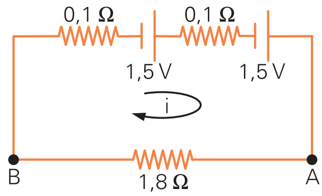
01. Esquematizando o circuito, temos:



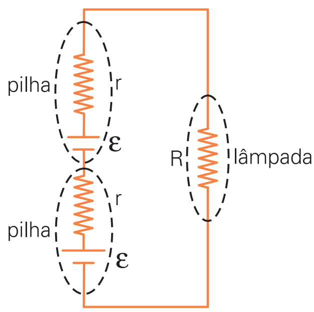
Aplicando a Lei de Ohm-Pouillet, partindo do ponto A e retornando a ele no sentido da corrente, temos:

$1{,}8i + 0{,}1i - 1{,}5 + 0{,}1i - 1{,}5 = 0 \Rightarrow 2{,}0i - 3{,}0 = 0 \Rightarrow \boxed{i = +1{,}5\ A}$

A intensidade da corrente é 1,5 A e percorre o circuito no sentido adotado (horário).
Já a d.d.p. entre os pontos A e B é dada por:

$U_{AB} = R \cdot i \Rightarrow U_{AB} = 1{,}8 \cdot 1{,}5 \Rightarrow \boxed{U_{AB} = 2{,}7\ V}$

02. O circuito da lanterna é mostrado a seguir.



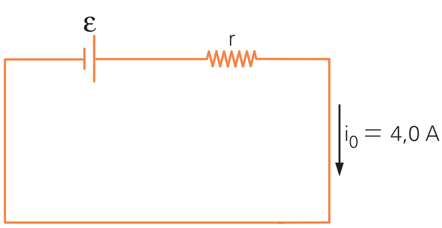
Podemos calcular a corrente pela Lei de Ohm-Pouillet. Note que os dois geradores estão em série e as três resistências também.

$$i = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{3+3}{5+0{,}5+0{,}5} = 1{,}0\ A$$

Somando as tensões na malha, resulta:

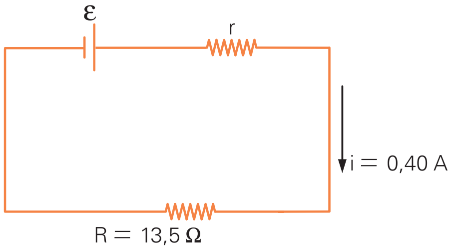
$-\varepsilon + ri - \varepsilon + ri + Ri = 0 \Rightarrow -3 + 0{,}5i - 3 + 0{,}5i + 5i = 0 \Rightarrow \boxed{i = 1\ A}$

03. 1º caso: (R = 0)



$\varepsilon = 4{,}0 \cdot r$ (I)

2º caso: (R = 13,5 Ω)



$R \cdot i = \varepsilon - r \cdot i$

$5{,}4 = \varepsilon - 0{,}40 \cdot r$ (II)

De (I) e (II), vem: $\boxed{\varepsilon = 6{,}0\ V}$ $\boxed{r = 1{,}5\ \Omega}$

04. a) A corrente elétrica é dada por:

$$i = \frac{3{,}0 - 1{,}5}{10 + 20} \Rightarrow \boxed{i = 0{,}050\ A}$$

b) $V_A - V_B = 1{,}5 + 10 \cdot 0{,}050 \Rightarrow \boxed{V_A - V_B = 2{,}0\ V}$

Portanto, o lado de maior potencial é o que contém o ponto A.

c) A pilha que "descarrega" é aquela que funciona como gerador, ou seja, a pilha de 3,0 V.

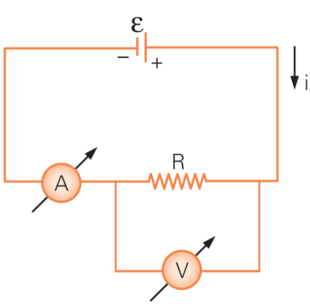
05. Da Lei de Ohm-Pouillet, temos:

$$-\varepsilon_1 + i \cdot R_1 - \frac{\varepsilon_1}{4} + i \cdot \frac{R_1}{4} - \frac{\varepsilon_1}{4} + i \cdot \frac{R_1}{4} = 0 \Rightarrow i = \frac{\varepsilon_1}{R_1}$$

Como $\varepsilon_1 = 4\varepsilon$ e $R_1 = 4R$ resulta:

$$\boxed{i = \frac{\varepsilon}{R}}$$

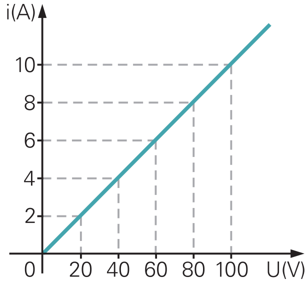
06. a) Para verificar a Lei de Ohm-Pouillet, devemos medir a corrente e a d.d.p. no resistor R. Para isso, associamos o amperímetro em série e o voltímetro em paralelo com o resistor, como mostra o esquema a seguir:



b) Da definição de resistência elétrica, para U = 100 V, temos:

$$R = \frac{U}{i} \Rightarrow 10 = \frac{100}{i} \Rightarrow i = 10\ A$$

Montando o gráfico da corrente *versus* d.d.p., temos:



07. Admitindo medidores ideais, temos:

- resistência externa equivalente:

$$R_{eq.} = \frac{R}{4} \Rightarrow R_{eq.} = \frac{1200}{4} \Rightarrow R_{eq.} = 300\ \Omega$$

- corrente no gerador:

$$i = \frac{\varepsilon}{R_{eq.} + r} \Rightarrow i = \frac{8}{300 + 100} \Rightarrow i = 2 \cdot 10^{-2}\ A$$

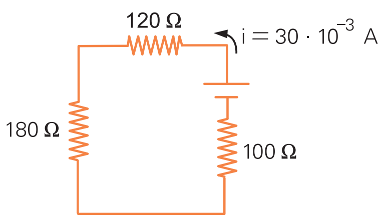
a) O amperímetro lê $\frac{3}{4}$ da corrente no gerador, ou seja:

$$L_A = \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \boxed{L_A = 1{,}5 \cdot 10^{-2}\ A}$$

b) O voltímetro lê a tensão fornecida pelo gerador, logo:

$$L_V = \varepsilon - ri \Rightarrow L_V = 8 - 100 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \boxed{L_V = 6\ V}$$

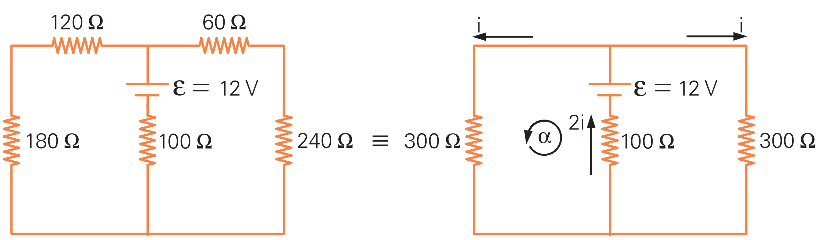
08. a) Com a chave aberta, as resistências de 60 Ω e 240 Ω não são percorridas por corrente. Supondo o amperímetro ideal, o circuito pode ser representado como segue:



Da definição de resistência $\left(R = \frac{U}{i}\right)$, temos:

$$\varepsilon = R_{eq.} \cdot i \Rightarrow \varepsilon = (100 + 180 + 120) \cdot 30 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = 12\ V}$$

b) Com a chave *k* fechada, o circuito pode ser representado como:



Sendo *i* a corrente indicada no amperímetro, da malha α, vem:

$300 \cdot i + 100 \cdot 2 \cdot i - 12 = 0 \Rightarrow 500 \cdot i = 12 \Rightarrow i = 0{,}024\ A \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{i = 24\ mA}$

09. a) Com a chave aberta, temos;

$$i = \frac{\varepsilon}{R} \Rightarrow i = \frac{15}{60} \Rightarrow \boxed{i = 0{,}25\ A}$$

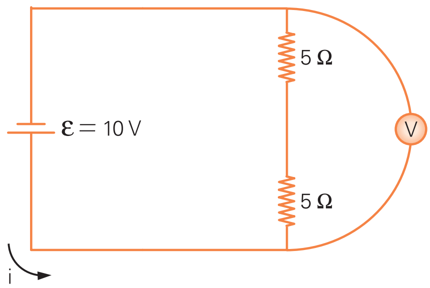
b) Com a chave fechada, a resistência equivalente do circuito será:

$$R_{eq.} = \frac{30 \cdot 60}{30 + 60} = 20\ \Omega$$

Logo, temos:

$$i = \frac{\varepsilon}{R_{eq.}} \Rightarrow i = \frac{15}{20} \Rightarrow \boxed{i = 0{,}75\ A}$$

10. Redesenhemos o circuito calculando a resistência equivalente



Cálculo da corrente (i):

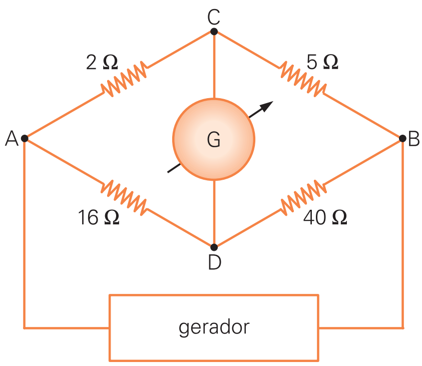
$$i = \frac{\varepsilon}{R_{eq.}} = \frac{10}{10} = 1{,}0\ A$$

a) A leitura do amperímetro (L_A) é a metade da corrente total, pois as resistências são iguais.

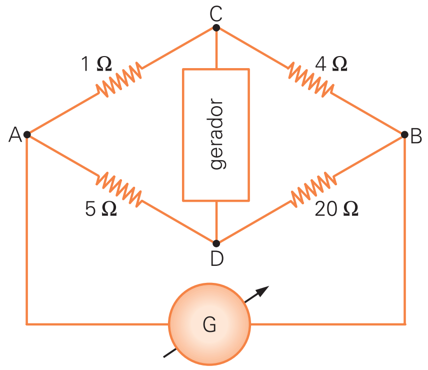
$$L_A = \frac{i}{2} \Rightarrow \boxed{L_A = 0{,}5\ A}$$

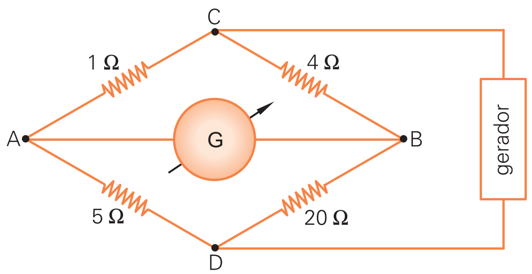
b) O voltímetro lê diretamente a força eletromotriz da bateria, portanto, $L_V = 10$ V.

11. a) Já que o produto das resistências do trecho AC e DB é igual ao produto dos trechos AD e CB, ou seja, 2 · 40 = 16 · 5, temos uma ponte de Wheatstone equilibrada, logo, a leitura do galvanômetro é nula.



b) Marcando pontos nos nós podemos esquematizar o circuito de outra maneira:





Desse modo, como $5 \cdot 4 = 20 \cdot 1$, temos uma ponte de Wheatstone em equilíbrio.

Portanto, o galvanômetro indica zero.

12. Na associação dos resistores, o ramo superior e o inferior possuem a mesma resistência equivalente (2R), logo as intensidades das correntes nos pontos A e B são iguais, ou seja, $i_A = i_B$.

Os potenciais de A e B são:

a) $$\left| \begin{array}{l} V_A = 6 - R \cdot i_A \\ V_B = 6 - R \cdot i_B \end{array} \right. \Rightarrow V_A = V_B \Rightarrow \boxed{V_A - V_B = 0}$$

b) O resistor equivalente da associação é:

$$R_{eq.} = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} \Rightarrow R_{eq.} = R = 2\ \Omega$$

A intensidade da corrente elétrica i_A é dada por:

$$U = R_{eq.}(i_A + i_B) \Rightarrow 6 = 2 \cdot 2i_A \Rightarrow \boxed{i_A = 1{,}5\ A}$$

13. a) A intensidade da corrente será igual em todas as lâmpadas, com um valor de $\frac{i}{2}$.

b) Sim. Como todas possuem um mesmo valor de resistência e corrente elétrica, os valores das potências serão iguais, ou seja, terão o mesmo brilho.

c) Como o circuito é uma ponte de Wheatstone em equilíbrio, a corrente que percorre o resistor desconhecido *r* é nula.

d) Não, pois não há corrente percorrendo o resistor *r*.

14. a) Da associação de resistores, temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2R_L} + \frac{1}{2R_L} \Rightarrow \boxed{R_{eq.} = R_L}$$

b) Como cada lâmpada está submetida a 110 V, a potência de cada uma será 100 W e o brilho será "normal".

15. Da Lei de Ohm-Pouillet, temos:

$U_{AB} = Ri + R'i \Rightarrow 14 = 2i + 5i \Rightarrow i = 2\ A$

Assim, a leitura do voltímetro L_V é dada por:

$L_V = R'i = 5 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{L_V = 10\ V}$

16. Como o amperímetro indica 2 A, a d.d.p. nos terminais do resistor $R_1 = 3\ \Omega$ é dada por:

$U = R_1 i_1 = 3 \cdot 2 \Rightarrow U = 6\ V$

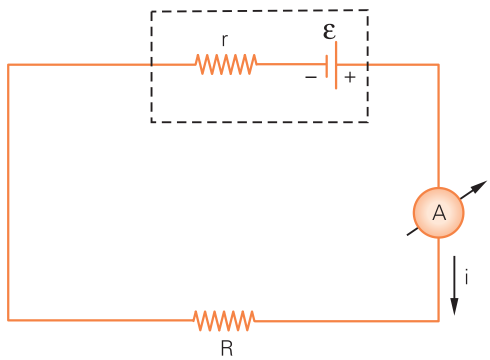
Com o resistor $R_2 = 6\ \Omega$ em paralelo, temos:

$U = R_2 i_2 \Rightarrow 6 = 6 \cdot i_2 \Rightarrow i_2 = 1\ A$

Desse modo, calculando a marcação do voltímetro através da Lei de Ohm-Pouillet, sabendo que a corrente total no circuito é de $i = i_1 + i_2 = 3\ A$, temos:

$L_V = 8 \cdot i + 2 \cdot i + 3 \cdot i_1 \Rightarrow L_V = 8 \cdot 3 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{L_V = 36\ V}$

17. a) Esquematicamente, temos:



b) Para que não interfira no valor da corrente medida, a resistência interna do amperímetro deve ser **desprezível**, quando comparada às outras resistências do circuito.

18. Seja ε a força eletromotriz da bateria.
Para o circuito com o fio de resistência **desprezível** entre *a* e *b*:

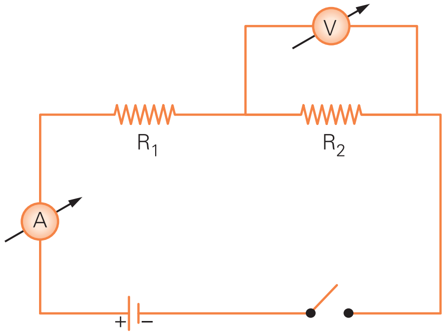
$\varepsilon = (R_{amp} + R) \cdot i_1 \Rightarrow \varepsilon = (100 + 1\,400) \cdot 10^{-3} \Rightarrow \varepsilon = 1\,500 \cdot 10^{-3}\ V$

Para o circuito com um resistor de resistência desconhecida (R_x) entre *a* e *b*.

$\varepsilon = (R_{amp} + R + R_x) \cdot i_2 \Rightarrow 1\,500 \cdot \cancel{10^{-3}} = (100 + 1\,400 + R_x) \cdot 0{,}2 \cdot \cancel{10^{-3}} \Rightarrow$

$\Rightarrow 1\,500 = 300 + 0{,}2\ R_x \Rightarrow 0{,}2\ R_x = 1\,200 \Rightarrow \boxed{R_x = 6\,000\ \Omega}$

19. a) O circuito pode ser representado como segue:



b) Aplicando a Lei de Ohm-Pouillet no circuito com duas pilhas em série ($\varepsilon = 2 \cdot 1{,}5 = 3{,}0$ V), temos:

$(R_1 + R_2) \cdot i - \varepsilon = 0 \Rightarrow (100 + 200) \cdot i - 3 = 0 \Rightarrow i = 0{,}01$ A

Para o resistor R_2, vem:

$U = R_2 \cdot i = 200 \cdot 0{,}01 = 2{,}0$ V

Assim, as leituras L_A e L_V do amperímetro e do voltímetro, respectivamente, são dadas por:

$$\left| \begin{array}{l} L_A = i \\ L_V = U \end{array} \right. \Rightarrow \left| \begin{array}{l} \boxed{L_A = 0{,}01\text{ A}} \\ \boxed{L_V = 2{,}0\text{ V}} \end{array} \right.$$

20. a) Usando as Leis de Kirchhoff para o circuito, sabendo que $I_3 = I_1 + I_2$, para a malha externa, temos:

$-6 + 17 + 6 \cdot (I_1 + I_2) + 2 \cdot I_1 = 0 \Rightarrow 11 + 8 \cdot I_1 + 6 \cdot I_2 = 0$ (I)

Para a malha da direita, temos:

$-6 + 17 + 6 \cdot (I_1 + I_2) + 4 \cdot I_2 = 0 \Rightarrow 11 + 6 \cdot I_1 + 10 \cdot I_2 = 0$ (II)

Fazendo 6x(I) – 8x(II), temos:

$66 + 48 \cdot I_1 + 36 \cdot I_2 - 88 - 48 \cdot I_1 - 80 \cdot I_2 = 0 \Rightarrow -44 \cdot I_2 = 22 \Rightarrow$

$\Rightarrow I_2 = -0{,}5$ A

Assim, de (I), vem:

$11 + 8 \cdot I_1 + 6 \cdot I_2 = 0 \Rightarrow 11 + 8 \cdot I_1 + 6 \cdot (-0{,}5) = 0 \Rightarrow I_1 = -1$ A

Sabendo que $I_3 = I_1 + I_2$, temos:

$I_3 = -1{,}5$ A

Assim, as correntes I_1, I_2 e I_3 são respectivamente 1,0 A; 0,5 A e 1,5 A com sentidos opostos ao convencionados na figura do enunciado.

b) A d.d.p. entre A e B é dada por:

$U_{AB} = 6 + 4 \cdot I_2 = 6 + 4 \cdot 0{,}5 \Rightarrow \boxed{U_{AB} = 8\text{ V}}$

21. a) Dos gráficos x = x(t) decorre:

$$\left| \begin{array}{l} x = 35\text{ m (valor interpolado para } t = 1{,}5\text{ s)} \\ x_0 = 15\text{ m (valor interpolado para } t_0 = 0{,}5\text{ s)} \end{array} \right.$$

$\Delta x = x - x_0 \Rightarrow \Delta x = 35 - 15 \Rightarrow \boxed{\Delta x = 20\text{ m}}$

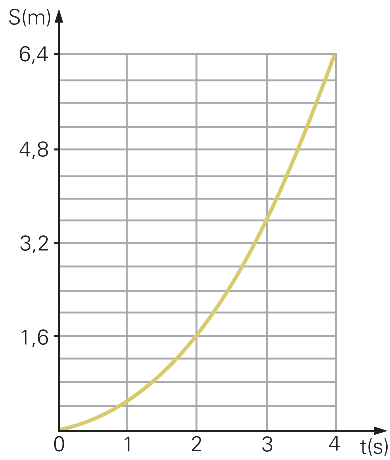
b) $\begin{vmatrix} x_1 = 0 \text{ (leitura no gráfico para } t_1 = 0{,}0 \text{ s)} \\ x_2 = 40 \text{ m (leitura no gráfico para } t_2 = 2{,}0 \text{ s)} \end{vmatrix}$

Sendo $v_m = \dfrac{\text{Ø}x}{\text{Ø}t} = \dfrac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow v_m = \dfrac{40 - 0}{2{,}0 - 0{,}0} \Rightarrow \boxed{v_m = 20 \text{ m/s}}$.

c) No instante t = 2,0 s a velocidade é de mesmo valor que a média entre t' = 1,0 s e $t_2 = 2{,}0$ s.

Assim temos $\begin{vmatrix} v = \dfrac{x_2 - x'}{t_2 - t'} \\ x' = 30 \text{ m} \end{vmatrix} \Rightarrow v = \dfrac{40 - 30}{2{,}0 - 1{,}0} \Rightarrow \boxed{v = 10 \text{ m/s}}$.

22. a) Esboço de S = S(t):



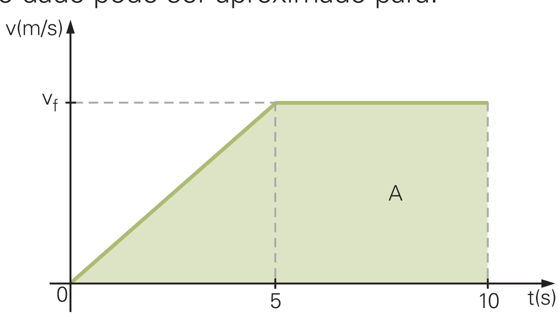
b) Da definição de velocidade média, vem:

$v_m = \dfrac{S - S_0}{t - t_0} = \dfrac{3{,}6 - 0{,}4}{3 - 1} \Rightarrow \boxed{v_m = 1{,}6 \text{ m/s}}$

23. a) Sua velocidade média será dada por:

$\begin{vmatrix} v_m = \dfrac{\Delta S}{\Delta t} \\ \Delta S = 100 \text{ m} \\ \Delta t = 10 \text{ s} \end{vmatrix} \Rightarrow v_m = \dfrac{100}{10} \Rightarrow \boxed{v_m = 10 \text{ m/s}}$

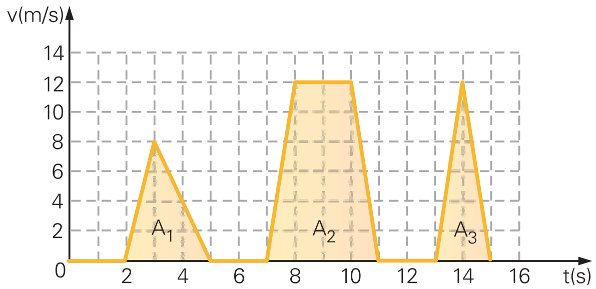
b) O gráfico dado pode ser aproximado para:



$\begin{vmatrix} \Delta S \overset{N}{=} A \\ \Delta S = 100 \text{ m} \\ A = \dfrac{(10 + 5)v_f}{2} \end{vmatrix} \Rightarrow 100 = \dfrac{(10 + 5)v_f}{2} \Rightarrow \boxed{v_f = 13 \text{ m/s}}$

A velocidade final do atleta será aproximadamente 13 m/s.

24. a) No gráfico da velocidade em função do tempo, a área sob a curva é numericamente igual ao deslocamento escalar. Assim, temos:



$$A_1 \overset{N}{=} \Delta S_1 \Rightarrow \Delta S_1 = \frac{(5-2)\cdot 8}{2} \Rightarrow \Delta S_1 = 12 \text{ m}$$

$$A_2 \overset{N}{=} \Delta S_2 \Rightarrow \Delta S_2 = \frac{((11-7+(10-8))\cdot 12}{2} \Rightarrow \Delta S_2 = 36 \text{ m}$$

$$A_3 \overset{N}{=} \Delta S_3 \Rightarrow \Delta S_3 = \frac{(15-13)\cdot 12}{2} \Rightarrow \Delta S_3 = 12 \text{ m}$$

A distância total (d) percorrida durante 15 s de trabalho é dada por:

$$d = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = 12 + 36 + 12 \Rightarrow \boxed{d = 60 \text{ m}}$$

b) Da definição de velocidade escalar média, para 15 s de trabalho, temos:

$$v_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{60}{15} \Rightarrow \boxed{v_m = 4 \text{ m/s}}$$

25. a) para t = 5 s, temos:

$$x = 2 + 0{,}1(5)^2 \Rightarrow x = 2 + 2{,}5 \Rightarrow \boxed{x = 4{,}5 \text{ m}}$$

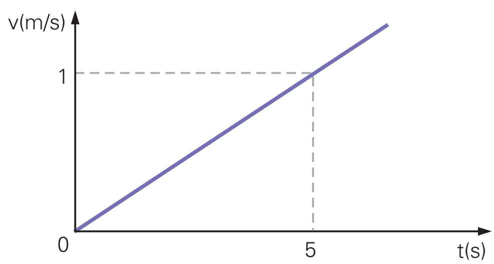
b) Da equação fornecida, vem:

$$\left| \begin{array}{l} x = 2 + 0{,}1 \cdot t^2 \\ x = x_0 + v_0 + \frac{a}{2}t^2 \end{array} \right. \Rightarrow \left| \begin{array}{l} v_0 = 0 \\ a = 0{,}2 \text{ m/s}^2 \end{array} \right.$$

Assim, temos:

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = 0{,}2 \cdot t$$

Portanto o gráfico v *versus* t é dado por:



26. a) Da análise do gráfico temos:

- de 0 a 10 s – movimento retilíneo uniformemente acelerado;
- de 10 a 30 s – movimento retilíneo uniforme;
- de 30 a 40 s – movimento retilíneo uniformemente retardado.

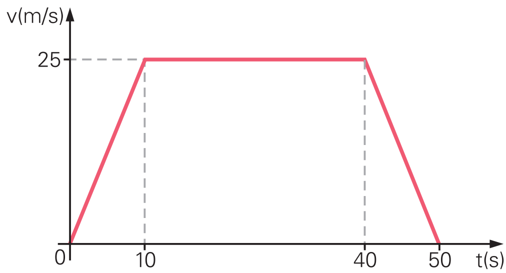
b) No gráfico da velocidade *versus* tempo, a área sob a curva é numericamente igual ao deslocamento escalar. Assim temos:

$$A \overset{N}{=} \Delta S \Rightarrow \Delta S = \frac{(40 + 20) \cdot 20}{2} \Rightarrow \Delta S = 600 \text{ m}$$

Da definição de velocidade escalar média, vem:

$$v_m = \frac{\varnothing S}{\varnothing t} = \frac{600}{40} \Rightarrow \boxed{v_m = 15 \text{ m/s}}$$

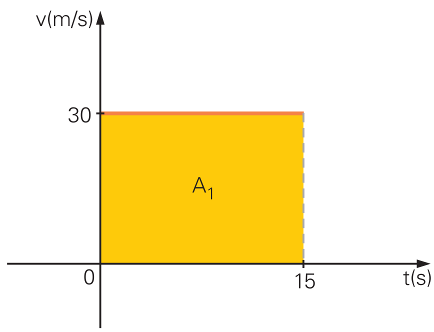
27. a) Sendo 90 km/h = 25 m/s, temos:



b) Como no gráfico v = v(t), numericamente, temos:

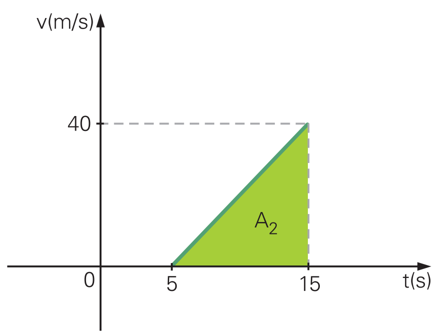
$$\Delta S \overset{N}{=} \text{área do trapézio} \Rightarrow \Delta S = \frac{(50 + 30)25}{2} \Rightarrow \boxed{\Delta S = 1{,}0 \cdot 10^3 \text{ m}}$$

28. a) No gráfico da velocidade em função do tempo a área sob a curva é numericamente igual ao deslocamento escalar.
Para o veículo A, temos:



$$A_1 \overset{N}{=} \Delta S_A \Rightarrow \Delta S_A = 15 \cdot 30 \Rightarrow \Delta S_A = 450 \text{ m}$$

Para o veículo B, temos:



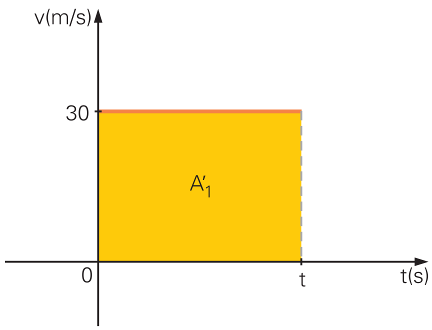
$$A_2 \overset{N}{=} \Delta S_B \Rightarrow \Delta S_B = \frac{(15 - 5) \cdot 40}{2} \Rightarrow \Delta S_B = 200 \text{ m}$$

Assim, a distância *d* que separa o veículo B de A no instante t = 15,0 s é dada por:

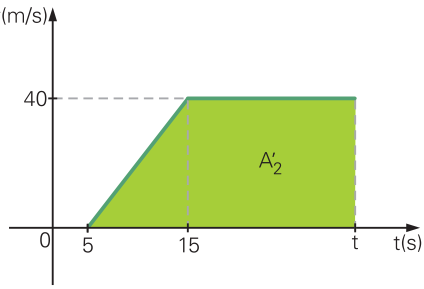
$d = \Delta S_A - \Delta S_B = 450 - 200 \Rightarrow \boxed{d = 250\ m}$

b) No instante *t* em que o veículo B alcança A, temos:

Veículo A



Veículo B

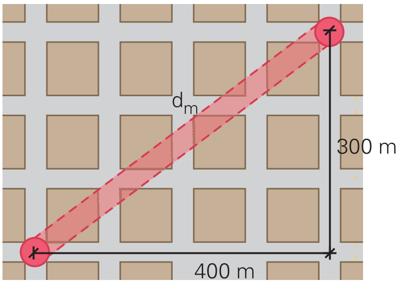


$$A'_1 = A'_2 \Rightarrow t \cdot 30 = \frac{(t - 5 + t - 15) \cdot 40}{2} \Rightarrow t \cdot 30 = (2t - 20) \cdot 20 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{t = 40\ s}$$

29. a) Do mapa, a menor distância (d_c) que um carro pode percorrer entre as duas estações é $d_c = 700$ m.

b) A distância (d_m) percorrida pelo metrô para ir de uma estação à outra é dada por:



$$d_m = \sqrt{400^2 + 300^2} \Rightarrow d_m = 500\ m$$

Assim, da definição de velocidade escalar média, o tempo (t_m) é dado por:

$$v_m = \frac{d_m}{t_m} \Rightarrow \frac{36}{3{,}6} = \frac{500}{t_m} \Rightarrow \boxed{t_m = 50\ s}$$

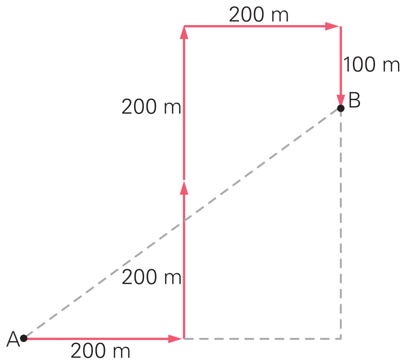
c) O tempo (t_c) é dado por:

$$t_c = \frac{d_c}{v_c} \Rightarrow t_c = \frac{700}{\frac{18}{3{,}6}} \Rightarrow t_c = 140\ s$$

Calculando $\frac{t_c}{t_m}$ vem:

$$\frac{t_c}{t_m} = \frac{140}{50} \Rightarrow \boxed{\frac{t_c}{t_m} = 2{,}8}$$

30. a) O menor tempo será gasto quando o percurso for mínimo, conforme indica a figura a seguir.

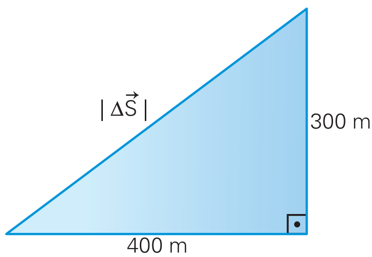


Temos:

$$\left|\begin{array}{l} v_m = \dfrac{d}{\Delta t} \\ v_m = 18\,km/h = 5{,}0\,m/s \Rightarrow \Delta t = \dfrac{d}{v_m} = \dfrac{900}{5{,}0} \Rightarrow \Delta t = 180\,s \Rightarrow \\ d = 900\,m \end{array}\right.$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta t = 3{,}0\ min}$$

b) O módulo do deslocamento vetorial ($|\Delta\vec{S}|$) da ambulância é a hipotenusa do triângulo retângulo de catetos 300 m e 400 m. Aplicando o Teorema de Pitágoras, temos:



$|\Delta\vec{S}| = \sqrt{300^2 + 400^2} = 500$ m. Assim:

$$|\vec{v}_m| = \frac{|\Delta\vec{S}|}{\Delta t} = \frac{500}{180}\ m/s \Rightarrow \boxed{|\vec{v}_m| = 10\,km/h}$$

31. a) Em 2 s a partícula percorre meia volta. Logo, o módulo do deslocamento vetorial é igual ao diâmetro da circunferência. Assim, temos:

$$|\Delta\vec{S}| = 2 \cdot R = 2 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{|\Delta\vec{S}| = 10\ cm}$$

b) O módulo da velocidade vetorial média é dado por:

$$|\vec{v}_m| = \frac{|\Delta\vec{S}|}{\Delta t} = \frac{10}{2} \Rightarrow \boxed{|\vec{v}_m| = 5\,cm/s}$$

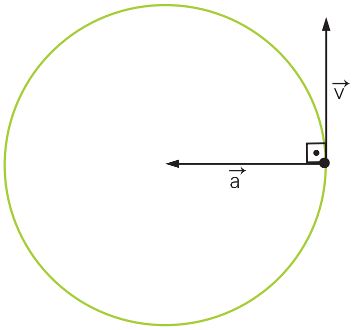
32. a) Em meia volta, o módulo do vetor deslocamento ($|\Delta\vec{S}|$) é dado por:

$$|\Delta\vec{S}| = 2R \Rightarrow \boxed{|\Delta\vec{S}| = 40\,cm}$$

b) O módulo da aceleração resultante ($|\vec{\gamma}|$) é dado por:

$$\left|\begin{aligned} &|\vec{\gamma}| = |\vec{a}_{cp}| \\ &|\vec{a}_{cp}| = \frac{v^2}{R} \\ &v = \frac{2\pi R}{T} \end{aligned}\right. \Rightarrow |\vec{\gamma}| = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R} \Rightarrow |\vec{\gamma}| = \frac{\left(\frac{(2\pi 20)}{2}\right)^2}{20} \Rightarrow \boxed{|\vec{\gamma}| = 20\pi^2 \text{ cm/s}^2}$$

33. a) Como a velocidade angular é constante, temos um movimento circular uniforme:



b) Da definição de velocidade angular, vem:

$$\left|\begin{aligned} &\omega = \frac{v}{R} \\ &\omega = \frac{2\pi}{T} \end{aligned}\right. \Rightarrow \frac{2\pi}{T} = \frac{v}{R} \Rightarrow \frac{2\pi}{10} = \frac{v}{2} \Rightarrow \boxed{v = 0{,}4\ \pi \text{ m/s}}$$

Da definição de aceleração centrípeta, temos:

$$a = a_{cp} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a = \frac{(0{,}4\pi)^2}{2} \Rightarrow a = \frac{0{,}16 \cdot 10}{2} \Rightarrow \boxed{a = 0{,}8 \text{ m/s}^2}$$

34. a) No MRU, temos $\vec{\gamma} = \vec{0}$.

b) No MRUV, temos $\vec{\gamma} = \vec{a}_t$.

c) No MCU, temos $\vec{\gamma} = \vec{a}_{cp}$.

d) No MCUV, temos $\vec{\gamma} = \vec{a}_t + \vec{a}_{cp}$.

35. a) Sabendo-se que a constante elástica *k* da mola corresponde à inclinação da reta tangente ao gráfico, vem:

$$\left|\begin{aligned} &F = kx \\ &k = 4 \cdot 10^3 \text{ N/cm} \end{aligned}\right. \Rightarrow 30 \cdot 10^3 = 4 \cdot 10^3 \cdot x \Rightarrow \boxed{x = 7{,}5 \text{ cm}}$$

b) A constante elástica da mola em N/m é dada por:

$$k = \frac{4 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^{-2}} \frac{\text{N}}{\text{m}} \Rightarrow \boxed{k = 4{,}0 \cdot 10^5 \text{ N/m}}$$

36. Pelo gráfico, temos:

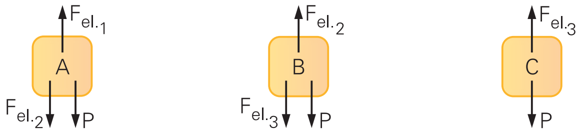
$$k = \frac{F_e}{x} \Rightarrow k = \frac{375 \text{ N}}{15 \text{ cm}} \Rightarrow k = 25 \text{ N/cm}$$

Para uma força de 150 N, o comprimento final L da mola será:

$$L = L_0 + x' \Rightarrow L = 1{,}2 + \frac{F'_e}{k} \Rightarrow L = 1{,}2 \text{ m} + \frac{150 \text{ N}}{25 \text{ N/cm}} \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{cm}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{L = 1{,}26 \text{ m}}$$

37. Marcando as forças sobre os corpos, temos:



No equilíbrio, vem:

$$\begin{cases} F_{el_3} = P \\ F_{el_2} = P + F_{el_3} \\ F_{el_1} = P + F_{el_2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2x_3 = 4 \\ 2x_2 = 4 + 4 \\ 2x_1 = 4 + 8 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_3 = 2\text{ cm} \\ x_2 = 4\text{ cm} \\ x_1 = 6\text{ cm} \end{cases}$$

Como cada mola apresenta L = 20 cm quando relaxada, os novos comprimentos serão:

$$\begin{cases} L_1 = x_1 + L \\ L_2 = x_2 + L \\ L_3 = x_3 + L \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} L_1 = 6 + 20 \\ L_2 = 4 + 20 \\ L_3 = 2 + 20 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \boxed{L_1 = 26\text{ cm}} \\ \boxed{L_2 = 24\text{ cm}} \\ \boxed{L_3 = 22\text{ cm}} \end{cases}$$

38. a) Isolando as forças em cada bola, no instante t = 0, temos:

$$\begin{cases} F_{el} = m_2 g \\ m_1 \gamma = m_1 g + F_{el} \end{cases} \Rightarrow m_1 \gamma = m_1 g + m_2 g \Rightarrow \gamma = \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) g$$

b) No instante t = 0, a bola (2) ainda está em equilíbrio, e sua aceleração é nula.

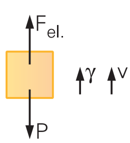
39. a) No equilíbrio, temos:

$F_e = P \Rightarrow kx = mg \Rightarrow 4x = 0,5 \cdot 10 \Rightarrow x = 1,25$ m

Como a mola possui 4 m de comprimento quando relaxada, temos que o novo comprimento L′ é dado por:

$L' = x + L = 1,25 + 4 \Rightarrow \boxed{L' = 5,25\text{ m}}$

b) Marcando as forças sobre o corpo, temos:



Como o corpo sobe em movimento acelerado, fica:

$F_e - P = m\gamma \Rightarrow kx' - mg = m\gamma \Rightarrow 4x' - 0,5 \cdot 10 = 0,5 \cdot 2 \Rightarrow x' = 1,50$ m

O novo comprimento L″ da mola é obtido de:

$L'' = x' + L = 1,50 + 4 \Rightarrow \boxed{L'' = 5,50\text{ m}}$

40. Para o equilíbrio do bloco de 3 kg, temos:

$$F_{el_3} = P \Rightarrow k \cdot x_3 = m \cdot g \Rightarrow 300 \cdot x_3 = 3 \cdot 10 \Rightarrow \boxed{x_3 = 1 \cdot 10^{-1}\ \text{m}}$$

Para o equilíbrio da haste que interliga a mola 1 e 2 com a mola 3, temos:

$$\left|\begin{array}{l} F_{el_3} = F_{el_1} + F_{el_2} \\ F_{el_1} = F_{el_2} \end{array}\right. \Rightarrow 300 \cdot x_3 = 2 \cdot 300 \cdot x_1 \Rightarrow \boxed{x_1 = x_2 = 5 \cdot 10^{-2}\ \text{m}}$$

41. As forças aplicadas no balde são o seu peso, de módulo Mg, orientada para baixo, e a força elástica da mola, orientada para cima, de módulo $F = kx$, sendo *x* o módulo da elongação da mola.

a) Nessa situação, a força resultante sobre o balde é nula, uma vez que o balde tem aceleração nula. Portanto, temos:

$$Mg = kx_0 \Rightarrow \boxed{x_0 = Mg/k}$$

b) Nessa nova situação, o balde está acelerado, de modo que a força resultante sobre ele satisfaz a Segunda Lei de Newton. Sendo $kx_0 = Mg$, temos:

$$R = m\gamma \Rightarrow k(x_0 + d) - Mg = M\gamma \Rightarrow kx_0 + kd - Mg = M\gamma \Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{kd}{M}}$$

42. A inclinação do gráfico fornece a constante elástica das molas. Logo, temos:

$$k_A = \frac{\varnothing F_{el}^{A}}{\varnothing x_A} \Rightarrow k_A = \frac{100}{0{,}1} \Rightarrow k_A = 1\,000\ \text{N/m}$$

$$k_B = \frac{\varnothing F_{el}^{B}}{\varnothing x_B} \Rightarrow k_B = \frac{50}{0{,}1} \Rightarrow k_B = 500\ \text{N/m}$$

Para as associações das molas, temos:

a) $k_{eq.} = \dfrac{1000 \cdot 500}{1000 + 500} \Rightarrow \boxed{k_{eq.} = \dfrac{1000}{3}\ \text{N/m}}$

b) $k_{eq.} = 100 + 500 \Rightarrow \boxed{k_{eq.} = 1\,500\ \text{N/m}}$

c) $k_{eq.} = \dfrac{1000 \cdot 1000}{1000 + 1000} + 500 \Rightarrow \boxed{k_{eq.} = 1\,000\ \text{N/m}}$

d) $k_{eq.} = \dfrac{(6 \cdot 500) \cdot 1000}{(6 \cdot 500) + 1000} \Rightarrow \boxed{k_{eq.} = 750\ \text{N/m}}$

43. Para que o carrinho tenha velocidade constante, a força aplicada pelo motor deve ter módulo igual ao da força aplicada pelo jato d'água. Assim, temos:

$$F = F_v \Rightarrow F = C \cdot v_0 \Rightarrow F = 200 \cdot 20 \Rightarrow F = 4\,000\ \text{N}$$

Da definição de trabalho realizado por uma força constante, ao longo de um deslocamento $d = v_0 \cdot \Delta t = 20 \cdot 10 = 200$ m, vem:

$${}_{\vec{F}}\tau = F \cdot d \Rightarrow {}_{\vec{F}}\tau = 4\,000 \cdot 200 \Rightarrow \boxed{{}_{\vec{F}}\tau = 8{,}0 \cdot 10^{5}\ \text{J}}$$

44. a) Como a distância percorrida pelo tubo em queda livre até atingir a cabeça do executivo é 3,2 m, então, pela Equação de Torricelli, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2\ g\ \Delta S \Rightarrow v^2 = 0^2 + 2 \cdot 10 \cdot 3,2 \Rightarrow \boxed{v = 8,0\ m/s}$$

b) O trabalho da força peso na ascensão é dado por:

$$\tau_{\vec{P}} = -mgh \Rightarrow \tau_{\vec{P}} = -450 \cdot 10 \cdot 5,5 \Rightarrow \boxed{\tau_{\vec{P}} = -24\,750\ J}$$

45. a) Como o bloco está em MRU, a força resultante é nula. Assim:

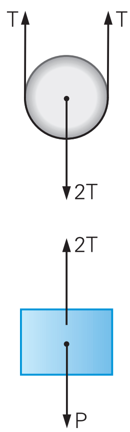
$$\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow F = P\ sen\ 30^o \Rightarrow 2 = m \cdot 10 \cdot 0,5 \Rightarrow \boxed{m = 0,4\ kg}$$

b) O ângulo formado entre o vetor peso e o vetor deslocamento é $\alpha = 120^o$.

O trabalho realizado pelo peso é dado por:

$$\left|\begin{array}{l} \tau_{\vec{P}} = P \cdot d \cdot \cos\alpha \\ P = mg = 4N \\ d = 0,8\ m \end{array}\right. \Rightarrow \boxed{\tau_{\vec{P}} = -1,6\ J}$$

46. a) Esquema de forças:



Sendo a aceleração nula, temos:

$$\left|\begin{array}{l} 2T = P = M \cdot g \\ T = F \end{array}\right. \Rightarrow 2F = M \cdot g \Rightarrow F = \frac{50,0 \cdot 10}{2} \Rightarrow \boxed{F = 2,5 \cdot 10^2\ N}$$

b) O trabalho (τ) é:

$$\left|\begin{array}{l} \tau = F \cdot d \\ d = 3,0\ m \end{array}\right. \Rightarrow \tau = 2,5 \cdot 10^2 \cdot 3,0 \Rightarrow \boxed{\tau = 7,5 \cdot 10^2\ J}$$

47. a) O trabalho da força F_1 é numericamente igual a área sob o gráfico F_1 *versus* x, para $0 \le x \le 10$ (m).

Assim, temos:

$$\tau_{\vec{F}_1} \overset{N}{=} A \Rightarrow \tau_{\vec{F}_1} = \frac{(60 + 20) \cdot 10}{2} \Rightarrow \boxed{\tau_{\vec{F}_1} = 400\ J}$$

b) Sabendo-se que o trabalho da força de atrito é resistente, e aplicando o mesmo procedimento do item *a*, vem:

$$\tau_{\vec{f}_{at.}} \overset{N}{=} A \Rightarrow \tau_{\vec{f}_{at.}} = -\frac{20 \cdot 10}{2} \Rightarrow \boxed{\tau_{\vec{f}_{at.}} = -100\ J}$$

c) Do gráfico de F_1, temos:

$F = 4x + 20$

Para x = 15 m, vem:

$F = 4 \cdot 15 + 20 \Rightarrow F = 80\ \text{N}$

Assim, o trabalho da força resultante para arrastar o corpo nos primeiros 15 m é dado por:

$$\left| \begin{array}{l} {}_{\vec{R}}\tau = {}_{\vec{F}_1}\tau + {}_{\vec{f}_{at.}}\tau \\ {}_{\vec{F}}\tau \overset{N}{=} \text{área} \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow {}_{\vec{R}}\tau = \frac{(80+20)\cdot 15}{2} - \left[\left(\frac{20\cdot 10}{2}\right) + \left(\frac{20\cdot(15-10)}{2}\right)\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow {}_{\vec{R}}\tau = 750 - 150 \Rightarrow \boxed{{}_{\vec{R}}\tau = 600\ \text{J}}$$

48. Supondo que, ao se colocarem as massas, sempre se manteve o equilíbrio ($R = 0 \Rightarrow F_{el.} = P$), podemos calcular a constante elástica da mola como segue:

$F_{el.} = mg \Rightarrow k(17 - 12) \cdot 10^{-2} = 0{,}1 \cdot 10 \Rightarrow k = 20\ \text{N/m}$

Considerando que a mola vai da posição de equilíbrio (x = 0) até a posição x = 20 cm = 0,2 m, o trabalho realizado pela força elástica para esse deslocamento é dado por:

$${}_{\vec{F}_{el.}}\tau = -\frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow {}_{\vec{F}_{el.}}\tau = -\frac{20 \cdot 0{,}2^2}{2} \Rightarrow \boxed{{}_{\vec{F}_{el.}}\tau = -0{,}40\ \text{J}}$$

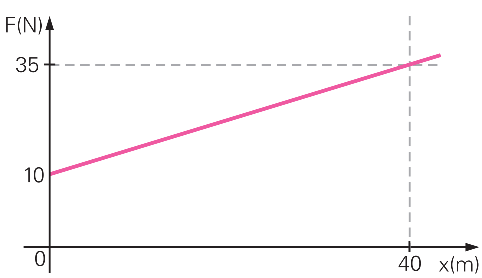
49. A área entre a curva e a abscissa pode ser dividida em duas para encontrar o valor do trabalho realizado. De 0 a 60 m, temos uma área de um trapézio e de 60 m a 80 m, temos a área de um triângulo. Podemos então, calcular o trabalho da seguinte maneira:

$${}_{\vec{F}}\tau = \text{Área}_1 - \text{Área}_2 = \frac{(B+b)\cdot h}{2} - \frac{b \cdot h}{2} = \frac{(60+20)\cdot 20}{2} - \frac{20\cdot 10}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{{}_{\vec{F}}\tau = 700\ \text{J}}$$

50. Para subir a bola de neve lentamente a força F realizada pela criança deve ser numericamente igual à componente $P_{bola} \cdot \text{sen}\ 30°$. Como essa força realizada pela criança para empurrar a bola de neve é variável, podemos montar o gráfico a seguir, cuja área é numericamente igual ao trabalho em questão:

$${}_{\vec{F}}\tau = \text{Área} = \frac{(B+b)\cdot h}{2} \Rightarrow \frac{(35+10)\cdot 40}{2} \Rightarrow \boxed{{}_{\vec{F}}\tau = 900\ \text{J}}$$



51. a) Sendo *d* a densidade da água e V o seu volume, no sistema CGS, a massa *m* de água será dada por:

$m = d \cdot V = d \cdot A \cdot h = 1{,}0 \cdot 100 \cdot 10^{10} \cdot 10 \cdot 10^{-1} \Rightarrow \boxed{m = 1{,}0 \cdot 10^{12} \cdot g}$

b) No intervalo de tempo de 1 s, o nível *h* da chuva na região é dado por $h = \frac{1}{20 \cdot 60} \cdot 10 = \frac{1}{120}$ mm $= 10^{-2}$ mm. Estimando o volume (V') de uma gota de chuva em $V' = 0{,}1$ mL $= 1 \cdot 10^2$ mm^3, a ordem de grandeza do número médio *n* de gotas que caem em $A' = 1$ m^2 = $= 1 \cdot 10^6$ mm^2, durante 1 s, será dada por:

$$n = \frac{A' \cdot h}{V'} = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^2} \Rightarrow \boxed{n = 10^2 \text{ gotas}}$$

52. a) Da definição de massa específica, vem:

$$\left|\begin{array}{l} V = 3 \cdot 10^4 \text{ cm}^3 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \\ \mu = 2{,}5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \mu = \frac{m}{V} \end{array}\right. \Rightarrow 2{,}5 \cdot 10^3 = \frac{m}{3 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{m = 75 \text{ kg}}$$

b) Supondo que a face do bloco apoiada na superfície tenha como lados a medida da largura (l) e do comprimento (c) dados no enunciado, a pressão (p) exercida pelo bloco sobre a superfície é dada por:

$$p = \frac{P}{A} = \frac{m \cdot g}{l \cdot c} = \frac{75 \cdot 10}{20 \cdot 10^{-2} \cdot 50 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{p = 7{,}5 \cdot 10^3 \frac{N}{m^2}}$$

53. a) Estando a jovem parada, a força ($\vec{F}$) que ela exerce sobre o assoalho é numericamente igual ao seu peso. Assim, temos:

$F = P = mg = 60 \cdot 10 \Rightarrow F = 600$ N

Assim, a força que ela exerce sobre o assoalho é dada por:

$$\boxed{\vec{F}\begin{cases} F = 600 \text{ N} \\ \text{direção: vertical} \\ \text{sentido: para baixo} \end{cases}}$$

b) A pressão (p) que esse salto exerce sobre o assoalho é dada por:

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{F}{A} = \frac{1}{3} \cdot \frac{600}{1{,}0 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \boxed{p = 2{,}0 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}}$$

54. a) A aeronave decola no instante em que a força de sustentação supera a força peso. Assim, temos:

$F_{sust.} > P \Rightarrow F_{sust.} > mg \Rightarrow F_{sust.} > 300 \cdot 10 \Rightarrow F_{sust.} > 3{,}0 \cdot 10^3$ N

Pelo gráfico, o primeiro instante em que a força de sustentação supera a força peso é em t = 10 s.

b) A diferença da pressão no instante t = 20 s é dada por:

$$\Delta p = \frac{F_{sust.}}{A} \Rightarrow \Delta p = \frac{3{,}0 \cdot 10^3}{50} \Rightarrow \boxed{\Delta p = 60 \frac{N}{m^2}}$$

55. a) A variação de pressão (Δp) é dada por:

$$\left|\begin{array}{l}\Delta p = \dfrac{\rho v^2}{2} \\ \rho = 1{,}2\ \text{kg/m}^3 \\ v = 180\ \text{km/h} = 50\ \text{m/s}\end{array}\right. \Rightarrow \Delta p = \frac{1{,}2 \cdot 50^2}{2} \Rightarrow \boxed{\Delta p = 1{,}5 \cdot 10^3\ \frac{N}{m^2}}$$

b) A força (F) exercida pelo vento numa superfície de área $A = 5\ 400\ m^2$, quando a variação de pressão é $\Delta p = 1\,500\ N/m^2$, é dada por:

$F = \Delta p \cdot A = 1\,500 \cdot 5\,400 = 8{,}1 \cdot 10^6\ N$

Portanto, a massa máxima (m) que poderia ser levantada é tal que:

$$m \cdot g = F \Rightarrow m = \frac{F}{g} \Rightarrow m = \frac{8{,}1 \cdot 10^6}{10} = 8{,}1 \cdot 10^6\ \text{kg} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{m = 810\ \text{toneladas}}$$

c) A menor velocidade do vento que levantaria o telhado é dada por:

$$\left|\begin{array}{l}\Delta p \cdot A = m \cdot g \\ \Delta p = \dfrac{\rho v^2}{2} \\ m = 250\ t = 2{,}5 \cdot 10^5\ \text{kg}\end{array}\right. \Rightarrow \frac{1{,}2 \cdot v^2}{2} \cdot 5\,400 = 2{,}5 \cdot 10^5 \cdot 10 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{2{,}5 \cdot 10^6 \cdot 2}{1{,}2 \cdot 5\,400} = \frac{5 \cdot 10^6}{6\,480}\ \text{m/s} \Rightarrow \boxed{v = 100\ \text{km/h}}$$

56. a) Da Lei de Stevin, a pressão é (p), tal que:

$$\left|\begin{array}{l}p = p_0 + \mu g h \\ \mu = 1{,}0 \cdot 10^3\ \text{kg/m}^3\end{array}\right. \Rightarrow p = 1{,}0 \cdot 10^5 + 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{p = 1{,}5 \cdot 10^5\ \text{Pa}}$$

b) Para os pontos A e B à mesma profundidade, a pressão será a mesma.

$$p_A = p_B \Rightarrow \boxed{\Delta p = 0}$$

57. a) A coluna líquida desceria para o recipiente devido ao fato de a pressão atmosférica na Lua ser praticamente nula.

b) Pela Lei de Stevin, a relação entre as pressões atmosféricas é dada por:

$$\frac{p_T}{p_P} = \frac{g_T \cdot h_T}{g_P \cdot h_P} \Rightarrow 10 = 2{,}5 \cdot \frac{76}{h_P} \Rightarrow \boxed{h_P = 19\ \text{cmHg}}$$

58. a) Da Lei de Stevin e considerando a pressão atmosférica p_0, temos:

$$p_{gás} = p_0 + dgh = 10^5 + (13{,}6 \cdot 10^3) \cdot 10 \cdot 1{,}04 \Rightarrow \boxed{p_{gás} = 2{,}4 \cdot 10^5\ \text{Pa}}$$

b) Da definição de pressão, vem:

$$p_{gás} = \frac{F_{gás}}{S} \Rightarrow 2{,}4 \cdot 10^5 = \frac{F_{gás}}{2 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \boxed{F_{gás} = 48\ N}$$

59. a) A mínima pressão ($p_{mín.}$), aplicada pela bomba para que comece a sair *chopp*, quando a serpentina está vazia, deve ser tal que o *chopp* consiga chegar ao ponto mais alto da serpentina, portanto, tomando a superfície do *chopp* como referência pela Lei de Stevin, temos:

$$p_{mín.} = \mu g h = 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}4 \Rightarrow \boxed{p_{mín.} = 4{,}0 \cdot 10^3\ \text{Pa}}$$

b) A mínima pressão ($p'_{mín.}$), aplicada pela bomba para que o *chopp* saia, quando seu nível estiver a 10 cm do fundo do barril, deve ser suficiente para elevar o *chopp* do nível em que está até o nível da saída, portanto, tomando novamente a superfície do *chopp* como referência, pela Lei de Stevin, temos:

$$p'_{mín.} = \mu g h' = 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}7 \Rightarrow \boxed{p'_{mín.} = 7{,}0 \cdot 10^3 \text{ Pa}}$$

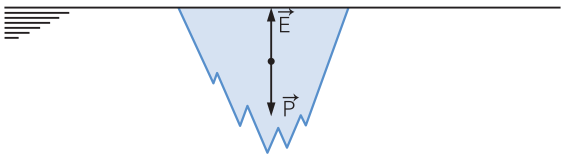
60. a) A pressão mínima capaz de elevar o carro pode ser calculada por:

$$p_1 = p_0 + \frac{F}{A} \Rightarrow p_1 = 1{,}0 \cdot 10^5 + \frac{13\,300}{\pi(15 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow \boxed{p_1 = 2{,}9 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2}$$

b) Da definição de pressão e do resultado do item *a*, temos:

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \Rightarrow 2{,}9 \cdot 10^5 = \frac{F_1}{\pi(5 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow \boxed{F_1 = 2{,}3 \cdot 10^3 \text{ N}}$$

61. O problema pode ser representado como segue:



Do equilíbrio vem que $P = E \Rightarrow \mu_g V_g g = \mu_a \frac{9}{10} \cdot V_g \Rightarrow$

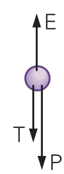
$$\Rightarrow \mu_g \cdot V = 1{,}04 \cdot \frac{9 \cdot V}{10} \Rightarrow \boxed{\mu_g = 0{,}936 \text{ g/cm}^3}.$$

62. Para que o menino adquira velocidade constante, é necessário que o empuxo das *n* bexigas tenha valor igual ao peso do garoto.
Então, temos:

$$\left|\begin{array}{l} n \cdot E = P \\ E = \mu \cdot V \cdot g \Rightarrow n \cdot \mu \cdot V \cdot \cancel{g} = m \cdot \cancel{g} \Rightarrow n \cdot 1{,}2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 24 \Rightarrow \\ P = m \cdot g \end{array}\right.$$

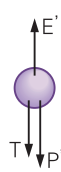
$$\Rightarrow \boxed{n = 10\,000 \text{ bexigas}}$$

63. a) As forças que atuam na esfera menor são mostradas ao lado:
Do equilíbrio e do Princípio de Arquimedes, temos:



$$E = T + P \Rightarrow \rho_L \frac{V}{2} g = T + \rho \frac{V}{2} g \Rightarrow \boxed{T = \frac{V}{2} g(\rho_L - \rho)}$$

b) As forças que atuam na esfera maior são mostradas ao lado:
Do equilíbrio e do Princípio de Arquimedes, temos:

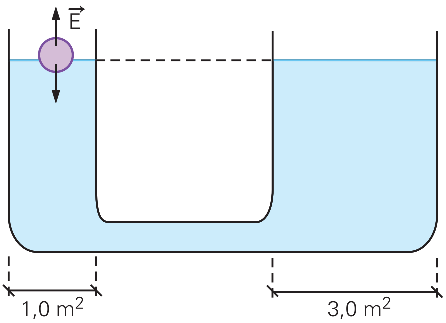


$$E' = T + P' \Rightarrow \rho_L V_I \cancel{g} = \frac{V}{2} \cancel{g} (\rho_L - \rho) + \rho V \cancel{g} \Rightarrow V_I = \frac{V}{2\rho_L}(\rho_L + \rho)$$

Assim, a fração $x = \frac{V_I}{V}$ é dada por:

$$x = \frac{\cancel{V}}{2\rho_L}(\rho_L - \rho) \cdot \frac{1}{\cancel{V}} \Rightarrow \boxed{x = \frac{\rho_L + \rho}{2\rho_L}}$$

64. O sólido é menos denso do que a água, portanto flutua.



No equilíbrio:

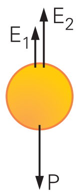
$P_s = E \Rightarrow m_s \cancel{g} = d_a v_a \cancel{g} \Rightarrow d_s V_s = d_a V_a$

$$V_a = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}5}{1{,}0} \Rightarrow V_a = 0{,}4\ m^3$$

A água se elevará *h* nos dois vasos.

Temos $V_a = h(S_1 + S_2) \Rightarrow h = \dfrac{0{,}4}{1{,}0 + 3{,}0} \Rightarrow \boxed{h = 0{,}10\ m}$.

65. Forças sobre a esfera:

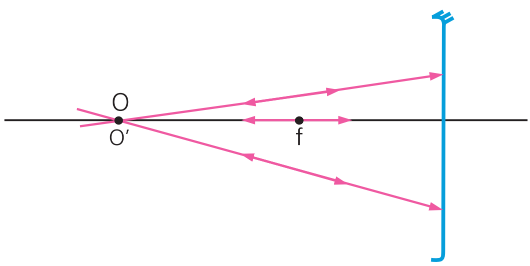


E_1: módulo do empuxo devido ao líquido de densidade μ_1.
E_2: módulo do empuxo devido ao líquido de densidade μ_2.

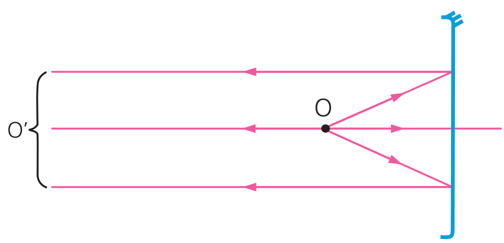
Como a situação é de equilíbrio, com metade do volume (V) da esfera em cada líquido, vem:

$$E_1 + E_2 = P \Rightarrow \mu_1\, g \frac{V}{2} + \mu_2\, g \frac{V}{2} = \mu g V \Rightarrow \boxed{\mu = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}}$$

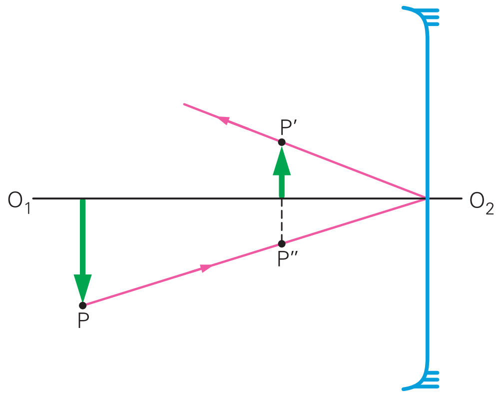
66. a)



b)



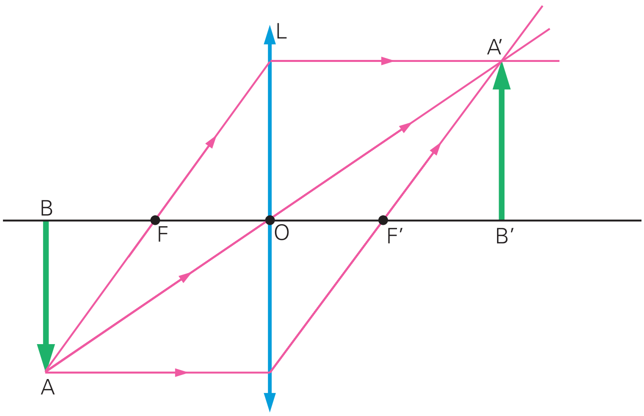
67. a)



P″ é simétrico de P′ em relação ao eixo O_1O_2.

b) Pelo esquema anterior, concluímos que a imagem é real, invertida e menor que o objeto.

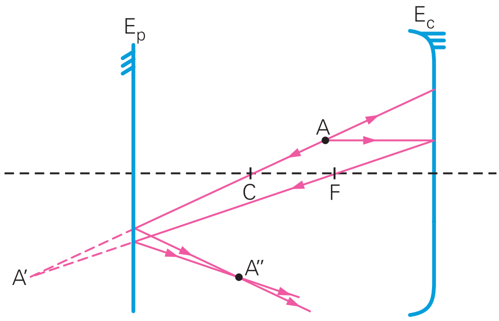
68.



a) Pelas propriedades das lentes esféricas delgadas, O = centro óptico da lente.

b) Do desenho, vemos que a lente é convergente.

69.

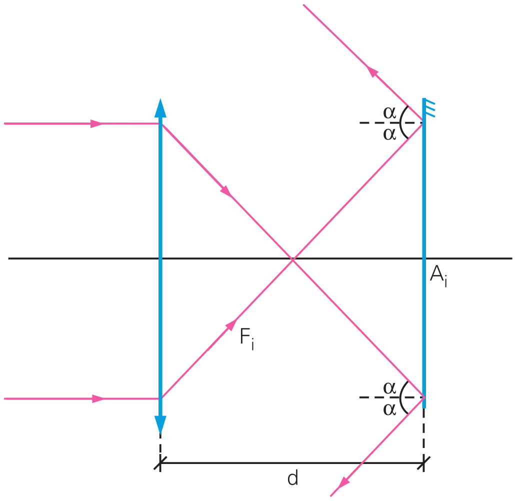


O ponto A′ é objeto virtual para E_p.

A″ é a imagem conjugada por E_p e E_c, sendo neste caso real.

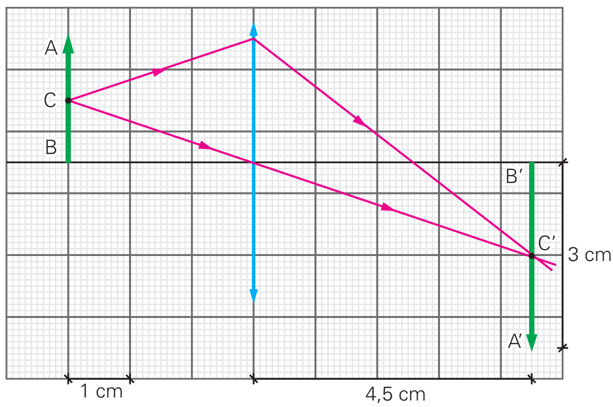
Somente a imagem real pode ser projetada num anteparo, pois é formada pelo cruzamento dos raios de luz emergentes do sistema óptico.

70. a)



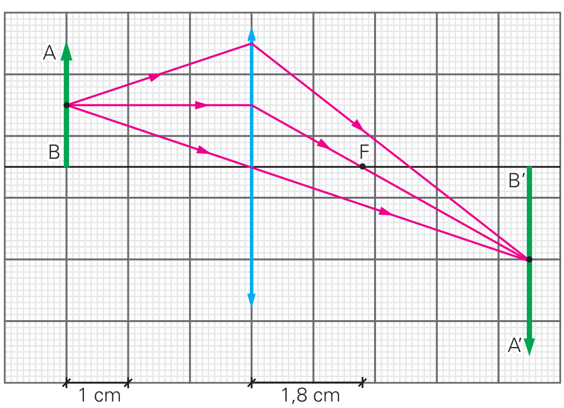
b) Para que o foco fique no ponto intermediário entre a lente e o espelho, devemos colocar o espelho no ponto antiprincipal da imagem, logo, d = 2f.

71. a) Como os raios luminosos que partem do centro C do objeto formarão a imagem C' do centro da imagem A'B', da propriedade do centro óptico e do raio dado, temos:



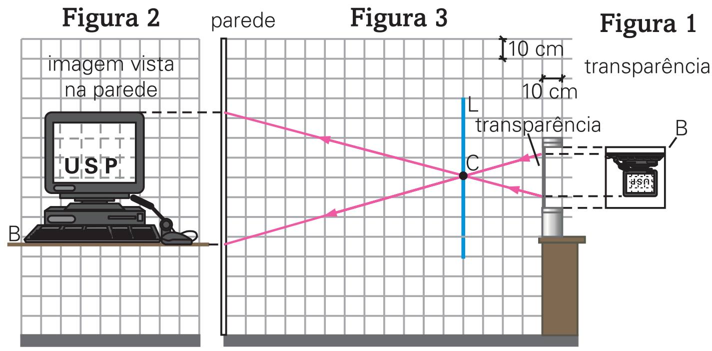
Portanto, do esquema, a altura da imagem será 3,0 cm, distante 4,5 cm da lente.

b) Considerando que "*todo raio luminoso que incide na lente paralelamente ao eixo óptico emerge passando pelo foco*", vem:

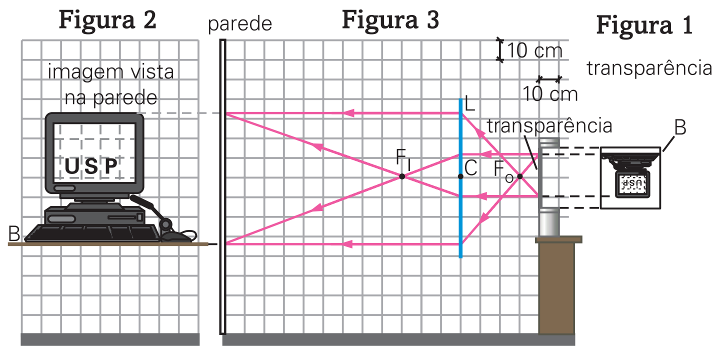


Assim, a distância focal da lente pode ser avaliada em 1,8 cm.

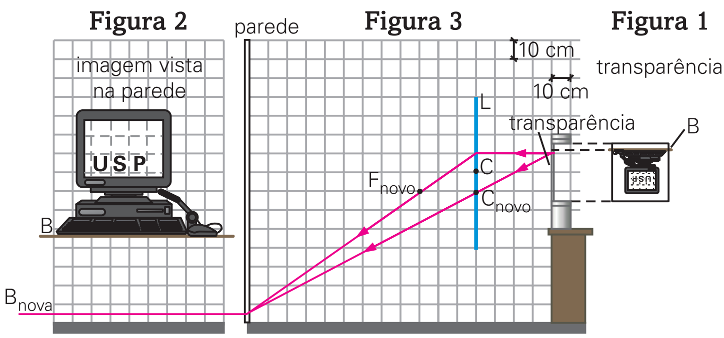
72. a) Da propriedade do centro óptico de um sistema óptico esférico, temos a construção a seguir:



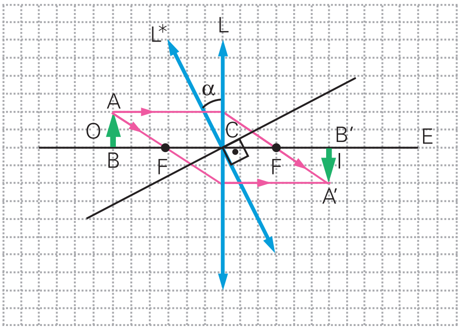
b) Das propriedades do foco objeto e foco imagem de um sistema óptico esférico, temos a construção a seguir:



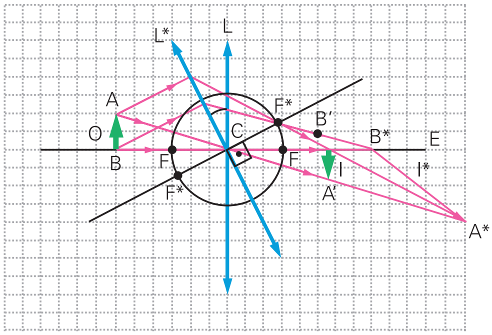
c) Ao rebaixarmos o centro óptico da lente em 10 cm, da propriedade do mesmo para um sistema óptico esférico, temos a construção a seguir:



73. a) Pelas propriedades dos focos objeto e imagem aplicadas para a lente convergente, temos a figura a seguir:



b) Sendo F* os focos da lente na nova posição, temos a figura a seguir:



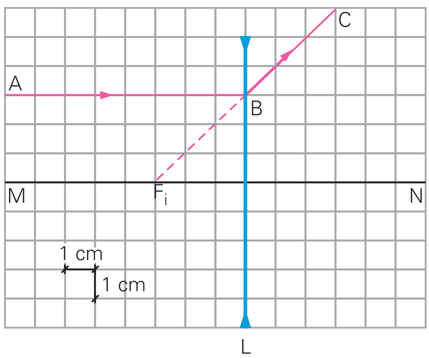
74. a) Na figura dada, os dois triângulos formados pelos raios luminosos entre A, P e B são semelhantes. Aplicada a relação de semelhança, temos:

$$\frac{d_A}{10} = \frac{d_B}{x} \Rightarrow \frac{5{,}0}{10} = \frac{10}{x} \Rightarrow \boxed{x = 20 \text{ cm}}$$

b) O ponto de encontro dos raios corresponde ao ponto focal das duas lentes que são *convergentes*. Portanto:

$$\boxed{f_A = +10 \text{ cm}} \text{ e } \boxed{f_B = +20 \text{ cm}}$$

75. a) Pela propriedade do foco imagem, temos a seguinte figura:



Portanto, como a lente é divergente, a distância focal é f = –3,0 cm.

b) Pela equação de conjugação, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow -\frac{1}{3{,}0} = \frac{1}{6{,}0} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = -2{,}0 \text{ cm}}$$

Pela equação da ampliação,temos:

$$\frac{y'}{y} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{y'}{3{,}0} = -\frac{(-2{,}0)}{6{,}0} \Rightarrow \boxed{y' = 1{,}0 \text{ cm}}$$

76. Supondo válidas as condições de Gauss, vem:

$$\left| \begin{array}{l} \dfrac{y'}{y} = -\dfrac{p'}{p} \\ y' = 2y \end{array} \right. \Rightarrow \frac{2y}{y} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p' = -2p$$

$$\left| \begin{array}{l} \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{p} + \dfrac{1}{p'} \\ f = 200 \text{ cm} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{1}{200} = \frac{1}{p} - \frac{1}{2p} \Rightarrow p = 100 \text{ cm}$$

O ator deve se posicionar 1,00 m à frente do espelho.

77. a) Como a imagem é virtual, sua posição é p′ = –0,2 m. Assim, temos:

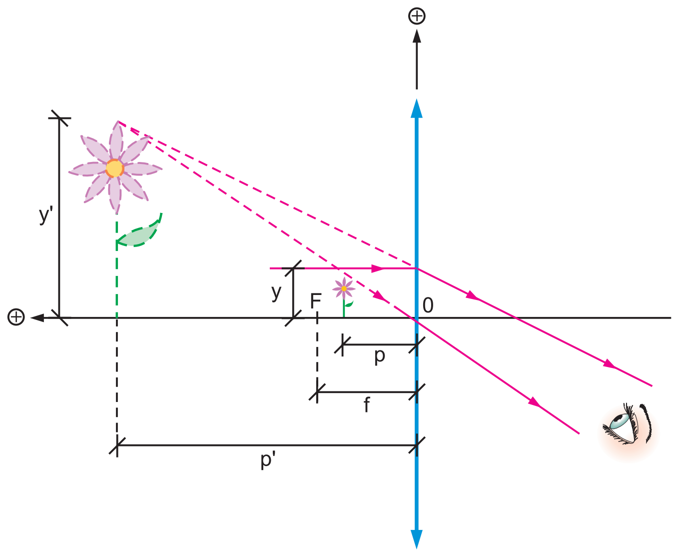
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{4} + \frac{1}{(-0,2)} = \frac{2}{R} \Rightarrow R = -0,42 \text{ m}$$

Logo, o espelho tem raio de curvatura de 42 cm.

b) O tamanho da imagem é dado por:

$$A = \frac{h}{H} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{h}{16} = -\frac{(-0,2)}{4} \Rightarrow h = 0,08 \text{ m} \Rightarrow \boxed{h = 8,0 \text{ cm}}$$

78.



Sendo $C = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{20} \Rightarrow f = 0,05 \text{ m} \Rightarrow f = 5 \text{ cm}.$

Da Equação de Gauss, $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$.

$$\frac{1}{5} = \frac{1}{4} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = -20 \text{ cm}.$$

Como $\frac{y'}{y} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{y'}{y} = \frac{-(-20)}{4} \Rightarrow y' = 5y.$

A imagem da flor aparece aumentada cinco vezes.

79. a) A distância Terra-Lua (d_L) pode ser calculada por:

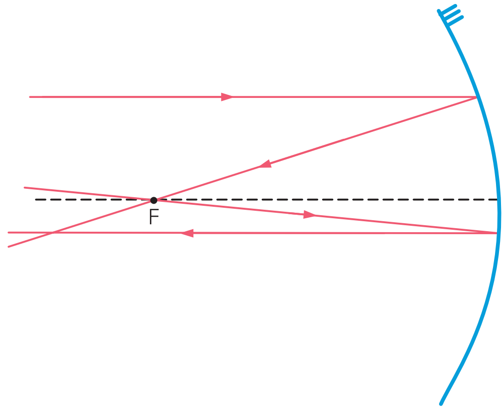
$$c = \frac{d_L}{\Delta t} \Rightarrow 3,0 \cdot 10^8 = \frac{d_L}{1,3} \Rightarrow d_L = 3,9 \cdot 10^8 \text{ m}$$

Da figura dada, vem:

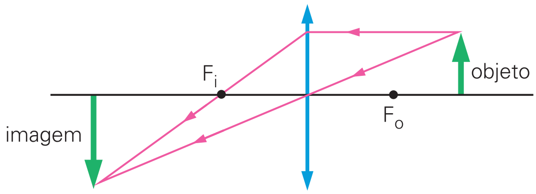
$$\cos\alpha = \frac{d_L}{d_S} \Rightarrow 2,6 \cdot 10^{-3} = \frac{3,9 \cdot 10^8}{d_S} \Rightarrow \boxed{d_S = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}}$$

b) Pelas propriedades dos raios notáveis, o raio que passa pelo foco emerge paralelamente ao eixo principal e, pela reversibilidade óptica, o raio que incide paralelamente ao eixo emerge numa direção que passa pelo foco.

Assim, o esquema pedido é dado por:



80. a) Para que a imagem formada seja real (imagem projetada), a lente deve ser convergente e o objeto deve estar a uma distância do vértice da lente maior que a sua distância focal. Assim, podemos ter:



b) Sendo as posições do objeto (fonte) e da imagem (anteparo) *p* e p', respectivamente, medidos em relação à lente, da Equação de Gauss, temos:

$$\left|\begin{array}{l}\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \\ p = 95 - 35 = 60 \text{ cm} \\ p' = 35 - 15 = 20 \text{ cm}\end{array}\right. \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} \Rightarrow \boxed{f = 15 \text{ cm}}$$

81. a) Pela Equação de Halley, temos:

$$C = \left(1 - \frac{n_g}{n_{ar}}\right)\left(\frac{1}{R}\right) \Rightarrow C = (1 - 1{,}35)\left(\frac{1}{-2{,}5 \cdot 10^{-3}}\right) \Rightarrow \boxed{C = 140 \text{ di}}$$

b) Da equação da ampliação, temos $50 = -\frac{p'}{d}$. Assim, vem:

$$\left|\begin{array}{l}p' = -50d \\ C = \frac{1}{d} + \frac{1}{p'}\end{array}\right. \Rightarrow 140 = \frac{1}{d} + \frac{1}{(-50d)} \Rightarrow d = 0{,}007 \text{ m} \Rightarrow \boxed{d = 7{,}0 \text{ mm}}$$