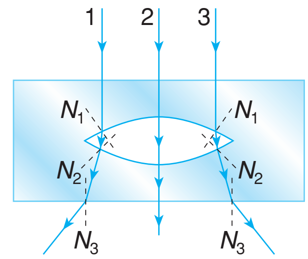
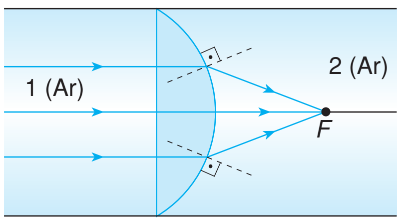
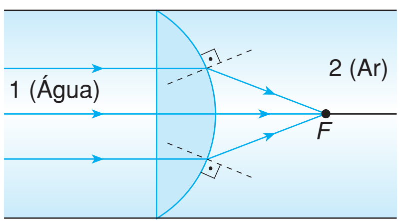
P.332 O trajeto esquematizado baseia-se no fato de o ar ser menos refringente que o vidro. Quando passam do vidro para o ar, os raios 1 e 3 afastam-se da normal (N_1). Ao passarem do ar para o vidro, aproximam-se da normal (N_2) e, ao emergirem do vidro, afastam-se da normal (N_3). O raio 2 atravessa a lâmina sem desvio.



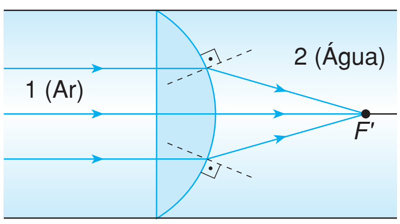
P.333



Os meios 1 e 2 são constituídos de ar. Os raios convergem no ponto F.



Colocando-se água no meio 1, não se verifica modificação do ponto de convergência, pois a incidência da luz na face plana é perpendicular.



Colocando-se água no meio 2, a convergência ocorre em F', mais afastado da lente, pois a água é mais refringente que o ar.

P.334 a) Lente biconvexa de vidro ($n_{\text{lente}} = 1,5$), imersa no ar ($n_{\text{meio}} = 1$).
Sendo $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$, a lente é **convergente**.

b) Lente biconvexa de vidro ($n_{\text{lente}} = 1,5$), imersa na água ($n_{\text{meio}} = 1,3$).
Também, neste caso, $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$, isto é, a lente é **convergente**.

c) Lente biconvexa de vidro ($n_{\text{lente}} = 1,5$), imersa num líquido de índice $n_{\text{meio}} = 1,8$.
Sendo $n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$, a lente é **divergente**.

P.335 a) Lente bicôncava de vidro ($n_{lente} = 1{,}5$), imersa no ar ($n_{meio} = 1$).

Sendo $n_{lente} > n_{meio}$, a lente é **divergente**.

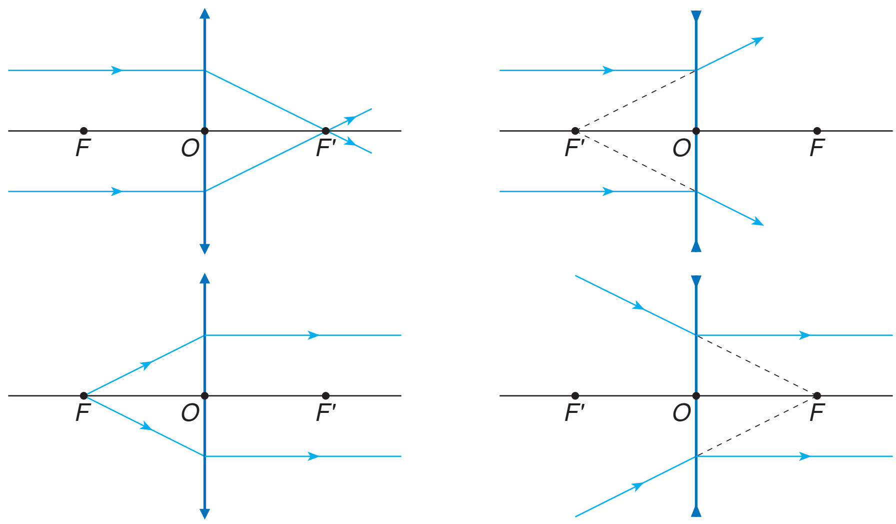
b) Lente bicôncava de vidro ($n_{lente} = 1{,}5$), imersa na água ($n_{meio} = 1{,}3$).

Também, neste caso, $n_{lente} > n_{meio}$, isto é, a lente é **divergente**.

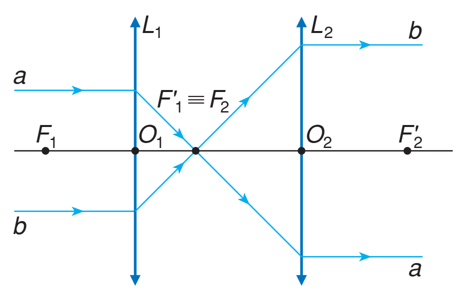
c) Lente bicôncava de vidro ($n_{lente} = 1{,}5$), imersa num líquido de índice $n_{meio} = 1{,}8$.

Sendo $n_{lente} < n_{meio}$, a lente é **convergente**.

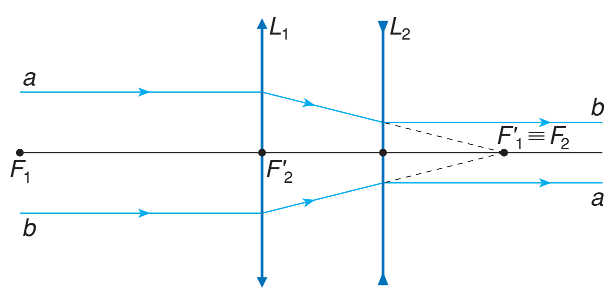
P.336



P.337 a)

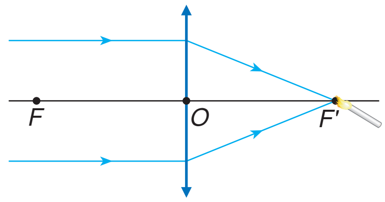


b)

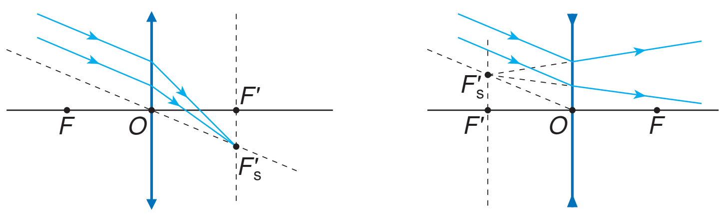


P.338 A lente a ser utilizada deve ser convergente. O pavio da vela a ser aceso deve situar-se no foco principal imagem F'.

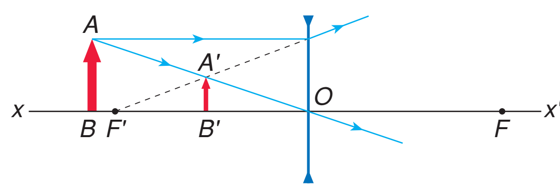
Esquema:



P.339



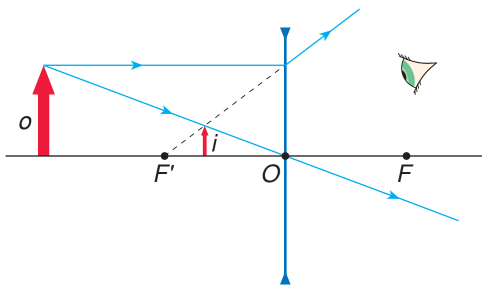
P.340

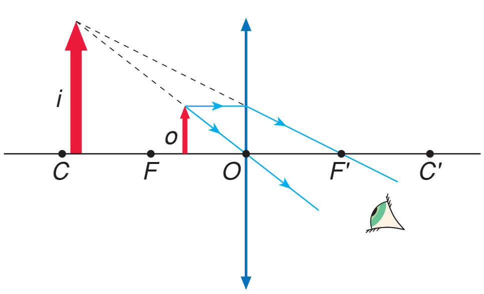


Ligando-se os extremos do objeto *A* e da imagem *A*′, a reta traçada corta o eixo principal *xx*′ no centro óptico *O*. A imagem *A*′*B*′ é direita e menor do que o objeto *AB*. Logo, a lente é **divergente**. O raio de luz que parte do extremo *A* e é paralelo ao eixo principal passa pela lente e sofre desvio; o prolongamento do raio emergente passa pelo extremo *A*′ da imagem, determinando, no eixo principal, o foco principal imagem *F*′. O foco principal objeto *F* foi obtido sabendo-se que $F'O = FO$.

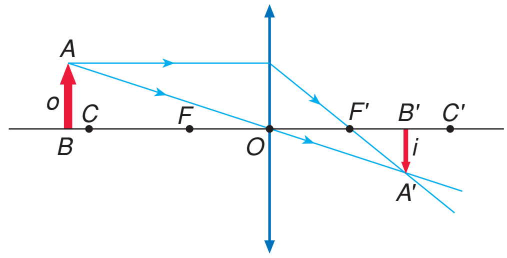
P.341 a) A lente L_1 é **divergente**, pois a imagem é direita e menor. Essas características da imagem são sempre as mesmas, qualquer que seja a posição do objeto real (no caso, a vela). A lente L_2 é **convergente**, pois a imagem é direita e maior. O objeto deve ser colocado entre o foco principal objeto *F* e o centro óptico *O*.

b) **Lente L_1** **Lente L_2**



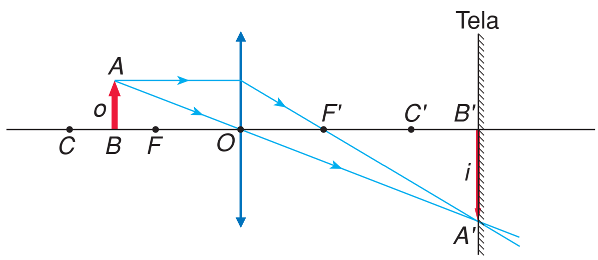


P.342 A imagem é real, invertida e menor do que o objeto. Ela está situada entre F' e C':



Esse tipo de imagem ocorre em máquinas fotográficas. Nesse caso, a imagem é projetada no filme.

P.343 a) O objeto é colocado entre o foco principal objeto F e o ponto antiprincipal objeto C. A imagem se forma além do ponto antiprincipal C'. Ela é real, invertida e maior do que o objeto.



b) Esse tipo de imagem se forma nos projetores de *slides*. Observe que a imagem é projetada na tela.

P.344 Utilizando a definição de vergência para ambos os casos, temos:

Quando $f = 0{,}5$ m, vem: $D = \dfrac{1}{f} \Rightarrow D = \dfrac{1}{0{,}5} \Rightarrow \boxed{D = 2 \text{ di}}$

Quando $f = -20$ cm $= -0{,}20$ m, vem: $D = \dfrac{1}{f} \Rightarrow D = \dfrac{1}{-0{,}20} \Rightarrow \boxed{D = -5{,}0 \text{ di}}$

P.345 Do esquema dado, temos: $f = 4 \cdot 10$ cm $= 40$ cm $= 0{,}40$ m

Pela definição de vergência, temos:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0{,}40} \Rightarrow \boxed{D = 2{,}5 \text{ di}}$$

P.346 Aplicando a fórmula dos fabricantes de lentes, vem:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \frac{1}{f} = \left(\frac{1{,}5}{2{,}0} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{75} + \frac{1}{75}\right) \Rightarrow \boxed{f = -150 \text{ cm}}$$

P.347 Utilizando a fórmula dos fabricantes de lentes à lente plano-convexa, vem:

$$D = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow D = \frac{1}{f} = \left(\frac{1{,}5}{1{,}0} - 1\right) \cdot \frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{D = \frac{1}{f} = 10 \text{ di}}$$

P.348 a) Pela equação dos pontos conjugados (ou equação de Gauss), vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60} \Rightarrow \boxed{f = 15 \text{ cm} = 0{,}15 \text{ m}}$$

Da definição de vergência, temos:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0{,}15} \Rightarrow \boxed{D \simeq 6{,}7 \text{ di}}$$

b) Utilizando a equação do aumento linear transversal, vem:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow A = -\frac{60}{20} \Rightarrow \boxed{A = -3}$$

P.349 Dados: $o = 10$ cm; $p = 50$ cm; $p' = 2$ m $= 200$ cm

a) A lente é **convergente**, pois a imagem é real (foi projetada sobre a tela).

Da equação dos pontos conjugados (ou equação de Gauss), vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{50} + \frac{1}{200} \Rightarrow \boxed{f = 40 \text{ cm} = 0{,}4 \text{ m}}$$

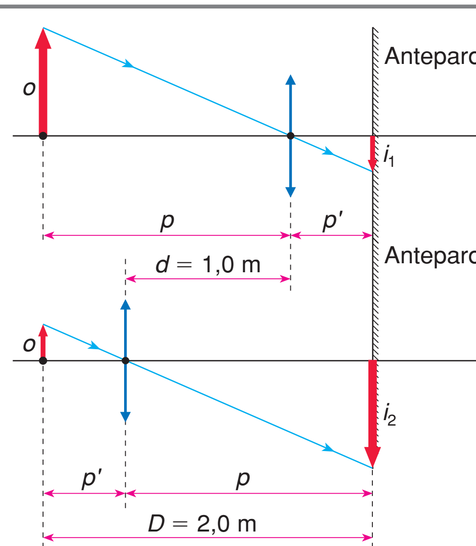
Da definição de vergência, vem:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0{,}4} \Rightarrow \boxed{D = 2{,}5 \text{ di}}$$

b) Como $A = -\frac{p'}{p}$, obtemos: $A = -\frac{200}{50} \Rightarrow \boxed{A = -4}$

c) De $A = \frac{i}{o}$, vem: $-4 = \frac{i}{10} \Rightarrow i = -40 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{i = -0{,}4 \text{ m}}$

P.350 As duas posições da lente correspondem a uma troca entre as abscissas do objeto e da imagem.



Podemos escrever:

$p + p' = 2{,}0$ m ①

$p - p' = 1{,}0$ m ②

De ① e ②, vem:

$p = 1{,}5$ m $= 150$ cm

$p' = 0{,}5$ m $= 50$ cm

Da equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{150} + \frac{1}{50} \Rightarrow$$

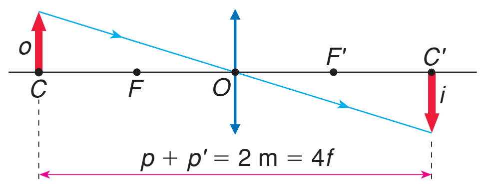
$$\Rightarrow \boxed{f = 37{,}5 \text{ cm}}$$

P.351 Dados: $p + p' = 2$ m; $D = 2$ di

a) $f = \dfrac{1}{D} \Rightarrow f = \dfrac{1}{2} \Rightarrow f = 0{,}5$ m

Observe que $p + p' = 4f$. Isso só acontece quando o objeto está no ponto antiprincipal objeto ($p = 2f$). A imagem correspondente está no ponto antiprincipal imagem ($p' = 2f$).

Portanto, só há uma solução para o problema. Para haver duas soluções, é necessário que $p + p' > 4f$.



b) Como $A = -\dfrac{p'}{p}$ e $p = p'$, vem: $\boxed{A = -1}$

P.352 Dados: $f = -100$ cm (lente divergente); $i = +2$ cm; $p' = -20$ cm (imagem direita e virtual)

a) Pela equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-100} = \frac{1}{p} + \frac{1}{-20} \Rightarrow \boxed{p = 25 \text{ cm}}$$

Como $\dfrac{i}{o} = -\dfrac{p'}{p}$, vem: $\dfrac{2}{o} = -\dfrac{-20}{25} \Rightarrow \boxed{o = 2{,}5 \text{ cm}}$

b) Partindo da definição de aumento linear transversal, obtemos:

$$A = \frac{i}{o} \Rightarrow A = \frac{2}{2{,}5} \Rightarrow \boxed{A = 0{,}8}$$

P.353 Este exercício corresponde à mesma situação do exercício anterior. Assim, para a imagem i_1 (primeira posição da lente), temos:

$$\frac{i_1}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{a}{o} = -\frac{p'}{p} \quad (1)$$

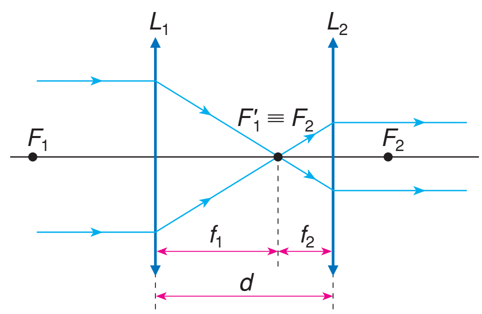
Para a segunda posição da lente, na qual trocamos as abscissas, temos a imagem i_2 do mesmo objeto:

$$\frac{i_2}{o} = -\frac{p}{p'} \Rightarrow \frac{b}{o} = -\frac{p}{p'} \quad ②$$

Multiplicando membro a membro as equações ① e ②, obtemos:

$$\frac{a \cdot b}{o \cdot o} = 1 \Rightarrow \boxed{o = \sqrt{a \cdot b}}$$

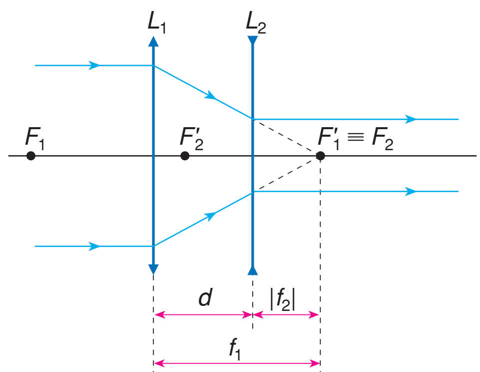
P.354 a) O foco principal imagem de L_1 deve coincidir com o foco principal objeto de L_2.



Assim, temos:

$$d = f_1 + f_2 \Rightarrow d = 5{,}0 + 2{,}0 \Rightarrow \boxed{d = 7{,}0 \text{ cm}}$$

b)



$$d = f_1 - |f_2| \Rightarrow d = 5{,}0 - 2{,}0 \Rightarrow \boxed{d = 3{,}0 \text{ cm}}$$

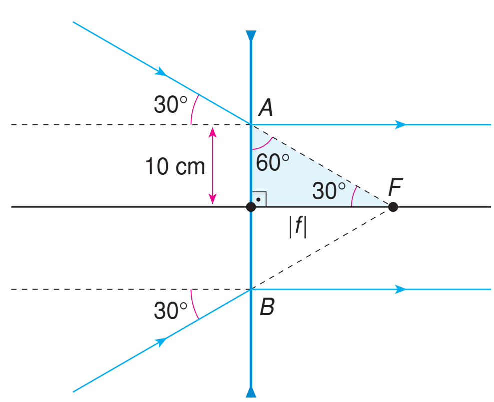
P.355 Na figura:

$$\text{tg } 60° = \frac{|f|}{10}$$

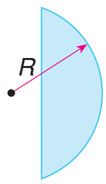
$$\sqrt{3} = \frac{|f|}{10}$$

$$|f| = 10\sqrt{3} \text{ cm}$$

$$\boxed{f = -10\sqrt{3} \text{ cm}}$$



P.356



A fórmula dos fabricantes de lentes aplicada à lente plano-convexa fornece:

$$D = \left(\frac{n_{lente}}{n_{meio}} - 1\right) \cdot \frac{1}{R}$$

Sendo $n_{meio} = 1$ (ar) e $D = 8$ di, vem: $8 = (n_{lente} - 1) \cdot \frac{1}{R}$ ①

Sendo $n_{meio} = \frac{4}{3}$ (água) e $D = 1$ di, vem: $1 = \left(\frac{n_{lente}}{\frac{4}{3}} - 1\right) \cdot \frac{1}{R}$ ②

De ① e ② resulta: $n_{lente} = 1{,}4$ e $\boxed{R = 0{,}05 \text{ m} = 5 \text{ cm}}$

P.357 Fórmula dos fabricantes de lentes:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Para a luz vermelha:

$$\frac{1}{f_{verm.}} = \left(\frac{1{,}60}{1{,}00} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{1{,}00} + \frac{1}{1{,}00}\right) \Rightarrow f_{verm.} \simeq 0{,}83 \text{ m}$$

Para a luz violeta:

$$\frac{1}{f_{viol.}} = \left(\frac{1{,}64}{1{,}00} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{1{,}00} + \frac{1}{1{,}00}\right) \Rightarrow f_{viol.} \simeq 0{,}78 \text{ m}$$

A distância d entre os focos vale:

$$d = f_{verm.} - f_{viol.} \Rightarrow \boxed{d = 0{,}05 \text{ m} = 5{,}0 \text{ cm}}$$

P.358 A um objeto distante a lente conjuga uma imagem no foco principal imagem. Logo, $f = 10$ cm. Pela equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = 15 \text{ cm}}$$

P.359 **Em relação à lente:**

Sendo $f_1 = 20$ cm e $p_1 = 40$ cm, pela equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{40} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow p'_1 = 40 \text{ cm}$$

Em relação ao espelho:

Sendo $p_2 = 50$ cm e $p'_2 = -30$ cm (note que $p'_2 < 0$, pois a imagem é virtual), calculamos a distância focal f_2 do espelho:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{50} + \frac{1}{-30} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{3-5}{150} \Rightarrow \boxed{f_2 = -75 \text{ cm}}$$

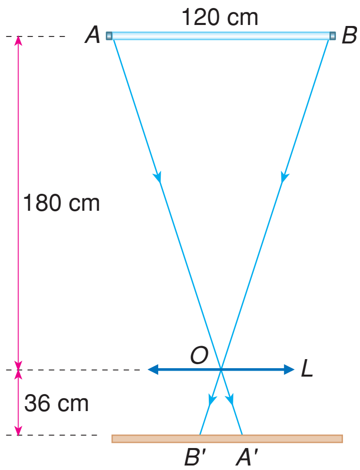
P.360 a) A lâmpada é o objeto e a imagem se forma no tampo da mesa. Logo, $p = 180$ cm e $p' = 36$ cm. Pela equação dos pontos conjugados calculamos a distância focal f:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{180} + \frac{1}{36} \Rightarrow \boxed{f = 30 \text{ cm}}$$

b) Na figura, representamos os raios de luz que partem de A e de B, passam pelo centro óptico O da lente e determinam as imagens A' e B' no tampo da mesa.

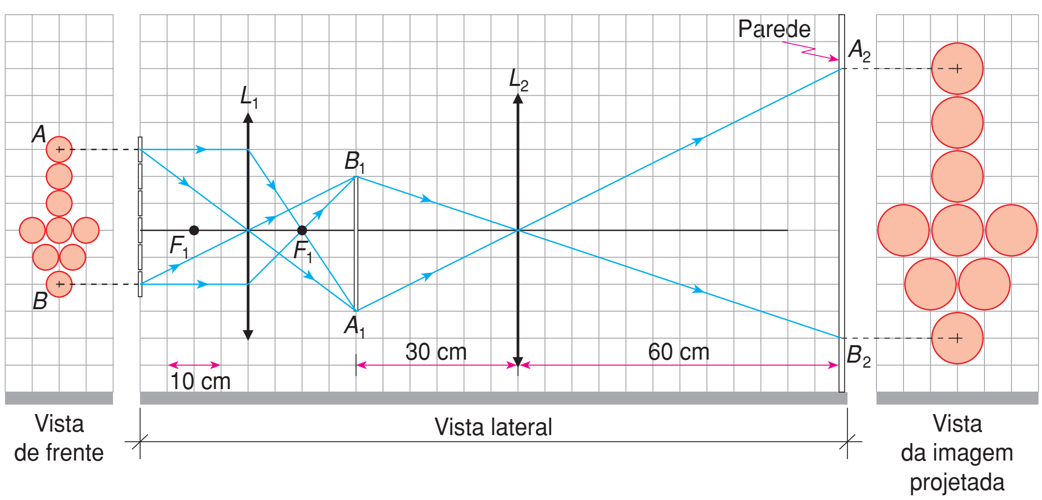
A semelhança entre os triângulos OAB e $OA'B'$ fornece:

$$\frac{A'B'}{120} = \frac{36}{180} \Rightarrow \boxed{A'B' = 24 \text{ cm}}$$



P.361 a) Por meio de raios notáveis localizamos a imagem A_1B_1 conjugada pela lente L_1.

b) A_1B_1 funciona como objeto em relação à lente L_2. Conhecendo a imagem final A_2B_2, localizamos L_2.



c) Usando a escala fornecida, calculamos as distâncias $p = 30$ cm e $p' = 60$ cm do objeto (A_1B_1) e da imagem (A_2B_2) em relação à lente L_2.
Pela equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{2+1}{60}$$

$$\boxed{f_2 = 20 \text{ cm}}$$

Observação:
Podemos chegar ao mesmo resultado traçando um raio partindo de A, paralelo ao eixo principal. Ao emergir de L_2, ele deve passar por A_2. O ponto em que cruzar o eixo principal é o foco principal imagem F'_2.

P.362 Dados: $i = -o$ (imagem real, invertida, do mesmo tamanho que o objeto); $p = 40$ cm

a) Para que a lente forneça imagem de mesmo tamanho, o objeto deve estar no ponto antiprincipal. Então:

$$p = 2f = 40 \text{ cm} \Rightarrow f = \frac{40}{2} \Rightarrow f = 20 \text{ cm} \Rightarrow f = 0{,}2 \text{ m}$$

De $D = \frac{1}{f}$, vem: $D = \frac{1}{0{,}2 \text{ m}} \Rightarrow \boxed{D = 5 \text{ di}}$

b) A imagem é simétrica ao objeto em relação à lente: $p' = p \Rightarrow \boxed{p' = 40 \text{ cm}}$

Podemos comprovar esse resultado aplicando a equação de Gauss:

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

$$\Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{2-1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{40} \Rightarrow \boxed{p' = 40 \text{ cm}}$$

c) $n_2 = 1{,}5$; $n_1 = 1$ (ar)

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{20} = \left(\frac{1{,}5}{1} - 1\right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{20} = 0{,}5 \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow R = 0{,}5 \cdot 20 \Rightarrow \boxed{R = 10 \text{ cm}}$$

P.363 a) A lente se localiza a 1,8 m da tela e a 0,36 m da parede. Logo, $p = 1{,}8$ m e $p' = 0{,}36$ m.
Sendo 0,42 m × 0,55 m as dimensões da tela (objeto), devemos, para cada lado, aplicar a fórmula do aumento linear transversal:

$$\frac{i_1}{o_1} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{i_1}{0{,}42} = -\frac{0{,}36}{1{,}8} \Rightarrow i_1 = -0{,}084 \text{ m} \Rightarrow \boxed{i_1 = -8{,}4 \text{ cm}}$$

$$\frac{i_2}{o_2} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{i_2}{0{,}55} = -\frac{0{,}36}{1{,}8} \Rightarrow i_2 = -0{,}11 \text{ m} \Rightarrow \boxed{i_2 = -11 \text{ cm}}$$

Assim, a imagem tem as dimensões: $\boxed{8{,}4 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}}$

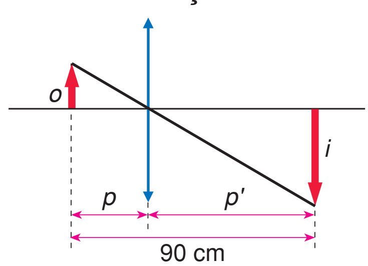
Para o cálculo da distância focal f, vamos aplicar a equação dos pontos conjugados:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{1{,}8} + \frac{1}{0{,}36} \Rightarrow \boxed{f = 0{,}30 \text{ m} = 30 \text{ cm}}$$

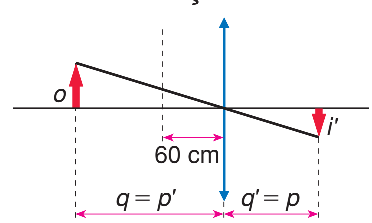
b) A imagem aparece invertida na vertical e na horizontal:

P.364 a)

Situação I



Situação II



Ao passar de uma situação para outra, trocam-se as abscissas.

Desse modo, temos:

$p' = p + 60$ ①

Mas: $p + p' = 90$ cm ②

Logo, de ① e ②, vem:

$p = 15$ cm e $p' = 75$ cm

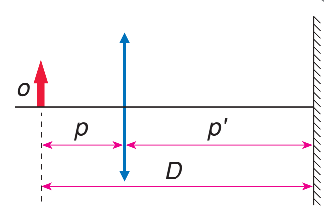
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{15} + \frac{1}{75} \Rightarrow \boxed{f = 12{,}5 \text{ cm}}$$

b) A segunda imagem obtida é real, invertida e menor do que o objeto:

$$\frac{i}{o} = -\frac{q'}{q} \Rightarrow \frac{i}{o} = -\frac{15}{75} \Rightarrow \boxed{\frac{i}{o} = -\frac{1}{5}}$$ (invertida e cinco vezes menor)

P.365 $p + p' = D \Rightarrow p = D - p'$ ①

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad ②$$



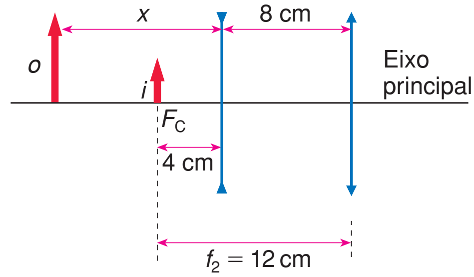
① em ②: $\frac{1}{f} = \frac{1}{D - p'} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p'^2 - Dp' + fD = 0$

Para que existam soluções, é necessário que $\Delta \geqslant 0$. Logo:

$\Delta = D^2 - 4fD \geqslant 0 \Rightarrow \boxed{D \geqslant 4f}$

P.366 a) O objeto *o* situado à distância x da lente divergente conjuga uma imagem *i* que funciona como objeto em relação à lente convergente. Esse objeto (*i*) deve se localizar no foco principal objeto F_C da lente convergente para que a imagem final se forme no infinito.

Nessas condições, a distância de *i* até a lente divergente é de 4 cm, como mostra a figura ao lado.



Temos: $p = x$; $p' = -4$ cm (imagem virtual); $f_1 = -6$ cm; com esses dados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-6} = \frac{1}{x} + \frac{1}{-4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{x = 12 \text{ cm}}$$

b) A imagem *i* conjugada pela lente divergente é **virtual, direita e menor** do que o objeto.

P.367 Aplicando a equação dos pontos conjugados à lente I, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{20} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 20 \text{ cm}$$

Esse resultado poderia ser obtido lembrando que o objeto se encontra no ponto antiprincipal objeto ($p = 2f$) e, portanto, a imagem se forma no ponto antiprincipal imagem ($p' = 2f = 20$ cm).

A imagem conjugada pela lente I funciona como objeto em relação à lente II. Nesse caso, $f = 15$ cm e $p = 40$ cm. Portanto:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{15} = \frac{1}{40} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = 24 \text{ cm}}$$