Hidráulica 1 – SHS0409
HIDRÁULICA DOS CONDUTOS FORÇADOS

Vazão em marcha e
Sistemas Ramificados

(Aula 11)

CONTEÚDO AULA 11

Sistemas Hidráulicos de Tubulações

Distribuição de Vazão em marcha (4.4)

- Vazão unitária de distribuição (q)
- Vazão fictícia (Q_f)

Aplicação: Exemplo simples *(distribuição em marcha)*

Sistemas Ramificados (4.6)

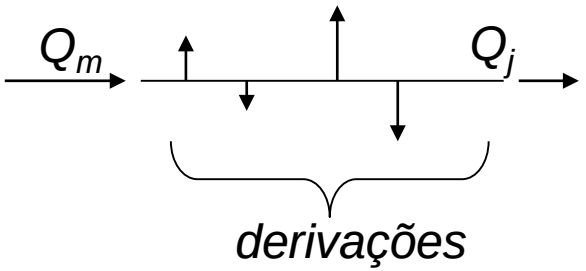
- Tomada de água entre dois reservatórios (4.6.1)
- Problema dos três reservatórios (4.6.2)

Aplicação: Exercício 4.11 *(três reservatórios)*

DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM “MARCHA”

Sistema de abastecimento de água

DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM MARCHA



- Situação comum no dimensionamento de redes de abastecimento de água (e sistemas de irrigação)

- A vazão não é constante ao longo de um trecho de tubulação → pois ocorrem derivações para as residências.

- Para contornar o problema → define-se uma vazão fictícia (dedução no livro págs. 97 a 99.)

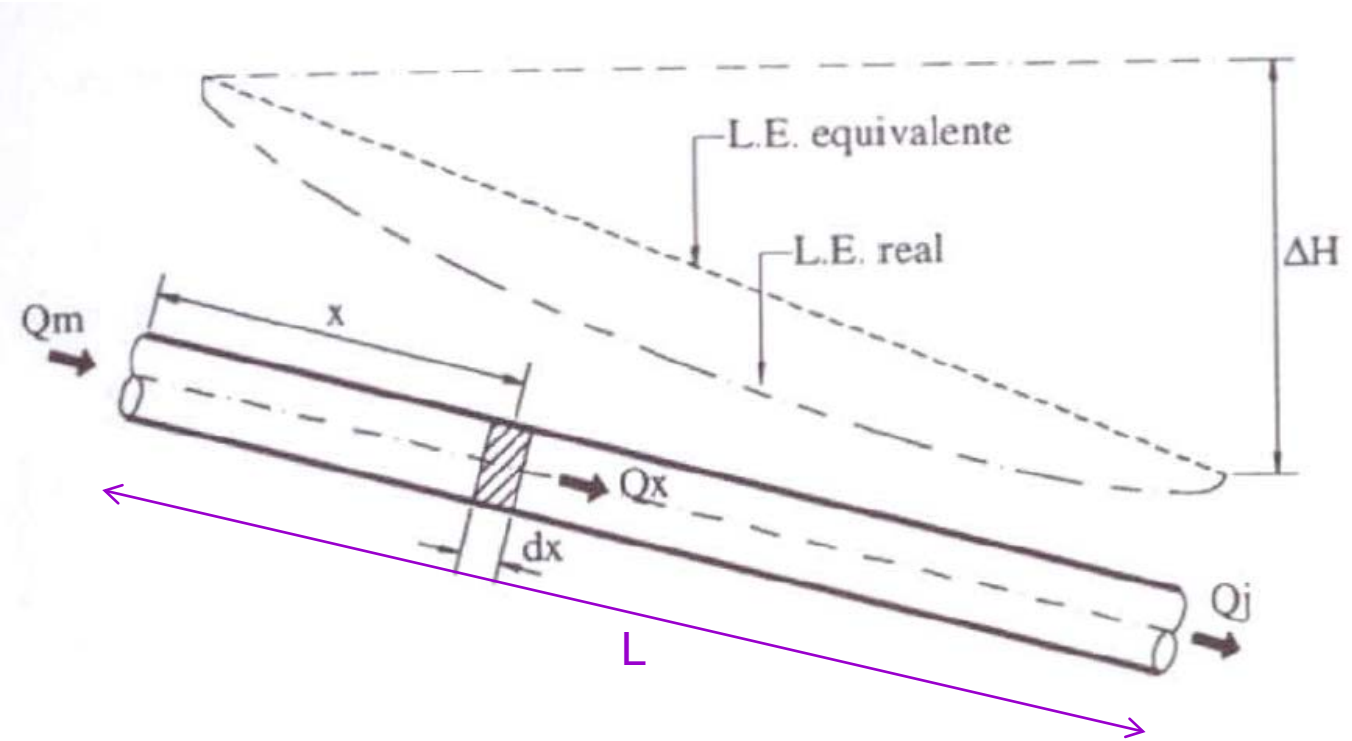
DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM MARCHA

Suposição para contornar o problema:

- *a totalidade da vazão consumida no percurso é feita de modo uniforme ao longo da linha*

- *a* cada metro linear da tubulação é distribuída uma vazão uniforme ***q***, chamada vazão unitária de distribuição, expressa em *l/(s.m)]*

DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM MARCHA



trecho: comprimento L, diâmetro constante(D) e rugosidade uniforme, transportando a vazão *QM* na extremidade de montante, sendo *Qj* a vazão residual na extremidade de jusante.

Sendo *q* a vazão unitária de distribuição e *x* uma abscissa marcada a partir da extremidade de montante, em que a vazão residual é Q_x, as seguintes relações são possíveis:

$$Q_J = Q_M - q \cdot L \quad (1)$$

$$\therefore Q_x = Q_M - q \cdot x \quad (2)$$

Sendo: ***Qd***: vazão total de distribuição [*l/(s)*] (no trecho)

$$q.L = Q_d$$

$$Qd = q.L = Q_M - Q_J \quad (3)$$

DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM MARCHA

Perda de carga para um trecho com distribuição em marcha:

Para contornar o problema → define-se uma vazão fictícia

Considerando a equação universal de perda de carga, tem-se:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \underbrace{0{,}0827 \cdot \frac{f}{D^5}}_{\text{cte}} \cdot Q^2 \cdot L$$

$\Delta H = cte \,.\, L \,.\, Qfic^2$

a perda aplicada ao trecho elementar *dx* seria: $J \cdot dx = cte \cdot Q^2 \cdot dx$

Assim, a perda de carga contínua ao longo do comprimento L pode ser avaliada como:

$$\Delta H = \int_0^L J \cdot dx = cte \int_0^L (Q_M - q \cdot x)^2 \cdot dx = cte \cdot L \cdot \left(Q_M^2 - Q_M \cdot q \cdot L + \frac{q^2 \cdot L^2}{3} \right)$$

ΔH

DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM MARCHA

$$\Delta H = K \cdot dL \cdot \left(Q_M^2 - Q_M \cdot q \cdot L + \frac{q^2 \cdot L^2}{3} \right)$$

Chamando $q.L = Q_d = Q_M - Q_j$, tem-se:

(*) $$\Delta H = K \cdot L \cdot \left(Q_M^2 - Q_M \cdot Q_d + \frac{Q_d^2}{3} \right)$$

$$\left[\underbrace{Q_M - \left(\frac{Q_d}{\sqrt{3}} \right)}_{Q_{fic}} \right]^2$$

Não é quadrado perfeito entre $(Q_M - Q_d/2)^2$ e $(Q_M - Q_d/3^{0,5})^2$

(1/2 e $1/3^{0,5}$), considerando a média 0,55 e ~ 0,5

Considerando que $1/\sqrt{3} \cong 0,50$

e sendo ΔH = *cte* . *L* . $Qfic^2$

$$\therefore Q_{fic} \cong Q_M - 0,5.Q_d \cong Q_M - 0,5(Q_M - Q_J) = \frac{Q_M + Q_j}{2}$$ **(**)**

DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM MARCHA

Situações particulares:

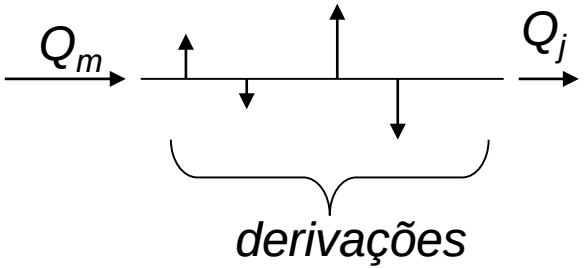
$$Q_{fic}\begin{cases} p/\ Q_j = 0: \quad Q_M = q.L = Q_d \xrightarrow{(*)} Q_{fic} = \dfrac{Q_M}{\sqrt{3}} \quad \text{(Ponta seca)} \\ p/\ Q_j \neq 0: \quad \boxed{Q_{fic} = \dfrac{Q_M + Q_J}{2}} \ (**) \quad \text{Equação geral} \end{cases}$$

Portanto, a ***perda de carga*** para um trecho com distribuição em marcha:

$$h_f = 0{,}0827 \cdot \frac{f \cdot Q_{fic}^{\ 2}}{D^5} \cdot L \begin{cases} p/ \quad Q_J = 0: h_f = 0{,}0827 . \dfrac{f}{3D^5} Q_M^{\ 2} . L \\ p/ \quad Q_J = 0: h_f = 0{,}0827 . \dfrac{f}{4D^5} (Q_M + Q_J)^2 . L \end{cases}$$

DISTRIBUIÇÃO DE VAZÃO EM MARCHA

Resumindo:



- **q : vazão unitária de distribuição** *[l/(s.m)]* (vazão em marcha – *uniforme ao longo do trecho)*

$$Q_J = Q_M - q \cdot L \qquad (1)$$

$$\therefore Q_x = Q_M - q \cdot x \qquad (2)$$

- **Qd : vazão total de distribuição** *[l/(s)]* (vazão total no trecho)

$$\boldsymbol{Qd = q.L = QM - Qj}$$

- **Qf : vazão fictícia *[l/(s)]*** (vazão equivalente (cte) que produz a mesma perda de carga verificada na distribuição em marcha)

$$Q_{fic} = \frac{Q_M + Q_J}{2} \quad \text{ou} \quad Q_{fic} = \frac{Q_M}{\sqrt{3}}$$

$$\boldsymbol{\Delta H = cte \,.\, L \,.\, Qfic^2}$$

Determindação da Perda de carga (p/ um trecho c/ distribuição em marcha)

Ver exemplo 4.1 (pág. 100)

$$h_f = \underbrace{0{,}0827 \frac{f}{D^5}}_{\text{cte}} \cdot Q_{fic}^2 \cdot L$$

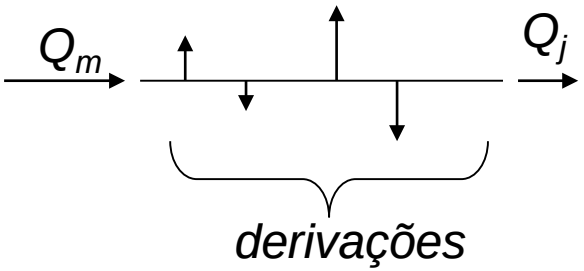
Exemplo simples

- Dados:

Qm = 40 L/s

Qj = 30 L/s

L techo = 1 Km



Determinar:

- Vazão total no trecho: Qd
- Vazão unitária (distribuição em marcha): q
- Vazão fictíca: Qf

Resposta:

- Qd = 10 L/s
- q = 0,01 L/s.m
- Qf = 35 L/s

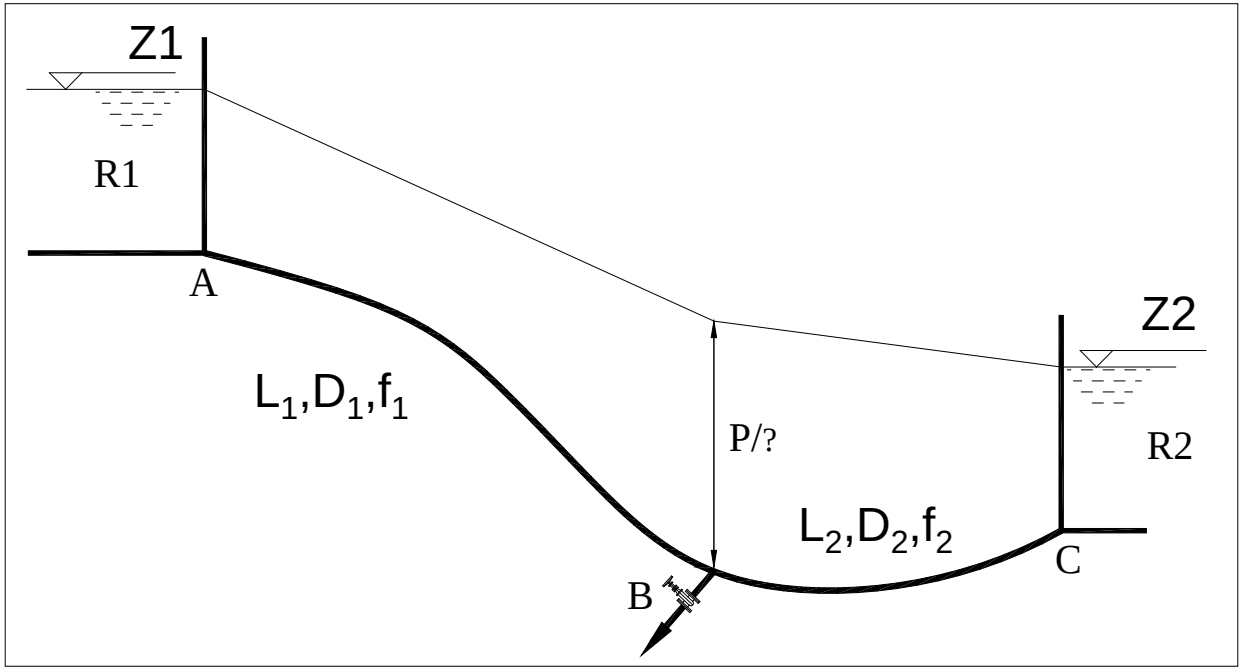
$$\Delta H = cte \cdot L \cdot Qfic^2$$

SISTEMAS RAMIFICADOS

Um sistema hidráulico é dito ramificado quando em uma ou mais seções de um conduto ocorre variação da vazão por derivação de água.

SISTEMAS DE TUBULAÇÕES HIDRÁULICAS

- TOMADA D'ÁGUA ENTRE 2 RESERVATÓRIOS
  - R1 → superior → sempre abastecedor
  - R2 → inferior → compensação → abastecedor ou não



Se válvula B fechada $\rightarrow Q_B = 0 \rightarrow$ 2 condutos em série

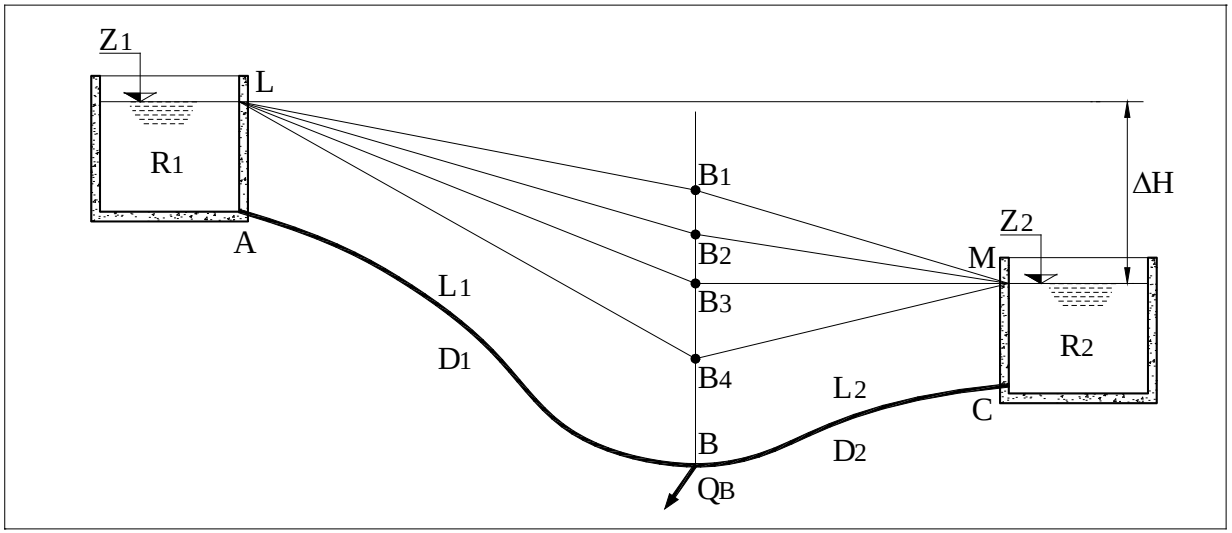
$$\Delta H = Z_1 - Z_2 \text{ e } \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 0{,}0827 \cdot Q^2 \left(\frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} \right)$$

$$\text{portanto}: Q = \sqrt{\frac{(Z_1 - Z_2)}{0{,}0827 \cdot \left(\frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} \right)}}$$

assim $\rightarrow$ R1 alimenta R2 com a vazão Q e com $Q_B = 0$

SISTEMAS DE TUBULAÇÕES HIDRÁULICAS

- TOMADA D'ÁGUA ENTRE 2 RESERVATÓRIOS
  - R1 → superior → sempre abastecedor
  - R2 → inferior → compensação → abastecedor ou não



À medida que a válvula B é aberta $\rightarrow Q_B$ aumenta $\rightarrow$ C.P. em B cai $\rightarrow$ alimentação de R2 diminui

quando C.P. em B atinge a cota $B_3 = Z_2 \rightarrow$ L.P. $[B_3M]$ é horizontal $\rightarrow$ alimentação de R2 é nula

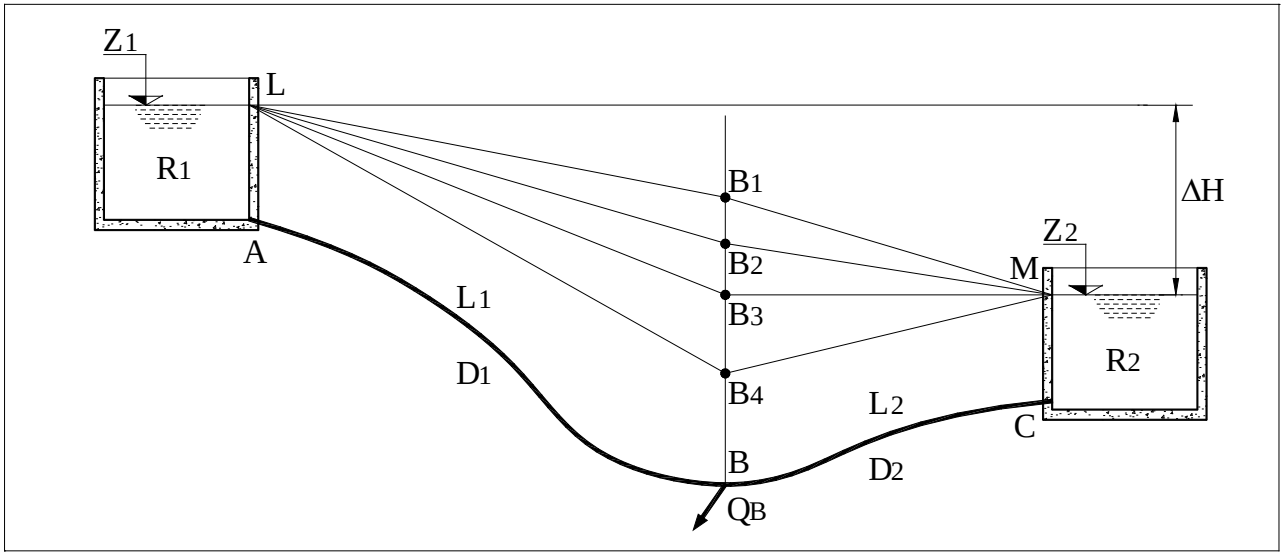
$$\Delta H = Z_1 - Z_2 \text{ e } \Delta H = \Delta H_1 = 0{,}0827 \cdot Q^2 \left(\frac{f_1 L_1}{D_1^5} \right)$$

$$\text{portanto}: Q_B = \sqrt{\frac{(Z_1 - Z_2) D_1^5}{0{,}0827 f_1 L_1}}$$

assim $\rightarrow$ R1 alimenta a válvula B e vazão para R2 é nula

SISTEMAS DE TUBULAÇÕES HIDRÁULICAS

- TOMADA D'ÁGUA ENTRE 2 RESERVATÓRIOS
  - R1 → superior → sempre abastecedor
  - R2 → inferior → compensação → abastecedor ou não



Aumentando a abertura da válula B → C.P. em B cai para B_4 → R2 também alimenta a válvula B

portanto :

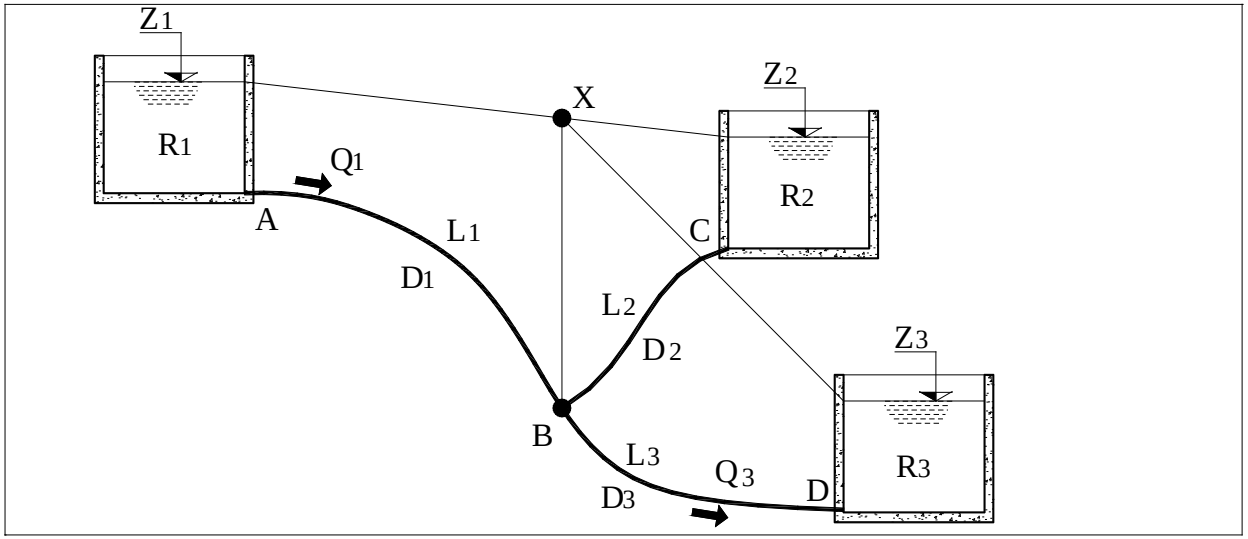
$$Q_B = Q_1 + Q_2$$

$$Q_B = \sqrt{\frac{(Z_1 - B_4)D_1^5}{0{,}0827 f_1 L_1}} + \sqrt{\frac{(Z_2 - B_4)D_2^5}{0{,}0827 f_2 L_2}}$$

assim → R1 e R2 alimentam a válvula B

SISTEMAS DE TUBULAÇÕES HIDRÁULICAS

- PROBLEMA DOS 3 RESERVATÓRIOS
  - 3 RESERVATÓRIOS DE NÍVEIS CONSTANTES E CONHECIDOS: Z_1, Z_2 e Z_3



Questão básica → conhecer as vazões nos 3 condutos

Precisa conhecer a cota piezométrica X no ponto B → R2 pode ser recebedor ou abastecedor

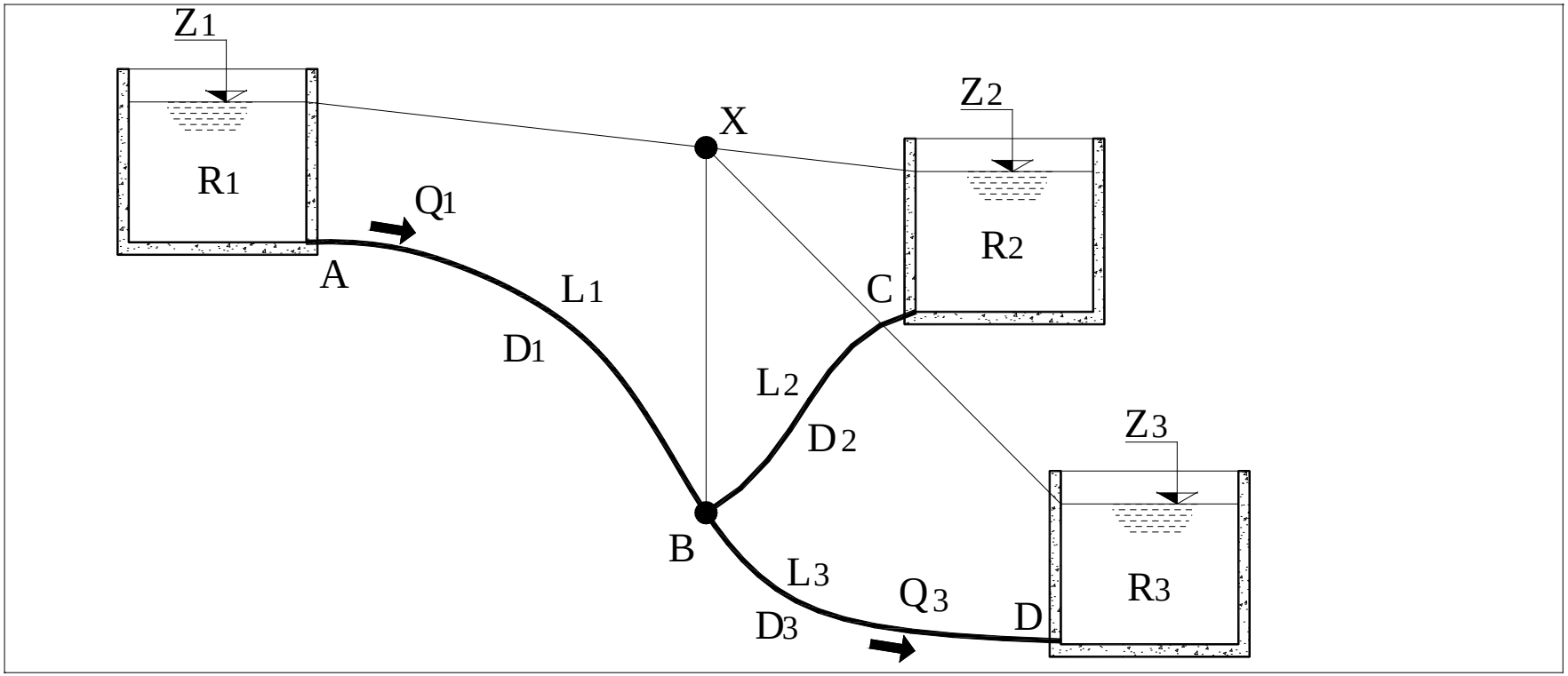
R1 → abastecedor

R3 → recebedor

SISTEMAS DE TUBULAÇÕES HIDRÁULICAS

Sendo **X** o valor da cota piezométrica em B.

- 3 SITUAÇÕES se apressentam:
  - Se $X>Z_2$ → R1 abastece R2 e R3
  - Se $X=Z_2$ → vazão para R2 é nula → R1 abastece apenas R3
  - Se $X<Z_2$ → R1 e R2 abastecem R3



SISTEMAS DE TUBULAÇÕES HIDRÁULICAS

O CÁLCULO DAS VAZÕES É FEITO POR TENTATIVAS :

1. ARBITRA-SE UM VALOR PARA X (cota piezométrica em B)
2. CALCULA-SE AS VAZÕES NOS 3 TRECHOS A PARTIR DE ΔH
3. VERIFICA-SE A EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE EM B

PELA FÓRMULA UNIVERSAL TEM-SE :

$\Delta H = K \frac{L}{D^5} Q^2 \rightarrow$ admitindo mesmo coeficiente de atrito nos 3 condutos

TRECHO AB $\rightarrow Z_1 - X = K \frac{L_1}{D_1^5} Q_1^2$

TRECHO BC $\rightarrow X - Z_2$ OU $Z_2 - X = K \frac{L_2}{D_2^5} Q_2^2$ (depende do valor de X em relação a Z_2)

TRECHO BD $\rightarrow X - Z_3 = K \frac{L_3}{D_3^5} Q_3^2$

CONTINUIDADE :

$Q_1 = Q_2 + Q_3$ OU $Q_3 = Q_1 + Q_2$

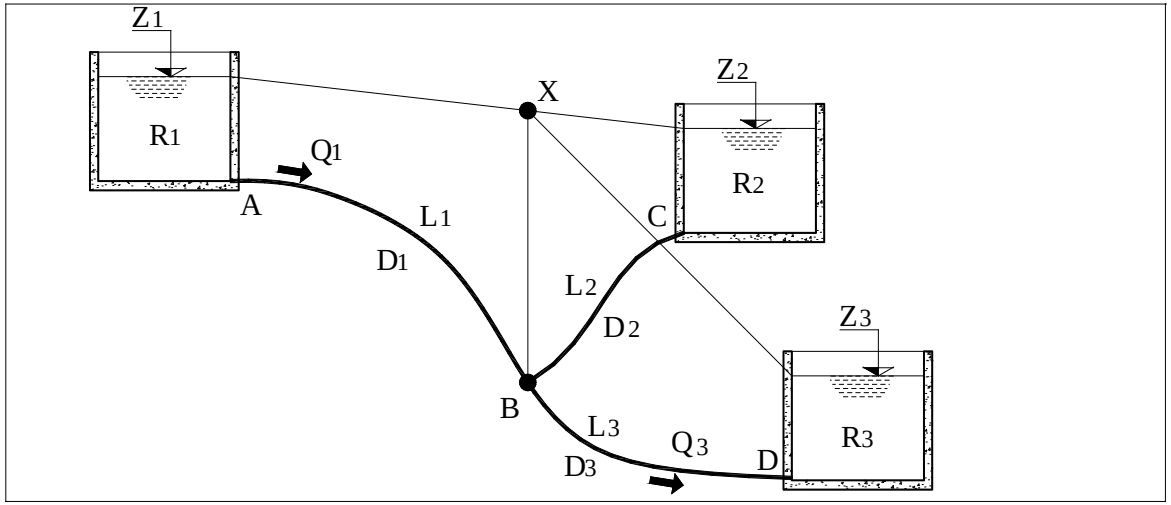
SISTEMAS DE TUBULAÇÕES HIDRÁULICAS

- PROCESSO DE CÁLCULO:

1. Fixa-se $X=Z_2 \rightarrow Q_2=0$
2. Calcula-se Q_1 e Q_3 pelas equações anteriores
3. Se $Q_1=Q_3 \rightarrow$ final do problema
4. Se $Q_1>Q_3 \rightarrow$ aumentar X (p/ diminuir Q_1 e aumentar Q_2 e Q_3)
5. Se $Q_1<Q_3 \rightarrow$ diminuir X (p/ aumentar Q_1 e Q_2 e diminuir Q_3.
6. O processo prossegue até que a equação da continuidade em B seja satisfeita:

   $Q_1=Q_2+Q_3$ ou $Q_3=Q_1+Q_2$

Ver exemplo 4.3



Aplicação

Exercício 4.11 *(3 reservatórios)*

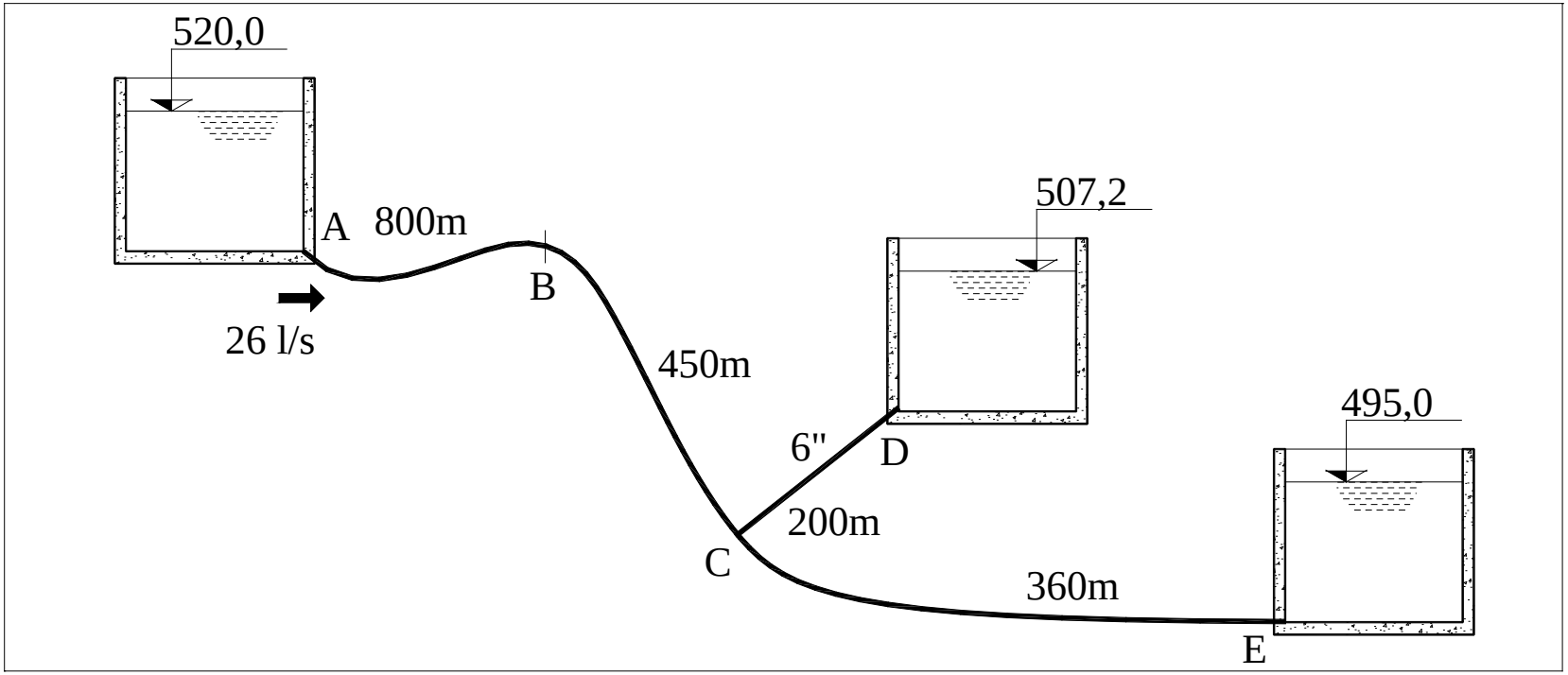
PROBLEMA 4.11 - livro

No sistema adutor as tubulações são de aço soldado, coef. de Hazen-Willians C=120. A cota geométrica do ponto B é 514,4 m. O diâmetro do trecho CD é de 6” e a vazão descarregada pelo reservatório superior é de 26 L/s. Dimensione os trechos sujeito a :

a)A carga de pressão mínima no sistema deve ser de 2m

b)As vazões que chegam aos reservatórios E e D devem ser iguais

Desprezar as perdas de carga localizadas.



- Desafio (Aula 11)

Livro Porto (1998)

- Exercícios 4.7 e 4.9

- Obrigada!

- Outros Exercícios (Aula 11)

Livro Porto (1998)

- Exercícios 4.1, 4.3, 4.6 e 4.8

Livrinho de Exercícios - Porto (2012)

- Exercícios 4.20 e 4.22