

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

AULA 9 – ROTEIRO

Tópicos da aula:

- 1) Encanamentos equivalentes
 - 1.1. Conceito
- 2) Condutos em série
 - 2.1. Desenvolvimento teórico - Regra de Dupuit para condutos em série
 - 2.2. Aplicação em fórmulas empíricas – Hazen-Williams e Flamant
 - 2.3. Exemplos
- 3) Condutos em paralelo
 - 3.1. Desenvolvimento teórico - Regra de Dupuit para condutos em paralelo
 - 3.2. Aplicação em fórmulas empíricas – Hazen-Williams e Flamant
 - 3.3. Exemplos
- 4) Bombas hidráulicas
 - 4.1. Conceito
 - 4.2. Classificação das bombas
 - 4.3. Bombas volumétricas
 - 4.4. Bombas de escoamento dinâmico
- 5) Exercício para entrega (Provinha Aula 9 – 15/10/2010)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

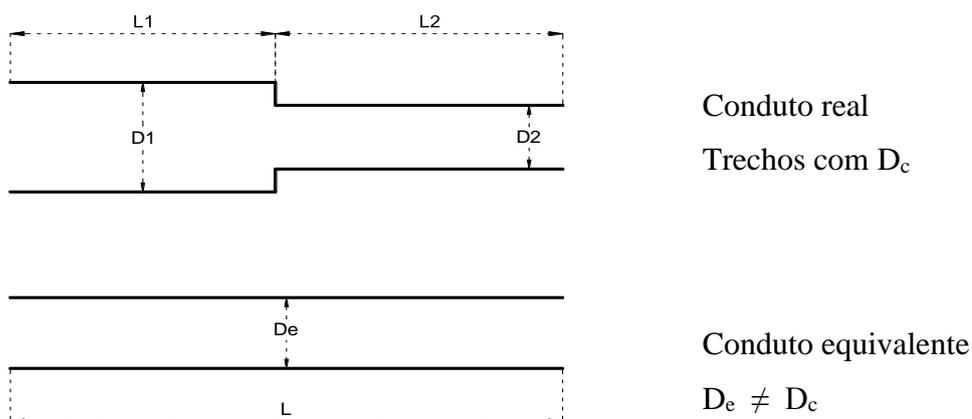
Aula 9 – Encanamentos equivalentes e Bombas Hidráulicas

1. Encanamentos equivalentes

1.1. Conceito

Dois ou mais encanamentos se equivalem quando são capazes de conduzir a mesma vazão sob a mesma perda de carga.

2. Condutos em série



2.1. Regra de Dupuit para condutos em série - Desenvolvimento teórico

$$hf = K \cdot L \cdot \frac{v^m}{D^n} \quad (1)$$

$$hf_E = hf_1 + hf_2 \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2):

$$K \cdot L_e \cdot \frac{v^m}{D_e^n} = K \cdot L_1 \cdot \frac{v_1^m}{D_1^n} + K \cdot L_2 \cdot \frac{v_2^m}{D_2^n}$$

$$L_e \cdot \frac{v^m}{D_e^n} = L_1 \cdot \frac{v_1^m}{D_1^n} + L_2 \cdot \frac{v_2^m}{D_2^n} \quad (3)$$

Equação da continuidade:

$$V = \frac{4 Q}{\pi D^2} \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3):

$$L_e \cdot \left(\frac{4 Q}{\pi D_e^2} \right)^m \cdot \frac{1}{D_e^n} = L_1 \cdot \left(\frac{4 Q}{\pi D_1^2} \right)^m \cdot \frac{1}{D_1^n} + L_2 \cdot \left(\frac{4 Q}{\pi D_2^2} \right)^m \cdot \frac{1}{D_2^n}$$

$$L_e \cdot \frac{1}{D_e^{2m}} \cdot \frac{1}{D_e^n} = L_1 \cdot \frac{1}{D_1^{2m}} \cdot \frac{1}{D_1^n} + L_2 \cdot \frac{1}{D_2^{2m}} \cdot \frac{1}{D_2^n}$$

$\frac{L_e}{D_e^{2m+n}} = \frac{L_1}{D_1^{2m+n}} + \frac{L_2}{D_2^{2m+n}}$	\Rightarrow Regra de Dupuit para condutos em série
--	--

2.2. Aplicação em fórmulas empíricas – Hazen-Williams e Flamant

Item	Hazen-Williams	Flamant
Expoente de V	$m = 1,852$	$m = 1,75$
Expoentes de D (n)	$n = 1,167$	$n = 1,25$
(n')	$n' = 2 m + n = 4,87$	$n' = 2 m + n = 4,75$
Determinar D	$\frac{L_e}{D_e^{4,87}} = \frac{L_1}{D_1^{4,87}} + \frac{L_2}{D_2^{4,87}}$	$\frac{L_e}{D_e^{4,75}} = \frac{L_1}{D_1^{4,75}} + \frac{L_2}{D_2^{4,75}}$
Determinar L	$J_e \cdot L_e = J_1 \cdot L_1 + J_2 \cdot L_2$ $J = 10,65 \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \cdot \frac{1}{D^{4,87}}$	$J_e \cdot L_e = J_1 \cdot L_1 + J_2 \cdot L_2$ $J = 6,107 \cdot b \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$

a) Determinação do diâmetro equivalente (D):

- comprimentos conhecidos ($L_e, L_1, L_2, \dots, L_n$)
- hf e J predefinidas ($J_e, J_1, J_2, \dots, J_n$)
- diâmetros comerciais conhecidos e instalados (D_1, D_2, \dots, D_n)
- Incógnita: diâmetro equivalente (D_e)
- Solução:
$$\frac{L_e}{D_e^{2m+n}} = \frac{L_1}{D_1^{2m+n}} + \frac{L_2}{D_2^{2m+n}}$$

b) Determinação dos comprimentos dos trechos com diâmetros comerciais (L_1 e L_2)

- hf_e e J_e predefinidas

- L_e predefinido

- J_1, J_2, \dots, J_n conhecidas

- Incógnitas: L_1, L_2, \dots, L_n

- Solução: $J_e \cdot L_e = J_1 \cdot L_1 + J_2 \cdot L_2$ (1)

$$L_e = L_1 + L_2 \quad (2)$$

$$L_1 = L_e - L_2 \quad (3)$$

(3) em (1): $J_e \cdot L_e = J_1 \cdot (L_e - L_2) + J_2 \cdot L_2$

$$J_e \cdot L_e = J_1 \cdot L_e - J_1 \cdot L_2 + J_2 \cdot L_2$$

$$(J_e - J_1) \cdot L_e = (J_2 - J_1) \cdot L_2$$

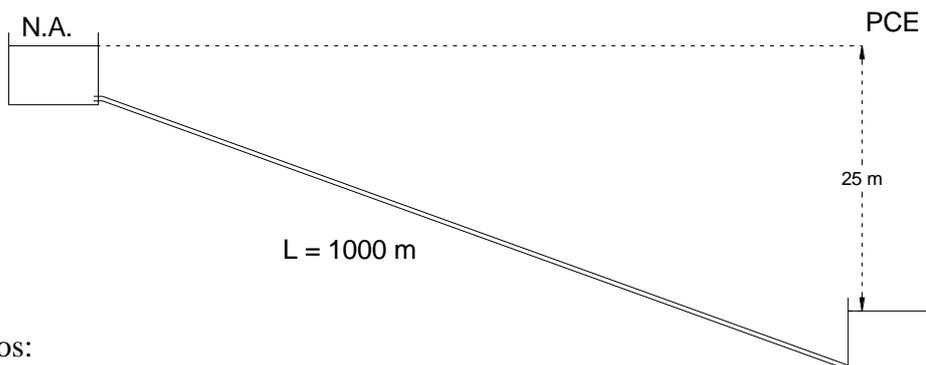
$$L_2 = \frac{(J_e - J_1) \cdot L_e}{J_2 - J_1}$$

e

$$L_1 = L_e - L_2$$

2.3.Exemplo

Dimensionar a tubulação para o esquema a seguir:



Dados:

$$Q = 4 \text{ L/s (0,004 m}^3\text{/s)}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

$$\Delta h = 25 \text{ m}$$

Tubos de PVC usados ($C = 140$)

D_c disponíveis: 50 mm; 75 mm; 100 mm; 125 mm

Bernoulli: $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1-2}$

$$P_1 = 0; P_2 = 0$$

$$V_1 = 0; V_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad h_1 - h_2 = hf_{1-2} = 25 \text{ mca}$$

$$\text{Hazen-Williams (cálc. D):} \quad D = 1,625 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{0,38} \cdot \left(\frac{L}{hf}\right)^{0,205}$$

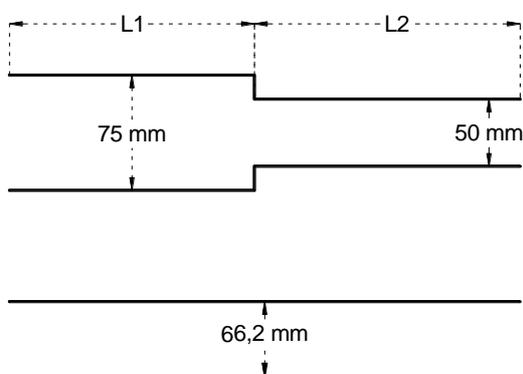
$$D = 1,625 \cdot \left(\frac{0,004}{140}\right)^{0,38} \cdot \left(\frac{1000}{25}\right)^{0,205}$$

$$D = 64,9 \text{ mm} \quad (\text{diâmetro teórico})$$

Diâmetros comerciais disponíveis (PVC): 50 mm; 75 mm

Solução: utilizar um trecho com $D_1 = 75 \text{ mm}$ e outro com $D_2 = 50 \text{ mm}$, de modo que a perda de carga seja igual àquela causada por um tubo com $D = 64,9 \text{ mm}$ ($hf = 25 \text{ mca}$).

Dimensionamento: Comprimento dos trechos



$$(L_1 \text{ c/ } D_1 = 75 \text{ mm}; L_2 \text{ c/ } D_2 = 50 \text{ mm})$$

$$J_e \cdot L_e = J_1 \cdot (L_e - L_2) + J_2 \cdot L_2$$

$$L_2 = \frac{(J_e - J_1) \cdot L_e}{J_2 - J_1} \quad \text{e} \quad L_1 = L_e - L_2$$

$$J_e = \frac{25}{1000} = 0,025 \text{ m/m}$$

$$D_1 = 75 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad J_1 = 10,65 \cdot \left(\frac{0,004}{140}\right)^{1,852} \cdot \frac{1}{0,075^{4,87}} = 0,012308 \text{ m/m}$$

$$D_2 = 50 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad J_2 = 10,65 \cdot \left(\frac{0,004}{140}\right)^{1,852} \cdot \frac{1}{0,050^{4,87}} = 0,088665 \text{ m/m}$$

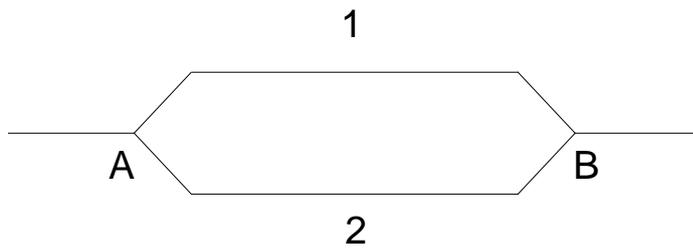
$$L_2 = \frac{(0,025 - 0,012308) \cdot 1000}{(0,088665 - 0,012308)} = 166,2 \text{ m} \quad (28 \text{ barras de } 50 \text{ mm} = 168 \text{ m})$$

$$L_1 = L_e - L_2$$

$$L_1 = 1000 - 168 = 832 \text{ m} \quad (139 \text{ barras de } 75 \text{ mm})$$

R.: O encanamento de PVC usado deverá ser composto por 139 barras com diâmetro de 75 mm e 28 barras com diâmetro de 50 mm.

3. Conduitos em paralelo



$$\begin{array}{l} - L_1, D_1, Q_1 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} Q = Q_1 + Q_2 \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} - L_2, D_2, Q_2 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} hf_1 = hf_2 = hf_e \end{array} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} - L_e, D_e, Q \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} hf = K \cdot L \cdot \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^m \cdot \frac{1}{D^n} \end{array} \quad (3)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (4)$$

$$(4) \text{ em } (3): \quad hf = \frac{K \cdot 4^m}{\pi^m} \cdot \frac{L \cdot Q^m}{D^{2m+n}}$$

$$\text{Se } K' = \frac{K \cdot 4^m}{\pi^m} \quad \text{e} \quad n' = 2m + n$$

então,

$$hf = K' \cdot \frac{L \cdot Q^m}{D^{n'}} \quad (5)$$

ou

$$Q = \left(\frac{hf \cdot D^{n'}}{L \cdot K'} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (6)$$

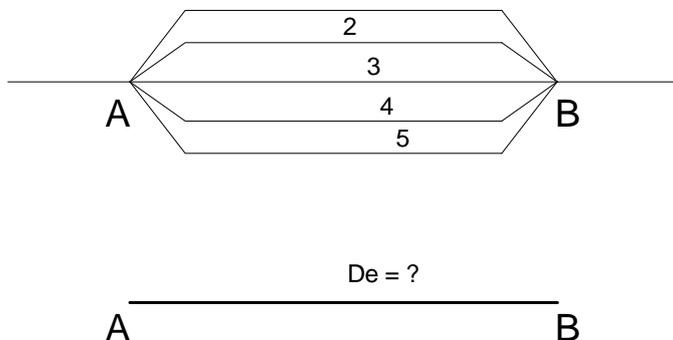
(6) em (1):

$$\left(\frac{hf \cdot D_e^{n'}}{L_e \cdot K'} \right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{hf \cdot D_1^{n'}}{L_1 \cdot K'} \right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{hf \cdot D_2^{n'}}{L_2 \cdot K'} \right)^{\frac{1}{m}}$$

$$\boxed{\left(\frac{D_e^{n'}}{L_e} \right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{D_1^{n'}}{L_1} \right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{D_2^{n'}}{L_2} \right)^{\frac{1}{m}}} \Rightarrow \text{Regra de Dupuit para conduitos em paralelo}$$

3.1.Exemplos

- a) Qual o diâmetro equivalente a 5 tubos de 50 mm associados em paralelo e de mesmo comprimento?



Solução:

$$\left(\frac{D_e^{n'}}{L_e}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{D_1^{n'}}{L_1}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{D_2^{n'}}{L_2}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{D_3^{n'}}{L_3}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{D_4^{n'}}{L_4}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{D_5^{n'}}{L_5}\right)^{\frac{1}{m}}$$

H-W: $m = 1,852$

$n' = 4,87$

$1/m = 0,54$

$L_e = L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L_5$

$$\left(D_e^{n'}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(D_1^{n'}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(D_2^{n'}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(D_3^{n'}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(D_4^{n'}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(D_5^{n'}\right)^{\frac{1}{m}}$$

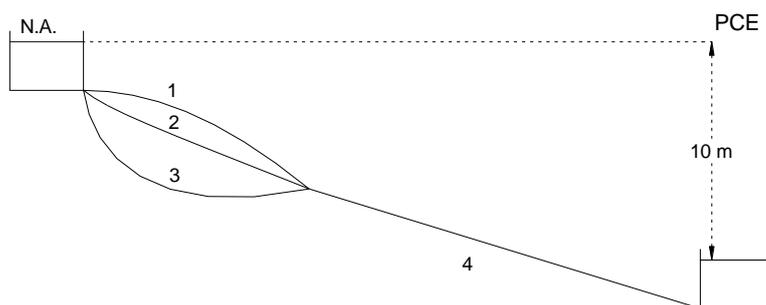
$D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = D_5 = 50 \text{ mm } (0,05 \text{ m})$

$$\left(D_e^{4,87}\right)^{0,54} = 5 \times \left(D^{n'}\right)^{\frac{1}{m}} = 5 \times (0,05^{4,87})^{0,54}$$

$$D_e^{2,63} = 0,0018946$$

$D_e = 0,0922 \text{ m ou } 92,2 \text{ mm}$

b) Calcule a vazão que flui do reservatório (A) ao (B) no esquema a seguir:



Dados:

Tubos de PVC ($C = 140$)

$L_1 = 200$ m; $D_1 = 50$ mm

$L_2 = 200$ m; $D_2 = 75$ mm

$L_3 = 350$ m; $D_3 = 50$ mm

$L_4 = 200$ m; $D_4 = 100$ mm

Solução em 3 etapas:

1 – Calcular D_e das tubulações em paralelo (1 a 3)

2 – Calcular D_e das tubulações em série (Equiv₁₋₃ + trecho 4)

3 - Calcular a vazão

1ª Etapa: Encanamentos em paralelo

$$\left(\frac{D_e^{n'}}{L_e}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{D_1^{n'}}{L_1}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{D_2^{n'}}{L_2}\right)^{\frac{1}{m}} + \left(\frac{D_3^{n'}}{L_3}\right)^{\frac{1}{m}}$$

$L_e = 200$ m

$$\left(\frac{D_e^{n'}}{200}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{0,05^{4,87}}{200}\right)^{0,54} + \left(\frac{0,075^{4,87}}{200}\right)^{0,54} + \left(\frac{0,05^{4,87}}{350}\right)^{0,54}$$

$$\frac{D_e^{2,63}}{17,48} = 0,00010066240$$

$$D_e = (0,00010066240 \times 17,48)^{\frac{1}{2,63}}$$

Trechos em paralelo (1 a 3):

$$D_e = 0,0896 \text{ m ou } 89,6 \text{ mm}$$

2ª Etapa: Encanamentos em série

$$L_e = 200 + 200 = 400 \text{ m}$$

$$D_1 = 89,6 \text{ mm}; L_1 = 200 \text{ m}$$

$$D_2 = 100 \text{ mm}; L_2 = 200 \text{ m}$$

$$D_e = ?$$

$$40101126,89$$

$$\frac{L_e}{D_e^{2m+n}} = \frac{L_1}{D_1^{2m+n}} + \frac{L_2}{D_2^{2m+n}}$$

$$\frac{400}{D_e^{4,87}} = \frac{200}{0,0896^{4,87}} + \frac{200}{0,1^{4,87}}$$

$$D_e = \left(\frac{400}{40101126,89} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$$D_e = 0,0940 \text{ m ou } 94 \text{ mm}$$

3ª Etapa: Cálculo da vazão

$$\text{H-W: } Q = 0,2788 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$Q = 0,2788 \cdot 140 \cdot 0,094^{2,63} \cdot \left(\frac{10}{400} \right)^{0,54}$$

$$Q = 0,01060 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } 10,6 \text{ L/s}$$

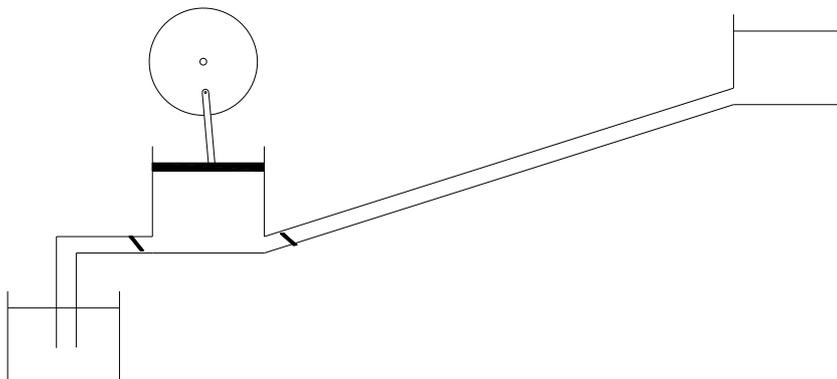
4. Bombas hidráulicas

4.1. Conceito: São máquinas que comunicam ao líquido um acréscimo de energia.

4.2. Classificação das bombas

4.2.1. Bombas volumétricas

O volume de líquido em cada movimento é fixado pelas dimensões geométricas da bomba.

a) Bomba de pistão

- Gráfico vazão x tempo
- Líquidos limpos, sem sólidos em suspensão
- Encanamentos sem registros
- Aplicações: pulverização, injeção de fertilizantes, lavagem de carros

b) Bomba de engrenagens**FIGURA 8 – Bomba de engrenagens**

- Aplicações: lubrificação em veículos, líquidos viscosos

c) Bomba de diafragma**FIGURA 9 – Bomba de diafragma**

- Aplicações: laboratórios, poços rasos (bomba Anauger)

d) Bomba de canecas**FIGURA 10 – Bomba de canecas**

4.2.2. Bombas de escoamento dinâmico

a) Bombas centrífugas ou radiais

FIGURA 11 – Bomba centrífuga

- Aplicações: irrigação, instalações prediais, combate a incêndios etc.
- Maior rendimento em altas pressões

b) Bombas axiais

FIGURA 12 – Bomba axial

- Aplicações: sistemas de drenagem
- Maior rendimento em baixas pressões

c) Bombas mistas

FIGURA 13 – Bomba mista

- Aplicações: situações intermediárias entre as bombas centrífuga e axial
- Maior rendimento em pressões intermediárias

5. Exercício 9 (Provinha)

LEB 0472 – Hidráulica

Nome:

Data:

Dados:

Uma tubulação de PVC com $D = 75$ mm e $L = 230$ m é acoplada em série com uma tubulação com $D = 50$ mm e $L = 150$ m. Calcule o diâmetro equivalente.