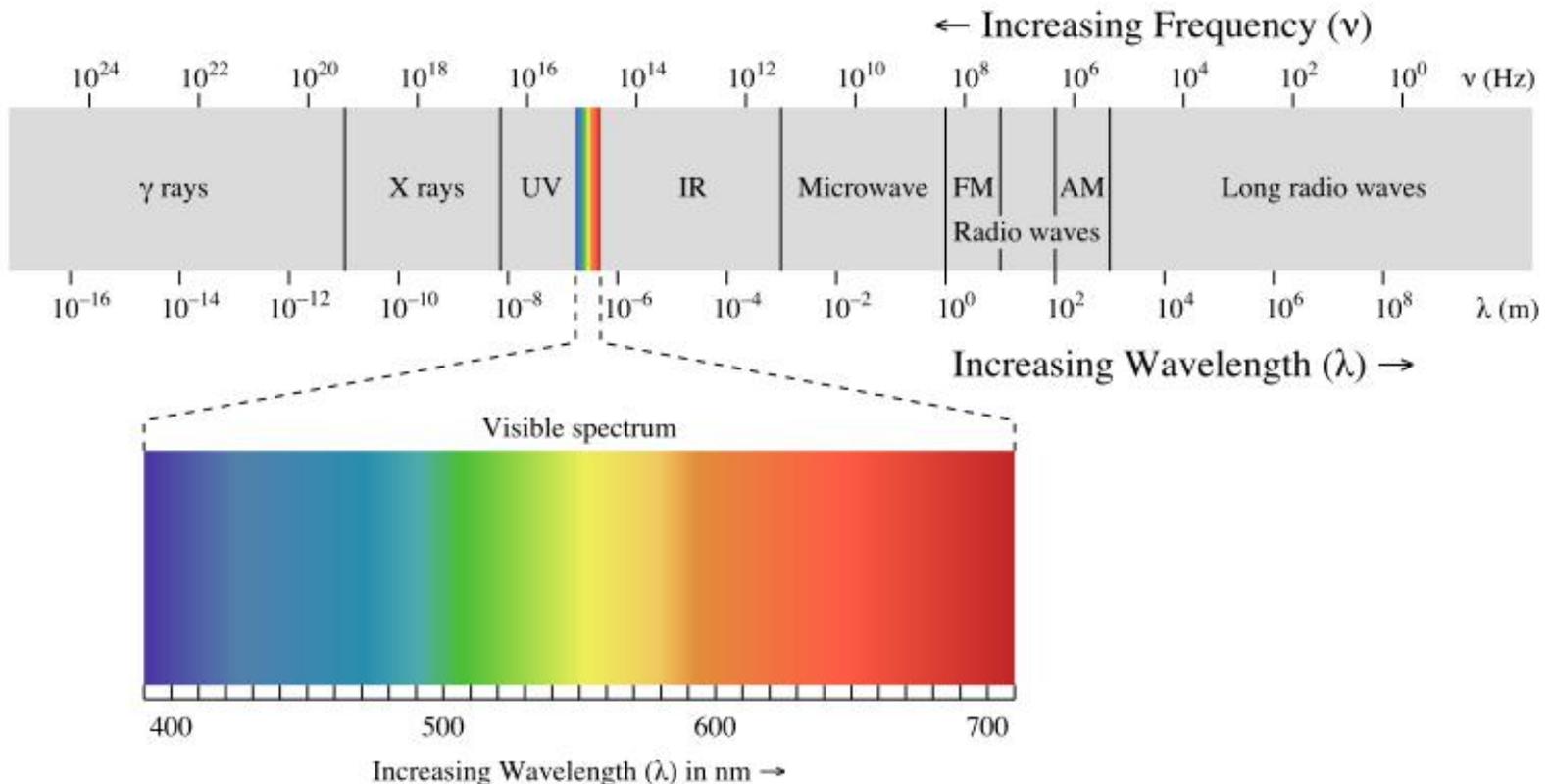


**Ótica**

# Visão

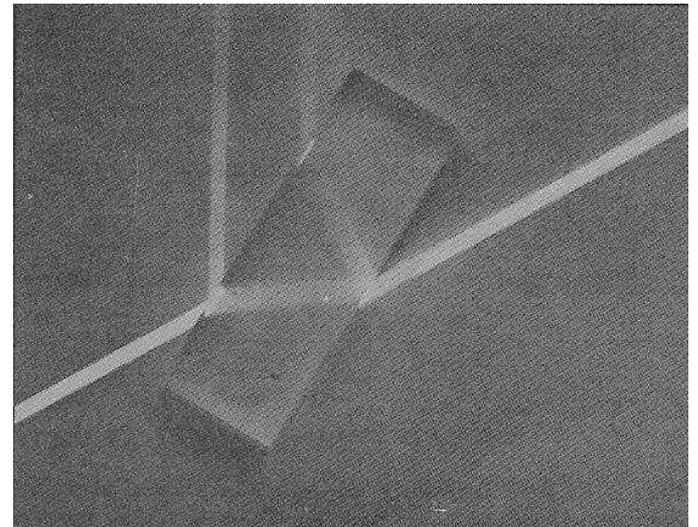
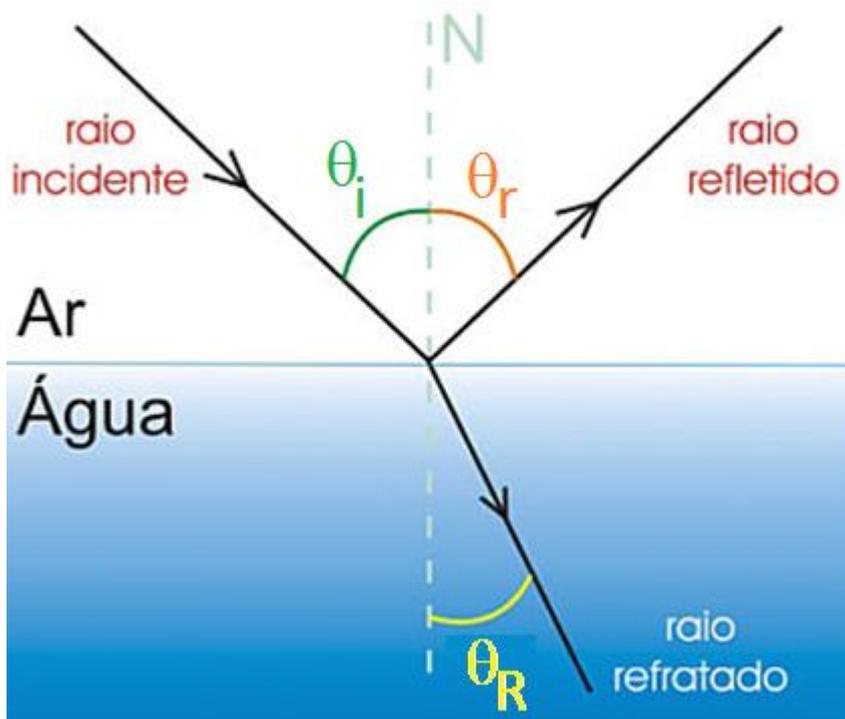
- Responsável pelo nosso conhecimento do mundo ao nosso redor.
- É uma resposta a ação da luz visível nos nossos olhos
  - luz: onda eletromagnética
  - velocidade da luz:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$



- Depende de algumas leis e propriedades da ótica geométrica e física

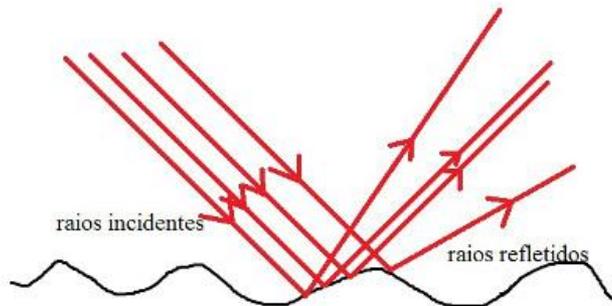
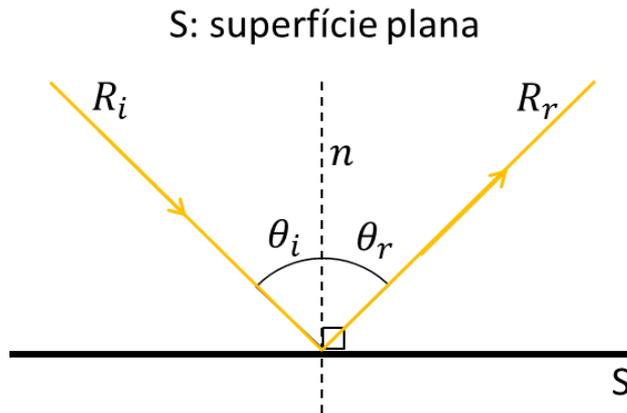
# Reflexão e refração da luz

- Quando um raio luminoso, propagando-se em determinado meio, encontra a superfície de um outro meio transparente, parte dele pode ser refletida e parte transmitida.
  - Os raios transmitidos mudam de direção, são refratados



# Lei da reflexão

- Durante a reflexão o ângulo de incidência ( $\theta_i$ ) do feixe luminoso na interface é igual ao ângulo de reflexão ( $\theta_r$ )



# Refração da luz

- A velocidade da luz em um meio diferente do ar ou vácuo, depende das características físicas desse meio. O índice de refração  $n$  é um parâmetro que caracteriza certas propriedades óticas em um meio e seu valor afeta a velocidade da luz no meio:

$$n = \frac{\textit{velocidade do som no vácuo}}{\textit{velocidade do som no meio}} = \frac{c}{v}$$

Como  $c \geq v$  para qualquer meio ótico, sempre teremos  $n \geq 1$

Substância	$n$
Ar (CNPT)	1,000
Água a 20°C	1,333
Acetona a	1,358
Etanol	1,360
Córnea	1,340
Humor aquoso	1,330
Humor vítreo	1,336

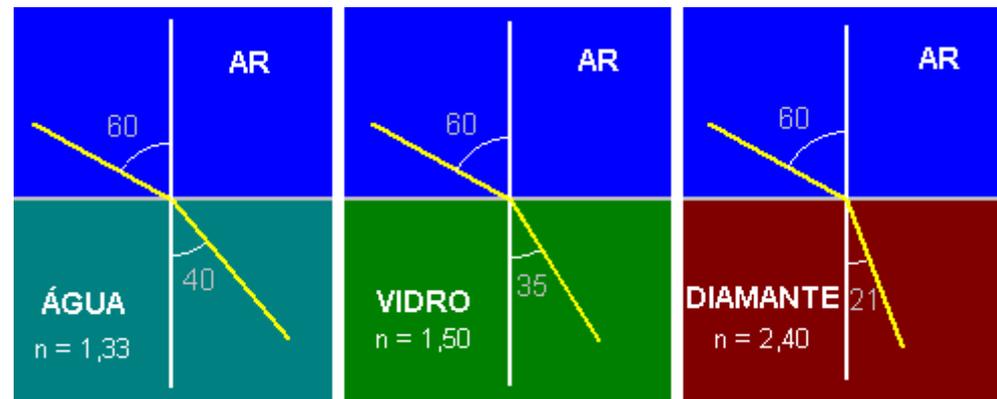
# Lei da refração

- Lei de Snell da refração: O raio refratado está no plano de incidência e tem um ângulo de refração  $\theta_R$  que está relacionado ao ângulo de incidência através da equação:

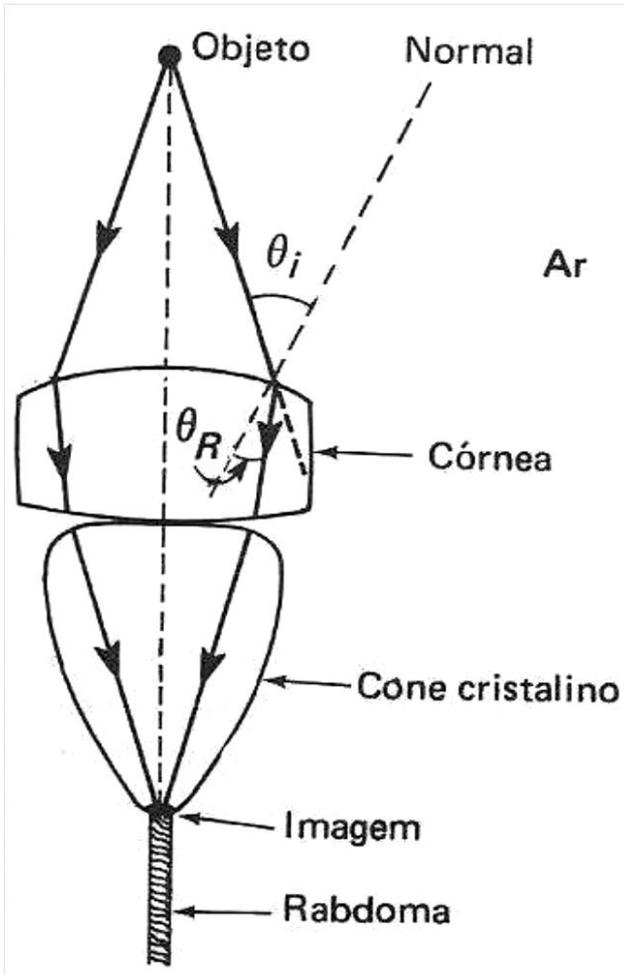
$$n_1 \text{sen} \theta_i = n_2 \text{sen} \theta_R$$

$$\text{sen} \theta_R = \frac{n_1}{n_2} \text{sen} \theta_i$$

- Se  $n_2 = n_1$ ,  $\theta_R = \theta_i \rightarrow$  raio luminoso continua sua trajetória retilínea
- Se  $n_2 > n_1$ ,  $\theta_R < \theta_i \rightarrow$  raio luminoso se aproxima da normal
- Se  $n_2 < n_1$ ,  $\theta_R > \theta_i \rightarrow$  raio luminoso se afasta da normal



# Aplicação: formação de imagens omatídeos\*



- Omatídeo tem  $n > 1$ :  $\theta_R < \theta_i$

$$n_1 \text{sen} \theta_i = n_2 \text{sen} \theta_R$$

$$\frac{\text{sen} \theta_i}{\text{sen} \theta_R} = \frac{n_2}{n_1} > 1$$

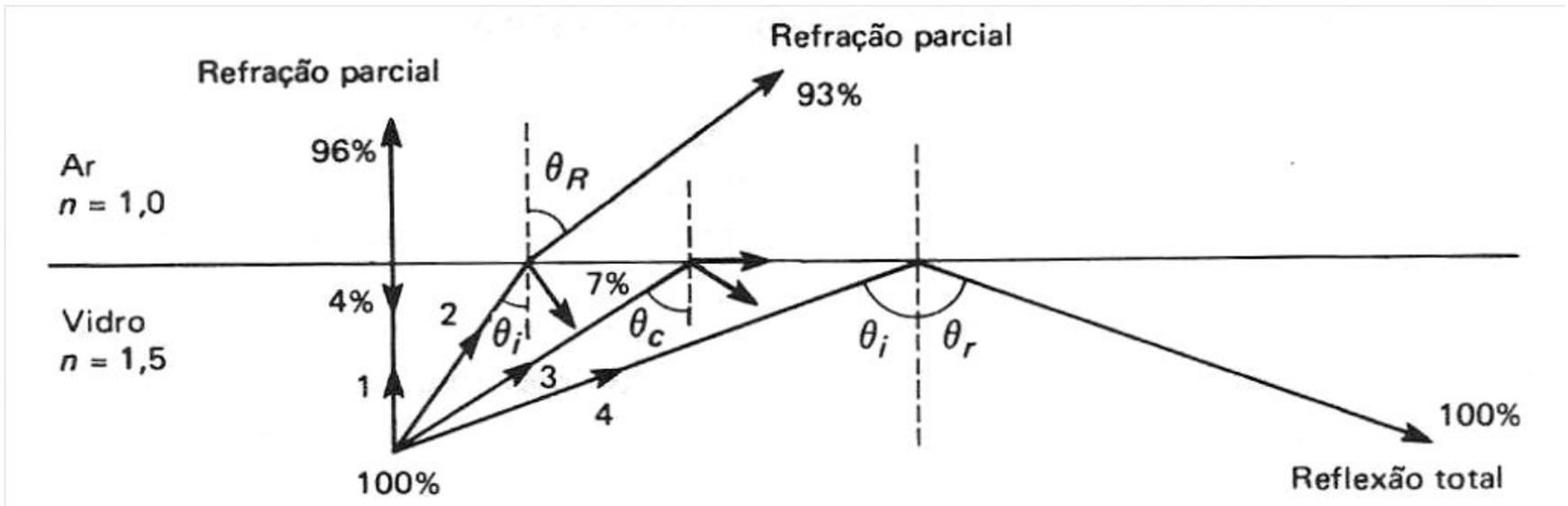
Assim:  $\text{sen} \theta_i > \text{sen} \theta_R$  e  $\theta_R < \theta_i$

- O raio de curvatura da lente dos olhos dos insetos é fixa  $\rightarrow$  foco fixo
  - Assim, insetos enxergam bem somente em distâncias muito pequenas

\*omatídeos são as unidades formadoras dos olhos compostos de um artrópode (invertebrado) qualquer, com exceção dos aracnídeos, que têm olhos simples

# Reflexão interna total da luz

- Quando o índice de refração do primeiro meio é maior que o do segundo, pode ocorrer reflexão interna total da luz



- Aplicando a Lei de Snell ( $n_1 \text{sen} \theta_i = n_2 \text{sen} \theta_R$ ) ao raio 2 com  $\theta_i = 30^\circ$ :

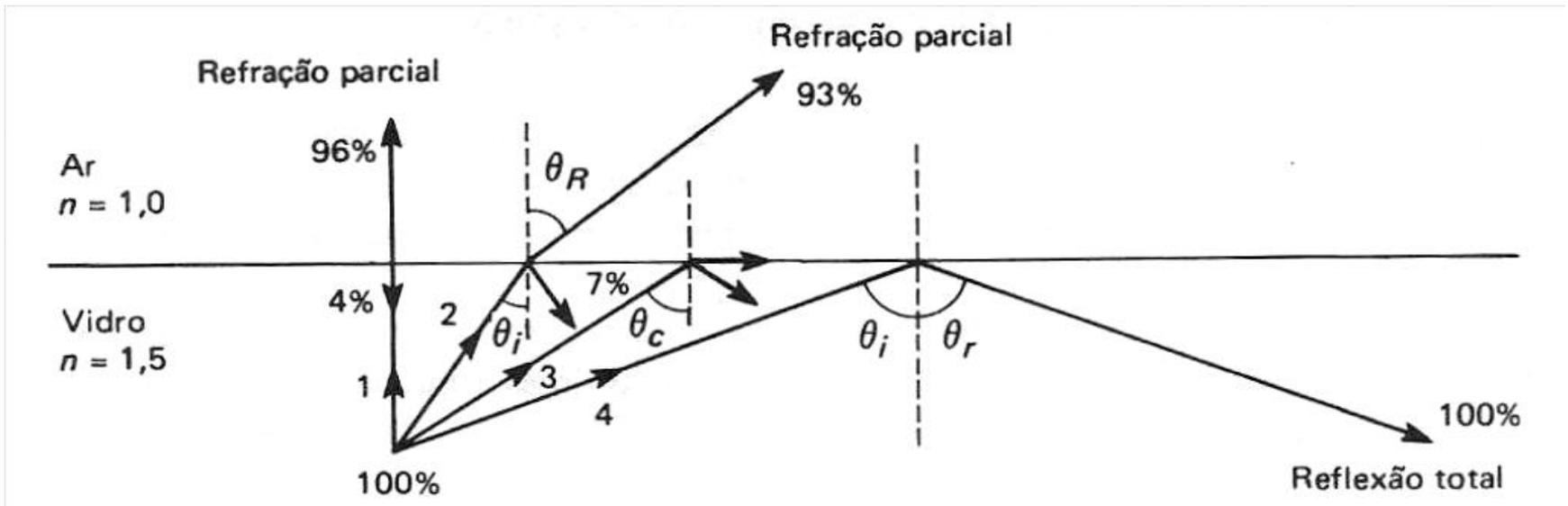
$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_R} = \frac{1}{1,5}$$

$$\text{sen } \theta_R = 1,5 \times \text{sen } 30^\circ = 1,5 \times 0,5 = 0,75$$

$$\theta_R = \text{arc sen } 0,75 = 48,6^\circ \quad (\theta_R > \theta_i)$$

# Reflexão interna total da luz

- Quando o índice de refração do primeiro meio é maior que o do segundo, pode ocorrer reflexão interna total da luz



- Se continuamos aumentando o ângulo de incidência  $\theta_i$ , o ângulo de refração  $\theta_R$  também aumentará até o limite de  $90^\circ$ :

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{1,5} \Rightarrow \sin \theta_i = \frac{\sin 90^\circ}{1,5} = \frac{1}{1,5} = 0,66$$

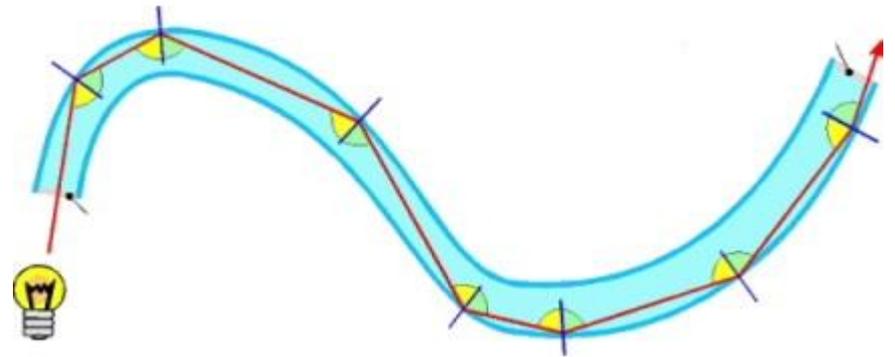
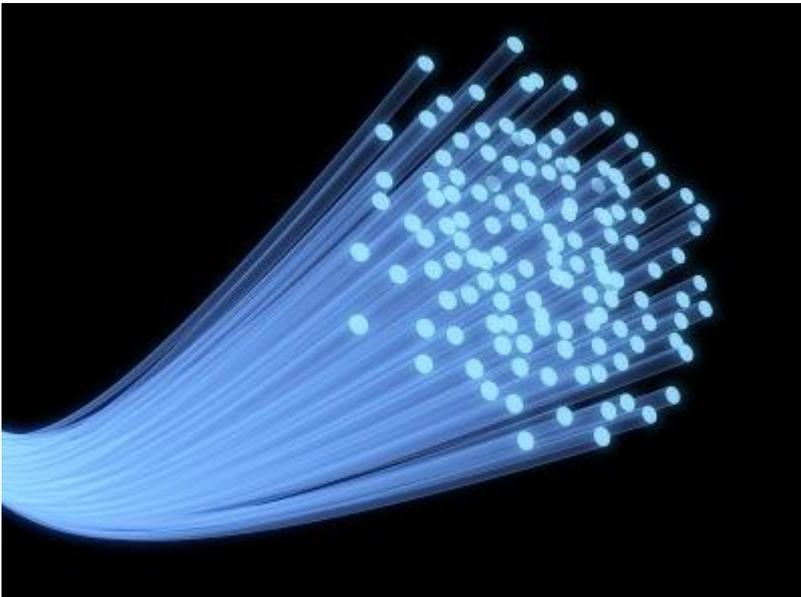
$$\theta_i = 41,8^\circ \quad (\theta_i = \theta_c)$$

Para  $\theta_i > \theta_c$  ocorre reflexão interna total:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}$$

# Fibras ópticas

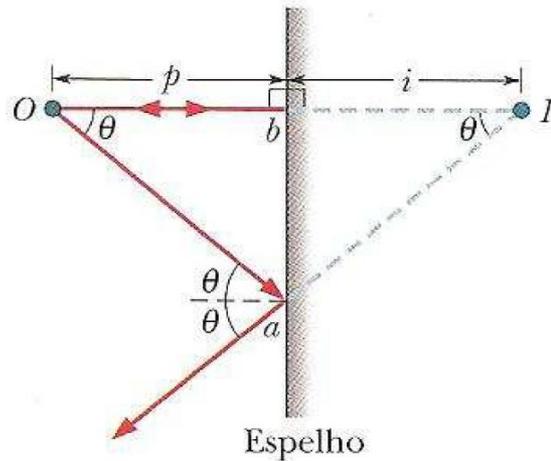
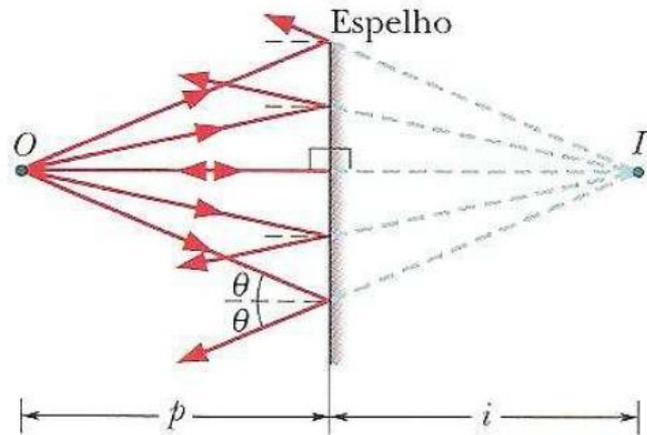
- São o exemplo de uma interessante aplicação da reflexão interna total em fibras de vidro



- Aplicações: medicina e comunicação

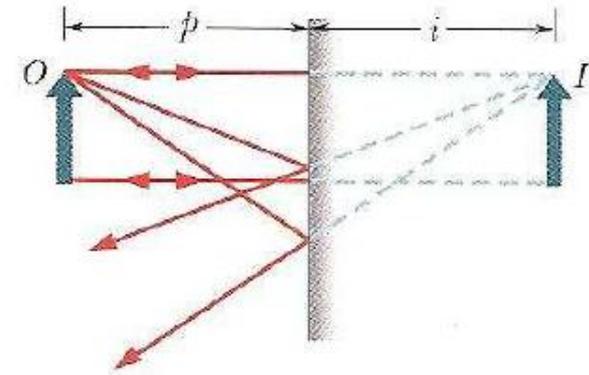
# Espelhos planos

- O espelho é uma superfície que reflete um raio luminoso em uma direção definida.



$$Ob = Ib$$

$$i = -p$$

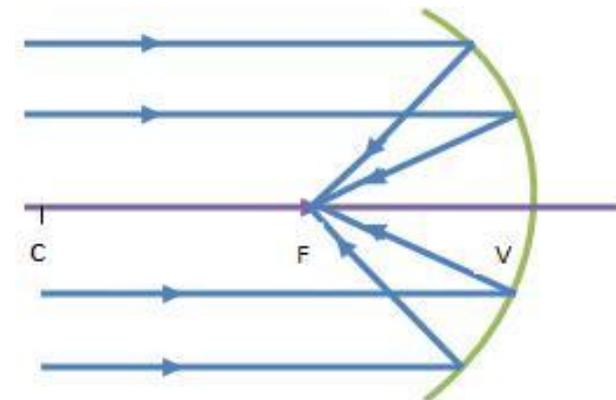
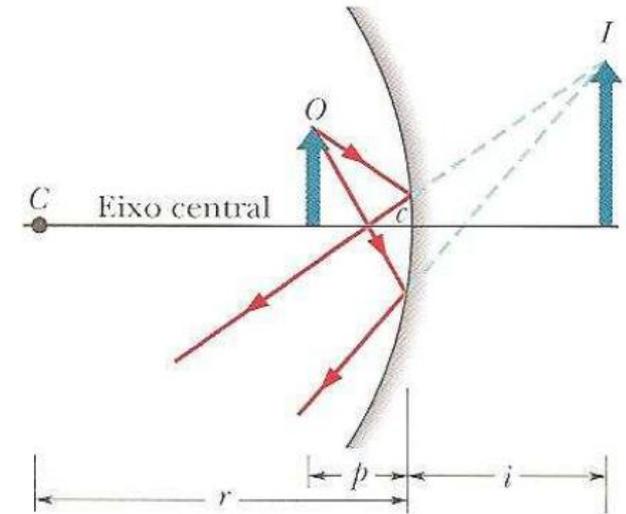


$$i = -p$$

OBS:  $p$  é sempre positiva e  $i$  pode ser positiva para imagens reais e negativa para virtuais

# Espelhos esféricos – espelho côncavo

- Possui um centro de curvatura  $C$
- Tem menor campo de visão que o espelho plano
- A distância da imagem aumenta em relação ao espelho plano
- O tamanho da imagem aumenta em relação ao espelho plano
- **Ponto focal do espelho côncavo:** para um objeto muito distante do espelho, os raios luminosos podem ser considerados paralelos ao eixo central ao atingirem o espelho
  - Ao serem refletidos estes raios convergem para o ponto  $F$  (ponto focal do espelho)

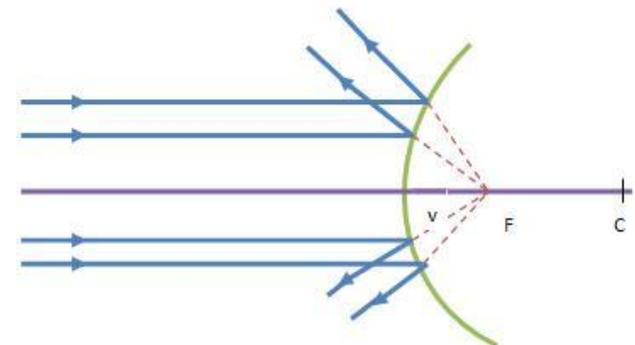
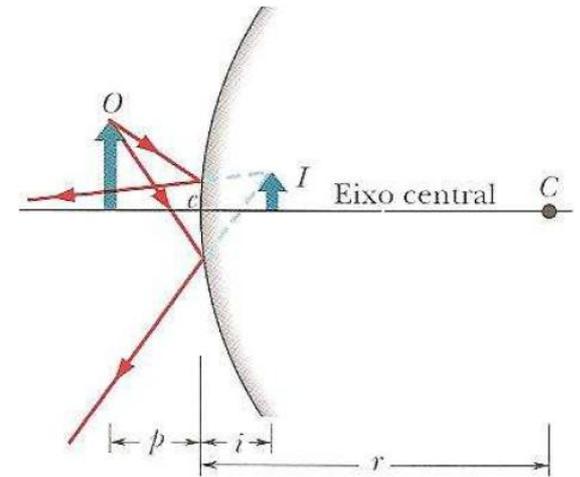


$F =$  Ponto focal real:  $F = r/2$

Distância focal positiva

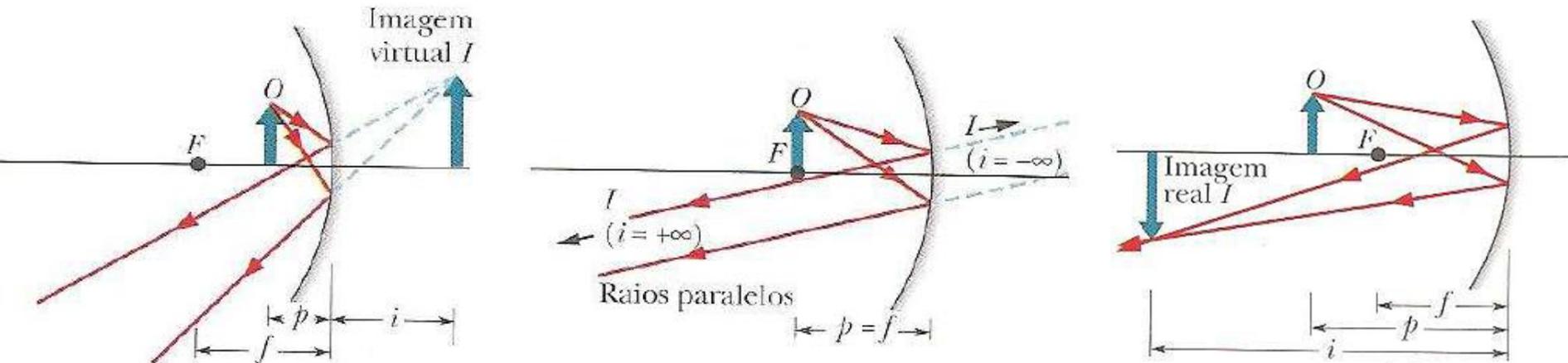
# Espelhos esféricos – espelho convexo

- O centro de curvatura está atrás do espelho
- Tem maior campo de visão que o espelho plano
- A distância da imagem diminui em relação ao espelho plano
- O tamanho da imagem diminui em relação ao espelho plano
- **Ponto focal do espelho convexo:** para um objeto muito distante do espelho, os raios luminosos paralelos ao eixo central ao atingirem o espelho divergem ao serem refletidos, entretanto, se prolongamos os raios para trás do espelho, eles convergem para um ponto comum: o ponto F (ponto focal do espelho)



$F =$  Ponto focal virtual:  $F = r/2$   
Distância focal negativa

# Imagens produzidas por espelhos esféricos



- Quando os raios luminosos de um objeto fazem pequenos ângulos com o eixo central de um espelho esférico as distâncias do objeto  $p$ , da imagem  $i$ , e a distância focal  $f$ , se relacionam por:

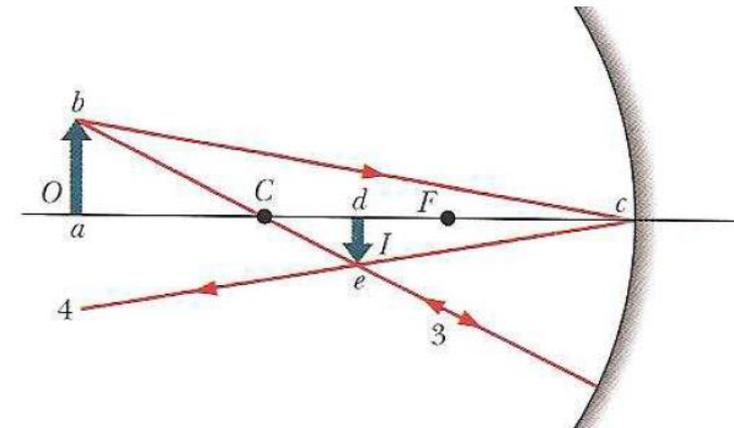
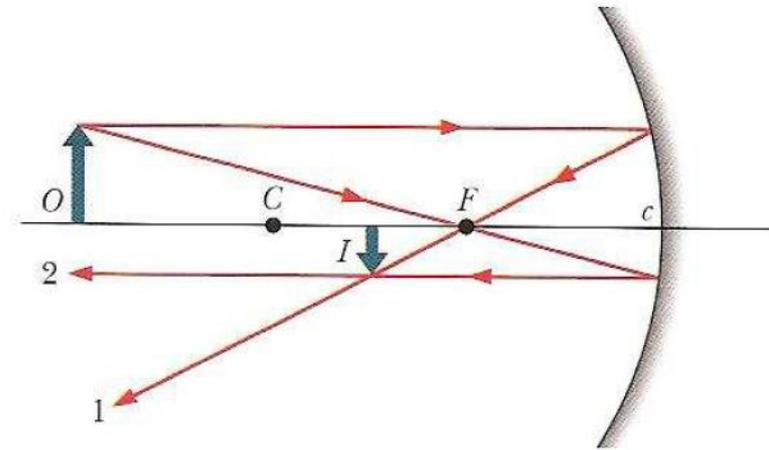
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

- O tamanho de um objeto ou imagem medido perpendicularmente ao eixo central do espelho é chamado de altura do objeto. Seja  $O$  a altura do objeto e  $I$  a altura da imagem, podemos calcular a ampliação de espelho ( $m$ ) por:

$$|m| = \frac{I}{O} = -\frac{i}{p}$$

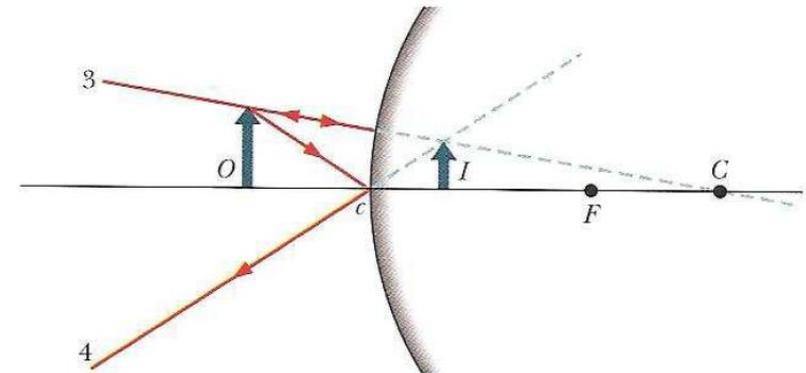
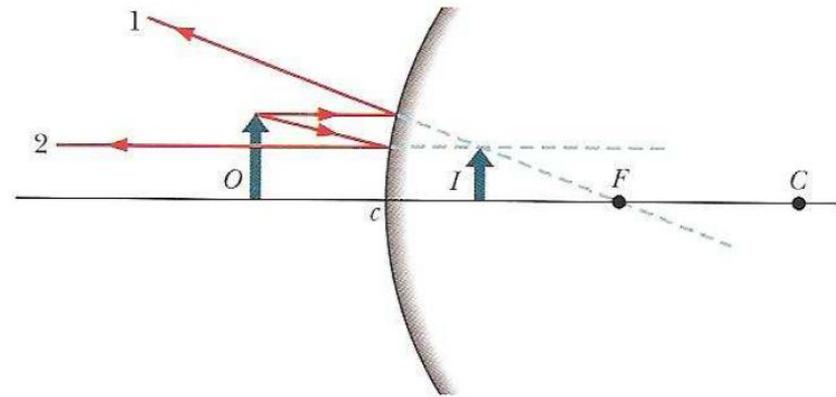
# Desenhando os raios para localizar imagens produzidas por espelhos côncavos

1. Um raio inicialmente paralelo ao eixo central, passa pelo ponto focal  $F$  depois de refletido pelo espelho
2. Um raio que passa pelo ponto focal  $F$ , fica paralelo depois de refletido no espelho
3. Um raio que passa pelo centro de curvatura  $C$  do espelho, passa pelo centro de curvatura depois de refletido
4. Um raio que incide no centro do espelho é refletido com um ângulo de reflexão igual ao de incidência



# Desenhando os raios para localizar imagens produzidas por espelhos convexos

1. Um raio inicialmente paralelo ao eixo central, passa pelo ponto focal  $F$  depois de refletido pelo espelho
2. Um raio que passa pelo ponto focal  $F$ , fica paralelo depois de refletido no espelho
3. Um raio que passa pelo centro de curvatura  $C$  do espelho, passa pelo centro de curvatura depois de refletido
4. Um raio que incide no centro do espelho é refletido com um ângulo de reflexão igual ao de incidência



# Lentes

- Uma lente é um corpo transparente limitado por duas superfícies refratoras com um eixo central comum.
  - Lentes convergentes: aproximam os raios de luz do eixo central
  - Lentes divergentes: afastam os raios de luz do eixo central
- Lentes delgadas: são lentes nas quais a distância do objeto, da imagem e os raios de curvatura de suas superfícies são muito maiores que sua espessura

# Lentes delgadas

- Conservam a relação:

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

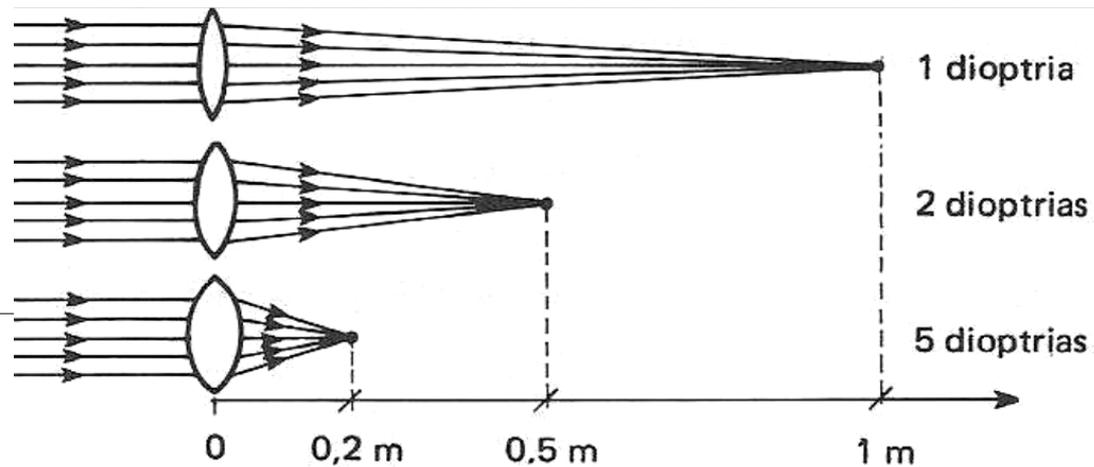
- E para lentes com índice de refração  $n$  imersas no ar, sua distância focal é dada por:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

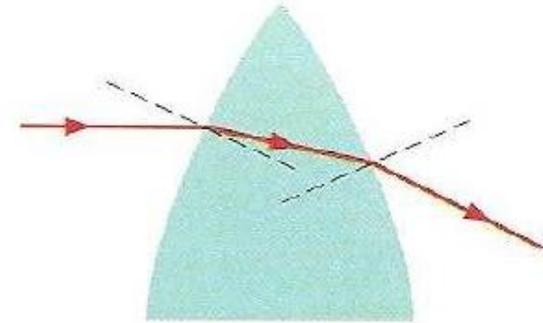
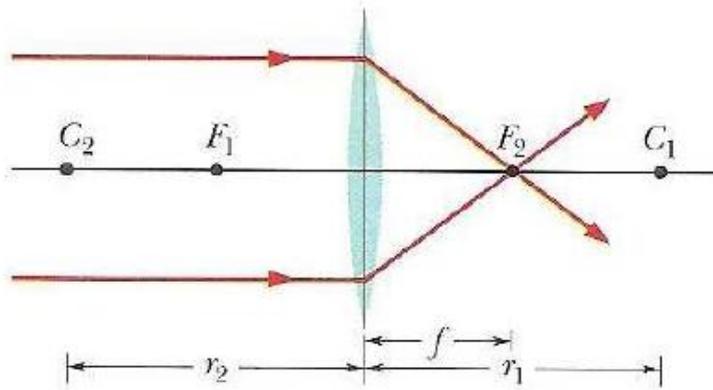
(Equação do fabricante de lentes)

- com  $r_1$ =raio de curvatura da superfície mais próxima do objeto e  $r_2$  = raio de curvatura da outra superfície (r é positivo para lente convexa e negativo para lente côncava)

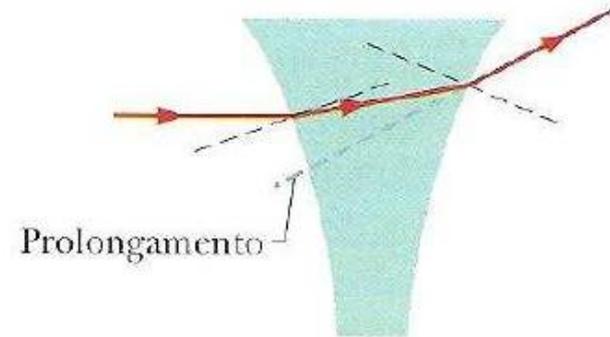
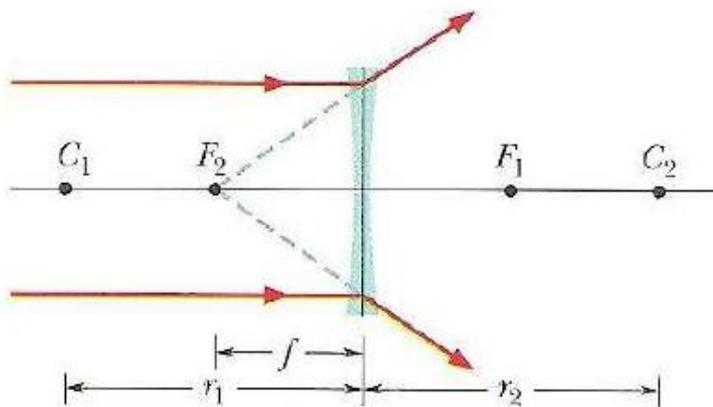
# Convergência de uma lente



# Lentes delgadas

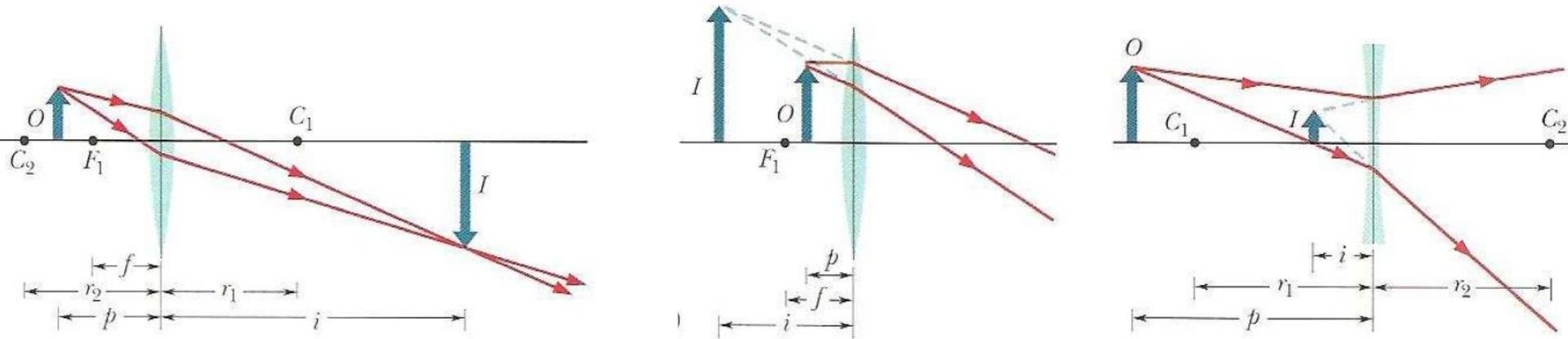


Lente convergente (sup. Convexa): Ponto focal real  $\rightarrow$  distância focal positiva



Lente divergente (sup. Côncava): Ponto focal virtual  $\rightarrow$  distância focal negativa

# Imagens produzidas por lentes delgadas



→ Lentes convergentes podem formar imagens reais ou virtuais dependendo de onde é posicionado o objeto em relação ao ponto focal

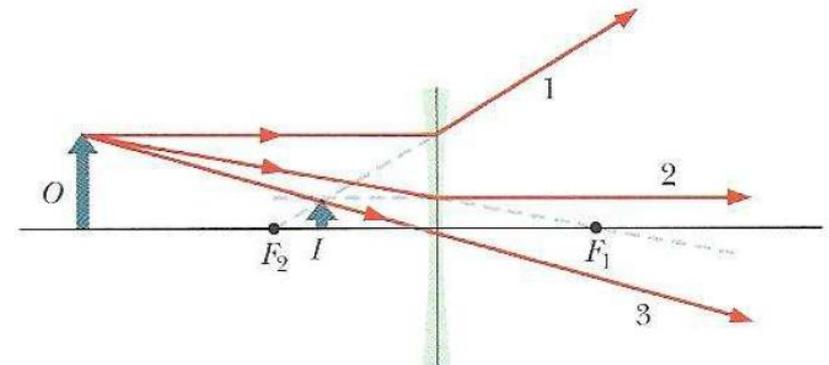
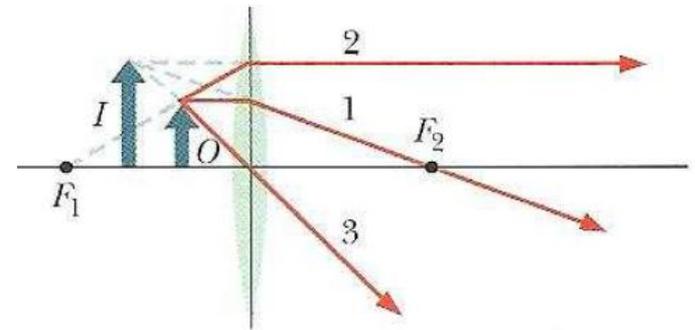
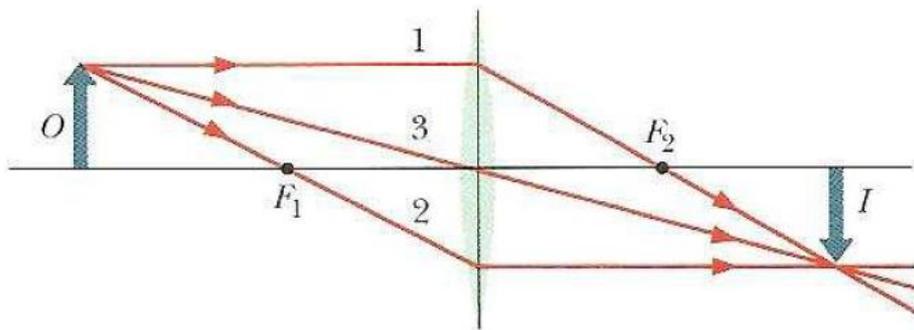
→ Imagens virtuais produzidas por lentes ficam do mesmo lado que o objeto e as imagens reais ficam do lado oposto

-  $i$  é positivo para imagem real e negativo para virtual

- A ampliação de uma lente pode ser calculada da mesma forma que para espelhos

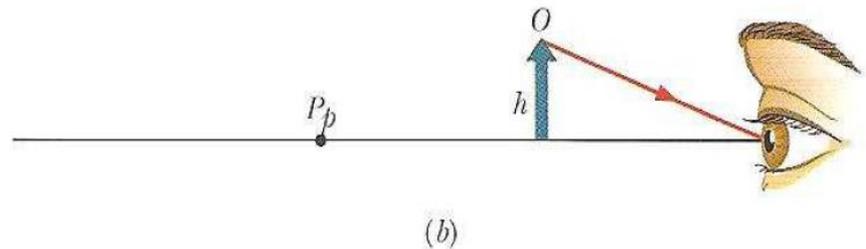
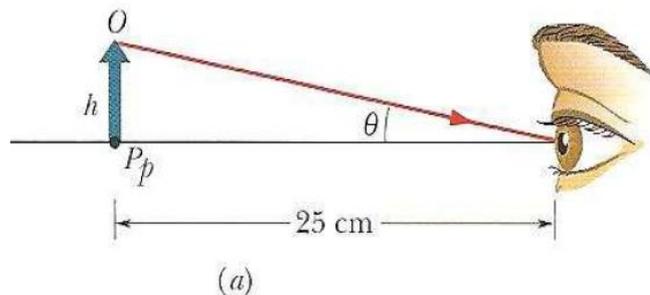
# Desenhando os raios para localizar imagens produzidas por lentes

1. Um raio inicialmente paralelo ao eixo central, passa pelo ponto focal  $F_2$  depois de refratado
2. Um raio que passa pelo ponto focal  $F_1$ , fica paralelo ao eixo central depois de refratado
3. Um raio que passa pelo centro da lente, emerge da lente sem mudar de direção



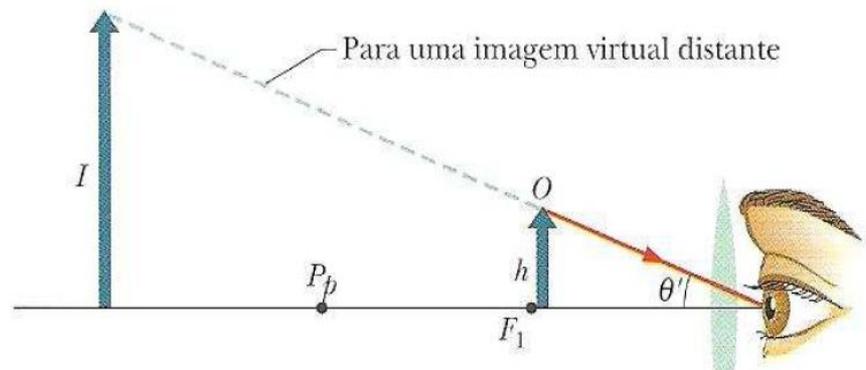
# Lente de aumento simples

- O olho humano é capaz de focalizar um objeto que esteja a uma distância maior que seu ponto próximo.
  - A posição do ponto próximo varia com a idade ( $\cong 25\text{cm}$  para jovens)



A lente produz uma ampliação angular dada por:

$$m = \frac{\theta'}{\theta}$$



# Visão

- Envolve 4 principais componentes:
  1. Os olhos: focam a imagem do mundo externo na retina
  2. Retina: converte a luz em sinais elétricos
  3. Milhões de nervos: carregam a informação ao cérebro
  4. O córtex visual: parte do cérebro que une todas as informações
- Cegueira = problema em qualquer um destes componentes

# Fantásticos mecanismos da visão

1. Amplo campo de visão
2. Mecanismo de piscar que limpa e lubrifica a córnea
3. Sistema automático e rápido de foco
4. Funciona em uma faixa de intensidades muito grande de um dia ensolarado até uma noite escura ( $10^{10}:1$ )
5. Ajuste automático de abertura (íris)
6. Córnea consegue remover danos leves sofridos ao longo do tempo
7. Sistema de regulação de pressão interna que mantém o formato do olho constante
8. Olhos são protegidos por uma estrutura óssea
9. Cérebro corrige automaticamente a imagem invertida da retina
10. Cérebro mescla a informação dos dois olhos formando imagem 3D
11. Musculatura permite movimentos dos olhos em todas as direções

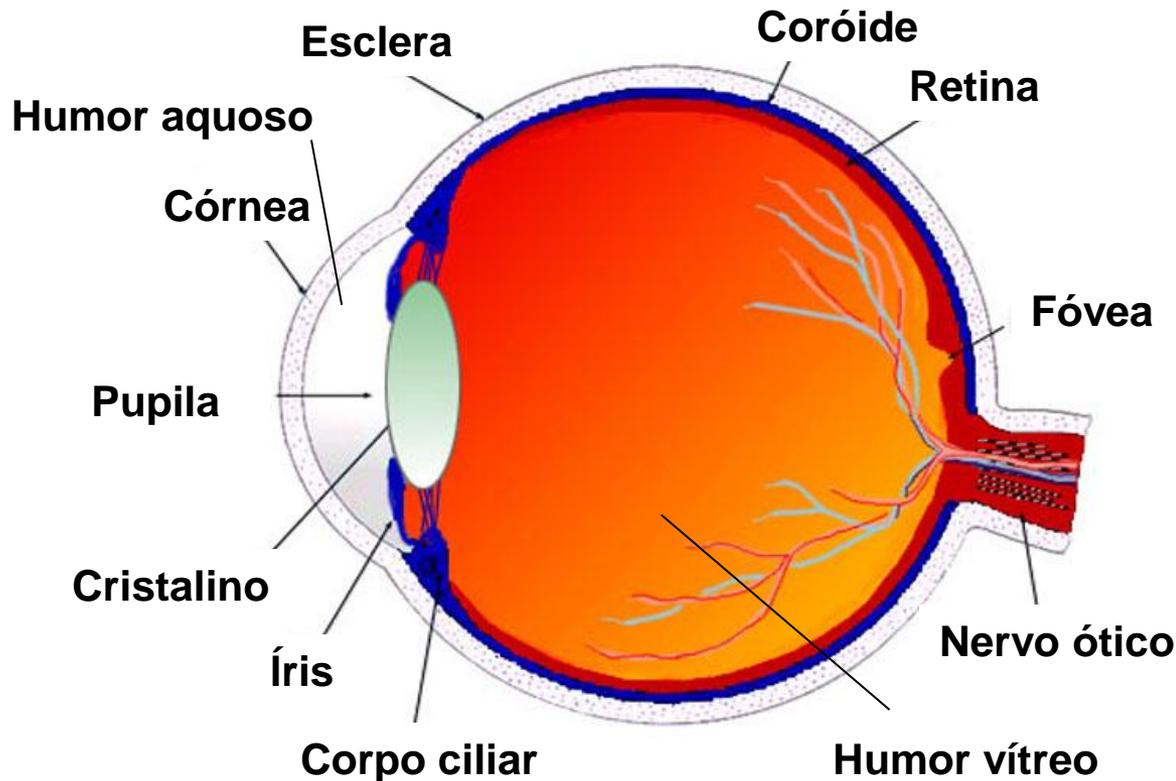
# Visão

- **Emétopes:** pessoas com boa visão, que precisam de correções menores que 0,5 di
  - Aprox. 25% dos adultos
- **Amétopes:** pessoas com problemas perceptíveis de visão
  - Aprox. 65% dos adultos precisam de correções da ordem de 1,0 di

# Estrutura do olho

- Caminho da luz ao entrar no olho:

Córnea → humor aquoso → íris → cristalino → humor vítreo  
→ retina



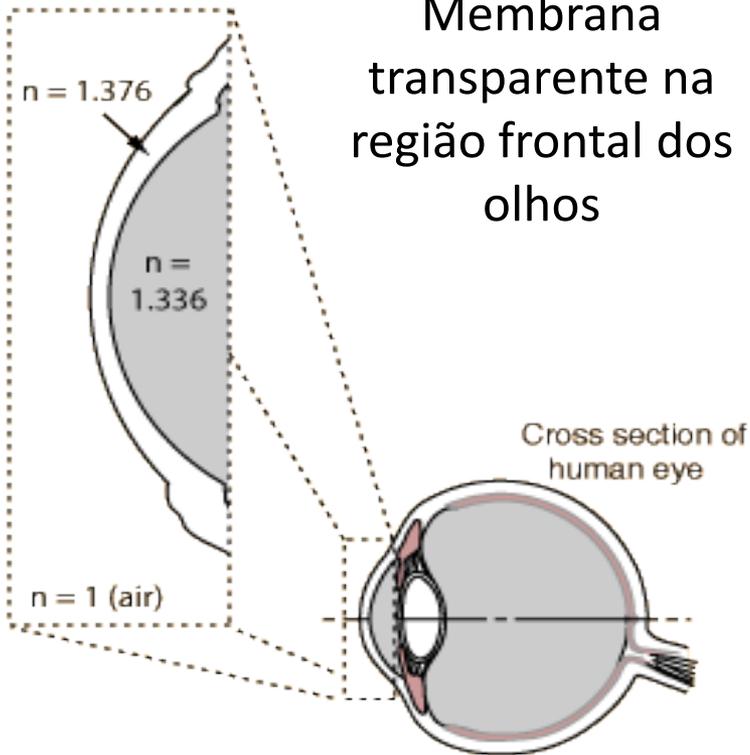
# Elementos de focagem do olho

- Córnea:
  - Membrana transparente na região frontal dos olhos com 0,52mm de espessura no centro e 0,65mm na periferia
  - Responsável por 2/3 da focagem dos olhos
  - Elemento de focagem fixo por refração da luz
- Cristalino:
  - É suspenso pelo corpo ciliar e é composto por 66% de água e 33% de proteína, tem 4mm de espessura e 9mm de diâmetro
  - Responsável pelo foco fino
  - Pode mudar de formato para focar objetos a várias distâncias

# Córnea e o foco das imagens

## 1- Refração na córnea

Membrana transparente na região frontal dos olhos



## 2- Curvatura da córnea

- Varia consideravelmente entre as pessoas
  - O índice de refração não varia tanto
- Está relacionada aos problemas de visão

Muito curvada: miopia

Pouco curvada: hipermetropia

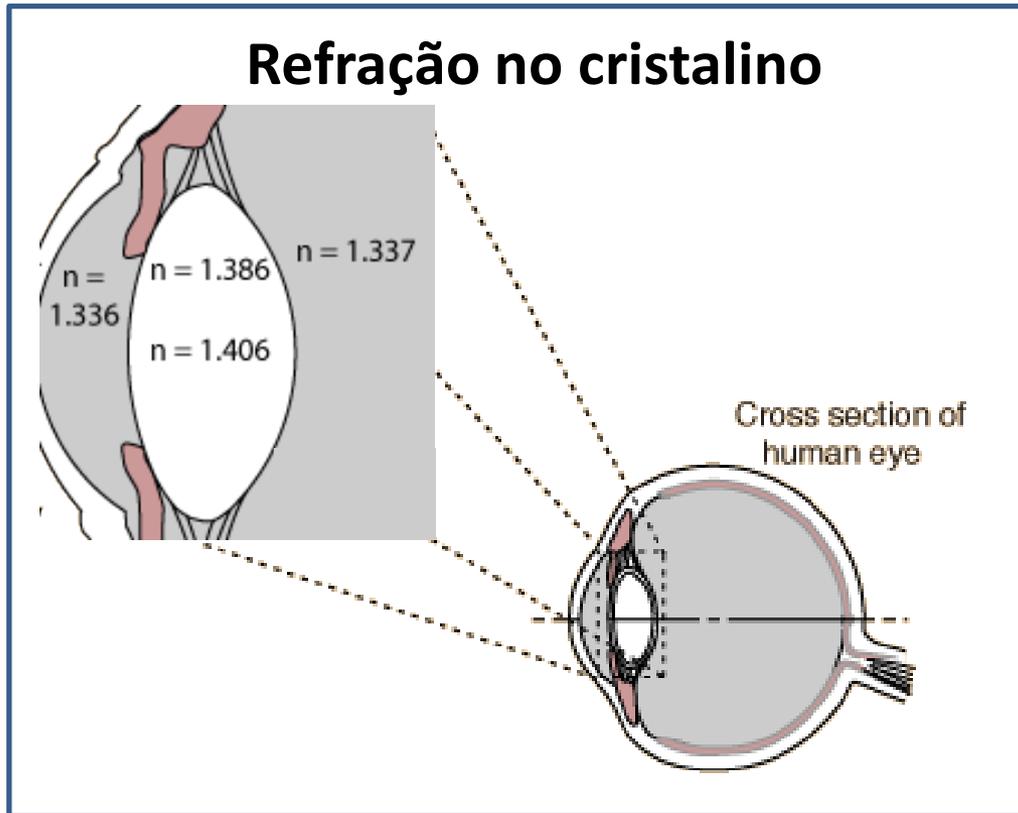
Irregularidades: astigmatismo

O que acontece com o poder de foco da córnea quando estamos embaixo d'água ( $n=1,33$ )?

# Curiosidades sobre a córnea

- É formada por células vivas, mas não é irrigada por vasos sanguíneos
  - Retira seu oxigênio do ar
  - Retira seus nutrientes do humor aquoso
- Consegue corrigir pequenos arranhões em sua superfície, mas outros danos podem ser permanentes
- Sofre dano pela exposição à radiação que bloqueiam a passagem de luz
- Pode-se fazer transplantes de córnea de doadores pouco tempo depois de sua morte e, devido ao baixo metabolismo celular, a rejeição não é um problema
  - Primeiro órgão a ser transplantado foi a córnea

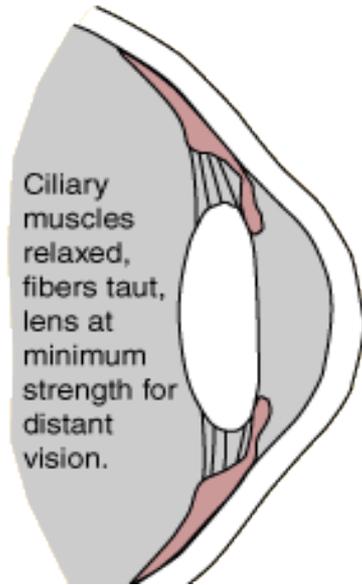
# Cristalino e o foco das imagens



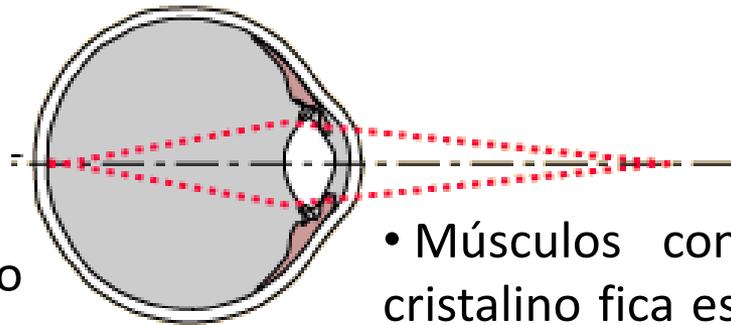
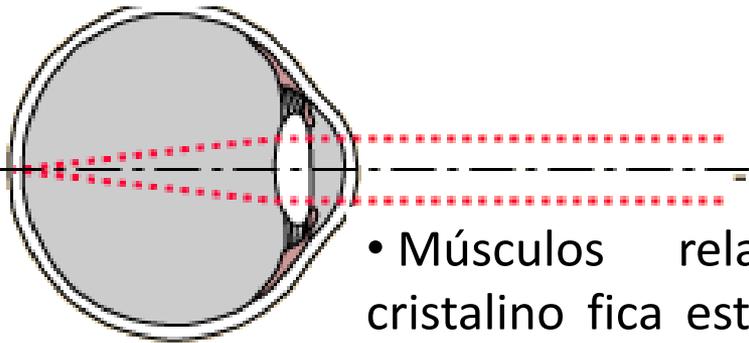
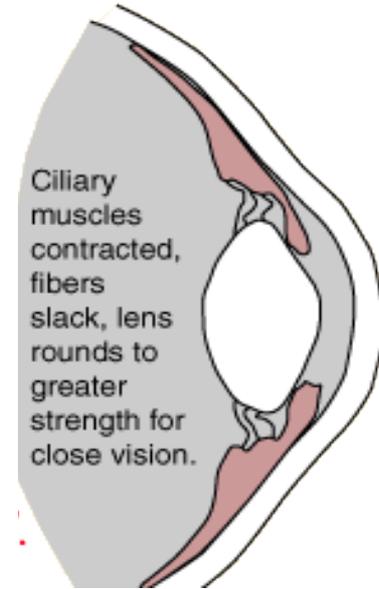
- O cristalino é mais curvado na parede posterior do que anterior
- Possui 9mm de diâmetro e 4mm de espessura
- Seu índice de refração é diferente no centro e nas extremidades

- Refração no cristalino praticamente não ocorre porque os índices de refração dos tecidos vizinhos são muito próximos ao dele
- Seu poder de foco é muito menor que o da córnea (aprox. 20%)

# Cristalino e o foco das imagens

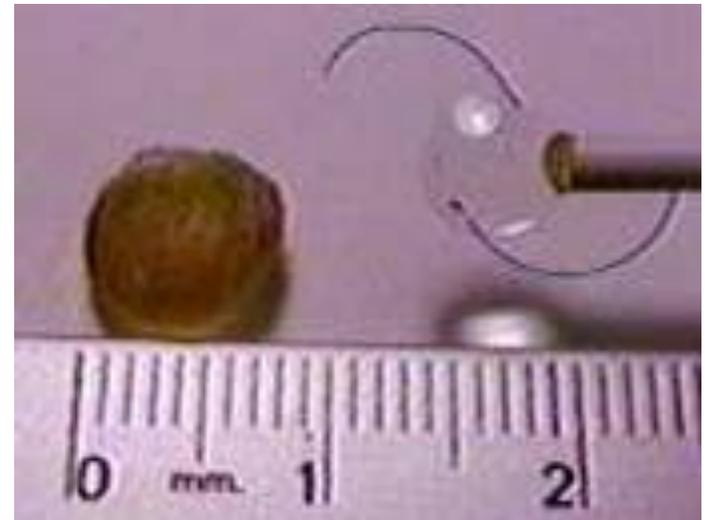
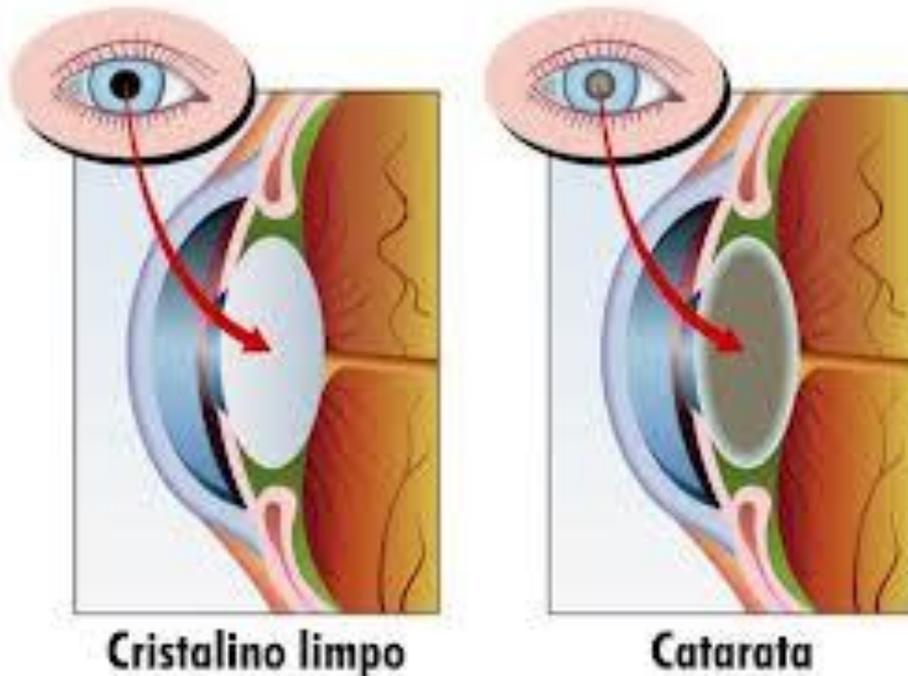


**Acomodação**  
O olho se acomoda para a visão próxima contraindo o músculo ciliar e deixando o cristalino mais arredondado

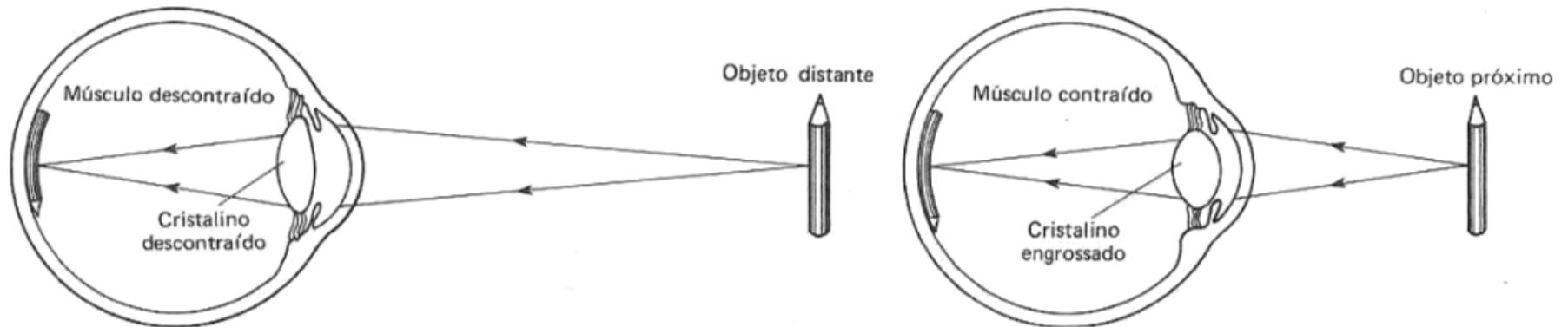


# Catarata

- Ocorre quando o cristalino fica escuro e opaco
- Ele pode ser substituído cirurgicamente por uma lente
- Perde-se a capacidade de acomodação, mas, ela também é perdida com a idade



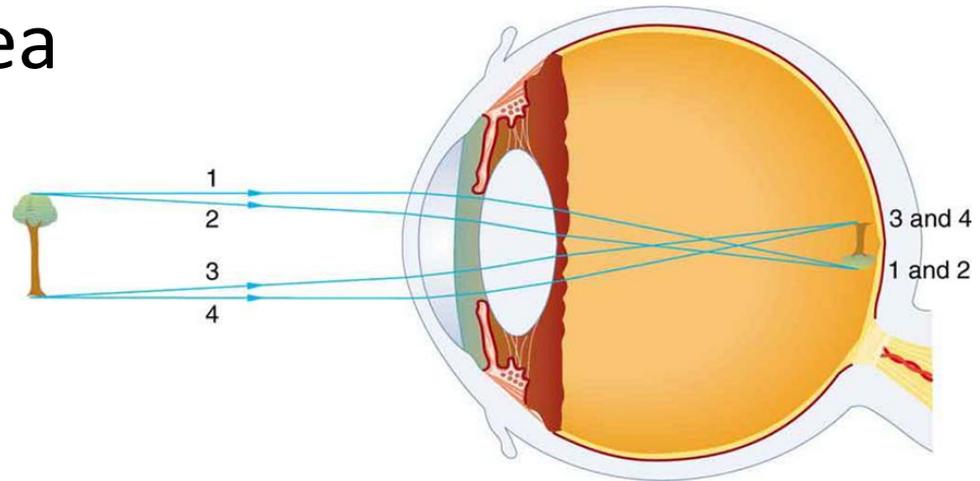
# Cristalino e o foco das imagens



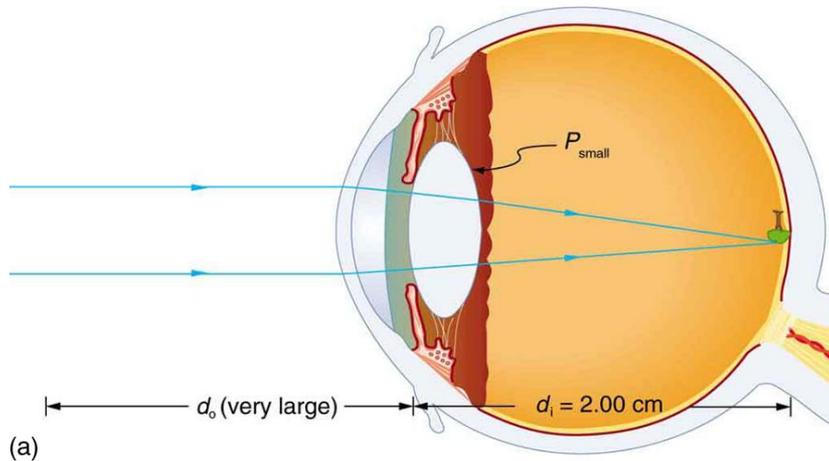
- **Ponto distante:** corresponde a maior distância na qual um objeto pode ser posicionado para produzir uma imagem nítida na retina
  - Cristalino relaxado
- **Ponto próximo:** corresponde a menor distância na qual um objeto pode ser posicionado para produzir uma imagem nítida na retina
  - Cristalino esférico
- **Poder de acomodação:** corresponde a diferença entre as convergências associadas aos extremos da visão nítida

# Formação da imagem na retina

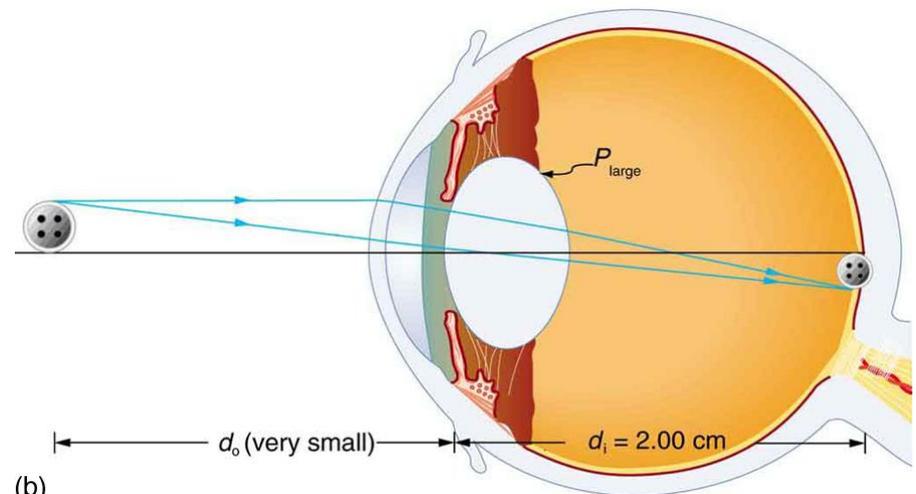
- Refração na córnea



- Acomodação no cristalino

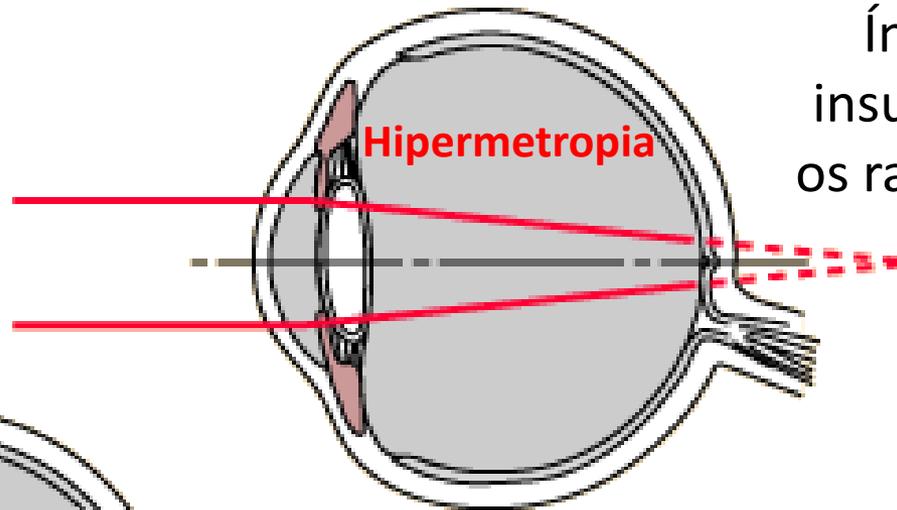


(a)

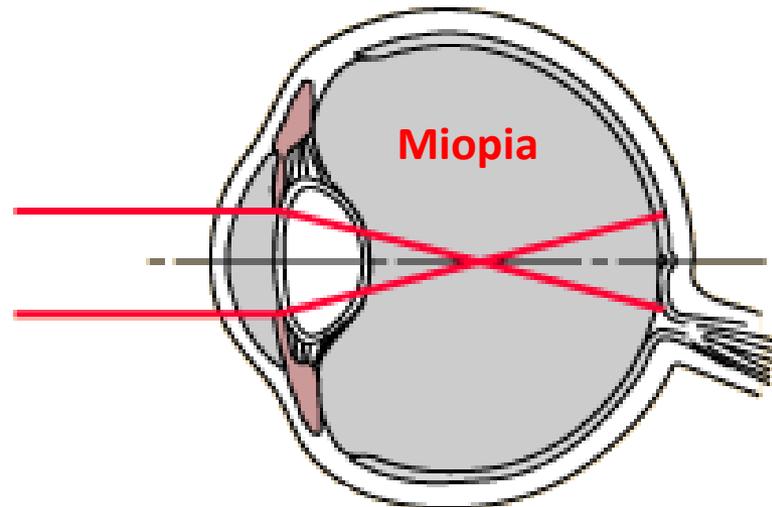


(b)

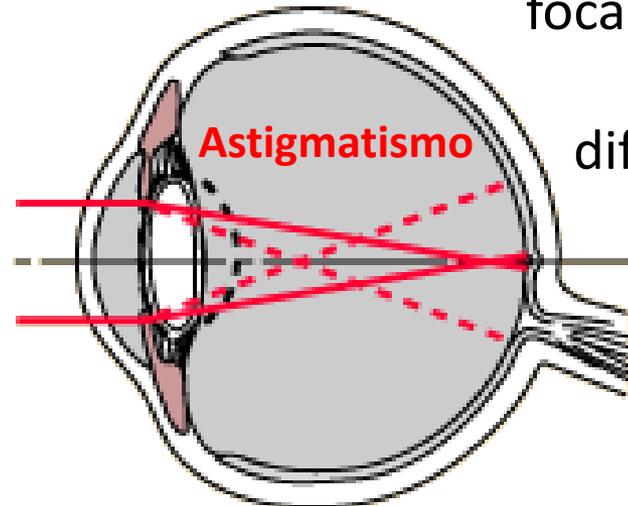
# Defeitos da visão



Índice de refração  
insuficiente para focar  
os raios de luz na retina

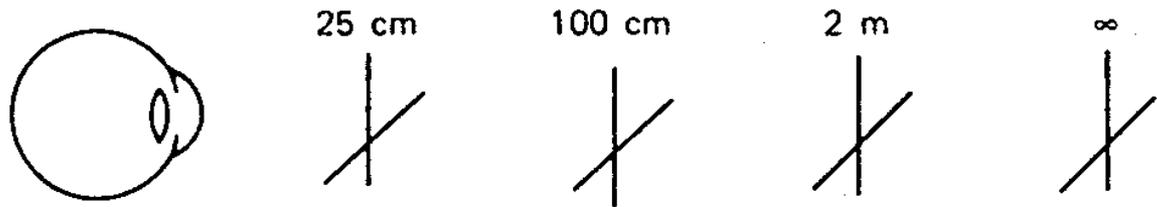


Excesso de refração foca os  
raios de luz antes da retina



Refração assimétrica  
foca a luz de planos  
diferentes em  
diferentes pontos

\* **Presbiopia**



Emmetropia (normal vision)



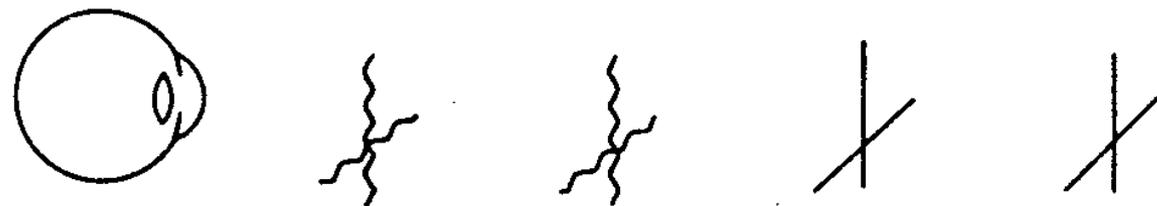
Hyperopia (far-sighted vision)



Myopia (near-sighted vision)



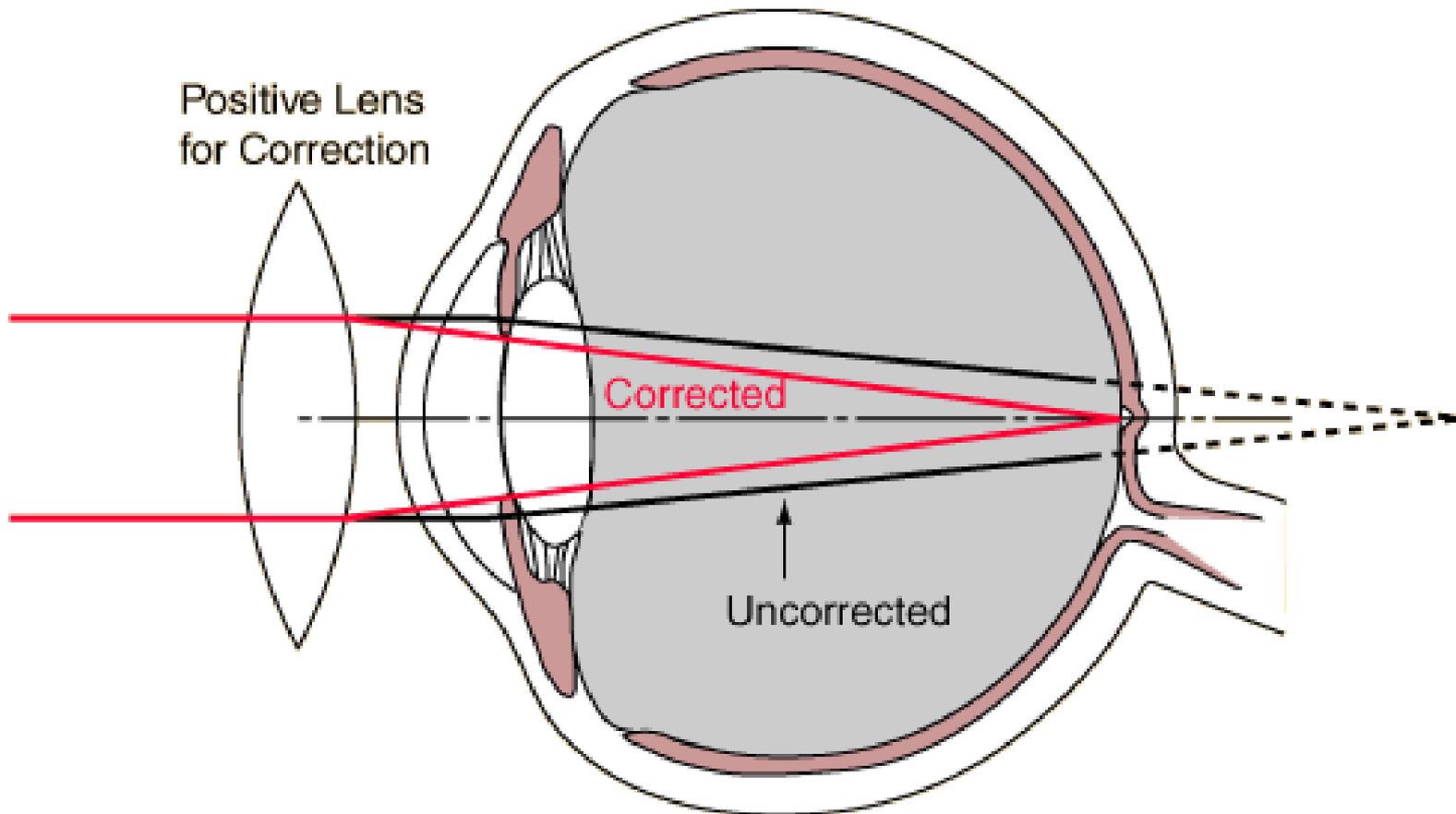
Astigmatism



Presbyopia for a former emmetrope

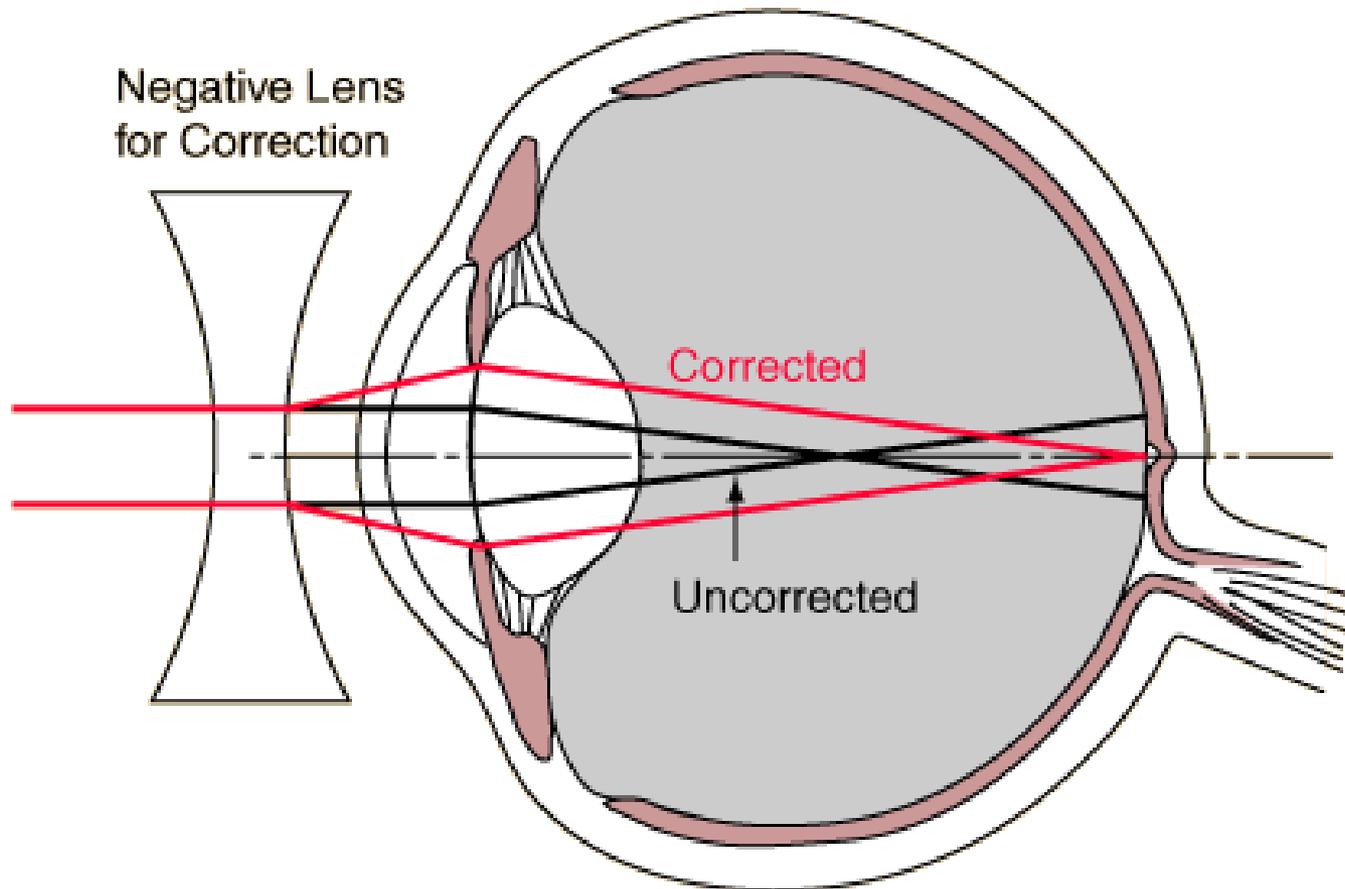
# Correção da hipermetropia

- Lente convergente (positiva) aumenta o poder de refração



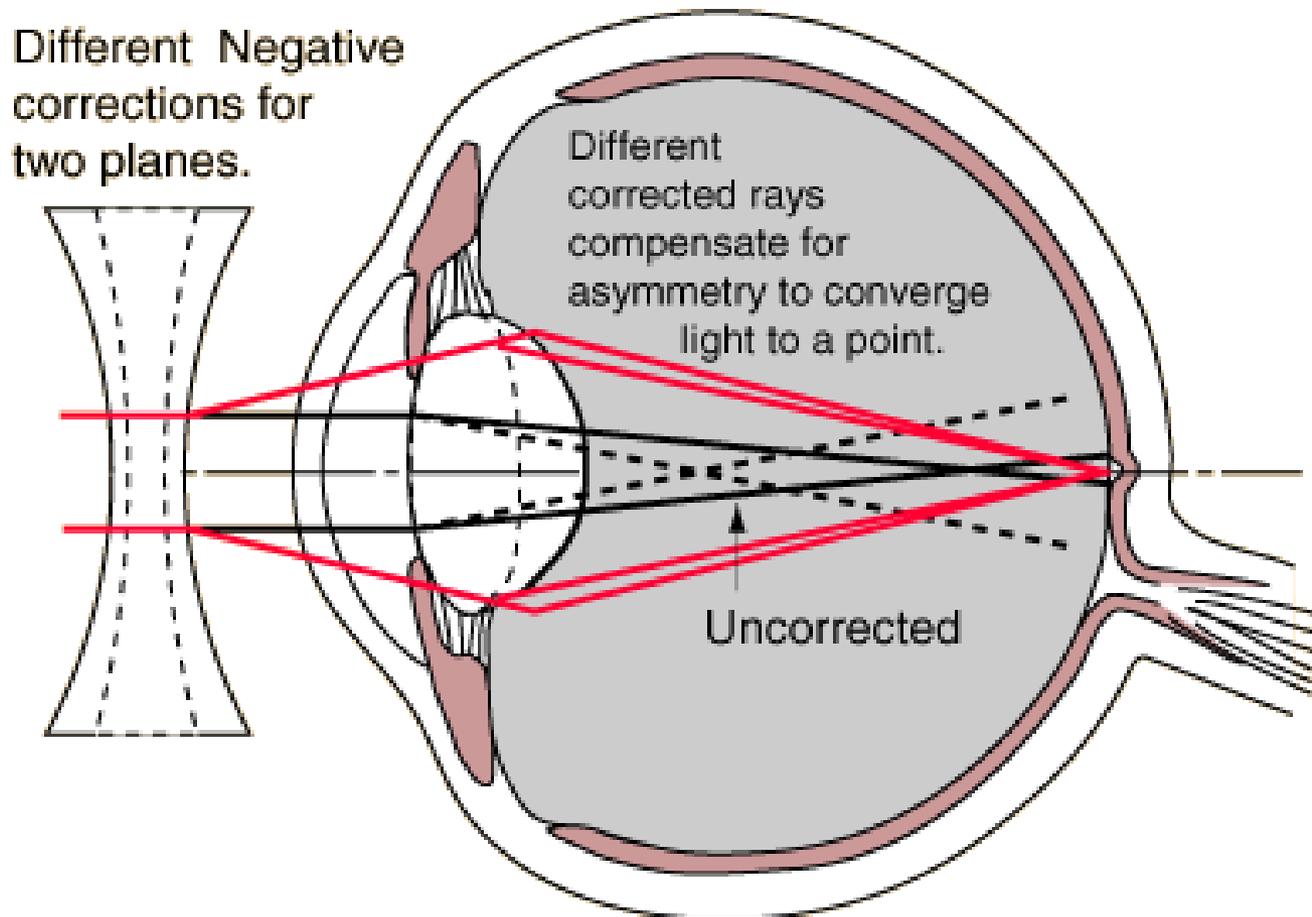
# Correção da miopia

- Lente negativa reduz o poder de refração



# Correção do astigmatismo

- Lente assimétrica compensa assimetria dos olhos



# Formação da imagem – Combinação de lentes simples

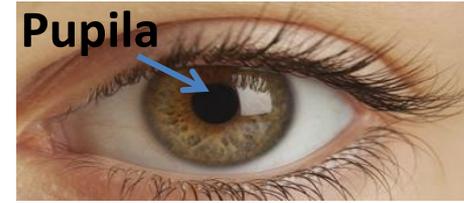
- Quando duas ou mais lentes são colocadas bem próximas, a distância focal da combinação é dada por:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_3} + \frac{1}{F_4} + \dots$$

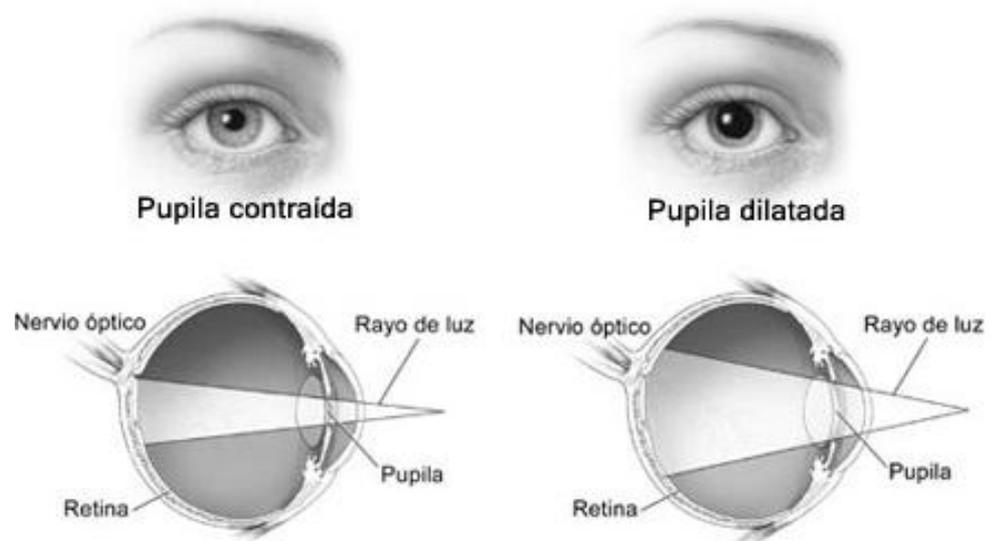
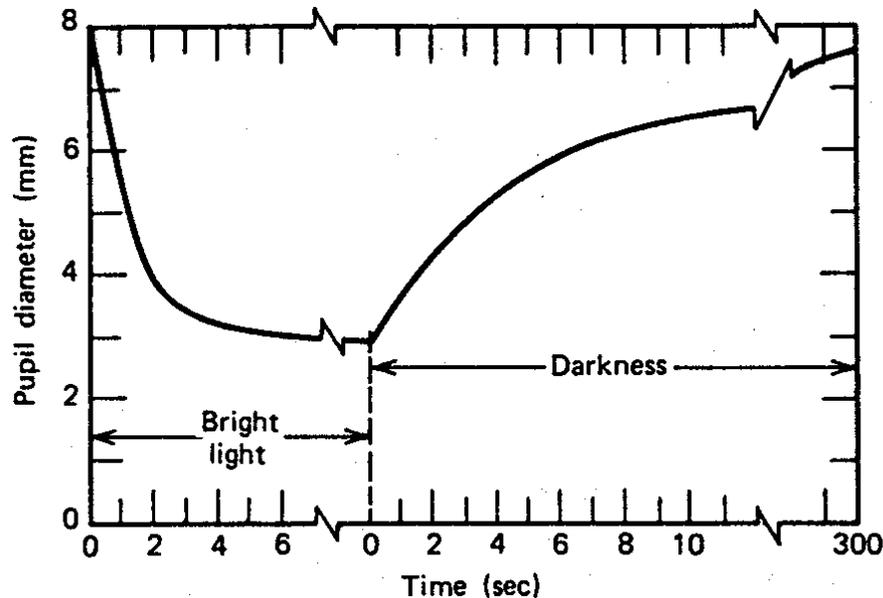
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots$$

- A córnea e o cristalino são lentes que formam imagens reais na retina
- Olho é uma lente com  $F=17\text{mm}$

# Pupila



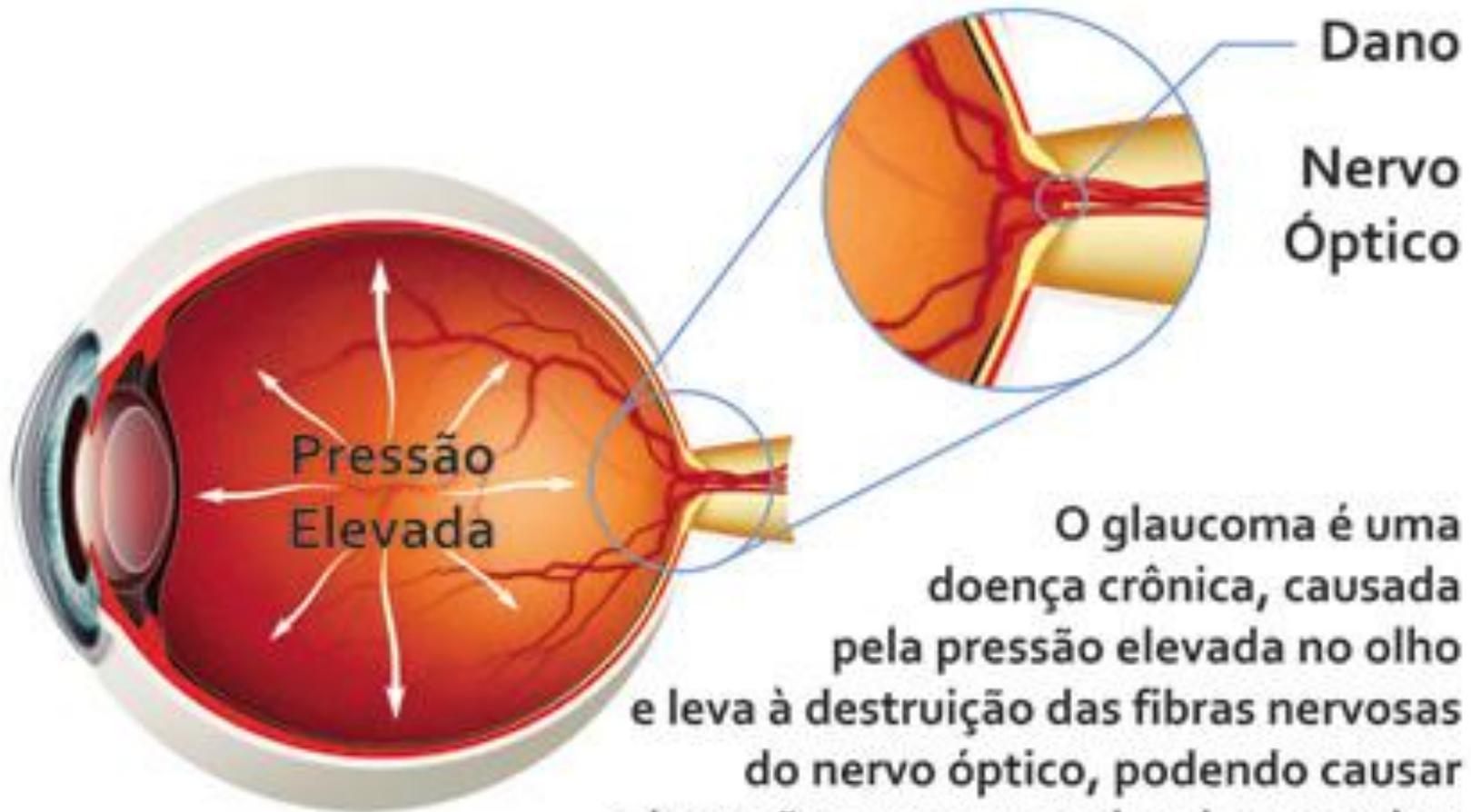
- Abertura no centro da íris por onde a luz entra no cristalino
- Tem cor preta porque toda luz que entra é absorvida no olho
- Varia de 3-8mm de diâmetro (luz média = 4mm)
- Não responde instantaneamente à uma mudança de intensidade luminosa, demora 5min para abrir completamente e 5s para fechar.



# Outros componentes do olho

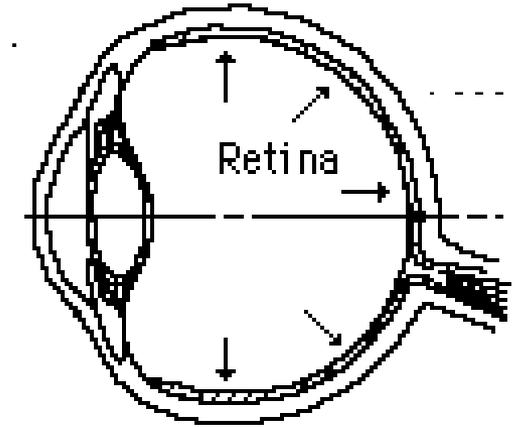
- Íris:
  - é a parte colorida do olho
  - Aumenta ou diminui a intensidade de luz que chega a retina para que ela se adapte a mudança de intensidade luminosa
- Humor aquoso:
  - Preenche o espaço entre a córnea e o cristalino
  - Líquido continuamente produzido, seu excesso é drenado pelo canal de Schlemm (bloqueio do dreno = glaucoma)
  - Possui nutrientes para componentes não vascularizados dos olhos (córnea e cristalino)
- Humor vítreo:
  - Substância gelatinosa que preenche o olho do cristalino até a retina
  - Mantém o formato do olho fixo
- Esclera:
  - Parte branca do olho que reveste todo o olho exceto a córnea
  - É protegida por uma membrana externa, a conjuntiva

# Glaucoma



O glaucoma é uma doença crônica, causada pela pressão elevada no olho e leva à destruição das fibras nervosas do nervo óptico, podendo causar alterações no campo visual e cegueira.

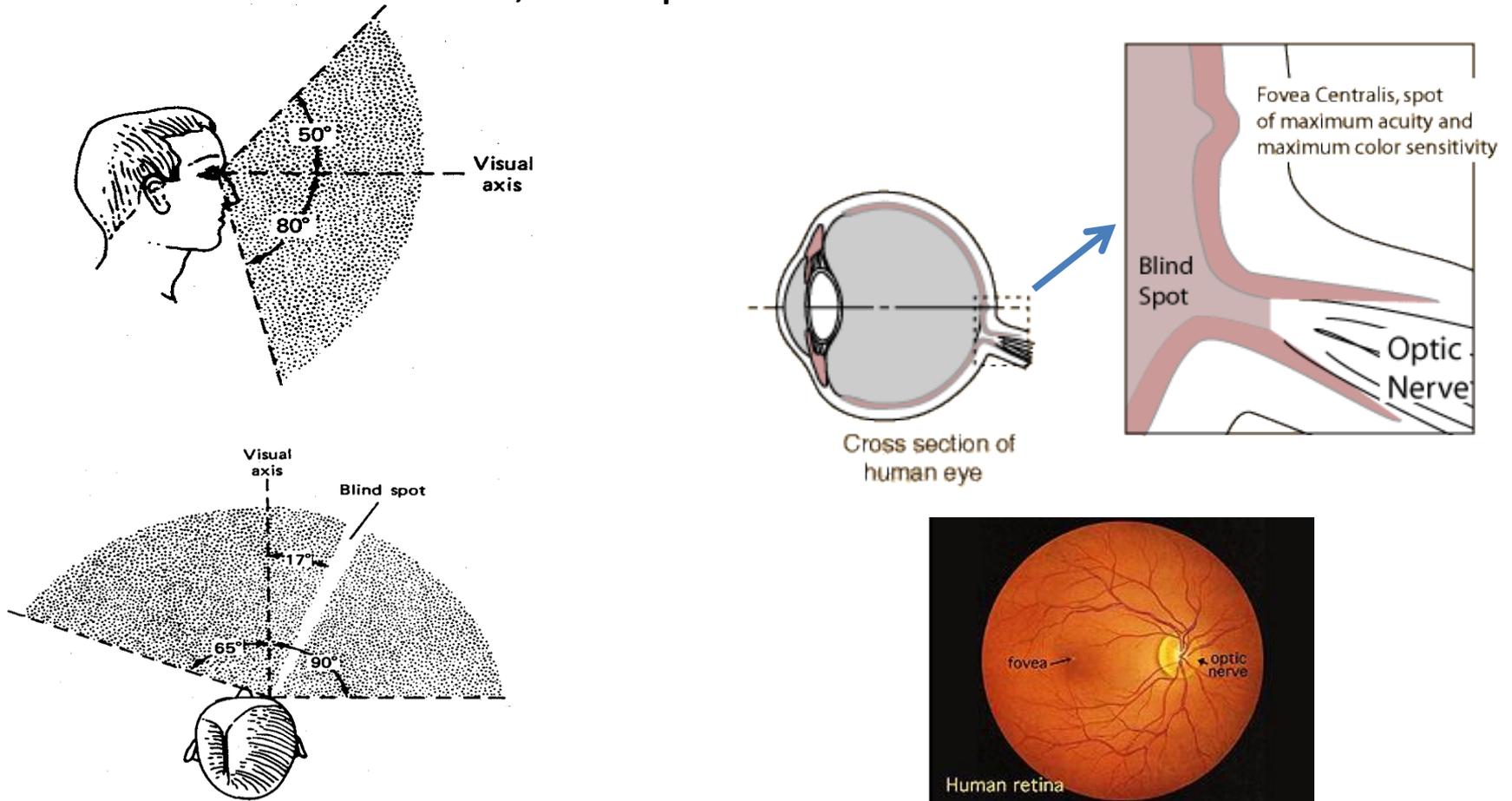
# Retina – o detector da luz nos olhos



- É a região dos olhos sensível a luz
- Absorve um fóton de luz e libera um sinal elétrico ao cérebro através do nervo ótico (potencial de ação)
  - Fóton: 3 eV → Sinal elétrico: 1 milhão de vezes maior
  - Fóton de luz provoca uma reação fotoquímica no fotorreceptor e é visualizado se tiver uma energia maior que um limiar
    - fótons infravermelho não tem essa energia
    - fótons UV teriam essa energia, mas eles são absorvidos antes da retina

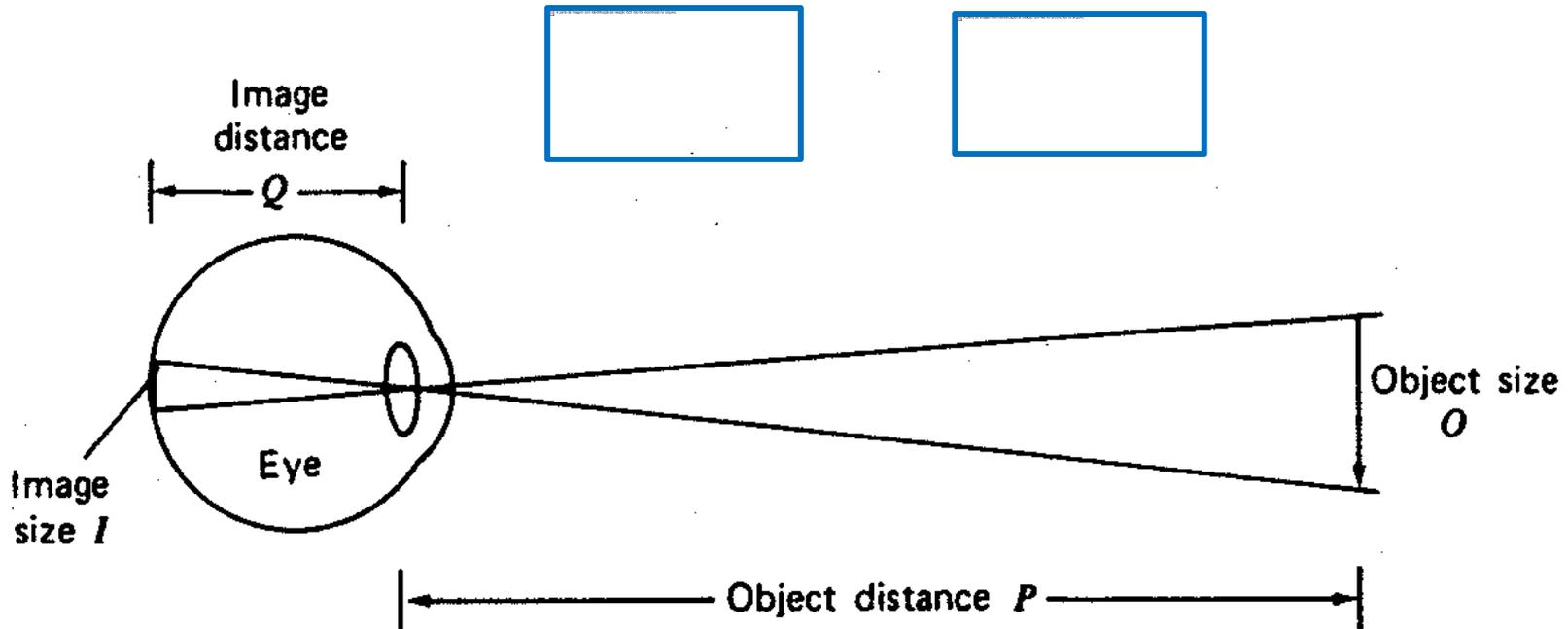
# Retina – o detector da luz nos olhos

- Cobre aproximadamente 65% do fundo dos olhos
- Grande parte da visão se concentra em uma pequena região chamada macula lútea, mais precisamente na fóvea central



# Retina

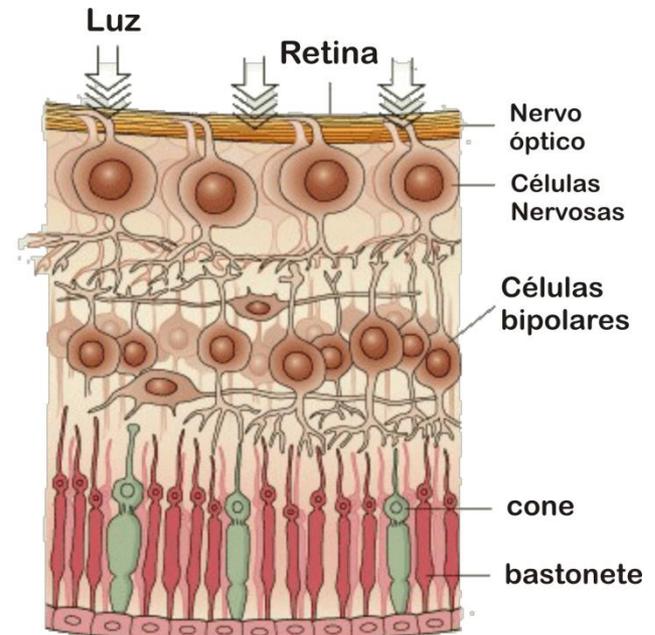
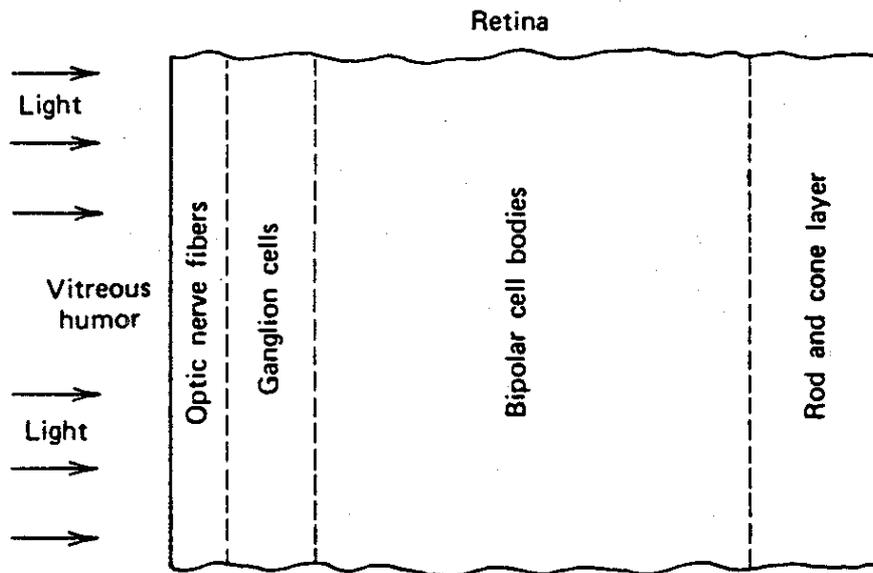
- A imagem formada na retina é muito pequena
- Podemos determinar o tamanho da imagem formada por semelhança de triângulos:



$Q$  é aproximadamente 2cm

# Células fotorreceptoras da retina

- As células fotorreceptoras são os cones e bastonetes
- Eles não se localizam na parede anterior da retina, mas atrás de camadas nervosas que a luz de ultrapassar para ser detectada
- Na região da fóvea os nervos são afastados e há um pequeno orifício direto aos cones e bastonetes, o que aumenta a capacidade visual desta região

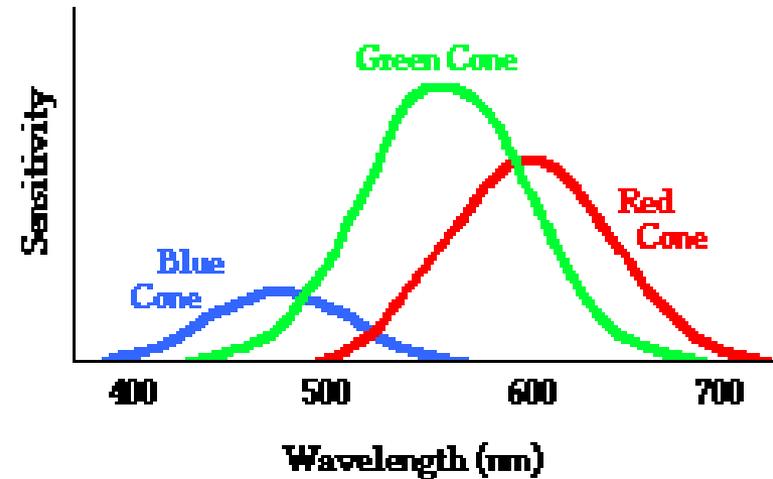
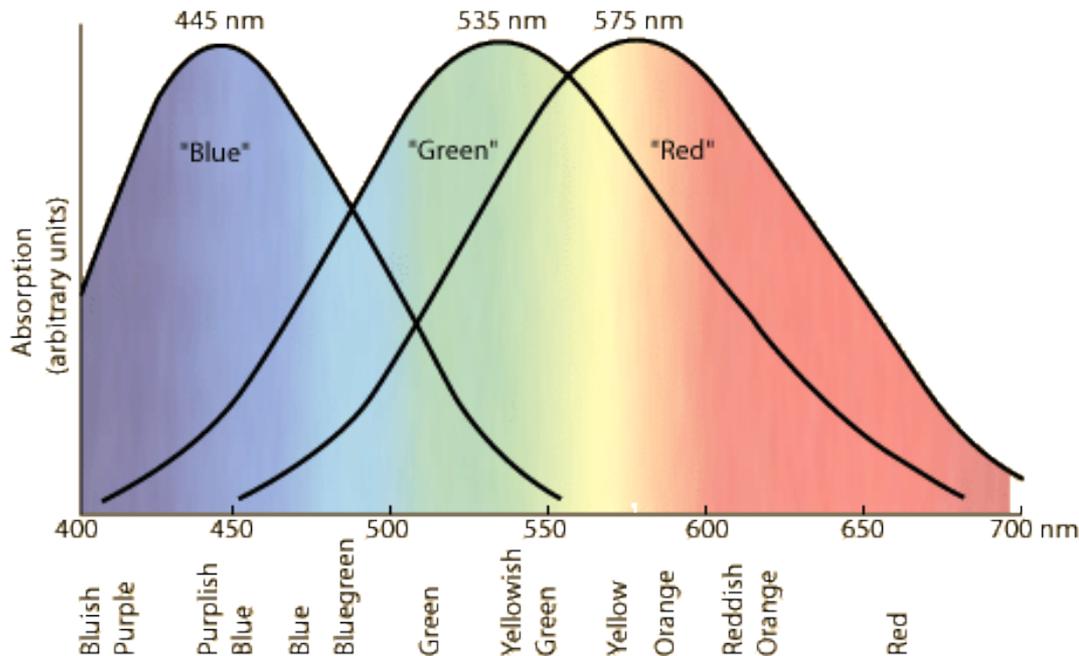


# Cones

- Existem aproximadamente 6,5 milhões de cones na retina
- São responsáveis pela visão na presença de luz
- Possibilitam ao sistema visualizar detalhes finos e reconhecer cores
- Não são uniformemente sensíveis à todas as cores, apresentam o máximo de sensibilidade em aprox. 550nm (região verde – amarelo)
- Têm sensibilidade aproximadamente 1000x menor que os bastonetes
- Localizam-se principalmente na fóvea central
  - A densidade de cones na fóvea central determina a resolução de detalhes que podemos resolver em uma imagem
  - Nesta região cada cone tem uma terminação nervosa direta ao cérebro através do nervo ótico, nas outras regiões da retina, vários cones dividem a mesma fibra nervosa

# Cones sensíveis a cor

- Existem 3 tipos de cones na retina:
  - Vermelho (64%): localizam na fóvea
  - Verde (32%): localizam na fóvea
  - Azul (2%): são supersensíveis e se localizam fora da fóvea

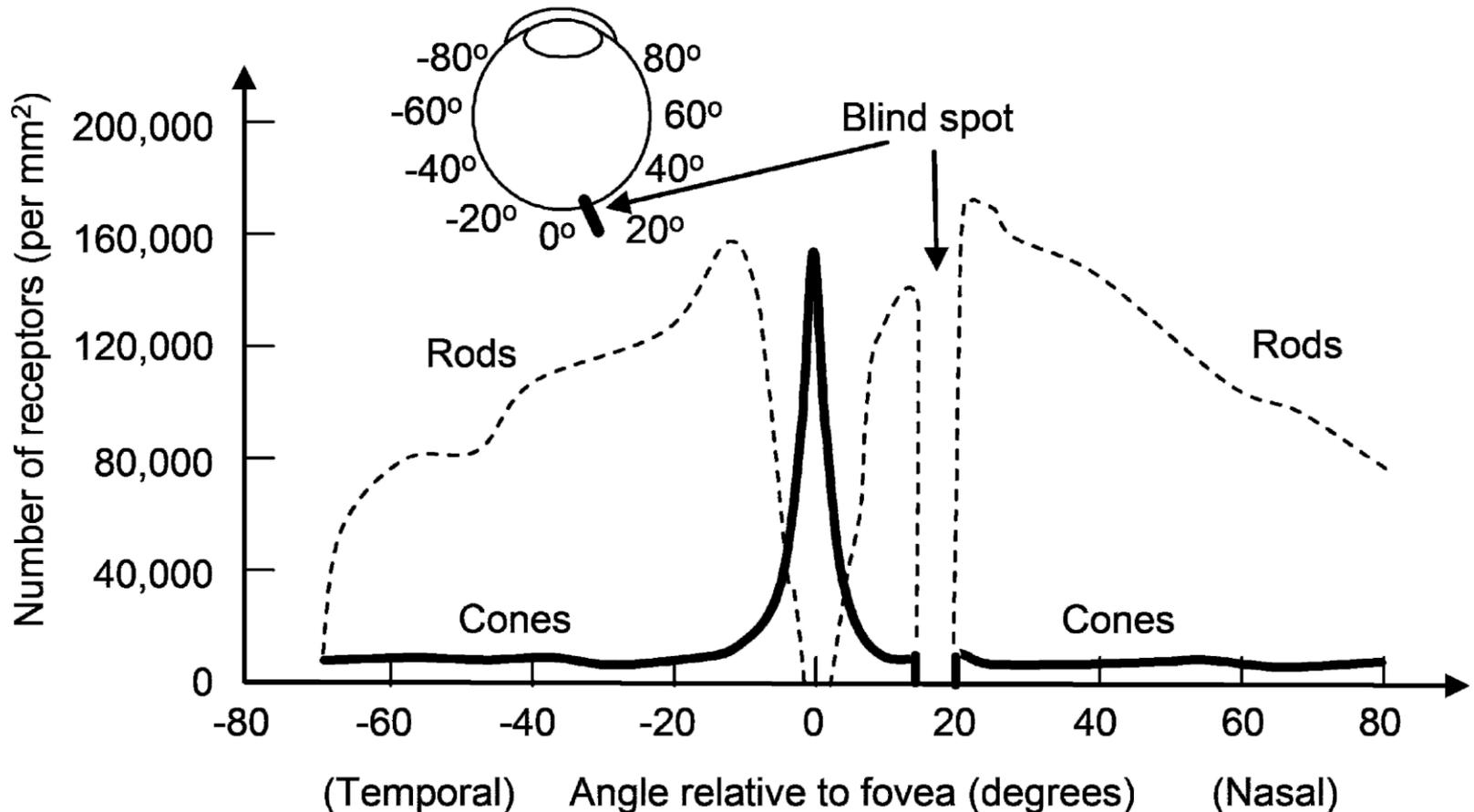


# Bastonetes

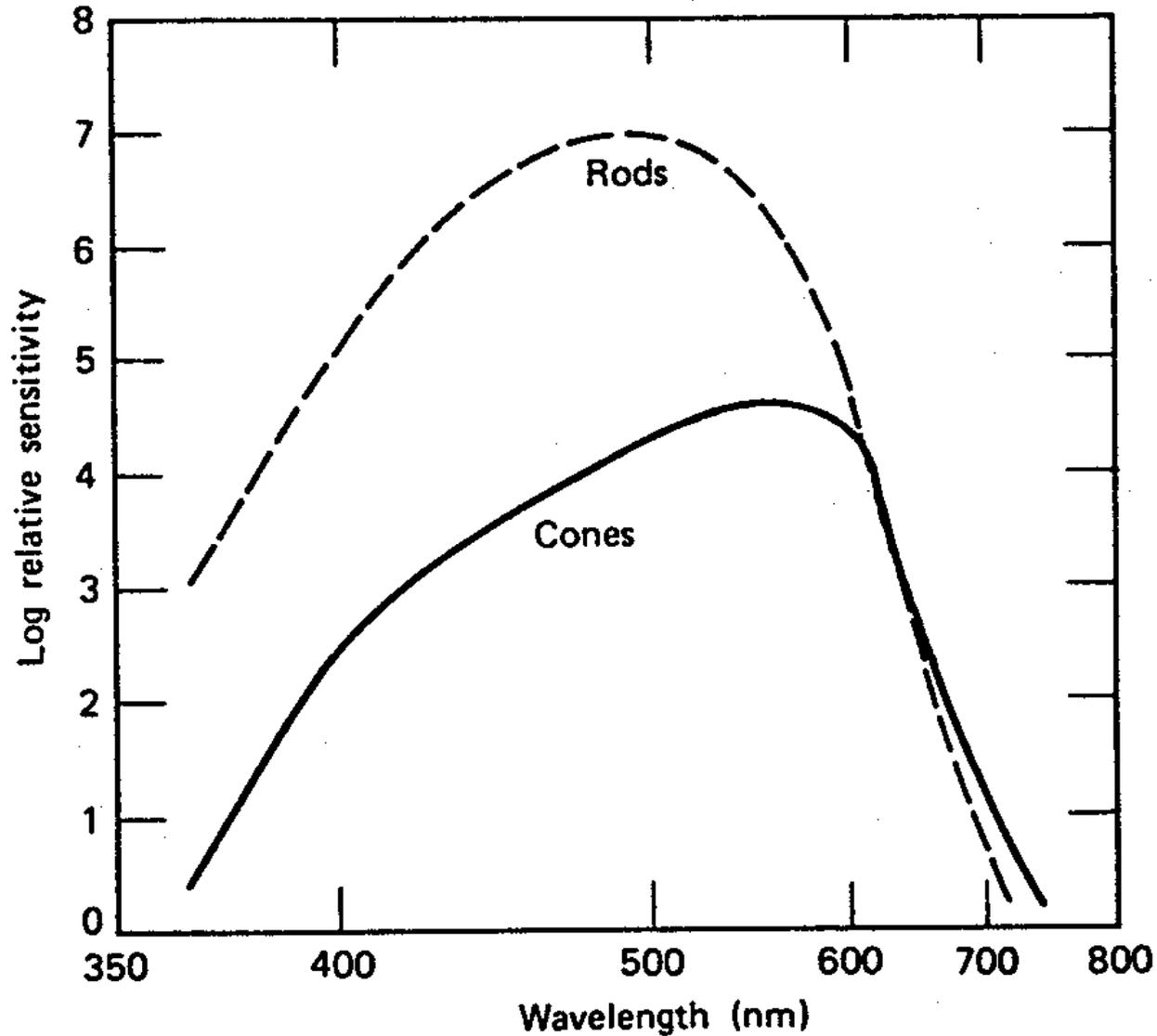
- São usados para visão noturna, detecção de movimentos e visão periférica
- São muito mais abundantes que os cones, existem 120 milhões em cada olho
- Cobrem praticamente toda a retina, mas tem densidade máxima a  $20^\circ$  da fóvea
- Centenas de bastonetes compartilham a mesma fibra nervosa, o que faz com que a habilidade para distinguir dois objetos próximos na visão periférica seja baixa
- Devido à grande sensibilidade dos bastonetes podemos perceber objetos se aproximando periféricamente mesmo quando olhamos para frente.

# Células fotorreceptoras da retina

- Os cones e bastonetes são distribuídos em todas as direções do eixo visual praticamente simetricamente, exceto no ponto cego e na fóvea central



# Sensibilidade cones e bastonetes

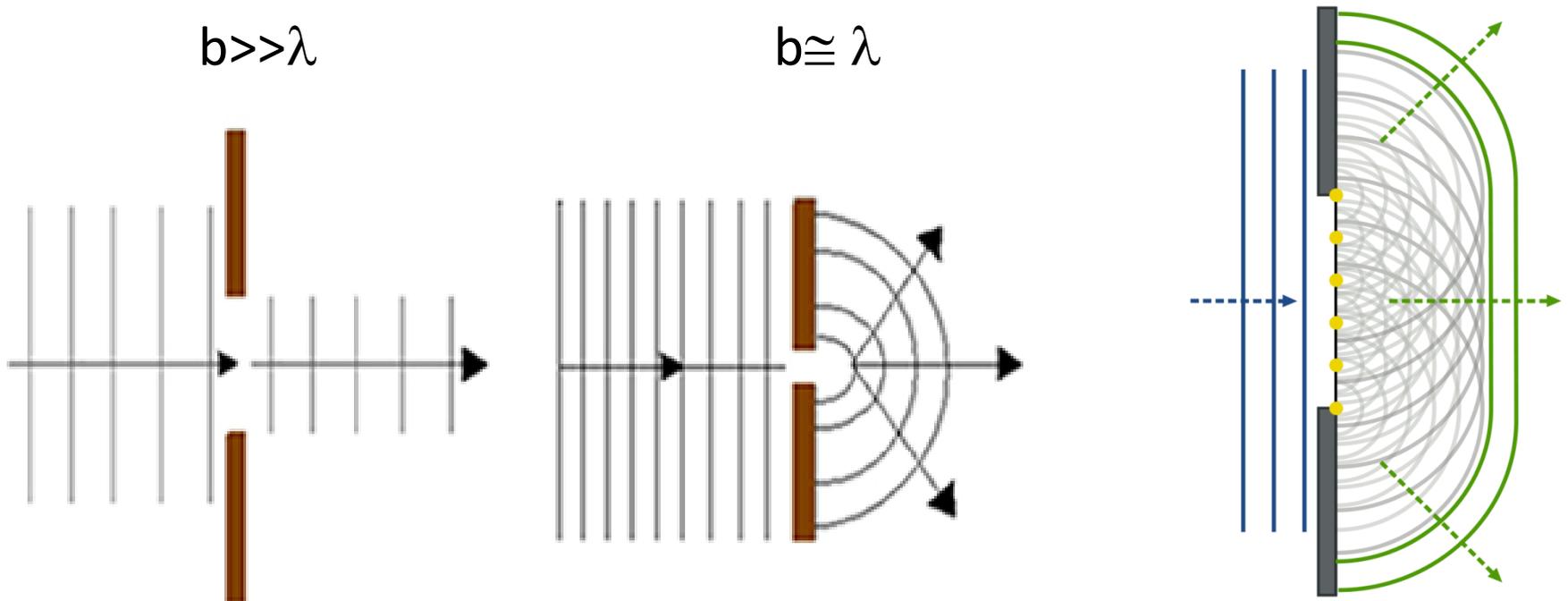


# O limiar da visão

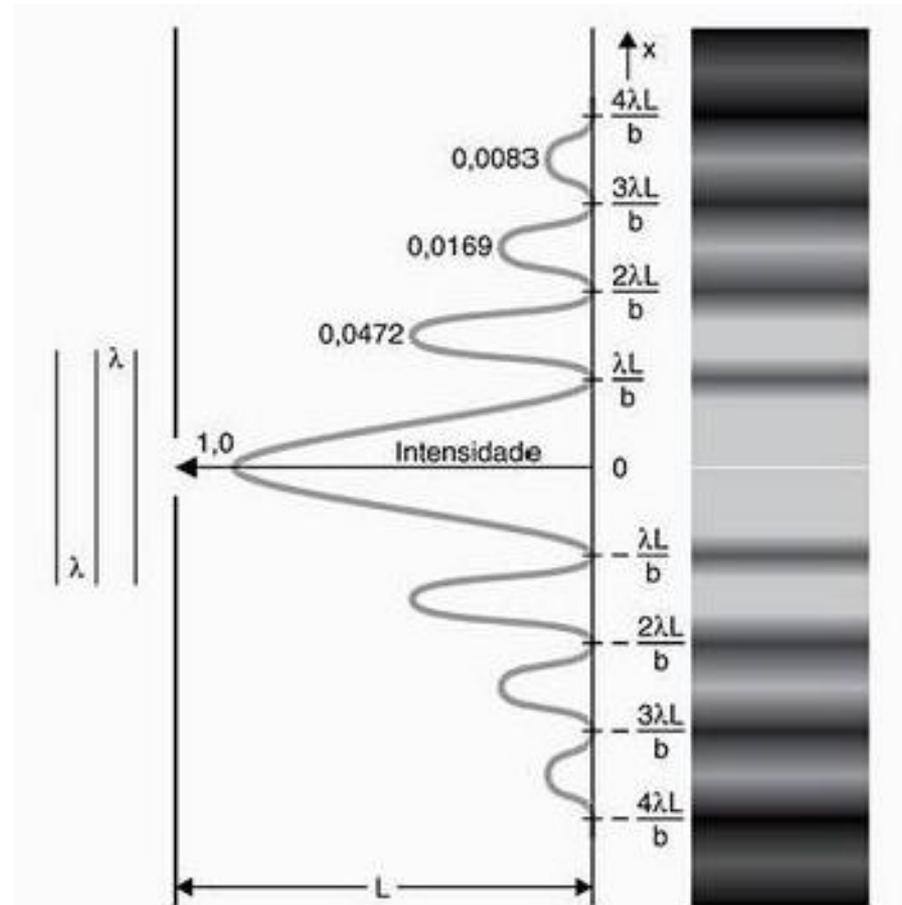
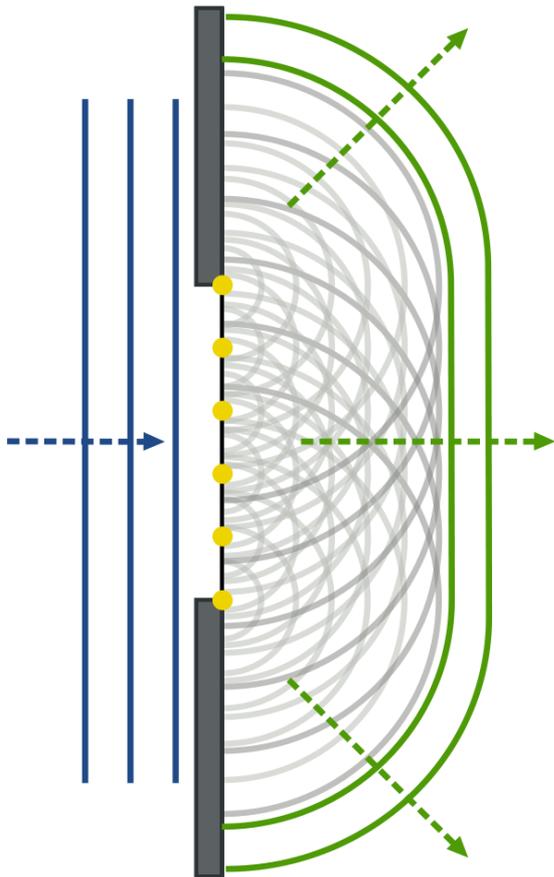
- 1942: Hecht, Schlaer e Pirenne
- Qual o número mínimo de fótons que produz uma sensação de visual em pelo menos 60% das vezes?
  - Experimentalmente 90 fótons
  - Mas, considerando todas as perdas de luz:
    - somente 10 fótons chegam aos bastonetes e se dividem entre 350 bastonetes → um único fóton pode estimular um bastonete
    - Posteriormente descobriu-se que 2 fótons são necessários para estimular um bastonete
- Por que não podemos ver um único fóton?
  - Porque existe um ruído eletrônico gerado continuamente pela retina (cada bastonete gera 1 ruído a cada 5 minutos, multiplicado por 120 milhões de bastonetes, temos 3 bilhões de ruídos por hora)

# Difração da luz

- Corresponde ao encurvamento sofrido pela onda ao transpor obstáculos em seu caminho, que tenham dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda
- É o fenômeno resultante da passagem de uma onda luminosa por uma fenda estreita de abertura  $b$

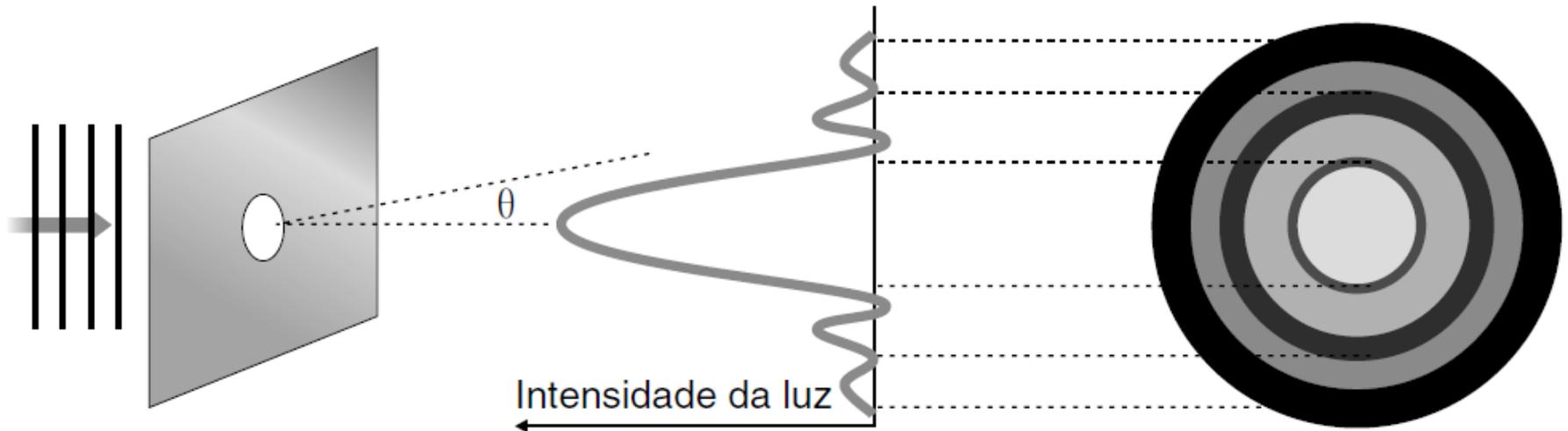


# Difração por fenda simples



# Difração por uma fenda circular

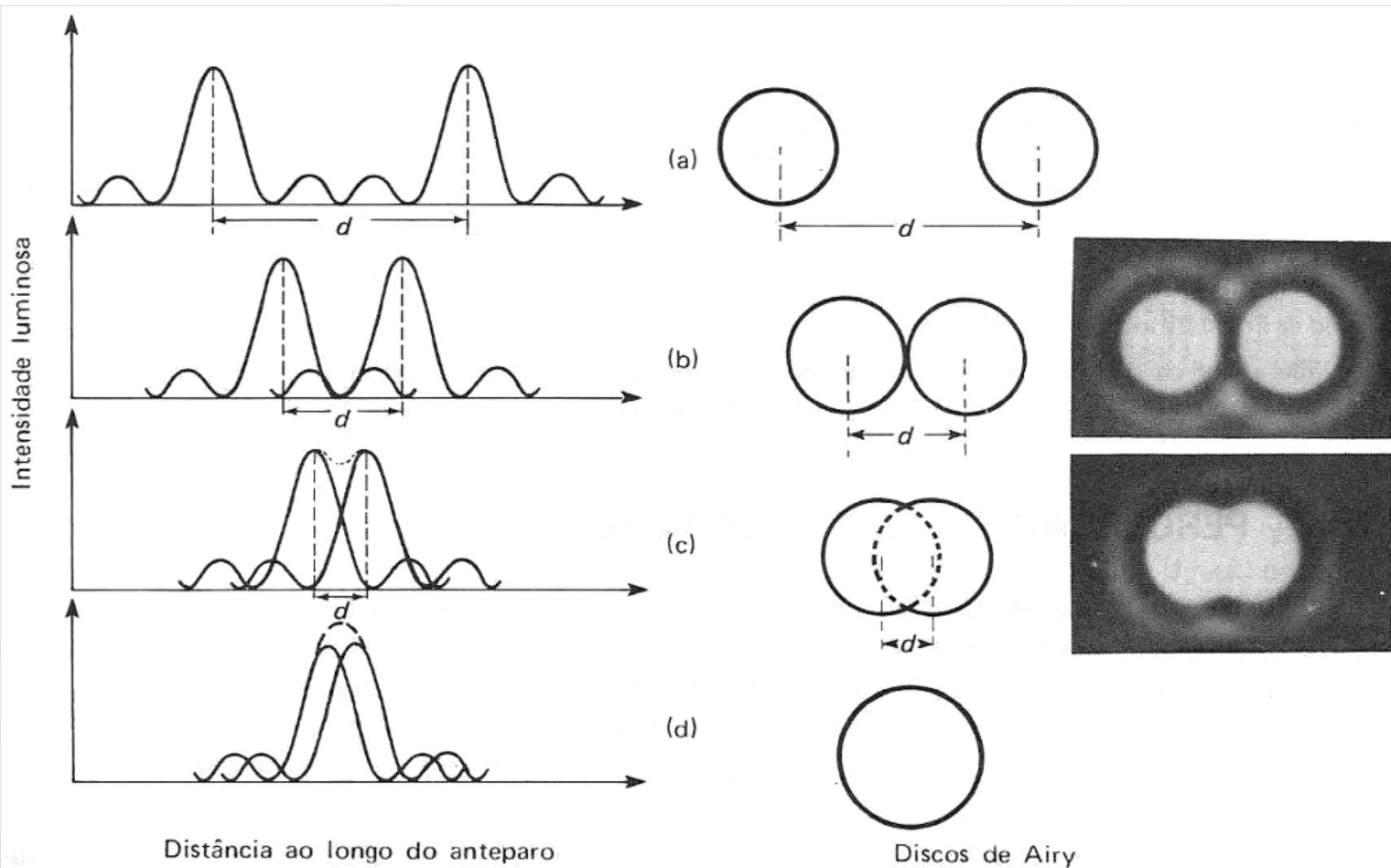
- Se uma onda plana iluminar uma fenda circular de raio  $a$ , obteremos uma figura de difração que consiste de franjas circulares claras e escuras, correspondendo a interferência construtiva e destrutiva, respectivamente



# Poder de resolução

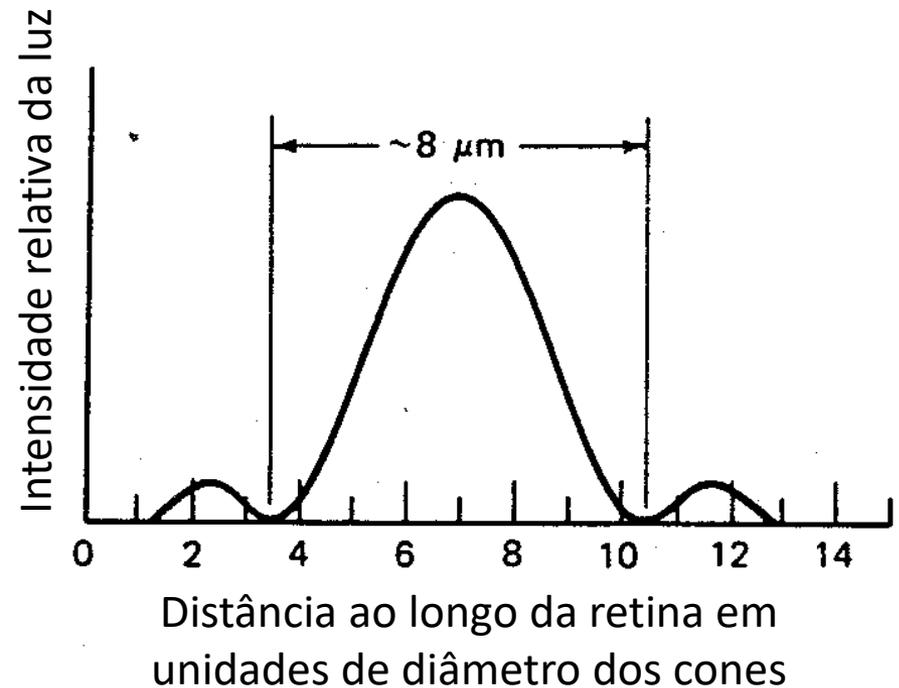
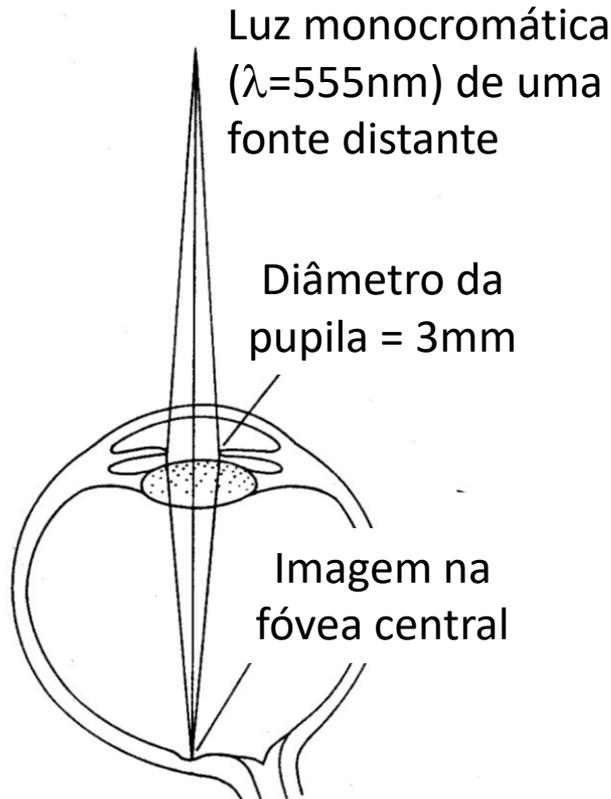
- Capacidade de um sistema de lentes de mostrar objetos em detalhes é descrita por seu poder de resolução.
  - Se a lente se comporta como uma fenda circular, as imagens que ela forma de dois objetos pontuais separados por certa distância, são pequenas figuras de difração
  - Se a superposição entre essas imagens for muito grande, não é possível distingui-las

# Poder de resolução



Fenda circular iluminada por duas fontes pontuais

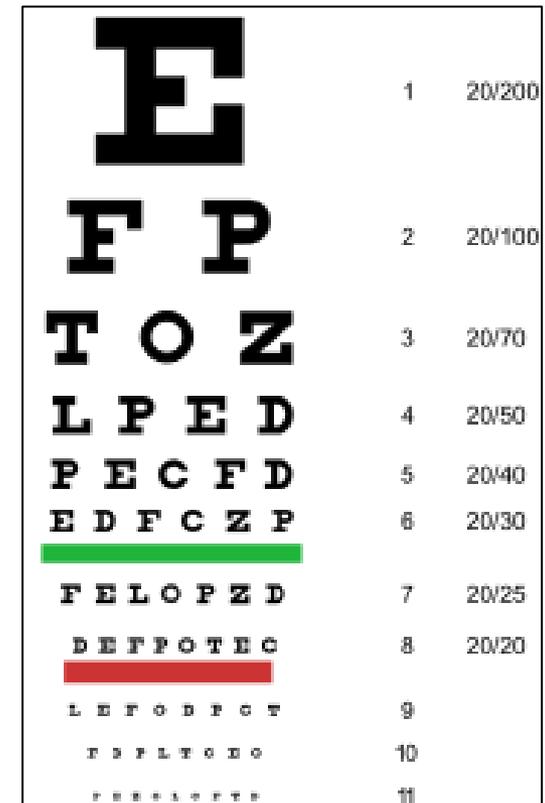
# Efeito da difração nos olhos



- Praticamente não ocorre com a abertura normal da pupila ( $\sim 4\text{mm}$ ), para pupilas pequenas ( $\sim 1\text{mm}$ ) fica muito perceptível
- Uma fonte pontual distante é vista como um borrão circular envolto por um anel de intensidade menor

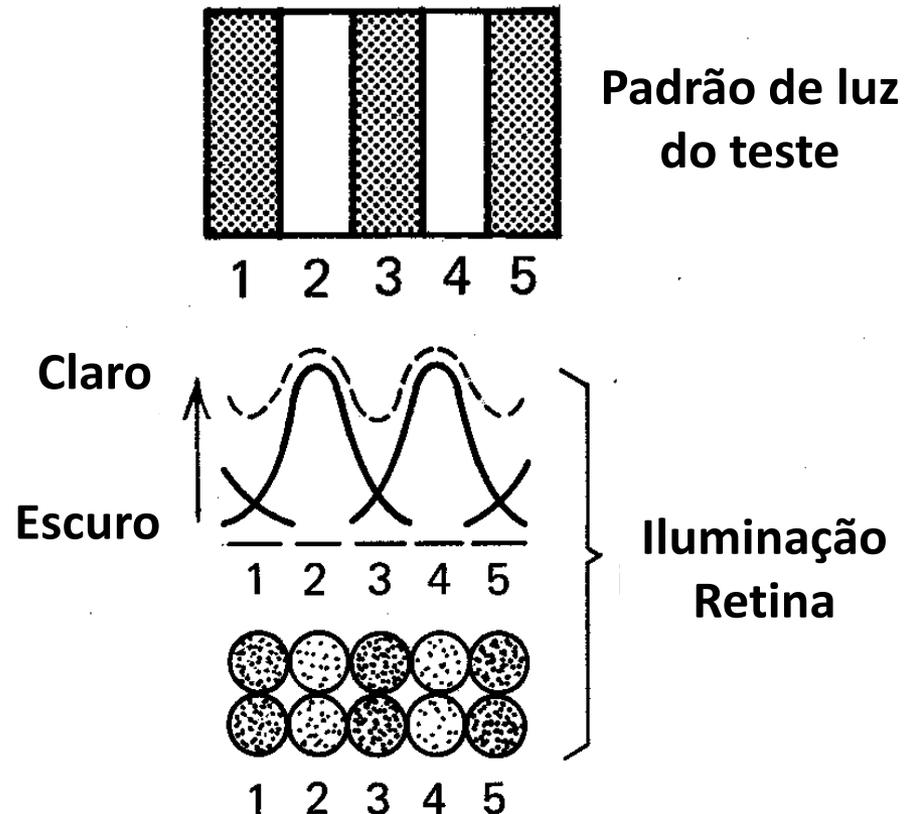
# Acuidade visual – teste para lentes corretivas

- É a característica do olho de reconhecer dois pontos muito próximos (resolução dos olhos), determina a necessidade de lentes corretivas
- Depende da distância entre os fotorreceptores na retina e também da precisão da refração.
- É determinada pela menor imagem retiniana percebida pelo indivíduo (*Snellen Chart*).
  - Sua medida é dada pela relação entre o tamanho do menor objeto visualizado e a distância entre observador e objeto
  - Visão normal 20/20: consegue ver a 20 pés o que uma pessoa com visão normal consegue ver a 20 pés (sistema métrico 6/6)



# Acuidade visual – resolução dos olhos

- É uma característica dos cones na fóvea
- Uma maneira de testá-la é alternar linhas brancas e pretas gradativamente mais estreitas
- O olho distingue 30 pares/mm  
- 2x mais distante: 15 pares/mm
- A acuidade também é dada em termos do ângulo subtendido pelo olho nas linhas (ângulo mínimo entre 2 faixas pretas que pode ser resolvido é 0,3mrad)
- Para que sejam vistos separadamente duas linhas tem que cair em linhas alternadas de bastonetes.



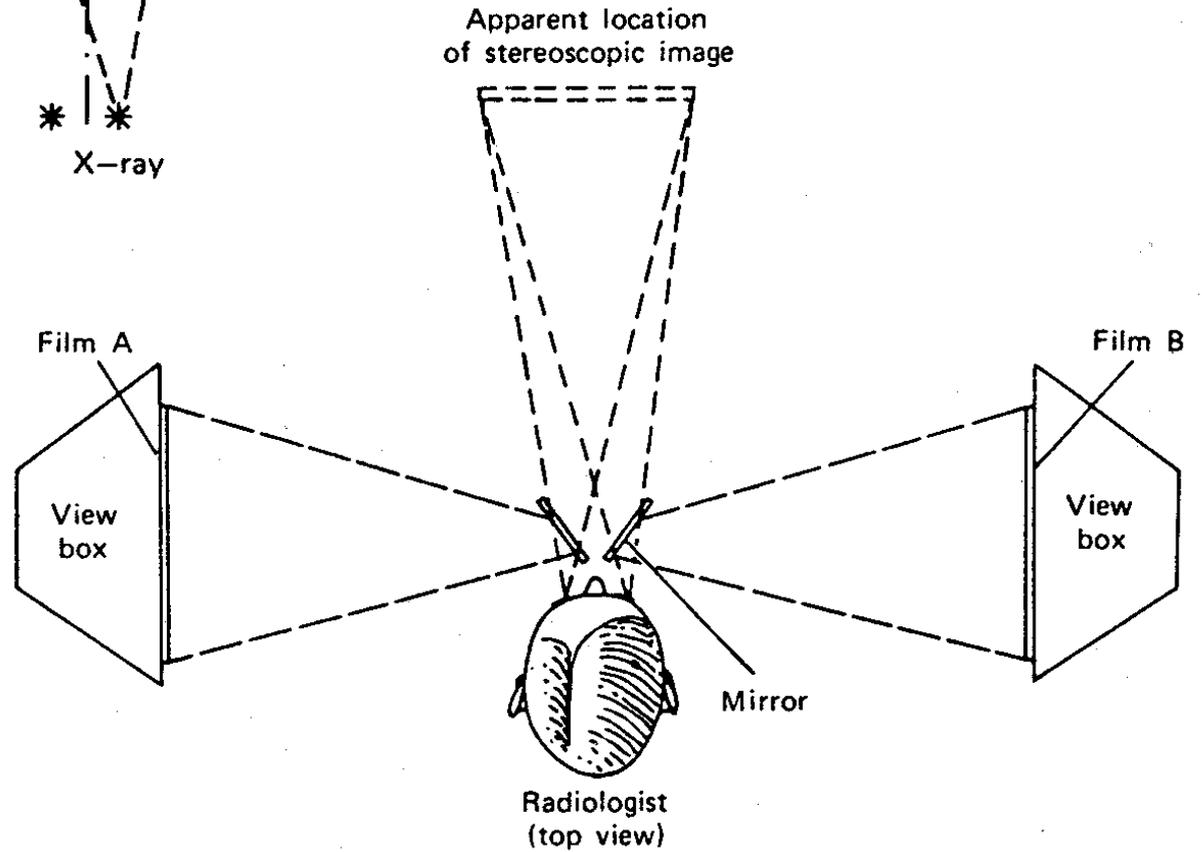
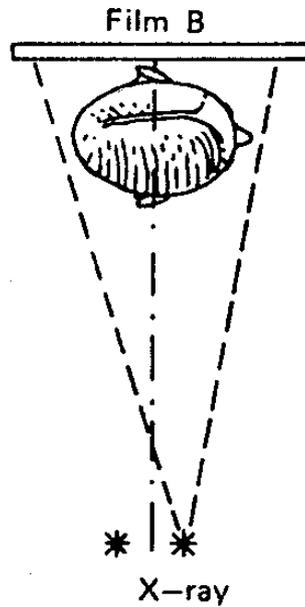
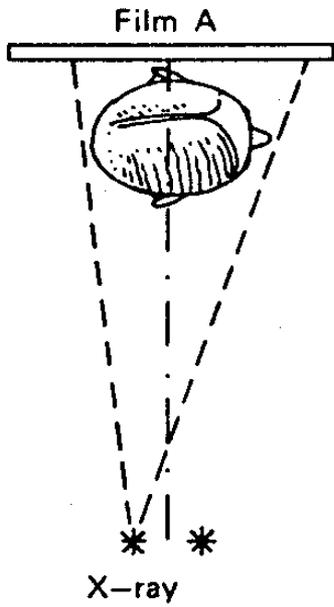
# Acuidade visual

- **A resolução de letra branca em fundo preto é de  $10^{-3}$ rad**
- **A resolução de letra preta em fundo branco é de  $3 \cdot 10^{-4}$ rad**
- A resolução depende da “pretura” e “brancura” das linhas, quando tons de cinza são usados, a resolução cai muito.
- O contraste entre duas áreas é dado por:  $C = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$  sendo  $I_1$  e  $I_2$  as intensidades luminosas das duas áreas

# Ilusões de ótica

# Estereoscopia

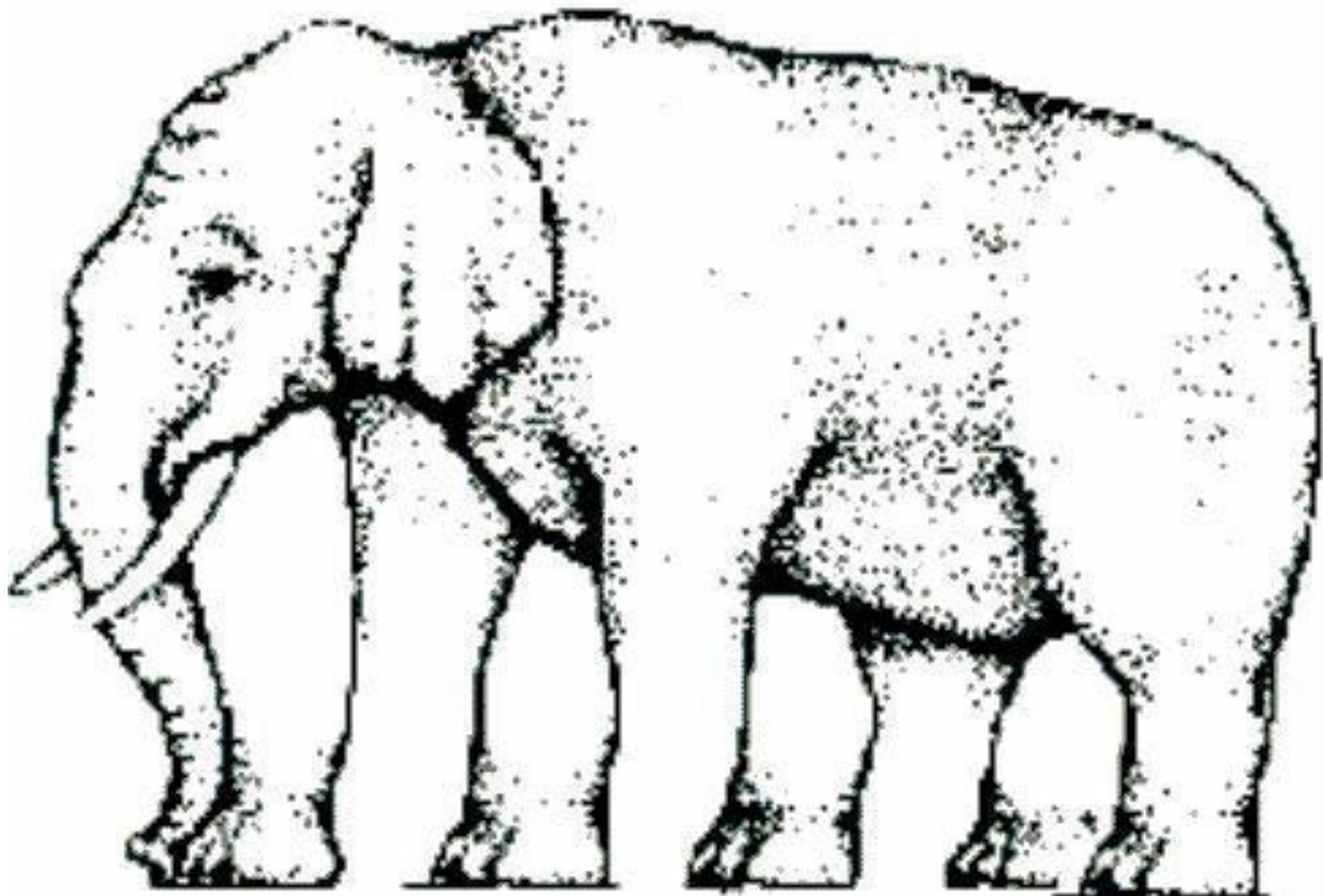
- Técnica que gera imagens 3D a partir de imagens 2D
- Duas imagens são tomadas da mesma parte do corpo em ângulos pouco diferentes, correspondentes as visões independentes dos dois olhos.
- Estas duas imagens são colocadas no estereoscópio e são fundidas pelo cérebro em uma imagem 3D.
- É geralmente utilizada em imagens de raios-X do crânio



# Ilusões de ótica

- Ocorrem quando a luz captada pelo olho e processada pelo cérebro resulta em uma percepção da imagem que não corresponde à realidade.
- Existem várias classificações para as ilusões de ótica, podendo ser destacadas:
  - Ilusões literais: imagens diferentes dos objetos que as criam
  - Ilusões fisiológicas: afetam o olho ou o cérebro por excessiva estimulação de um único tipo (brilho, cor, tamanho...)
  - Ilusões cognitivas: resultam de inferências inconscientes

# Quantos pés o elefante tem?



Ilusão literal

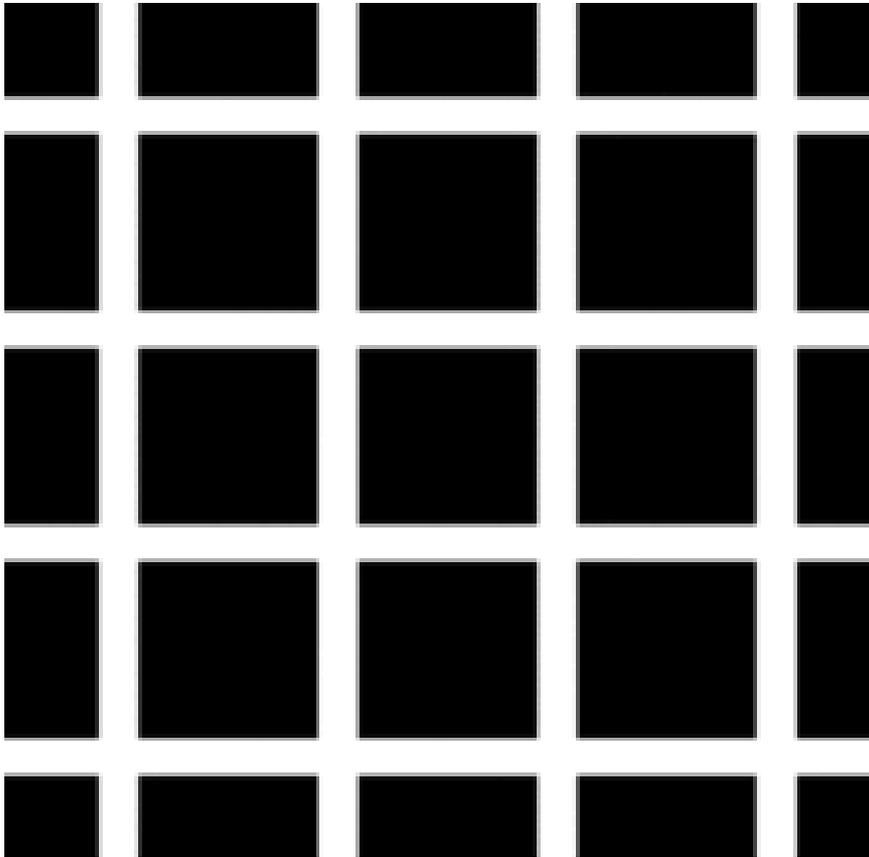
# Descreva o que você enxerga...



Charles Allan Gilbert: All is Vanity

Ilusão literal

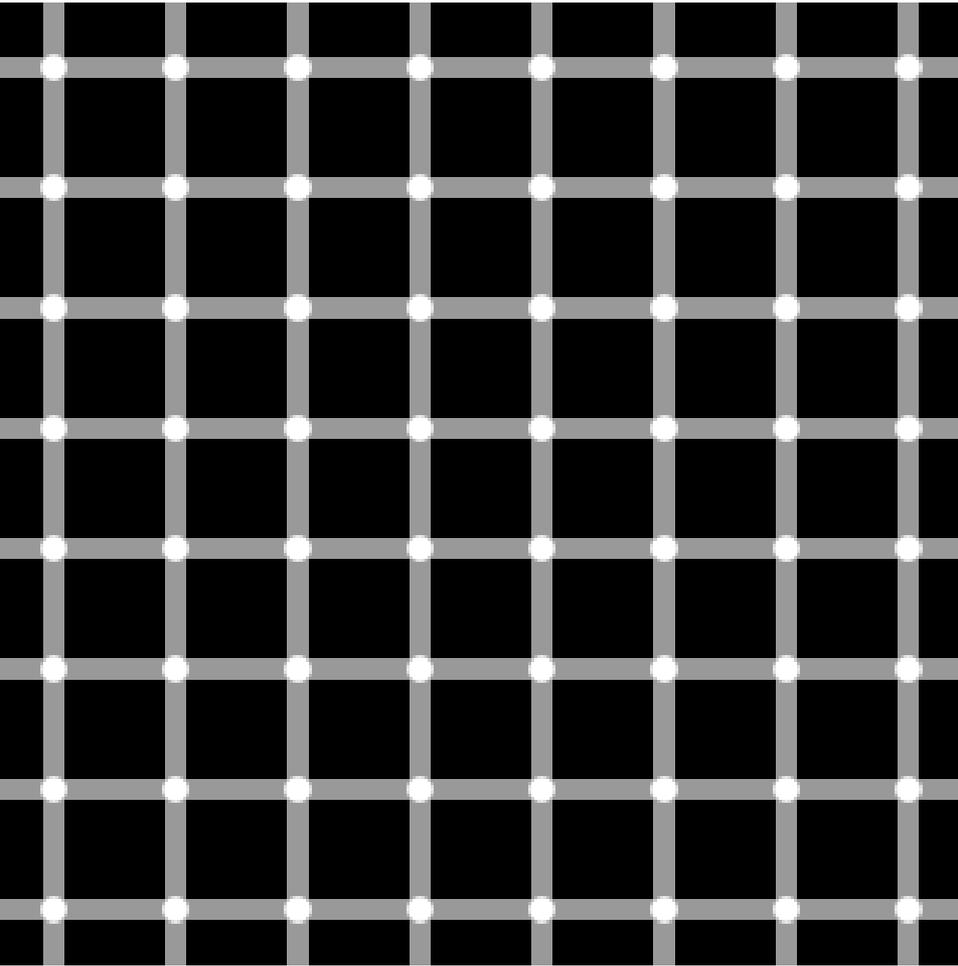
# Descreva o que você enxerga...



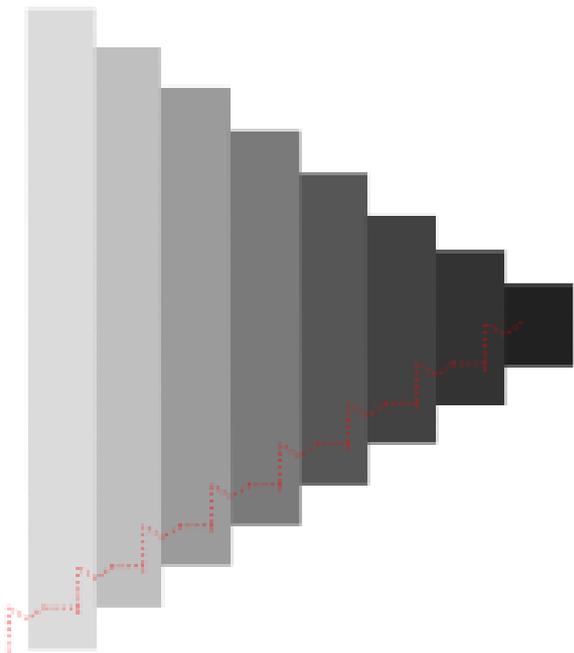
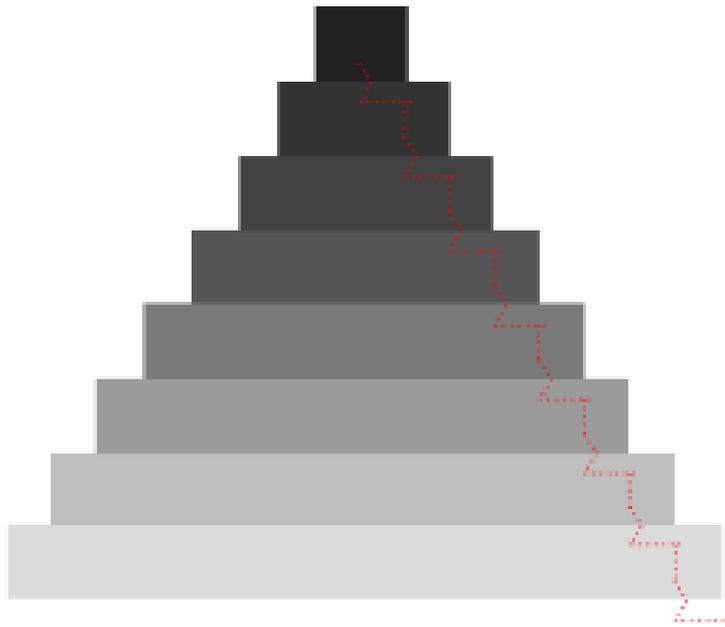
- **Grade de Hermann**

- percebe-se manchas cinzas na intersecção da grade branca no fundo preto

# Descreva o que você enxerga...



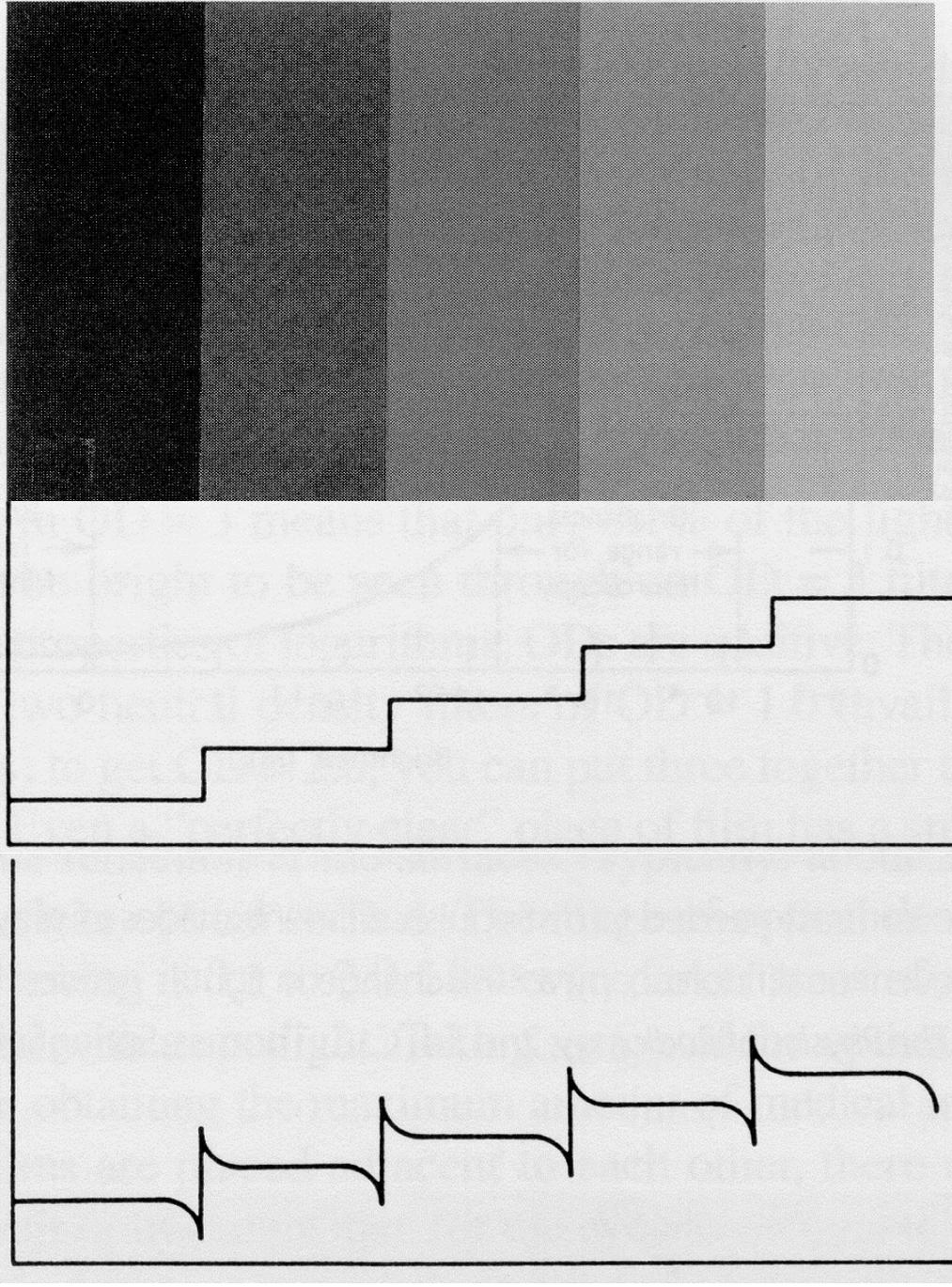
- **Grade de cintilação**
  - Superposição de discos brancos nas intersecções ortogonais da grade



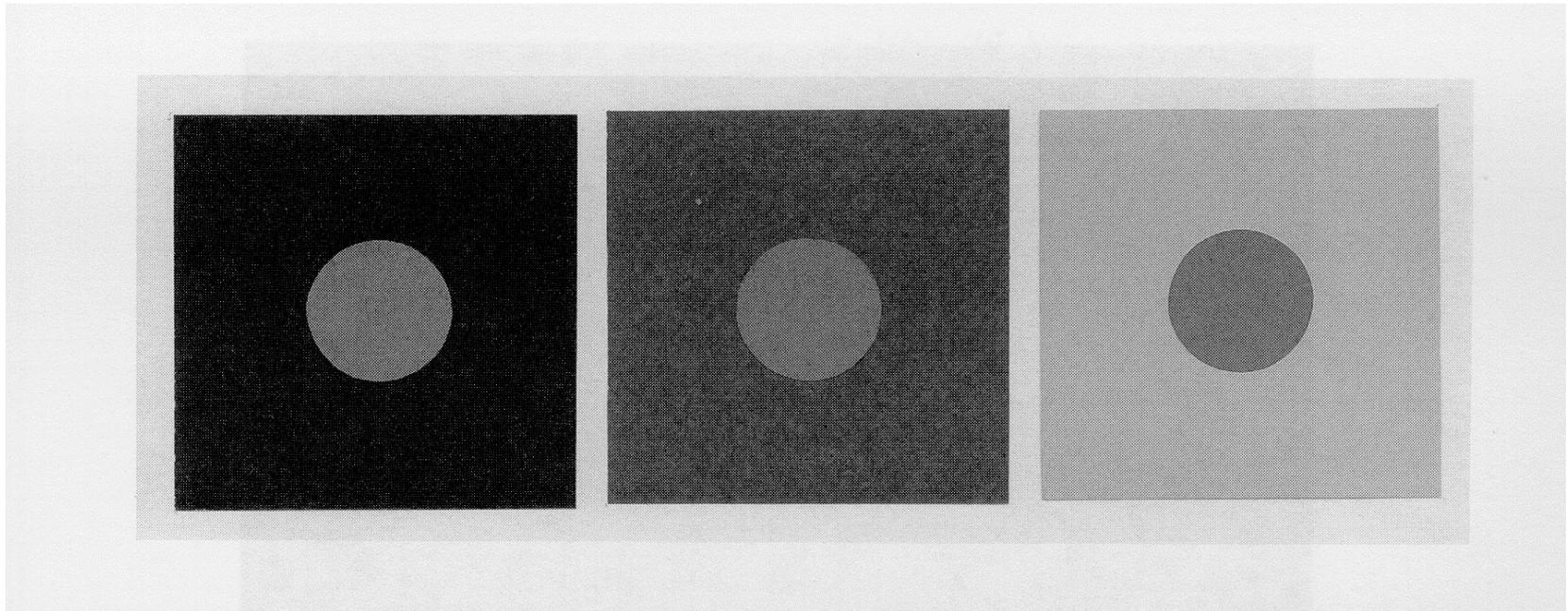
- Aumento do contraste na intersecção das barras de diferentes tons de cinza.
- Independe da orientação da imagem

Intensidade de sinal dos cones e bastonetes

Intensidade real da luz

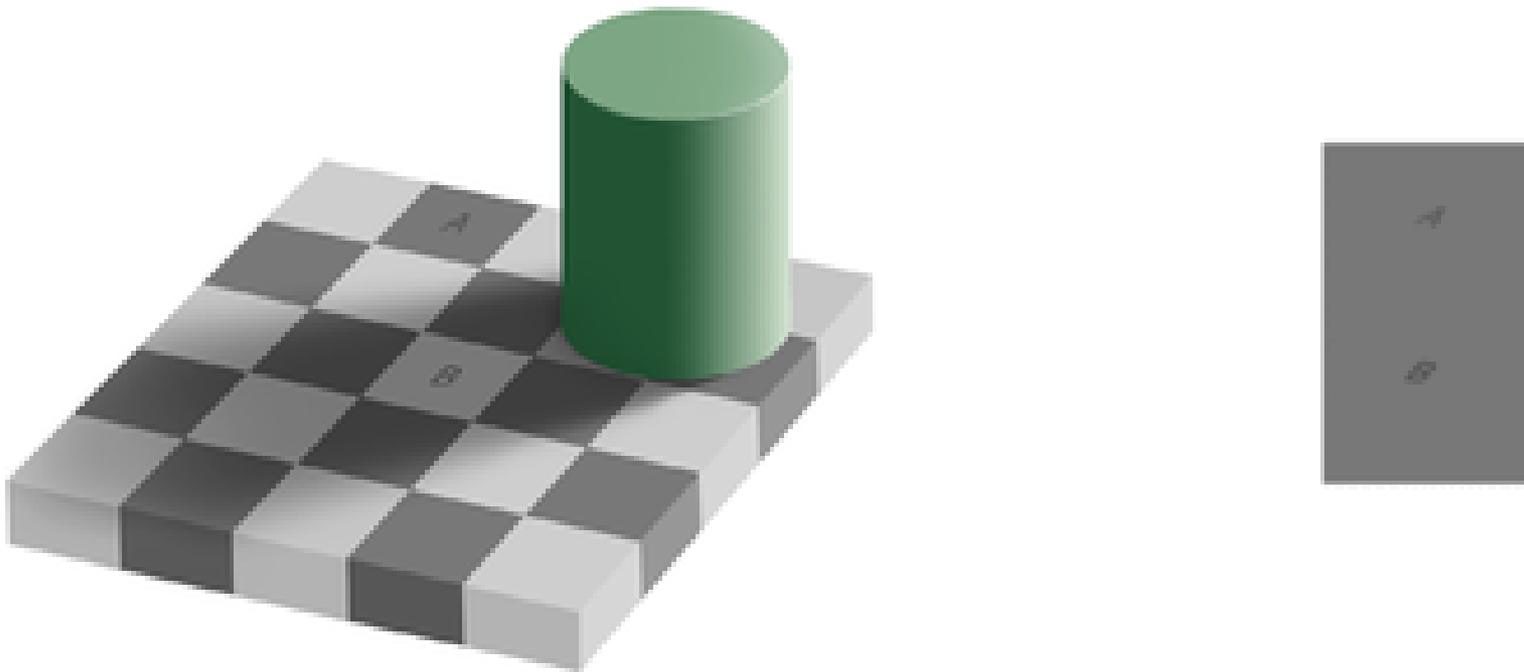


Ilusão fisiológica



- Os três círculos tem o mesmo tom de cinza, mas o que tem um fundo claro parece mais escuro.

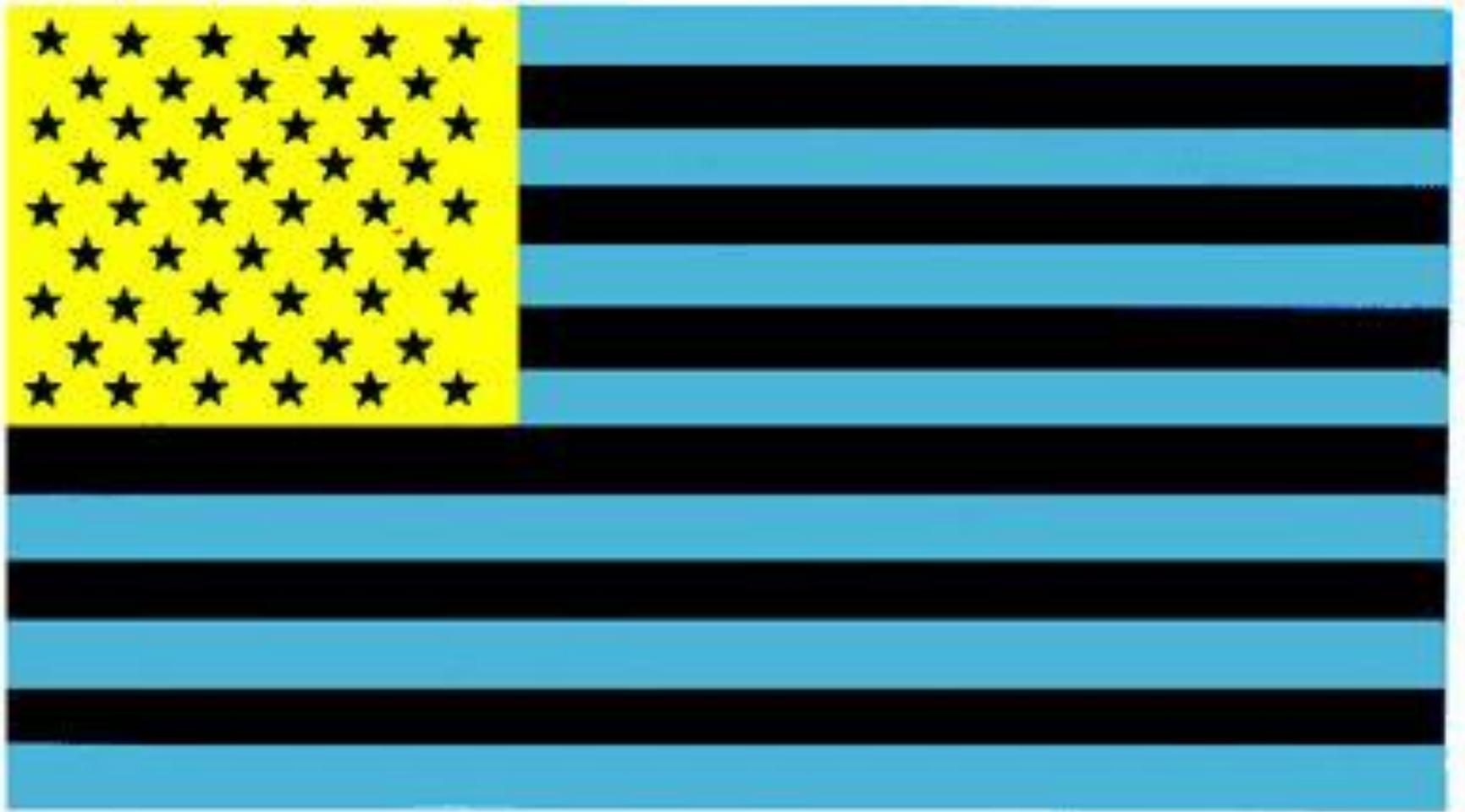
# Qual a relação entre as intensidades dos quadrados A e B?



- O cérebro muda a associação de cor de um objeto de acordo com o fundo da imagem.

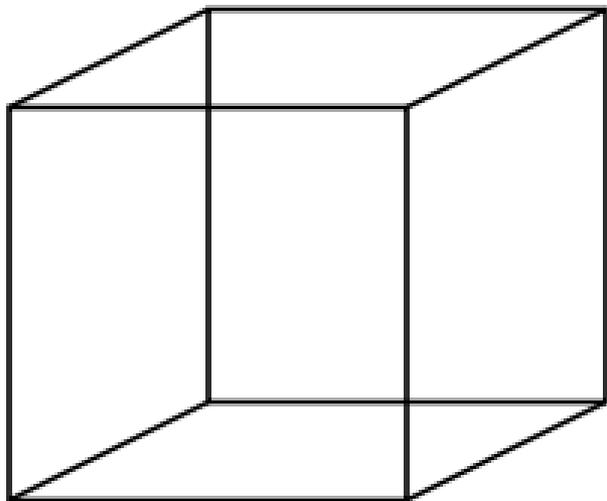


Ilusão fisiológica

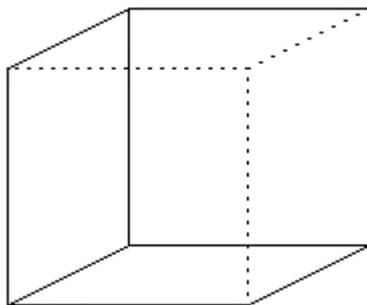
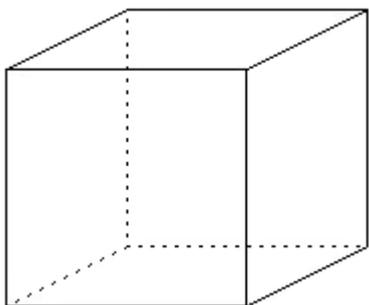


Ilusão fisiológica

# Qual face do cubo está na frente?

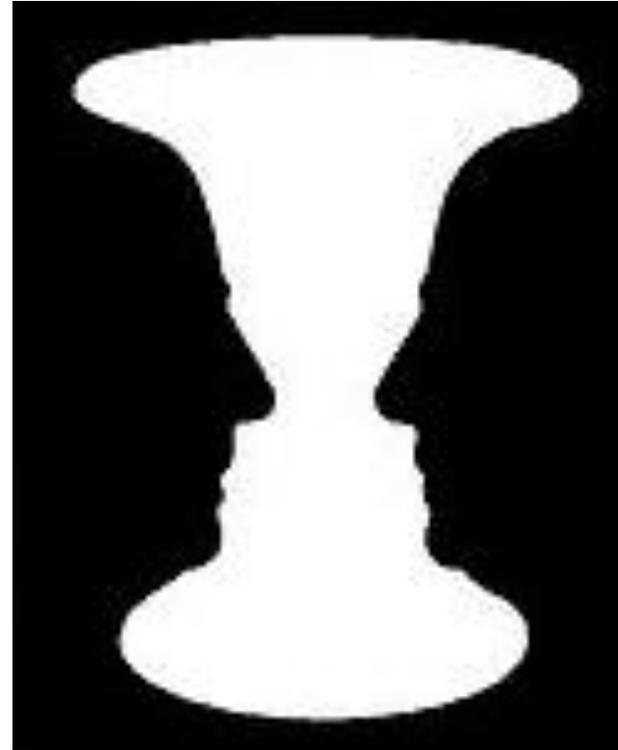


- Imagem permite dupla interpretação
- Maior parte das pessoas responde a primeira opção:
  - Cérebro prefere enxergar objetos de cima para baixo
  - Cérebro prefere enxergar objetos da esquerda para direita



Ilusão cognitiva de ambiguidade

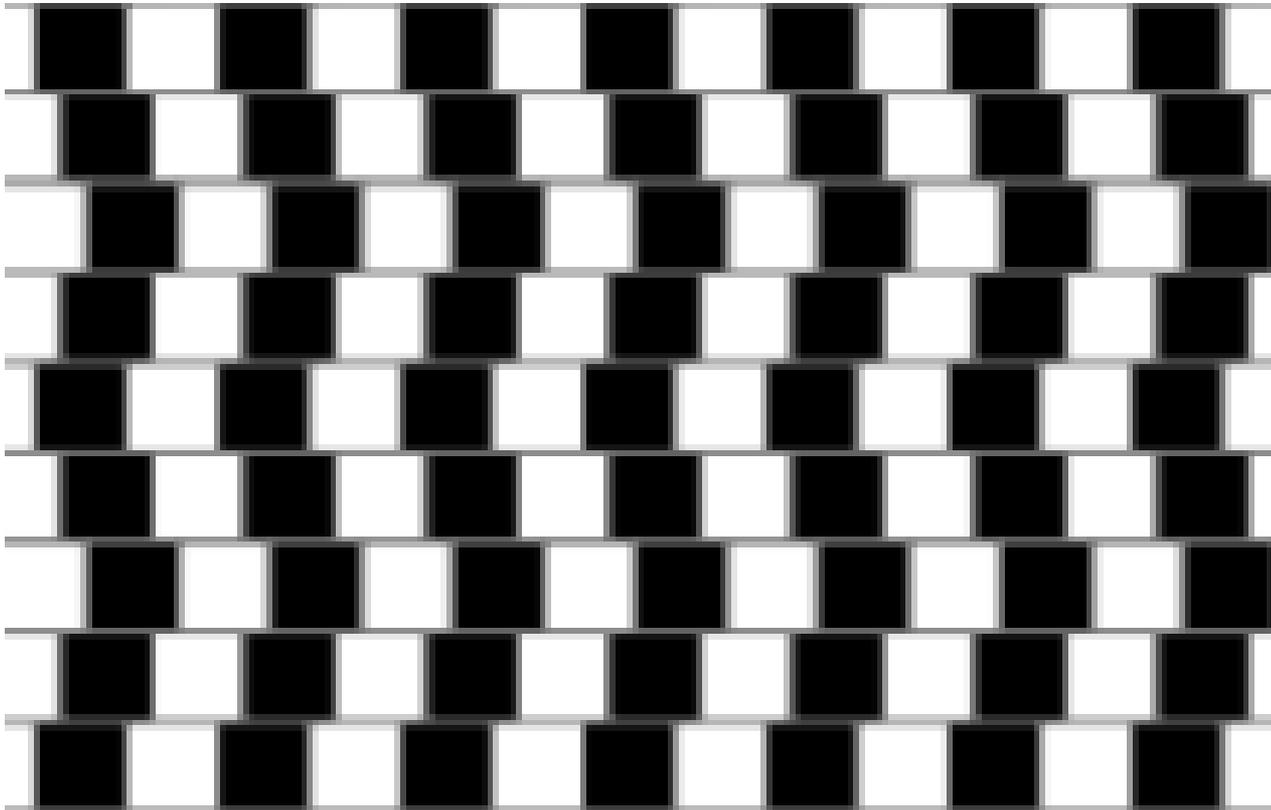
# Descreva o que você enxerga...



- Mostra a distinção da figura e do fundo da imagem pelo cérebro
  - É fácil distinguir uma fruta do fundo da imagem, mas se a imagem não é tão comum, a ambiguidade aparece e o cérebro parece ajustar o que ele vê

Ilusão cognitiva de ambiguidade

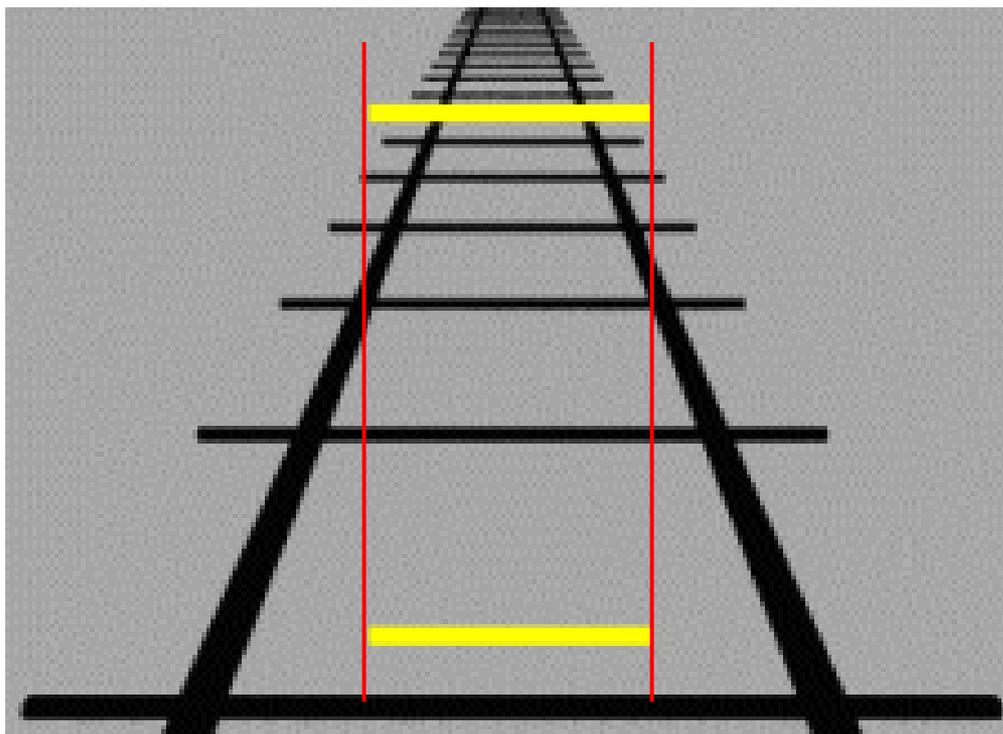
# Descreva o que você enxerga...



- As linhas horizontais são paralelas embora pareçam inclinadas
  - Diferentes partes da retina recebem a luz da linha visualizada, onde há um grande contraste ao redor da linha cinza, uma pequena inclinação é visualizada

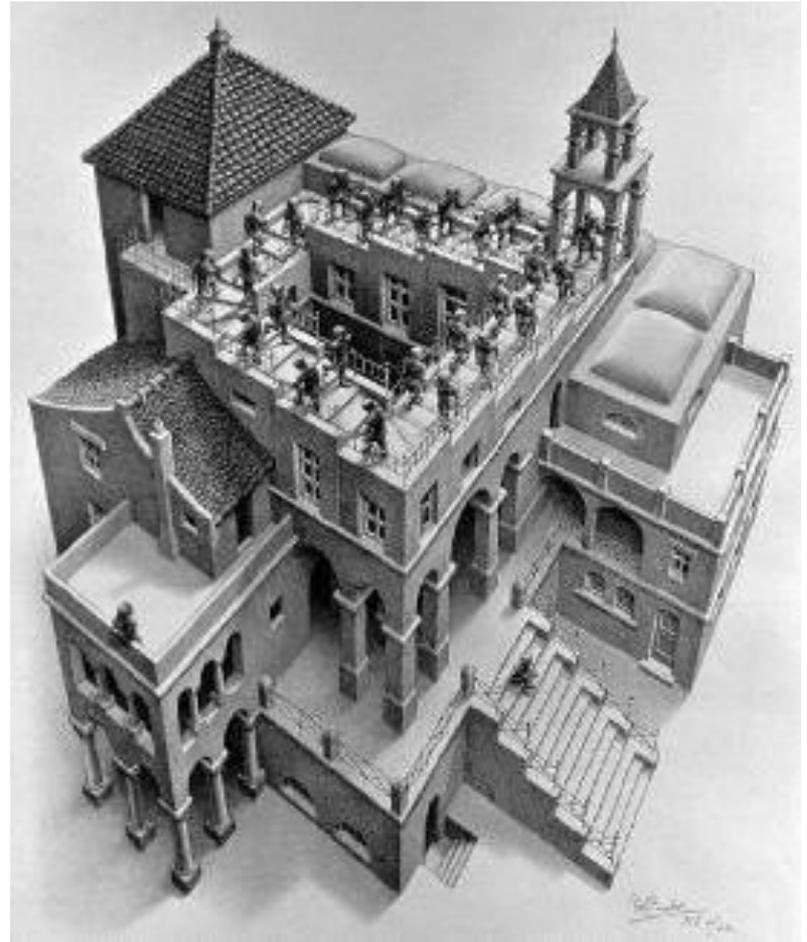
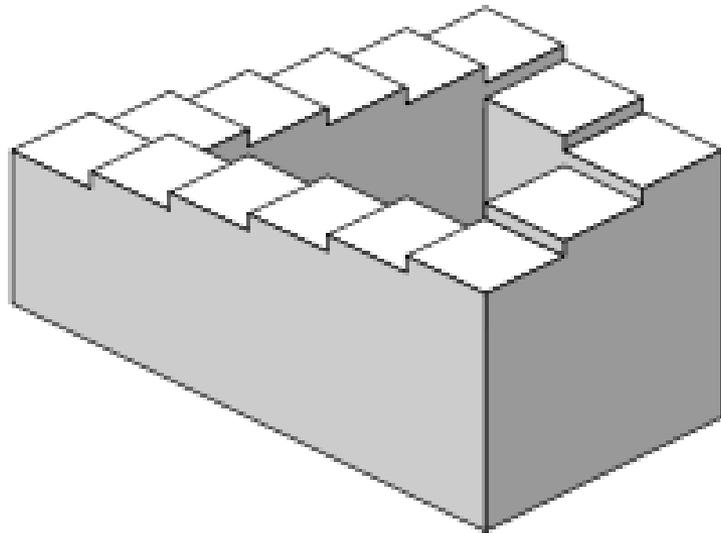
Ilusão cognitiva de distorção

# Qual barra amarela é maior?



- Foi criada para mostrar que julgamos o objeto baseado no fundo devido:
  - As linhas convergentes
  - A densidade de linhas pretas ao redor da amarela

Ilusão cognitiva de distorção



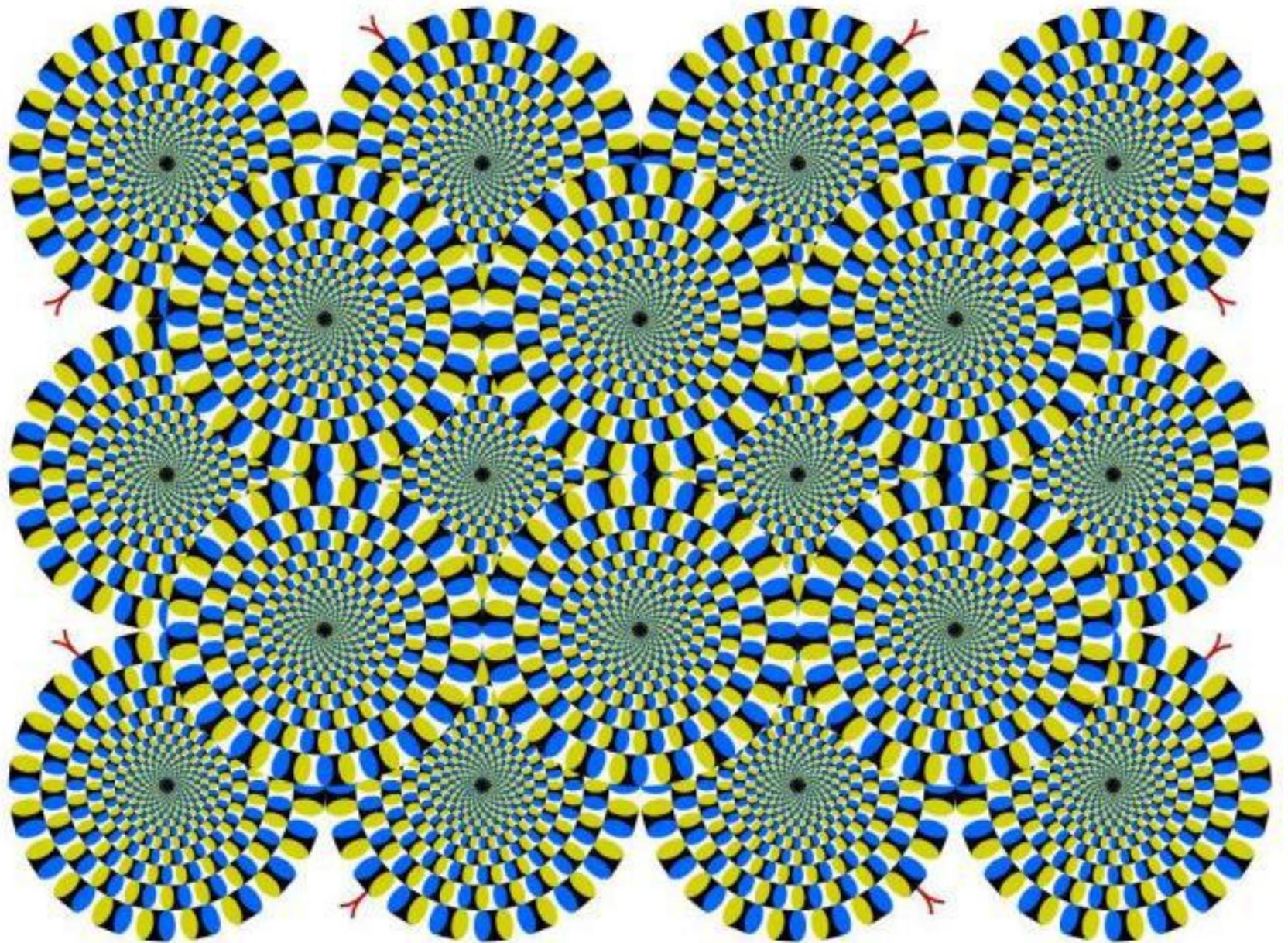
- Objeto impossível  
“Cada parte da estrutura é aceitável por representar uma escada, mas as conexões, como um todo são inconsistentes, os degraus descem continuamente na direção horária”
- Resulta da união cognitiva equivocada das bordas adjacentes

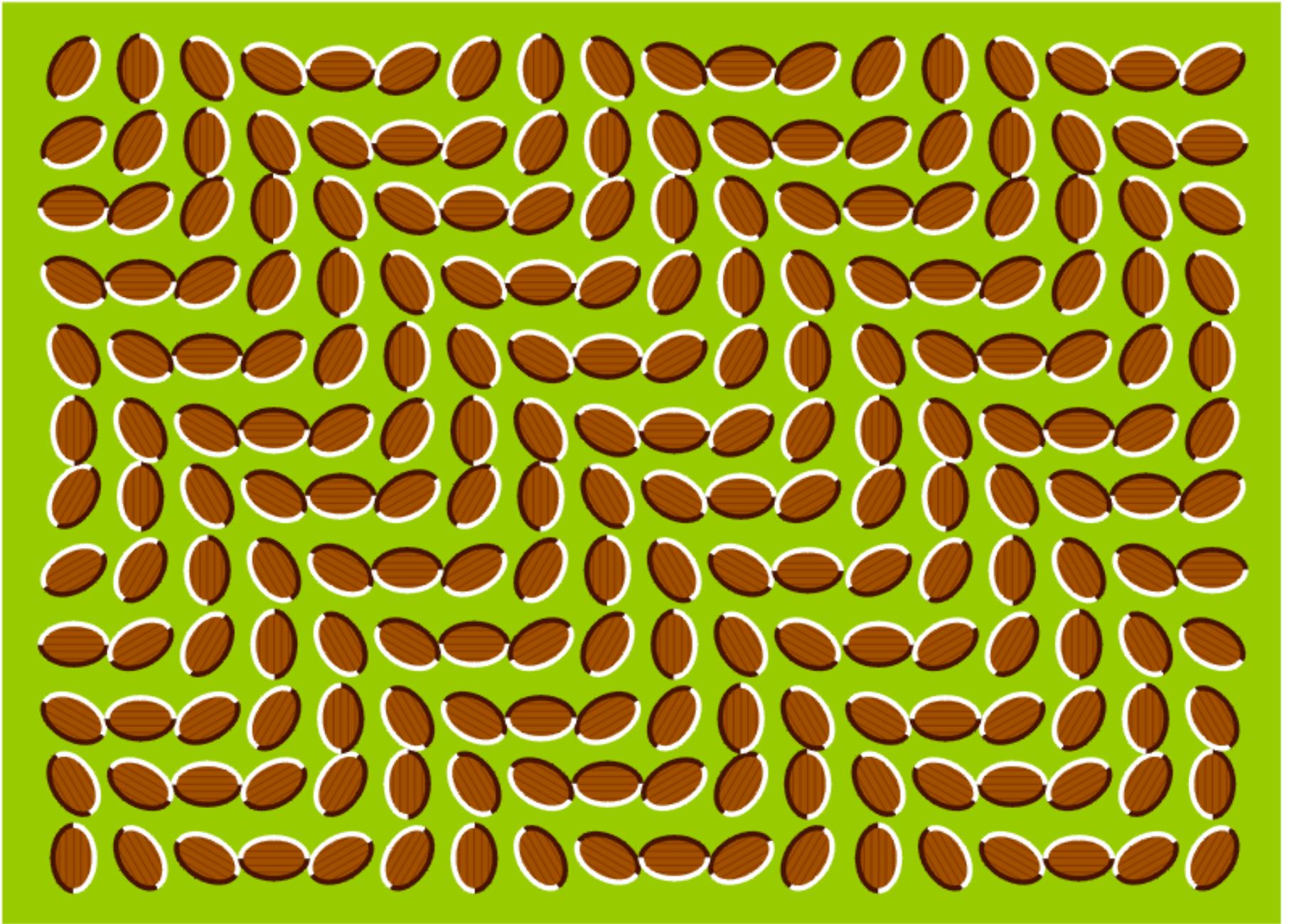
Ilusão cognitiva paradoxal ou impossível

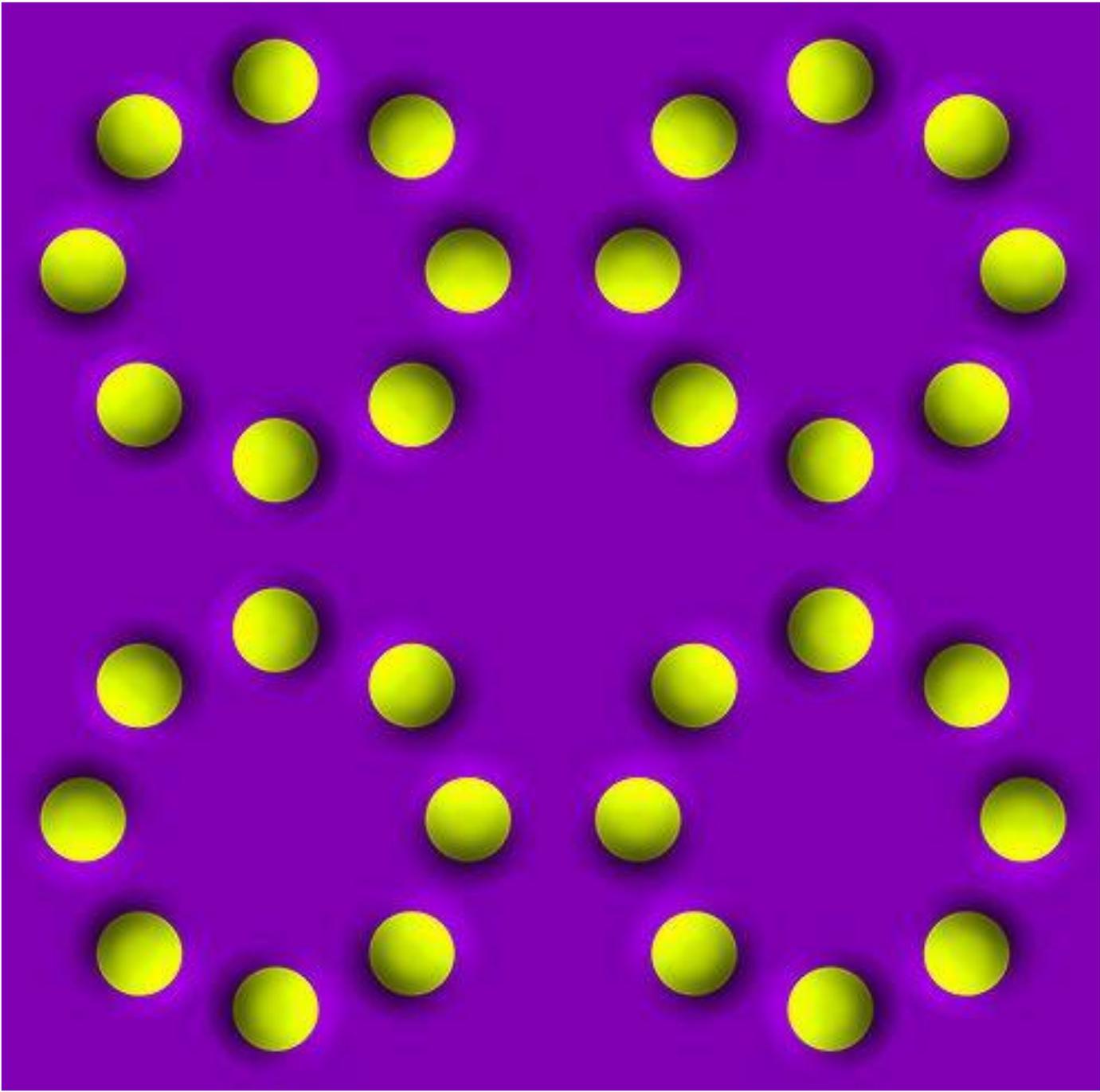
# Para qual lado a dançarina gira?



- Maior parte das pessoas acha que ela gira na direção horária (2/3)
  - Assume um ponto de visão de cima para baixo
  - O que acontece se você olhar de baixo para cima?







- Não há explicações concretas para estas ilusões:
  - Alguns cientistas acreditam que mesmo com os olhos fixos em um ponto, há um movimento involuntário dos olhos que dão a ilusão dos objetos ao redor estarem se movendo
  - Outros acham que quando olhamos ao redor da imagem, os detectores de movimento ficam confusos e fazem com que pensamos estar vendo movimentos.

# Referências

- Okuno, E. et al. Física para ciências biológicas e biomédicas (1982). Capítulo 16 e 17.
- Duran, J.H.R. Biofísica: conceitos e aplicações (2011). Capítulo 05.
- Cameron, J. R. et al. Physics of the Body. (1999). Capítulo 12
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/visioncon.html#c1>
- Vários sítios da internet