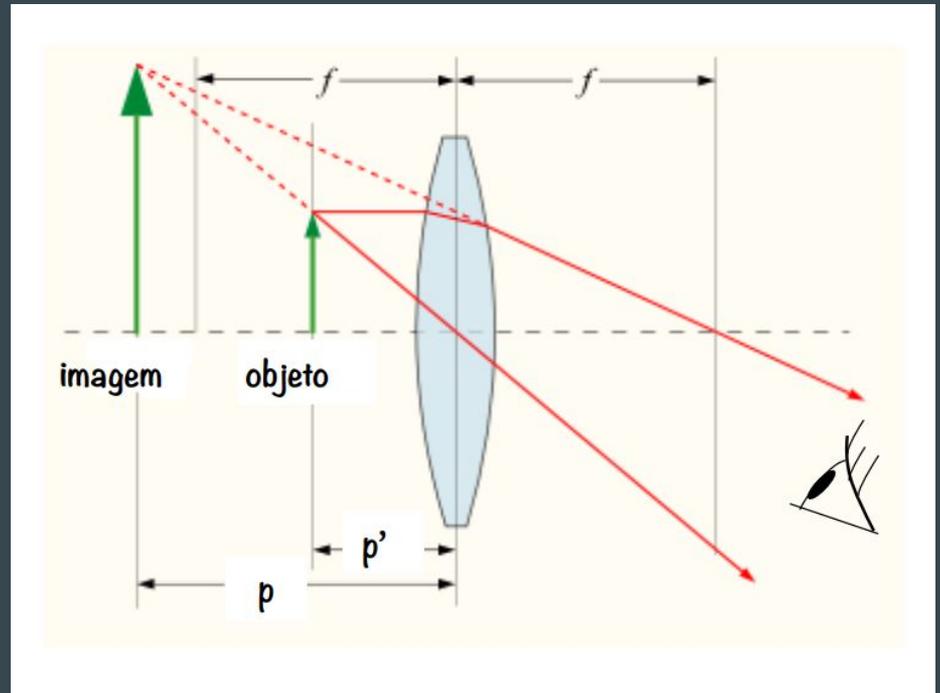
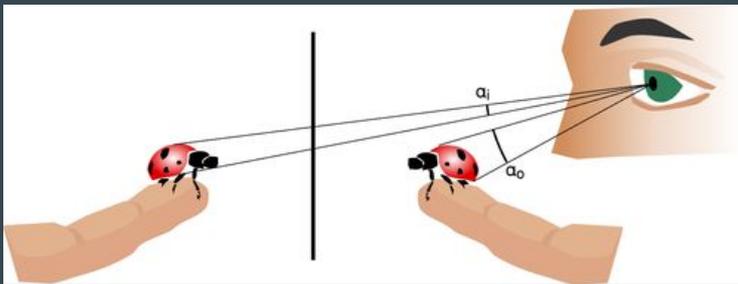
Aumento angular  $M = \alpha'/\alpha$  (ângulo imagem / ângulo ponto próximo)

3

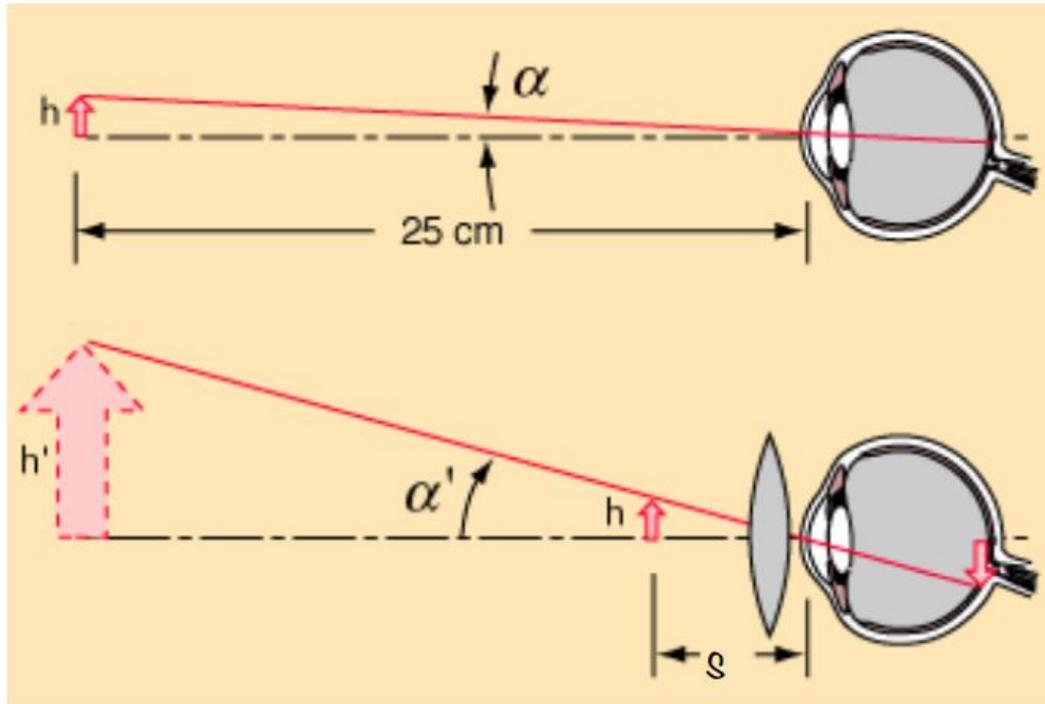
1



2



# Lupa



Ponto próximo=25 cm

$$M_{\alpha} = \text{aumento angular} \quad \longrightarrow \quad * M_{\alpha} = \frac{25\text{cm}}{f}$$

Para pequenos ângulos

$$\alpha = \frac{h}{25} \quad \alpha' = \frac{h}{s}$$

$$M_{\alpha} = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{h/s}{h/25} = \frac{25}{s}$$

Se o objeto é colocado  
aproximadamente no ponto focal da lupa  
 $s \approx f$

Obs.: com o valor de  $f$  em  
centímetros

# Vocabulário

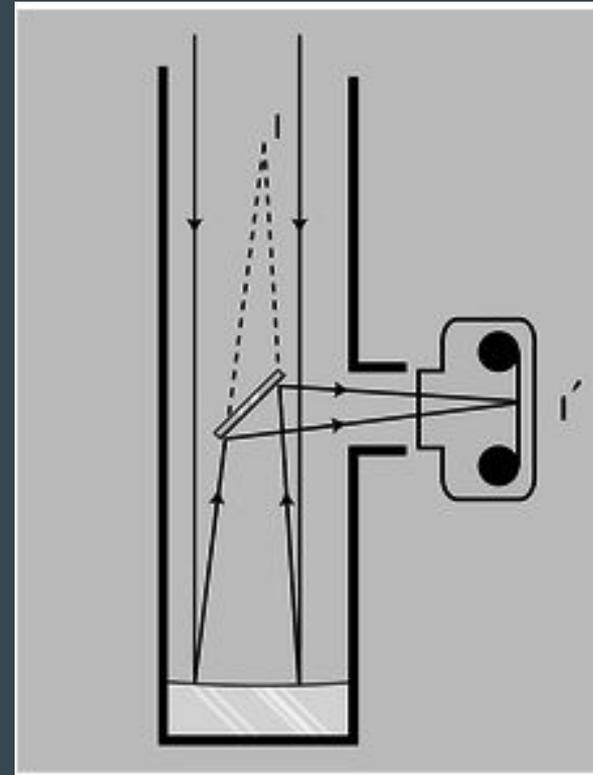
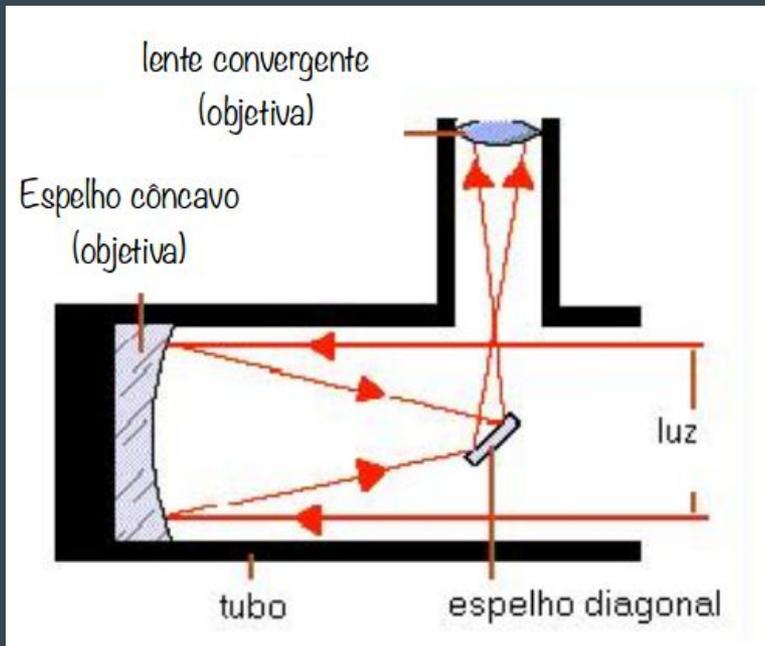
Aumento transversal e angular

Ponto próximo

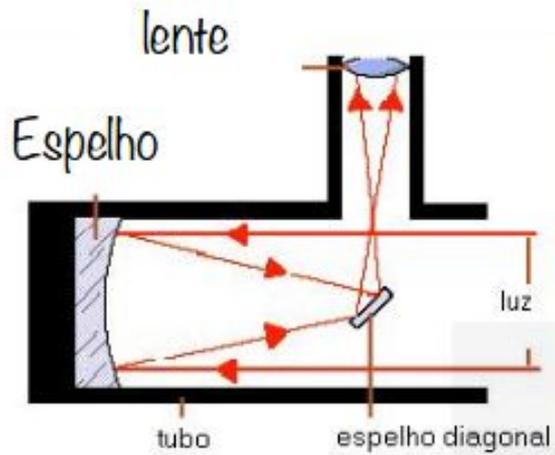
Lupa

Resolução

# Telescópios modernos são feitos com espelhos (“Newtonianos”)



Uma imagem real seria formada em I. O espelho plano forma uma imagem da imagem em I'.



# Telescópios de grandes aberturas - pesquisa



Organização	European South Observatory
Localização	Cerro Paranal, Deserto de Atacama-Chile
Altitude	2.635 m
Clima:	>340 noites claras/ano
Website	<a href="http://www.eso.org/projects/vlt/">www.eso.org/projects/vlt/</a>
Telescópios $R=29\text{m}$ , $f=13\text{m}$	
Antu (UT1):	<u>8,2 m</u> refletor (diâmetro)
Kueyen (UT2):	8,2 m refletor (diâmetro)
Melipal (UT3):	8,2 m refletor (diâmetro)
Yepun (UT4):	8,2 m refletor (diâmetro)

# Matriz de espelhos hexagonais formando um Telescópio Extremamente Grande (ELT - Extremely Large Telescopes)



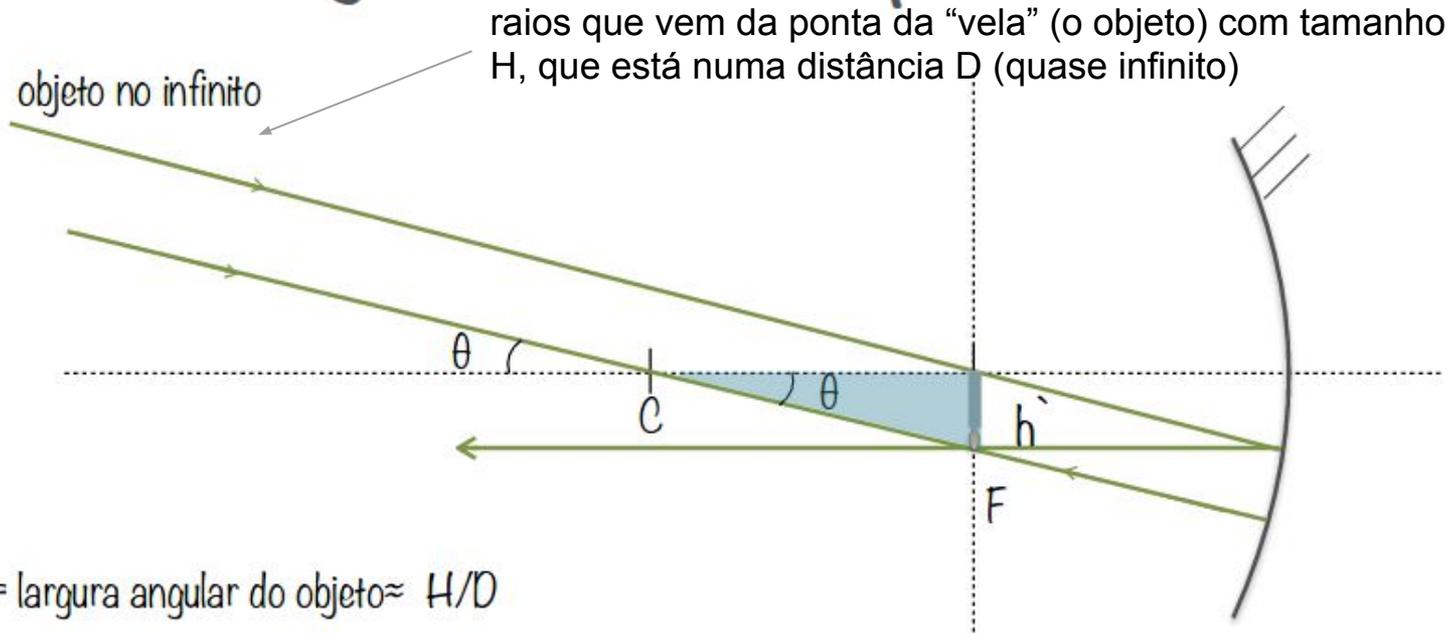
[http://en.wikipedia.org/wiki/Segmented\\_mirror](http://en.wikipedia.org/wiki/Segmented_mirror)



Tipo de telescópio	<a href="#">Ritchey-Chretien</a> refletor
Diametro	<u>2,4 m</u>
Área útil	~ 4,3 m <sup>2</sup>
<a href="#">Comprimento focal:</a>	<u>57,6 m</u>
Website:	<a href="http://www.nasa.gov/hubble">http://www.nasa.gov/hubble</a> <a href="http://hubble.nasa.gov">http://hubble.nasa.gov</a> <a href="http://hubblesite.org">http://hubblesite.org</a> <a href="http://www.spacetelescope.org">http://www.spacetelescope.org</a>

Telescópios trazem uma imagem do objeto (menor do que objeto!) *mais perto*. O resultado é que consegue enxergar mais detalhes

## Aumento angular de um telescópio



$$\theta = \text{largura angular do objeto} \approx H/D$$

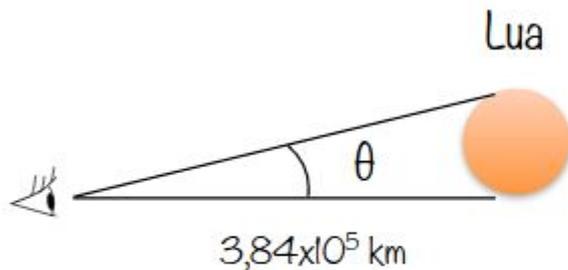
$$\theta = h'/F$$

A imagem real pode ser observada de perto;  
a olho nu, projetada em um anteparo,  
ou com uma ocular, que funciona como lupa.

# A imagem da Lua dentro do telescópio tem um tamanho de 12 cm

Qual o diâmetro da imagem da Lua no plano focal de um telescópio (terrestre) de 13 m de distância focal, como os que estão instalados no Deserto do Atacama no Chile?

Dados: Distância Terra-Lua =  $3,84 \times 10^5$  Km e o diâmetro da Lua =  $3,5 \times 10^3$  Km.



$$\tan \theta = 3,5 \times 10^3 \text{ km} / (3,84 \times 10^5 \text{ km})$$
$$\tan \theta = 9,1 \times 10^{-3}$$

a imagem formada no telescópio terá um diâmetro  $h'$   $\rightarrow$   $\theta = h' / F$

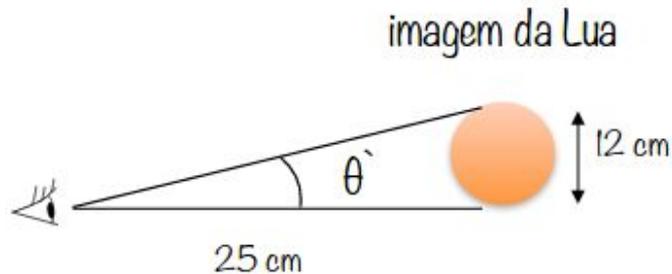
$$\theta = 9,1 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$h' = 9,1 \times 10^{-3} (13 \text{ m}) \rightarrow h' = 1,18 \times 10^{-1} \text{ m} \rightarrow \boxed{h' = 12 \text{ cm}}$$

# Mas enxergando a imagem de tamanho 12 cm a 25 cm de distância é muito melhor.

Mas comparando o tamanho do objeto e da imagem, vemos que a imagem é menor do que o objeto. O que o telescópio faz é trazer para um perto um objeto que está distante. Então, o que precisa ser avaliado é o aumento angular.

se a imagem da Lua formada pelo Telescópio for observada a olho nu, sobre um anteparo, a 25 cm;



$$\tan \theta' = 12\text{cm}/(25\text{cm})$$

$$\tan \theta' = 0,48$$

$$\theta' = 0,45 \text{ rad}$$

$$\text{Aumento Transversal: } M_{\theta} = \theta' / \theta$$

$$M_{\theta} = 0,45 \text{ rad} / (9 \times 10^{-3} \text{ rad})$$

$$M_{\theta} \approx 50$$

# Aumento angular de um telescópio

Se usamos somente o espelho principal com distância focal  $f$  e a olhamos diretamente para a imagem (tamanho  $h'$ ):

$$M_{\theta} = \frac{\hat{\text{ângulo final}}}{\hat{\text{ângulo inicial}}} = \frac{h'/25 \text{ cm}}{h'/f} = \frac{f}{25 \text{ cm}}$$

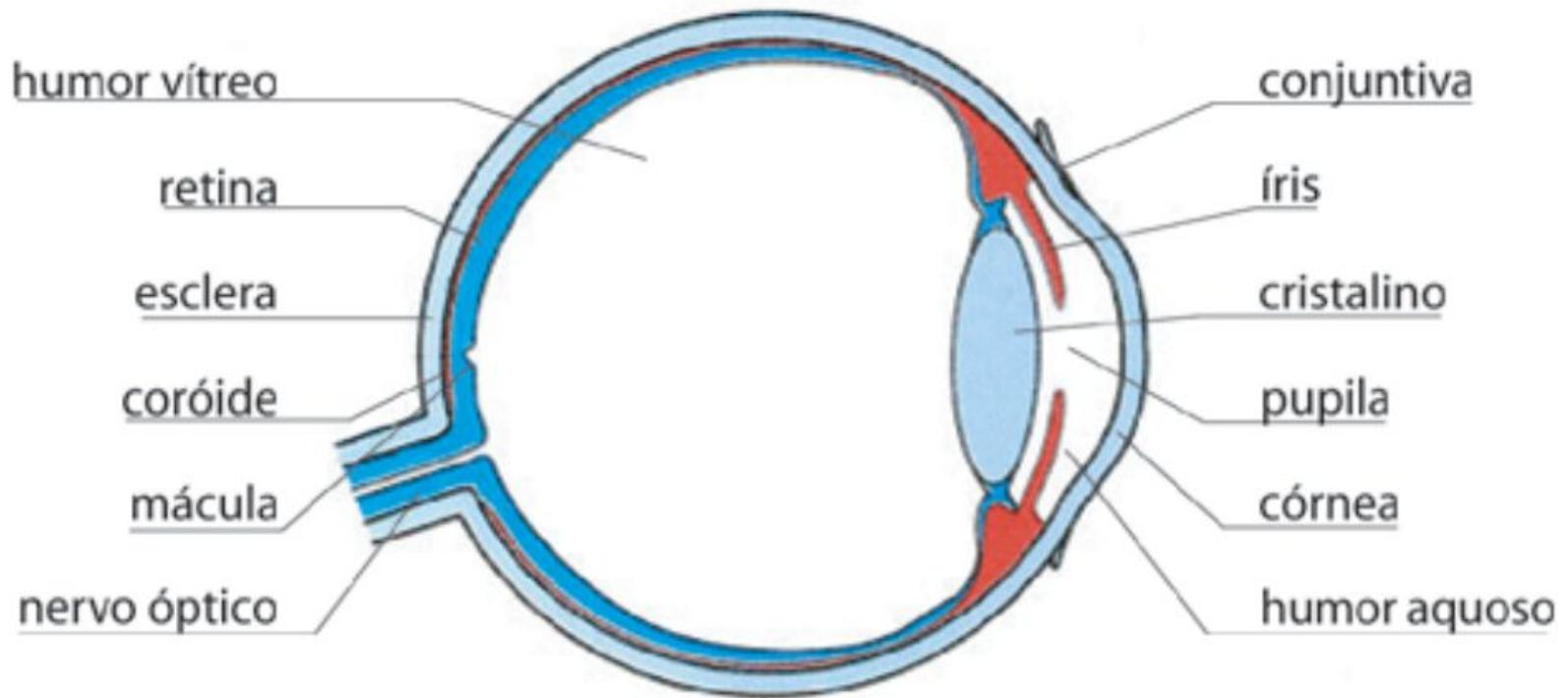
Mas se usamos uma lupa (ocular) para ampliar a imagem:

$$\hat{\text{ângulo final}} = 25 \text{ cm}/f_{\text{ocular}} \cdot h'/25 \text{ cm} = h'/f_{\text{ocular}}$$

e

$$M_{\theta} = \frac{f}{f_{\text{ocular}}}$$

# Olho

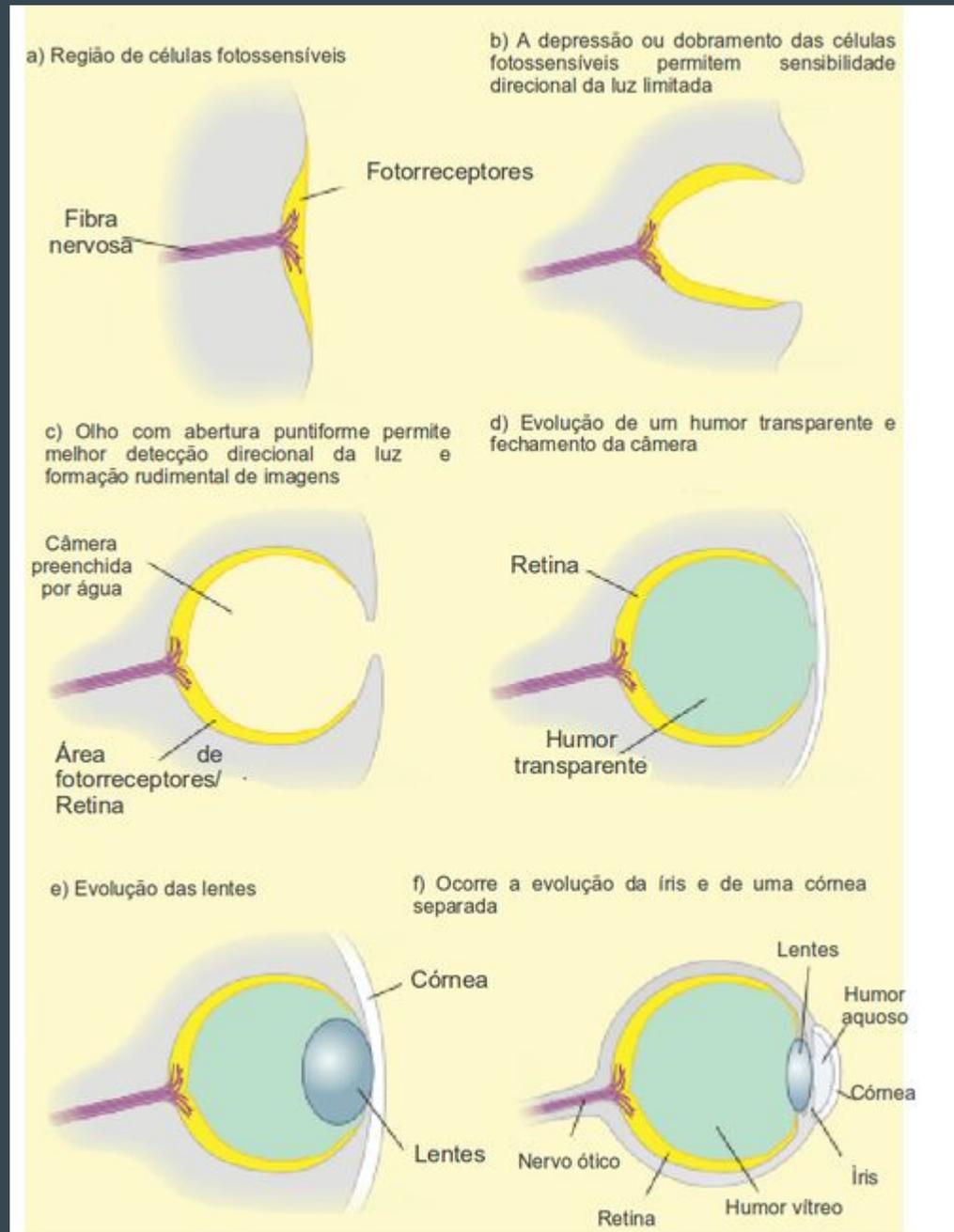
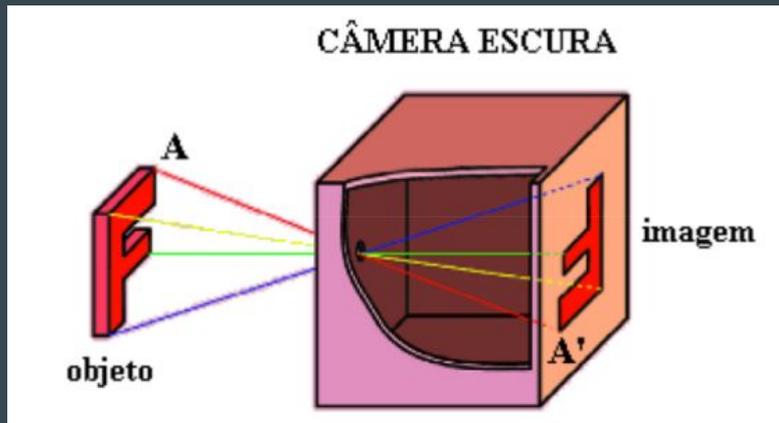


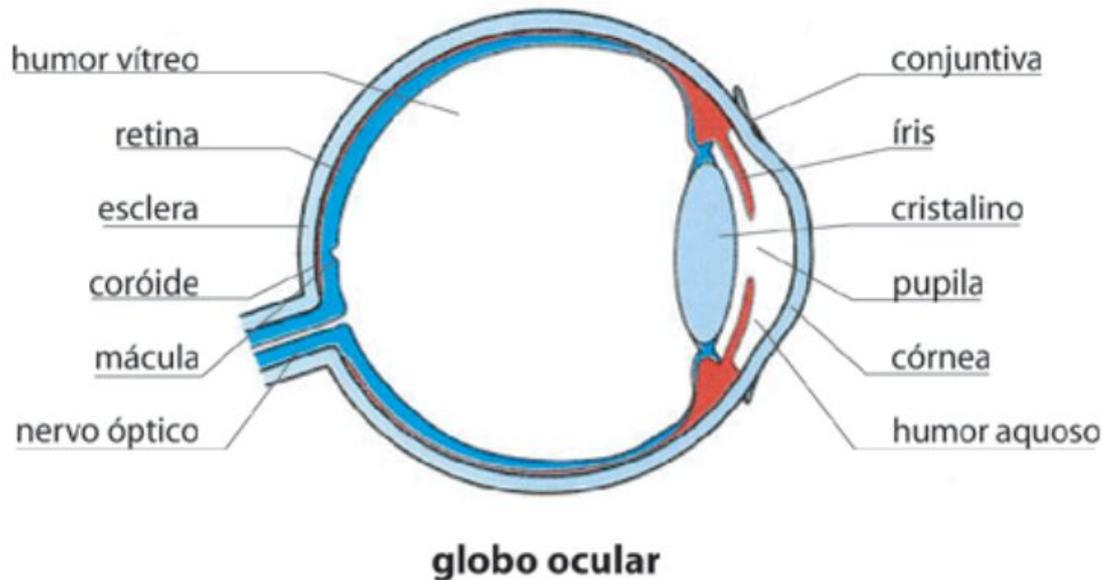
**globo ocular**

# Evolução dos Olhos

Formação de imagem em olhos e instrumentos ópticos.

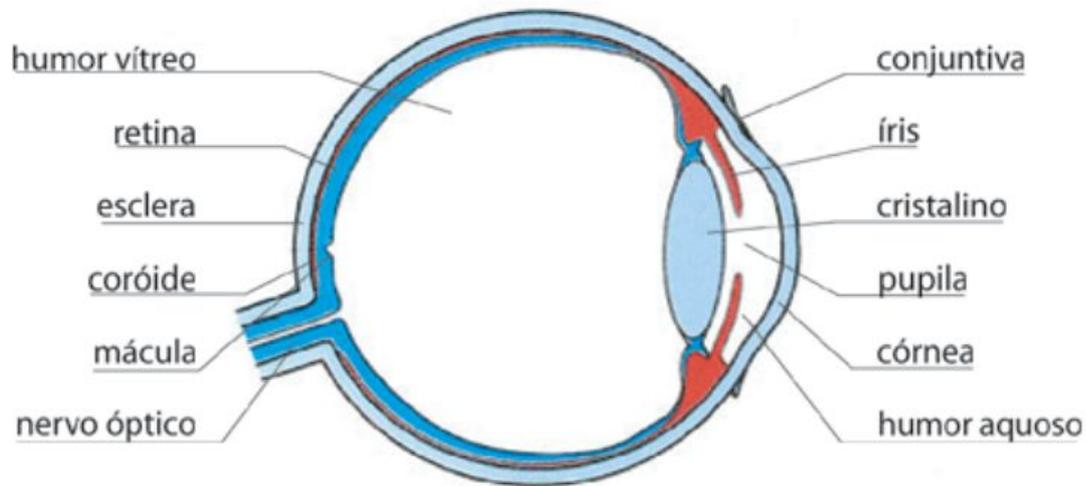
O fundamento é a câmara escura. Lentes permitem coletar mais luz.





A forma do olho humano é quase esférica, com diâmetro aproximado de 25 mm. A parte frontal é ligeiramente mais encurvada, recoberta por uma membrana dura e transparente, a córnea.

A região atrás da córnea contém um líquido, chamado de humor aquoso e a seguir vem o cristalino, uma lente em forma de cápsula com uma gelatina fibrosa dura no centro e progressivamente mais macia à medida que se aproxima da sua periferia. A íris, é um diafragma que controla a entrada de luz.



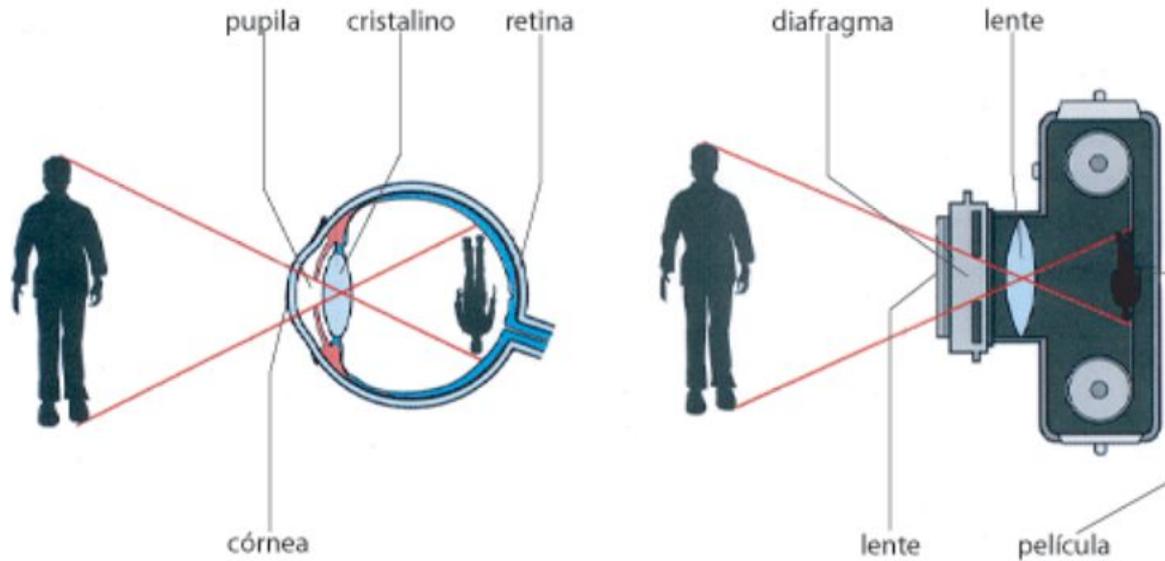
**globo ocular**

Atrás do cristalino, o olho está cheio de um líquido gelatinoso, chamado de humor vítreo.

Os índices de refração do humor vítreo, e do humor aquoso são aproximadamente iguais a 1,336, valor quase igual ao índice de refração da água.

O cristalino apesar de não ser homogêneo, possui um índice de refração de 1,437. Esse valor não é muito diferente do índice de refração do humor vítreo e do humor aquoso; **a maior parte da refração ocorre na superfície externa da córnea.**

# O olho e máquina fotográfica

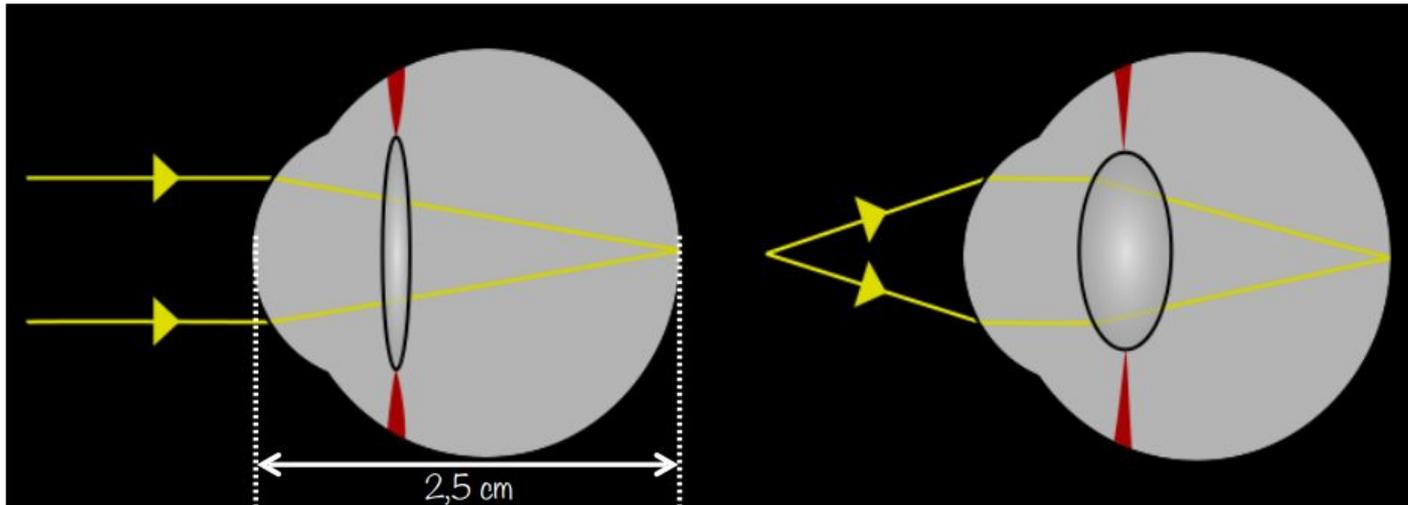


**o olho e a máquina fotográfica**

Abertura da íris- varia de  $f/2$  a  $f/8$ - para controlar a intensidade de luz.

Distância focal ajustável para que a imagem se forme sobre a retina

# Acomodação

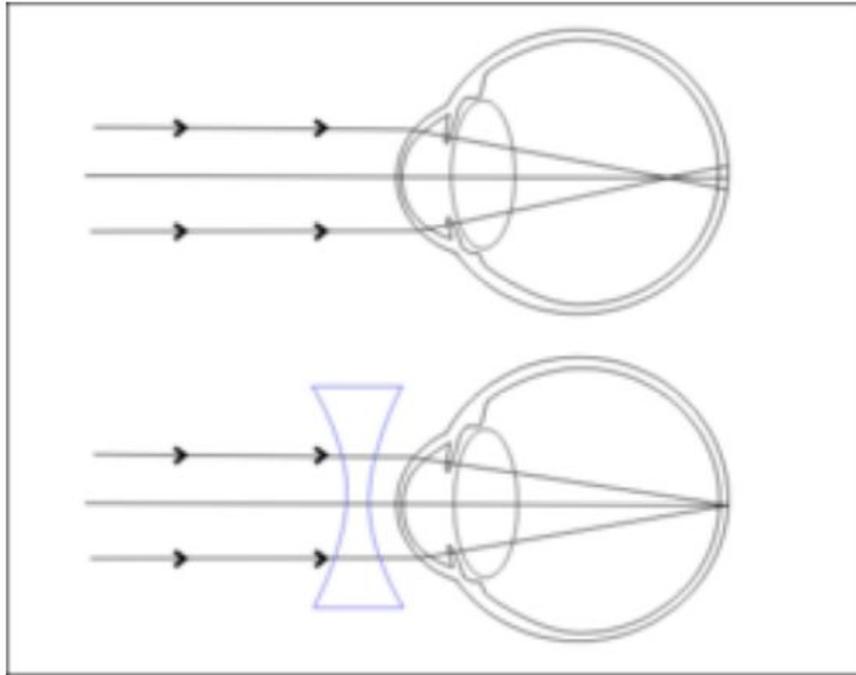


Distância objeto	Distância Focal
0,25m	1,59 cm
1 m	1,67 cm
3 m	1,69 cm
100 m	1,70 cm
$\infty$	1,70 cm

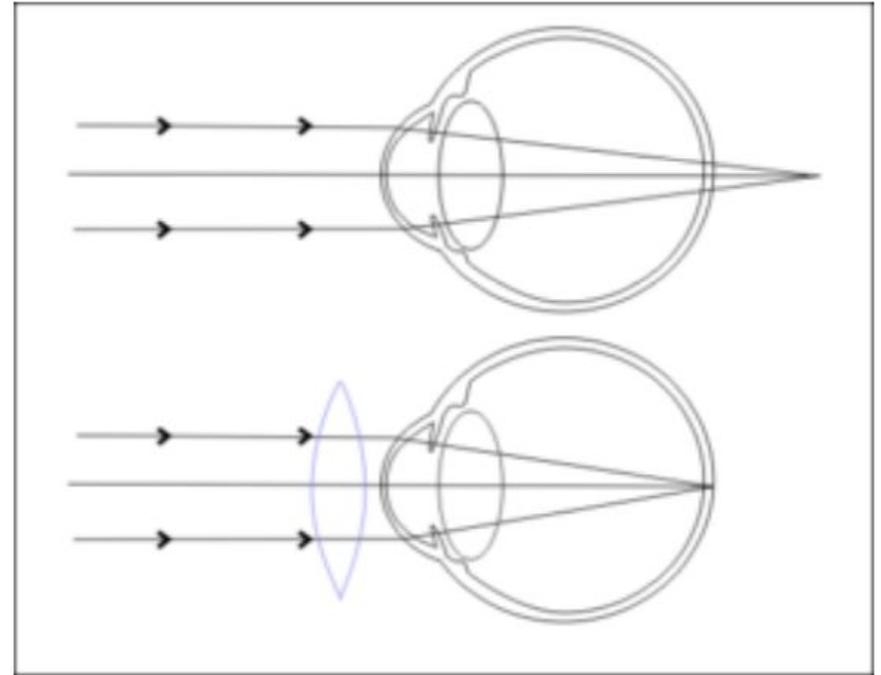
Ponto Próximo - 25cm

Menor distância para a qual é possível obter uma imagem nítida na retina.

# Problemas de acomodação e correção



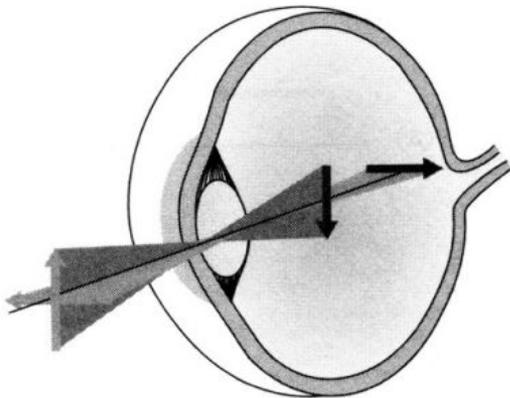
Miopia



Hipermetropia

[Extra]

## Problemas de acomodação e correção



**FIGURA 36.9** As imagens de linhas verticais se formam antes da retina para este olho com astigmatismo.

### Astigmatismo

Córnea ou cristalino, não são esféricos (como a superfície de um câmara de pneu)

Correção: lentes cilíndricas

# Exemplo 1

Uma pessoa com hipermetropia tem seu ponto próximo a 75 cm. Utilizando óculos de leitura, a distância do ponto próximo do sistema lente-olhos é deslocado para 25 cm. Isto é, se um objeto é colocado a 25 cm das lentes, uma imagem virtual é formada a uma distância de 75 cm na frente das lentes.

- a) Qual a potência das lentes dos óculos (potência da lente  $=1/f$ )?
- b) Qual a ampliação lateral da imagem formada pelas lentes?

# Solução

Objeto virtual a 75 cm (é o que olho vê no final)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{25\text{cm}} + \frac{1}{(-75\text{cm})}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3-1}{75\text{cm}} = \frac{2}{0,75\text{m}}$$

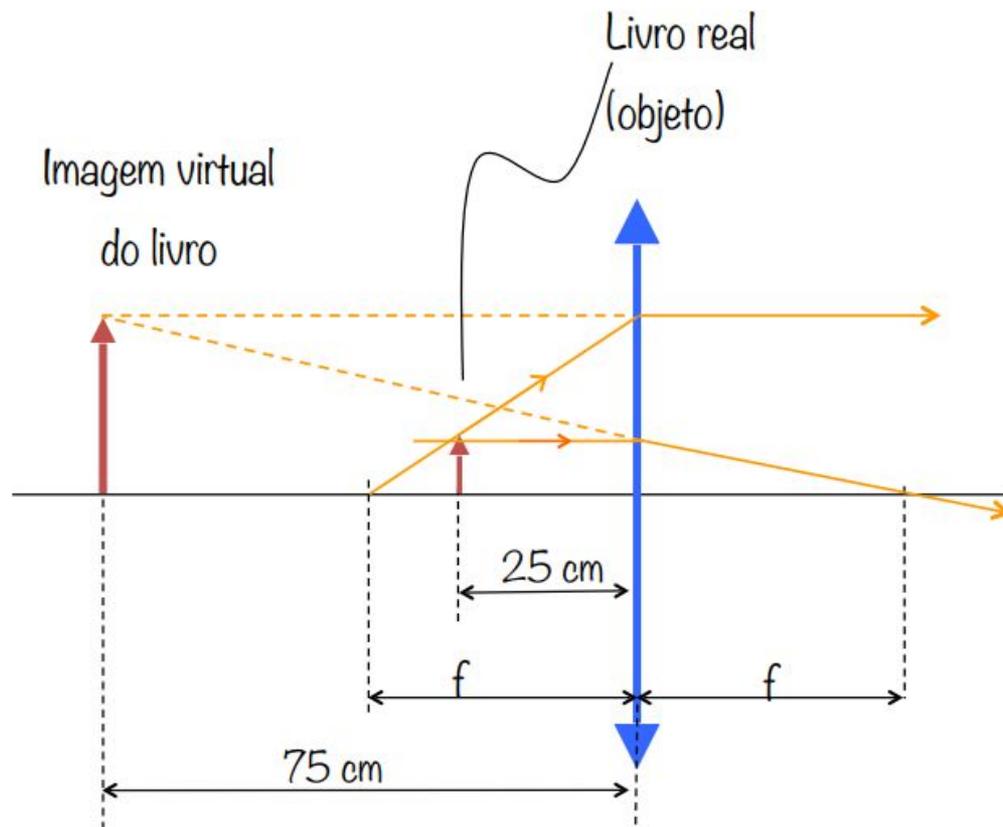
$$\frac{1}{f} = 2,67 \text{ m}^{-1} = 2,67 \text{ diptrias}$$

$$f = 37,5\text{cm}$$

$f > 0$ , Lente convergente,

$$M = -\frac{p'}{p} = -\frac{-75\text{cm}}{25\text{cm}} = 3$$

???



# Exemplo 3 - miopia

Uma pessoa não pode perceber com clareza objetos além de de 50 cm.

- a) Qual seria a distância focal da lente prescrita para corrigir esse problema de acomodação?
- b) Qual a potência dessa lente?

# Solução

O objetivo da lente corretora é deslocar objetos do infinito até um ponto em que possam ser focalizados pelo olho; para uma distância de 50 cm do olho.

Essa será uma imagem virtual para o olho, pois ainda estará a frente da lente corretora (isto é do lado oposto aos raios emergentes).

Assim:  $p = \infty$ ,  $p' = -50\text{cm}$ .

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{50\text{cm}}$$

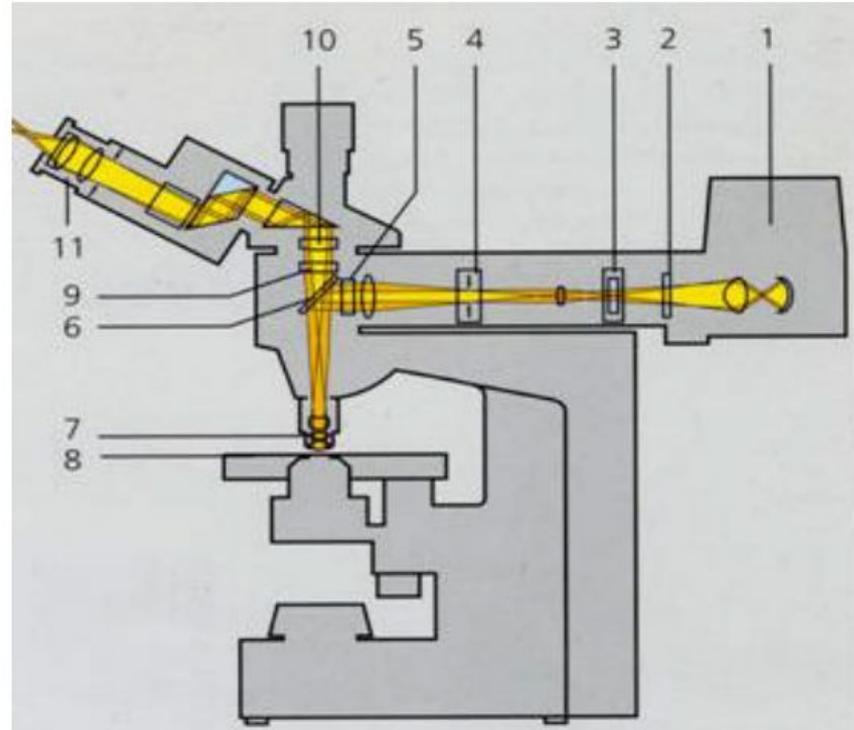
$$f = -50\text{cm}$$

Potência da Lente:  $P = 1/f$  (f em metros)

$$f = 0,5\text{m}, \quad P = -2 \text{ dioptrias}$$

**A lente corretora deve ser  
divergente!**

# Microscópio composto

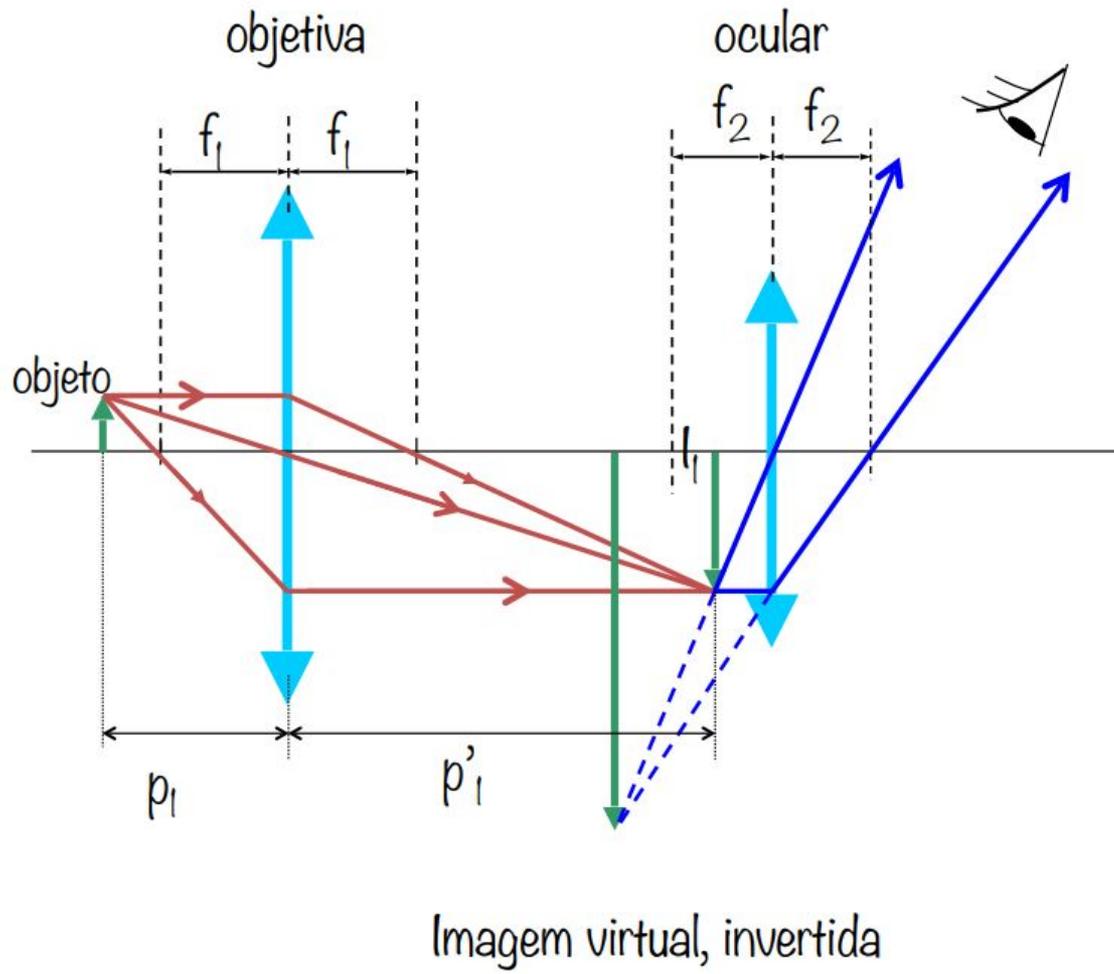


7- objetiva

8- objeto

11- ocular

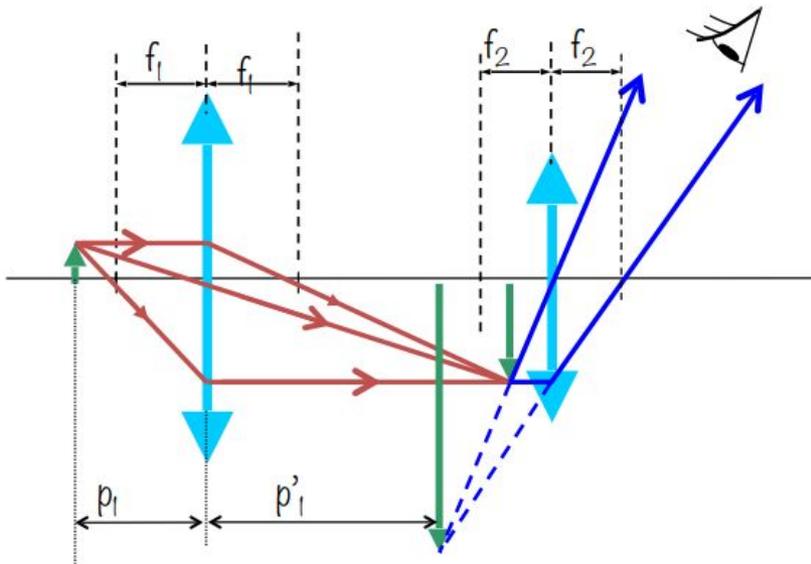
# Microscópio composto



Aumento total=M

M=aumento transversal da objetiva x aumento angular da ocular  $\rightarrow M=m_1 \cdot M_\theta$

$$m_1 = -\frac{p'_1}{p_1} \quad M_\theta = \frac{25\text{cm}}{f_2} \quad *$$



Como em geral o objeto está muito próximo do foco da objetiva e  $p'_1$  é muito maior que  $p_1$ ;

$$p_1 \cong f_1 \Rightarrow m_1 = -\frac{p'_1}{f_1}$$

$$* M = -\frac{p'_1 \cdot (25\text{cm})}{f_1 \cdot f_2}$$

O sinal negativo indica que a imagem é invertida.

Obs.: com os valores de  $p'_1$ ,  $f_1$  e  $f_2$  em centímetros

# Exemplo

A objetiva de um microscópio com distância focal de 5,0 mm forma uma imagem a uma distância de 16 mm. A ocular possui distância focal de 26,0 mm.

(a) Qual a ampliação angular do microscópio?

(b) Sabendo-se que o olho nu pode separar dois pontos na vizinhança do ponto próximo quando a distância entre os pontos for aproximadamente igual a 0,1 mm, determine a separação mínima entre dois pontos que pode ser resolvida por esse microscópio?

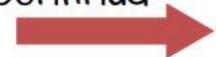
---

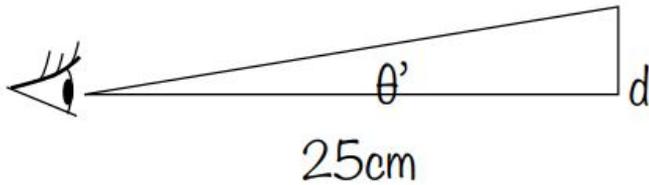
$f_1$  e  $f_2$  são positivos pois ambas as lentes são convergentes e  $p'_1$  é positivo porque a imagem formada pela objetiva é real.

Temos:  $p'_1=16,5\text{cm}$ ,  $f_1=0,5\text{cm}$  e  $f_2=2,6\text{cm}$

$$M = -\frac{p'_1 \cdot (25\text{cm})}{f_1 \cdot f_2} \Rightarrow M = -\frac{(16,5\text{cm}) \cdot (25\text{cm})}{(0,5\text{cm}) \cdot (2,6\text{cm})} \cong -317$$

continua





Na imagem observada, para  $d=0,1 \text{ mm}$

$$\text{tg}\theta' \approx \theta' = (0,1 \text{ cm}) / (25 \text{ cm}) (0,004 \text{ rad})$$

$$M = -\frac{\theta'}{\theta} \Rightarrow \theta = -\frac{\theta'}{M}$$

$$\theta = -\frac{0,004}{-317} = 1,3 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

No objeto, isso corresponderia a uma separação entre dois pontos igual a  $d'$ :

$$d' = (25 \text{ cm}) \cdot \theta \Rightarrow d' = (25 \text{ cm}) \cdot 1,3 \times 10^{-5}$$

$$d' = 3,3 \times 10^{-4} \text{ cm} = 3,3 \text{ } \mu\text{m}$$

Utilizando esse microscópio dois pontos separados por uma distância igual a cerca de  $3 \text{ } \mu\text{m}$  podem ser distinguidos.

# Resumo e Vocabulário

Aumento transversal e angular

Ponto próximo

Lupa simples

Resolução

Miopia, Hipermetropia, Acomodação

Objetiva, Ocular, Microscópio composto, Telescópio