

Censo da População [[editar](#) | [editar código-fonte](#)]

- 1750 = 3.770 habitantes
- 1856 = 4.125 habitantes
- 1930 = 20.485 habitantes
- 1980 = 62 000 habitantes
- 1991 = 106 306 habitantes
- 2000 = 148.987 habitantes (Censo Demográfico do IBGE 2000)
- 2010 = 201.150 habitantes (Censo Demográfico do IBGE 2010)



Alto Cotia – A água vem da represa Pedro Beicht, formada pelos rios Capivari e Cotia do Peixe. A captação é feita na represa da Graça e transportada para a Estação de Tratamento Morro Grande. A produção de 1,2 mil litros de água por segundo abastece cerca de 400 mil habitantes dos municípios de Cotia, Embu, Itapeverica da Serra, Embu-Guaçu e Vargem Grande.

Baixo Cotia – A água vem da Barragem do Rio Cotia, sendo tratados 900 litros por segundos para abastecer aproximadamente 361 mil moradores de Barueri, Jandira e Itapevi.



Sistema Alto Cotia

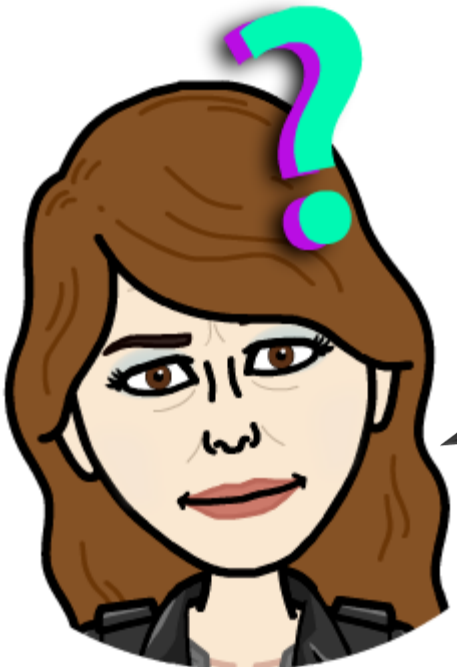


Barragem da Graça, parte do Sistema Alto Cotia

Sistema	Sistema Alto Cotia
Dono	SABESP
Espelho d'água	3,97 km²
Área de drenagem	105,5 km²
Localização	Município de Cotia
Volume de armazenamento	16,5 milhões de m³
Vazão	1,05 m³/s
Início de operação	1917 (100 anos)
Observações	O sistema Baixo Cotia é responsável ainda por uma vazão de 0,85m³/segundo. [1]

Aula 7 –
Introdução ao
sistema de
abastecimento





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?

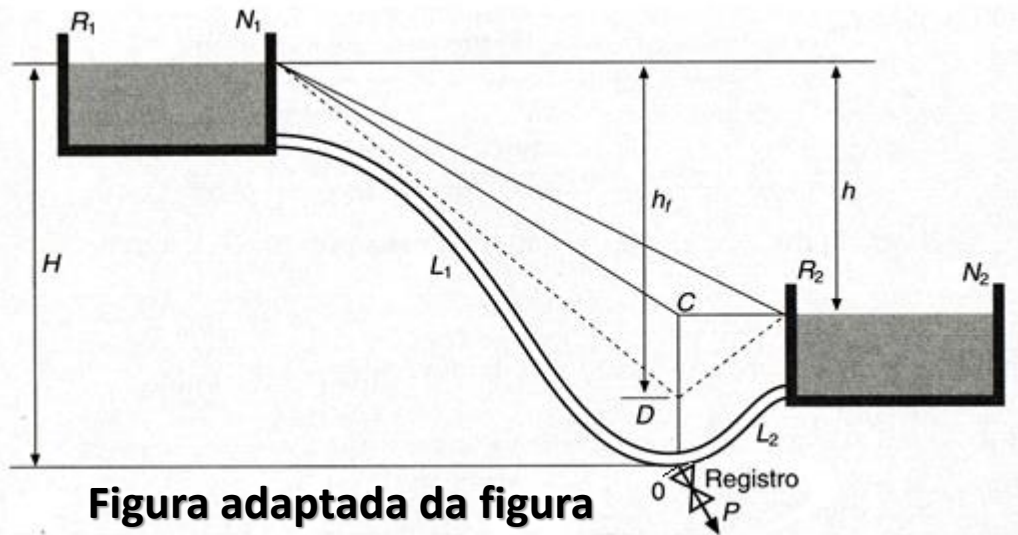
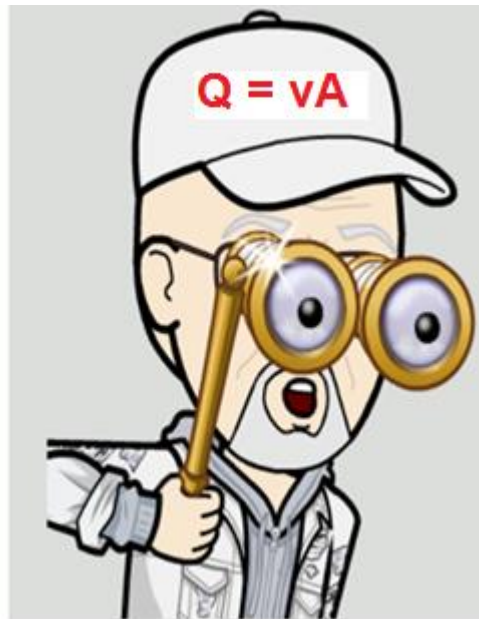


Figura adaptada da figura 13.8, pg 350 do Manual de Hidráulica – Azevedo Netto



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 linha de carga do ponto de derivação “O”, ou seja o ponto “C” corresponde ao nível de água em R_2 (C – N_2 é horizontal). Como não há diferença de carga de “O” a R_2 , este reservatório é armazenador, portanto, toda a água que vem de R_1 irá para a derivação OP.

$$H_1 = H_O + H_{p1-o} \Rightarrow H_{p1-o} = H_1 - H_2 = h \Rightarrow h = f \times \frac{L_1}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Admitindo conduto de seção circular e forçado, resulta:

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

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

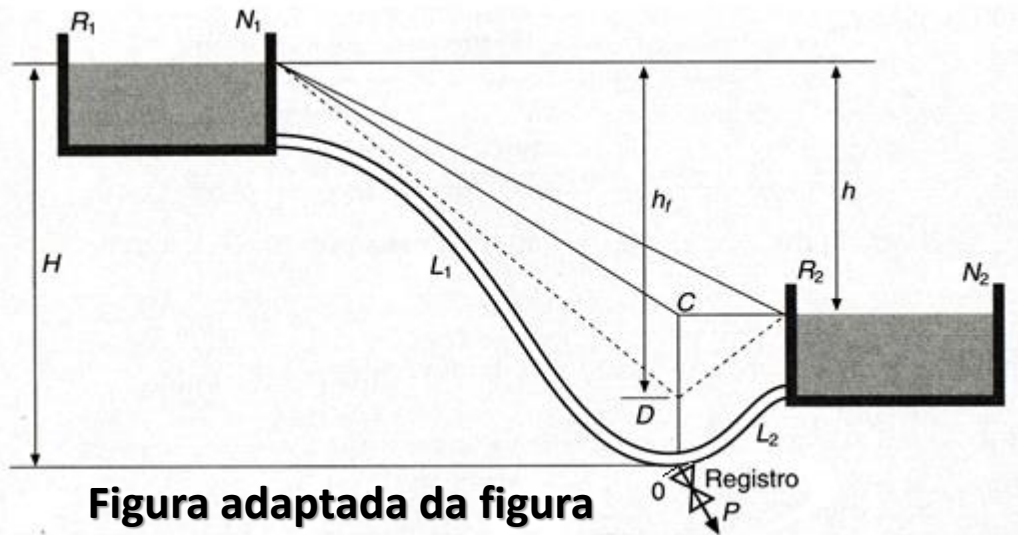


Figura adaptada da figura 13.8, pg 350 do Manual de Hidráulica – Azevedo Netto



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.

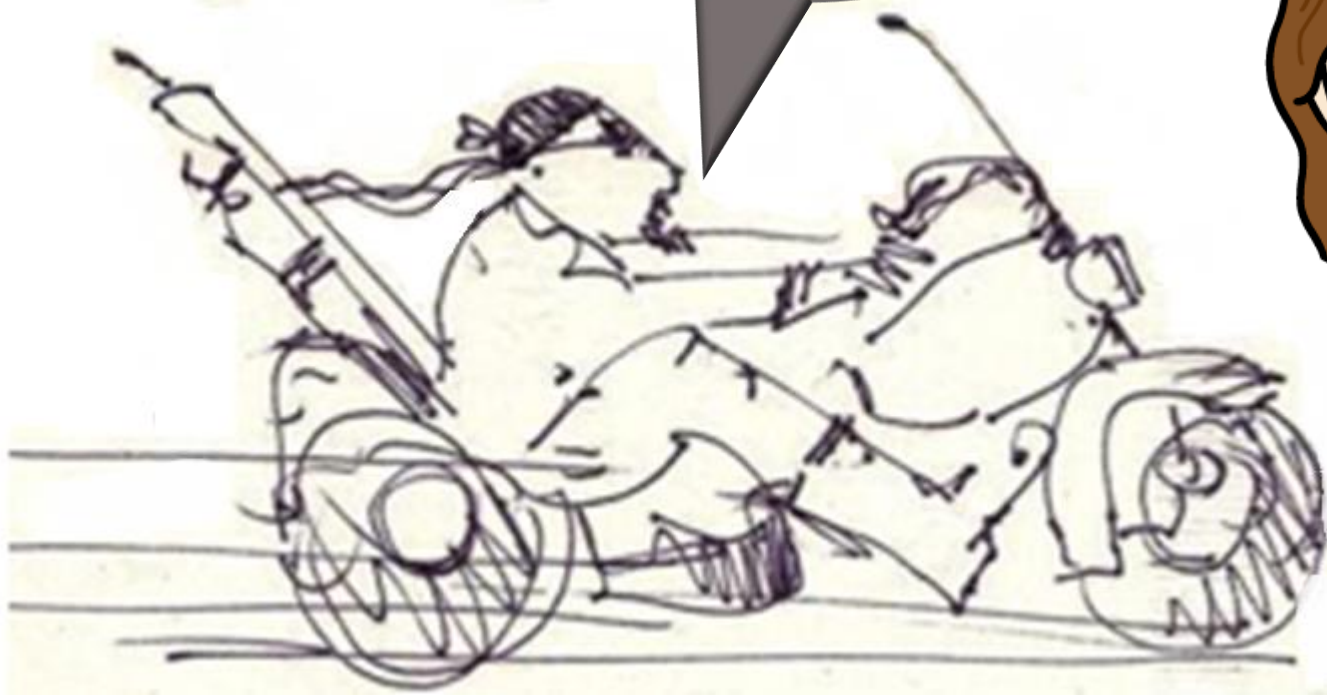
Admitindo conduto de seção circular e forçado, resulta:

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

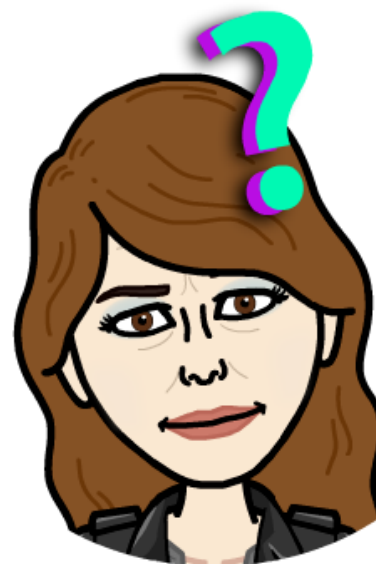
A maior vazão ocorre quando o ponto D coincidir com O, nesse caso:

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

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.





Devemos ter em mente que 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.

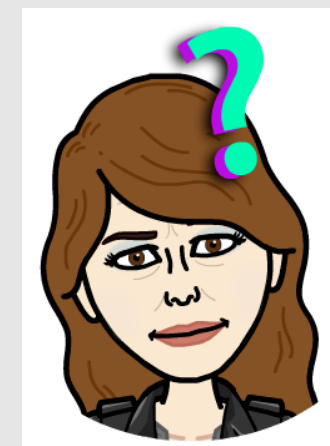
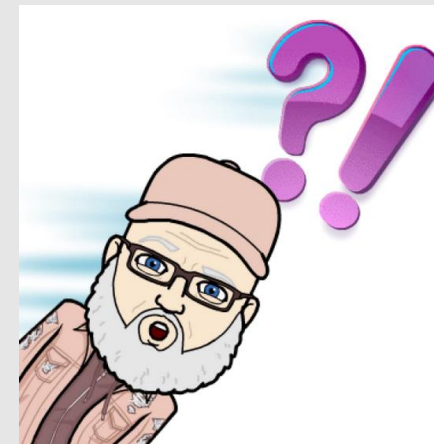


Temos um sistema de tubulações equivalente a outro sistema ou a uma tubulação simples quando ele é capaz de transportar a mesma vazão com a mesma perda de carga total (com a mesma energia)!

Uma tubulação simples equivalente a outra

- Na execução de um projeto, onde água a 25°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 ($D_{\text{int}} = 267,21 \text{ mm}$) 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" ($D_{\text{int}} = 202,7 \text{ mm}$ e $A = 322,6 \text{ cm}^2$) e foi consultado se a mesma poderia ser utilizada? Através do conceito de tubulação equivalente, qual a resposta do engenheiro?

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



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

$$f_{FoFo} \times \frac{360}{0,26721} \times \frac{(84 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times \left(\frac{\pi \times 0,2621^2}{4} \right)^2} = f_{Aço} \times \frac{L_{Aço}}{0,2027} \times \frac{(84 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times (322,6 \times 10^{-4})^2}$$

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

Valores comuns

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

Q m³/h
302,4

Q(m³/s) Q(L/s) Q(L/min)
deve transformar para m³/h
84



$$360 \times \frac{f_{FoFo}}{f_{Aço}} \times \frac{0,2027}{0,26721} \times \frac{(322,6 \times 10^{-4})^2}{\left(\frac{\pi \times 0,26721^2}{4}\right)^2} = L_{Aço}$$

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

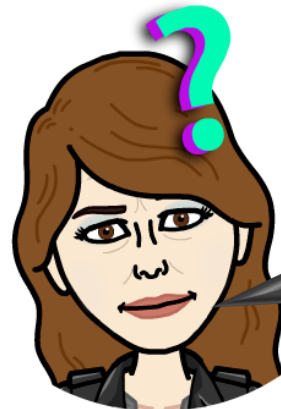
Para o ferro fundido (FoFo)			
mat. tubo aço	FoFo		
	espessura	Dint (mm)	A (cm²)
		267,21	560,8
	K(m)	DH/k	
	2,59E-04	1032	
Q(m³/h)	v(m/s)	Re	f _{Churchill}
302,4	1,50	448716	0,0203

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

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 $f = \text{constante}$?





Ambos de aço 40,
portanto o diâmetro de
projeto seria $D_N = 10''$, ou
seja, $D_{int} = 254,5 \text{ mm}$ e $A =$
 $509,1 \text{ cm}^2$, neste caso o f
de $10''$ será 0,0154

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

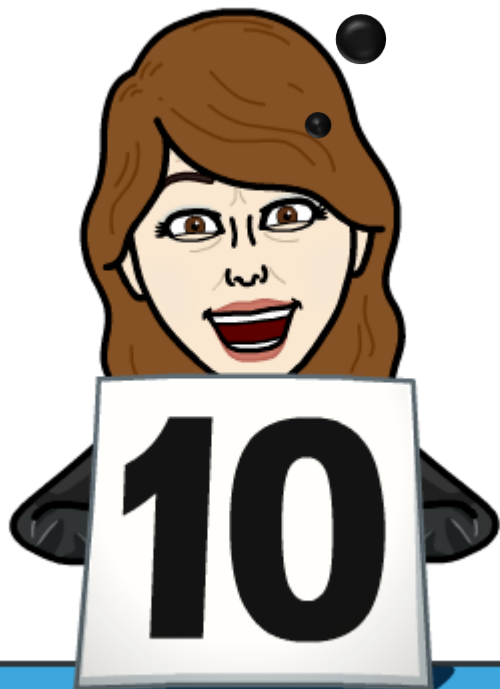
$$\text{erro} \cong \left(1 - \frac{0,0154}{0,0156} \right) \times 100 \cong 1,3\%$$

Ambos de FoFo, portanto o diâmetro
nominal do almoxarifado seria de 200 mm
, que corresponde a um $D_{int} = 216,15 \text{ mm}$,
nesse caso o f para 200 mm seria 0,0211

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

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


**Assim fica
bem mais
fácil!**



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

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





Considere tanto o aço
como o FoFo com $C = 130$,
já que ambos são novos.

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

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



**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 deve 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:

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

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



Sistema de tubulações em série

Ao projetar uma tubulação ligando dois pontos distantes 18 km estabeleceu-se uma vazão de 500 L/s, isto quando a tubulação for construída de tubo de concreto de bom acabamento ($C = 130$) e com diâmetro de 637,8 mm. Por questão de otimização de custos do projeto, optou-se em construir um trecho 1 de tubos de concreto de bom acabamento ($C_1 = 130$) com diâmetro $D_1 = 800$ mm e um trecho 2 em tubos de grés cerâmico vidrado ($C_2 = 110$) com diâmetro $D_2 = 600$ mm, uma vez que se dispõe desses tubos no almoxarifado. Especifique os comprimentos do trecho 1 e 2, respectivamente L_1 e L_2 , para se ter a mesma vazão de 500L/s.



Calculamos as perdas
para o diâmetro de
637,8 mm

$$H_p = 10,643 \times \frac{L}{D^{4,87}} \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} = 10,643 \times \frac{18000}{0,6378^{4,87}} \times \left(\frac{0,5}{130} \right)^{1,85}$$
$$H_p \cong 58,321\text{m}$$

$$H_p \cong 58,321\text{m} = H_{p1} + H_{p2}$$

$$58,321 = 10,643 \times 0,5^{1,85} \times \left(\frac{L_1}{0,8^{4,87} \times 130^{1,85}} + \frac{L_2}{0,6^{4,87} \times 110^{1,85}} \right)$$

Pela condição de
equivalência, temos:



Tubo equivalente as tubulações em série

$$19,75451592 = \frac{L_1}{2746,903726} + \frac{L_2}{496,7902421} \rightarrow (1)$$

$$L_1 + L_2 = 18000 \therefore L_1 = 18000 - L_2 \rightarrow (2)$$

De (2) em (1), resulta :

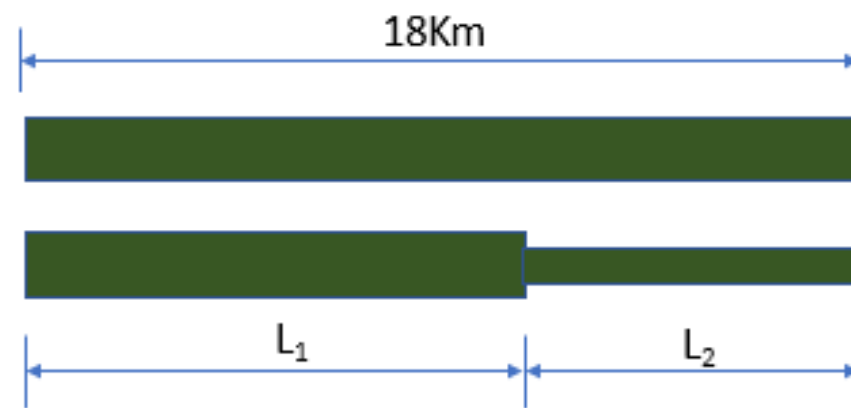
$$19,75451592 = \frac{18000 - L_2}{2746,903726} + \frac{L_2}{496,7902421}$$

$$19,75451592 \times 2746,903726 \times 496,7902421 = 496,7902421 \times (18000 - L_2) + 2746,903726 \times L_2$$

$$26957703,18 = 8942224,358 - 496,7902421 \times L_2 + 2746,903726 \times L_2$$

$$18015478,82 = 2250,113484 \times L_2 \therefore L_2 \cong 8006,5\text{m} \approx 8000\text{m} = 8\text{km} \rightarrow \text{tubo de grés cerâmico vidrificado}$$

$$L_1 = 18000 - 8000 = 10000\text{m} = 10\text{km} \rightarrow \text{tubo de concreto de bom acabamento com } D_1 = 800\text{mm}$$



Generalizando chegamos a regra de Dupuit

Perda pela fórmula universal

$$\frac{L_e \times f_e}{D_e^5} = \frac{L_1 \times f_1}{D_1^5} + \frac{L_2 \times f_2}{D_2^5} + \dots + \frac{L_n \times f_n}{D_n^5}$$

Na associação em série
temos a mesma vazão e a
mesma perda de carga total

Perda pela fórmula Hazen-Williams

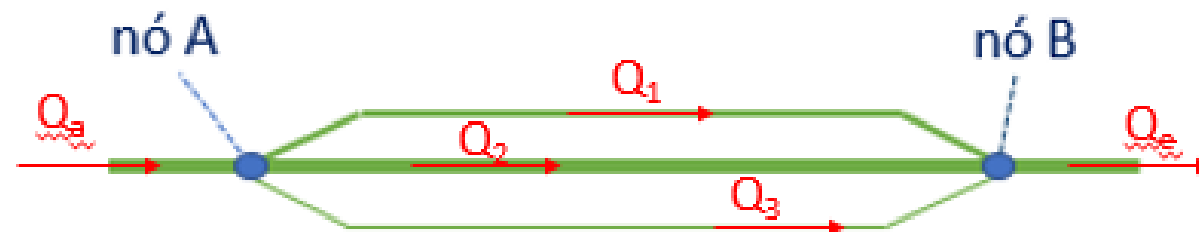
$$\frac{L_e}{D_e^{4,87} \times C_e^{1,85}} = \frac{L_1}{D_1^{4,87} \times C_1^{1,85}} + \frac{L_2}{D_2^{4,87} \times C_2^{1,85}} + \dots + \frac{L_n}{D_n^{4,87} \times C_n^{1,85}}$$



Sistema de tubulações em paralelo



$$Q_a = Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_e$$



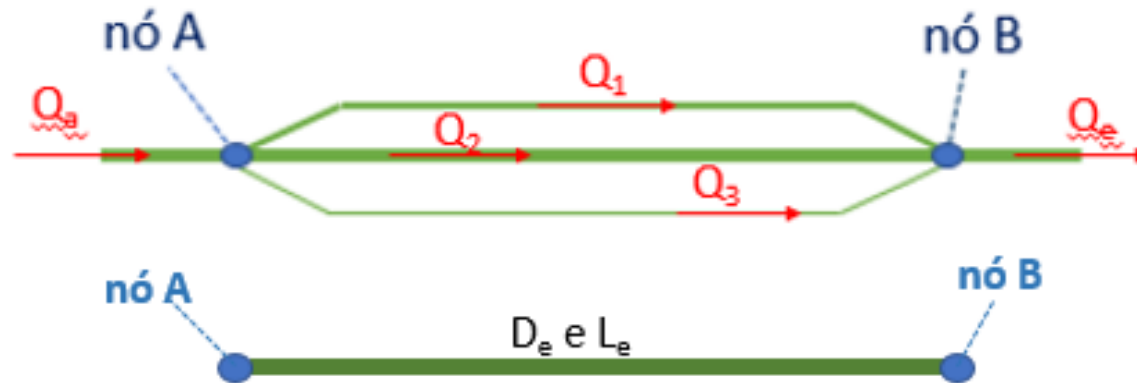
Este tipo de sistema forma o que chamamos de rede ou malha e elas sempre estão ligando dois nós

A vazão em cada tubo da associação é função do diâmetro, do comprimento, do material do tubo, da sua rugosidade equivalente e da diferença de pressão entre as extremidades (nós)!

$$H_{p_{A-B}} = \frac{p_A - p_B}{\gamma} = \text{constante}$$



$$Q_a = Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_e$$



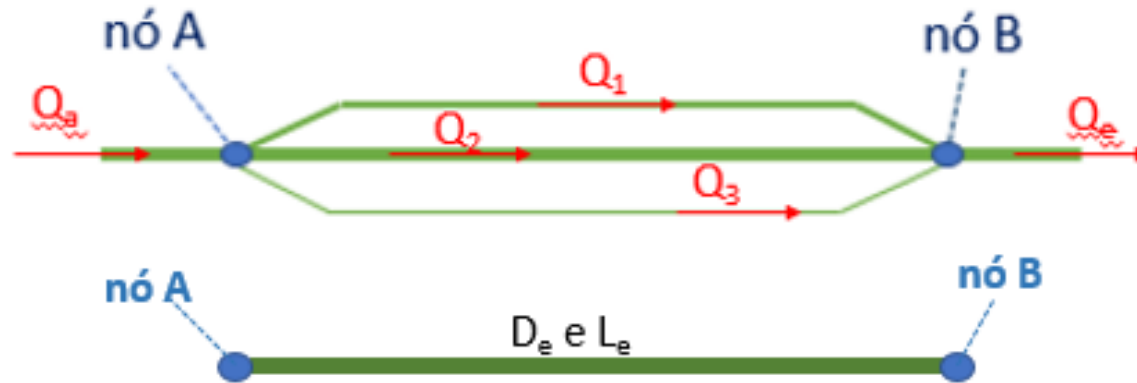
Perda pela fórmula universal

$$H_p = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{Q^2}{2g \times \frac{\pi^2 \times D^4}{16}} = \frac{16}{2g \times \pi^2} \times f \times L \times \frac{Q^2}{D^5} \therefore Q = \sqrt{\frac{2g \times \pi^2}{16}} \times \sqrt{H_p} \times \sqrt{\frac{D^5}{f \times L}}$$

$$\sqrt{\frac{2g \times \pi^2}{16}} \times \sqrt{H_p} \times \sqrt{\frac{D_e^5}{f_e \times L_e}} = \sqrt{\frac{2g \times \pi^2}{16}} \times \sqrt{H_p} \times \left[\sqrt{\frac{D_1^5}{f_1 \times L_1}} + \sqrt{\frac{D_2^5}{f_2 \times L_2}} + \dots + \sqrt{\frac{D_n^5}{f_n \times L_n}} \right]$$

$$\sqrt{\frac{D_e^5}{f_e \times L_e}} = \sqrt{\frac{D_1^5}{f_1 \times L_1}} + \sqrt{\frac{D_2^5}{f_2 \times L_2}} + \dots + \sqrt{\frac{D_n^5}{f_n \times L_n}}$$

$$Q_a = Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_e$$



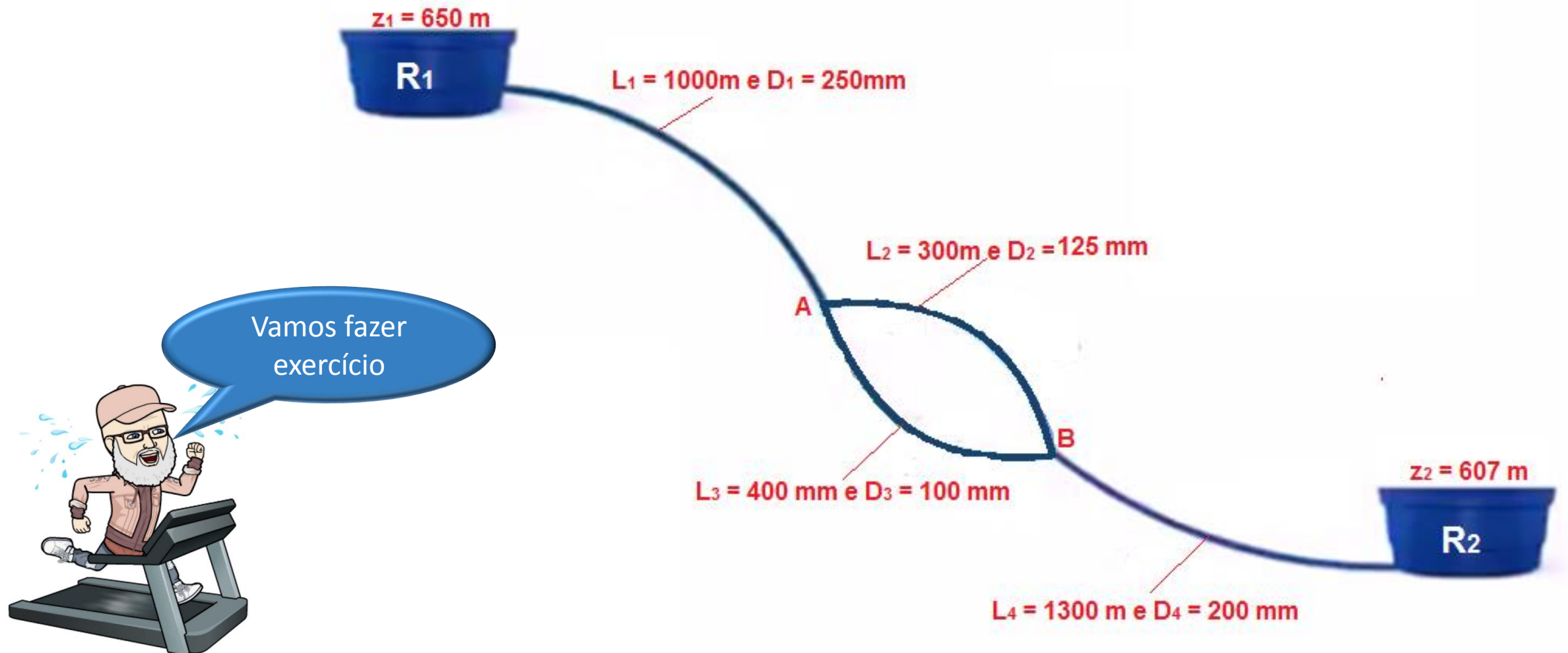
Perda pela fórmula Hazen-Williams

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

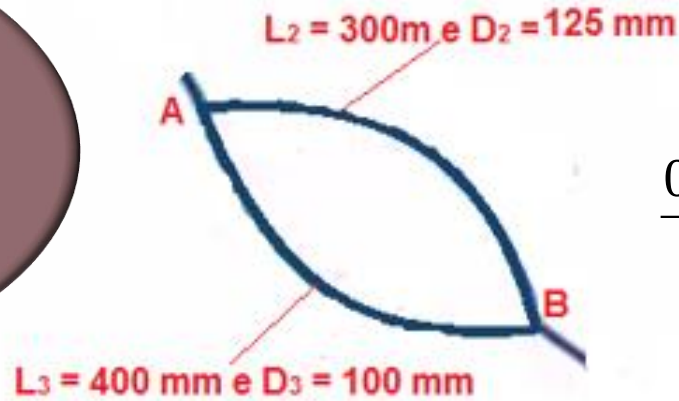
$$\left(\frac{1}{10,643} \right)^{\frac{1}{1,85}} \times (H_p)^{\frac{1}{1,85}} \times \frac{D_e^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_e}{L_e^{\frac{1}{1,85}}} = \left(\frac{1}{10,643} \right)^{\frac{1}{1,85}} \times (H_p)^{\frac{1}{1,85}} \times \left[\frac{D_1^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_1}{L_1^{\frac{1}{1,85}}} + \frac{D_2^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_2}{L_2^{\frac{1}{1,85}}} + \dots + \frac{D_n^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_n}{L_n^{\frac{1}{1,85}}} \right]$$

$$\frac{D_e^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_e}{L_e^{\frac{1}{1,85}}} = \frac{D_1^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_1}{L_1^{\frac{1}{1,85}}} + \frac{D_2^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_2}{L_2^{\frac{1}{1,85}}} + \dots + \frac{D_n^{\frac{4,87}{1,85}} \times C_n}{L_n^{\frac{1}{1,85}}}$$

Para a instalação representada a seguir, todas as tubulações têm $C = 130$ e os diâmetros representados são os diâmetros internos, nessa situação, pede-se: a vazão que chega no reservatório receptor (R_2) e as vazões que passam nas tubulações de 100mm de diâmetro e 125 mm de diâmetro.



Iniciamos achando o comprimento (L_e) do tubo equivalente de 200 mm de diâmetro que substitui a associação em paralelo

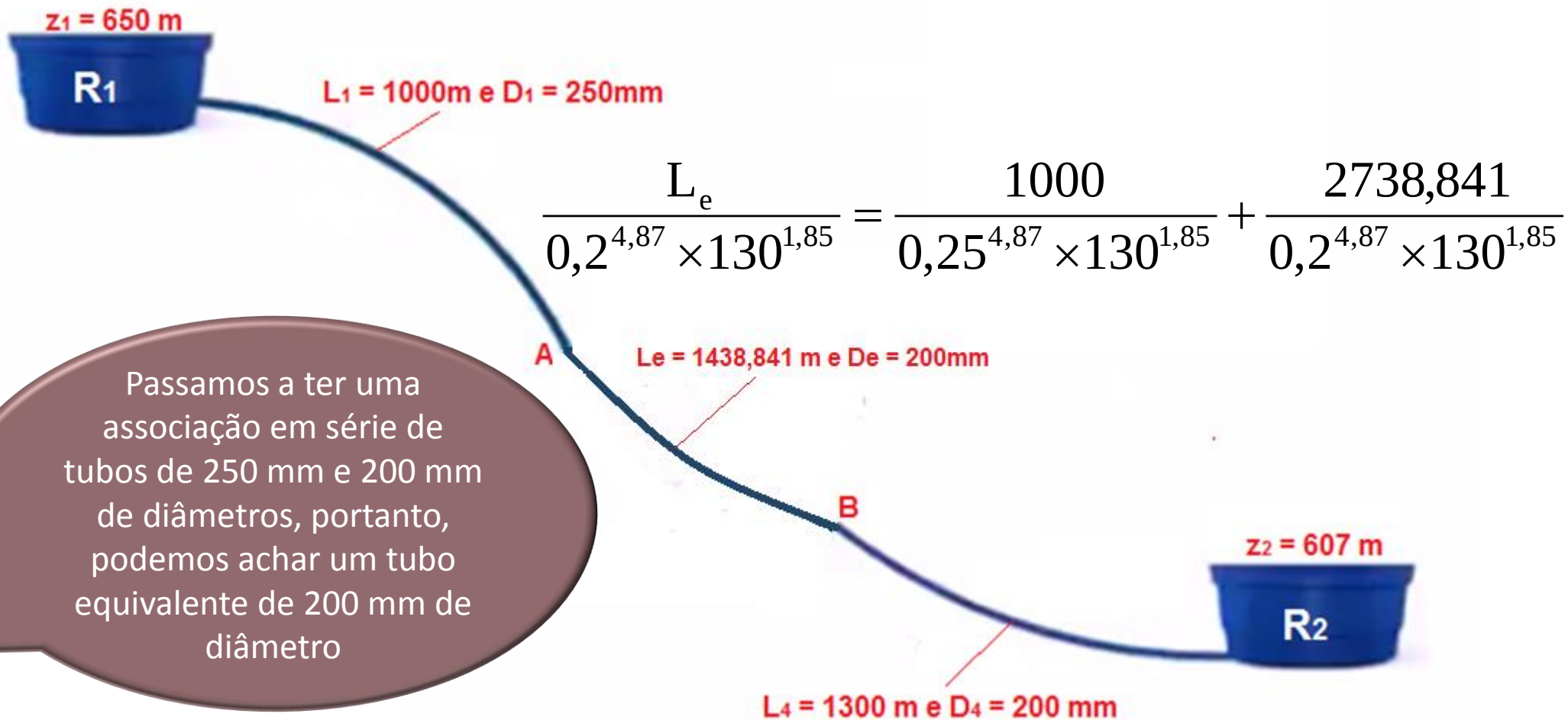


$$\frac{0,2^{\frac{4,87}{1,85}} \times 130}{L_e^{\frac{1}{1,85}}} = \frac{0,125^{\frac{4,87}{1,85}} \times 130}{300^{\frac{1}{1,85}}} + \frac{0,1^{\frac{4,87}{1,85}} \times 130}{400^{\frac{1}{1,85}}}$$

$$\frac{0,0144454686}{L_e^{\frac{1}{1,85}}} = \frac{4,194465521 \times 10^{-3}}{21,82651821} + \frac{2,331135765 \times 10^{-3}}{25,49875137}$$

$$\frac{0,0144454686}{L_e^{\frac{1}{1,85}}} = 1,921729101 \times 10^{-4} + 9,142156538 \times 10^{-5}$$

$$L_e^{\frac{1}{1,85}} = 50,93705925 \Rightarrow L_e \cong 1438,841\text{m}$$



Passamos a ter uma associação em série de tubos de 250 mm e 200 mm de diâmetros, portanto, podemos achar um tubo equivalente de 200 mm de diâmetro

$$\frac{L_e}{0,2^{4,87}} = \frac{1000}{0,25^{4,87}} + \frac{2738,841}{0,2^{4,87}} \Rightarrow L_e = 3076,17 \text{ m}$$

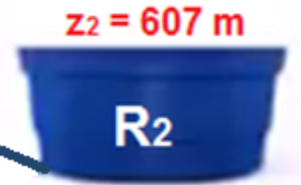




$$650 - 607 = 10,643 \times \frac{3076,17}{0,2^{4,87}} \times \frac{Q^{1,85}}{130^{1,85}}$$

Le = 3076,17 m e De = 200 mm

Como temos um único tubo equivalente de 200 mm de diâmetro, podemos calcular a vazão que abastece o reservatório 2 (R₂)

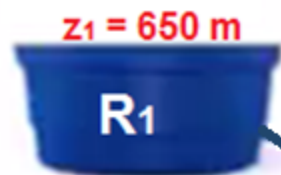


$$\frac{43 \times 0,2^{4,87} \times 130^{1,85}}{10,643 \times 3076,17} = Q^{1,85} \Rightarrow Q \cong 0,0520 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \therefore Q \cong 52 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$





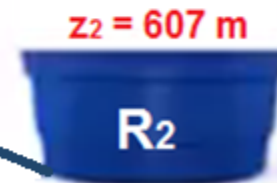
Calculamos a perda unitária na instalação e através dela a perda entre o nó A e o nó B



$L_e = 3076,17 \text{ m}$ e $D_e = 200 \text{ mm}$

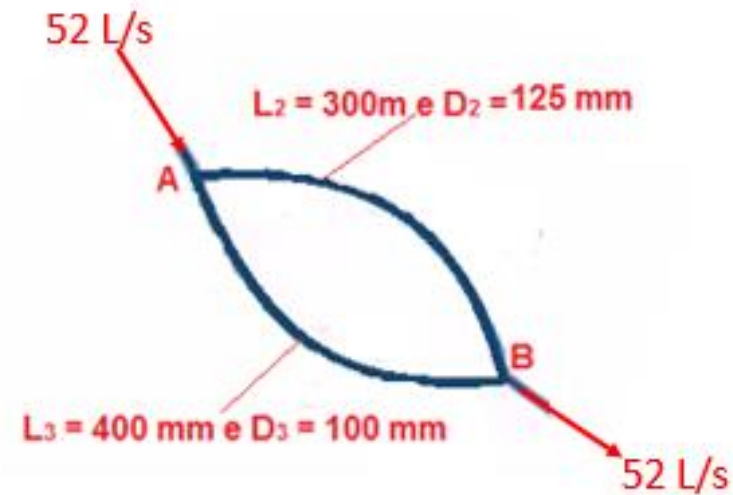
$$J = \frac{H_p}{L_e} = \frac{650 - 607}{3076,17} \cong 0,01398 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$L_{A-B} = 1438,841 \text{ m}$



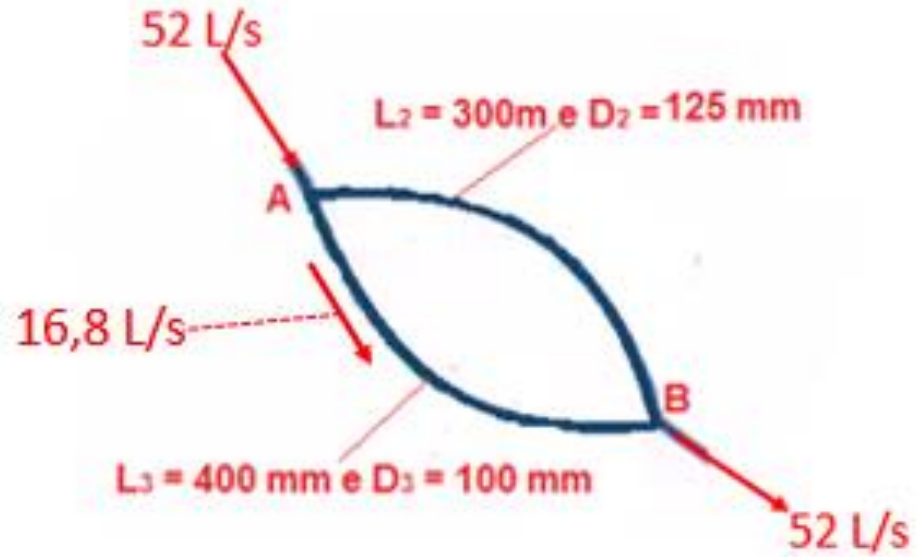
$$0,01398 \frac{\text{m}}{\text{m}} = \frac{H_{p_{A-B}}}{1438,841} \therefore H_{p_{A-B}} \cong 20,1 \text{ m}$$

Calculando a perda unitária no trecho de 400 m com diâmetro de 100 mm e determinando a vazão nesse trecho



$$J_{100} = \frac{20,1}{400} = 10,643 \times \frac{1}{0,1^{4,87}} \times \frac{Q_{100}^{1,85}}{130^{1,85}}$$

$$Q_{100}^{1,85} = \frac{0,05025 \times 0,1^{4,87} \times 130^{1,85}}{10,643} \therefore Q_{100} \cong 0,0168 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 16,8 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$



$$52 = 16,8 + Q_{125} \Rightarrow Q_{125} \cong 35,2 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Pela equação da continuidade determinamos a vazão no trecho de diâmetro 125 mm



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

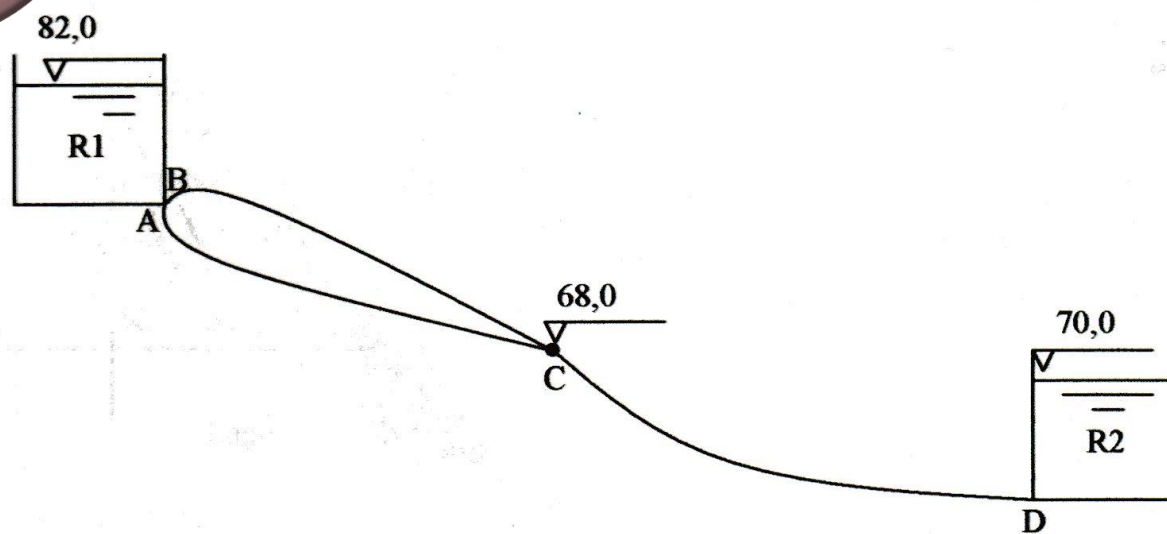
Disciplina – SHS-401 Hidráulica – Prova substitutiva – 21/8/2002

2. Questão (2,5) – Os condutos mostrados na figura são destinados a conduzir água do reservatório R1 para o R2 que têm seus níveis mantidos constantes nas cotas 82,0 e 70,0, respectivamente. Desprezando as cargas cinéticas e as perdas de carga singulares, determinar as vazões nos condutos e a pressão disponível no ponto C, na cota 68,0, em N/m^2 e kgf/cm^2 .

Dados:

Trecho	L (m)	D (mm)	f
AC	1500	200	0.016
BC	1000	100	0.022
CD	900	300	0.020

A arte de
aprender
fazendo!



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

Disciplina – SHS-401 Hidráulica – Prova substitutiva – 21/8/2002

3. Questão (2,5) - O esquema mostrado na figura é de um sistema de recalque de um prédio de apartamentos. A vazão de recalque é $3,0 \text{ l/s}$, a bomba trabalha 6 horas por dia, a tubulação é de aço galvanizado novo, os cotovelos 90° de raio curto, o registro de gaveta e a válvula de retenção tipo leve. Um manômetro colocado na saída da bomba indica uma pressão de 294 kPa . Qual deverá ser o comprimento vertical AB para que a carga de pressão disponível na entrada da bóia do reservatório superior (ponto D), seja $2,5 \text{ m.c.a.}$? O trecho BCD está na horizontal.

Mais um!

