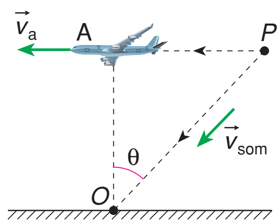
P.475 Dados: $v_{som} = 340$ m/s; $\theta = 45°$; sen $45° = 0{,}7$



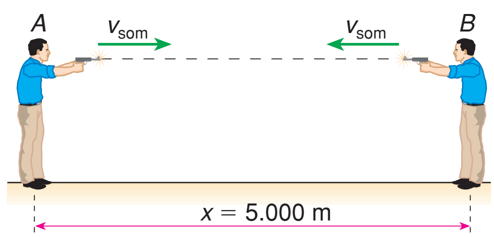
Da figura, vem: $\frac{PA}{PO} = \text{sen } 45°$; logo:

$$\frac{PA}{PO} = 0{,}7 \Rightarrow PA = PO \cdot 0{,}7$$

Mas: $PA = v_a \cdot t$; $PO = v_{som} \cdot t$; portanto:

$$v_a \cdot \cancel{t} = v_{som} \cdot \cancel{t} \cdot 0{,}7 \Rightarrow v_a = 340 \cdot 0{,}7 \Rightarrow \boxed{v_a = 238 \text{ m/s}}$$

P.476



$A \rightarrow B$: $\Delta t = 14{,}5$ s

$$v_{som} + v_{vento} = \frac{x}{\Delta t} = \frac{5.000}{14{,}5} = 344{,}8$$

$B \rightarrow A$: $\Delta t' = 15{,}5$ s

$$v_{som} - v_{vento} = \frac{x}{\Delta t'} = \frac{5.000}{15{,}5} = 322{,}6$$

$$\begin{cases} v_{som} + v_{vento} = 344{,}8 & ① \\ v_{som} - v_{vento} = 322{,}6 & ② \end{cases}$$

Somando membro a membro ① e ②, obtemos:

$$2 \cdot v_{som} = 667{,}4 \Rightarrow v_{som} = \frac{667{,}4}{2} \Rightarrow \boxed{v_{som} = 333{,}7 \text{ m/s}}$$

$$333{,}7 + v_{vento} = 344{,}8 \Rightarrow v_{vento} = 344{,}8 - 333{,}7 \Rightarrow \boxed{v_{vento} = 11{,}1 \text{ m/s}}$$

P.477 O intervalo de tempo para o atirador ouvir o ruído do impacto da bala no alvo é $\Delta t = \Delta t_{bala} + \Delta t_{som}$, em que $\Delta t_{bala} = \frac{x}{v_{bala}}$ é o intervalo de tempo gasto pela bala até o alvo e $\Delta t_{som} = \frac{x}{v_{som}}$ é o intervalo de tempo gasto pelo som do alvo ao ouvinte, sendo x a distância entre alvo e ouvinte. Substituindo $\Delta t = 3$ s, $v_{bala} = 680$ m/s e $v_{som} = 340$ m/s, vem:

$$\Delta t = \frac{x}{v_{bala}} + \frac{x}{v_{som}} \Rightarrow 3 = \frac{x}{680} + \frac{x}{340} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3 = \frac{x + 2x}{680} \Rightarrow 3 = \frac{3x}{680} \Rightarrow \boxed{x = 680 \text{ m}}$$

P.478 No ar: $v_1 = 340$ m/s; no trilho: $v_2 = 3.400$ m/s

Para a propagação no ar: $d = v_1 t_1$ ①

Para a propagação no trilho: $d = v_2 t_2$ ②

Igualando ① e ②, vem: $v_1 t_1 = v_2 t_2 \Rightarrow 340t_1 = 3.400t_2 \Rightarrow t_1 = 10t_2$

Mas: $t_1 - t_2 = 0{,}18 \text{ s} \Rightarrow 10t_2 - t_2 = 0{,}18 \Rightarrow 9t_2 = 0{,}18 \Rightarrow t_2 = 0{,}02$ s

O comprimento do trilho vale:

$$d = v_2 t_2 = 3.400 \cdot 0{,}02 \Rightarrow \boxed{d = 68 \text{ m}}$$

P.479 Dados: $v_1 = 340$ m/s (no ar); $v_2 = 4.780$ m/s (no trilho); $d = 2.380$ m

Para o som se propagando no ar, temos:

$d = v_1 t_1 \Rightarrow 2.380 = 340t_1 \Rightarrow t_1 = 7$ s

Para a propagação do som no trilho, temos:

$d = v_2 t_2 \Rightarrow 2.380 = 4.780t_2 \Rightarrow t_2 \simeq 0{,}5$ s

A diferença de tempo do sinal é dada por:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 7 - 0{,}5 \Rightarrow \boxed{\Delta t = 6{,}5 \text{ s}}$$

P.480 Dados: $f = 440$ Hz; $v = 330$ m/s

De $v = \lambda f$, vem: $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{330}{440} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0{,}75 \text{ m}}$

P.481 Dados: $f_1 = 20$ Hz; $f_2 = 20.000$ Hz; $v = 340$ m/s

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{340}{20} \Rightarrow \boxed{\lambda_1 = 17 \text{ m}}$$

$$\lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{340}{20.000} \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 17 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 17 \text{ mm}}$$

P.482 Dados: $f = 440$ Hz; $v = 1.404$ m/s

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.404}{440} \Rightarrow \boxed{\lambda \simeq 3{,}2 \text{ m}}$$

P.483 Dado: $f = 440$ Hz

a) Como $i = \dfrac{f_2}{f_1}$, e sabendo que, quando uma nota está um tom maior acima, temos $i = \dfrac{9}{8}$, então: $\dfrac{9}{8} = \dfrac{f_2}{440} \Rightarrow \boxed{f_2 = 495 \text{ Hz}}$

b) Quando uma nota está uma oitava acima, temos:

$$i = \frac{f_2}{f_1} = 2 \Rightarrow f_2 = 2f_1 = 2 \cdot 440 \Rightarrow \boxed{f_2 = 880 \text{ Hz}}$$

P.484 A partir do exposto no exercício, temos: $i = \frac{25}{24}$; $f = 297$ Hz

De $i = \frac{f_2}{f_1}$, vem: $\frac{25}{24} = \frac{f_2}{297} \Rightarrow \boxed{f_2 \simeq 309{,}4 \text{ Hz}}$

P.485 No jardim ($I_1 = 10^{-4}$ μW/m²; $I_0 = 10^{-6}$ μW/m²):

$$\beta_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \Rightarrow \beta_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{10^{-4}}{10^{-6}}\right) \Rightarrow \beta_1 = 10 \cdot \log 10^2 \Rightarrow \boxed{\beta_1 = 20 \text{ dB}}$$

No restaurante ($I_2 = 10^{-1}$ μW/m²; $I_0 = 10^{-6}$ μW/m²):

$$\beta_2 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) \Rightarrow \beta_2 = 10 \cdot \log\left(\frac{10^{-1}}{10^{-6}}\right) \Rightarrow \beta_2 = 10 \cdot \log 10^5 \Rightarrow \boxed{\beta_2 = 50 \text{ dB}}$$

P.486 Dados: $\beta = 100$ dB; $I_0 = 10^{-12}$ W/m²

$$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Rightarrow 100 = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10 \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{10} \Rightarrow I = 10^{10} \cdot I_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = 10^{10} \cdot 10^{-12} \Rightarrow \boxed{I = 10^{-2} \text{ W/m}^2}$$

P.487 a) A posição em que o som começa a ser perceptível corresponde a uma área A_0 dada por: $A_0 = 4\pi R_0^2 = 4 \cdot \pi \cdot (1.000)^2 \Rightarrow A_0 = 4\pi \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 4\pi \cdot 10^{10} \text{ cm}^2$

Pela definição de intensidade: $I_0 = \frac{Pot}{A_0}$

Logo: $Pot = I_0 A_0 = 10^{-16} \cdot 4\pi \cdot 10^{10} \Rightarrow Pot = 4\pi \cdot 10^{-6} \Rightarrow Pot = 4 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \Rightarrow$

$\Rightarrow Pot = 12 \cdot 10^{-6} \text{ W} \Rightarrow \boxed{Pot = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \text{ W}}$

b) Para a posição correspondente à sensação dolorosa, $A = 4\pi R^2$. Substituindo na fórmula da intensidade:

$$I = \frac{Pot}{4\pi R^2} \Rightarrow 10^{-4} = \frac{4\pi \cdot 10^{-6}}{4\pi R^2} \Rightarrow R^2 = 10^{-2} \text{ cm}^2 \Rightarrow \boxed{R = 10^{-1} \text{ cm} = 1 \text{ mm}}$$

c) O nível sonoro será dado por:

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \beta = 10 \cdot \log \frac{10^{-4}}{10^{-16}} \Rightarrow \beta = 10 \cdot \log 10^{12} \Rightarrow \boxed{\beta = 120 \text{ dB}}$$

P.488 a) Dados: $v = 340$ m/s; $\Delta t = 3{,}0$ s; $\Delta s = 2x$

De $\Delta s = v \cdot \Delta t$, vem: $2x = 340 \cdot 3{,}0 \Rightarrow \boxed{x = 510 \text{ m}}$

b) Para distinguir o som direto e o eco, o intervalo de tempo entre a percepção dos dois deve ser: $\Delta t' = 0{,}10$ s (persistência auditiva).

$\Delta s' = 2x' \Rightarrow \Delta s' = v \cdot \Delta t' \Rightarrow 2x' = 340 \cdot 0{,}10 \Rightarrow \boxed{x' = 17 \text{ m}}$

P.489 Dados: $v = 340$ m/s; $\Delta s = 2x = 2 \cdot 17 = 34$ m

O som deve percorrer no mínimo a distância $\Delta s = 34$ m, no ar, para que se ouça o eco. Logo, temos: $\Delta s = v \cdot \Delta t \Rightarrow 34 = 340 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = 0{,}1$ s

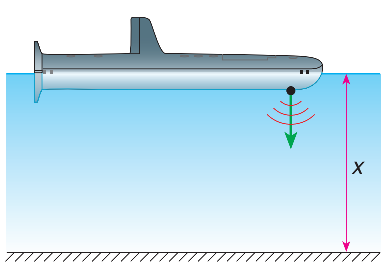
Esse intervalo de tempo corresponde ao tempo de persistência auditiva, que é o mínimo para que o ouvinte perceba o som direto e o eco.

Para $v' = 2.000$ m/s, a distância mínima a que deve estar o obstáculo refletor pode ser calculada por:

$\Delta s' = v' \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s' = 2.000 \cdot 0{,}1 \Rightarrow \Delta s' = 200$ m

Mas: $\Delta s' = 2x' \Rightarrow 200 = 2x' \Rightarrow \boxed{x' = 100 \text{ m}}$

P.490 Dados: $f = 4{,}00 \cdot 10^4$ Hz; $v_1 = 3{,}70 \cdot 10^2$ m/s (no ar); $v_2 = 1{,}40 \cdot 10^3$ m/s (na água); $\Delta t = 0{,}80$ s

a) 

O percurso do sinal emitido é $\Delta s = 2x$, em que x é a profundidade do oceano. Mas:

$\Delta s = v_2 \cdot \Delta t \Rightarrow 2x = 1{,}40 \cdot 10^3 \cdot 0{,}80 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2x = 1{,}12 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{x = 5{,}6 \cdot 10^2 \text{ m}}$

b) Como a frequência das ondas sonoras não varia com o meio de propagação:

$$f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{3{,}70 \cdot 10^2}{1{,}40 \cdot 10^3} \Rightarrow \boxed{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \simeq 0{,}264}$$

P.491 Dados: $f = 500$ Hz; $v_1 = 330$ m/s; $v_2 = 1.500$ m/s

$\lambda_1 = \dfrac{v_1}{f} = \dfrac{330}{500} \Rightarrow \boxed{\lambda_1 = 0{,}66 \text{ m}}$ (no ar)

$\lambda_2 = \dfrac{v_2}{f} = \dfrac{1.500}{500} \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 3 \text{ m}}$ (na água)

P.492 Se N é o primeiro ponto nodal:

$$\Delta = F_2N - F_1N = i\frac{\lambda}{2}$$

Mas: $F_2N = x_1$; $F_1N = 7$ m; $i = 1$; $\lambda = 2$ m; então:

$$x - 7 = 1 \cdot \frac{2}{2} \Rightarrow \boxed{x = 8 \text{ m}}$$

P.493 Da figura: $PR = 8$ m; $QR = 7{,}8$ m

Para a interferência construtiva inicial, temos:

$$\Delta = PR - QR = p\frac{\lambda}{2} \text{ ①, em que } \lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{340}{3.400} = 0{,}1 \text{ m}$$

Substituindo o valor de λ e as distâncias PR e QR em ①, obtemos:

$$8 - 7{,}8 = p\frac{0{,}1}{2} \Rightarrow 0{,}2 = p\frac{0{,}1}{2} \Rightarrow p = 4$$

Se a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui e a interferência se torna destrutiva com $i = 5$. Assim, temos:

$$\Delta = PR - QR = i\frac{\lambda'}{2} \Rightarrow 8 - 7{,}8 = 5\frac{\lambda'}{2} \Rightarrow 0{,}2 = 5\frac{\lambda'}{2} \Rightarrow \lambda' = 0{,}08 \text{ m}$$

A nova frequência vale: $f' = \dfrac{v}{\lambda'} = \dfrac{340}{0{,}08} \Rightarrow \boxed{f' = 4.250 \text{ Hz}}$

P.494 Dados: $f_b = 5$ batimentos por segundo (5 Hz); $f = 528$ Hz

Para $f' > f \Rightarrow f_b = f' - f \Rightarrow 5 = f' - 528 \Rightarrow \boxed{f' = 533 \text{ Hz}}$

Para $f'' < f \Rightarrow f_b = f - f'' \Rightarrow 5 = 528 - f'' \Rightarrow \boxed{f'' = 523 \text{ Hz}}$

P.495 Dados: $L = 2{,}0$ m; $f = 120$ Hz; $n = 3$

a) $\lambda_n = \dfrac{2L}{n} \Rightarrow \lambda_3 = \dfrac{2 \cdot 2{,}0}{3} \Rightarrow \boxed{\lambda_3 \simeq 1{,}33 \text{ m}}$

b) $v = \lambda_3 \cdot f \Rightarrow v = 1{,}33 \cdot 120 \Rightarrow \boxed{v = 160 \text{ m/s}}$

c) $d = \dfrac{\lambda_3}{4} = \dfrac{1{,}33}{4} \Rightarrow \boxed{d \simeq 0{,}33 \text{ m}}$

P.496 Dados: $L = 50$ cm $= 0{,}5$ m; $f = 500$ Hz

a) Para a frequência fundamental:

$\lambda = 2L = 2 \cdot 0{,}5 \Rightarrow \lambda = 1$ m

De $v = \lambda f$, vem: $v = 1 \cdot 500 \Rightarrow \boxed{v = 500 \text{ m/s} = 5 \cdot 10^2 \text{ m/s}}$

b) Para $L' = \dfrac{L}{2} = \dfrac{0{,}5}{2} \Rightarrow L' = 0{,}25$ m, teremos:

$\lambda' = 2L' = 2 \cdot 0{,}25 \Rightarrow \lambda' = 0{,}5$ m

De $f' = \dfrac{v}{\lambda'}$, vem: $f' = \dfrac{500}{0{,}5} \Rightarrow \boxed{f' = 1.000 \text{ Hz}}$

P.497 Seja n o número de ordem do harmônico cuja frequência é $f_n = 24$ Hz. Sendo f a frequência fundamental, temos:

$$f_n = nf \Rightarrow 24 = nf \quad ①$$

A frequência imediatamente superior a essa é o harmônico de ordem $(n + 1)$, ou seja, $f_{(n+1)} = 30$ Hz:

$$f_{(n+1)} = (n + 1)f \Rightarrow 30 = (n + 1)f \quad ②$$

Subtraindo membro a membro ② e ①, vem:

$30 - 24 = (n + 1)f - nf \Rightarrow 6 = nf + f - nf \Rightarrow \boxed{f = 6 \text{ Hz}}$

P.498 Dados: $L_1 = 60$ cm $= 0{,}6$ m; $T_1 = 40$ N; $f_1 = 36$ Hz; $L_2 = 40$ cm $= 0{,}4$ m; $T_2 = 90$ N

Para a frequência fundamental, temos:

$f_1 = \dfrac{1}{2L_1}\sqrt{\dfrac{T_1}{\mu}}$ ① $\qquad f_2 = \dfrac{1}{2L_2}\sqrt{\dfrac{T_2}{\mu}}$ ②

Dividindo ① por ②, obtemos:

$\dfrac{f_1}{f_2} = \dfrac{L_2}{L_1}\sqrt{\dfrac{T_1}{T_2}} \Rightarrow \dfrac{f_1}{f_2} = \dfrac{0{,}4}{0{,}6} \cdot \sqrt{\dfrac{40}{90}} \Rightarrow \dfrac{f_1}{f_2} = \dfrac{2}{3} \cdot \sqrt{\dfrac{4}{9}} = \dfrac{2}{3} \cdot \dfrac{2}{3} \Rightarrow \dfrac{f_1}{f_2} = \dfrac{4}{9} \Rightarrow$

$\Rightarrow \dfrac{36}{f_2} = \dfrac{4}{9} \Rightarrow \boxed{f_2 = 81 \text{ Hz}}$

P.499 a) Dados: $f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$; $L = 0{,}50$ m; $\mu = 10^{-2}$ kg/m; $T = 100$ N

$$f = \frac{1}{2 \cdot 0{,}50} \cdot \sqrt{\frac{100}{10^{-2}}} = \frac{1}{1{,}0} \cdot \sqrt{10^4} \Rightarrow \boxed{f = 10^2 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}}$$

b) De acordo com a fórmula, para dobrar a frequência do som fundamental, pode-se:

- manter a tração e reduzir o comprimento à metade;
- manter o comprimento e quadruplicar a tração.

P.500 De $f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$, temos:

- para $n = 2$ (2º harmônico): $f' = \frac{2}{2L}\sqrt{\frac{T_1}{\mu}} \Rightarrow f' = \frac{1}{L}\sqrt{\frac{T_1}{\mu}}$
- para $n = 1$ (frequência fundamental): $f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T_2}{\mu}}$

Para que a mesma corda emita como fundamental o segundo harmônico, devemos impor:

$$f = f' \Rightarrow \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T_2}{\mu}} = \frac{1}{L}\sqrt{\frac{T_1}{\mu}} \Rightarrow \frac{\sqrt{T_2}}{\sqrt{T_1}} = 2$$

Elevando ao quadrado vem:

$$\frac{T_2}{T_1} = 4 \Rightarrow T_2 = 4T_1$$

Como $T_1 = 2$ kgf, temos:

$$T_2 = 4 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{T_2 = 8 \text{ kgf}}$$

P.501 Dados: $\mu = 0{,}60$ g/m; $L = 85$ cm $= 0{,}85$ m; $f = 294$ Hz

a) Como a fórmula para a frequência da vibração fundamental é $f = \frac{v}{2L}$, temos:

$$294 = \frac{v}{2 \cdot 0{,}85} \Rightarrow \boxed{v \simeq 500 \text{ m/s} = 5 \cdot 10^2 \text{ m/s}}$$

b) De $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, vem:

$$v^2 = \frac{T}{\mu} \Rightarrow T = v^2 \cdot \mu$$

Mas: $\mu = 0{,}60$ g/m $= 0{,}60 \cdot 10^{-3}$ kg/m; então:

$$T = (5 \cdot 10^2)^2 \cdot 0{,}60 \cdot 10^{-3} \Rightarrow T = 25 \cdot 10^4 \cdot 0{,}60 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

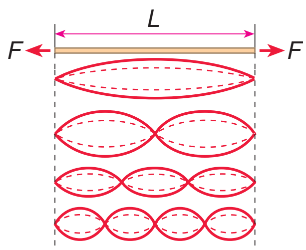
$$\Rightarrow \boxed{T = 1{,}5 \cdot 10^2 \text{ N} = 150 \text{ N}}$$

P.502 a) Pelo exposto no exercício, temos: $f_n = \left(\frac{n}{2L}\right) \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}}$; $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

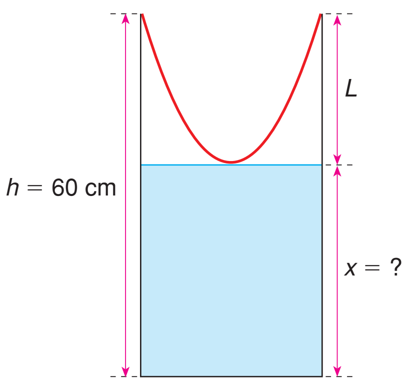
Comparando essas duas fórmulas, vem:

$$f_n = \left(\frac{n}{2L}\right) \cdot v \Rightarrow \frac{v}{f_n} = \frac{2L}{n} \Rightarrow \boxed{\lambda_n = \frac{2L}{n}}$$

b)



P.503



Sendo o comprimento de onda $\lambda = 100$ cm, o comprimento do "tubo" que entra em ressonância com o diapasão, sendo $i = 1$, vale:

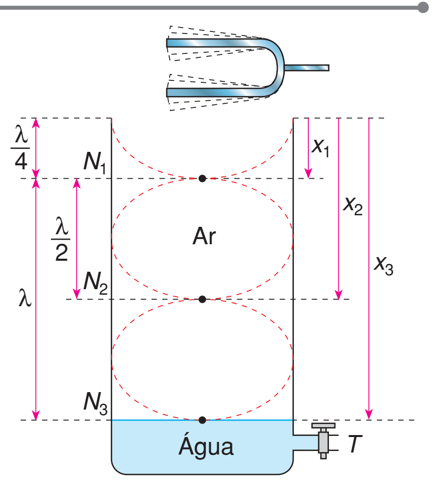
$$\lambda = \frac{4L}{i} \Rightarrow L = \frac{\lambda \cdot i}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L = \frac{100 \cdot 1}{4} \Rightarrow L = 25 \text{ cm}$$

Para a altura da água na proveta, temos:

$$x = h - L \Rightarrow x = 60 - 25 \Rightarrow \boxed{x = 35 \text{ cm}}$$

P.504 O nível da água no tubo pode ser baixado abrindo-se a torneira *T*. Na coluna de ar do tubo formam-se ondas estacionárias que entram em ressonância com o diapasão. Isso ocorre para os comprimentos x_1, x_2 e x_3 da coluna de ar, formando-se os nós N_1, N_2 e N_3 no nível da água, de modo que o comprimento das ondas formadas seja sempre igual ao comprimento da onda sonora emitida pelo diapasão.



A partir dessas considerações, podemos escrever:

- $x_1 = \frac{\lambda}{4}$, e sendo $x_1 = 11$ cm, vem:

$11 = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \boxed{\lambda = 44 \text{ cm}}$

- $x_2 = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} = 3\frac{\lambda}{4}$, e sendo $x_2 = 33$ cm, vem:

$33 = 3\frac{\lambda}{4} \Rightarrow \boxed{\lambda = 44 \text{ cm}}$

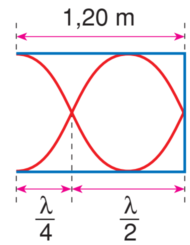
- $x_3 = \frac{\lambda}{4} + \lambda = 5\frac{\lambda}{4}$, e sendo $x_3 = 55$ cm, vem:

$55 = 5\frac{\lambda}{4} \Rightarrow \boxed{\lambda = 44 \text{ cm}}$

P.505 Dados: $v = 330$ m/s; $\lambda = 44$ cm $= 0{,}44$ m

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{330}{0{,}44} \Rightarrow \boxed{f = 750 \text{ Hz}}$

P.506 Dado: $v = 340$ m/s



Da figura: $\frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} = 1{,}20$ m; logo:

$\frac{3\lambda}{4} = 1{,}20 \Rightarrow \lambda = 1{,}60$ m

De $f = \frac{v}{\lambda}$, vem: $f = \frac{340}{1{,}60} \Rightarrow \boxed{f = 212{,}5 \text{ Hz}}$

Outra solução:

Como $f = i\,\frac{v}{4L}$ e $i = 3$, pois é o segundo modo de vibração, temos:

$f = 3 \cdot \frac{340}{4 \cdot 1{,}20} \Rightarrow \boxed{f = 212{,}5 \text{ Hz}}$

P.507 Dados: $L = 50$ cm $= 0{,}5$ m (tubo aberto); $f = 1.360$ Hz; $v = 340$ m/s

De $f = n\,\frac{v}{2L}$, vem: $1.360 = n\,\frac{340}{2 \cdot 0{,}5} \Rightarrow n = 4$

Assim, o som emitido corresponde ao $\boxed{4^{\underline{o}} \text{ harmônico}}$.

P.508 Para o harmônico fundamental: $f = \dfrac{v}{2L}$

Para o harmônico de ordem n: $f_n = n\,\dfrac{v}{2L} \Rightarrow f_n = nf$

Para o harmônico de ordem $(n + 1)$: $f_{(n+1)} = (n + 1)\,f$

Substituindo $f_n = 222$ Hz e $f_{(n+1)} = 296$ Hz, vem:

$222 = nf$ ① $\qquad 296 = (n + 1) \cdot f$ ②

Subtraindo membro a membro ② e ①, obtemos:

$$296 - 222 = (n + 1) \cdot f - nf \Rightarrow 74 = nf + f - nf \Rightarrow \boxed{f = 74 \text{ Hz}}$$

P.509 Dados: $L = 40$ cm $= 0{,}4$ m (tubo aberto); $v = 340$ m/s; $f = n\,\dfrac{v}{2L}$

Para $n = 1$ (som fundamental):

$$f_1 = 1\,\frac{v}{2L} \Rightarrow f_1 = 1 \cdot \frac{340}{2 \cdot 0{,}4} \Rightarrow f_1 = 425 \text{ Hz (som audível)}$$

Para $n = 2$: $f_2 = 2f_1 = 2 \cdot 425 \Rightarrow f_2 = 850$ Hz (som audível)

Para $n = 3$: $f_3 = 3f_1 = 3 \cdot 425 \Rightarrow f_3 = 1.275$ Hz (som audível)

Para $n = 4$: $f_4 = 4f_1 = 4 \cdot 425 \Rightarrow f_4 = 1.700$ Hz (som audível)

... e assim por diante.

O último harmônico audível deve ter frequência próxima de 20.000 Hz, mas inferior a esse valor. Fazendo $f_n = 20.000$ Hz, obtemos um valor para o número de ordem próximo ao desse último harmônico:

$$f_n = nf \Rightarrow n = \frac{f_n}{f} \Rightarrow n = \frac{20.000}{425} \Rightarrow n \simeq 47{,}06$$

Como n deve ser inteiro, adotamos $n = 47$. A frequência correta desse último harmônico audível é:

$$f_{47} = 47 \cdot 425 \Rightarrow \boxed{f_{47} = 19.975 \text{ Hz}}$$

Portanto, são audíveis **todos os harmônicos**, desde o fundamental ($n = 1$) até o de ordem $n = 47$.

P.510 Dados: $f = 400$ Hz; $v = 500$ m/s

O menor comprimento do tubo aberto ou do tubo fechado deve corresponder à frequência fundamental:

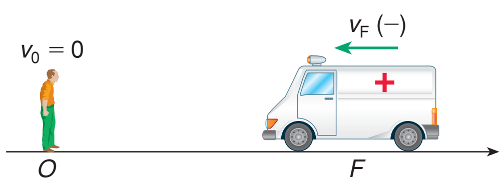
$$f = \frac{v}{2L_a} \Rightarrow 400 = \frac{500}{2 \cdot L_a} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_a = 0{,}625 \text{ m ou } \boxed{L_a = 62{,}5 \text{ cm}} \text{ (aberto)}$$

$$f = \frac{v}{4L_f} \Rightarrow 400 = \frac{500}{4 \cdot L_f} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_f = 0{,}3125 \text{ m ou } \boxed{L_f = 31{,}25 \text{ cm}} \text{ (fechado)}$$

P.511 Dados: $f = 528$ Hz; $v_F = 72$ km/h $= 20$ m/s; $v_0 = 0$; $v = 340$ m/s

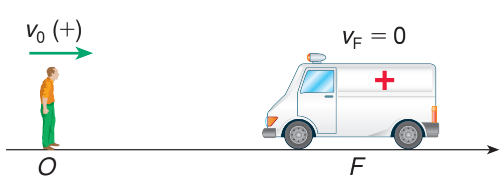


De $f' = f \cdot \left(\frac{v}{v - v_F}\right)$, vem:

$$f' = 528 \cdot \left(\frac{340}{340 - 20}\right) \Rightarrow \boxed{f' = 561 \text{ Hz}}$$

P.512 Dados: $f = 340$ Hz; $v_F = 0$; $v = 340$ m/s; $f' = 360$ Hz

Para ouvir um som de frequência maior que a do emitido ($f' > f$), o observador deve **aproximar-se** da fonte.

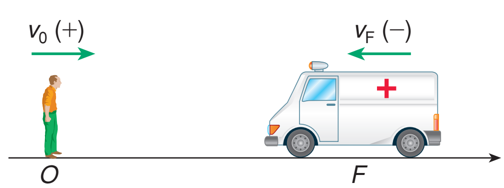


De $f' = f \cdot \left(\frac{v + v_0}{v}\right)$, vem:

$$360 = 340 \cdot \left(\frac{340 + v_0}{340}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 360 = 340 + v_0 \Rightarrow \boxed{v_0 = 20 \text{ m/s}}$$

P.513 Dados: $f = 1.000$ Hz; $v_F = 40$ m/s; $v_0 = 5$ m/s; $v = 340$ m/s



De $f' = f \cdot \left(\frac{v + v_0}{v - v_F}\right)$, vem:

$$f' = 1.000 \cdot \left(\frac{340 + 5}{340 - 40}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{f' = 1.150 \text{ Hz}}$$

P.514 a) A situação de N_2 puro corresponde à fração molar 0% de Ar. No gráfico, obtemos para a velocidade do som: $v \simeq 347$ m/s

A frequência da onda sonora é: $f = 800$ kHz $= 800 \cdot 10^3$ Hz

O comprimento de onda será dado por:

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{347}{80 \cdot 10^4} \Rightarrow \boxed{\lambda = 4{,}3 \cdot 10^{-4}\ \text{m}}$$

b) Quando a fração molar de Ar é 60%, a velocidade do som, lida no gráfico, é: $v \simeq 325$ m/s

Sendo $\Delta s = 10$ cm $= 10^{-1}$m, vem:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{10^{-1}}{325} \Rightarrow \boxed{\Delta t \simeq 3{,}1 \cdot 10^{-4}\ \text{s}}$$

P.515 a) Pela simples análise do gráfico, obtemos para a velocidade mínima do som:

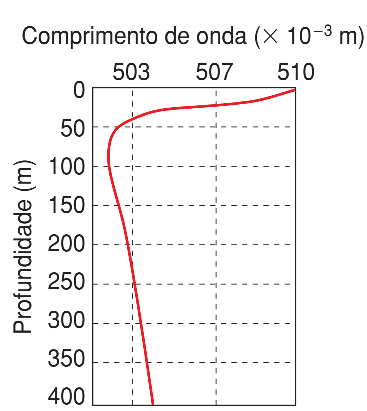
$\boxed{v \simeq 1.507\ \text{m/s}}$

A respectiva profundidade é: $\boxed{y \simeq 75\ \text{m}}$

b) Usando a fórmula $v = \lambda f$, sendo $f = 3.000$ Hz, obtemos a tabela:

v (m/s)	1.510	1.520	1.530
λ (10^{-3}m)	503	507	510
y (m)	40 ou 250	25	0

O gráfico terá então o seguinte aspecto:



P.516 a) Considerando que as ondas sonoras não se propagam no vácuo, somente o filme *2001, uma odisseia no espaço* está de acordo com as leis da Física.

b) Considerando que as ondas luminosas propagam-se no vácuo, quanto aos efeitos luminosos, ambos os filmes estão de acordo com as leis da Física.

P.517 a) No ar: $t_1 = 0{,}731$ s; na água: $t_2 = 0{,}170$ s

Como o percurso é o mesmo, temos:

$\Delta s = v_{ar} \cdot t_1$ $\quad\quad$ $\Delta s = v_{água} \cdot t_2$

Igualando essas duas fórmulas, obtemos:

$$v_{ar} \cdot t_1 = v_{água} \cdot t_2 \Rightarrow \frac{v_{água}}{v_{ar}} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{0{,}731}{0{,}170} \Rightarrow \boxed{\frac{v_{água}}{v_{ar}} = 4{,}3}$$

b) Como a frequência não se altera, temos:

$$f = \frac{v_{ar}}{\lambda_{ar}} \text{ ①} \qquad f = \frac{v_{água}}{\lambda_{água}} \text{ ②}$$

Igualando ① e ②:

$$\frac{v_{ar}}{\lambda_{ar}} = \frac{v_{água}}{\lambda_{água}} \Rightarrow \frac{\lambda_{água}}{\lambda_{ar}} = \frac{v_{água}}{v_{ar}} \Rightarrow \boxed{\frac{\lambda_{água}}{\lambda_{ar}} = 4{,}3}$$

P.518 a) A distância entre dois nós consecutivos corresponde a meio comprimento de onda. Então:

$$d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2d = 2 \cdot 12 \Rightarrow \boxed{\lambda = 24 \text{ cm}}$$

b) A força que traciona o fio é: $F = mg = 0{,}18 \cdot 10 \Rightarrow F = 1{,}8$ N

Sendo a densidade linear do fio $\mu = 5{,}0 \cdot 10^{-4}$ kg/m, podemos usar a fórmula dada para calcular a velocidade de propagação da onda:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{1{,}8}{5{,}0 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{36 \cdot 10^2} \Rightarrow v = 60 \text{ m/s}$$

Como o comprimento de onda é $\lambda = 24$ cm $= 0{,}24$ m, a frequência da onda é:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{60}{0{,}24} \Rightarrow \boxed{f = 250 \text{ Hz}}$$

P.519 a) Combinando a fórmula dos harmônicos na corda tensa $\left(f = n\frac{v}{2L}\right)$ com a fórmula da velocidade das ondas na corda $\left(v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}\right)$, obtemos: $f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$

O fio mais denso (μ_1) é o que vibra no 3º harmônico. Então, aplicando a fórmula para os dois fios, obtemos:

$$f = \frac{3}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu_1}} \qquad f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu_2}}$$

Igualando, pois a frequência é a mesma, vem:

$$\frac{3}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu_1}} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu_2}} \Rightarrow 3\sqrt{\frac{1}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{1}{\mu_2}}$$

Elevando ao quadrado: $\frac{9}{\mu_1} = \frac{1}{\mu_2} \Rightarrow \boxed{\mu_2 = \frac{\mu_1}{9}}$

b) Em cada corda, a tração T é metade do peso do corpo M: $T = \frac{Mg}{2}$

Substituindo na fórmula da frequência do fio de densidade linear μ_1, vem:

$$f = \frac{3}{2L}\sqrt{\frac{\frac{Mg}{2}}{\mu_1}} \Rightarrow f^2 = \frac{9}{4L^2} \cdot \frac{Mg}{2\mu_1}$$

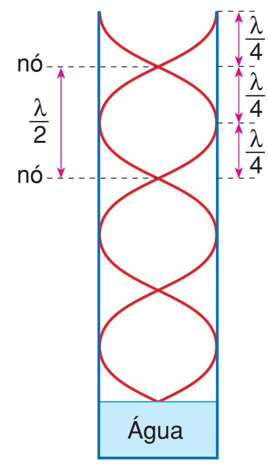
Tirando o valor de M: $\boxed{M = \frac{8\mu_1 L^2 \cdot f^2}{9g}}$

P.520 a) Os sons do ambiente entram em ressonância com as frequências naturais do ar no interior da concha. O som resultante dá a sensação de o ouvinte estar escutando o barulho do mar.

b) Trata-se de um tubo aberto de comprimento $L = 0{,}30$ m e onde a velocidade do som é $v = 330$ m/s. Fazendo $n = 1$ (fundamental) na fórmula, vem:

$$f = \frac{v}{2L} = \frac{330}{2 \cdot 0{,}30} \Rightarrow \boxed{f = 550 \text{ Hz}}$$

P.521 a) Como uma das extremidades do tubo é a superfície da água, podemos considerar que se trata de um tubo fechado entrando em ressonância com o som do diapasão. A freqüência do som que produz as ondas estacionárias no tubo é $f = 440$ Hz. A intensificação do som ocorre quando se forma um ventre na extremidade aberta e um nó na superfície da água, conforme o esquema seguinte:



A diferença entre os comprimentos do tubo nas duas situações sucessivas em que ocorre reforço do som ($L_1 = 0{,}6$ m e $L_2 = 1{,}0$ m) corresponde exatamente à distância entre dois nós consecutivos, ou seja, metade do comprimento de onda $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$. Então:

$$\frac{\lambda}{2} = L_2 - L_1 \Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 1{,}0 - 0{,}6 \Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 0{,}4 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0{,}8 \text{ m}}$$

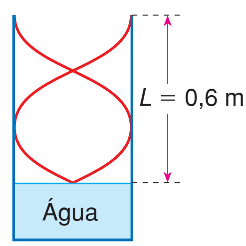
b) Como a velocidade do som é dada por $v = \lambda f$, temos:

$$v = \lambda f \Rightarrow v = 0{,}8 \cdot 440 \Rightarrow \boxed{v = 352 \text{ m/s}}$$

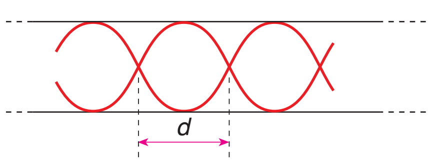
c) Para a primeira situação, aplicando a fórmula para o comprimento de onda (λ) em função do comprimento do tubo (L), teremos:

$$n\frac{\lambda}{4} = L \Rightarrow n = \frac{4L}{\lambda} \Rightarrow n = \frac{4 \cdot 0{,}6}{0{,}8} \Rightarrow n = 3$$

Trata-se, portanto, do harmônico de ordem 3, representado no esquema ao lado:



P.522 A distância entre dois pontos onde a intensidade sonora é mínima (nós) corresponde a meio comprimento de onda: $d = \frac{\lambda}{2}$



Como $f = 200$ Hz e $v = 340$ m/s, vem:

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{340}{200} \Rightarrow \lambda = 1{,}7 \text{ m}$$

Assim: $d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = \frac{1{,}7}{2} \Rightarrow d = 0{,}85$ m

Essa distância é percorrida em $\Delta t = 1{,}7$ s. A velocidade da pessoa vale, portanto:

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{0{,}85}{1{,}7} \Rightarrow \boxed{v = 0{,}5 \text{ m/s}}$$

P.523 a) Da análise do gráfico, obtemos:

$$2\lambda_A = 3{,}0 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda_A = 1{,}5 \text{ m}}$$

$$2\lambda_B = 1{,}0 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda_B = 0{,}50 \text{ m}}$$

$$5\lambda_C = 1{,}5 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda_C = 0{,}30 \text{ m}}$$

Preenchendo o quadro:

	λ (m)
A	1,5
B	0,50
C	0,30

b) O comprimento de onda da onda resultante *S* corresponde ao comprimento de onda da componente de menor frequência, isto é, a onda *A*: $\boxed{\lambda_0 = 1{,}5 \text{ m}}$

Podemos chegar ao mesmo resultado verificando que a onda resultante *S* começa a se repetir a partir da posição $x = 1{,}5$ m.

c) De acordo com o "Note e adote", a intensidade *I* é proporcional ao quadrado da amplitude:

$$I = KA^2 \text{ (sendo } K \text{ uma constante)}$$

Com o valor dado para a onda *B* de frequência $f_B = 3f_0$ (3º harmônico):

$$\left. I_B = KA_B^2 \right\} \text{K} = \frac{I_B}{A_B^2} = \frac{4}{2^2} \Rightarrow K = 1$$

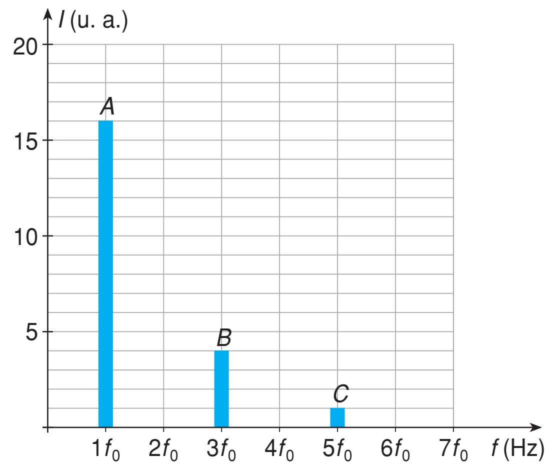
Assim para a onda *A*, cuja frequência é f_0 (fundamental), temos:

$$I_A = KA_A^2 = 1 \cdot 4^2 \Rightarrow I_A = 16 \text{ u. a.}$$

E para a onda *C*, cuja frequência é $f_C = 5f_0$ (5º harmônico)

$$I_C = KA_C^2 = 1 \cdot 1^2 \Rightarrow I_C = 1 \text{ u. a.}$$

Construindo o gráfico:



P.524 a) O primeiro pico do sinal emitido corresponde ao instante $t_1 = 20$ μs e o instante correspondente à recepção do mesmo sinal é $t_2 = 60$ μs.

Portanto, o intervalo de tempo entre esses instantes é:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 60 - 20 \Rightarrow \boxed{\Delta t = 40 \text{ μs}}$$

b) Nesse intervalo de tempo, o pulso percorre o dobro da espessura da placa (ida e volta), com velocidade $v = 1.200$ m/s. Assim:

$$v = \frac{2D}{\Delta t} \Rightarrow D = \frac{v \cdot \Delta t}{2} = \frac{1.200 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{2} \Rightarrow \boxed{D = 24 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 24 \text{ mm}}$$

c) Sendo a frequência do ultrassom utilizado $f = 1{,}5 \cdot 10^6$ Hz, o comprimento de onda será:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.200}{1{,}5 \cdot 10^6} \Rightarrow \boxed{\lambda = 8{,}0 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0{,}8 \text{ mm}}$$

P.525 a) A frequência de batimentos entre os sons de frequências $f_A = 150$ Hz e $f_B = 155$ Hz corresponde à diferença:

$$f_b = f_B - f_A = 155 - 150 \Rightarrow \boxed{f_b = 5 \text{ Hz}}$$

b) A frequência do tubo *B* deve diminuir, para se igualar à do tubo *A* e portanto ele deve se *afastar* do observador. Para calcular sua velocidade, usamos a fórmula:

$$f' = f_B \cdot \frac{v_s}{v_s + v_B}$$

$f' = f_A = 150$ Hz; $f_B = 155$ Hz; $v_s = 300$ m/s; logo:

$$150 = 155 \frac{300}{300 + v_B} \Rightarrow 300 + v_B = 310 \Rightarrow \boxed{v_B = 10 \text{ m/s}}$$

P.526 a) Sendo $\Delta s_F = 9{,}0$ m e $\Delta t = 0{,}9$ s, a velocidade da fonte é:

$$v_F = \frac{\Delta s_F}{\Delta t} = \frac{9{,}0}{0{,}9} \Rightarrow \boxed{v_F = 10 \text{ m/s}}$$

b) Como a velocidade da onda é $v_0 = 20$ m/s, isto é, o dobro da fonte, ela percorre o dobro da distância:

$$\Delta s_0 = 2\Delta s_F \Rightarrow \Delta s_0 = 18 \text{ m}$$

Entretanto, como ambas (fonte e onda) se movem no mesmo sentido, o deslocamento relativo entre elas será: $x = \Delta s_0 - \Delta s_F = 18 - 9{,}0 \Rightarrow x = 9{,}0$ m

Nesse trecho, contam-se *oito ondas* (incluindo a que está sendo emitida no instante considerado) e, portanto, *sete* distâncias de onda a onda. Logo:

$$\lambda_A = \frac{x}{N} = \frac{9{,}0}{7} \Rightarrow \boxed{\lambda_A \simeq 1{,}29 \text{ m}}$$

c) Considerando o afastamento entre as ondas e a fonte (lado do observador B), o deslocamento relativo será:

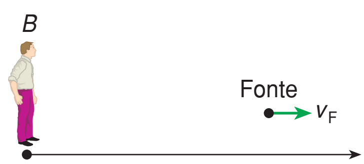
$$x' = \Delta s_0 + \Delta s_F = 18 + 9{,}0 \Rightarrow x' = 27 \text{ m}$$

O comprimento de onda aparente, para o observador B, será:

$$\lambda_B = \frac{x'}{N} = \frac{27}{7} \Rightarrow \lambda_B \simeq 3{,}86 \text{ m}$$

Sendo a velocidade da onda $v_0 = 20$ m/s, a frequência medida por B é:

$$f_B = \frac{v_0}{\lambda_B} = \frac{20}{3{,}86} \Rightarrow \boxed{f_B \simeq 5{,}2 \text{ Hz}}$$

d) 

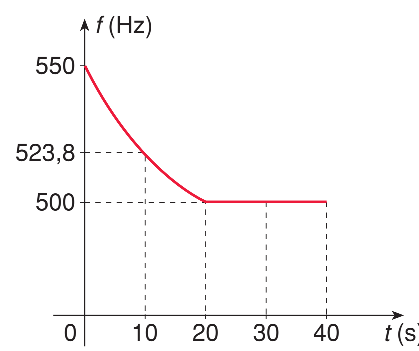
Aplicando a fórmula: $f_B = f \cdot \dfrac{v_0}{v_0 + v_F}$, vem:

$$5{,}2 = f \cdot \frac{20}{20 + 10} \Rightarrow \boxed{f \simeq 7{,}8 \text{ Hz}}$$

Observação:

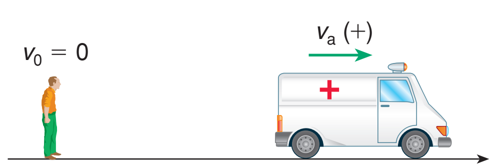
Vale ressaltar que as ondas referidas *não são* ondas sonoras propagando-se no ar. Portanto, quando se diz que a frequência é *medida* pelo observador, não significa que seja ouvida. Além disso, a velocidade de 20 m/s é incompatível para ondas sonoras.

P.527 a) No gráfico verifica-se que, entre $t = 0$ e $t = 20$ s, a frequência registrada pelo detetor diminui. Então, pode-se concluir que, nesse intervalo de tempo, a ambulância está se afastando do detetor.



b) No instante $t = 0$: $f' = f = 550 \text{ Hz} \Rightarrow v_a = 0$

No instante $t = 10$ s: $f' = 523{,}8$ Hz



De $f' = f \cdot \left(\dfrac{v}{v + v_a}\right)$, vem:

$$523{,}8 = 550 \cdot \left(\frac{340}{340 + v_a}\right) \Rightarrow 340 + v_a = 357 \Rightarrow v_a = 17 \text{ m/s}$$

No instante $t = 20$ s: $f' = 500$ Hz

$$f' = f \cdot \left(\frac{v}{v + v_a}\right) \Rightarrow 500 = 550 \cdot \left(\frac{340}{340 + v_a}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 340 + v_a = 374 \Rightarrow v_a = 34 \text{ m/s}$$

A partir do instante 20 s, a frequência ouvida não se modifica, indicando que, a partir de então, a velocidade da ambulância se mantém constante.

Considerando que a velocidade da ambulância varia linearmente com o tempo entre os instantes $t = 0$ e $t = 20$ s, a representação gráfica da velocidade da ambulância será dada por: