Hidráulica 1 – SHS0409
HIDRÁULICA DOS CONDUTOS FORÇADOS

Redes de Distribuição de Água

- Redes Ramificadas

(Aula 16)

CONTEÚDO AULA 16

16/06/14

Redes de distribuição de água

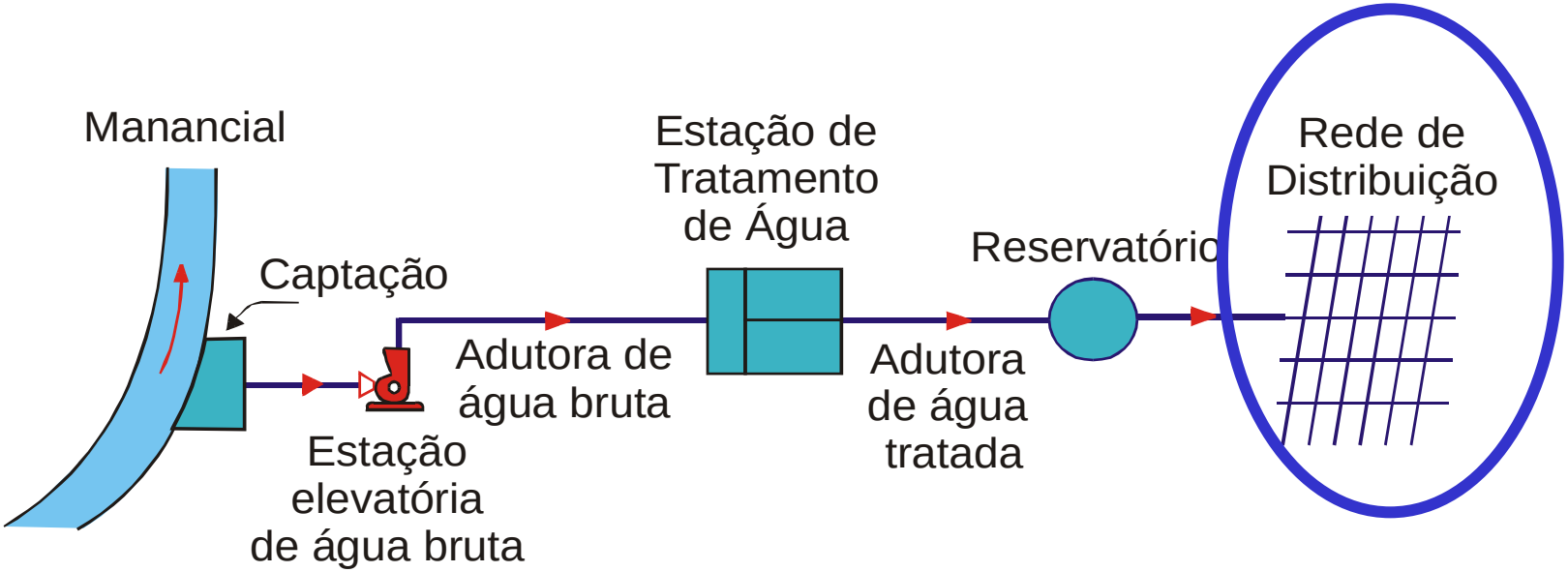
Redes de distribuição (malhadas e ramificadas)

- Tipos de redes (6.2)
- Vazão de adução e distribuição (6.3)
- Análise hidráulica de redes (6.4)
- Método de cálculo para dimensionamento de redes (6.5)

Aplicação: Exemplo 6.1 e Exercício 6.2 (livrinho)

Desafios : Ex. 6.1 e 6.2 – livro (rede ramificada)

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA



FONTE: Tsutiya (2005)

Rede de distribuição:

Entende-se por rede de distribuição o conjunto de peças especiais destinadas a conduzir a água até os pontos de tomada das instalações prediais, ou os pontos de consumo público, sempre de forma contínua e segura.

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

- Importância (próximo ao ponto consumo)
  - Quantidade
  - Regularidade
  - Pressão adequada
  - Qualidade – Portaria 2914/2011

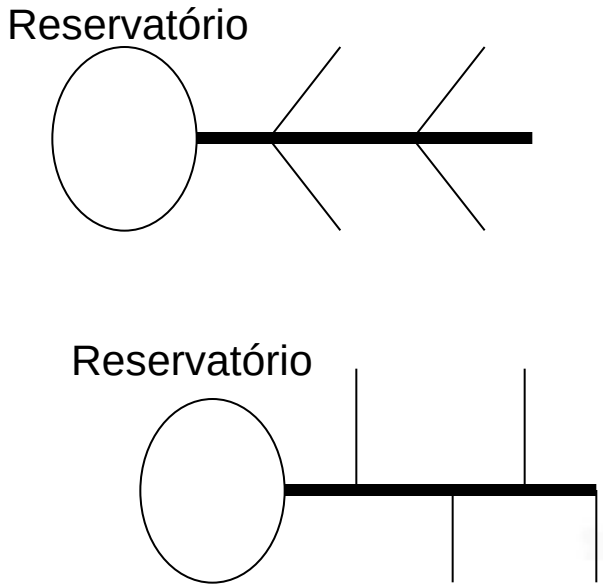
- Custo da Rede: **50 a 75% do custo total do sistema de abastecimento** (Tsutiya, 2005)

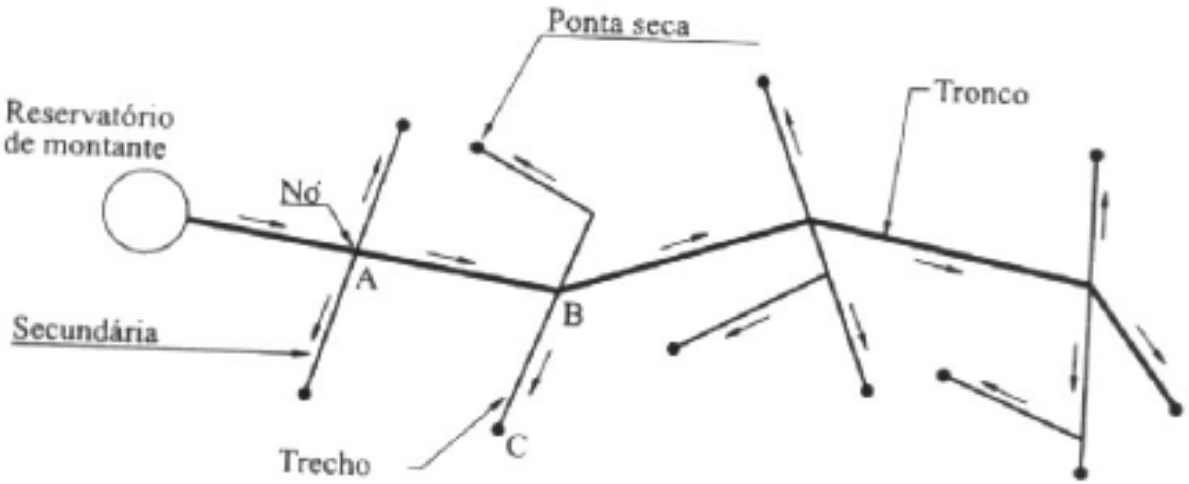
Rede de distribuição

As redes são consideradas pelo sentido de escoamento da água nas tubulações secundárias

- Ramificada
- Malhada

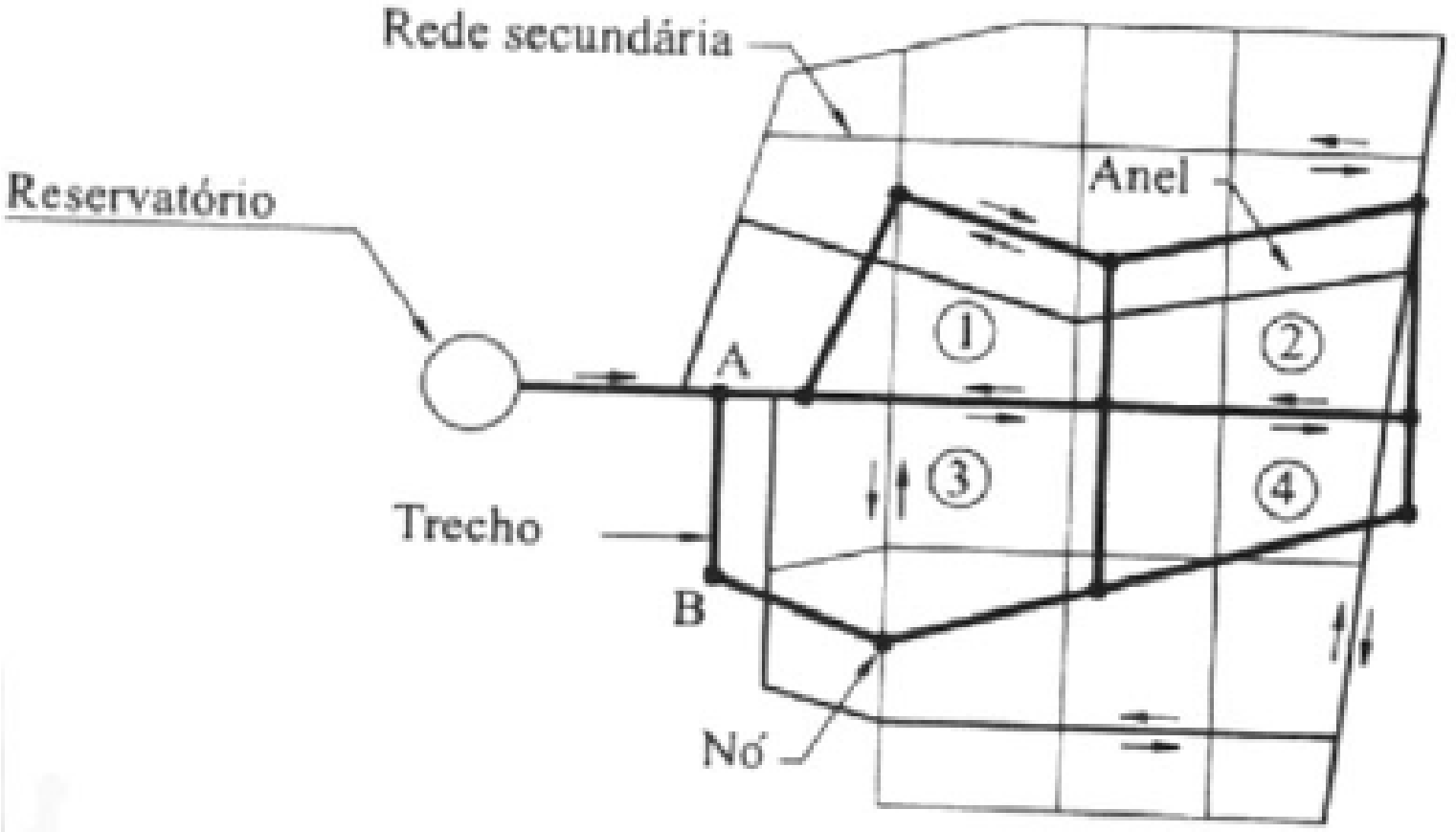
Rede Ramificada – Formato de Espinha de Peixe





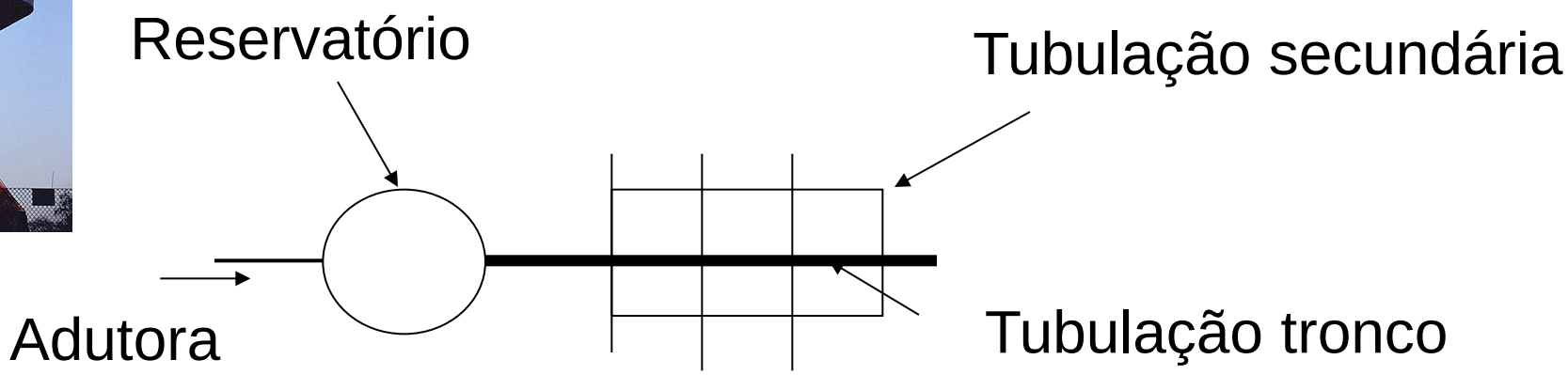
É um sistema típico de cidades que apresentam desenvolvimento linear pronunciado.

Rede Malhada em Anel



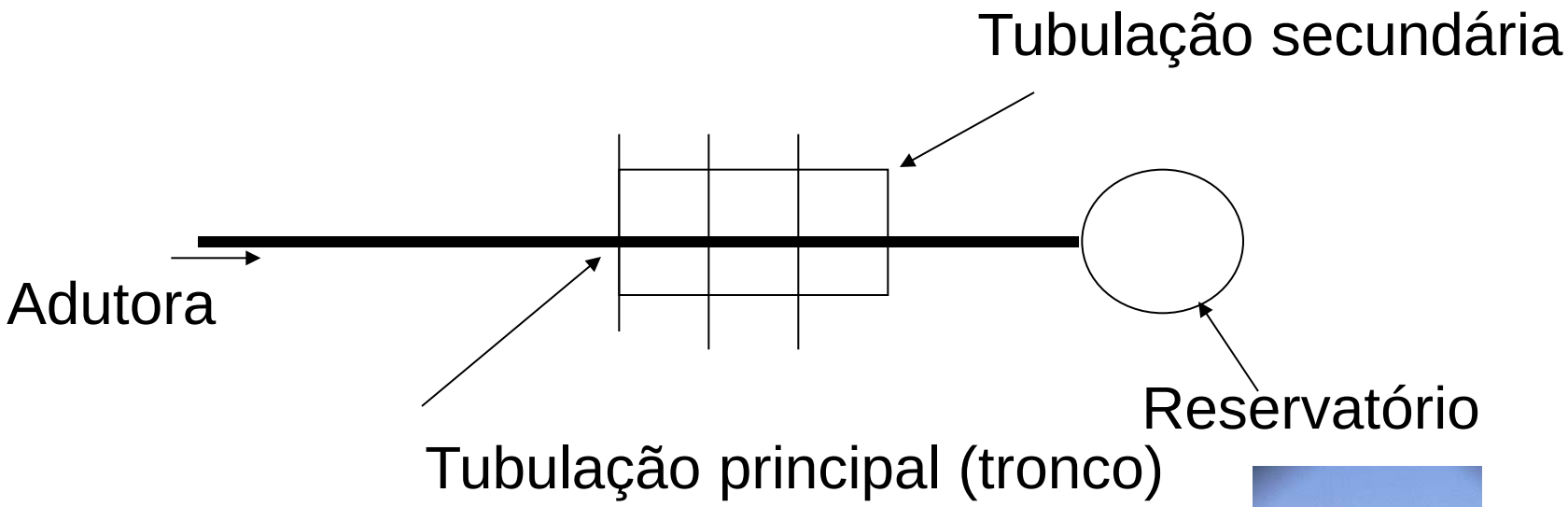
Rede de distribuição

Reservatório de montante



Rede de distribuição

Reservatório de jusante



Rede de distribuição

O traçado dos condutos deve considerar:

- Ruas sem pavimentação;
- Ruas com pavimentação menos onerosa;
- Ruas de menor intensidade de trânsito;

Rede de distribuição

O traçado dos condutos deve considerar:

- Proximidade de grandes consumidores;
- Proximidade das áreas e de edifícios que devem ser protegidos contra incêndio.

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

- **TIPOS DE REDE**
  - **Principal: conduto tronco (maior diâmetro) - abastecer as canalizações secundárias**
  - **Secundária: abastece diretamente os pontos de consumo (menor diâmetro)**

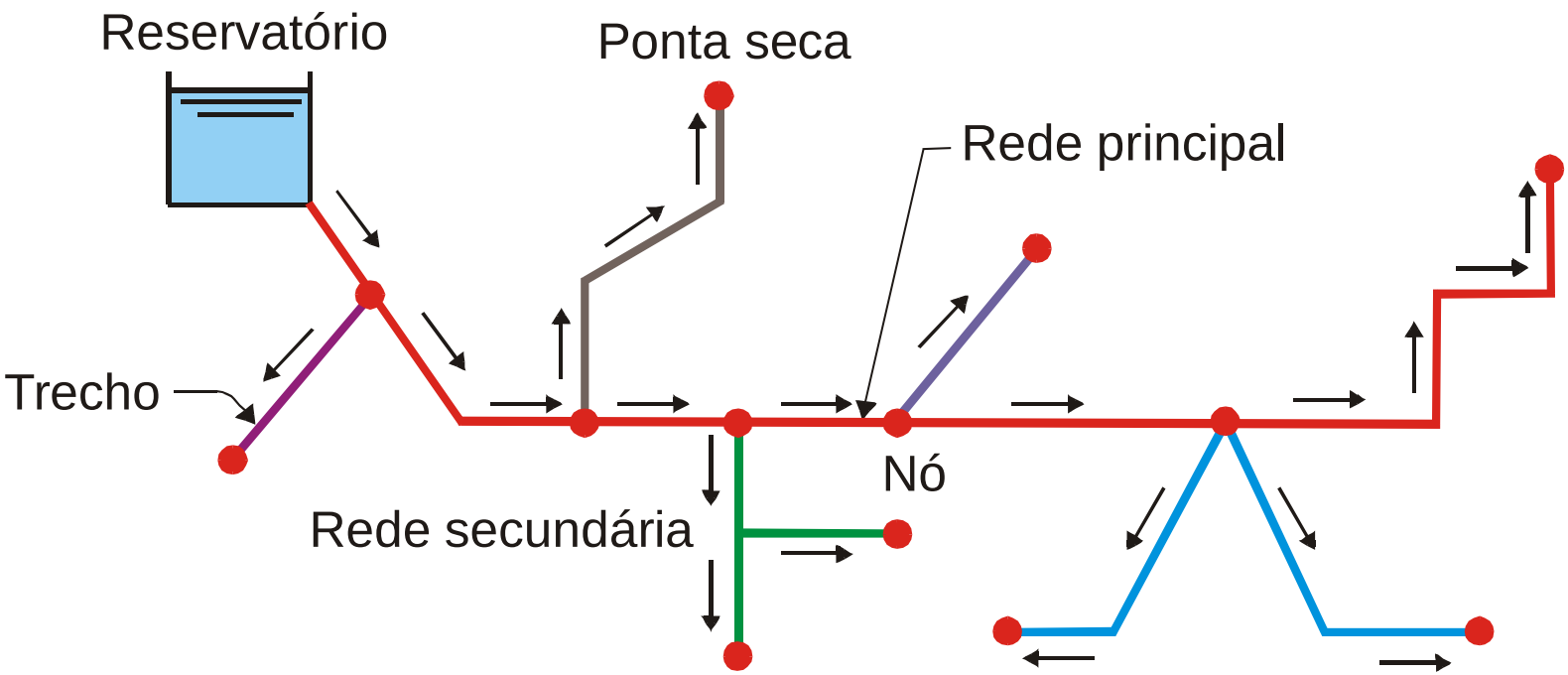
Classificação da tubulação principal – Traçado Rede

- ✓ **Ramificada** → espinha de peixe, grelha
- ✓ **Malhada** → anéis, blocos
- ✓ **Mista**

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Tipos de Rede

Rede ramificada

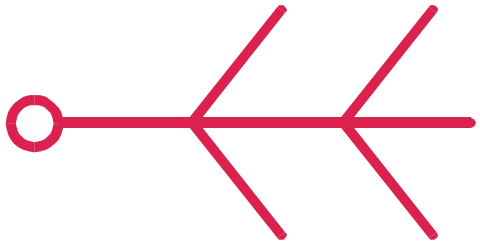


FONTE: Tsutiya (2005)

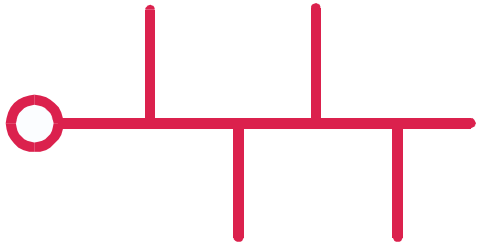
Aplicações práticas – limitações -

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

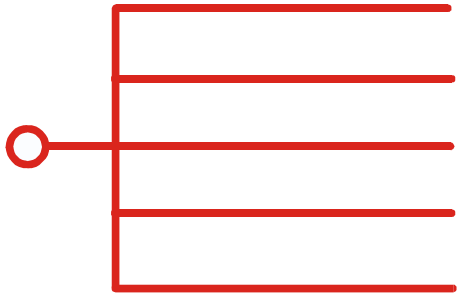
Rede ramificada



Rede ramificada com traçado em espinha de peixe



Rede ramificada com traçado em grelha



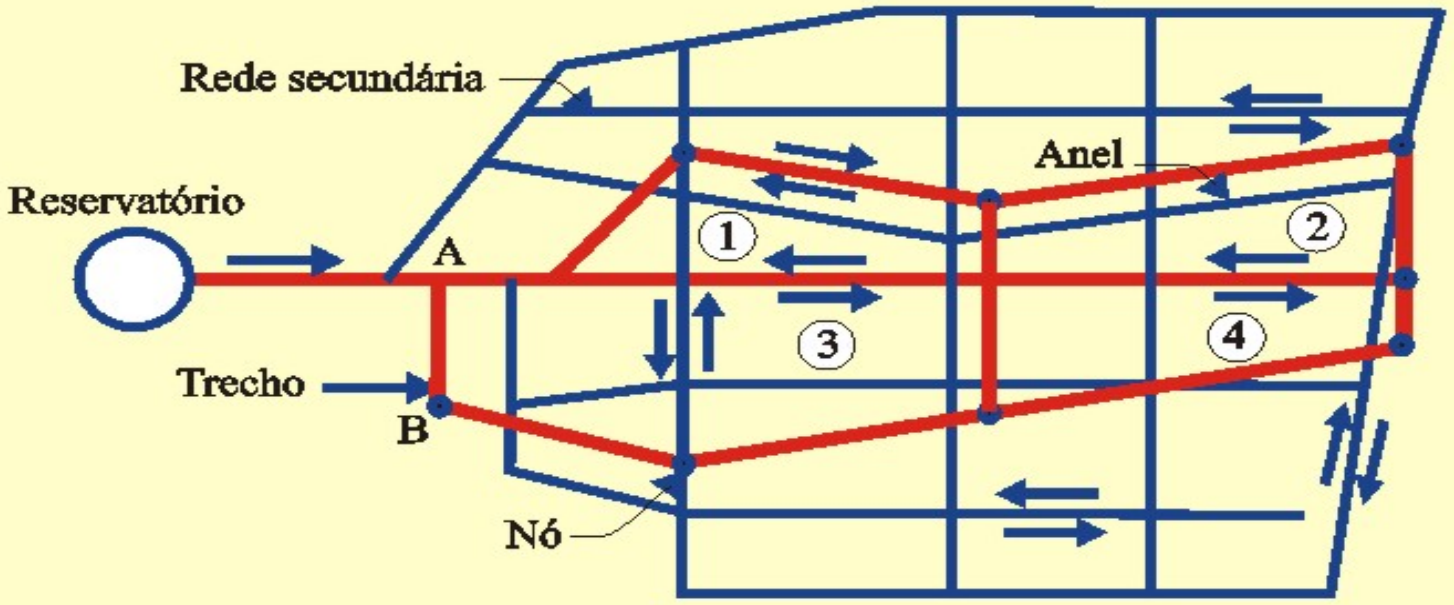
FONTE: Tsutiya (2005)

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Tipos de Rede

Rede malhada

Rede malhada em anéis



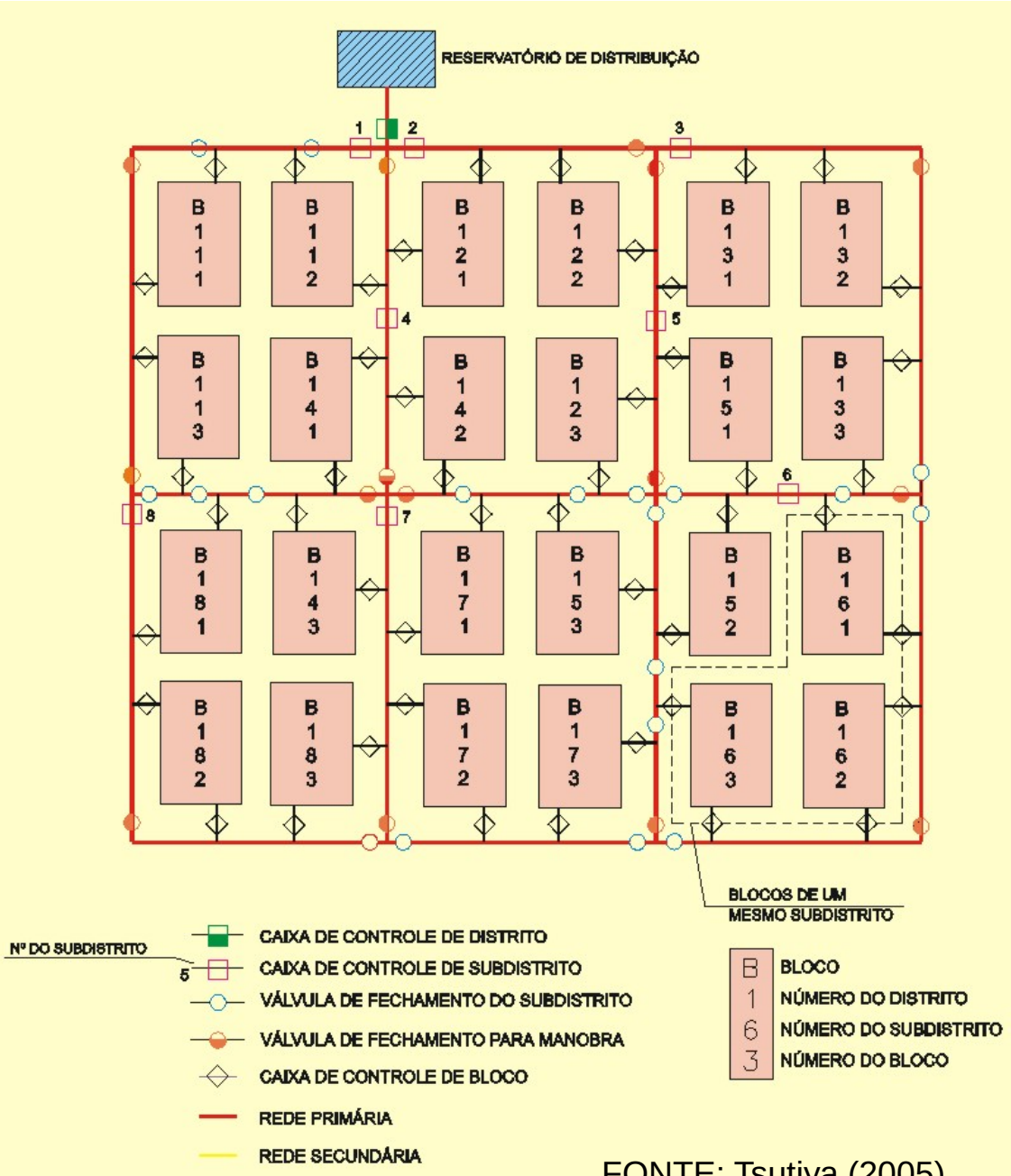
Aplicações práticas
– vantagens -

FONTE: Tsutiya (2005)

Rede malhada

Rede malhada em blocos

Aplicações práticas – vantagens (perdas) -

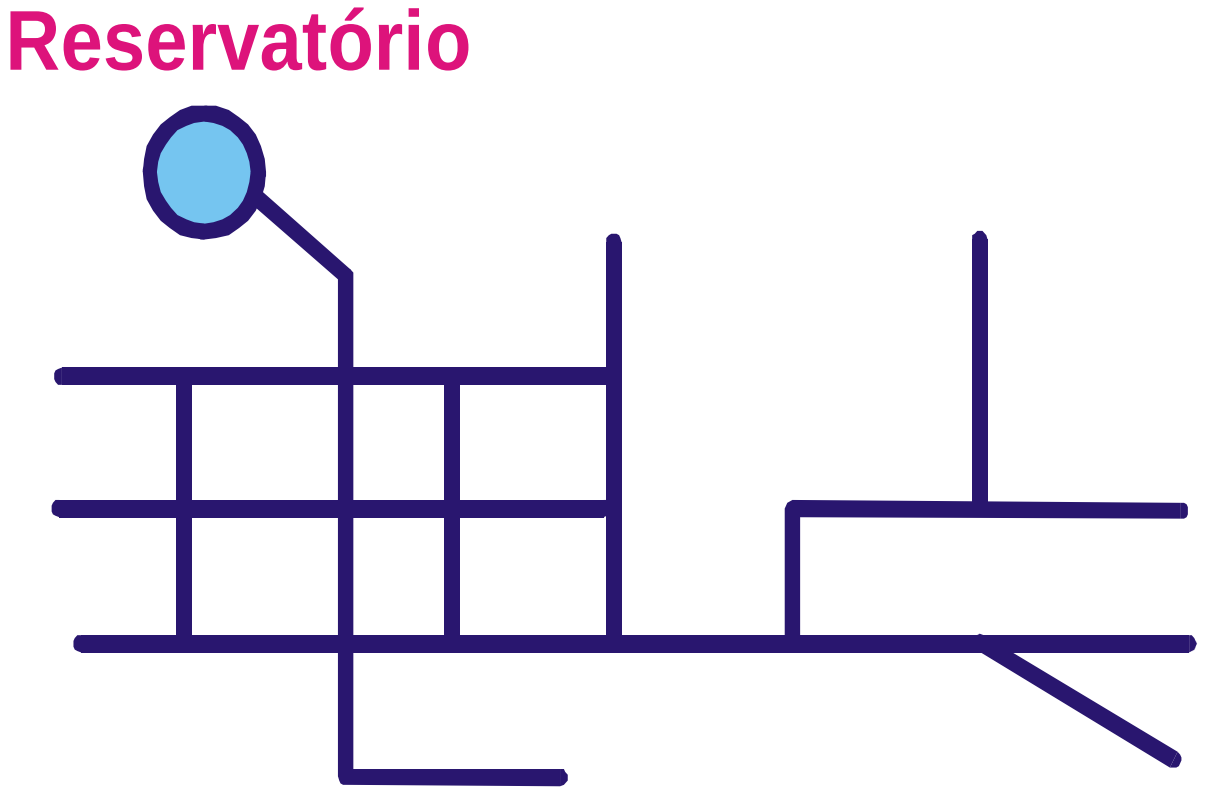


FONTE: Tsutiya (2005)

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Tipos de Rede

Rede mista



FONTE: Tsutiya (2005)

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Tubulações principais

- Devem formar circuitos fechados
- Devem ser direcionadas as zonas de maior demanda
- Localizadas em vias ou áreas públicas
- Vias sem pavimentação, sem tráfego intenso, sem interferências significativas, com solo adequado

Tubulações secundárias

- Localização no passeio
- Comprimento máximo de 600 m
- Devem formar rede malhada

FONTE: Tsutiya (2005)

DIMENSIONAMENTO DAS REDES

Análise hidráulica - *considerações*

A. VAZÕES de dimensionamento

B. Parâmetros Dimensionamento

1) **Diâmetro**

2) **Velocidade**

3) **Pressão**

Cálculo das Vazões de distribuição

Cálculo da vazão de distribuição (rede):

$$Qd = \frac{P \cdot q_m \cdot K_1 \cdot K_2}{3600.h}$$

Qd - Vazão de distribuição (l/s);
P – População a ser abastecida para o final de plano
q_m – Consumo per-capita (l/hab.dia);
K_1 - Coeficiente de máxima vazão diária;
K_2 – Coeficiente de máxima vazão horária;
h- número de horas de funcionamento do sistema.

Cálculo da vazão por metro linear de rede:

$$q = \frac{Qd}{L}$$

q- vazão por metro linear de rede (l/s x m);
L – comprimento total da rede (m);
Qd - Vazão de distribuição, l/s.

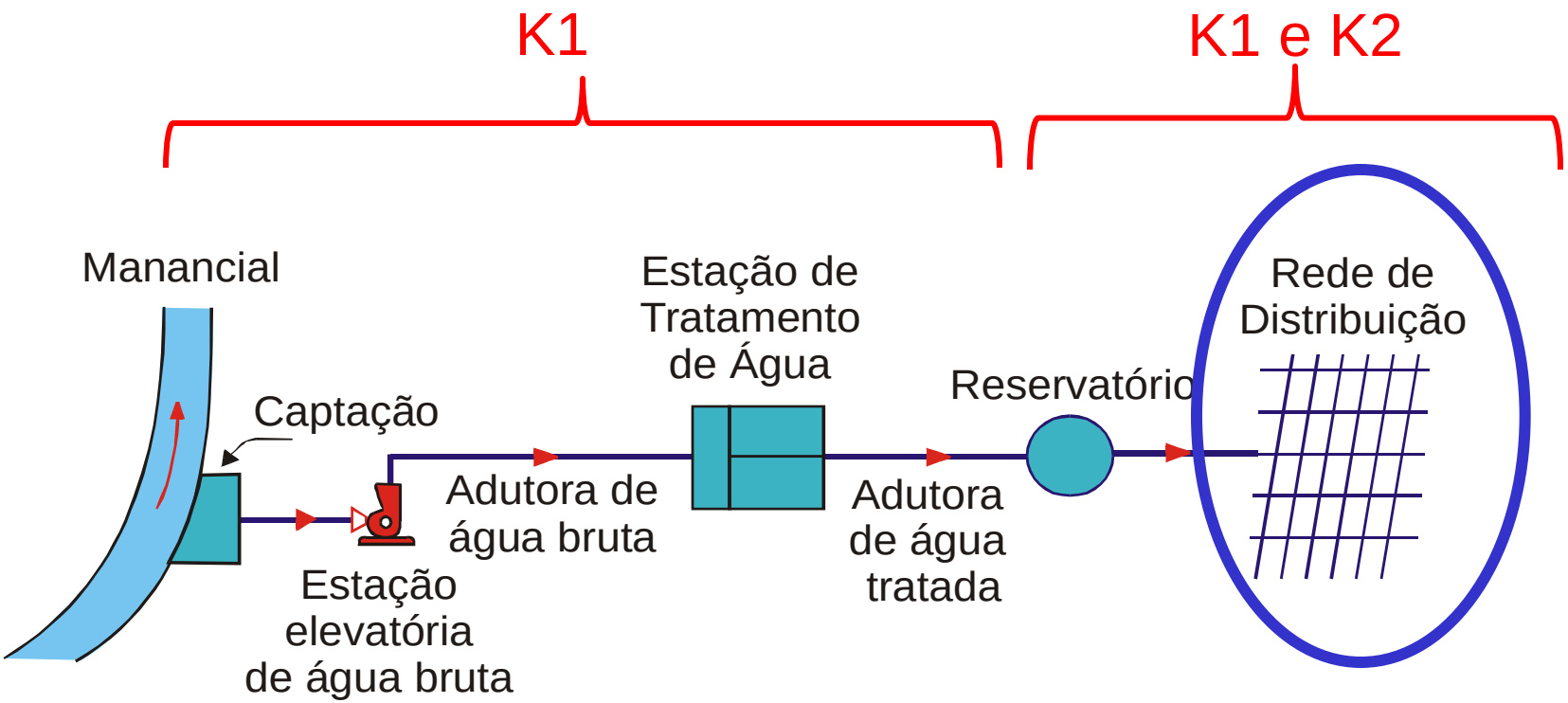
Cálculo das Vazões de adução

Cálculo da vazão de adução (a montante de reservatórios de distribuição: captação, bombeamento, adução, tratamento e reservação):

$$Qa = \frac{P \cdot q_m \cdot K_1}{3600.h}$$

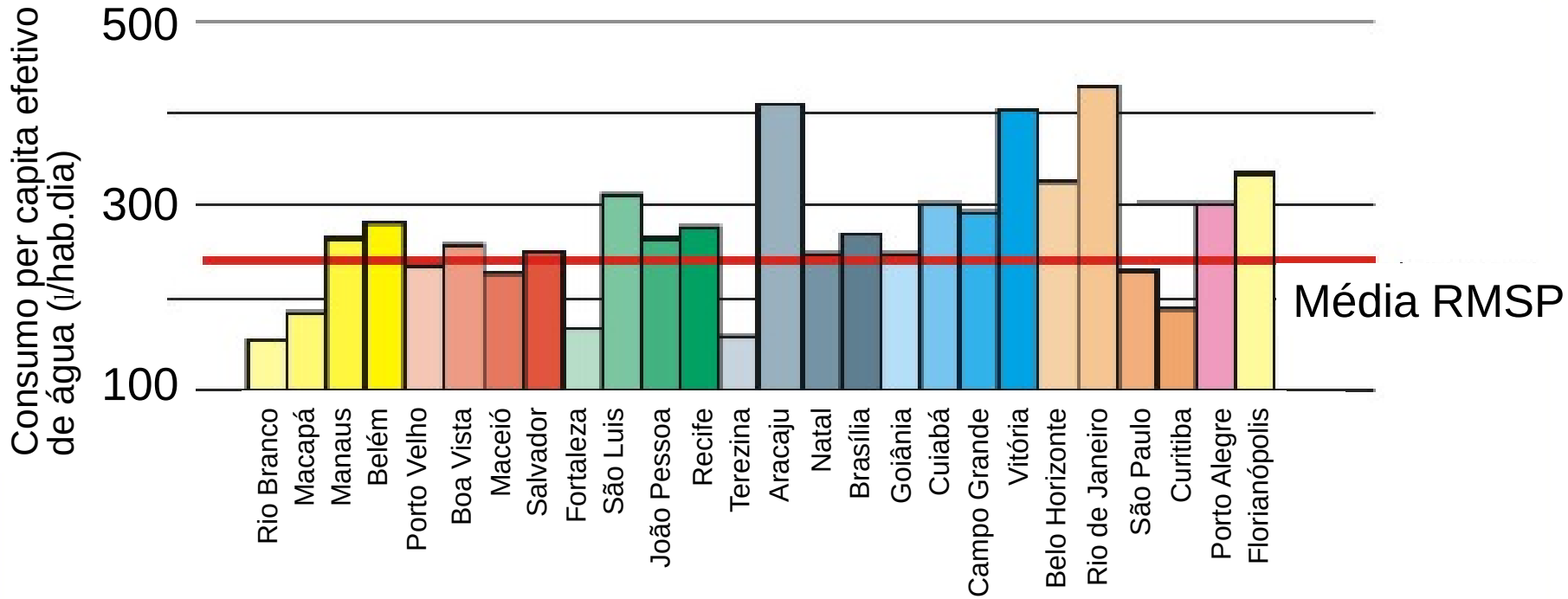
Qa - Vazão de adução (l/s);
P – População a ser abastecida;
q_m – Consumo per-capita (l/hab.dia);
K_1 - Coeficiente de máxima vazão diária;
h- número de horas de funcionamento do sistema.

REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

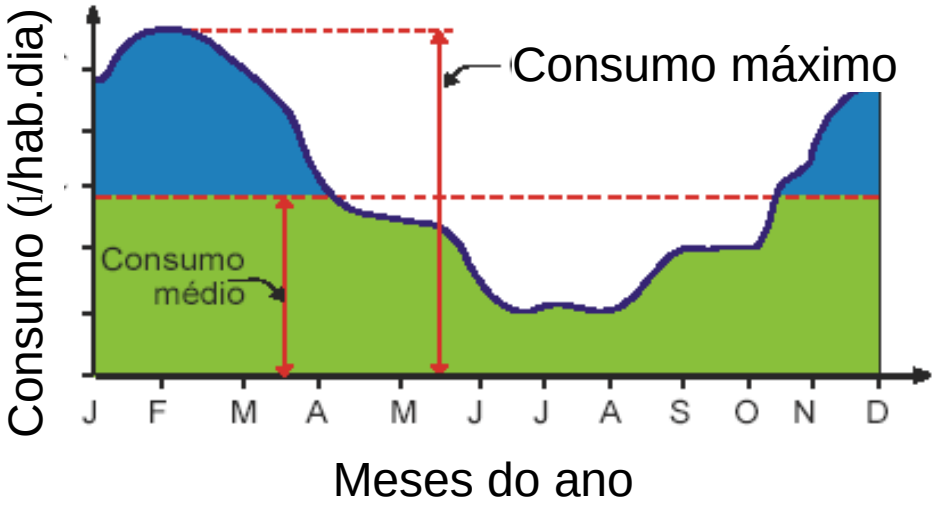


FONTE: Tsutiya (2005)

Consumo per capita efetivo nas capitais brasileiras

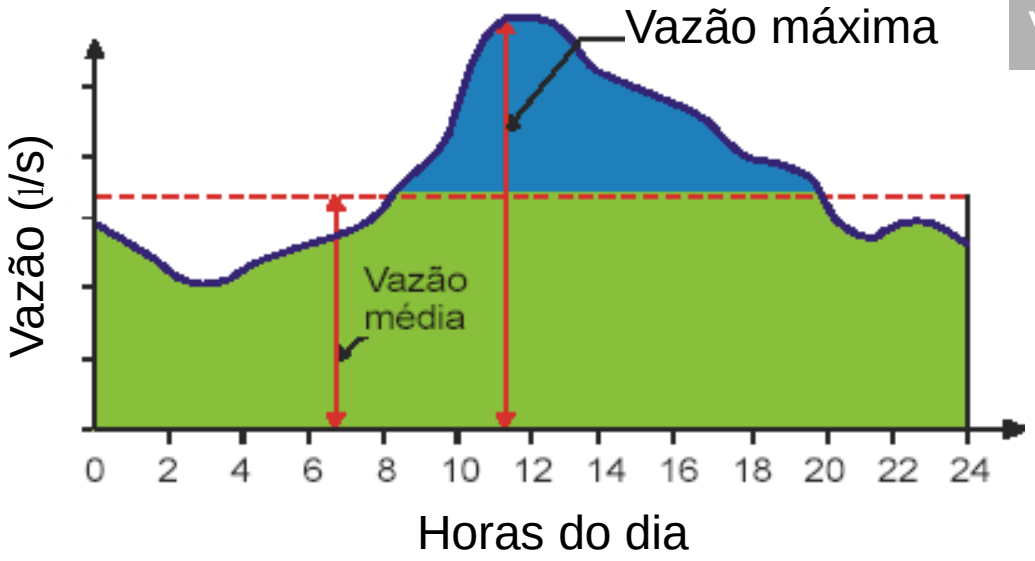


Coeficientes K_1 e K_2



Variação do consumo do ano

$$K_1 = \frac{Q_{máx}}{Q_{méd}}$$



Variação do consumo diário

$$K_2 = \frac{Q_{máx}}{Q_{méd}}$$

Análise hidráulica

- **Equação da continuidade**

  $Q = V \times A$

- **Equação da resistência**

  $\Delta H = r\, Q^n$

F.U. (*Darcy-Weisbach*)

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Fórmula Empírica de Hazen-Williams

$$\Delta h = 10{,}65 \cdot L \cdot \frac{Q^{1{,}85}}{C^{1{,}85} \cdot D^{4{,}87}}$$

Análise hidráulica

- **Equação da continuidade**

$$\sum_{nó} Q = 0$$

Equação da resistência

$$\Delta H = r\, Q^n$$

NBR 12.218/1994

F.U. (*Darcy-Weisbach*)

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Fórmula Empírica de Hazen-Williams

$$\Delta h = 10{,}65 \cdot L \cdot \frac{Q^{1{,}85}}{C^{1{,}85} \cdot D^{4{,}87}}$$

$$\Delta h_L = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Perda de carga localizada

L/D > 1000 → desprezível

Análise hidráulica

Equação da continuidade

$$\sum_{nó} Q = 0$$

Equação da resistência

$$\Delta H = KQ^n$$

n=2,00 – fórmula universal
n=1,85 – Hazen-Williams

Análise hidráulica:

- **Verificação da capacidade máxima da rede existente**
- **Dimensionamento de rede**

B. Parâmetros Dimensionamento

1) Diâmetro ⇒ Dmín: 50mm (> 4”)

NBR 12.218/1994
(*tubulações secundárias*)

2) Velocidade

3) Pressão

Diâmetro das Tubulações Principais

- 75 mm população de projeto $\leq$ 5000 habitantes.
- 100mm população de projeto $>$ 5000 habitantes.
- 150mm abastecendo zonas comerciais ou zonas residenciais com densidade igual ou superior a 150 hab/km^2.

Diâmetro das Tubulações Secundárias

- O diâmetro interno mínimo $\geq$ 50 mm.

- População<5000 hab. e quota per capita <100L.hab/dia admitido o uso de tubulação $\leq$50 mm (NB - 594/77)

B. Parâmetros Dimensionamento

1) Diâmetro

Recomendação da norma européia – NTF-IFA

População (hab)	Tubulação secundária (mm)	Tubulação principal (mm)
< 1000	50	100
1000 – 6000	75	125
> 6000	100	175

FONTE: Tsutiya (2005), adaptado de Gomes (2002)

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

B. Parâmetros Dimensionamento

Q = V x A ($\pi D^2 / 4$)

1) Diâmetro

2) **Velocidade**
- Vmín: 0,6m/s
- Vmáx: 3,5m/s

3) Pressão

NBR 12.218/1994

Vmáx= 0,60 + 1,5 D e Vmáx=2,0m/s (Porto, 1998)

Analise Hidráulica- Problemas

- verificação
- dimensionamento

Analise Hidráulica- Problema 1 (verificação)

- Problema de verificação, que consiste em *determinar as vazões nos trechos* e as *cotas piezométricas nos nós*, para uma rede com diâmetros e comprimentos conhecidos. Este problema é determinado e tem uma única solução.

Analise Hidráulica- Problema 2 (dimensionamento)

- Problema de determinação dos *diâmetros, vazões nos trechos e cotas piezométricas nos nós*, com condicionamento nas velocidades e pressões. Este problema admite várias soluções, podendo, porém, procurar-se a solução de mínimo custo.

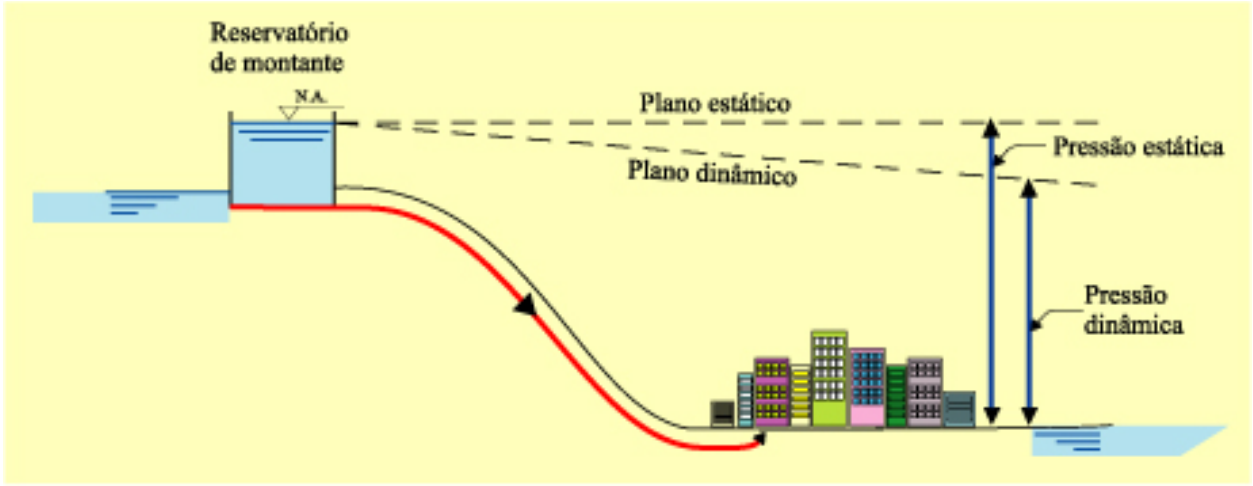
$$V_{máx}(m/s) = 0{,}60 + 1{,}5 \cdot D(m) \text{ e } V_{máx} \leq 2{,}0 m/s$$

Analise Hidráulica

Tabela 6.1-pag. 173-Porto

D(mm)	$V_{máx}$	$Q_{máx}$
50	0,68	1,34
60	0,69	1,95
75	0,71	3,14
100	0,75	5,89
125	0,79	9,69
150	0,83	14,67
200	0,90	28,27
250	0,98	47,86
300	1,05	74,22
350	1,13	108,72
400	1,20	150,80
500	1,35	265,10

B. Parâmetros Dimensionamento



Reservatório a montante da rede

3) Pressão

- P dinâmica mínima: **100 kPa (10 mH2O)**
- P estática máxima: **500 kPa (50 mH2O)**

NBR 12.218/1994

LCE → Linha de Carga Efetiva (LP=LE)

LCA → Linha de Carga Absoluta (LCE + Pa/γ)

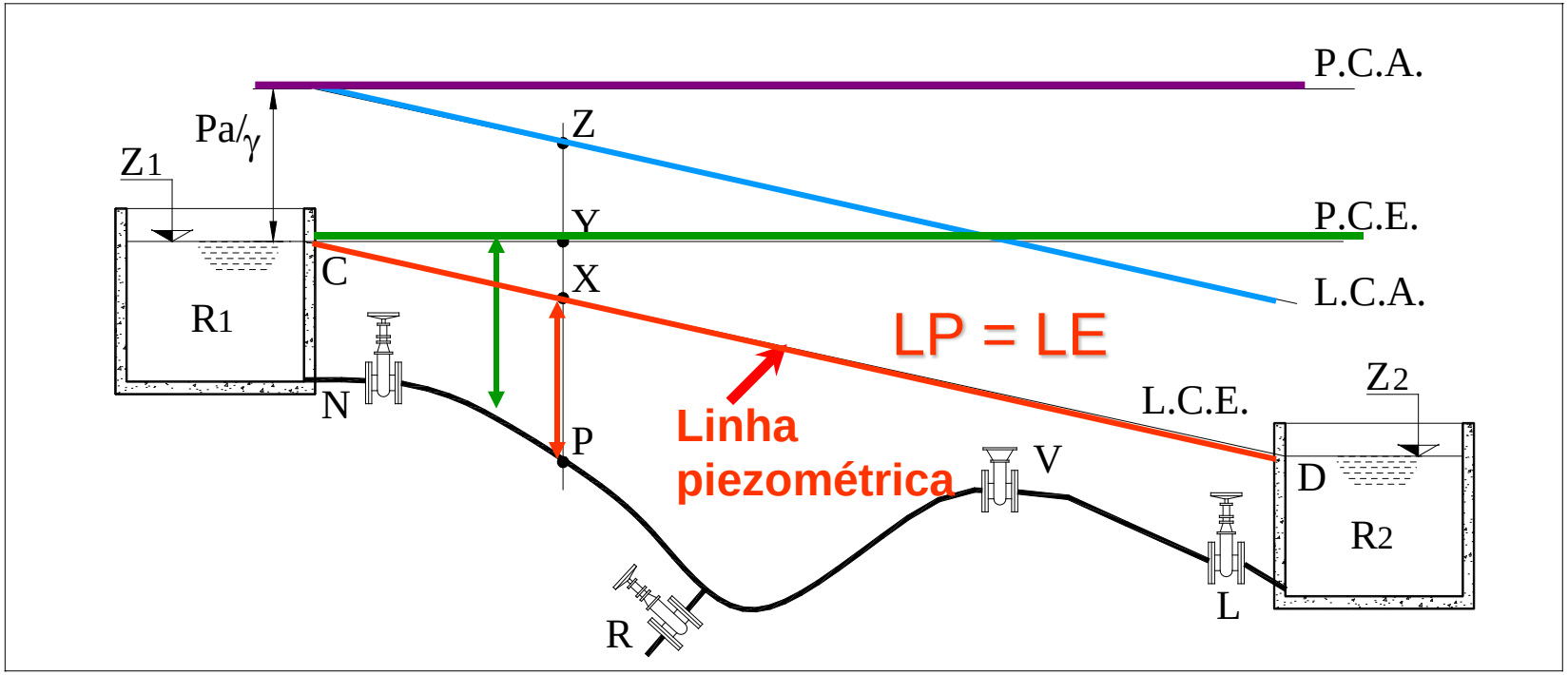
PCE → Plano de Carga Efetivo (NA no R1 – superior)

PCA → Plano de Carga Absoluto (Patm local)

PX → Carga de Pressão Dinâmica Efetiva

PZ → Carga de Pressão Dinâmica Absoluta = Pef+Patm

PY → Pressão Hidrostática / Pressão estática



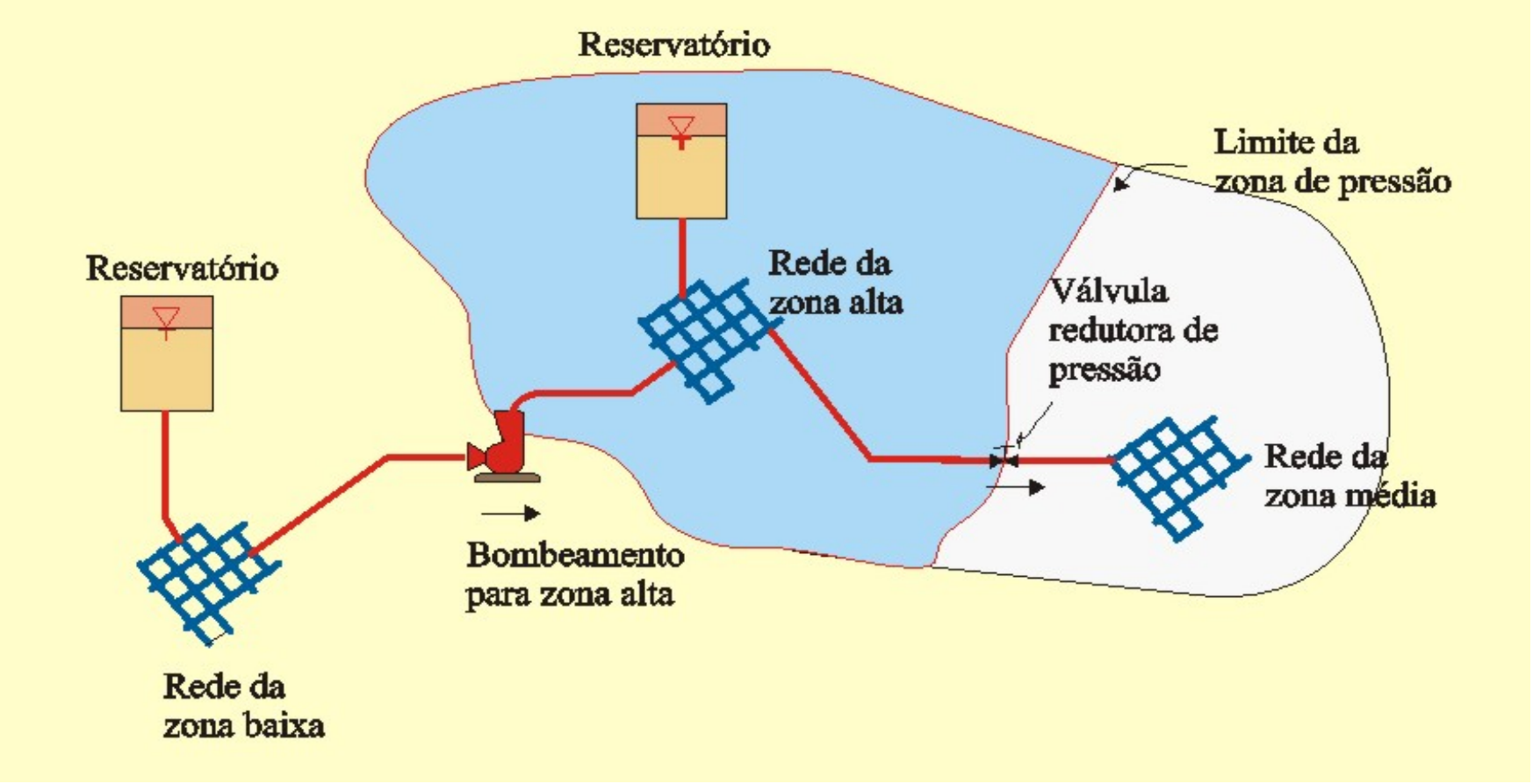
LE: Linha de Energia (ou carga total)

LCE: Linha de Carga Efetiva

Zonas de Pressão

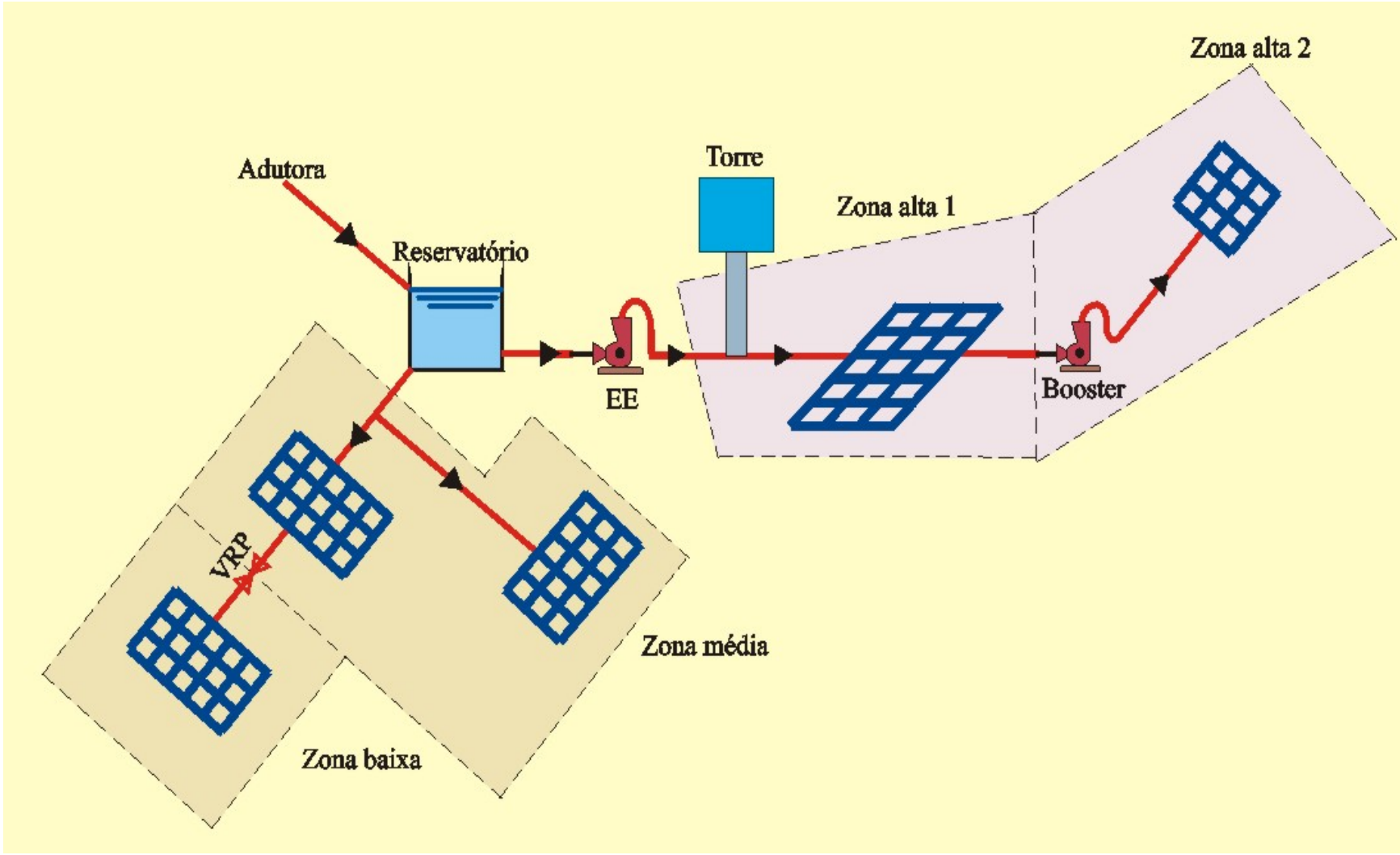
A pressão estática máxima permitida em tubulações distribuidoras será de 50m.c.a. (reduzir as perdas por vazamentos nas juntas das tubulações) e a pressão dinâmica mínima será de 15m.c.a (NB-594/77).

ESQUEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ATENDER OS LIMITES DE PRESSÃO NA REDE



FONTE: Tsutiya (2005).

ESQUEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ATENDER AS DIVERSAS ZONAS DE PRESSÃO



FONTE: Tsutiya (2005).

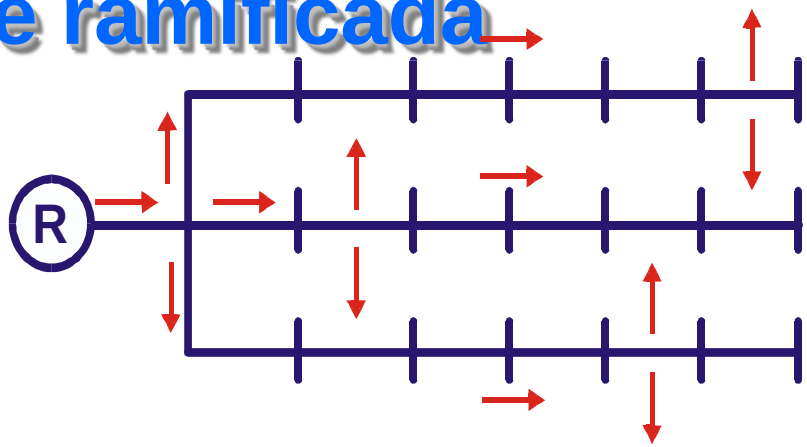
C. Métodos de Dimensionamento

1. Rede ramificada

2. Rede malhada

C. Métodos de Dimensionamento

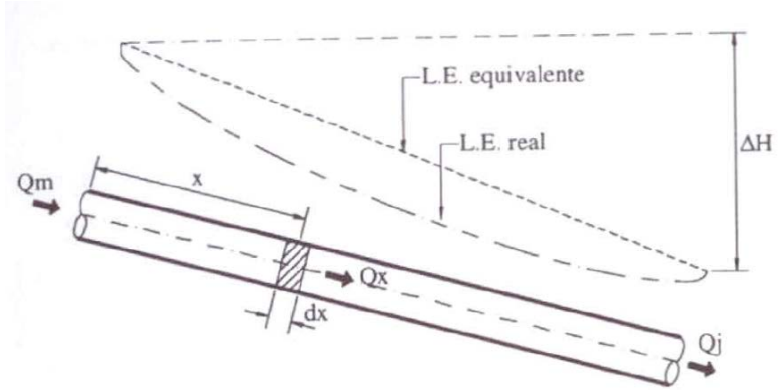
1. Rede ramificada



Seqüência de cálculo para o dimensionamento

- **Determinação das vazões em cada trecho = *Qfictícia***
- **Dimensionamento dos trechos – *perda de carga***
- **Verificação das pressões resultantes**

1. Rede ramificada



$$Q_M = Q_j + q \cdot L$$

$$Q_x = Q_M - q \cdot x$$

- **Determinação das vazões em cada trecho = Q*fictícia***

$$Q_{fic} = \begin{cases} se\ Q_j = 0 \rightarrow Q_{fic} = \dfrac{Q_M}{\sqrt{3}} \\ se\ Q_j \neq 0 \rightarrow Q_{fic} \cong \dfrac{Q_M + Q_j}{2} \end{cases}$$

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

- **Dimensionamento dos trechos – *perda de carga***
- **Verificação das pressões resultantes**

Redes Ramificadas-planilha de cálculo

Coluna 1 – Nº trecho – os trechos da rede ou os nós devem ser numerados, com um critério racional, partindo do trecho mais afastado do reservatório, que recebe o número 1;

Coluna 2 – Extensão L do trecho, em metros, medidos na planta topográfica ou aerofotogramétrica;

Coluna 3 - Vazão de jusante Q_j, se na extremidade de um ramal (ponta seca) $Q_j=0$. Na extremidade de jusante de um trecho T qualquer, $Q_j=\Sigma Q_m$ dos trechos abastecidos por T;

Coluna 4 – Vazão em marcha igual a q·L, na qual q é a vazão unitária de distribuição em marcha (ℓ/(s.m)). O valor de q é constante para todos os trechos da rede e igual à relação entre a vazão de distribuição e o comprimento total da rede, ΣL_i.

Redes Ramificadas

Coluna 5 – Vazão de montante do trecho $Q_m=Q_j+qL$;

Coluna 6 – Vazão fictícia, $Q_f = \frac{Q_m + Q_j}{2}$ se $Q_j \neq 0$ ou $Q_f = \frac{Q_m}{\sqrt{3}}$ se $Q_j = 0$

Coluna 7 – Diâmetro D, determinado pela vazão de montante do trecho;

Coluna 8 – Perda de carga unitária J(m/100m), determinada para o diâmetro D e a vazão fictícia Qf, calculada pela equação de resistência adotada;

Coluna 9 – Perda de carga total no trecho, DH(m)=J·L;

Coluna 10 e 11 - Cotas topográficas do terreno, obtidas na planta e relativas aos nós de montante e jusante do trecho;

Redes Ramificadas

Coluna 12 e 13 - Cotas piezométricas de montante e jusante, determinadas a partir da cota piezométrica fixada para um ponto qualquer da rede, ou estabelece para o nível d'água no reservatório um valor genérico X. A partir do nível d'água X e com os valores das perdas de carga nos trechos, todas as cotas piezométricas dos nós podem ser calculadas em função de x;

Coluna 14 e 15 – Cargas de pressão disponível em cada nó, cota piezométrica menos cota do terreno, em função de X. Para o ponto mais desfavorável, iguala-se ao valor de 15m.c.a, que é a mínima carga de pressão dinâmica admitida no projeto.

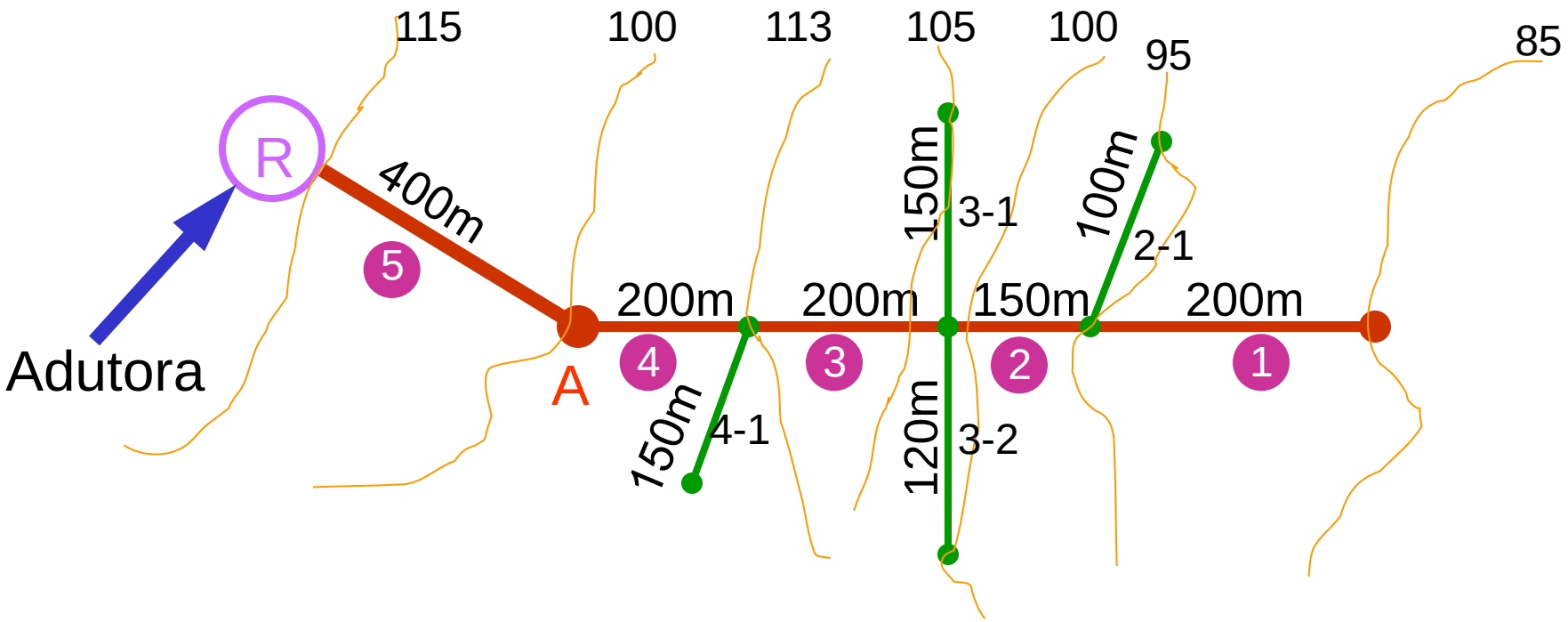
Organização da planilha de cálculo

col (3)	col (2)	col (3)	col (4)	col(5)	col(6)	col(7)	col(8)	col(9)	col(10)	col(11)	col(12)	col(13)	col(14)	col(15)	col(16)	col(17)
									cotas do terreno		cotas piezométricas		cargas de pressão dinâmica		cargas de pressão estática	
Trecho	L(m)	Qj (m3/s)	q.L (m3/s)	Qm (m3/s)	Qfic (m3/s)	D (m)	J (m/m)	DH (m)	mont (m)	jus (m)	CP mont (m)	CP jus (m)	mont (m)	jus (m)	mont (m)	jus (m)
total																

Aplicações

Exemplo 6.1-livro

Dimensionar a rede de distribuição de água de uma pequena comunidade, cuja planta e topografia do terreno são mostrada a abaixo. Determinar a cota do nível d'água no reservatório para que a mínima carga de pressão dinâmica na rede seja 15m.c.a. *Determine a máxima carga de pressão estática e a máxima carga de pressão dinâmica na rede?* P=2900hab, q_m=150ℓ/hab/dia, k_1=1,25, k_2=1,5, f=0,026 e o trecho entre o reservatório e o ponto A, onde inicia a rede na terá distribuição em marcha.



Exemplo 6.1-livro

$$Q = \frac{1{,}25 \cdot 1{,}5 \cdot 2900 \cdot 150}{86400} = 9{,}44 \ell / s$$

A partir de A → $L_{rede} = 1270m$

$$q = \frac{Q}{L_{rede}} = \frac{9{,}44}{1270} = 0{,}0074 \ell /(s.m)$$

Planilha de cálculo

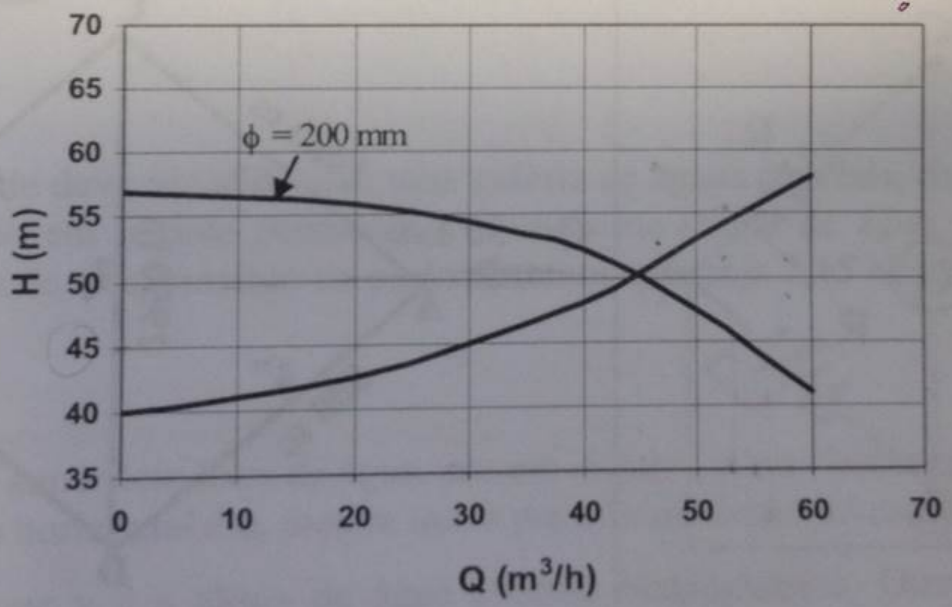
Tabela 6.2 Planilha de cálculo do Exemplo 6.1.

Trec	Exte	Vazão (l/s)				Diâm	J (m/	ΔH	Cota terreno (m)		Cota piezométrica (m)		Carga de pressão mH_2O	
nº	(m)	Jusa	Marc	Mont	Fictí	(mm)	100 m)	(m)	Monta	Jusan	Montan	Jusan	Montan	Jusan
1	200	0,0	1,49	1,49	0,86	60	0,200	0,40	95,0	85,0	X – 4,32	X – 4,72	X – 99,32	X – 89,72
2-1	100	0,0	0,74	0,74	0,43	50	0,127	0,13	95,0	95,0	X – 4,32	X – 4,45	X – 99,32	X – 99,45
2	150	2,23	1,11	3,34	2,79	100	0,165	0,25	102,5	95,0	X – 4,07	X – 4,32	X – 106,57	X – 99,32
3-1	150	0,0	1,11	1,11	0,64,	50	0,282	0,42	102,5	105,0	X – 4,07	X – 4,49	X – 106,57	X –109,49
3-2	120	0,0	0,89	0,89	0,51	50	0,179	0,21	102,5	100,0	X – 4,07	X – 4,28	X – 106,57	X –104,28
3	200	5,34	1,48	6,82	6,08	125	0,260	0,52	113,0	102,5	X – 3,55	X – 4,07	X – 116,55	X –106,57
4-1	150	0,0	1,11	1,11	0,64	50	0,282	0,42	113,0	109,0	X – 3,55	X – 3,97	X – 116,55	X –112,97
4	200	7,93	1,48	9,41	8,67	125	0,528	1,06	100,0	113,0	X – 2,49	X – 3,55	X – 102,49	X –116,55
5	400	9,41	----	9,41	----	125	0,623	2,49	115,0	100,0	X	X – 2,49	----	X –102,49
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Ex.6.5 - livrinho

6.5 – O sistema de recalque para abastecimento de água de uma comunidade com cerca de 2800 pessoas, possui curvas características da tubulação e da bomba mostradas na figura. O diâmetro do rotor da bomba é 200 mm e a rotação 1750 r.p.m e no almoxarifado do Serviço de Águas há um rotor, da mesma bomba, de 210 mm de diâmetro. Trocando-se o rotor para o diâmetro de 210 mm, qual a população que poderia ser abastecida. Adote:
Coeficiente do dia de maior consumo $k_1 = 1,25$.
Cota per capita q = 200 L/hab/dia.
Número de horas de funcionamento do sistema 16 h.
Faça comentários sobre o motor elétrico e eventual cavitação.
Sugestão: releia o item 5.6 do livro "Hidráulica Básica"

[Aproximadamente 3400 habitantes]



Ex.6.5 - livrinho

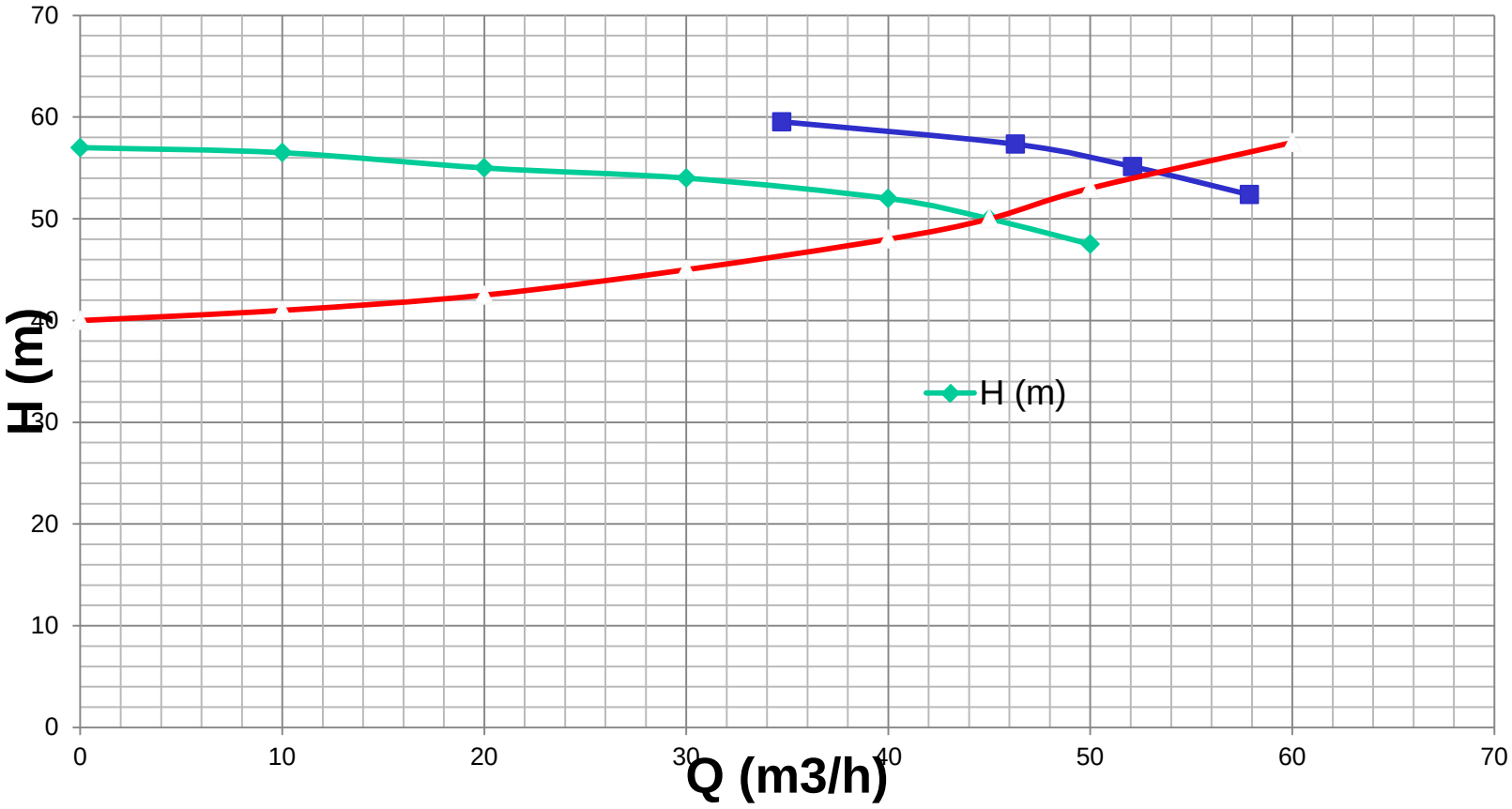
Q (m3/h)	H1 (m)	H2 (m)	H tub (m)
0	57		
10	56,5		
20	55		
30	54		
40	52		
45	50		
50	47,5		
34,7		59,5	
46,3		57,3	
52,1		55,1	
57,9		52,4	
0			40
10			41
20			42,5
30			45
40			48
45			50
50			53
60			57,5

Curva da bomba fornecida (Q1(Drotor=200mm);H1(Drotor=200mm))

Nova curva da bomba (pontos homólogos) (Q2(Drotor=210mm);H2(Drotor=210mm))

Curva da tubulação (Qtub;Htub)

Ex.6.5-livrinho



Ex. 6.2-livrinho

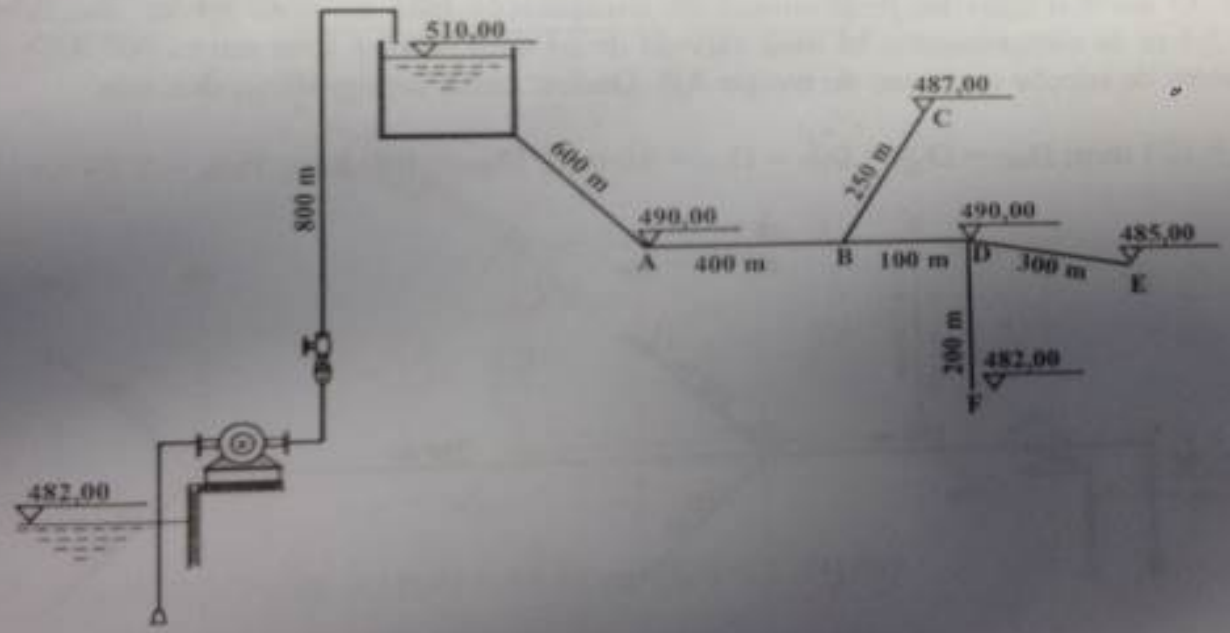
6.2 - No sistema hidráulico mostrado uma bomba recalca água para uma rede de distribuição, através de uma caixa de passagem com N.A mantido na cota 510,00. A jusante do ponto A existe uma distribuição em marcha com vazão constante e igual a q = 0,008 L/(sm). Todas as tubulações têm coeficiente de rugosidade C = 120 e estão indicadas todas as cotas topográficas. Os pontos C, E e F são pontas secas. Determinar:

a) todos os diâmetros.

b) a carga de pressão disponível nos pontos A, B, C, D, E, e F.

d) a potência do motor elétrico comercial para o conjunto elevatório.

Assumir: rendimento da bomba de 65%, coeficiente da fórmula de Bresse K = 1,0 perda de carga na sucção 5% da perda no recalque, despreze as perdas localizadas no recalque e as cargas cinéticas.



Ex 6.2 livrinho

col (3)	col (2)	col (3)	col (4)	col(5)	col(6)	col(7)	col(8)	col(9)	col(10)	col(11)	col(12)	col(13)	col(14)	col(15)	col(16)	col(17)
									cotas do terreno		cotas piezométricas		cargas de pressão din.		cargas de pressão estática	
Trecho	L(m)	Qj (m3/s)	q.L (m3/s)	Qm (m3/s)	Qfic (m3/s)	D (m)	J (m/m)	DH (m)	mont (m)	jus (m)	CP mont (m)	CP jus (m)	mont (m)	jus (m)	mont (m)	jus (m)
D-E	300					0,075			490	485						
D-F	200					0,06			485	482						
B-D	100					0,1			490	490						
B-C	250					0,075			490	487						
A-B	400					0,15			490	490						
RES-A	600					0,15			510	490	510					
Total	1850															

Ex 6.2 livrinho

col (3)	col (2)	col (3)	col (4)	col(5)	col(6)	col(7)	col(8)	col(9)	col(10)	col(11)	col(12)	col(13)	col(14)	col(15)	col(16)	col(17)
									cotas do terreno		cotas piezométricas		cargas de pressão din.		cargas de pressão estática	
Trecho	L(m)	Qj (m3/s)	q.L (m3/s)	Qm (m3/s)	Qfic (m3/s)	D (m)	J (m/m)	DH (m)	mont (m)	jus (m)	CP mont (m)	CP jus (m)	mont (m)	jus (m)	mont (m)	jus (m)
D-E	300	0	0,002	0,0024	0,001	0,075	0,002	0,705	490	485	506,7	506,0	16,74	21,03	20	25
D-F	200	0	0,002	0,0016	0,001	0,06	0,003	0,659	485	482	506,7	506,1	21,74	24,08	25	28
B-D	100	0,0040	0,001	0,0048	0,004	0,1	0,005	0,491	490	490	507,2	506,7	17,23	16,74	20	20
B-C	250	0	0,002	0,0020	0,001	0,075	0,002	0,420	490	487	507,2	506,8	17,23	19,81	20	23
A-B	400	0,0068	0,003	0,0100	0,008	0,15	0,002	0,902	490	490	508,1	507,2	18,13	17,23	20	20
RES-A	600	0,010	0,000	0,0100	0,010	0,15	0,003	1,868	510	490	510	508,1	0,00	18,13	0	20
Total	1850		0,010													

- Desafio (Aula 16)

Livro Porto (1998)

  - Exercícios 6.1 e 6.2 (livro)

- Obrigada!