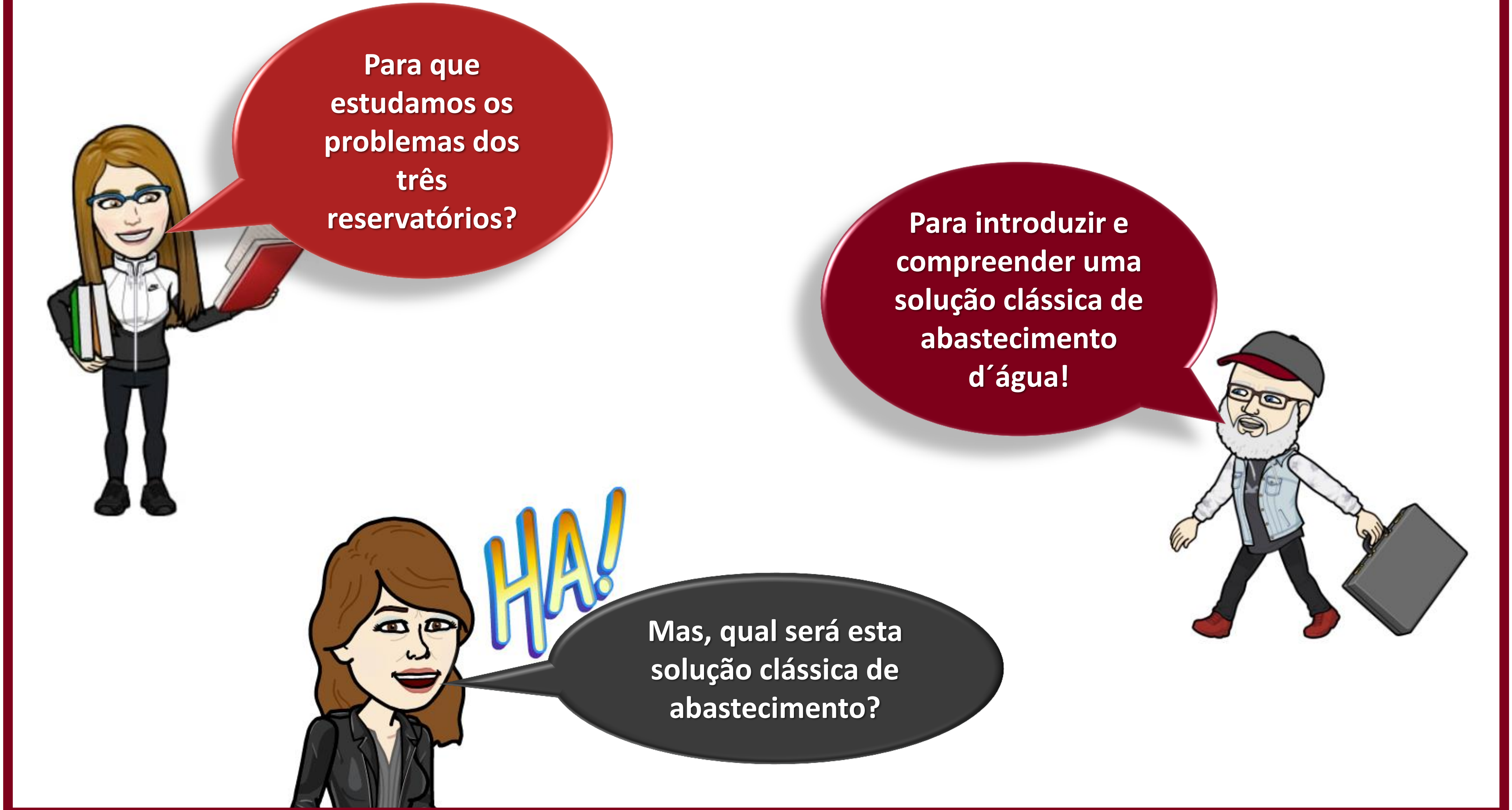

Aula 12 de
hidráulicaII


Para que estudamos os problemas dos três reservatórios?
Para introduzir e compreender uma solução clássica de abastecimento d´água!
HA!
Mas, qual será esta solução clássica de abastecimento?

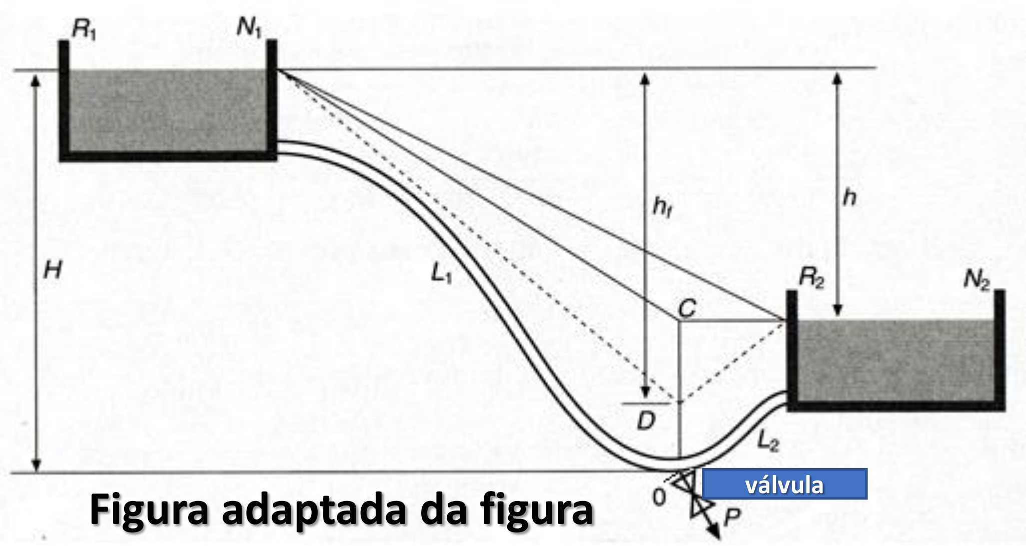


Figura adaptada da figura 13.8, pg 350 do Manual de Hidráulica – Azevedo Netto

O reservatório R_1, por estar numa cota mais elevada é um reservatório abastecedor, já o reservatório R_2 (reservatório de sobras ou reservatório pulmão) pode ser abastecedor, receptor ou simplesmente armazenador.

1. A válvula está fechada e R_1 abastece R_2, portanto:

$$H_1 = H_2 + H_{p_{1-2}} \Rightarrow H_{p_{1-2}} = H_1 - H_2 = h \Rightarrow h = f \times \frac{(L_1 + L_2)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Admitindo conduto de seção circular e forçado, resulta:

$$h = f \times \frac{(L_1 + L_2)}{D} \times \frac{Q^2}{2g \times \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right)^2} = f \times \frac{16}{2g \times \pi^2} \times \frac{(L_1 + L_2)}{D^5} \times Q^2$$

$$\therefore Q = \sqrt{\frac{h \times 2g \times \pi^2 \times D^5}{f \times 16 \times (L_1 + L_2)}}$$

Isso mesmo e a carga estática tinha que ser negativa!

Estudamos isto em Hidráulica I como escoamento em queda livre!

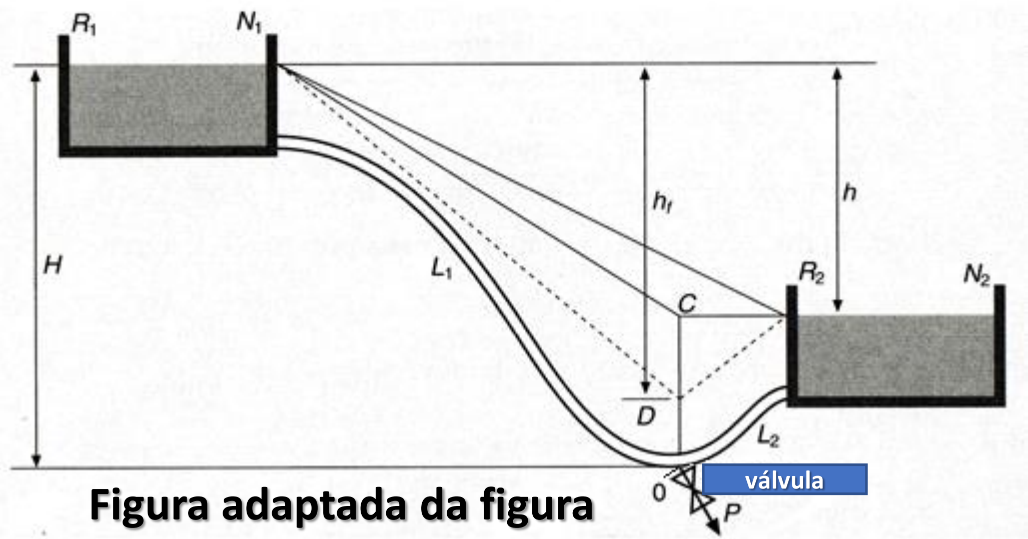


Figura adaptada da figura 13.8, pg 350 do Manual de Hidráulica – Azevedo Netto

2. A válvula está um pouco aberta, de tal forma que R_1 abastece R_2 e também a tubulação "OP". Neste caso a vazão em cada trecho dependerá de quanto estiver aberta a válvula.

3. A válvula está aberta, de tal maneira que a carga do ponto de derivação "O" é igual a H_2 ($C - N_2$ é horizontal). Como não há diferença de carga nesse caso o R_2 é um reservatório armazenador, portanto, toda a água que vem de R1 irá para a derivação OP.

$$H_1 = H_O + H_{p_{1-O}} \Rightarrow H_{p_{1-O}} = H_1 - H_2 = h \Rightarrow h = f \times \frac{L_1}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Admitindo conduto de seção circular e forçado, resulta:

$$\mathbf{h = f \times \frac{L_1}{D} \times \frac{Q^2}{2g \times \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right)^2} = f \times \frac{16}{2g \times \pi^2} \times \frac{L_1}{D^5} \times Q^2 \therefore Q = \sqrt{\frac{h \times 2g \times \pi^2 \times D^5}{f \times 16 \times L_1}}}$$

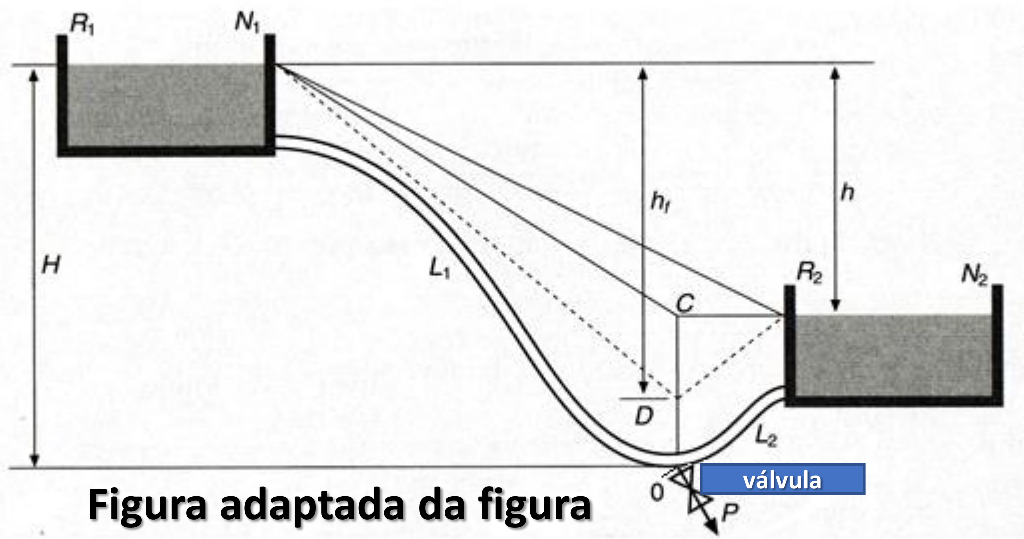


Figura adaptada da figura 13.8, pg 350 do Manual de Hidráulica – Azevedo Netto

4. A válvula está mais aberta, de tal maneira que a linha de carga do ponto de derivação "O", que corresponde ao ponto "D", está abaixo do nível de água em R_2. Nesse caso, R_1 e R_2 abastecem a derivação OP.

Admitindo conduto de seção circular e forçado, resulta:

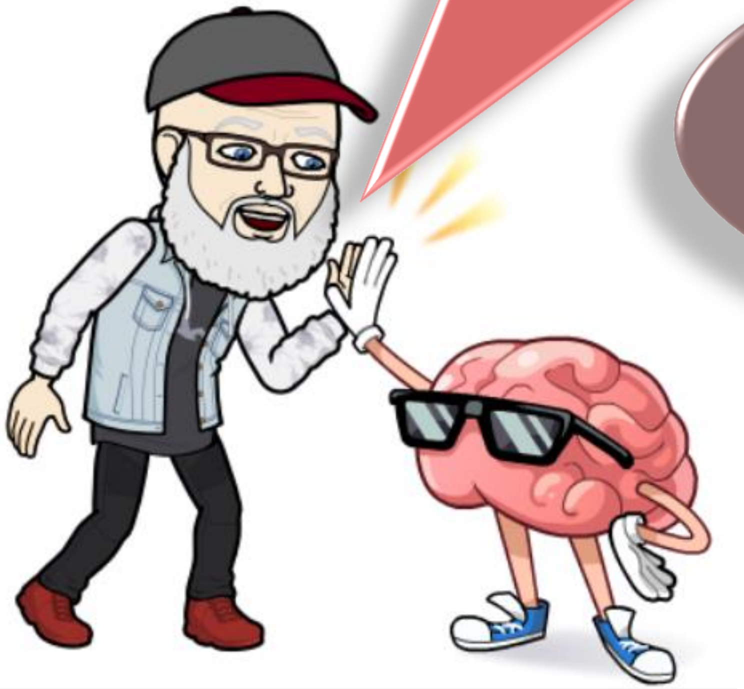
$$Q = \sqrt{\frac{h_f \times 2g \times \pi^2 \times D^5}{f \times 16 \times L_1}} + \sqrt{\frac{(h_f - h) \times 2g \times \pi^2 \times D^5}{f \times 16 \times L_2}}$$

A maior vazão ocorre quando o ponto D coincidir com O, nesse caso:

$$Q = \sqrt{\frac{H \times 2g \times \pi^2 \times D^5}{f \times 16 \times L_1}} + \sqrt{\frac{(H - h) \times 2g \times \pi^2 \times D^5}{f \times 16 \times L_2}}$$


E no caso dos diâmetros nos trechos L_1 e L_2 serem diferentes?
Nesse caso, para facilitar a solução, podemos pensar em condutos equivalentes.
ummmm...

Podemos levar água de um lugar para outro, ou por um só tubo de determinado diâmetro, ou por dois ou mais tubos de diâmetro menor instalados em paralelo, ou ainda por dois ou mais tubos de diâmetros maiores e menores instalados em série.

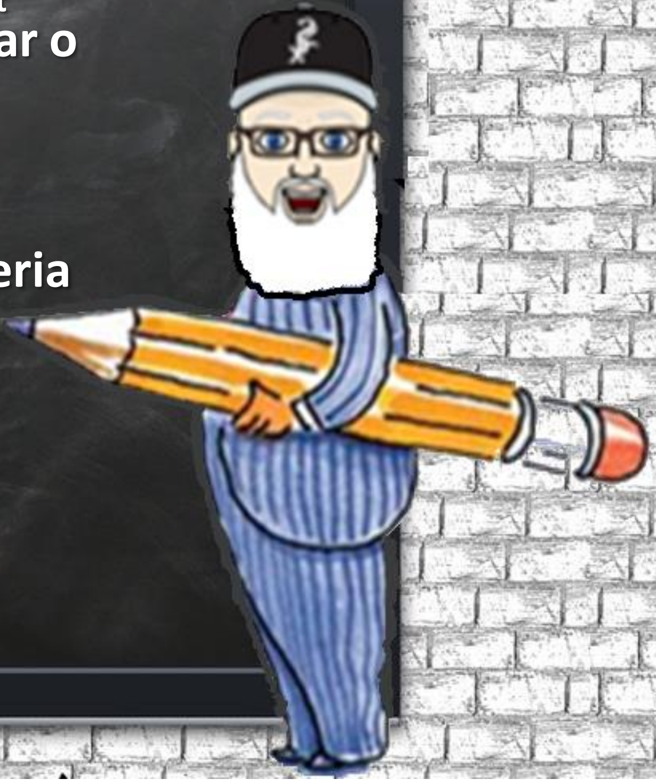


Temos um sistema de tubulações equivalente a outro sistema ou a uma tubulação simples quando ele é capaz de transportar a mesma vazão com a mesma perda de carga total!

Uma tubulação simples equivalente a outra

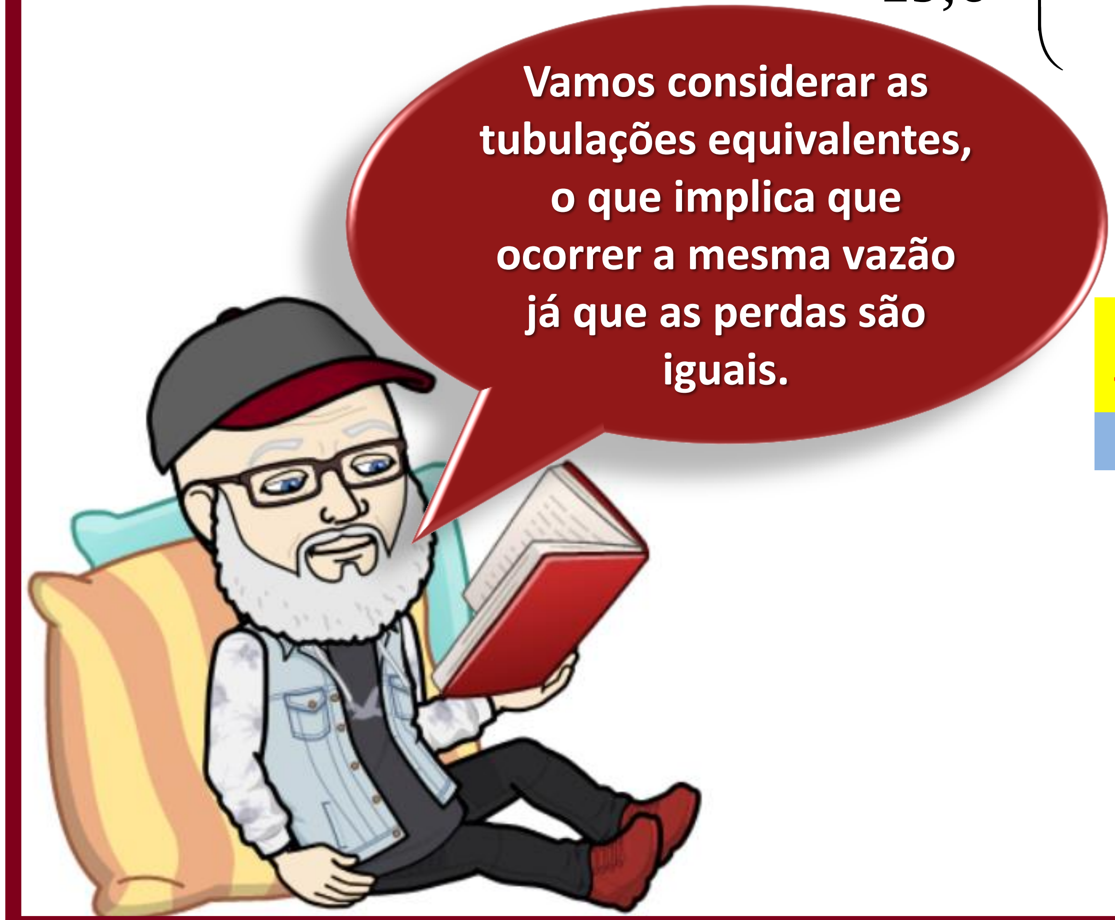
Na execução de um projeto, onde água a $25^{0}C$ será transportada a uma vazão necessária de 84 L/s, foi recomendado uma tubulação de ferro fundido classe 20 com diâmetro nominal de 250 mm (D_{int} = 267,21 mm) com 360 m de extensão. Ao consultar o almoxarifado, o engenheiro foi informado da existência de 200 m de tubulação de aço 40 com diâmetro nominal de 8” (Dint = 202,7 mm e A = 322,6 cm²) e foi consultado se a mesma poderia ser utilizada? Através do conceito de tubulação equivalente, qual a resposta do engenheiro?

Dados: $K_{aço} = 4,6 * 10^{-5}$ m e $K_{FoFo} = 2,59 * 10^{-4}$ m



$$H_{p_{FoFo}} = H_{p_{aço}} \Rightarrow f_{FoFo}\times\frac{L_{FoFo}}{D_{H_{FoFo}}}\times\frac{Q^2}{2g\times A^2_{FoFo}} = f_{Aço}\times\frac{L_{Aço}}{D_{H_{Aço}}}\times\frac{Q^2}{2g\times A^2_{Aço}}$$

$$f_{FoFo}\times\frac{360}{0,26721}\times\frac{(84\times10^{-3})^2}{19,6\times\left(\frac{\pi\times0,2621^2}{4}\right)^2} = f_{Aço}\times\frac{L_{Aço}}{0,2027}\times\frac{(84\times10^{-3})^2}{19,6\times\left(322,6\times10^{-4}\right)^2}$$



Valores comuns

propriedades do fluido transportado					
temp (ºC)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m³)	pv (Pa)	ν (m²/s)
25		8,89E-04	997		8,920E-07

Q m³/h
302,4

Q(m³/s)	Q(L/s)	Q(L/min)
	84	

deve transformar para m³/h

$$360\times\frac{f_{FoFo}}{f_{Aço}}\times\frac{0,2027}{0,26721}\times\frac{\left(322,6\times10^{-4}\right)^2}{\left(\frac{\pi\times0,26721^2}{4}\right)^2}=L_{Aço}$$

Vamos considerar as tubulações equivalentes, o que implica que ocorrer a mesma vazão já que as perdas são iguais.

Para o aço

mat. tubo aço	aço		
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
		202,7	322,6
	K(m)	DH/k	
	4,60E-05	4407	

Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Churchill}$
302,4	2,60	591703	0,0156

Para o ferro fundido (FoFo)

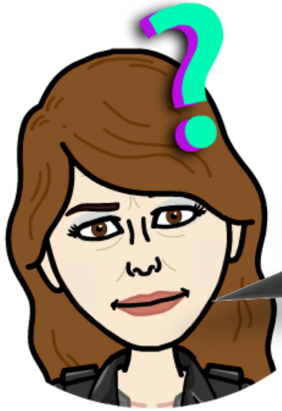
mat. tubo aço	FoFo		
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
		267,21	560,8
	K(m)	DH/k	
	2,59E-04	1032	

Q(m³/h)	v(m/s)	Re	$f_{Churchill}$
302,4	1,50	448716	0,0203

$$L_{Aço} = 360 \times \frac{0{,}0203}{0{,}0156} \times \frac{0{,}2027}{0{,}26721} \times \frac{\left(322{,}6 \times 10^{-4}\right)^2}{\left(560{,}8 \times 10^{-4}\right)^2} \cong 117{,}6\text{m}$$

Portanto, o engenheiro afirmará que é possível a utilização da tubulação de aço 40 de diâmetro nominal 8”.

Importante observar que pelo fato dos materiais serem diferentes, se não fosse considerada a diferença entre os coeficientes de perda de carga distribuída, estaríamos cometendo um erro na ordem de 30%!



E se fosse o mesmo material, qual seria o erro cometido ao se considerar f = constante?

$$L_{8''} = 360 \times \frac{0{,}0154}{0{,}0156} \times \frac{0{,}2027}{0{,}2545} \times \frac{\left(322{,}6 \times 10^{-4}\right)^2}{\left(509{,}1 \times 10^{-4}\right)^2} \cong 179{,}4\text{m}$$

$$\text{erro} \cong \left(1 - \frac{0{,}0154}{0{,}0156}\right) \times 100 \cong 1{,}3\%$$

$$L_{200} = 360 \times \frac{0{,}0203}{0{,}0211} \times \left(\frac{0{,}21615}{0{,}26721}\right)^5 \cong 120\text{m}$$

$$\text{erro} \cong \left(1 - \left(\frac{0{,}0203}{0{,}0211}\right)\right) \times 100 \cong 3{,}8\%$$

A soluções anteriores são importantes, porque é comum, ao se considerar o mesmo material, ou seja, a mesma rugosidade, ter a seguinte simplificação:

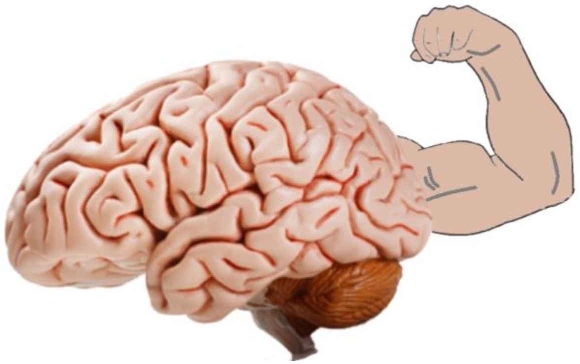
$$L_2 = L_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5$$

Vamos aprender fazendo!

Considere que o aço tem C = 125 e o FoFo com C = 130, já que ambos são novos.

Refaça o exercício anterior calculando a perda de carga pela fórmula de Hazen-Williams.

$$H_p = 10,643 \times \frac{L}{D^{4,87}} \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85}$$



Faça e aumente sua inteligência

Mais um exercício!

Um tubo de ferro fundido com 20 anos de uso (C = 100) será substituído por um tubo novo de PVC (C = 130). Determine qual dever ser o diâmetro do novo tubo para se ter a mesma vazão do tubo FoFo que tem um diâmetro interno de 650 mm e um comprimento de 2000 m.

Portanto os tubos são equivalente, ou seja, têm a mesma perda de carga e a mesma vazão, portanto:

$$10{,}643 \times \frac{2000}{0{,}65^{4{,}87}} \times \frac{Q^{1{,}85}}{100^{1{,}85}} = 10{,}643 \times \frac{2000}{D_{PVC}^{4{,}87}} \times \frac{Q^{1{,}85}}{130^{1{,}85}}$$

$$D_{PVC}^{4{,}87} = 0{,}65^{4{,}87} \times \left(\frac{100}{130}\right)^{1{,}85} \quad \therefore D_{PVC} \cong 0{,}588\text{m} \approx 600\text{mm}$$