

Fundamentos de Óptica Geométrica

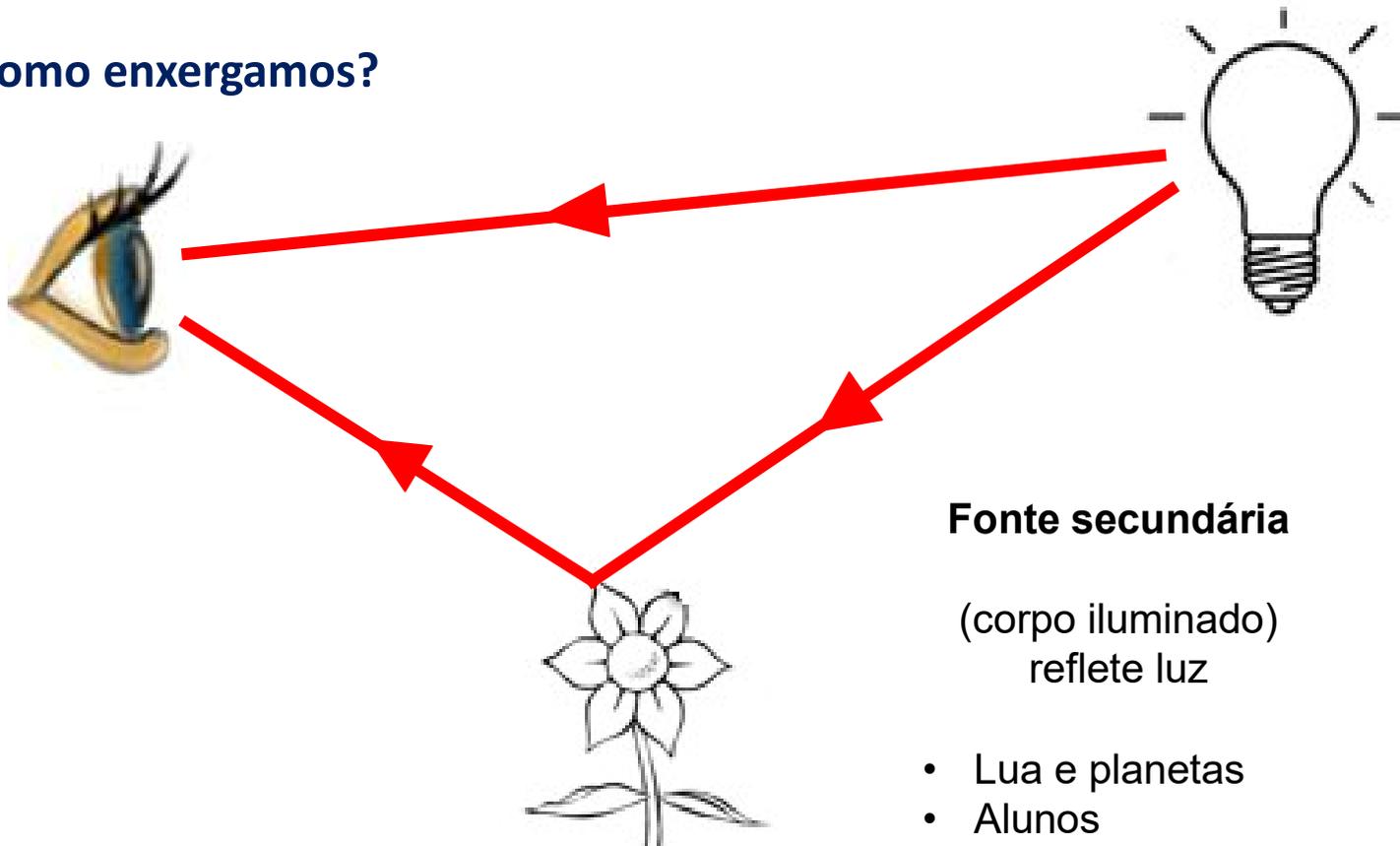
Setor C: Aula 9 / Pg. 471 / Alfa 3

- SL 02 - Mapa conceitual
- SL 03 - Fontes de luz e feixes de luz.
- SL 09 - Princípios da Óptica Geométrica.
- SL 10 - Sombra e Penumbra.
- SL 16 - Câmara escura.
- SL 23 - Reflexão seletiva e cores associadas aos objetos
- SL 31 - Luzes primárias
- SL 36 - Exercícios.

Apresentação, orientação e tarefa: fisicasp.com.br

Óptica geométrica: estudo da conjugação de imagens por sistemas ópticos sem preocupação com a natureza da luz.

Como enxergamos?



Fonte primária

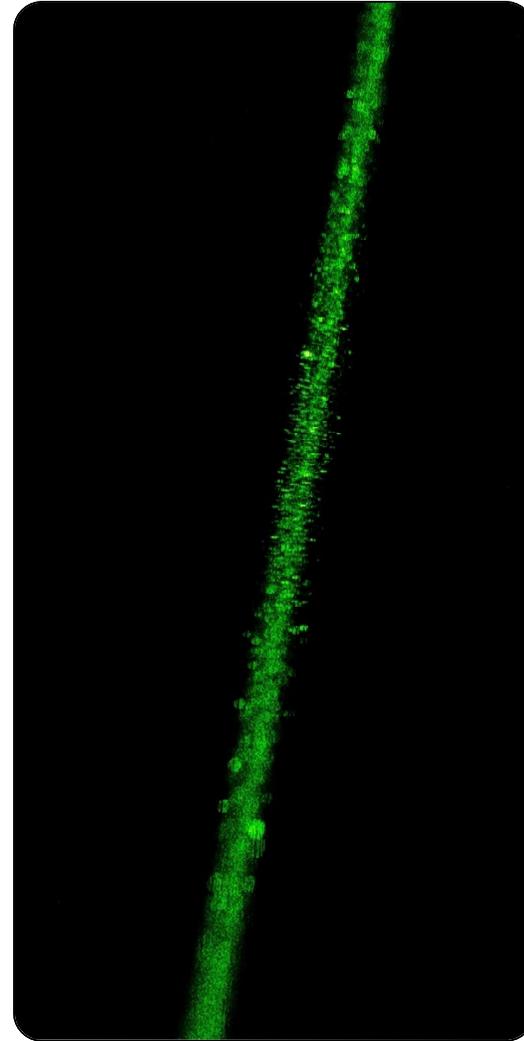
(corpo luminoso)
emite luz

- Lâmpadas
- Estrelas (Sol)

Fonte secundária

(corpo iluminado)
reflete luz

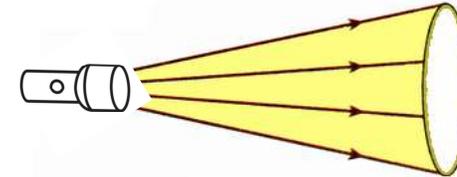
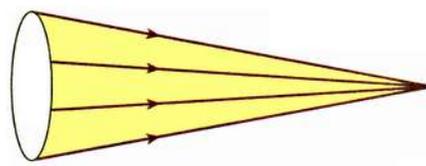
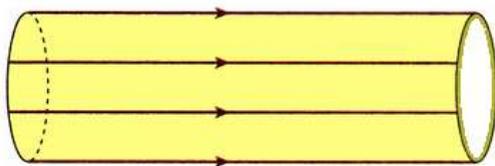
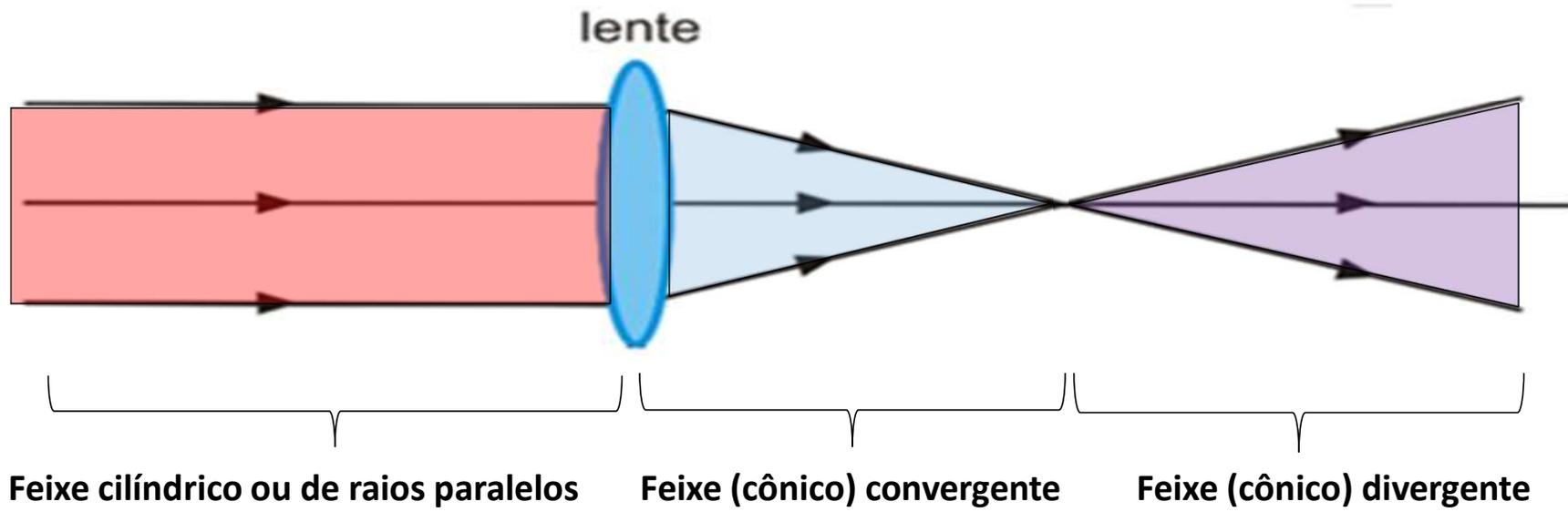
- Lua e planetas
- Alunos



Enxergamos o objeto ao olharmos direto para a fonte primária ou ao recebermos a luz refletida por uma fonte secundária.

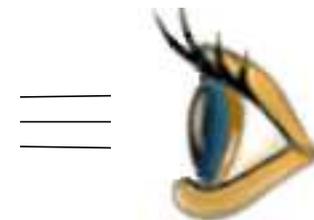


Feixe de luz ou pincel de luz



Fontes de luz

Feixe de luz ou pincel de luz



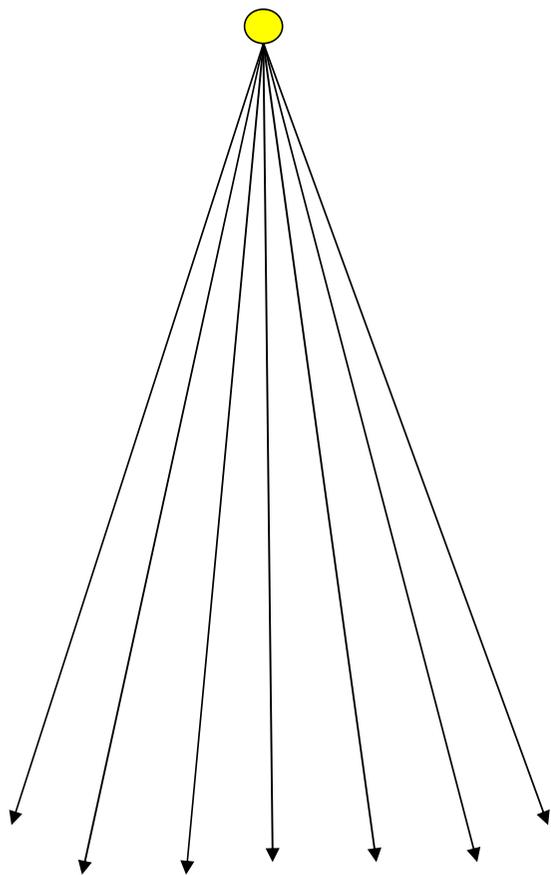
Fonte puntiforme

Um observador distante da fonte percebe um feixe de raios praticamente paralelos

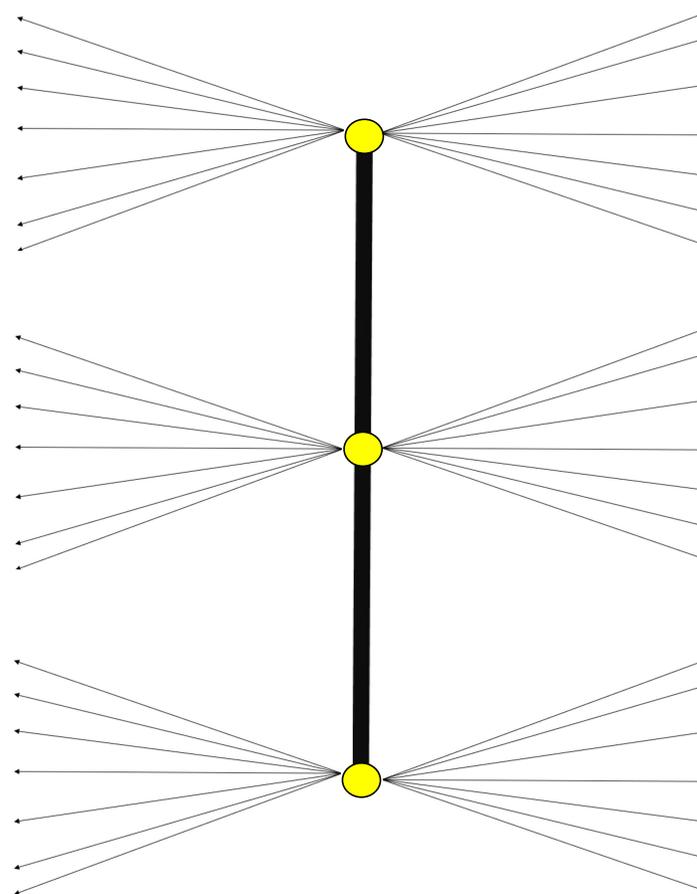
Ex: Luz solar atingindo a Terra

Fonte puntiforme e fonte estensa

Fonte puntiforme

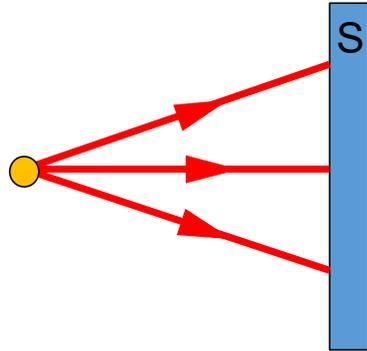


Fonte estensa



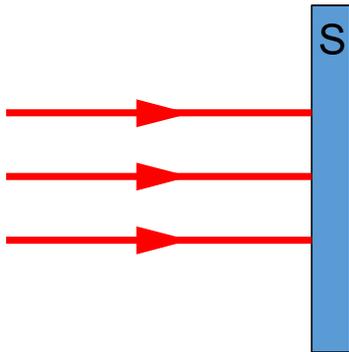
Fonte puntiforme e fonte estensa

1.



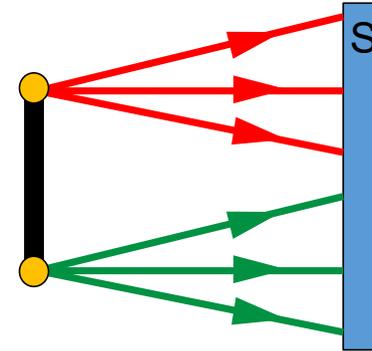
Fonte puntiforme próxima

2.



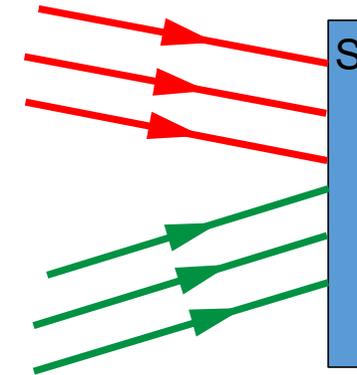
Fonte puntiforme distante

3.



Fonte estensa próxima

4.



Fonte estensa distante

S: sistema óptico. Pode ser um espelho ou uma lente, por exemplo

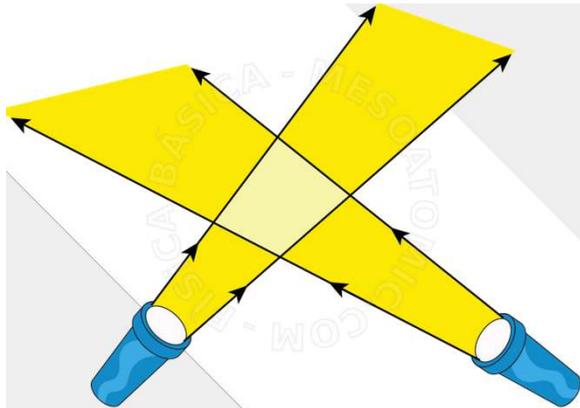
Princípios da Óptica Geométrica

Propagação retilínea

Em um meio homogêneo e transparente a luz se propaga em linha reta.

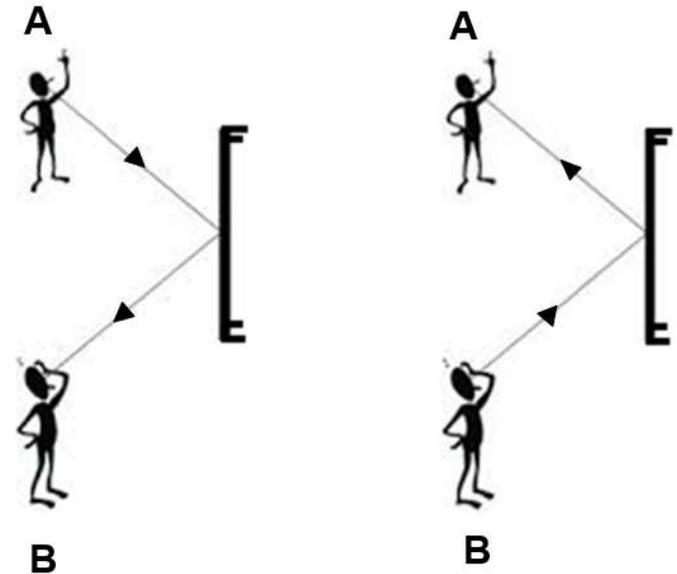


Independência das propagações dos raios de luz



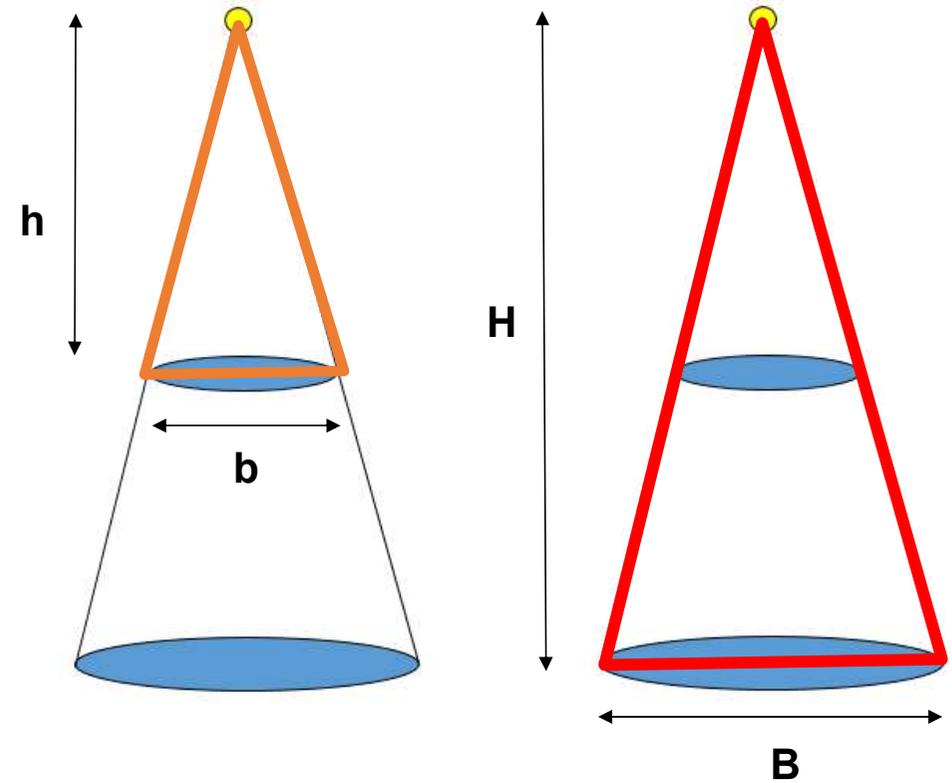
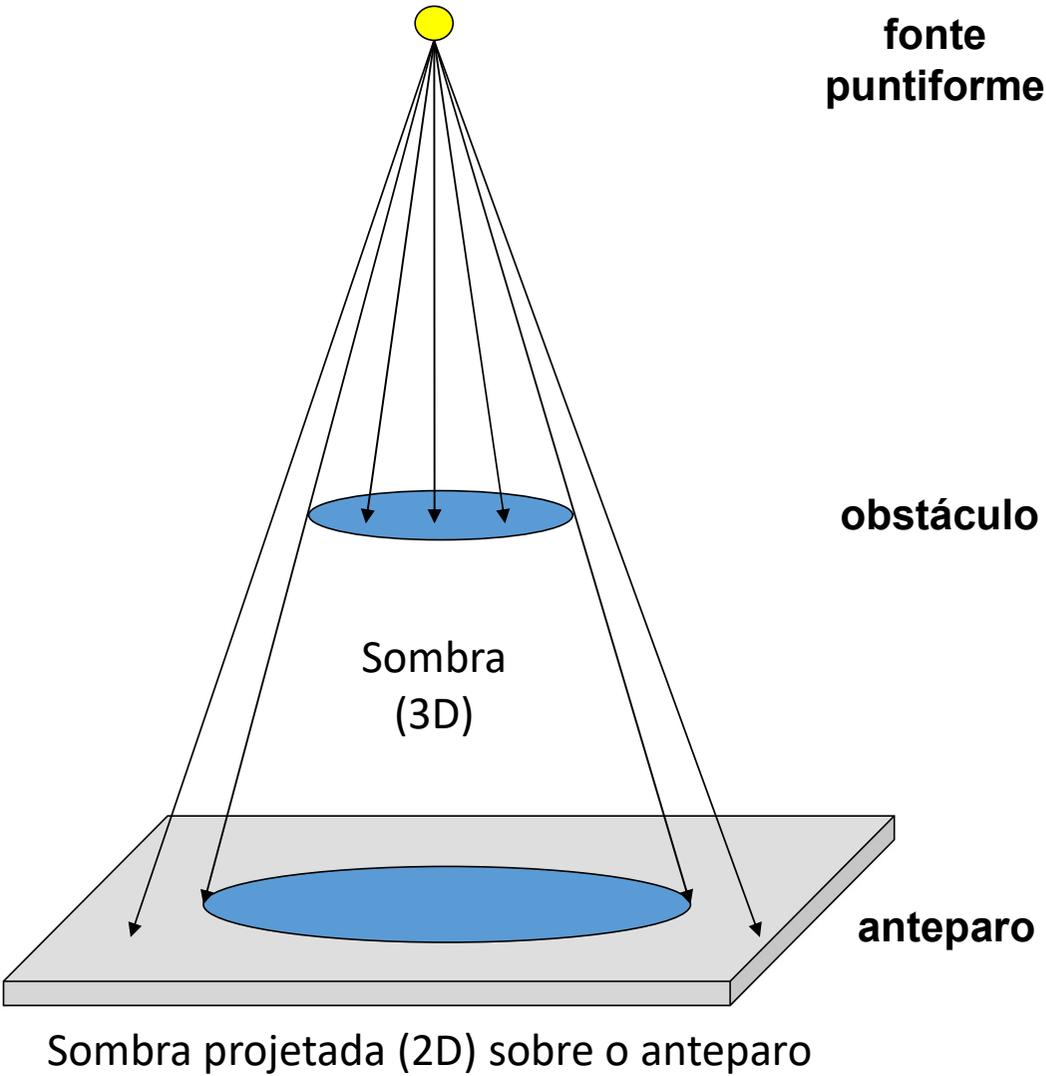
As trajetórias dos raios de luz são independentes.

Reversibilidade dos raios de luz



A trajetória de um raio de luz não depende do sentido da propagação.

Sombra (fonte puntiforme)



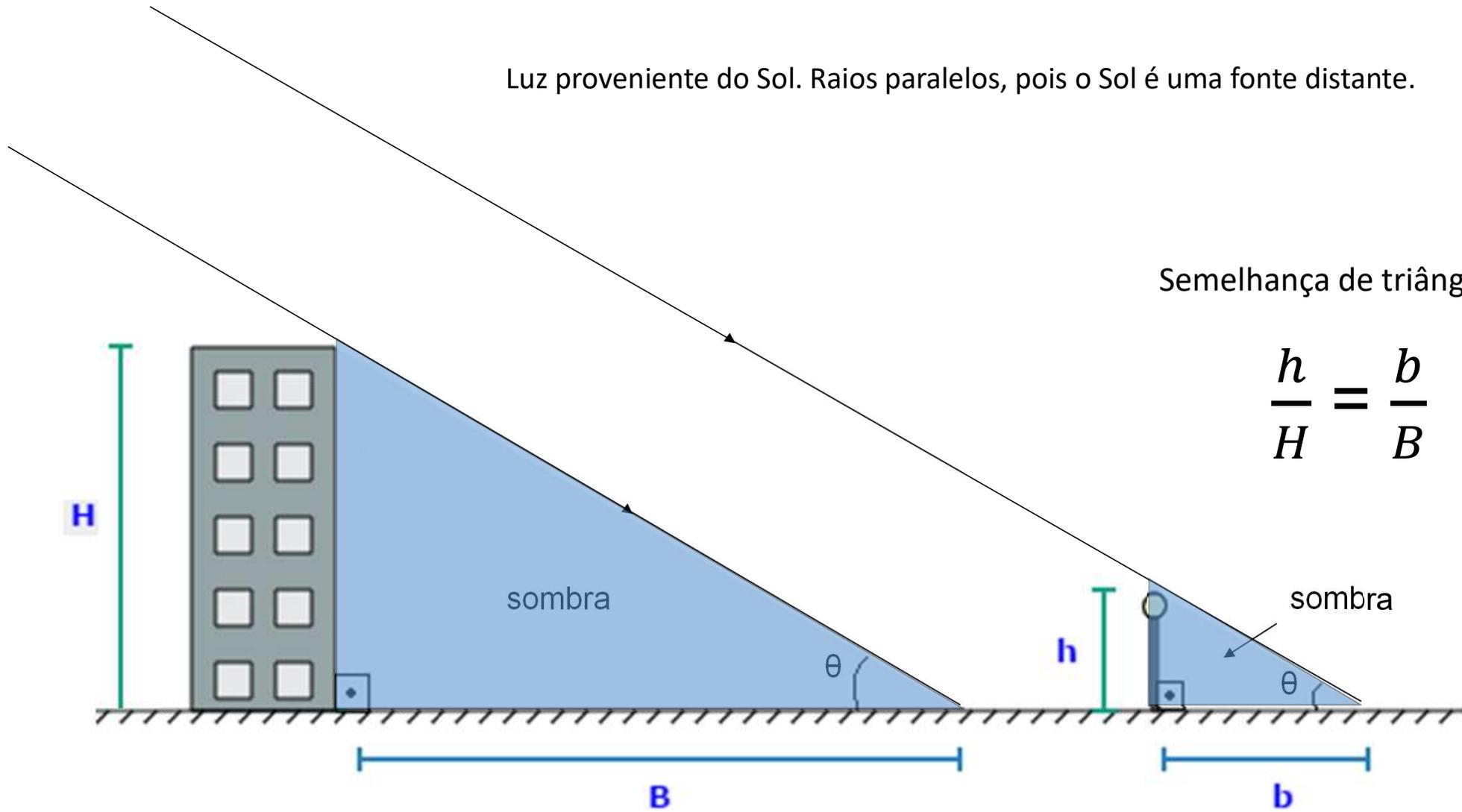
$$\frac{b}{B} = \frac{h}{H}$$

Sombra (exemplo do prédio e do poste)

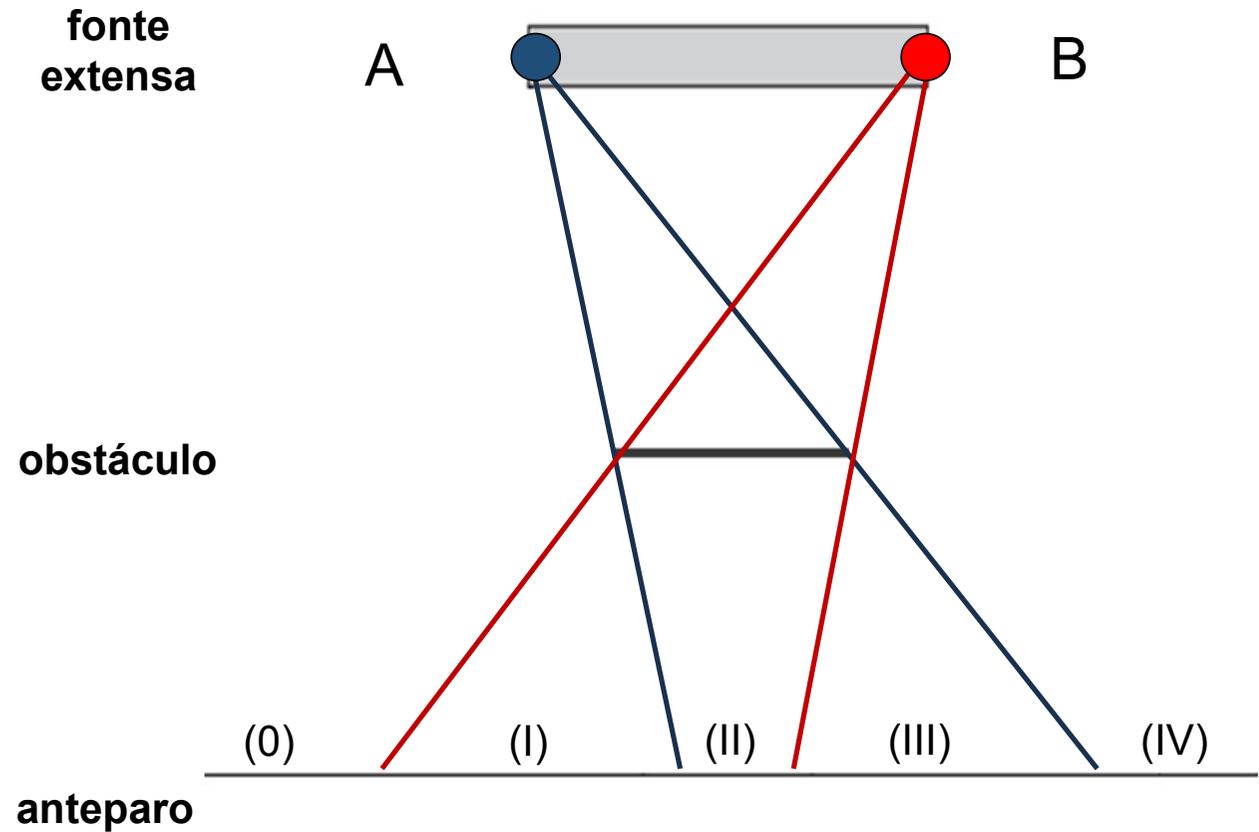
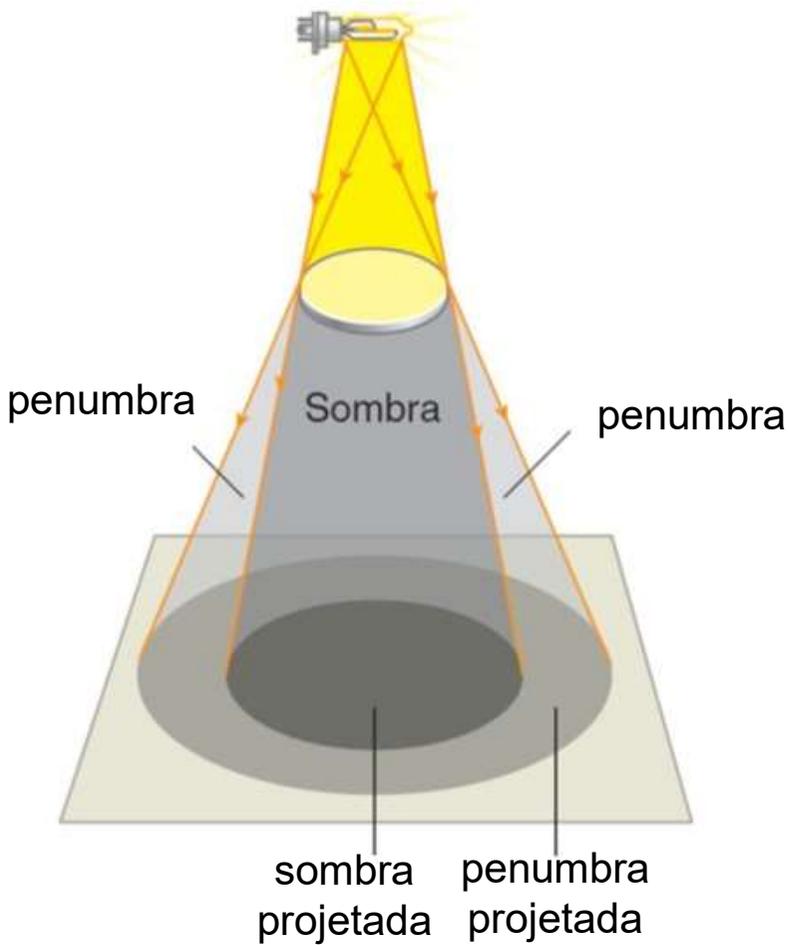
Luz proveniente do Sol. Raios paralelos, pois o Sol é uma fonte distante.

Semelhança de triângulos:

$$\frac{h}{H} = \frac{b}{B}$$

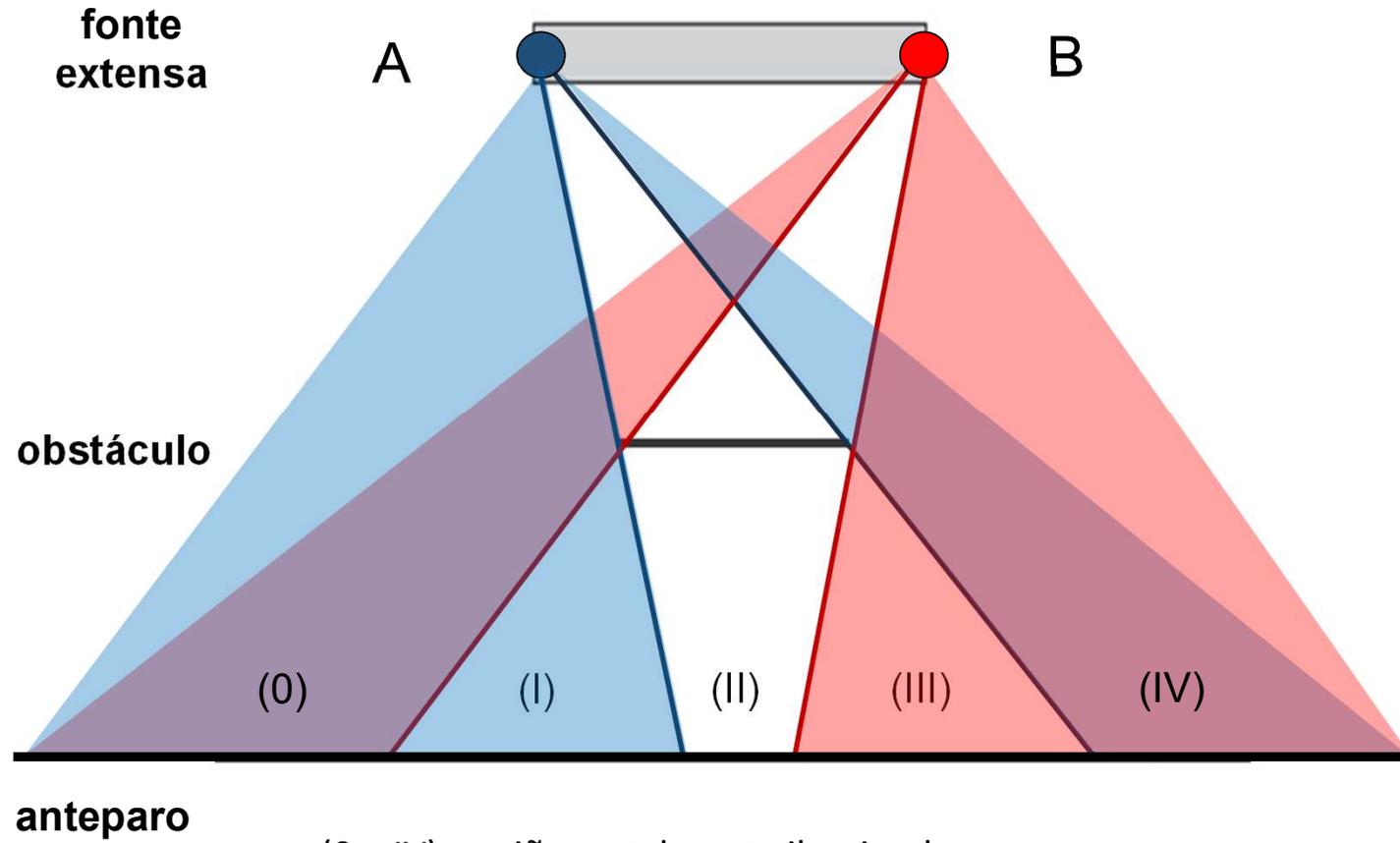
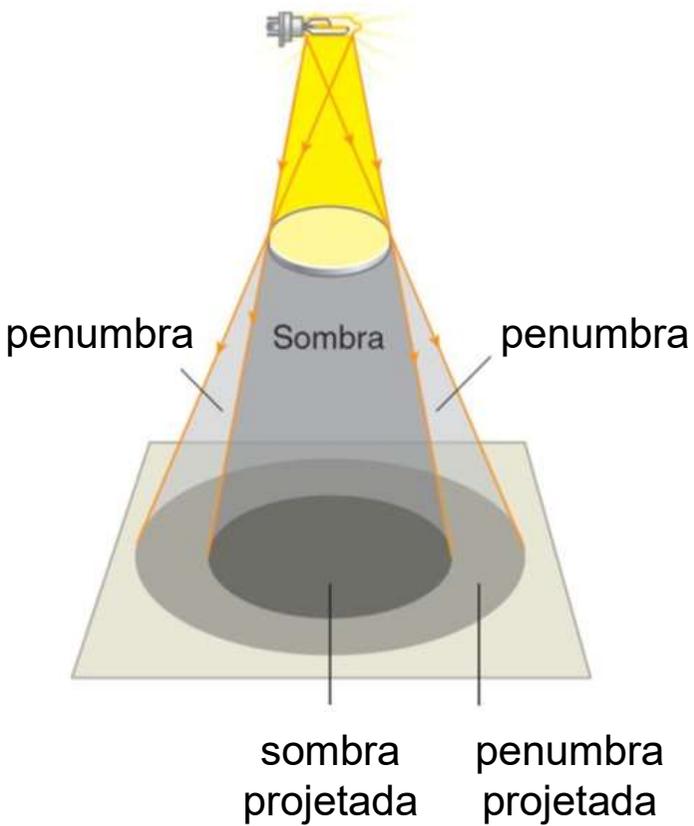


Sombra e Penumbra (fonte extensa)



- (0 e IV): regiões totalmente iluminadas.
- Penumbra (I e III): regiões parcialmente iluminadas pela fonte.
- Sombra (II): região não iluminada pela fonte.

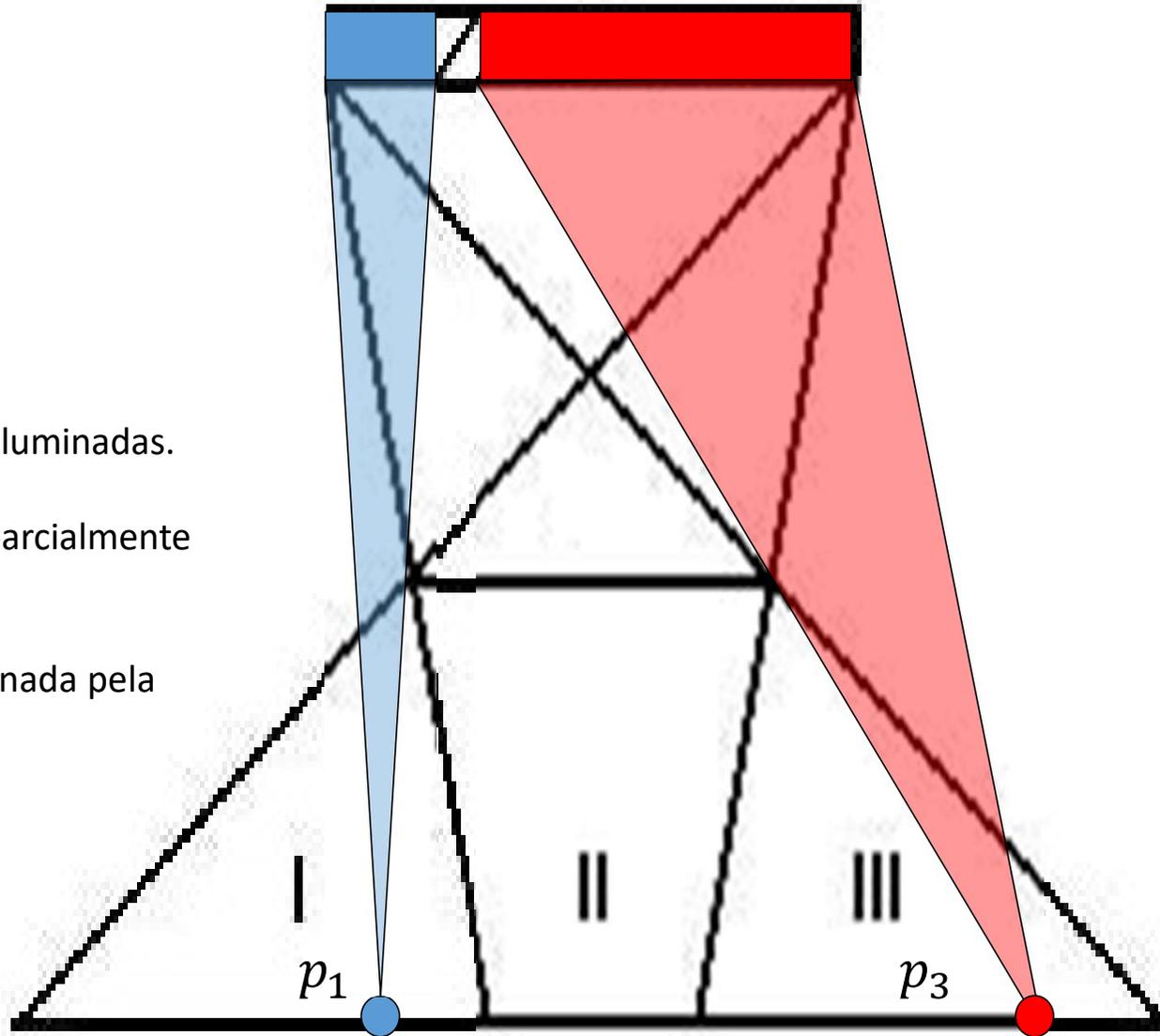
Sombra e Penumbra (fonte extensa)



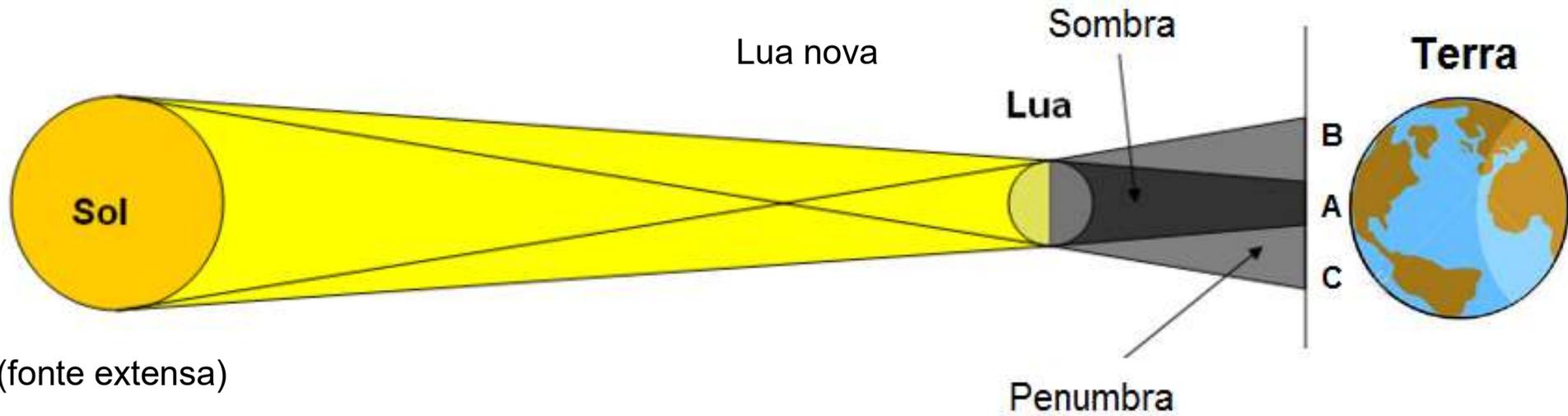
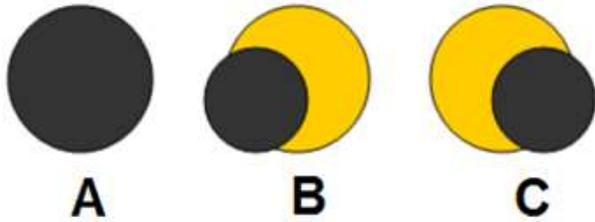
- (0 e IV): regiões totalmente iluminadas.
- Penumbra (I e III): regiões parcialmente iluminadas pela fonte.
- Sombra (II): região não iluminada pela fonte.

Sombra e penumbra

- (0 e IV): regiões totalmente iluminadas.
- Penumbras (I e III): regiões parcialmente iluminadas pela fonte.
- Sombra (II): região não iluminada pela fonte.



Eclipse solar

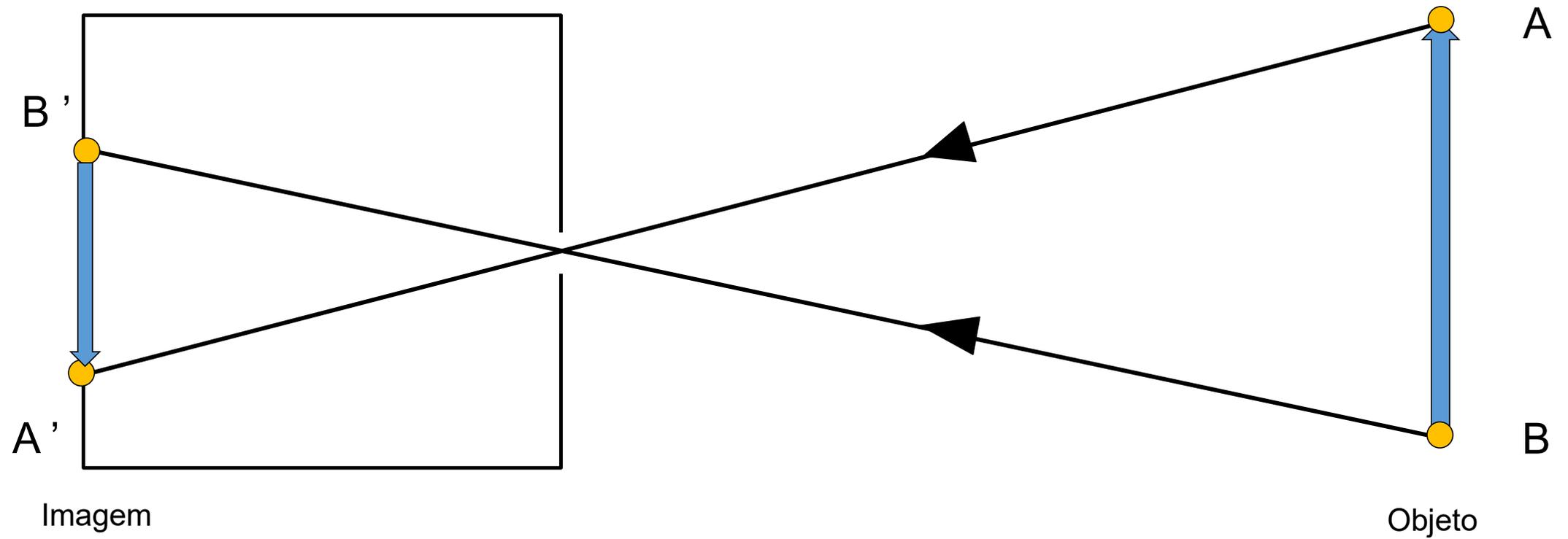


(fonte extensa)

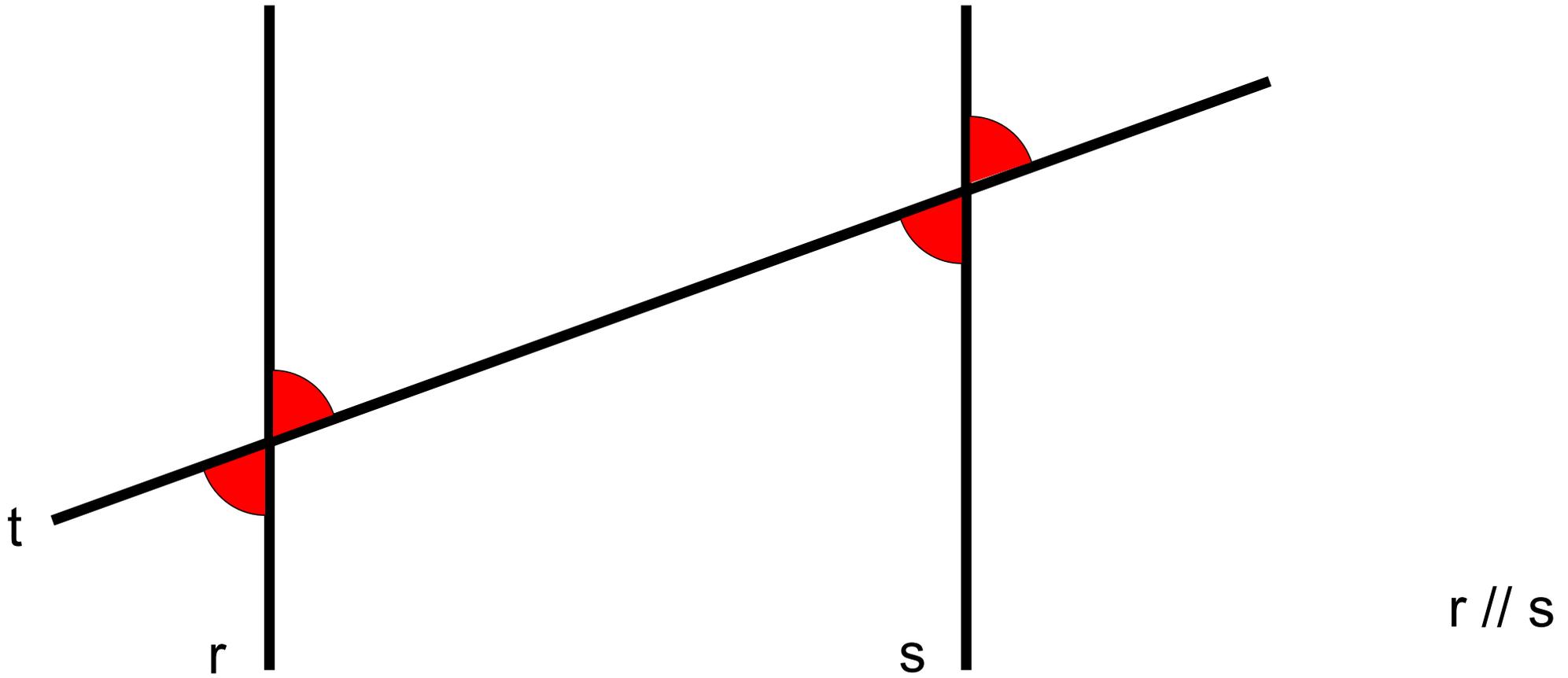
- Região A: eclipse total.
- Regiões B e C: eclipse parcial.

Existem outras possibilidades de eclipse solar.

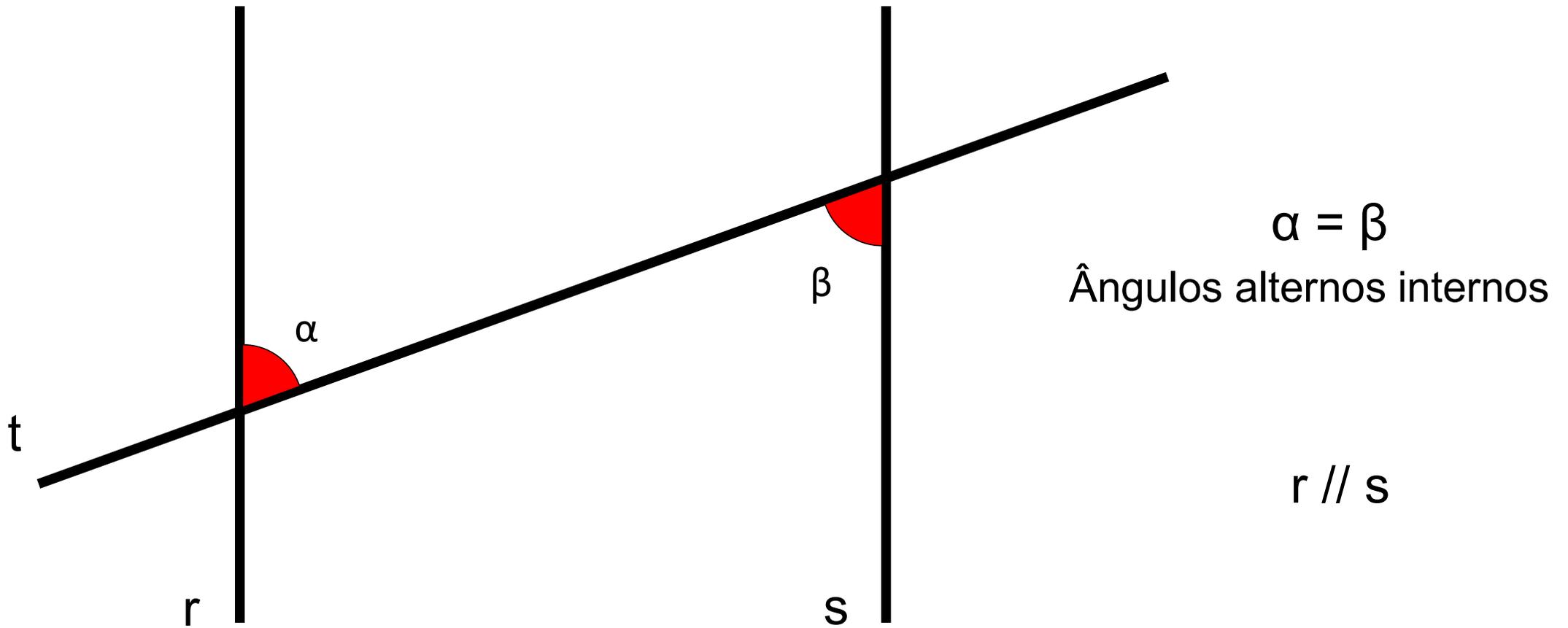
Câmara escura de orifício



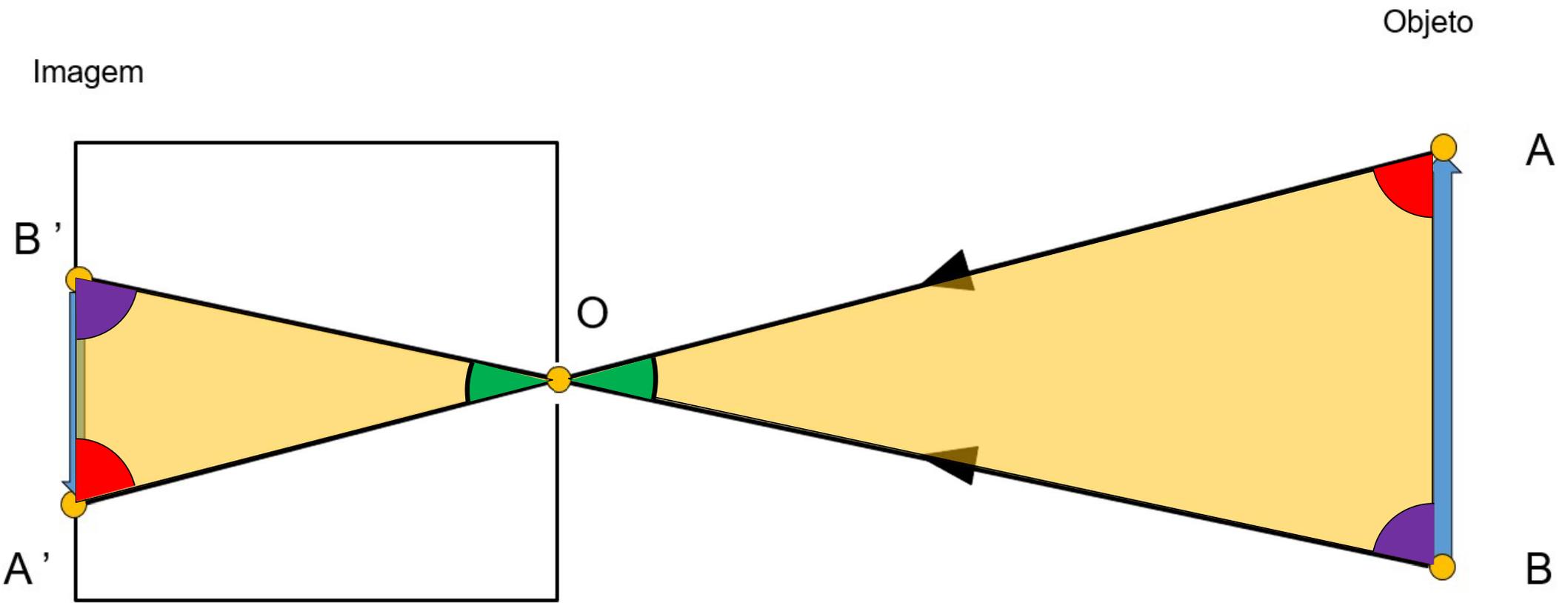
Revisão: retas paralelas cortadas por uma transversal



Revisão: retas paralelas cortadas por uma transversal

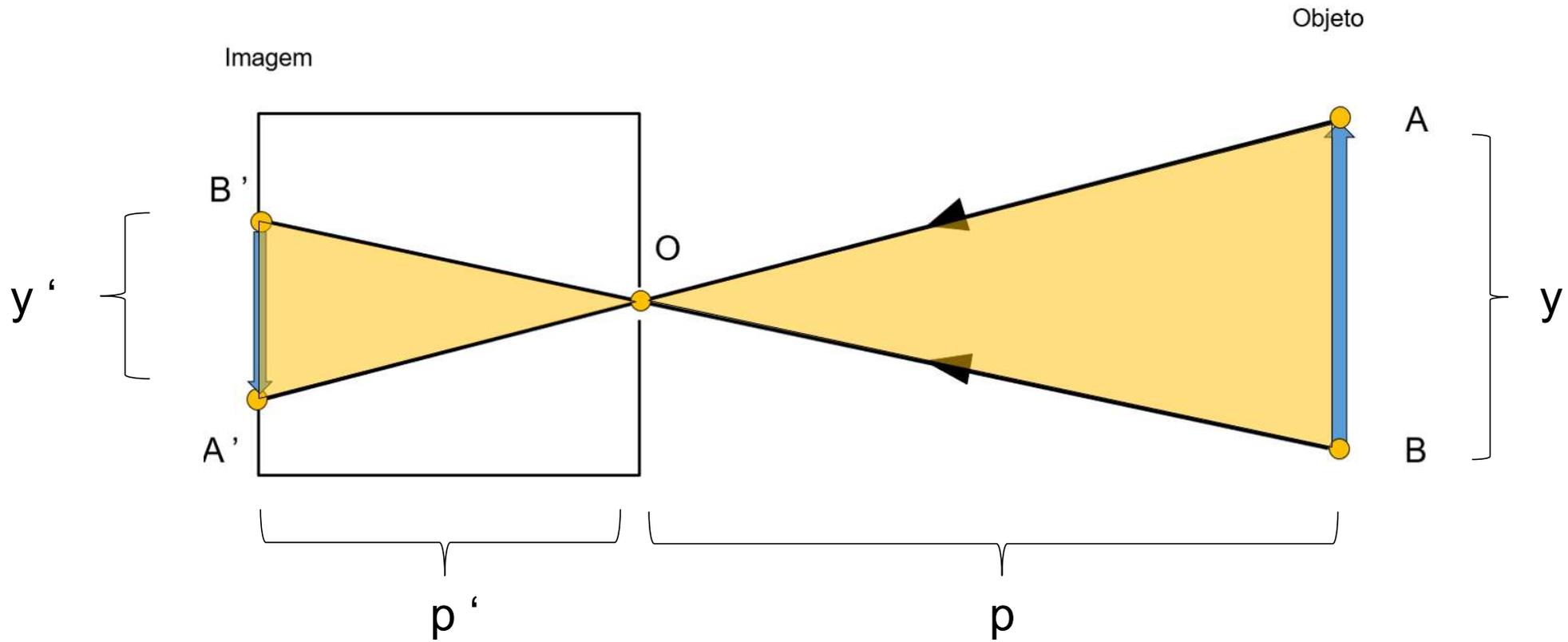


Câmara escura



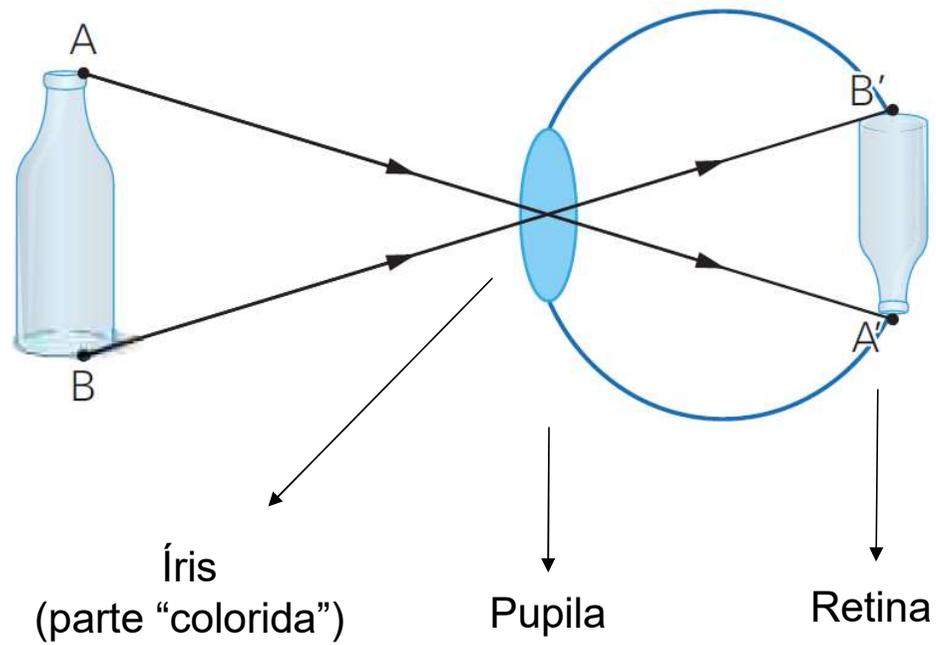
Câmara escura

$$\frac{y'}{y} = \frac{p'}{p}$$



O olho humano

Globo ocular simplificado



- **Pupila** → orifício que permite a entrada da luz
- **Íris** → controla o tamanho da pupila.
- **Retina** → anteparo onde a imagem é projetada

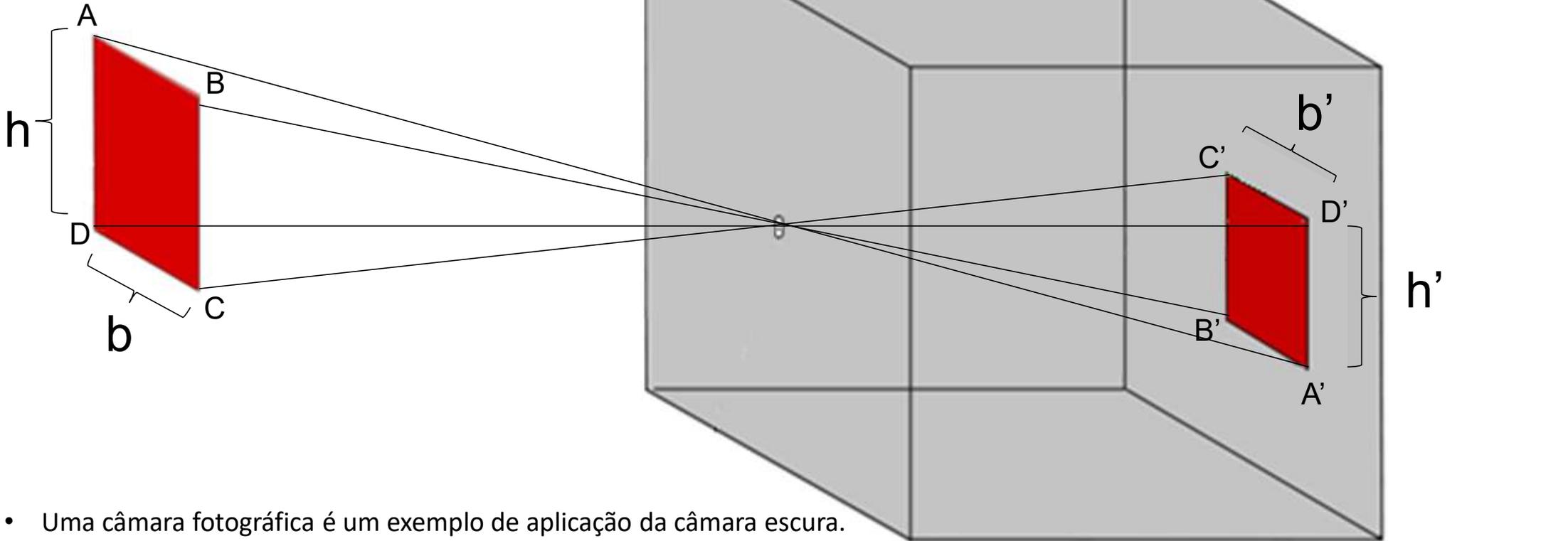
Câmara escura em 3 dimensões

Objeto

Área do objeto: $b \times h$

Imagem

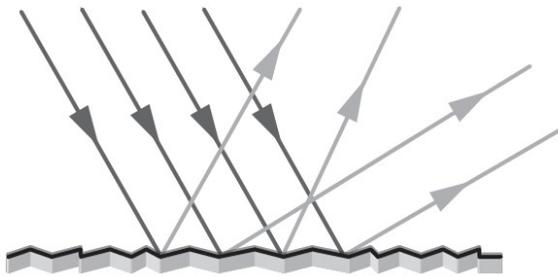
Área da imagem: $b' \times h'$



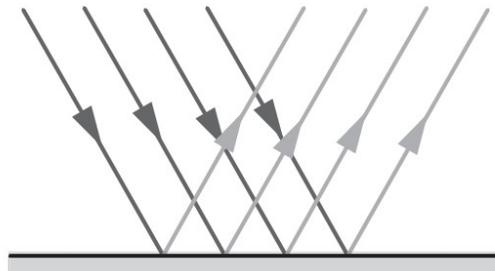
- Uma câmara fotográfica é um exemplo de aplicação da câmara escura.
- No fundo da caixa existe um sensor sensível à luz.

Reflexão seletiva e cores associadas aos objetos

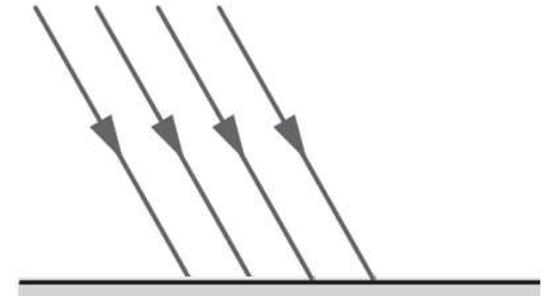
Reflexão difusa



Reflexão Regular



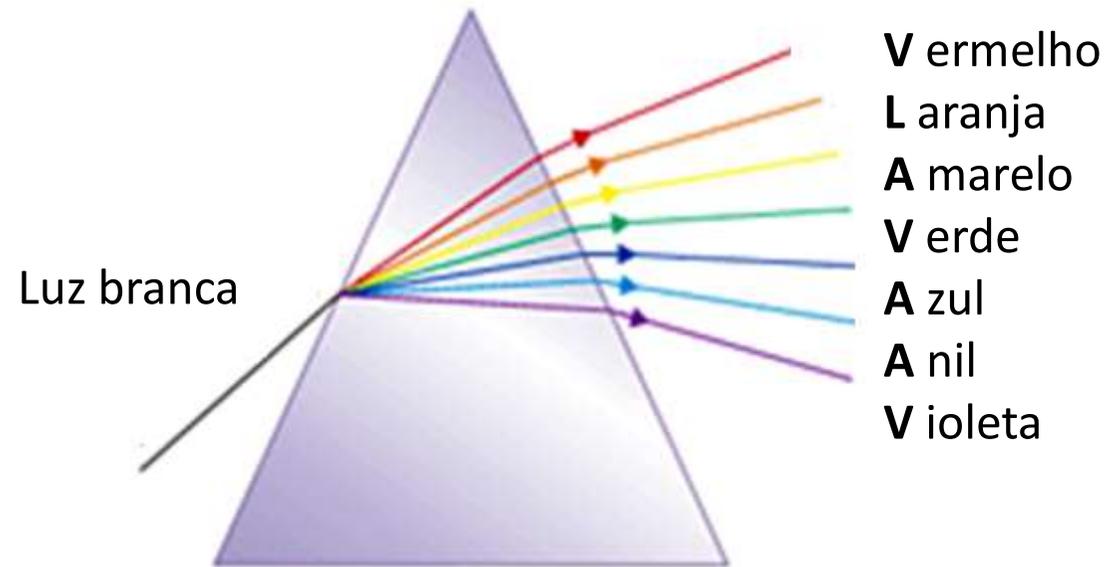
Absorção



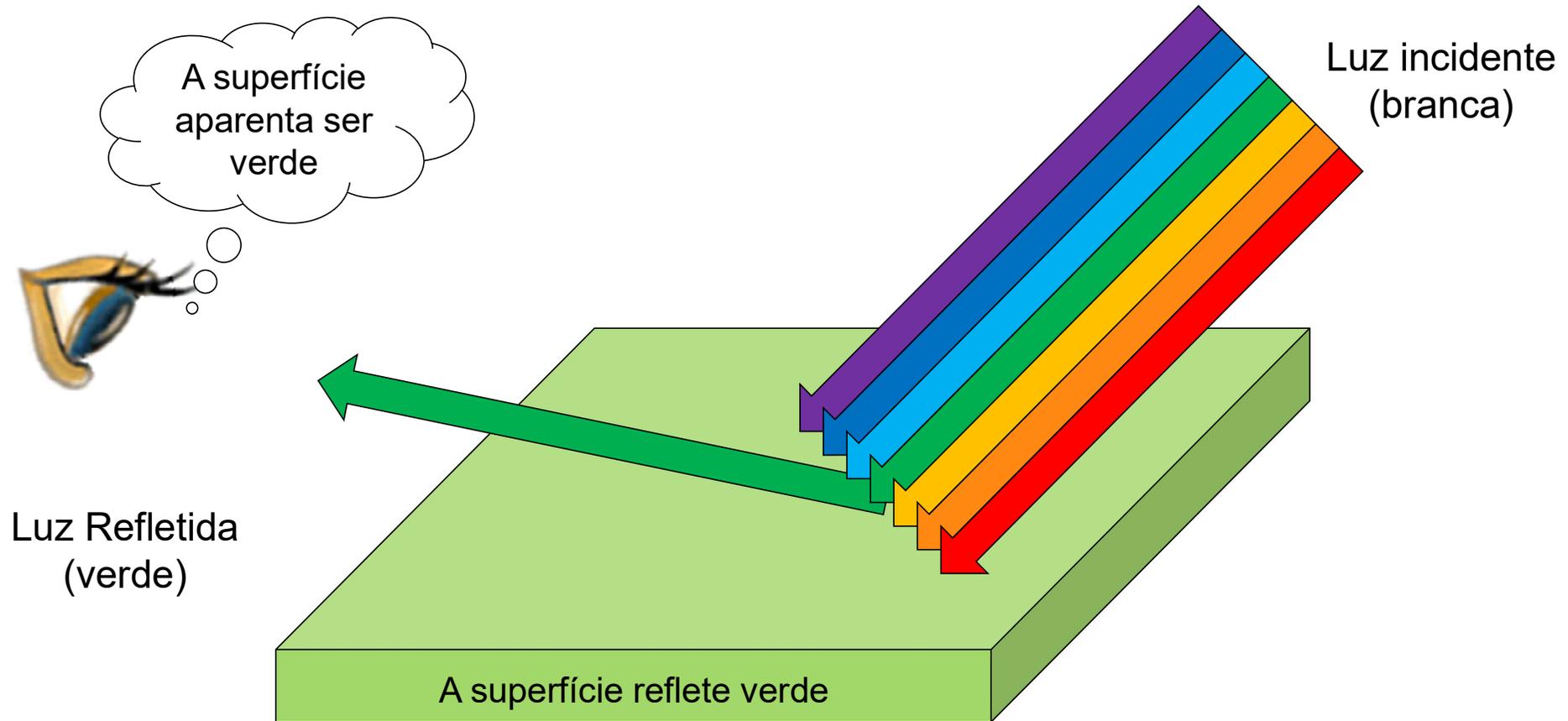
Reflexão seletiva e cores associadas aos objetos

Pigmentos e cores puros

Decomposição da luz branca

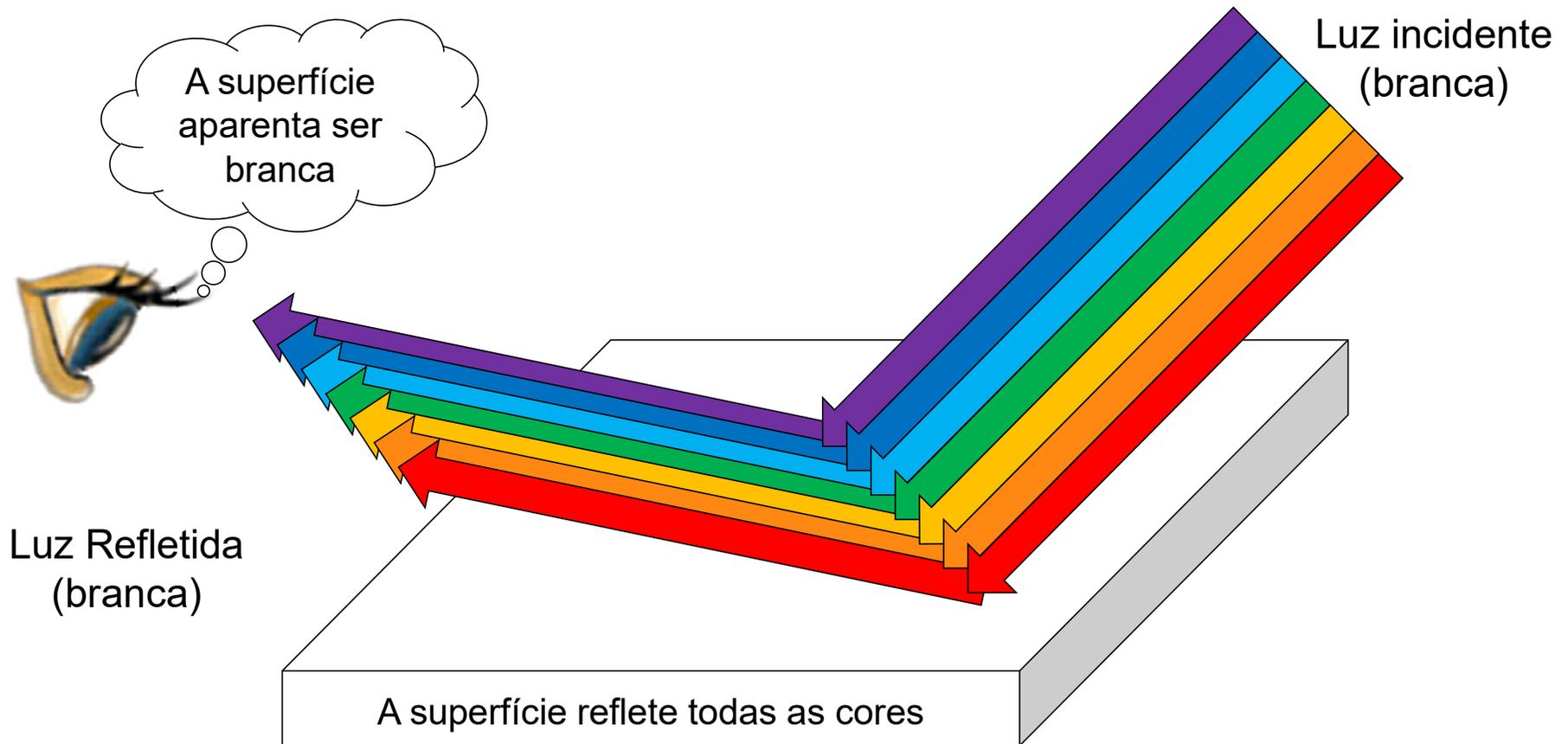


Reflexão seletiva e as cores associadas aos objetos

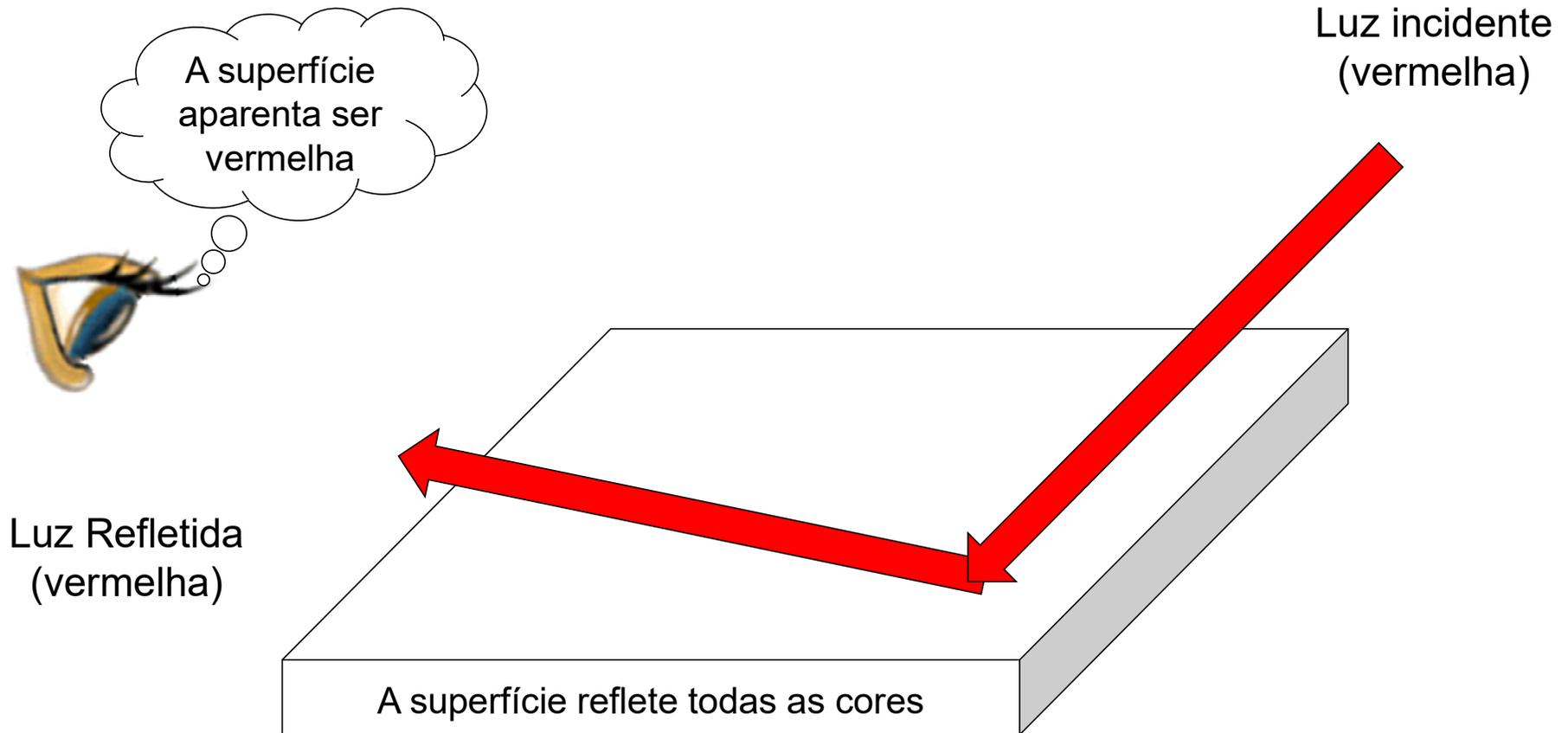


- **Reflexão seletiva**: um objeto aparenta a cor X porque reflete a cor X (e absorve as demais)

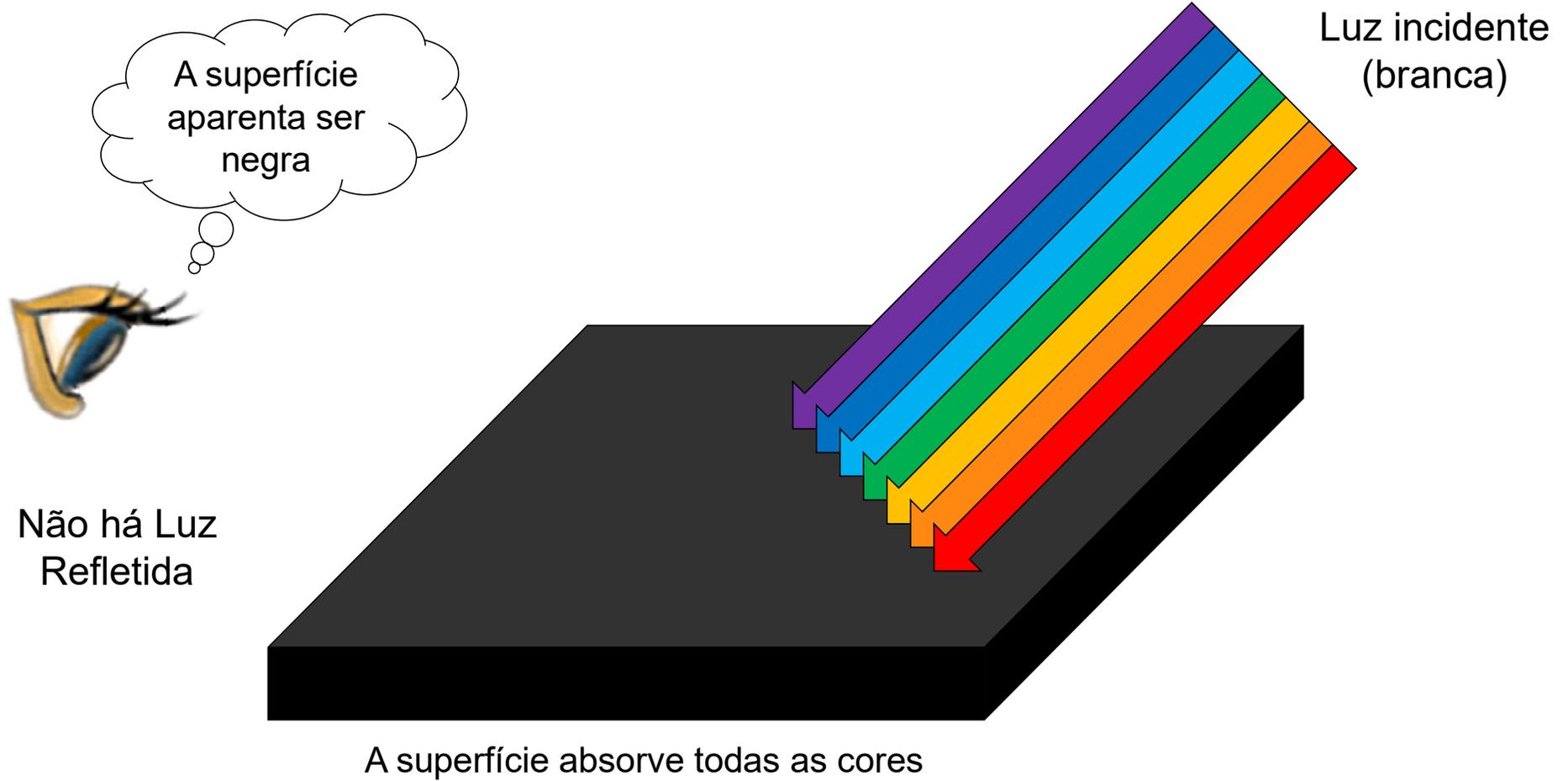
Reflexão seletiva e as cores associadas aos objetos



Reflexão seletiva e as cores associadas aos objetos



Reflexão seletiva e as cores associadas aos objetos



Reflexão seletiva e as cores associadas aos objetos

Iluminados por luz branca



Reflete todas

Reflete
o vermelho

Absorve
todas

Reflete todas

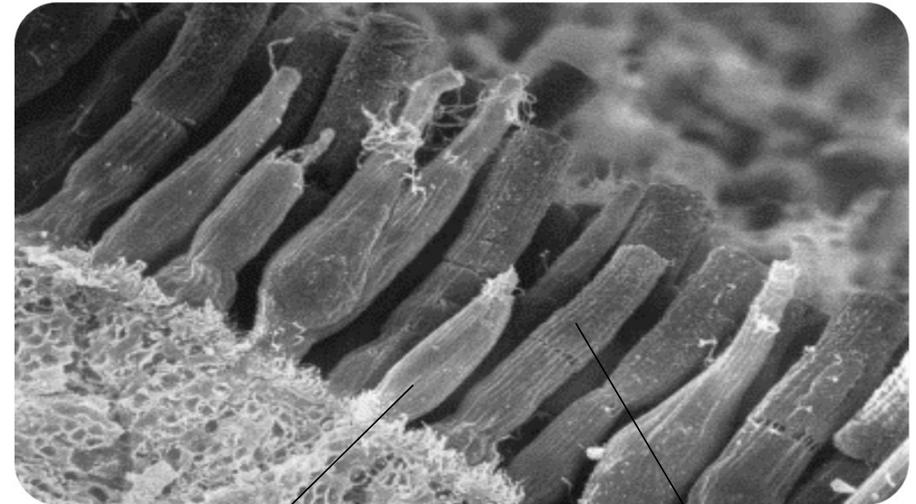
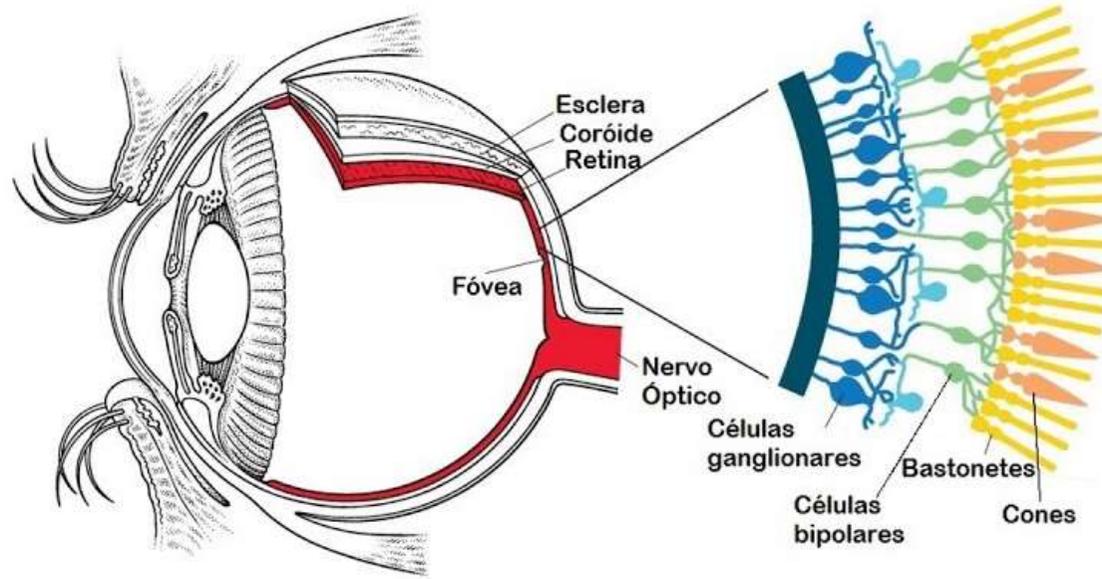
Iluminados por luz monocromática verde



Luzes primárias

Luzes primárias - adição

Olho humano



CONE

BASTONETE

3 tipos

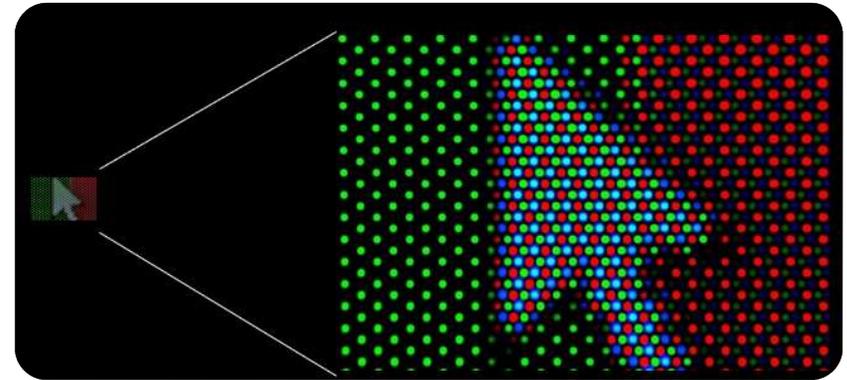
Sensível ao **vermelho**

Sensível ao **verde**

Sensível ao **azul**

Não diferenciam cores

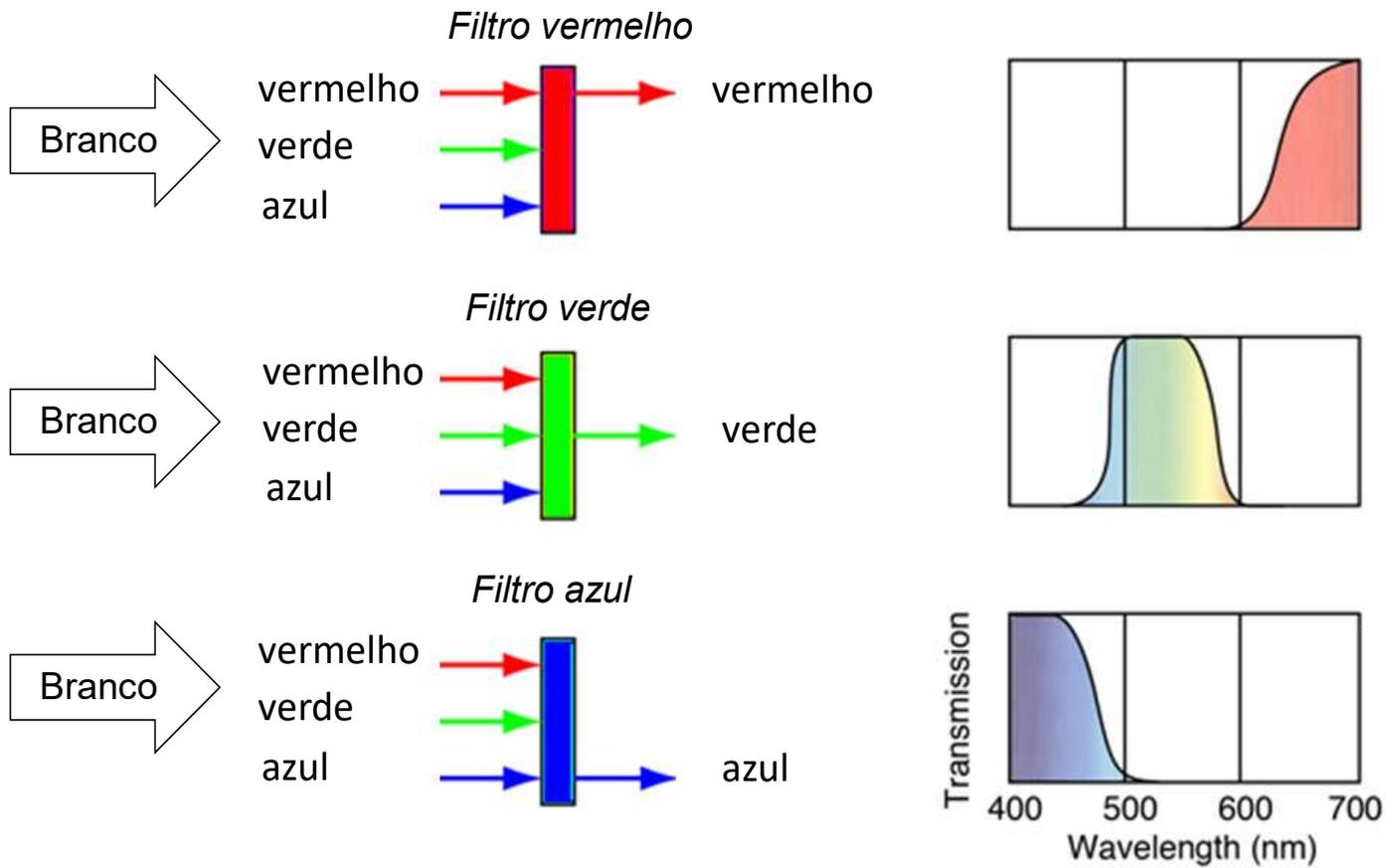
Luzes primárias - adição



- Azul + vermelho = magenta.
- Vermelho + verde = amarelo.
- Verde + Azul = ciano.
- Azul + vermelho + verde = branco.
- Ciano + vermelho = branco.
- Amarelo + azul = branco.

Refração seletiva - filtros

Filtro "X" transmite a cor "X" a absorve as demais

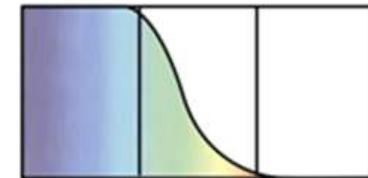
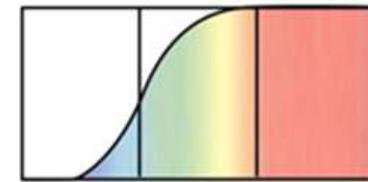
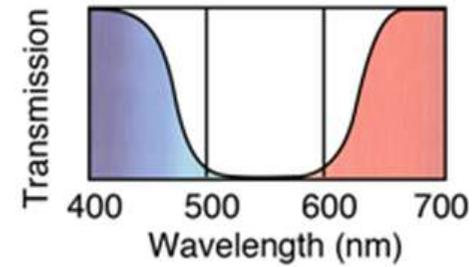
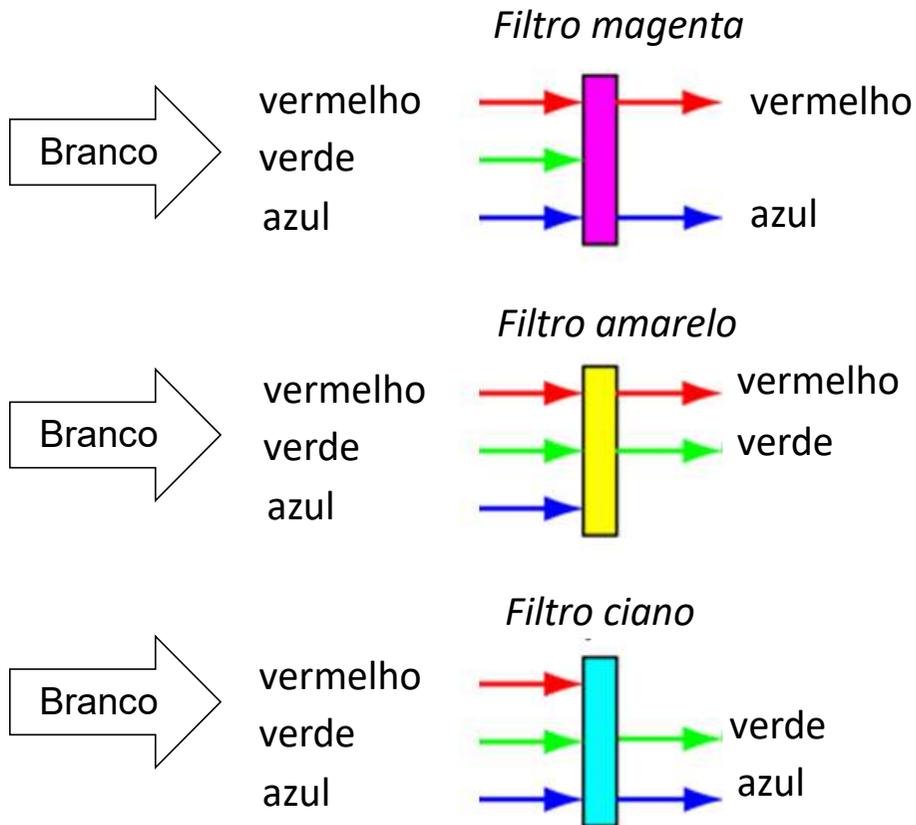


Filtro vermelho



Refração seletiva - filtros

Filtro "X" transmite a cor "X" a absorve as demais

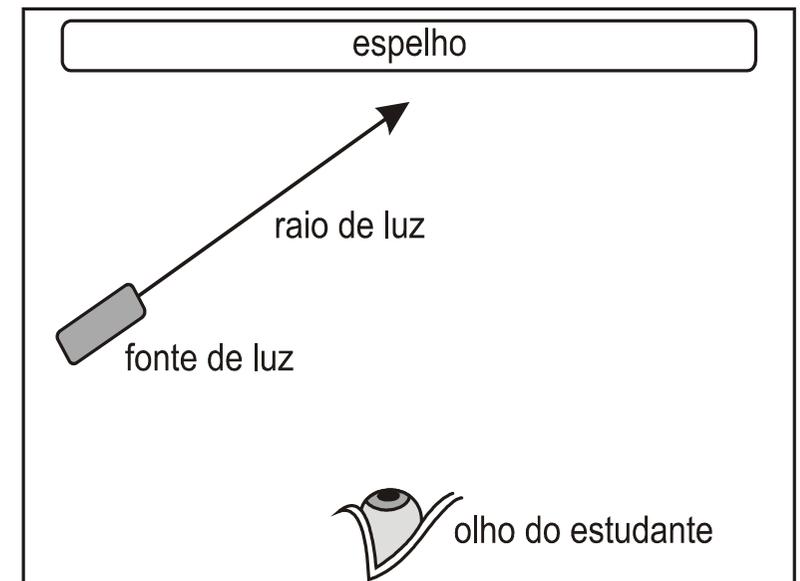


Exercícios da folhinha

1. (Unesp) Um professor de física propôs aos seus alunos que idealizassem uma experiência relativa ao fenômeno luminoso. Pediu para que eles se imaginassem numa sala completamente escura, sem qualquer material em suspensão no ar e cujas paredes foram pintadas com uma tinta preta ideal, capaz de absorver toda a luz que incidisse sobre ela. Em uma das paredes da sala, os alunos deveriam imaginar uma fonte de luz emitindo um único raio de luz branca que incidisse obliquamente em um extenso espelho plano ideal, capaz de refletir toda a luz nele incidente, fixado na parede oposta àquela na qual o estudante estaria encostado (observe a figura).

Se tal experiência pudesse ser realizada nas condições ideais propostas pelo professor, o estudante dentro da sala

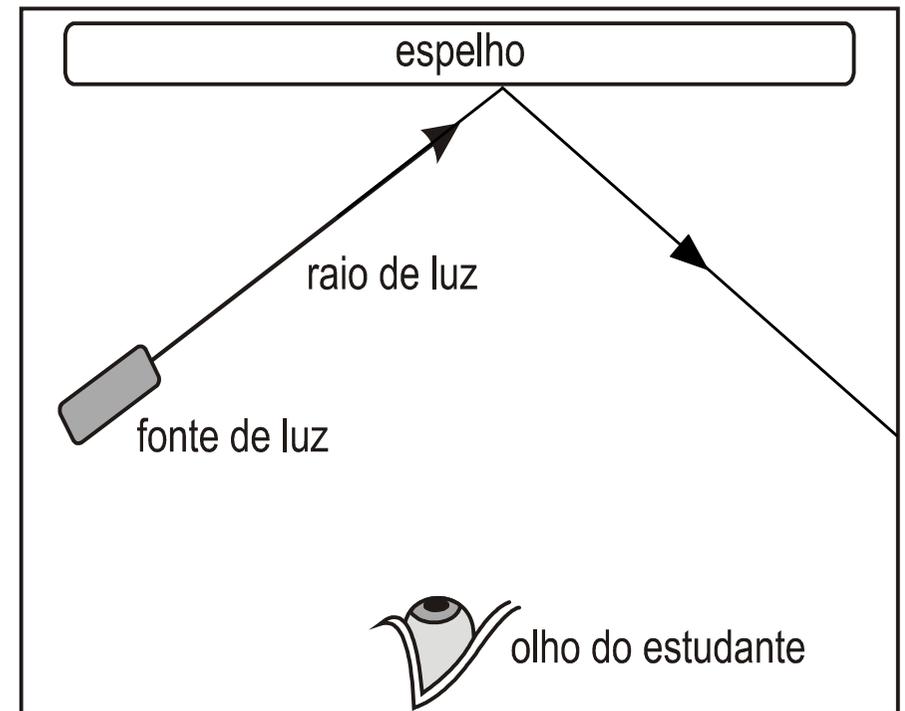
- a) enxergaria somente o raio de luz.
- b) enxergaria somente a fonte de luz.
- c) não enxergaria nem o espelho, nem o raio de luz.
- d) enxergaria somente o espelho em toda sua extensão.
- e) enxergaria o espelho em toda sua extensão e também o raio de luz.



1. (Unesp) Um professor de física propôs aos seus alunos que idealizassem uma experiência relativa ao fenômeno luminoso. Pediu para que eles se imaginassem numa sala completamente escura, **sem qualquer material em suspensão no ar** e **cujas paredes foram pintadas com uma tinta preta ideal, capaz de absorver toda a luz que incidisse sobre ela**. Em uma das paredes da sala, os alunos deveriam imaginar uma fonte de luz emitindo um único raio de luz branca que incidisse obliquamente em um extenso espelho plano ideal, capaz de refletir toda a luz nele incidente, fixado na parede oposta àquela na qual o estudante estaria encostado (observe a figura).

Se tal experiência pudesse ser realizada nas condições ideais propostas pelo professor, o estudante dentro da sala

- a) enxergaria somente o raio de luz.
- b) enxergaria somente a fonte de luz.
- c) não enxergaria nem o espelho, nem o raio de luz. ←
- d) enxergaria somente o espelho em toda sua extensão.
- e) enxergaria o espelho em toda sua extensão e também o raio de luz.

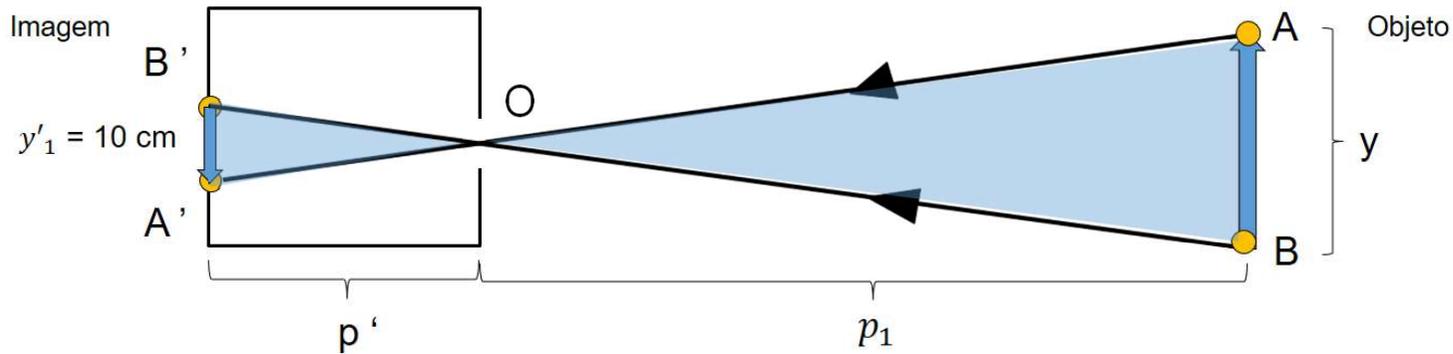


2. (Uftm 2012 - Adaptada) Uma câmara escura de orifício reproduz uma imagem de 10cm de altura de uma árvore observada. Se reduzirmos em 15m a distância horizontal da câmara à árvore, essa imagem passa a ter altura de 15cm. Qual é a distância horizontal inicial da árvore à câmara?

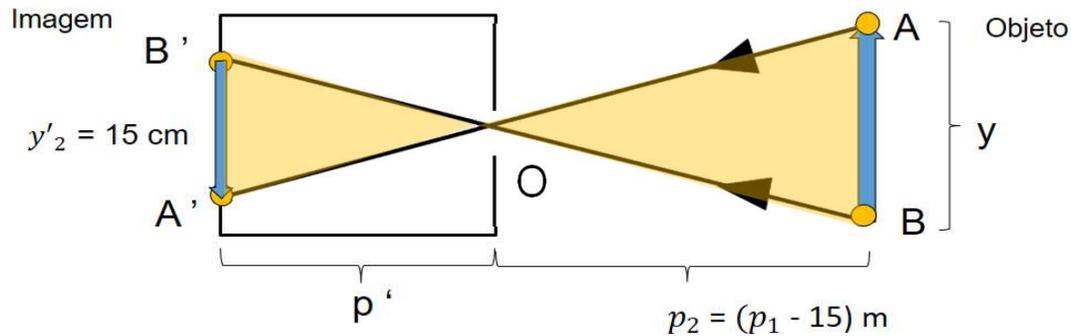
2. (Uftm 2012 - Adaptada) Uma câmara escura de orifício reproduz uma imagem de 10cm de altura de uma árvore observada. Se reduzirmos em 15m a distância horizontal da câmara à árvore, essa imagem passa a ter altura de 15cm. Qual é a distância horizontal inicial da árvore à câmara?

$$p_1 = ?$$

Situação 1

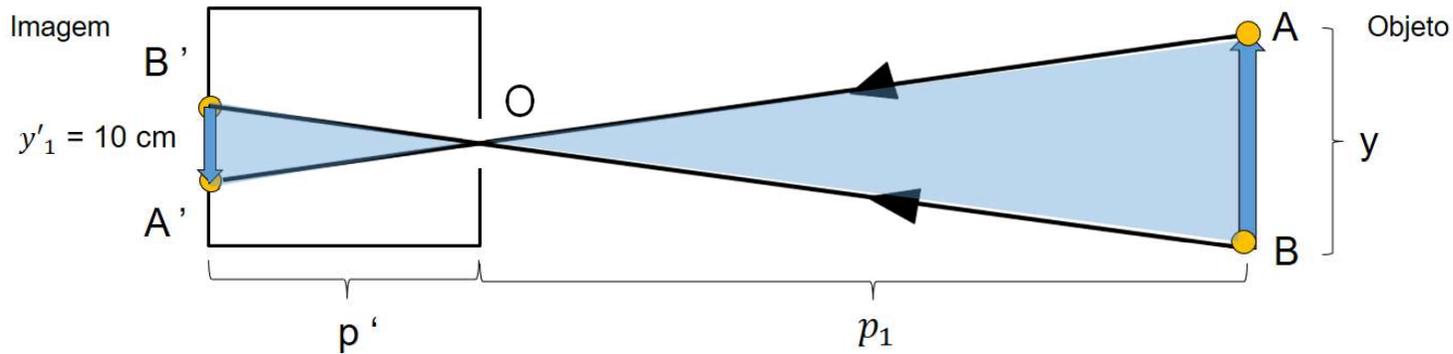


Situação 2



2. (Uftm 2012 - Adaptada) Uma câmara escura de orifício reproduz uma imagem de 10cm de altura de uma árvore observada. Se reduzirmos em 15m a distância horizontal da câmara à árvore, essa imagem passa a ter altura de 15cm. Qual é a distância horizontal inicial da árvore à câmara?

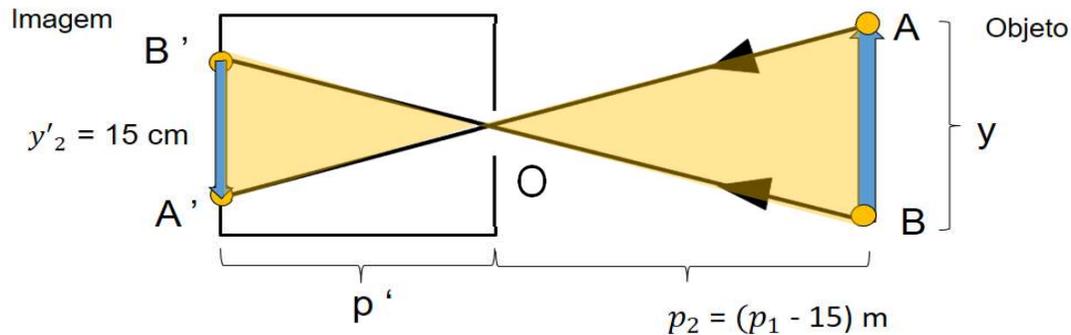
$$p_1 = ?$$



Situação 1

$$\frac{(10) \cancel{\text{cm}}}{(y) \cancel{\text{cm}}} = \frac{(p') \cancel{\text{m}}}{(p_1) \cancel{\text{m}}}$$

$$p' \cdot y = p_1 \cdot 10$$



Situação 2

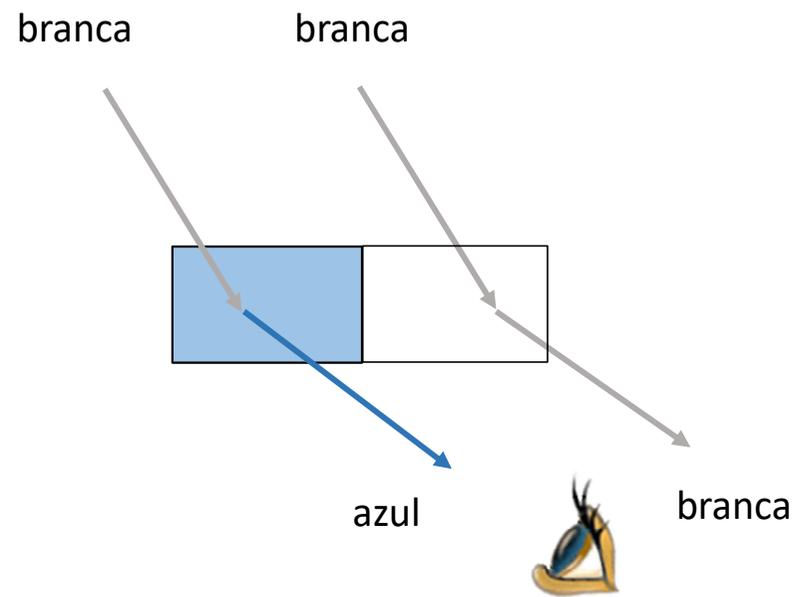
$$\frac{(15) \cancel{\text{cm}}}{(y) \cancel{\text{cm}}} = \frac{(p') \cancel{\text{m}}}{(p_1 - 15) \cancel{\text{m}}}$$

$$p' \cdot y = (p_1 - 15) \cdot 15$$

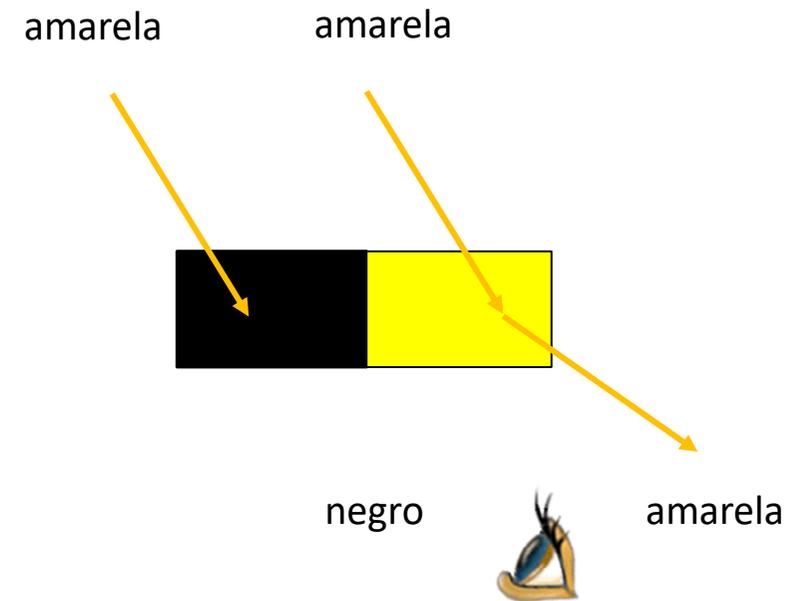
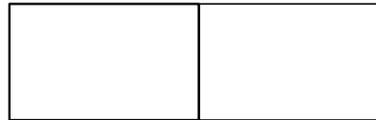
$$p_1 \cdot 10 = (p_1 - 15) \cdot 15 \quad \Rightarrow \quad 10 \cdot p_1 = 15 \cdot p_1 - 225 \quad \Rightarrow \quad 225 = 5 \cdot p_1 \quad \Rightarrow \quad \boxed{p_1 = 45 \text{ m}}$$

3. (Unicamp 2016 - Adaptada) Um quadro que apresente as cores azul e branca quando iluminado pela luz solar, ao ser iluminado por uma luz monocromática de comprimento de onda correspondente à cor amarela, apresentará, respectivamente, uma coloração

- a) amarela e branca. b) negra e amarela. c) azul e negra. d) totalmente negra.

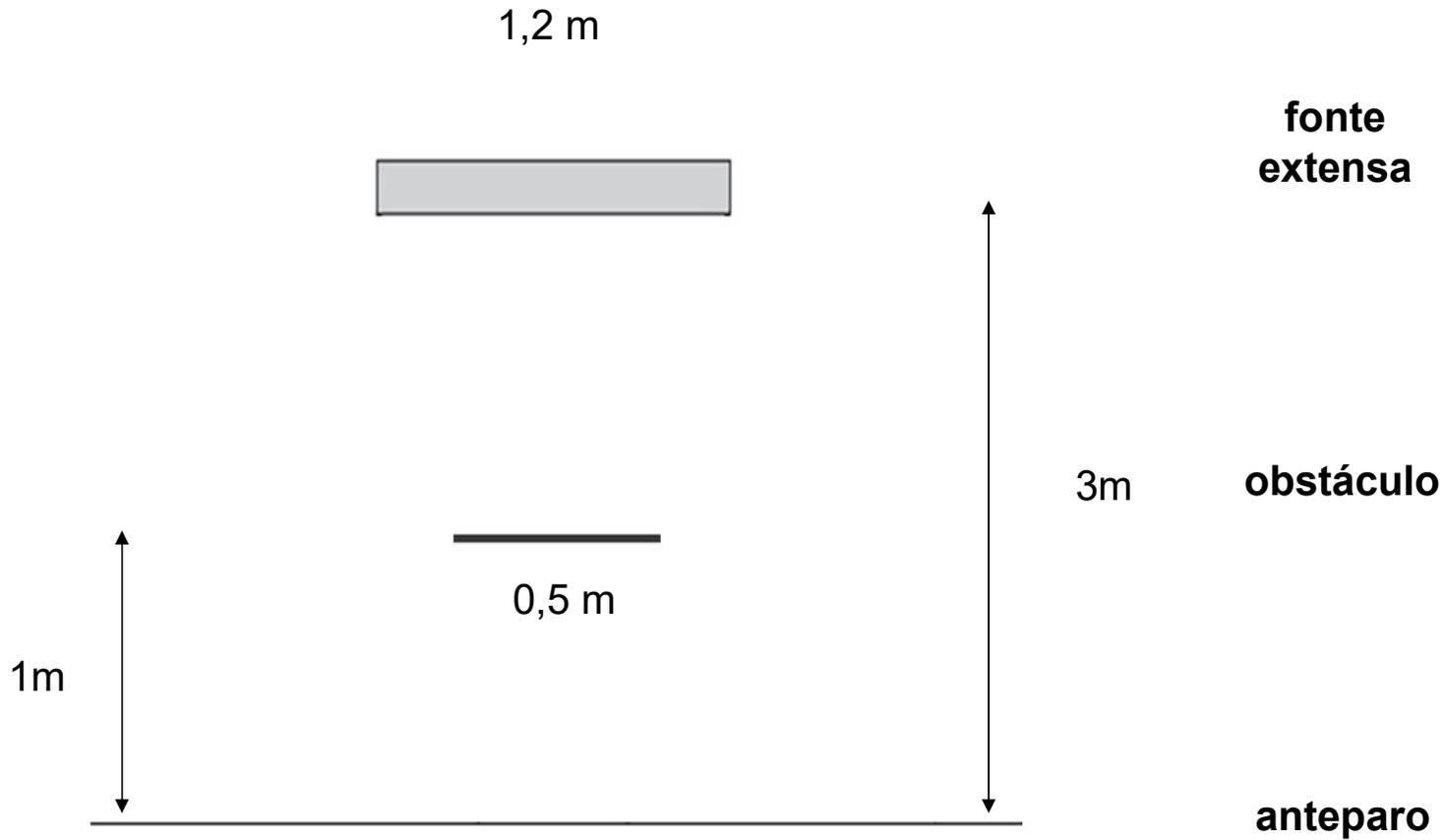


reflete azul reflete todas

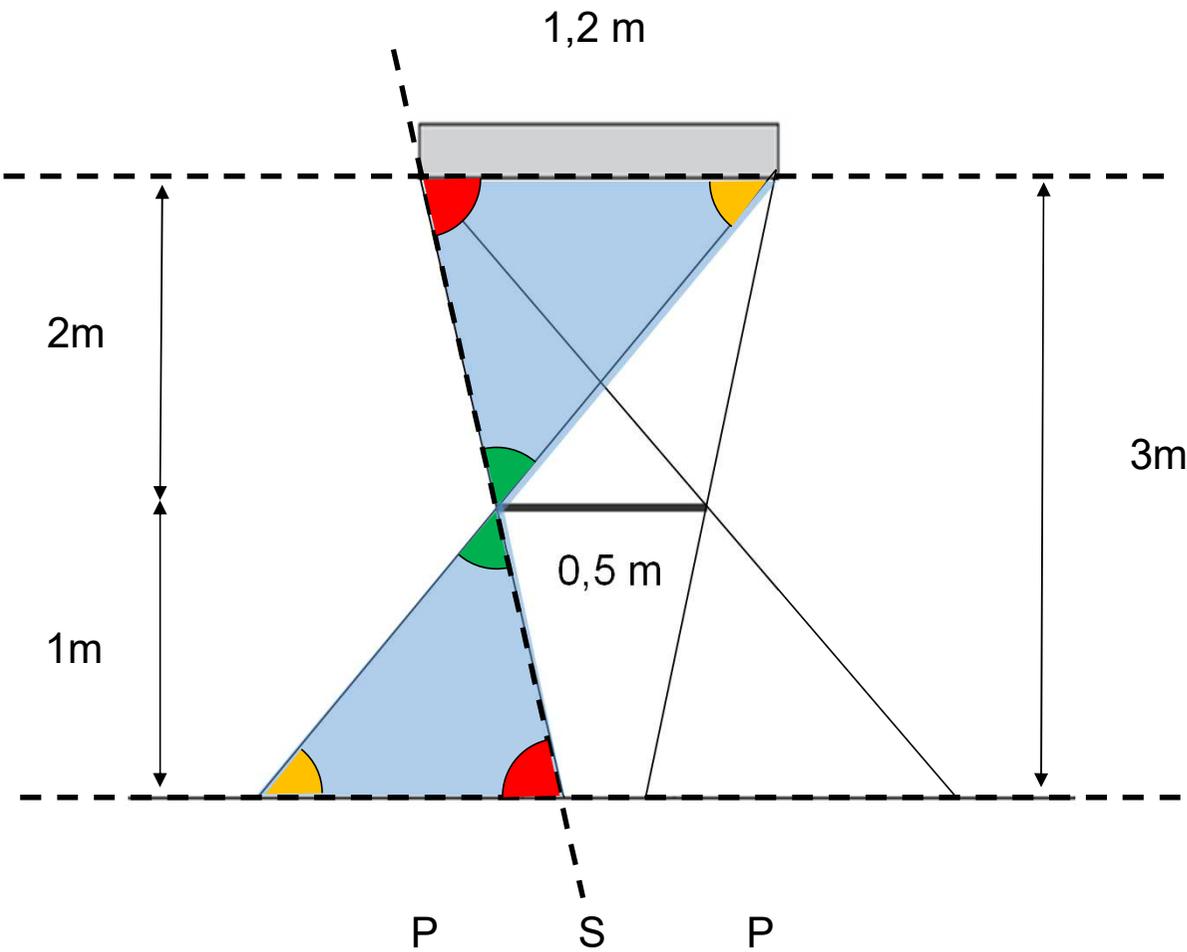


Exercícios para aprofundar

1. Calcule os comprimentos da sombra e das penumbras projetadas sobre o anteparo. Figura fora de escala.



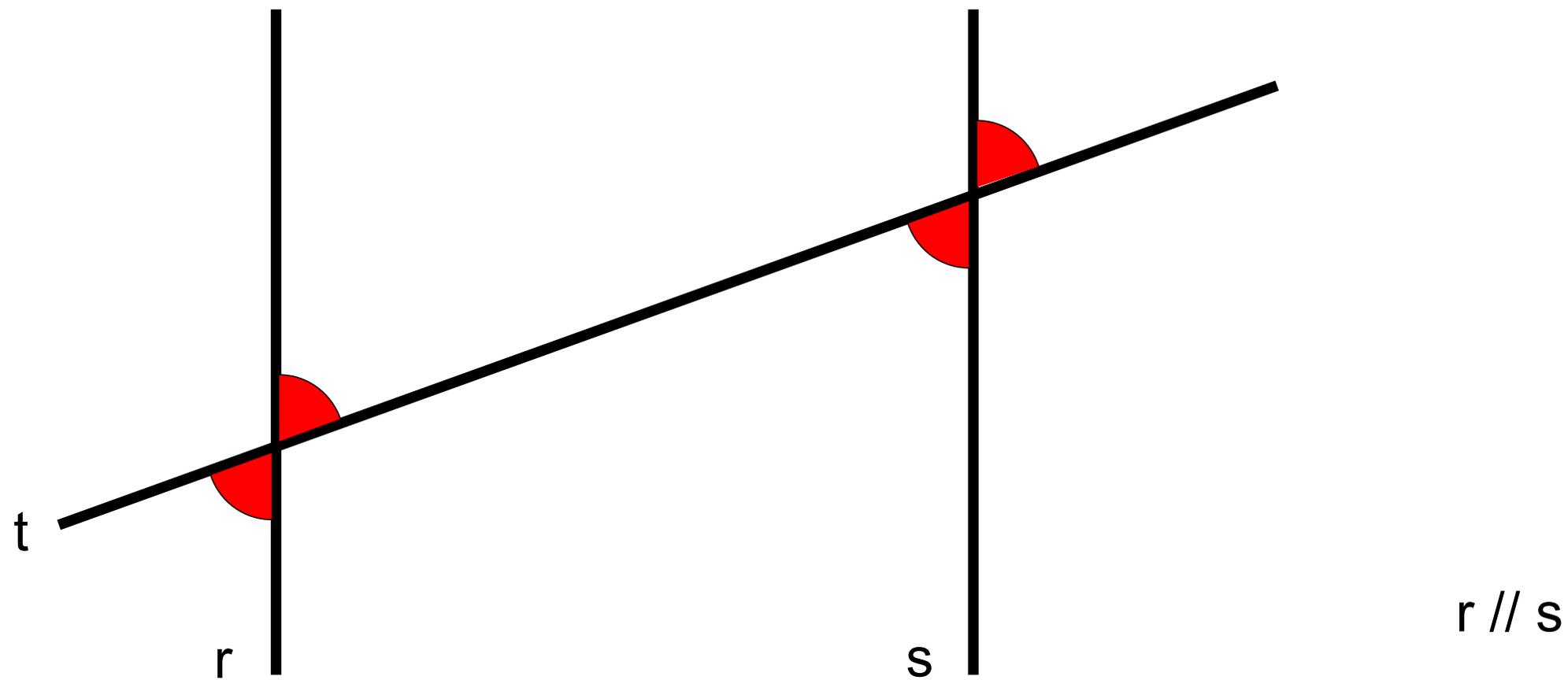
1. Calcule os comprimentos da sombra e das penumbras projetadas sobre o anteparo. Figura fora de escala.



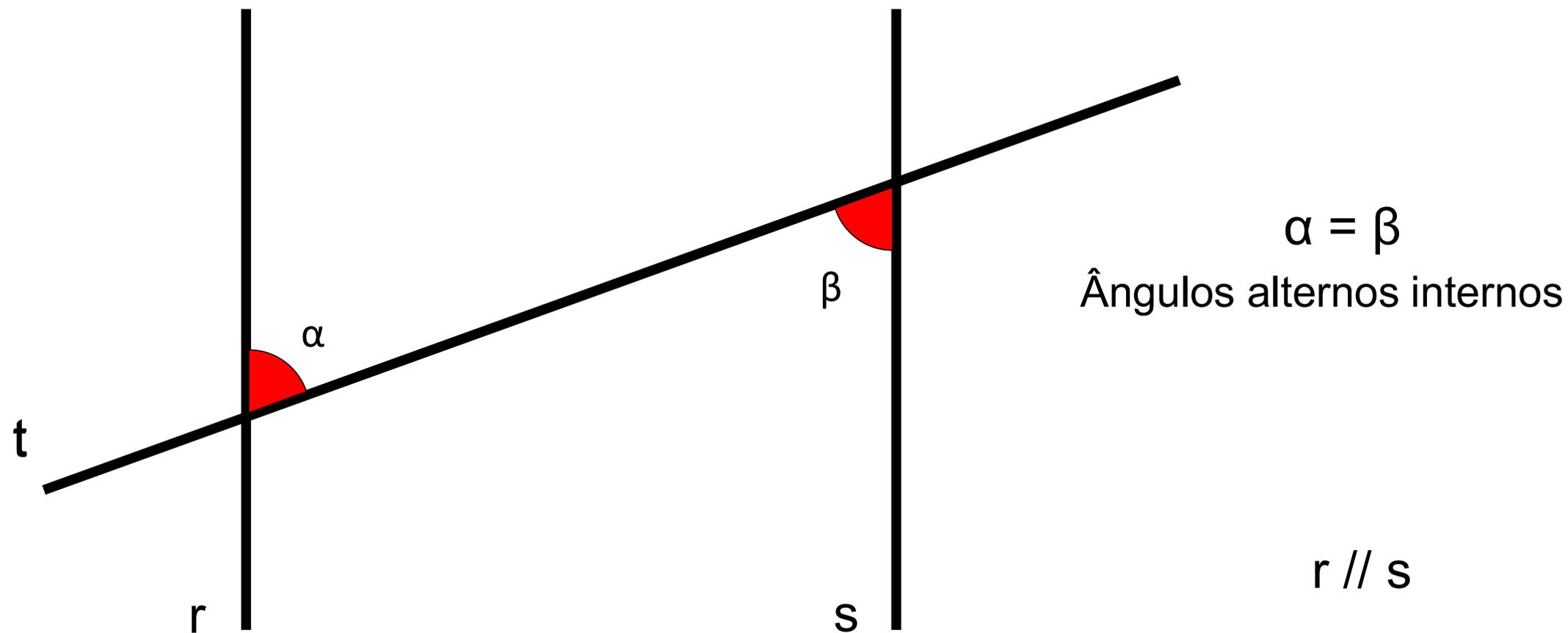
$$\frac{P}{1,2} = \frac{1}{2}$$

$$P = 0,6 \text{ m}$$

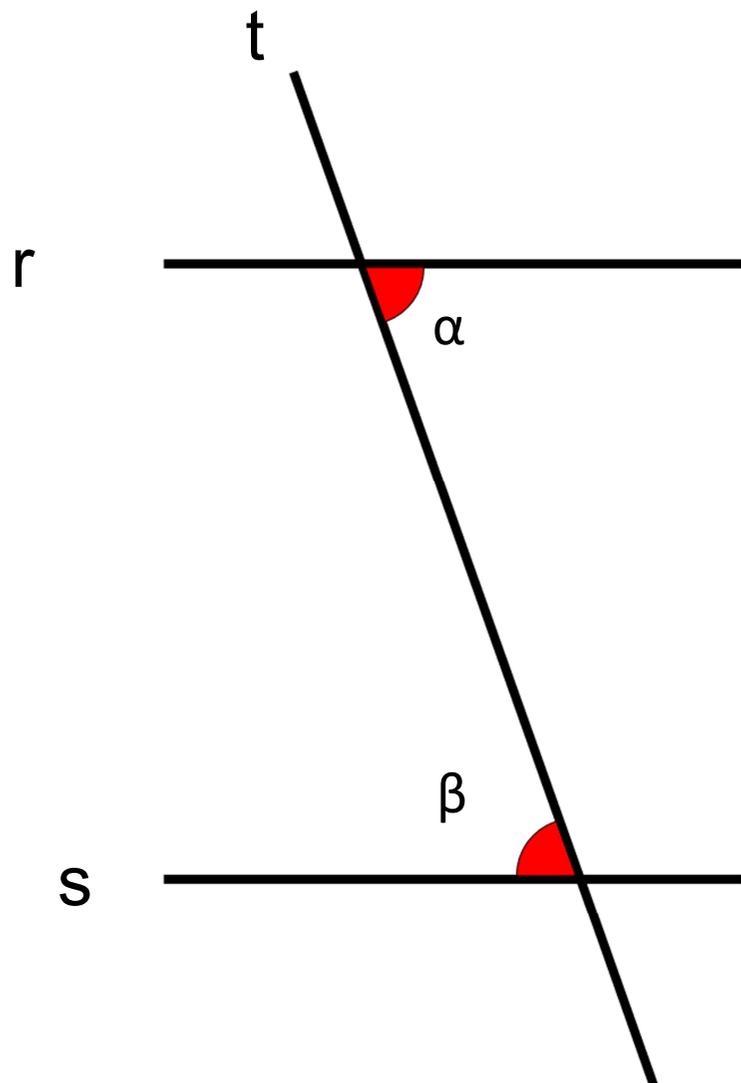
Retas paralelas cortadas por um transversal



Retas paralelas cortadas por um transversal



Retas paralelas cortadas por um transversal

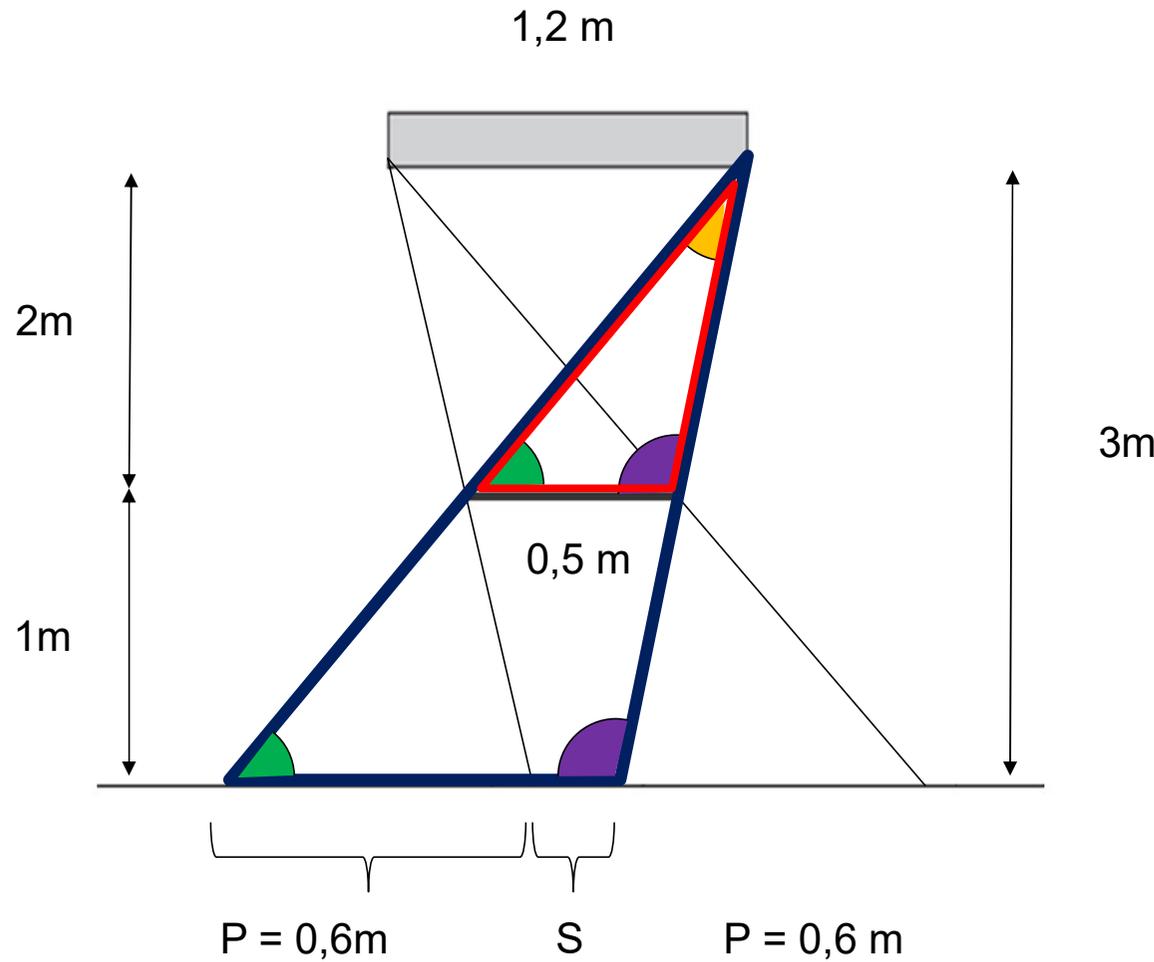


$$\alpha = \beta$$

Ângulos alternos internos

$r // s$

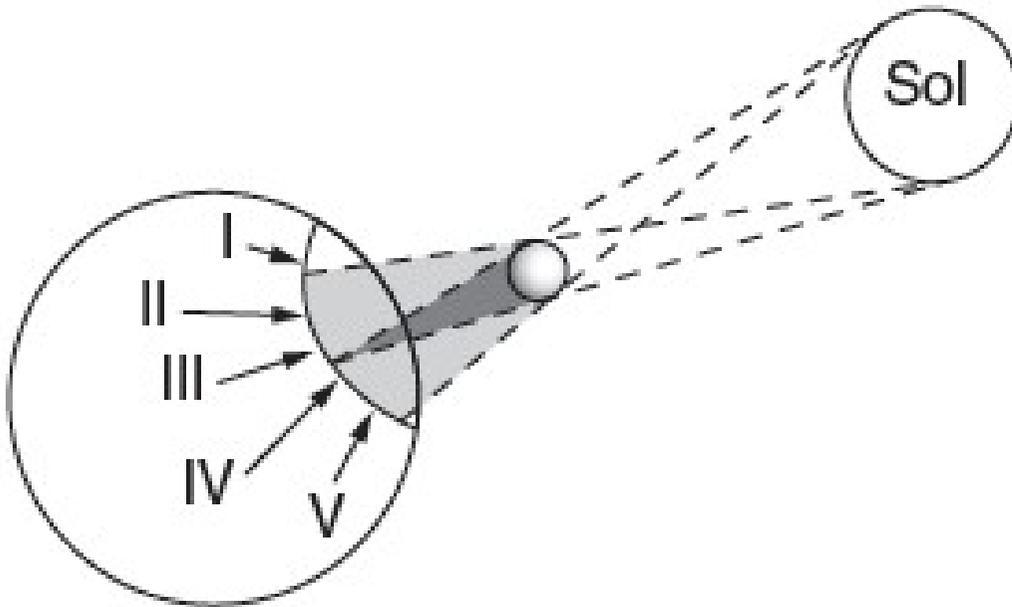
1. Calcule os comprimentos da sombra e das penumbras projetadas sobre o anteparo. Figura fora de escala.



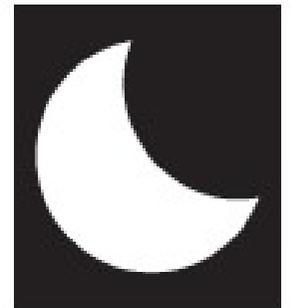
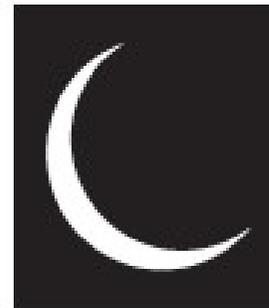
$$\frac{0,6+S}{0,5} = \frac{3}{2}$$

$$S = 0,15 \text{ m}$$

2. Enem - A figura abaixo mostra um eclipse solar no instante em que é fotografado em cinco diferentes pontos do planeta.



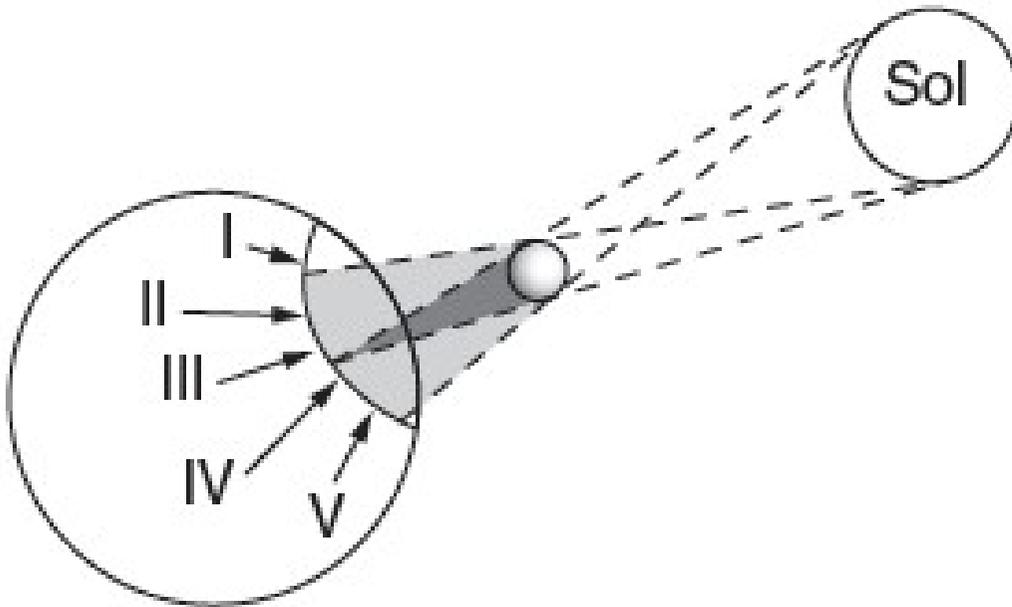
Três dessas fotografias estão reproduzidas abaixo.



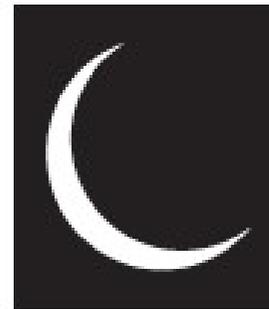
As fotos poderiam corresponder, respectivamente, aos pontos:

- (a) III, V e II.
- (b) II, III e V.
- (c) II, IV e III.
- (d) I, II e III.
- (e) I, II e V.

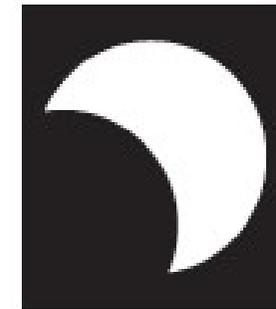
2. Enem - A figura abaixo mostra um eclipse solar no instante em que é fotografado em cinco diferentes pontos do planeta.



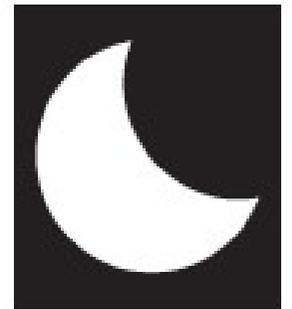
Três dessas fotografias estão reproduzidas abaixo.



III



V



II

As fotos poderiam corresponder, respectivamente, aos pontos:

- (a) III, V e II. ←
- (b) II, III e V.
- (c) II, IV e III.
- (d) I, II e III.
- (e) I, II e V.

3. (FUVEST) Em agosto de 1999, ocorreu o último eclipse solar total do século. Um estudante imaginou, então, uma forma de simular eclipses. Pensou em usar um balão esférico e opaco, de 40m de diâmetro, que ocultaria o Sol quando seguro por uma corda a uma altura de 200m. Faria as observações, protegendo devidamente sua vista, quando o centro do Sol e o centro do balão estivessem verticalmente colocados sobre ele, num dia de céu claro. Considere as afirmações abaixo, em relação aos possíveis resultados dessa proposta, caso as observações fossem realmente feitas, sabendo-se que a distância da Terra ao Sol é de 150×10^6 km e que o Sol tem um diâmetro de $0,75 \times 10^6$ km, aproximadamente.

- I. O balão ocultaria todo o Sol: o estudante não veria diretamente nenhuma parte do Sol.
- II. O balão é pequeno demais: o estudante continuaria a ver diretamente partes do Sol.
- III. O céu ficaria escuro para o estudante, como se fosse noite.

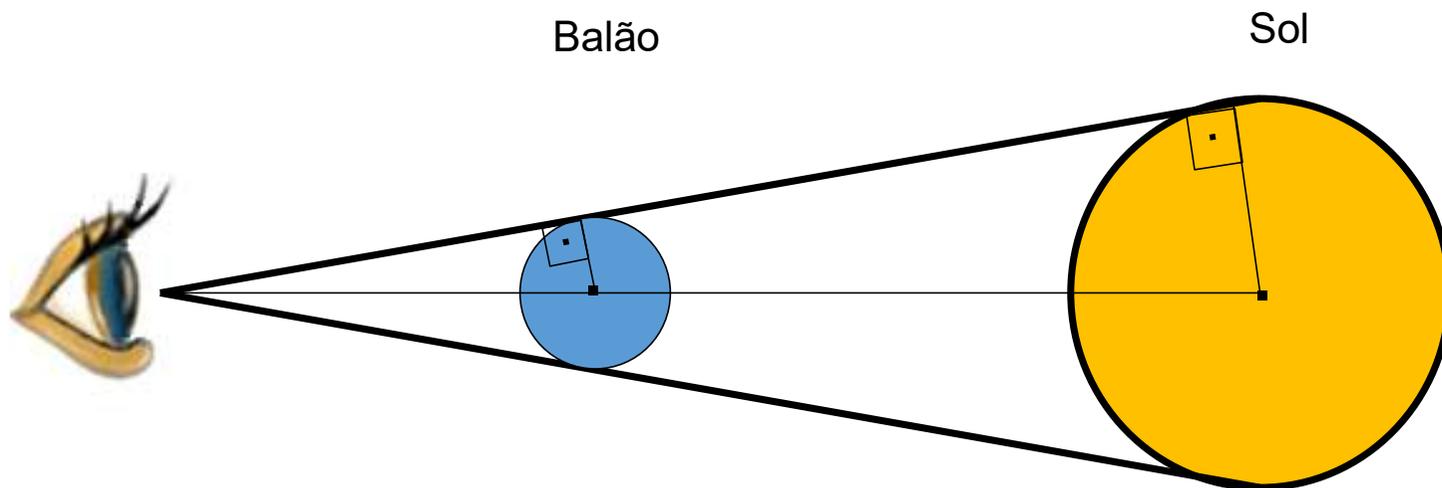
Está correto apenas o que se afirma em

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I e III
- e) II e III

3. (FUVEST) Em agosto de 1999, ocorreu o último eclipse solar total do século. Um estudante imaginou, então, uma forma de simular eclipses. Pensou em usar um balão esférico e opaco, de 40m de diâmetro, que ocultaria o Sol quando seguro por uma corda a uma altura de 200m. Faria as observações, protegendo devidamente sua vista, quando o centro do Sol e o centro do balão estivessem verticalmente colocados sobre ele, num dia de céu claro. Considere as afirmações abaixo, em relação aos possíveis resultados dessa proposta, caso as observações fossem realmente feitas, sabendo-se que a distância da Terra ao Sol é de 150×10^6 km e que o Sol tem um diâmetro de $0,75 \times 10^6$ km, aproximadamente.

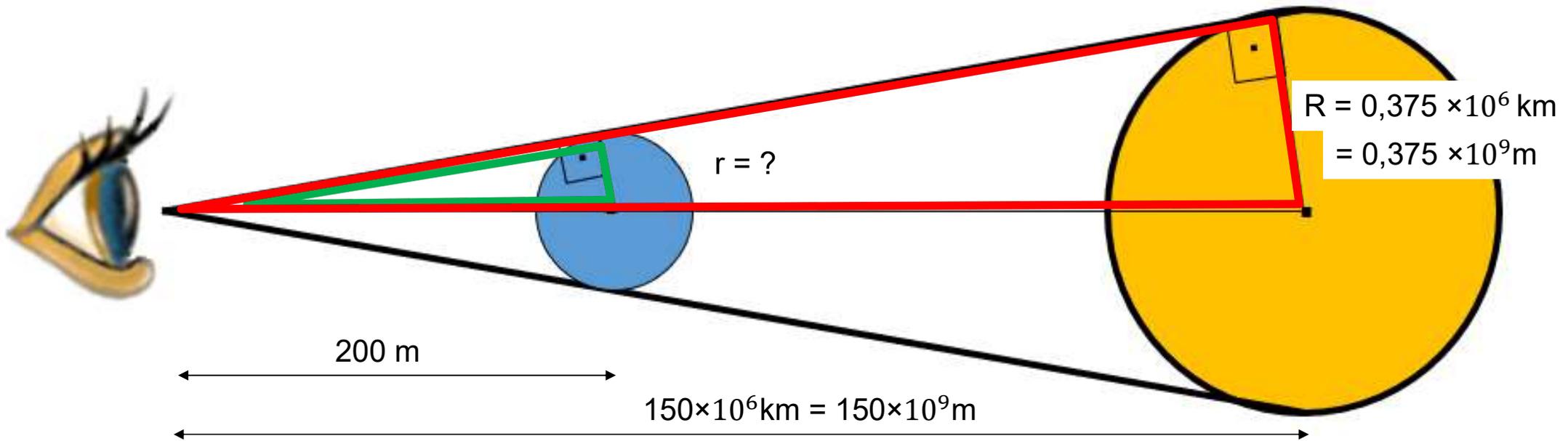
- I. O balão ocultaria todo o Sol: o estudante não veria diretamente nenhuma parte do Sol.
- II. O balão é pequeno demais: o estudante continuaria a ver diretamente partes do Sol.

Qual o diâmetro mínimo da balão para que o observador não enxergue diretamente o Sol?



- I. O balão ocultaria todo o Sol: o estudante não veria diretamente nenhuma parte do Sol. (CORRETO)
 II. O balão é pequeno demais: o estudante continuaria a ver diretamente partes do Sol. (INCORRETO)

Qual o diâmetro mínimo da balão para que o observador não enxergue diretamente o Sol?



$$\frac{r}{0,375 \cdot 10^9} = \frac{200}{150 \cdot 10^9} \Rightarrow r_{\min} = 0,5 \text{ m} \Rightarrow d_{\min} = 1 \text{ m}$$

De acordo com o enunciado $d = 40 \text{ m}$. Portanto o observador não enxergaria diretamente o Sol

- I. O balão ocultaria todo o Sol: o estudante não veria diretamente nenhuma parte do Sol.
- II. O balão é pequeno demais: o estudante continuaria a ver diretamente partes do Sol.
- III. O céu ficaria escuro para o estudante, como se fosse noite.

(CORRETO)

(INCORRETO)

(INCORRETO)



3. (FUVEST) Em agosto de 1999, ocorreu o último eclipse solar total do século. Um estudante imaginou, então, uma forma de simular eclipses. Pensou em usar um balão esférico e opaco, de 40m de diâmetro, que ocultaria o Sol quando seguro por uma corda a uma altura de 200m. Faria as observações, protegendo devidamente sua vista, quando o centro do Sol e o centro do balão estivessem verticalmente colocados sobre ele, num dia de céu claro. Considere as afirmações abaixo, em relação aos possíveis resultados dessa proposta, caso as observações fossem realmente feitas, sabendo-se que a distância da Terra ao Sol é de 150×10^6 km e que o Sol tem um diâmetro de $0,75 \times 10^6$ km, aproximadamente.

- I. O balão ocultaria todo o Sol: o estudante não veria diretamente nenhuma parte do Sol.
- II. O balão é pequeno demais: o estudante continuaria a ver diretamente partes do Sol.
- III. O céu ficaria escuro para o estudante, como se fosse noite.

(CORRETO)

(INCORRETO)

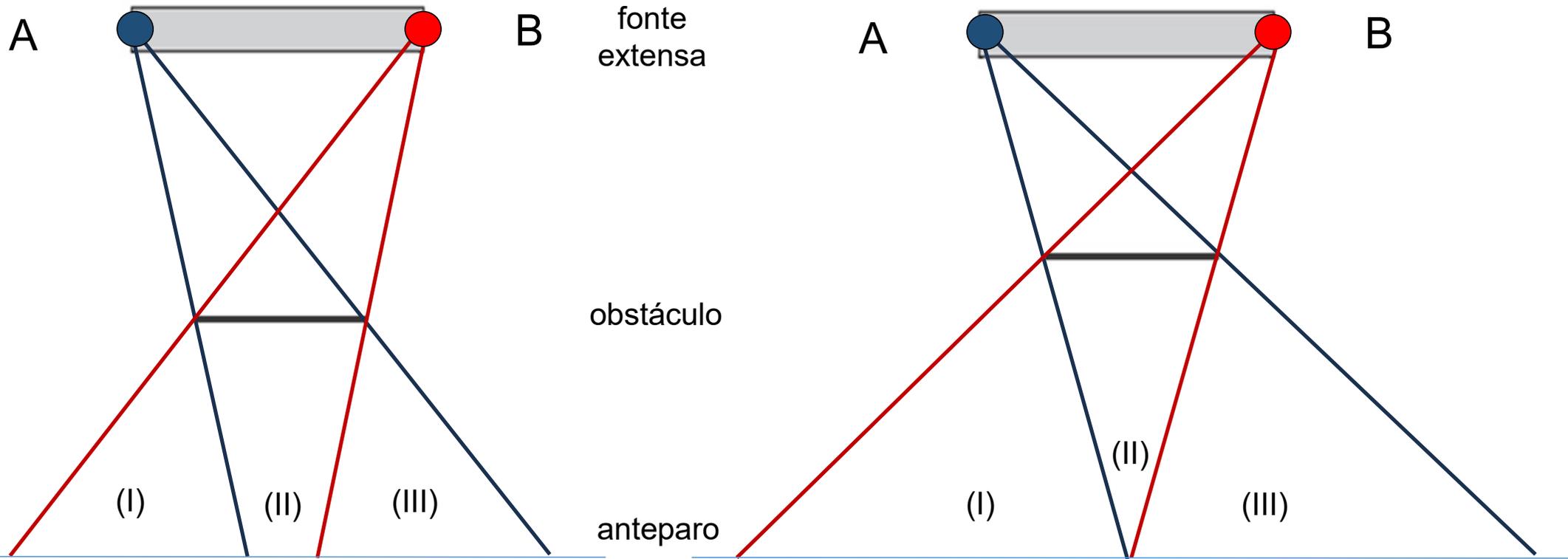
(INCORRETO)

Está correto apenas o que se afirma em

- a) I 
- b) II
- c) III
- d) I e III
- e) II e III

4. (Unesp) Quando o Sol está a pino, uma menina coloca um lápis de $7 \times 10^{-3} \text{ m}$ de diâmetro, paralelamente ao solo, e observa a sombra por ele formada pela luz do Sol. Ela nota que a sombra do lápis é bem nítida quando ele está próximo ao solo mas, à medida que vai levantando o lápis, a sombra perde a nitidez até desaparecer, restando apenas a penumbra. Sabendo-se que o diâmetro do Sol é de $14 \times 10^8 \text{ m}$ e a distância do Sol à Terra é de $15 \times 10^{10} \text{ m}$, pode-se afirmar que a sombra desaparece quando a altura do lápis em relação ao solo é de:

- a) 1,5 m. b) 1,4 m. c) 0,75 m. d) 0,30 m. e) 0,15 m.



4. (Unesp) Quando o Sol está a pino, uma menina coloca um lápis de $7 \times 10^{-3} \text{ m}$ de diâmetro, paralelamente ao solo, e observa a sombra por ele formada pela luz do Sol. Ela nota que a sombra do lápis é bem nítida quando ele está próximo ao solo mas, à medida que vai levantando o lápis, a sombra perde a nitidez até desaparecer, restando apenas a penumbra. Sabendo-se que o diâmetro do Sol é de $14 \times 10^8 \text{ m}$ e a distância do Sol à Terra é de $15 \times 10^{10} \text{ m}$, pode-se afirmar que a sombra desaparece quando a altura do lápis em relação ao solo é de:

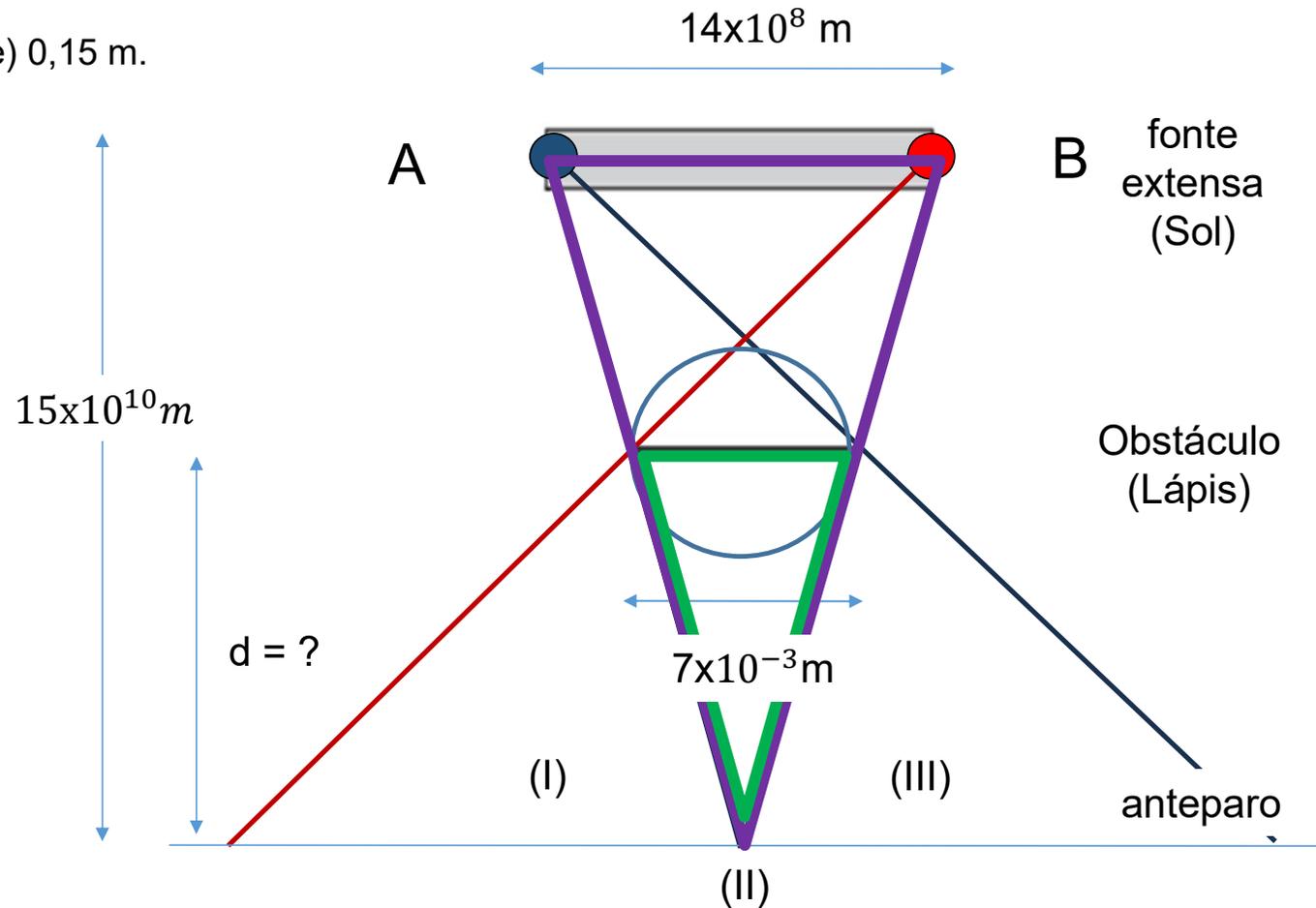
- a) 1,5 m. b) 1,4 m. **c) 0,75 m.** d) 0,30 m. e) 0,15 m.

$$\frac{d}{15 \cdot 10^{10}} = \frac{7 \cdot 10^{-3}}{14 \cdot 10^8}$$

$$d = 15 \cdot 10^{10} \cdot \frac{7 \cdot 10^{-3}}{14 \cdot 10^8}$$

$$d = 15 \cdot 10^{10} \cdot 0,5 \cdot 10^{-11}$$

$$d = 7,5 \cdot 10^{-1} = 0,75 \text{ m}$$



Sombra e Penumbra



Objeto
próximo ao
anteparo



Objeto
mais
distante do
anteparo

5. (ENEM 2014) - É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias: vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde, ciano = verde + azul e magenta = vermelho + azul.

Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt>. Acesso em 20 maio 2014 (adaptado).

Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

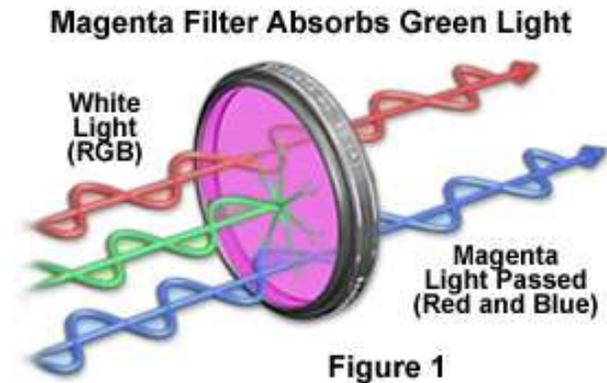
- a) Ciano. b) Verde. c) Amarelo. d) Magenta. e) Vermelho.



sem filtro



com filtro magenta



Extra 2. (ENEM 2014) - É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias: vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde, ciano = verde + azul e magenta = vermelho + azul.

Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt>. Acesso em 20 maio 2014 (adaptado).

Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

a) Ciano.

b) Verde.

c) Amarelo.

d) Magenta.

e) Vermelho.