

Óptica geométrica

Resumo

O ser humano sempre foi fascinado pela luz. Espelhos simples são encontrados em sítios arqueológicos antigos estendendo-se do Egito até a China. Nossos ancestrais aprenderam por volta de 1500 anos A.C. a fazer fogueiras ao focalizar a luz do Sol usando lentes rudimentares. Daí, é só um pequeno passo até conseguirmos fazer perfurações com feixes a laser.

Para começarmos a contemplar o conteúdo básico por trás da imensidão que a luz nos proporciona, precisamos entender os princípios e os fenômenos que envolvem a óptica geométrica.

O Modelo de Raios Luminosos

Um holofote produz um fecho de luz que corta a escuridão do céu. Raios de Sol penetram numa sala mal iluminada através da fresta na janela. Nossa experiência cotidiana de que a luz viaja em linha reta é a base do modelo de raios luminosos da luz, que, apesar de ser uma simplificação da realidade, é um pressuposto bem útil em seu domínio de validade, caracterizando a Óptica Geométrica.

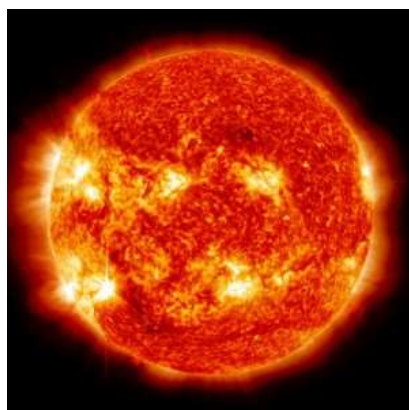


Conceitos básicos

- **Luz:** onda eletromagnética que se propaga no vácuo e em alguns meios materiais. Velocidade da luz no vácuo: $c = 300.000\text{km/s}$.
- **Raio de luz:** segmento de reta orientado no sentido da propagação.



- **Fontes primárias:** corpos que emitem luz própria.
Ex.: Sol.



- **Fontes secundárias:** corpos que refletem a luz emitida pelas fontes primárias.
Ex.: Lua.



Meios de propagação da luz

- **Meio transparente:** propagação regular da luz; observador vê objeto com nitidez.



- **Meio translúcido:** propagação irregular da luz; observador vê objeto sem nitidez.



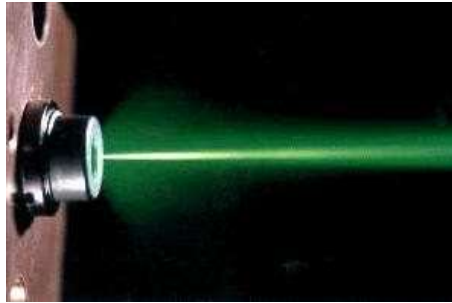
- **Meio opaco:** não permite a propagação de luz; ex.: a pele humana.



Princípios da Óptica Geométrica

A luz, durante sua propagação, obedece a uma série de princípios:

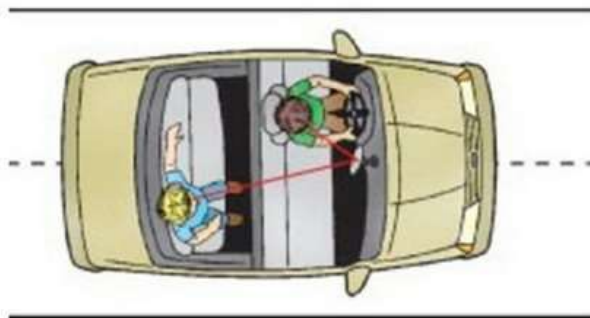
- **Princípio da Propagação Retilínea dos Raios Luminosos:** em meios homogêneos e transparentes, a luz se propaga em linha reta.



- **Princípio da Independência dos Raios Luminosos:** quando dois raios de luz ou feixes de luz se cruzam, continuam suas trajetórias individualmente. Um raio não interfere na trajetória de outro.

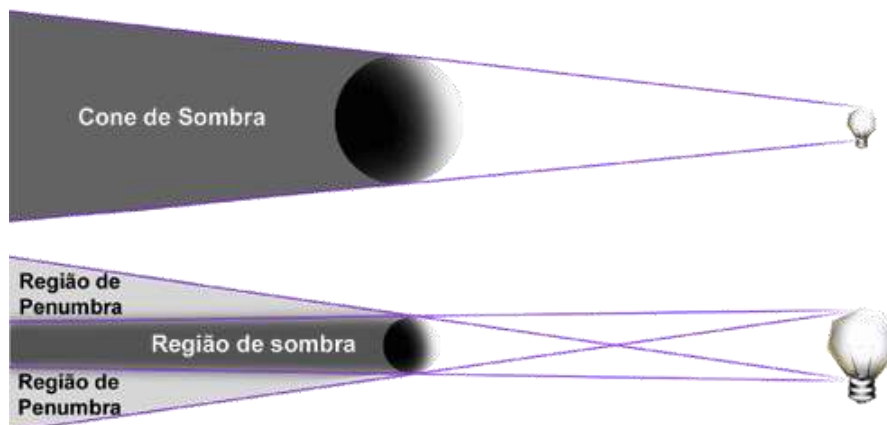


- **Princípio da Reversibilidade dos Raios Luminosos:** o caminho seguido por um raio de luz independe do sentido de propagação.



Sombra e Penumbra

Quando um obstáculo opaco é colocado entre uma fonte de luz e um anteparo, é possível delimitar regiões de sombra e penumbra.



Se pensarmos em uma fonte de luz pontual, essas regiões recebem o nome de **SOMBRA** ou **UMBRA**.

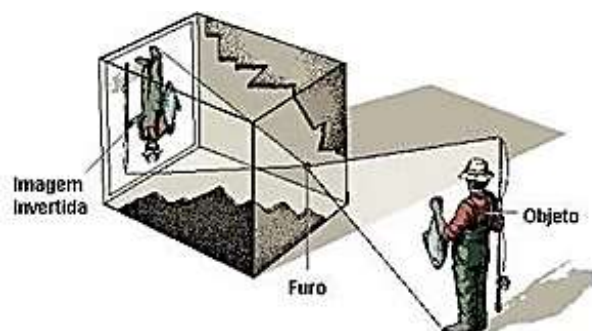


Agora, se pensarmos em uma fonte extensa ou várias fontes pontuais, teremos duas regiões distintas. A região que não recebe luz de região alguma é chamada de sombra, mas a região parcialmente iluminada – que recebe luz da fonte extensa ou de alguma das fontes pontuais – é chamada de **PENUMBRA**.



Câmara Escura com Orifício

Uma câmara escura com orifício é constituída por uma caixa de paredes opacas; um pequeno orifício é feito em uma das faces. Com isso, a luz vinda de um objeto incide pelo orifício e é refletida no fundo da caixa, gerando uma imagem projetada e invertida em relação ao objeto.



$$\frac{o}{i} = \frac{p}{p'}$$

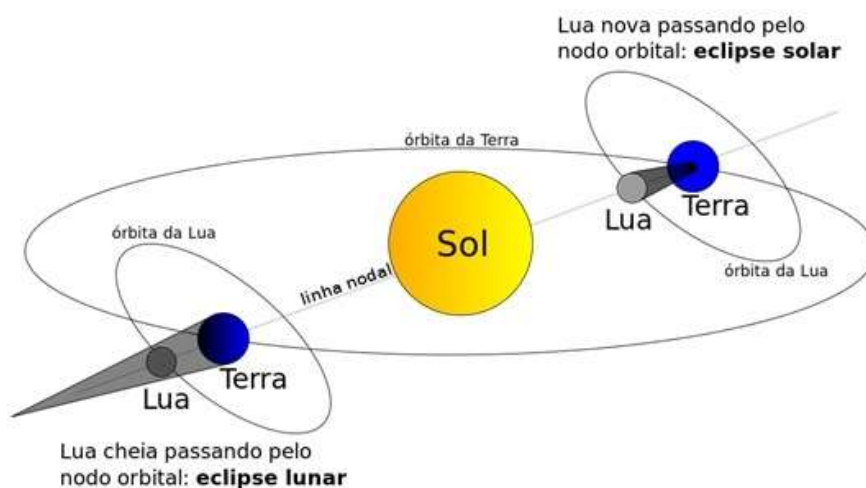
o : tamanho do objeto

i : tamanho da imagem

p : distância entre o obj. e o furo

p' : distância do furo à imagem

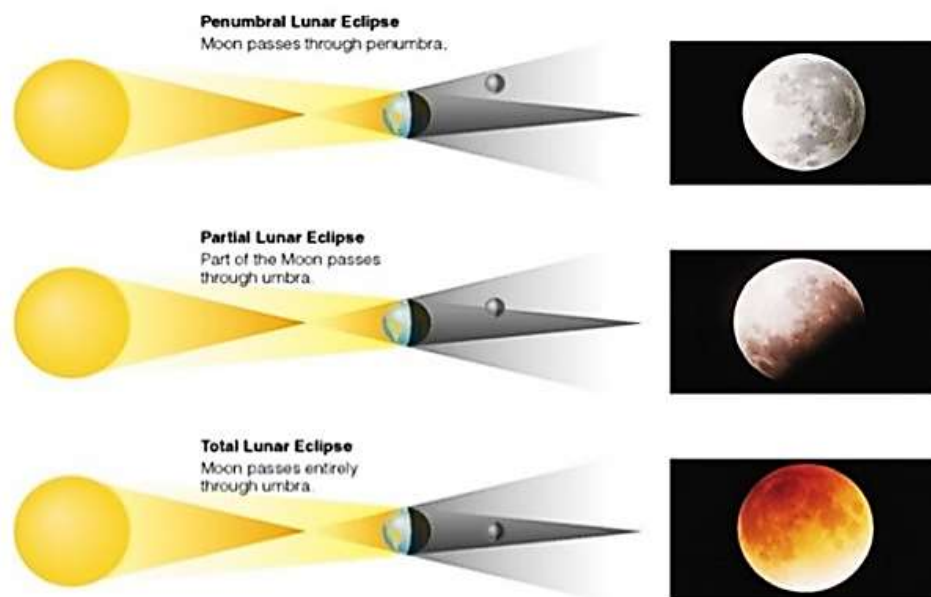
Eclipses



As regiões de sombra e penumbra de corpos e fontes esféricas são conceitos importantes para entender o fenômeno dos eclipses. Trata-se de um fenômeno natural que acontece com relativa frequência. O último eclipse total do Sol registrado ocorreu em 1999. Como o Sol, a Lua e a Terra são corpos esféricos, valem as considerações anteriores sobre sombra e penumbra.

O eclipse do Sol ocorre quando a Lua se interpõe entre o Sol e a Terra; o Sol fica eclipsado pela Lua. Já o eclipse da Lua ocorre quando a Terra se interpõe entre o Sol e a Lua; nesse caso, a Lua entra primeiro no cone de penumbra da Terra e depois na região de sombra da Terra.

Obs.: Eclipse solar só ocorre em fase de Lua Nova e eclipse lunar só ocorre em fase de Lua Cheia.



Fases da Lua



No hemisfério sul, as fases da Lua seguem, em média, os seguintes períodos de visibilidade:

- **Lua Cheia:** nasce, tem seu ápice e se põe, respectivamente, às 18h – 24h – 06h.
- **Lua Nova:** nasce, tem seu ápice e se põe, respectivamente, às 06h – 12h – 18h.
- **Lua Crescente:** nasce, tem seu ápice e se põe, respectivamente, às 12h – 18h – 24h.
- **Lua Minguante:** nasce, tem seu ápice e se põe, respectivamente, às 24h – 06h – 12h.

Lembre-se que cada fase da Lua dura sete dias, tendo o período lunar, então, uma duração de 28 dias, em média.

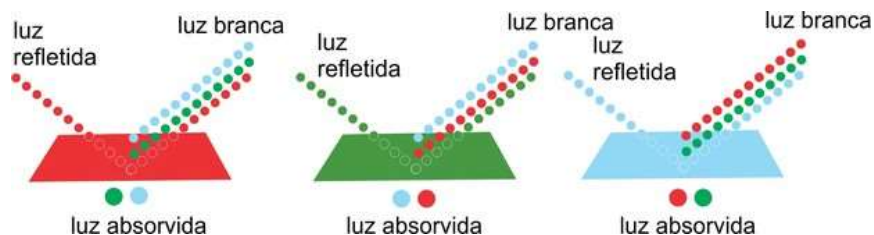
A cor de um Corpo

Ao realizar experimentos com a luz solar no século XVII, Isaac Newton verificou que ela dava origem a feixes de luz coloridos quando atravessava um prisma, correspondentes às cores do arco-íris. Dispondo de outro prisma, verificou também que era capaz de recombina as luzes, fazendo luz solar emanar do prisma, o que chamou de **luz branca**.



Um feixe de luz é chamado de **monocromático** se for formado por apenas uma das cores do **espectro eletromagnético** (vermelho, amarelo, alaranjado, verde, azul, anil e violeta), como acontece em um laser. Falaremos do espectro eletromagnético e a teoria ondulatória em outro momento. Ao contrário, um feixe de luz é chamado de **policromático** quando é formado por várias cores, como é o caso da luz branca.

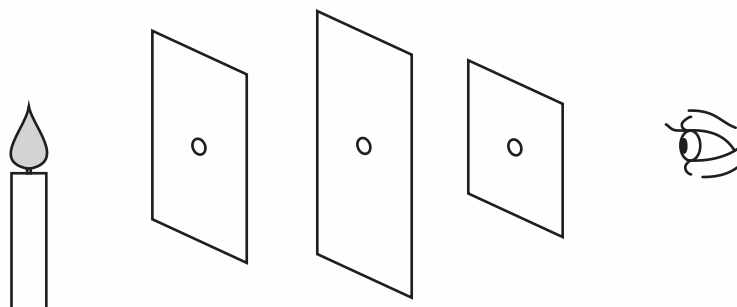
A cor de um corpo iluminado é determinada pela constituição da luz que ele reflete difusamente. Se, por exemplo, um corpo iluminado com luz branca refletir a luz verde e absorver as demais, este corpo terá cor verde; quando iluminado com luz branca, absorvendo-a totalmente, terá cor preta.



Se iluminarmos um corpo de cor verde com luz monocromática vermelha, ele nos parecerá preto, pois absorve a luz vermelha, não enviando nada aos nossos olhos.

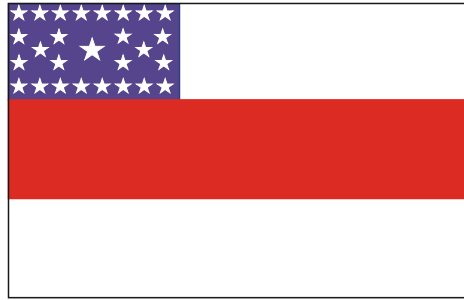
Exercícios

1. Considere um observador frente a três anteparos, em um meio homogêneo e transparente, cada um com um orifício em seu respectivo centro, conforme mostra a figura que se segue. Através desses orifícios, o observador consegue enxergar a chama de uma vela devido a um princípio da Óptica Geométrica denominado _____.



- a) Princípio da independência dos raios de luz.
 - b) Princípio da reversibilidade dos raios de luz.
 - c) Princípio da propagação retilínea da luz.
 - d) Princípio da reflexão dos raios de luz.
2. A uma certa hora da manhã, a inclinação dos raios solares é tal que um muro de 4,0 m de altura projeta, no chão horizontal, uma sombra de comprimento 6,0 m. Uma senhora de 1,6 m de altura, caminhando na direção do muro, é totalmente coberta pela sombra quando se encontra a quantos metros do muro?
- a) 2,0
 - b) 2,4
 - c) 1,5
 - d) 3,6
 - e) 1,1

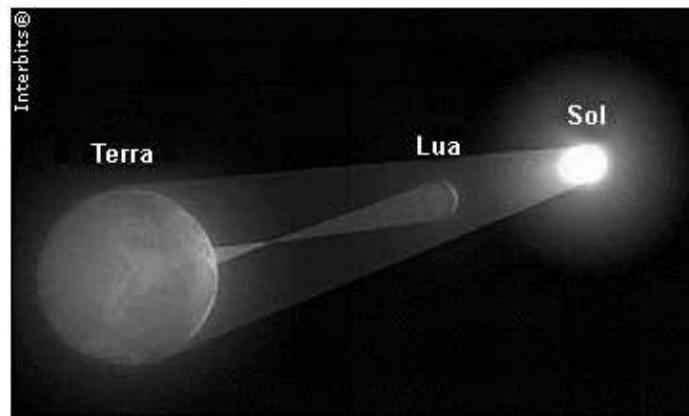
3. Considere a ilustração da bandeira do estado do Amazonas:



(IBGE. *Atlas geográfico escolar*, 2009.)

A cor de um objeto iluminado é determinada pela radiação luminosa que ele reflete. Assim, corpo verde reflete apenas luz verde, corpo branco reflete luz de qualquer cor que nele incide, enquanto corpo negro não reflete luz alguma. Caso a bandeira do Amazonas venha a ser iluminada apenas por luz monocromática vermelha, as cores que ela mostrará serão somente

- a) vermelha e branca.
 - b) vermelha, branca e preta.
 - c) vermelha e verde.
 - d) vermelha, branca e verde.
 - e) vermelha e preta.
4. A figura ilustra, fora de escala, a ocorrência de um eclipse do Sol em determinada região do planeta Terra. Esse evento ocorre quando estiverem alinhados o Sol, a Terra e a Lua, funcionando, respectivamente, como fonte de luz, anteparo e obstáculo.

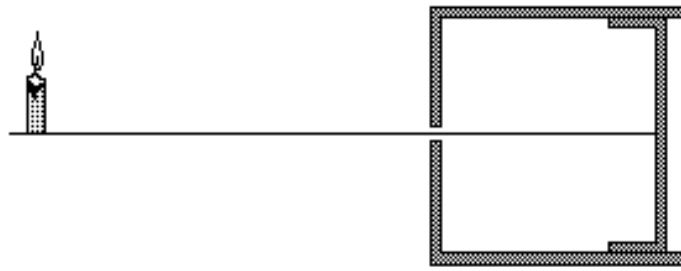


(J. Rodriguez — Observatório Astronômico de Mallorca)

Para que possamos presenciar um eclipse solar, é preciso que estejamos numa época em que a Lua esteja na fase

- a) nova ou cheia.
- b) minguante ou crescente.
- c) cheia, apenas.
- d) nova, apenas.
- e) minguante, apenas.

5. A 1 metro da parte frontal de uma câmara escura de orifício, uma vela de comprimento 20 cm projeta na parede oposta da câmara uma imagem de 4 cm de altura.



A câmara permite que a parede onde é projetada a imagem seja movida, aproximando-se ou afastando-se do orifício. Se o mesmo objeto for colocado a 50 cm do orifício, para que a imagem obtida no fundo da câmara tenha o mesmo tamanho da anterior, 4 cm, a distância que deve ser deslocado o fundo da câmara, relativamente à sua posição original, em cm, é de

- a) 50.
 - b) 40.
 - c) 20.
 - d) 10.
 - e) 5.
6. Em 29 de maio de 1919, em Sobral (CE), a teoria da relatividade de Einstein foi testada medindo-se o desvio que a luz das estrelas sofre ao passar perto do Sol. Essa medição foi possível porque naquele dia, naquele local, foi visível um eclipse total do Sol. Assim que o disco lunar ocultou completamente o Sol foi possível observar a posição aparente das estrelas. Sabendo-se que o diâmetro do Sol é 400 vezes maior do que o da Lua e que durante o eclipse total de 1919 o centro do Sol estava a 151 600 000 km de Sobral, é correto afirmar que a distância do centro da Lua até Sobral era de
- a) no máximo 379 000 km
 - b) no máximo 279 000 km
 - c) no mínimo 379 000 km
 - d) no mínimo 479 000 km
 - e) exatamente 379 000 km

7. A figura 1 mostra um quadro de Georges Seurat, grande expressão do pontilhismo.



figura 1

(Tarde de Domingo na Ilha de Grande Jatte, 1884.)

De forma grosseira podemos dizer que a pintura consiste de uma enorme quantidade de pontos de cores puras, bem próximos uns dos outros, tal que a composição adequada dos pontos causa a sensação de vibração e efeitos de luz e sombra impressionantes.

Alguns pontos individuais podem ser notados se chegarmos próximo ao quadro. Isso ocorre porque a resolução angular do olho humano é $\theta_{\min} \cong 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$. A figura 2 indica a configuração geométrica para que uma pessoa perceba a separação d entre dois pontos vizinhos à distância $L \cong 30 \text{ cm}$ do quadro.

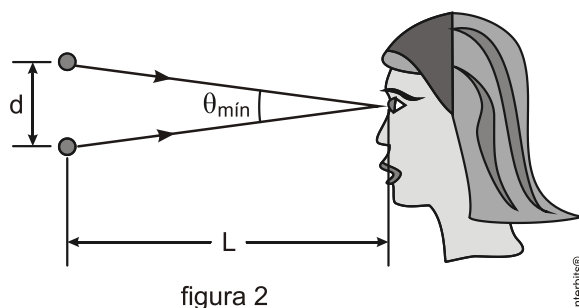


figura 2

Considerando que para ângulos $\theta < 0,17 \text{ rad}$ é válida a aproximação $\text{tg } \theta \cong \theta$, a distância d aproximada entre esses dois pontos, representados na figura 2, é, em milímetros, igual a

- a) 0,1.
- b) 0,2.
- c) 0,5.
- d) 0,7.
- e) 0,9.

8. Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A Figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

Figura 1

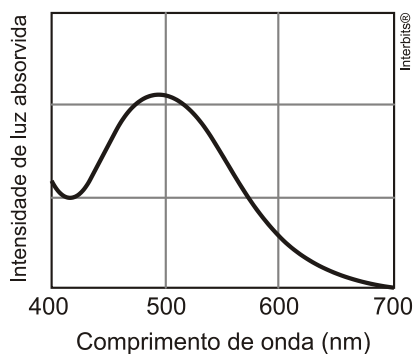
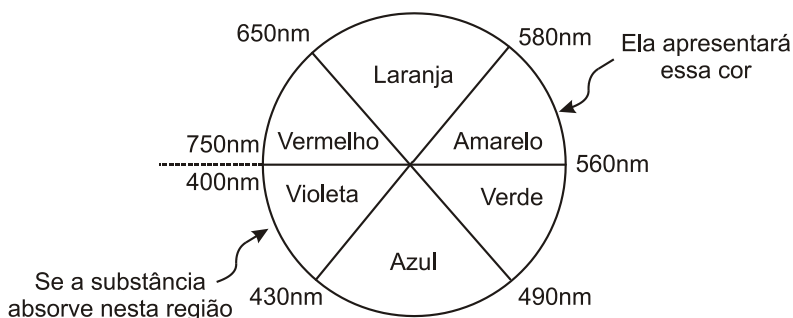


Figura 2

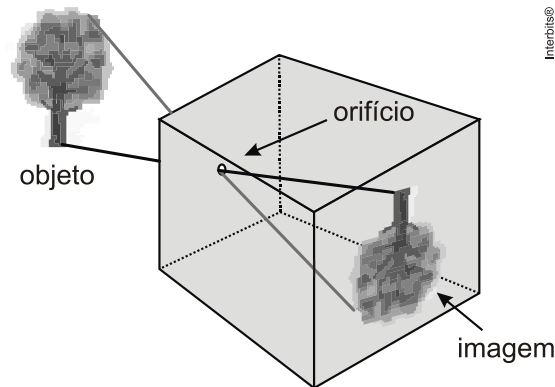


Brown, T. *Química a Ciência Central*. 2005 (adaptado).

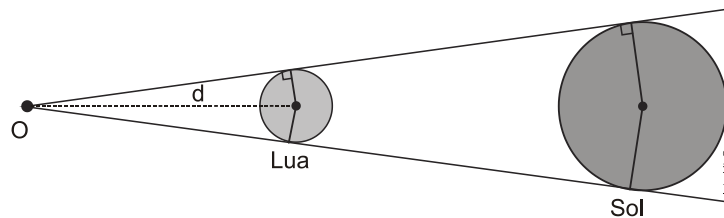
Qual a cor da substância que deu origem ao espectro da Figura 1?

- a) Azul.
- b) Verde.
- c) Violeta.
- d) Laranja.
- e) Vermelho.

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



- a) $D = 15 \text{ cm}$.
 b) $D = 30 \text{ cm}$.
 c) $D = 45 \text{ cm}$.
 d) $D = 40 \text{ cm}$.
 e) $D = 50 \text{ cm}$.
10. A figura a seguir (evidentemente fora de escala) mostra o ponto **O** em que está o olho de um observador da Terra olhando um eclipse solar total, isto é, aquele no qual a Lua impede toda luz do Sol de chegar ao observador.



Sabendo que o raio do Sol é $0,70 \times 10^6 \text{ km}$, o da Lua, $1,75 \times 10^3 \text{ km}$, e que a distância entre o centro do Sol e o observador na Terra é de $150 \times 10^6 \text{ km}$, calcule a distância d entre o observador e o centro da Lua para a qual ocorre o eclipse total indicado na figura.

- a) $d = 4,75 \times 10^5 \text{ km}$.
 b) $d = 3,90 \times 10^5 \text{ km}$.
 c) $d = 3,70 \times 10^4 \text{ km}$.
 d) $d = 3,75 \times 10^5 \text{ km}$.
 e) $d = 3,75 \times 10^9 \text{ km}$.

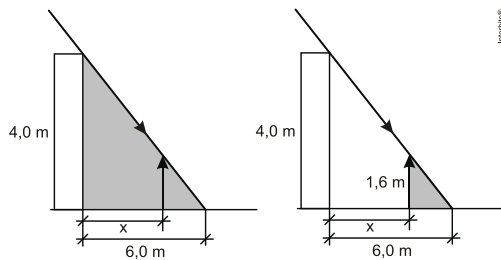
Gabarito

1. C

O princípio que explica a situação descrita é o princípio da propagação retilínea dos raios de luz.

2. D

Observe que os triângulos sombreados são semelhantes



Portanto:

$$\frac{4}{6} = \frac{1,6}{6-x} \rightarrow 24 - 4x = 9,6 \rightarrow 4x = 14,4 \rightarrow x = 3,6 \text{ m.}$$

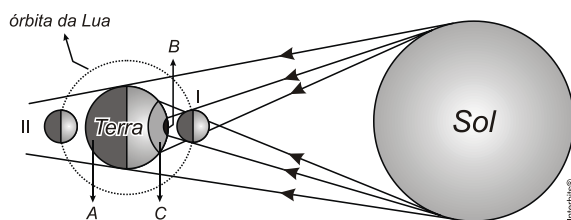
3. E

- a faixa vermelha continua refletindo a radiação vermelha, mantendo-se na cor vermelha;
- as duas faixas brancas e o preenchimento branco das estrelinhas passam a refletir apenas a radiação vermelha, passando, então, a apresentar cor vermelha;
- a faixa azul passa a não refletir radiação alguma, apresentando, então, cor preta.

Concluindo: a bandeira mostrará somente as cores vermelha e preta.

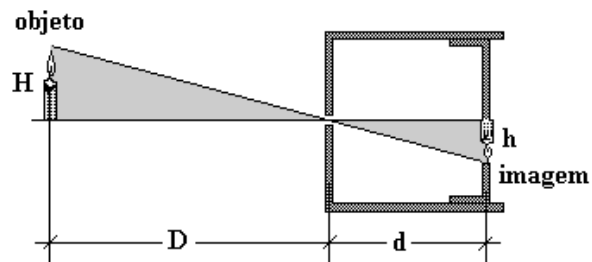
4. D

A figura mostra a Lua em duas posições diferentes. Na situação I, está ilustrado um eclipse solar. A face escura da Lua está voltada para a Terra, portanto é Lua nova. A situação II mostra um eclipse lunar, que ocorre na Lua cheia, estando a Lua no cone de sombra da Terra.



5. D

Observe a figura abaixo onde se mostra a formação da imagem.



Os triângulos sombreados são semelhantes, portanto:

$$\frac{H}{D} = \frac{h}{d}$$

Na primeira situação:

$$\frac{20}{100} = \frac{4}{d} \rightarrow d = 20\text{cm}$$

$$\text{Na segunda situação: } \frac{20}{50} = \frac{4}{d} \rightarrow d' = 10\text{cm}$$

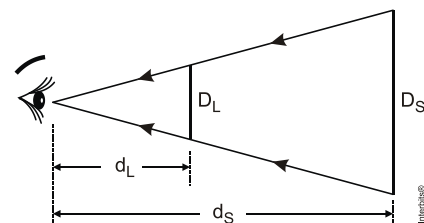
$$\text{Portanto: } \Delta d = d' - d = 10 - 20 = -10\text{cm}$$

O fundo da câmera deve ser deslocado 10 cm para a esquerda.

6. A

Dados: $D_S = 400 D_L$; $d_S = 151.600.000 \text{ km}$.

A figura ilustra a situação descrita.



Da semelhança de triângulos:

$$\frac{d_L}{D_L} = \frac{d_S}{D_S} \Rightarrow \frac{d_L}{D_L} = \frac{151.600.000}{400 D_L} \Rightarrow d_L = \frac{1.516.000}{4} \Rightarrow d_L = 379.000 \text{ km}.$$

7. A

$$\theta = \frac{d}{L} \rightarrow d = \theta L = 3,3 \times 10^{-4} \times 300 = 0,1\text{mm}.$$

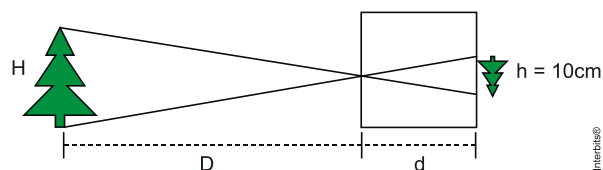
8. E

O gráfico nos mostra que essa substância apresenta maior absorção para comprimentos de onda em torno de 500 nm, o que corresponde à cor verde. De acordo com o enunciado: ... **"o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima."**

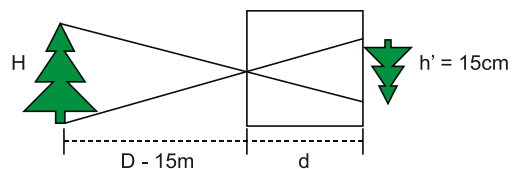
Na roda de cores, notamos que o comprimento de onda oposto ao da cor verde é o da cor vermelha.

9. C

Antes:



Depois:



$$\left. \begin{array}{l} H \rightarrow 10\text{cm} \\ D \rightarrow d \end{array} \right\} H \cdot d = 10D$$

$$\left. \begin{array}{l} H \rightarrow 15\text{cm} \\ D - 15\text{m} \rightarrow d \end{array} \right\} H \cdot d = 15(D + 15)$$

$$10D = 15(D - 15)$$

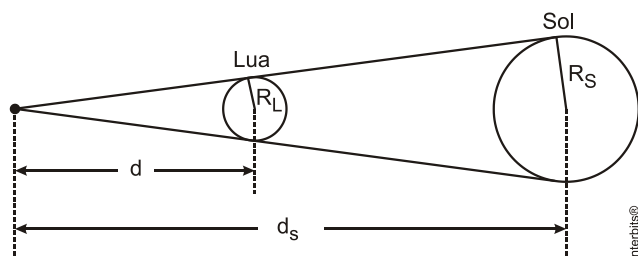
$$10D = 15D - 225$$

$$5D = 225$$

$$\therefore \boxed{D = 45\text{m}}$$

10. D

Dados: $R_S = 0,70 \times 10^6 \text{ km}$; $R_L = 1,75 \times 10^3 \text{ km}$, $d_S = 150 \times 10^6 \text{ km}$.



Da semelhança de triângulos na figura:

$$\frac{d}{R_L} = \frac{d_S}{R_S} \Rightarrow \frac{d}{1,75 \times 10^3} = \frac{150 \times 10^6}{0,7 \times 10^6} \Rightarrow d = \frac{1,75 \times 10^6 \times 150}{0,7} \Rightarrow$$

$$d = 3,75 \times 10^5 \text{ km.}$$