

## MECÂNICA DE FLUIDOS

### Cap 5

#### Escoamento em condutas sob pressão Perdas de carga singulares

##### Bibliografia:

- Quintela, A. 2000. *Hidráulica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa;
- Lencastre, A. 2000. *Hidráulica Geral*. 1996. Edição do autor. Lisboa;
- Bastos, F. 1983. *Problemas de mecânica de fluidos*. Gaunabara, Rio de Janeiro;
- Oliveira, L.; Lopes, A. 2007. *Mecânica dos fluidos*. ETEP, Lisboa, 2ª edição

1/22

#### ❑ Conceito de perda de carga singular

As instalações que funcionam sob pressão são normalmente formadas por trechos de condutas (tubos montados em série), unidos por acessórios, como por exemplo:

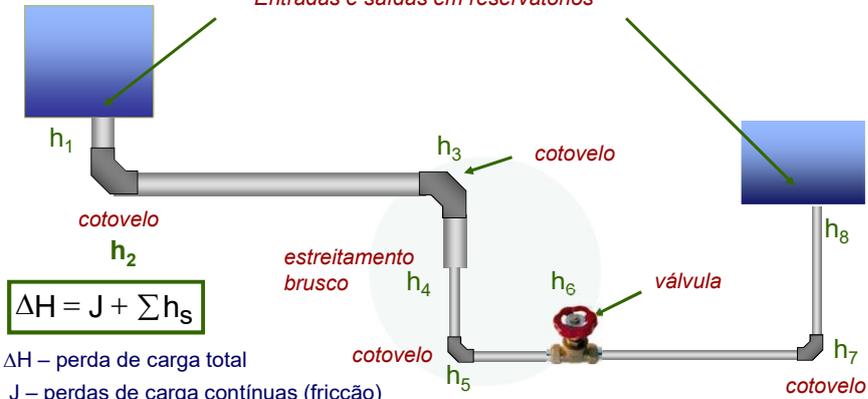
- Transições bruscas ou suaves;
- Curvas;
- Cotovelos;
- Válvulas;
- Derivações.

A existência destes acessórios, acidentes ou singularidades, traduz-se por um aumento local da turbulência do escoamento, originando uma perda de carga localizada ⇔ *perda de carga singular*.

2/22

Exemplo de perdas de cargas singulares

Entradas e saídas em reservatórios



$\Delta H$  – perda de carga total

$J$  – perdas de carga contínuas (fricção)

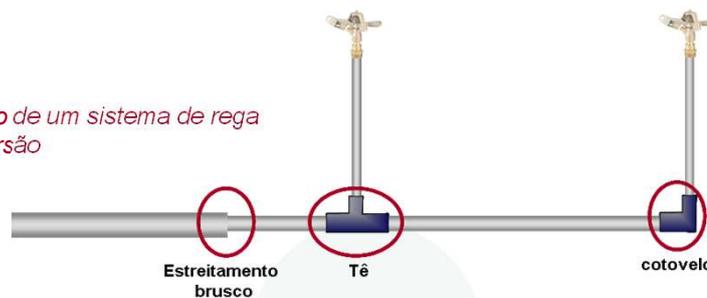
$\Sigma h_s$  - Somatório de todas as perdas de carga singulares

$$\Delta H = j_1 L_1 + j_2 L_2 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8$$

$L_1$  – comprimento desde o reservatório de montante até ao estreitamento

$L_2$  – comprimento desde o estreitamento até ao reservatório de jusante

num troço de um sistema de rega por aspersão



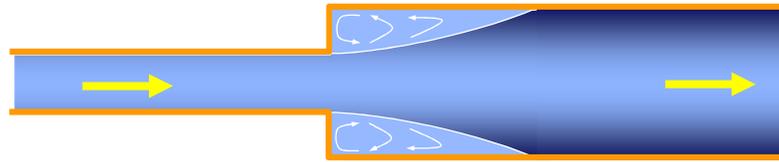
Qualquer perda de carga singular,  $h_s$ , é expressa por:

$$h_s = K_s \frac{u^2}{2g}$$

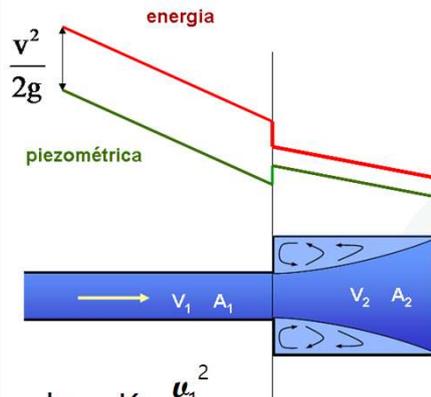
onde

$u$  é uma velocidade tomada como referência, e  $K$  é o coeficiente de perda de carga, determinado experimentalmente para cada tipo de singularidade e tabelado

□ Perdas de carga em alargamentos bruscos



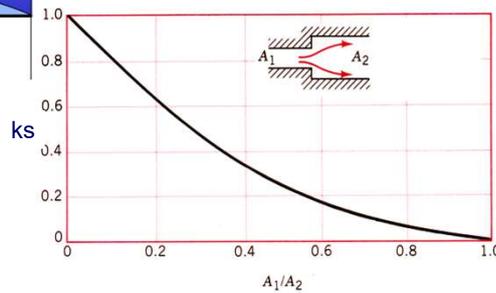
*Linhas de energia e piezométrica em alargamentos bruscos*



**Perda de carga de Borda**

$$h_s = K_s \frac{u_1^2}{2g}$$

$$K_s = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$



Caso particular da perda de carga de Borda:

*Passagem de um tubo para um reservatório de grandes dimensões*

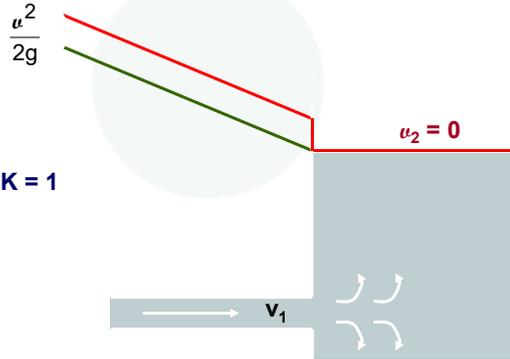
Na secção 2 a  $v$  é nula  $\Rightarrow$  perde-se toda a energia cinética

Área 2 >>>>> Área 1

$$\frac{A_1}{A_2} \approx 0$$

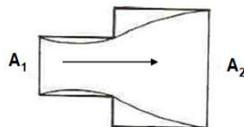
$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \rightarrow K = 1$$

$$h_s = \frac{u_1^2}{2g}$$



7/22

Como calcular  $K_s$  para os alargamentos em geral:



$$h_s = k_s \frac{u_1^2}{2g}$$

- a)  $Re < 10$        $k_s = 26 / Re$
- b)  $10 < Re < 3500$       tabela
- c)  $Re > 3500$        $k_s = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$

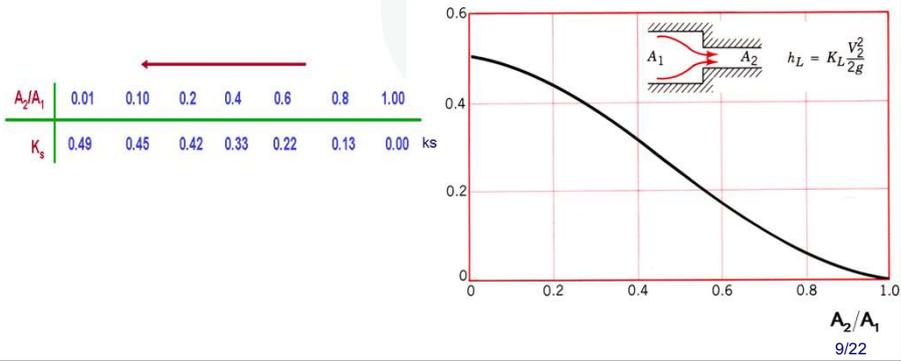
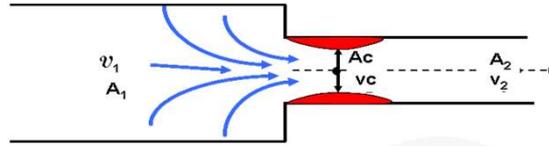
Valores de  $k_s$

$A_1/A_2$	$Re$				
	30	$2 \times 10^2$	$5 \times 10^2$	$2 \times 10^3$	$3.5 \times 10^3$
0.1	2.4	1.65	1.7	1.6	0.81
0.2	2.2	1.3	1.3	1.25	0.64
0.3	2.0	1.1	1.1	0.95	0.5
0.4	1.8	1.0	0.85	0.8	0.36
0.5	1.65	0.75	0.65	0.65	0.25
0.6	1.55	0.6	0.4	0.5	0.16

Outra singularidades: ver tabelas

8/22

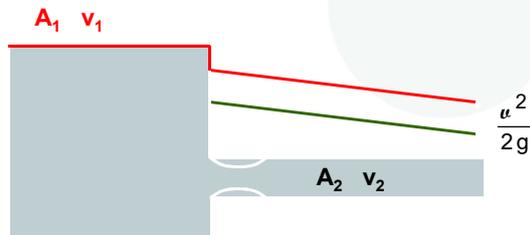
□ Perdas de carga em estreitamentos bruscos



Caso particular da perda de estreitamento brusco:

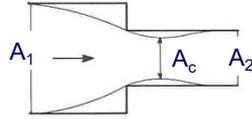
*Passagem de um reservatório para uma conduta*

$$\frac{A_2}{A_1} \approx 0 \quad \longrightarrow \quad K_s \text{ tende para } 0.5 \quad h_s = 0.5 \frac{u^2}{2g}$$



Sentido do escoamento

Como calcular  $K_s$  para os estreitamentos em geral:



$$h_s = k_s \frac{u_2^2}{2g}$$

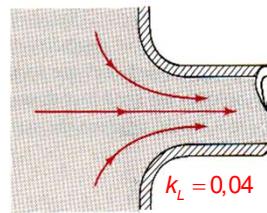
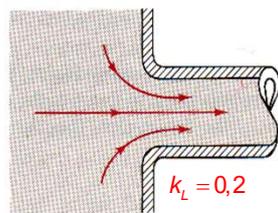
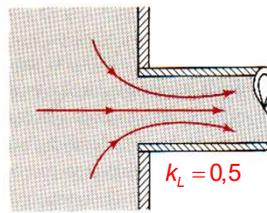
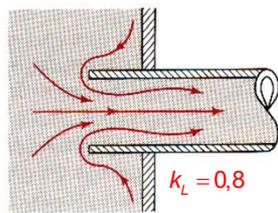
- a)  $Re < 10$        $k_s = 26 / Re$
- b)  $10 < Re < 10^4$  tabela
- c)  $Re > 10^4$        $k_s = 0.5 \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$

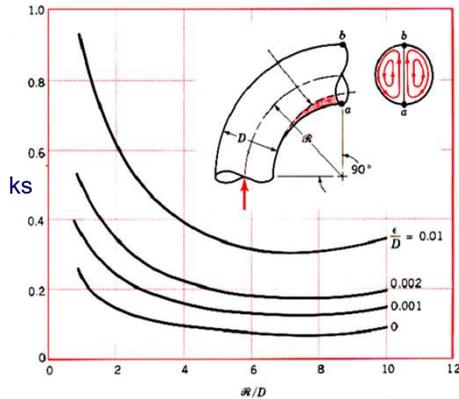
Valores de  $k_s$

A2/A1	Re					
	30	2 x 10 <sup>2</sup>	5 x 10 <sup>2</sup>	2 x 10 <sup>3</sup>	5 x 10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
0.1	2.4	1.04	0.82	0.5	0.75	0.45
0.2	2.3	0.95	0.7	0.4	0.6	0.4
0.3	2.15	0.85	0.6	0.3	0.55	0.35
0.4	2.00	0.78	0.5	0.25	0.5	0.3
0.5	1.8	0.65	0.42	0.2	0.42	0.25
0.6	1.7	0.56	0.35	0.15	0.35	0.25

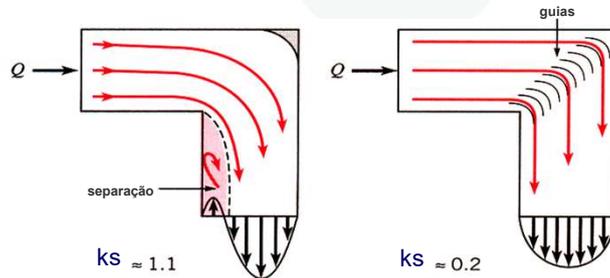
As perdas de carga que ocorrem em alargamentos/estreitamentos bruscos podem ser minimizadas reduzindo-se as arestas do alargamento/estreitamento

Ex: estreitamentos bruscos



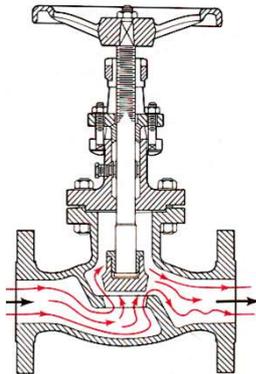


**Curvas e cotovelos**



**Acessórios**

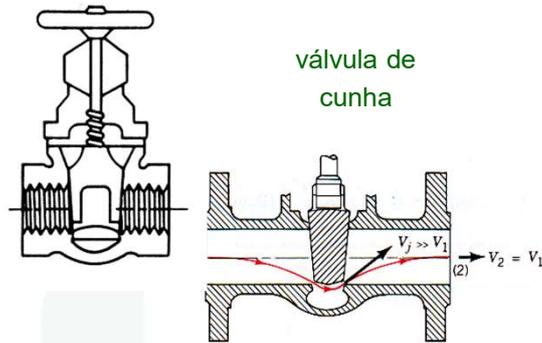
válvula de globo



$K_s = 10$

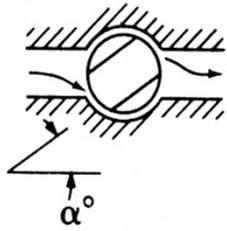
Válvula completamente aberta

válvula de cunha



Válvula de Cunha – Coef. de perda de carga localizada em função da percentagem de fecho

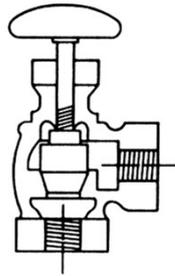
%	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
$K_s$	0,15	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8



válvula de esfera

Válvula de Esfera – Coef. de perda de carga localizada em função do ângulo de abertura

a	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
ks	0,05	0,29	1,56	5,47	17,3	25,6	206	485	$\infty$



válvula angular

Válvula completamente aberta

$$K_s = 2$$

Outras singularidades (exemplos)

Singularidade	$K_s$	Singularidade	$K_s$
Válvula de esfera	10		
Válvula corrediça		Cotovelo standard a 90°	0.9
Aberta 100%	0.16	Cotovelo standard a 45°	0.26
Aberta 75%	1.15		
Aberta 50%	5.6		
Aberta 25%	24.0		
Válvula de diafragma		Tê standard	1.8
Aberta 100%	2.3		
Aberta 75%	2.6		
Aberta 25%	21.0		



Teorema de Bernoulli aplicado a 2 secções entre as quais existem n singularidades

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha U_2^2}{2g} + \Delta H$$



$$J + \sum_{s=1}^n h_s$$

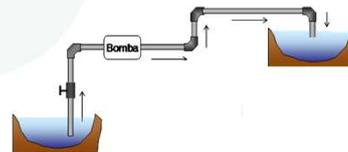
Contínuas + singulares

Determine as perdas de carga singulares associadas ao esquema quando a válvula corredeira está fechada a  $\frac{3}{4}$ .

Diâmetro do tubo 1 = 7.6 cm  
Velocidade no tubo 1 = 0.6 m s<sup>-1</sup>  
Diâmetro do tubo 2 = 5 cm



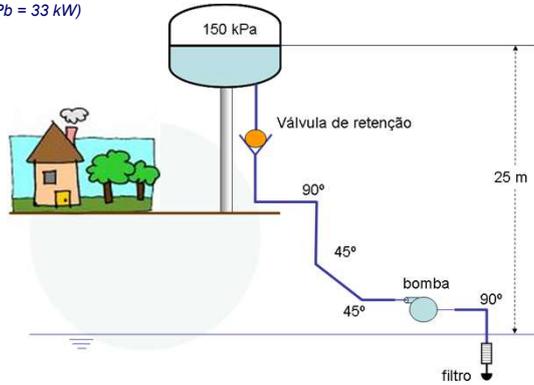
O grupo motor bomba da Figura, com o rendimento de 60 %, eleva 50 l s<sup>-1</sup> de água através de um tubo de 20 cm de diâmetro e 175 m de comprimento. A altura geométrica total é de 8 m. Tomando  $m = 0.27$  na fórmula de Kutter calcule a potência consumida pela instalação quando a válvula corredeira está completamente aberta. ( $P = 11 \text{ KW}$ )



Uma bomba é utilizada para elevar água entre um lago e um reservatório elevado e pressurizado. A tubagem é de aço e apresenta diâmetro de 90 mm e comprimento total de 260 metros. Determine a potências do conjunto motor electro-bomba (rendimento = 72%) que eleva o caudal de  $12 \text{ L s}^{-1}$  (R:  $P_b = 33 \text{ kW}$ )

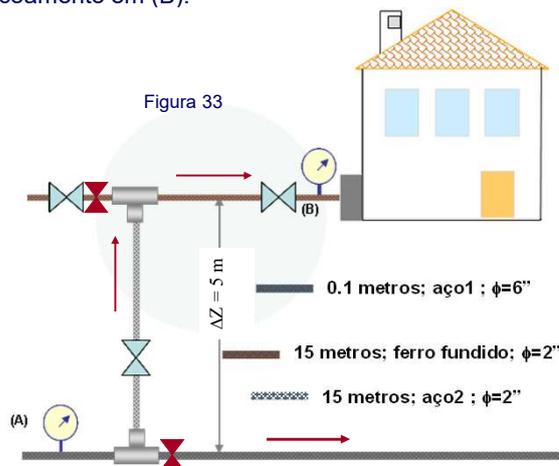
$\gamma_{\text{Bazin}} = 0.1$

Acessório	k
Filtro	2
Curva a 45°	0,7
Curva a 90°	0,9
Válvula de retenção	70



O abastecimento de água a uma habitação é feito a partir da instalação representada na Figura. Sabendo que a pressão em (A) é de  $5 \text{ kgf/cm}^2$  e que se pretende à entrada da habitação (B) uma pressão mínima de  $2 \text{ kgf/cm}^2$ , determine o caudal em escoamento em (B).

	$k_L = 5$
	$k_L = 0.2$
	$k_L = 1.2$
	$k_L = 1$



## ☐ Cavitação

Relembrar: O risco de cavitação está associado aos pontos de menor pressão de um sistema; Ao ocorrer, este fenómeno traduz-se imediatamente pelo aparecimento de vibrações mecânicas, acompanhadas de um ruído característico e uma diminuição drástica do caudal e altura manométrica. De tudo isto resultam danos irreparáveis nas pás do rotor ou impulsor.

Para evitar a ocorrência deste fenómeno, há que assegurar que na zona crítica (*vizinhança imediata do rotor, do lado da aspiração*) a pressão absoluta se mantém sempre superior à correspondente pressão de vapor.



A região mais sujeita a cavitação é a entrada da bomba (ponto onde ocorre o < valor da pressão absoluta)

21/30

Define-se assim um *limiar de segurança*, como sendo a diferença entre o valor da pressão total absoluta na zona crítica e a pressão de vapor do líquido.

Esta diferença de pressão, quando apresentada em altura equivalente é designada de

*Net Positive Suction Head (NPSH)*

Há que distinguir dois NPSH :

$NPSH_{RB}$  : é a energia requerida pela bomba para aspirar a água desde a origem até ao eixo da bomba .

$NPSH_{DI}$  : é a energia de aspiração disponível na instalação

22/30

**NPSH<sub>RB</sub>** : é a energia requerida pela bomba para aspirar a água desde a origem até ao eixo da bomba .

É função das características da bomba e do caudal a elevar;

É definido pelo construtor e o seu valor é indicado no catálogo da bomba.

**NPSH<sub>DI</sub>** : é a energia de aspiração disponível na instalação

É calculada para cada instalação pela EB na aspiração;

Depende das perdas de carga e do desnível na aspiração.

Se a energia disponível não for suficiente para aspirar a água, esta começa a libertar o ar dissolvido conduzindo à desferia da bomba e à interrupção do caudal (ocorre cavitação).



23/30

Portanto, para prevenir a ocorrência de cavitação:

$$NPSH_{DI} \geq NPSH_{RB}$$

o NPSH<sub>RB</sub> obtém-se do catálogo da bomba;

o NPSH<sub>DI</sub> calcula-se para a situação em causa através da fórmula:

$$NPSH_{DI} = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} - \Delta H_{asp} - \Delta N_{asp} - \frac{v_{asp}^2}{2g}$$

$P_{atm}$  = pressão atmosférica absoluta (m)

$\Delta N_{asp}$  = desnível entre a origem e o eixo da bomba (m)

$P_v$  = pressão de vapor (m)

$\Delta H_{asp}$  = perdas de carga na aspiração (m)

$v_{asp}$  = velocidade na conduta de aspiração ( m/s)

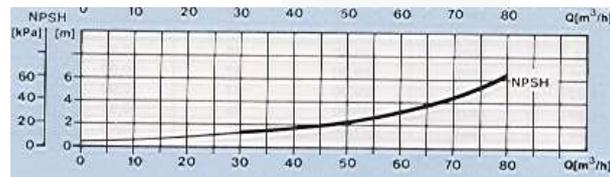
Por vezes só é possível satisfazer a condição acima se a bomba for instalada a um nível inferior ao do reservatório de partida passando o termo gravítico a constituir uma contribuição positiva



Bomba afogada ou de sucção positiva

24/30

NPSH requerido pela bomba para que não ocorra cavitação <- catálogo da bomba



25/30

### Modos de evitar a Cavitação

#### No projecto

No projecto ou dimensionamento da bomba deverá ter-se logo em conta este aspecto, calculando as secções de passagem do fluido de modo a evitar velocidades excessivas, próximo das condições nominais.

Deverão eliminar-se os ângulos bruscos e as passagens estreitas no escoamento.

Deve igualmente verificar-se o valor de  $NPSH_R$  para o caudal máximo, recorrendo à curva característica disponibilizada pelo fabricante.

26/30

Na utilização:

- Ao colocar a bomba hidráulica na instalação convém que a respectiva **altura de instalação** seja adequada para a gama de condições de funcionamento previstas;
- A altura de instalação deve ser a **menor possível**, compatível com as características da instalação e as limitações económicas;
- Utilizam-se bombas submersas para elevar água de poços profundos;
- Convém atender sobretudo à conduta de aspiração, procurando **reduzir as perdas de carga**. Devem evitar-se, tanto quanto possível, condutas longas, com paredes rugosas, curvas de pequeno raio, válvulas, bifurcações, etc;
- Nesta conduta deve utilizar-se uma **secção de passagem tão grande quanto possível**, para reduzir a velocidade de escoamento;
- Curvas na conduta de aspiração que estejam situadas em planos diferentes, por poderem induzir um movimento helicoidal no escoamento, devem ser evitadas, pois apressam as condições de cavitação.

Uma bomba deve elevar um caudal de  $80 \text{ L s}^{-1}$  de água a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\gamma = 9635 \text{ N m}^{-3}$ ). A pressão atmosférica local é  $0.97 \times 10^5 \text{ Pa}$ , a altura cinética na aspiração é  $0.12 \text{ m}$ , as perdas de carga na aspiração valem  $1.3 \text{ m}$  e o NPSH requerido pela bomba é  $1.3 \text{ m}$ . Determine a altura máxima a que a bomba pode ser colocada, garantindo que não ocorre cavitação. ( $\Delta N = 3.18 \text{ m}$ )

