

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS**



*Operações Unitárias I*

**Introdução a transferência de quantidade de movimento**

**TRANSPORTE DE FLUIDO**

**AULA 21**

**Profa. Dra. Bianca Chierigato Maniglia**

[biancamaniglia@usp.br](mailto:biancamaniglia@usp.br)

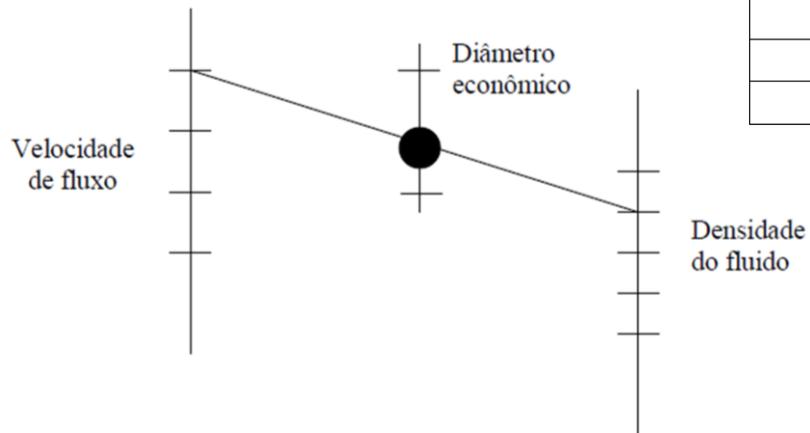
[biancamaniglia@iqsc.usp.br](mailto:biancamaniglia@iqsc.usp.br)

# MÉTODOS PARA DETERMINAR O DIÂMETRO DAS TUBULAÇÕES

DIRETO  
(tabelas e gráficos)

Tabela IV.4. Velocidades econômicas para escoamento de líquidos em tubulações (Remi-Tubulações)

Fluido	Tipo de escoamento	Velocidade (m/s)
Água	Sucção de bomba	1,0 a 2,5
Água	Descarga de bomba	1,5 a 3,0
Água	Alimentação de caldeira	2,5 a 3,0
Água	Rede de distribuição em cidades	0,7 a 1,7
Óleo	Sucção de bomba	1,0 a 2,0
Óleo	Descarga de bomba	1,5 a 2,5



$$Q = v \cdot A = v \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

VELOCIDADES  
ECÔNOMICAS

PERDA DE CARGA  
RECOMENDADA

+ Indicado

**Exercício IV.6)** Dimensionar uma tubulação de água a montante (antes) de uma bomba. A vazão é de 20 m<sup>3</sup>/h. A linha é de ferro galvanizado e tem 5 m de comprimento. A água é tomada de **um poço e o cotovelo existente** é de raio longo.

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{h} = 0.00556 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 1 \text{ m/s (adotado)}$$

$$Q = v.A = v \frac{\pi.d_i^2}{4}$$

$$1'' = 2,54 \text{ cm} = 0,0254 \text{ m}$$

$$\therefore A = 0,00556 \text{ m}^2 \Rightarrow D_i = 0,084 \text{ m} = 3,30''$$

Diâmetro nominal (pol) – Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm <sup>2</sup> )	Área da seção de metal (cm <sup>2</sup> )	Superfície externa (m <sup>2</sup> /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm <sup>4</sup> )	Momento resistente (cm <sup>3</sup> )	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
¼ – 13,7	10S	1,65	10,4	0,85	0,62	0,043	0,49	0,085	0,116	0,169	0,430
	Std. 40, 40S	2,23	9,2	0,67	0,81		0,62	0,067	0,138	0,202	0,413
	XS, 80, 80S	3,02	7,7	0,46	1,01		0,79	0,046	0,157	0,229	0,393
1/8 – 17,1	10S	1,65	13,8	1,50	0,81	0,054	0,63	0,150	0,236	0,285	0,551
	Std. 40, 40S	2,31	12,5	1,23	1,08		0,84	0,123	0,304	0,354	0,531
	XS, 80, 80S	3,20	10,7	0,91	1,40		1,10	0,090	0,359	0,419	0,506
½ – 21	Std. 40, 40S	2,77	15,8	1,96	1,61	0,071	0,42	0,20	0,71	0,67	0,66
	XS, 80, 80S	3,73	13,8	1,51	2,06		1,62	0,15	0,84	0,78	0,64
	160	4,75	11,8	1,10	2,47		1,94	0,11	0,92	0,86	0,61
	XXS	7,47	6,4	0,32	3,52		2,55	0,03	1,01	0,95	0,56
¾	Std. 40, 40S	2,87	20,9	3,44	2,15	0,083	1,68	0,34	1,54	1,16	0,85

## Norma ANSI.B.36.19

Diâmetro nominal (pol) – Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm <sup>2</sup> )	Área da seção de metal (cm <sup>2</sup> )	Superfície externa (m <sup>2</sup> /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm <sup>4</sup> )	Momento resistente (cm <sup>3</sup> )	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
3 – 89	10S	3,05	82,8	53,9	8,22	0,282	6,44	5,39	75,84	17,06	3,04
	Std. 40, 40S	5,48	77,9	47,7	14,4		11,28	4,77	125,70	28,26	2,96
	XS, 80, 80S	7,62	73,6	42,6	19,5		15,25	4,26	162,33	36,48	2,89
	160	11,1	66,7	34,9	27,2		21,31	3,49	209,36	47,14	2,78
89	XXS	15,2	58,4	26,8	35,3	27,65	2,68	249,32	56,22	2,66	

3	10S	3,05	82,8	53,9	8,22	0,282	6,44	5,39	75,84	17,06	3,04
–	Std. 40, 40S	5,48	77,9	47,7	14,4	11,28	4,77	125,70	28,26	2,96	
89	XS, 80, 80S	7,62	73,6	42,6	19,5	15,25	4,26	162,33	36,48	2,89	
	160	11,1	66,7	34,9	27,2	21,31	3,49	209,36	47,14	2,78	
	XXS	15,2	58,4	26,8	35,3	27,65	2,68	249,32	56,22	2,66	

**DIÂMETRO INTERNO DE 8,28 cm**

## DIÂMETRO INTERNO DE 8,28 cm ou 82,8 mm

Recalcula-se  $v$  e verifica-se se permanece dentro da faixa:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,00556 \times 4}{\pi \times 0,0828^2}$$

$$v = 1,03 \text{ m/s}$$

Tabela IV.4. Velocidades econômicas para escoamento de líquidos em tubulações (Remi-Tubulações)

Fluido	Tipo de escoamento	Velocidade (m/s)
Água	Sucção de bomba	1,0 a 2,5
Água	Descarga de bomba	1,5 a 3,0
Água	Alimentação de caldeira	2,5 a 3,0
Água	Rede de distribuição em cidades	0,7 a 1,7
Óleo	Sucção de bomba	1,0 a 2,0
Óleo	Descarga de bomba	1,5 a 2,5

**Exercício IV.6)** Dimensionar uma tubulação de água a montante (antes) de uma bomba. A vazão é de  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ . A linha é de ferro galvanizado e tem 5 m de comprimento. A água é tomada de **um poço e o cotovelo existente** é de raio longo.

Então, pelo Critério da Perda de Carga:

$$D = 8,28 \text{ cm (critério da velocidade)}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,001 \text{ Pa.s}$$

$$v = 1 \text{ m/s}$$

# Valores de $L_e$ em metros de canalização retilínea

Manual KSB

DIÂMETRO D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MÉDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D - 1 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA BILATERAL	VÁLVULA DE PÉ E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETEÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETEÇÃO TIPO PESADO
mm	pol.																			
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 ¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 ½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 ½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9



$$L_{eq.} = 2,2 + 1,6 = 3,8 \text{ m (borda de entrada + cotovelo, Macintyre pg.658)}$$

$$L_{TOTAL} = 5,0 + 3,8 = 8,8 \text{ m}$$

350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0
-----	----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-------	------	-----	------	------	------	------	------	------

\* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

Então, pelo Critério da Perda de Carga:

$D = 8,28 \text{ cm}$  (critério da velocidade)

$L = 5 \text{ m}$  e  $L_{\text{total}} = 8.8 \text{ m}$

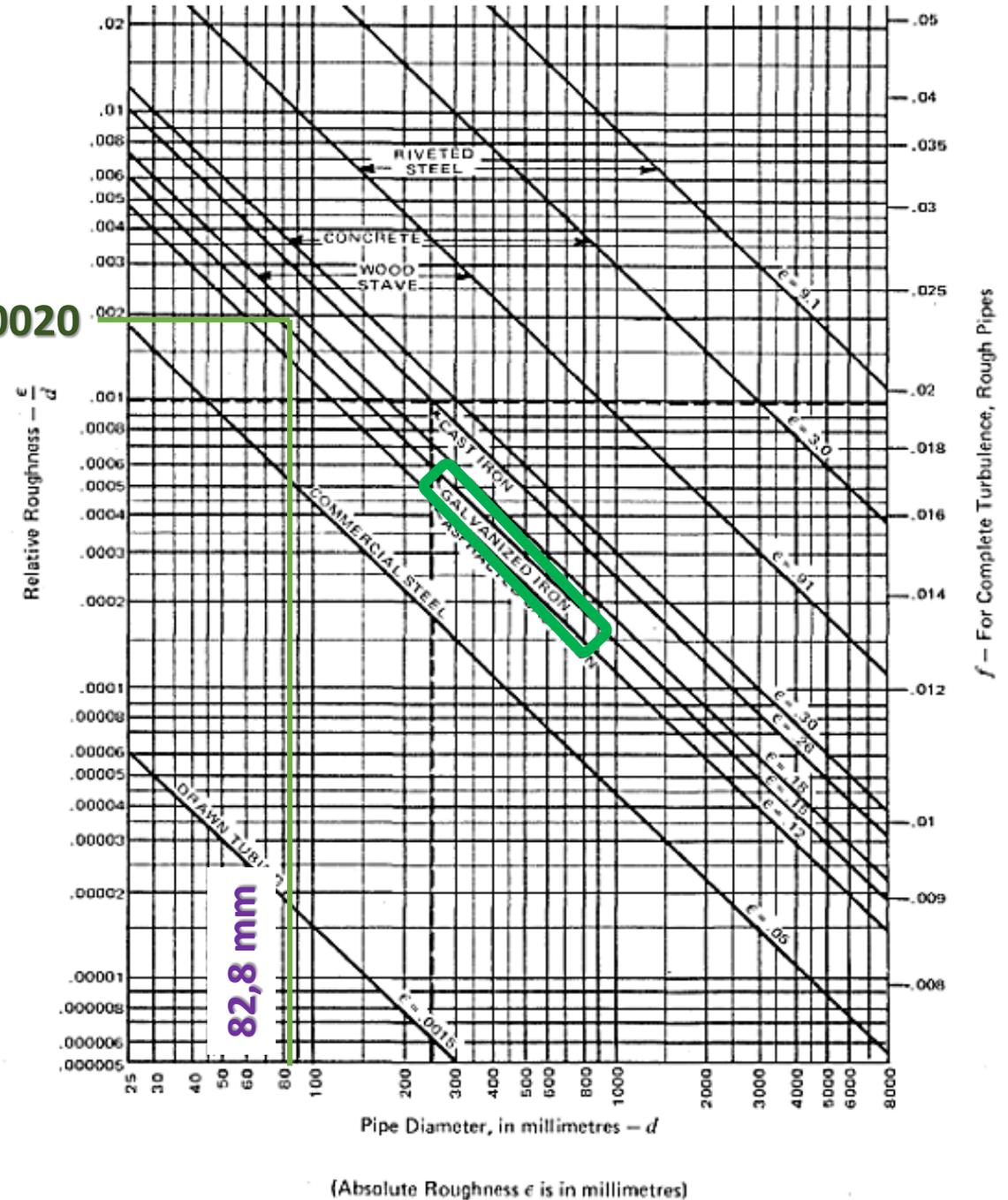
$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\mu = 0,001 \text{ Pa.s}$

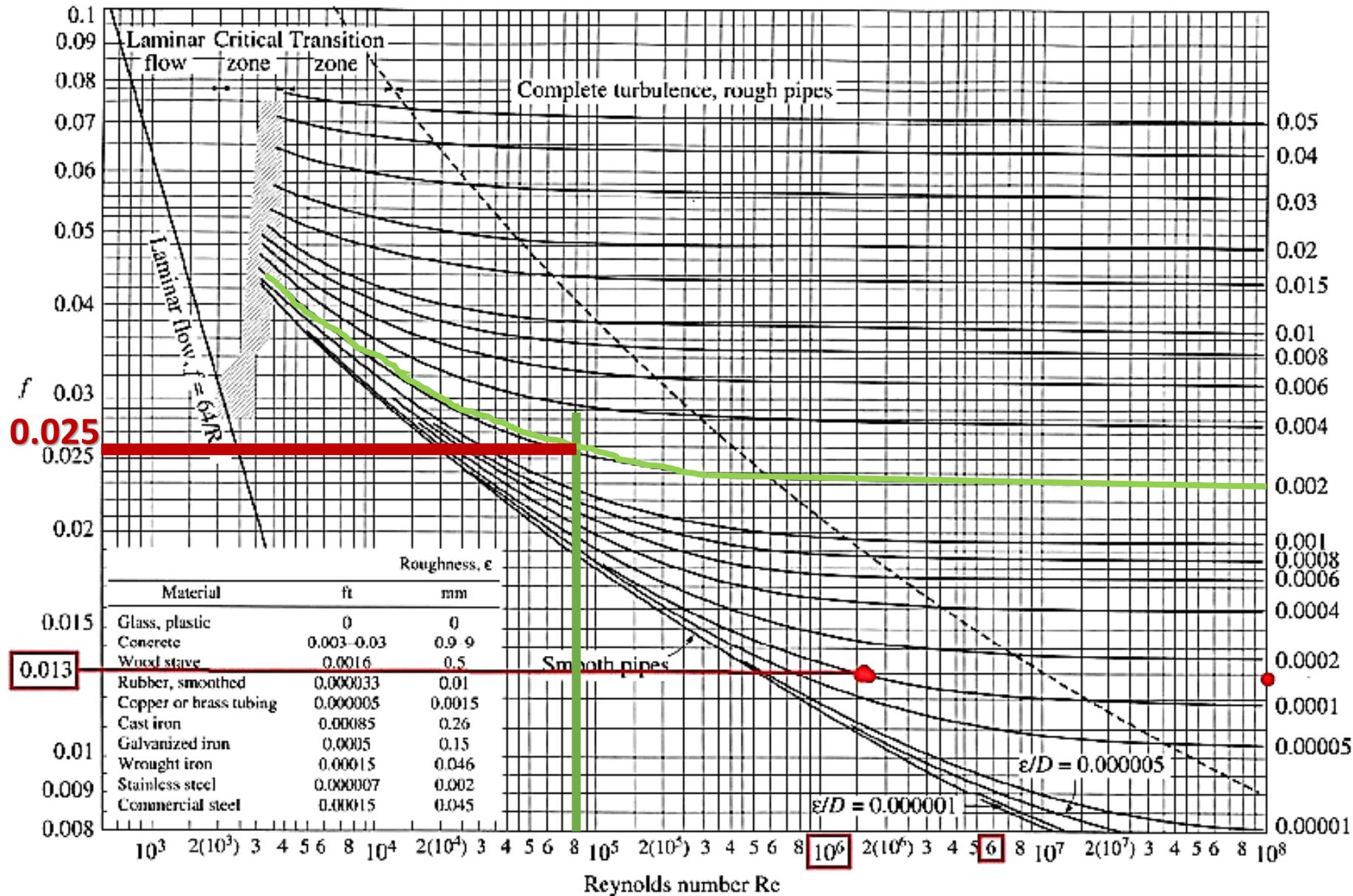
$v = 1 \text{ m/s}$

$$\therefore Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = 8 \times 10^4$$

0.0020



### Diagrama de Moody



Relative roughness  $\epsilon/D$

$$\epsilon/D = 0.002$$

$$Re = 8 \times 10^4$$

$$f = 0.025$$

FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Então, pelo Critério da Perda de Carga:

$D = 8,28 \text{ cm}$  ou  $0,0828 \text{ m}$  (critério da velocidade)

$L = 5 \text{ m}$  e  $L_{\text{total}} = 8.8 \text{ m}$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\mu = 0,001 \text{ Pa.s}$

$v = 1 \text{ m/s}$

$f = 0.025$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$$h_f = \text{perda de carga} = f \frac{L.v^2}{2g.D}$$

$$h_f = \frac{0,025 \times 8,8 \times 1^2}{2 \times 9,8 \times 0,0828}$$

$$h_f = 0,1247 \text{ m}$$

*Peso específico*  
*Tipo de fluido*

$$\gamma = \rho.g = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9800 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

então:  $h_f.\gamma = 0,1247 \times 9800 = 1.222 \text{ Pa}$  p/ 5 m de tubulação

Com 2 acessórios

- 1) Especificar os diâmetros das tubulações de aço de sucção e descarga para as seguintes operações de bombeamento:
- água a vazão de 54 m<sup>3</sup>/h (utilize o critério das velocidades econômicas)
  - óleo residual ( $\mu = 12$  cp) a vazão de 36 m<sup>3</sup>/h (utilize o critério de Vobrandt)

**Tabela IV.4.** Velocidades econômicas para escoamento de líquidos em tubulações (Remi-Tubulações)

Fluido	Tipo de escoamento	Velocidade (m/s)
Água	Sucção de bomba	1,0 a 2,5
Água	Descarga de bomba	1,5 a 3,0
Água	Alimentação de caldeira	2,5 a 3,0
Água	Rede de distribuição em cidades	0,7 a 1,7
Óleo	Sucção de bomba	1,0 a 2,0
Óleo	Descarga de bomba	1,5 a 2,5

**Tabela IV.5.** Velocidades recomendadas para escoamento em tubulações (Vilbrandt & Dryden),  $D_i$  = diâmetro interno do tubo (m).

Tipo de fluido	Tipo de escoamento	Velocidade (m/s)
Líquido com viscosidade $\mu < 10$ cP (H <sub>2</sub> O, álcool, etc.)	Entrada da bomba	0,40 + 1,92 $D_i$
	Saída da bomba	1,22 + 6,0 $D_i$
	Tubulações normais	1,5 a 2,2
Líquidos viscosos $\mu > 10$ cP (frações de petróleo)	Entrada da bomba	0,06 + 0,6 $D_i$
	Saída da bomba	0,15 + 1,2 $D_i$
	Tubulações normais	0,30 + 6,0 $D_i$

# ACESSÓRIOS

- a) Ligar duas seções de tubos, por ex. luvas, uniões;
- b) Modificar a direção da linha de fluxo, por ex. joelhos, têes;
- c) Modificar o diâmetro de uma linha, por ex. redutores;
- d) Interromper uma linha, por ex. tampões, válvulas;
- e) Reunir 2 correntes para formar uma terceira, por ex. têes, peças em y;
- f) Controlar a vazão, por ex. válvulas.

## ACESSÓRIOS ROSQUEADOS



Joelho de 90 °



Tê simples



Redutor



Luva



União



Joelho redutor de 90 °



Tampão Cap



Tampão Plug



Nipples

## ACESSÓRIOS FLANGEADOS



Joelho de 90 °



Tê simples



Flange rosqueado



Flange de pescoço



Tê de 45 °



Redução concêntrica



Flange cego

**Tubos de diâmetros grandes (tubos de  $d > 2''$ ) => acessórios flangeados no lugar dos rosqueados**

# Válvulas

Acessório

- ✓ Estabelece,
- ✓ Controla,
- ✓ Interrompe o fluxo em uma tubulação

**VÁLVULA DE BLOQUEIO => totalmente aberta ou fechada**

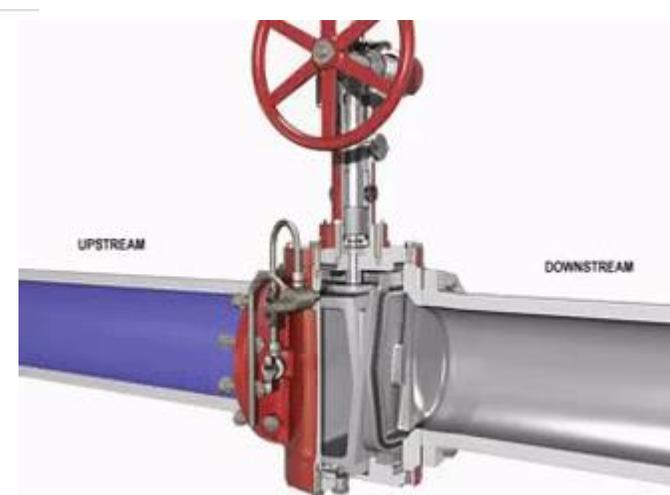
*Estabelecem ou interrompem o fluxo “on/off”*



Válvula de gaveta



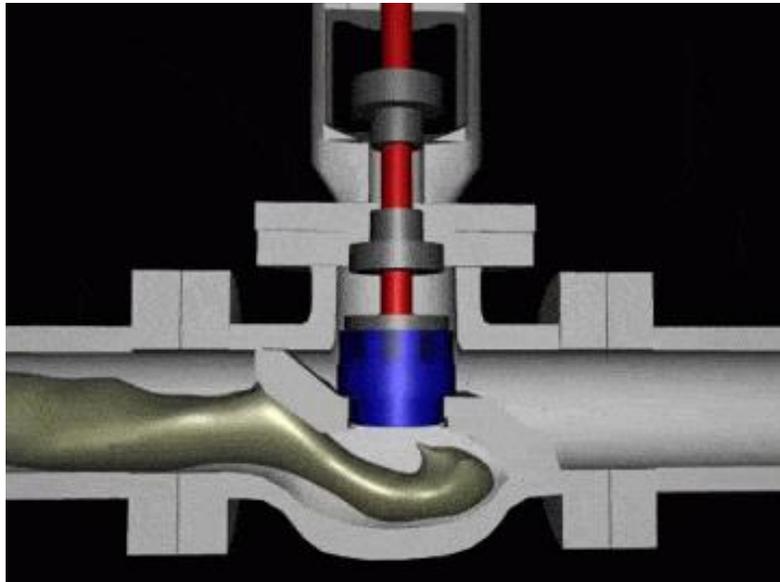
Válvula de esfera



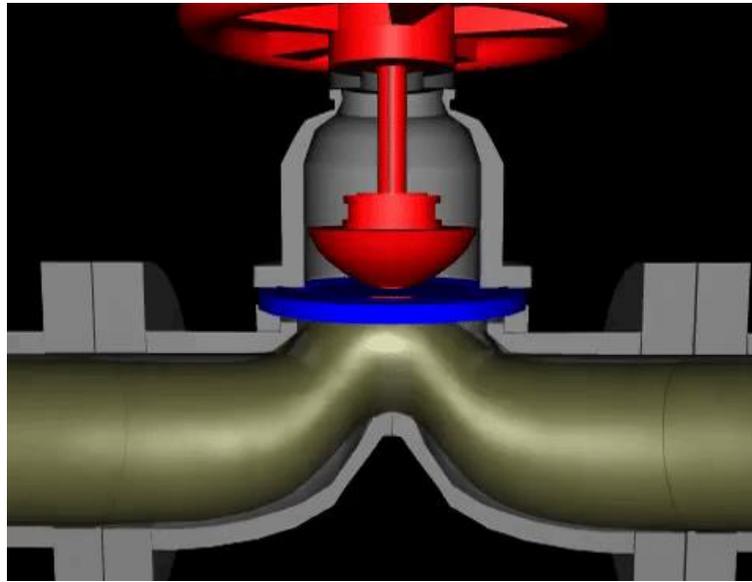
Válvula de macho

# VÁLVULA DE REGULAGEM => controle de fluxo

Redução da pressão e da velocidade do fluxo



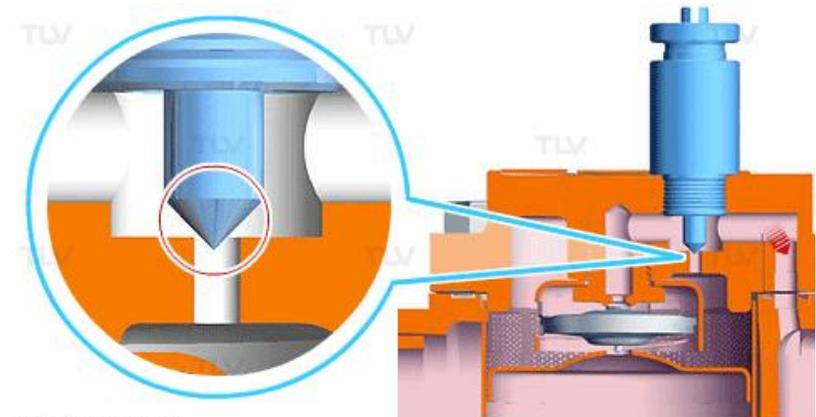
Válvula de globo



Válvula de diafragma



Válvula de borboleta



Copyright TLV CO.,LTD.

Válvula de agulha

# VÁLVULA DE RETENÇÃO => permite o fluxo em um única direção



*Chek Valve  
Duplo Disco*



*Válvula retenção por peso  
c/ Inspeção*



*Válvula de Retenção por  
Pistão com mola*



*Válvula retenção  
tipo bola*



*Válvula retenção  
silenciosa*



*Válvula de retenção  
tipo Bocal*



*Válvula retenção  
Wafer*



*Válvula de retenção tipo  
disco oscilante*

# Equipamentos para transporte de fluidos



**Energia mecânica do fluido**

Velocidade

Pressão

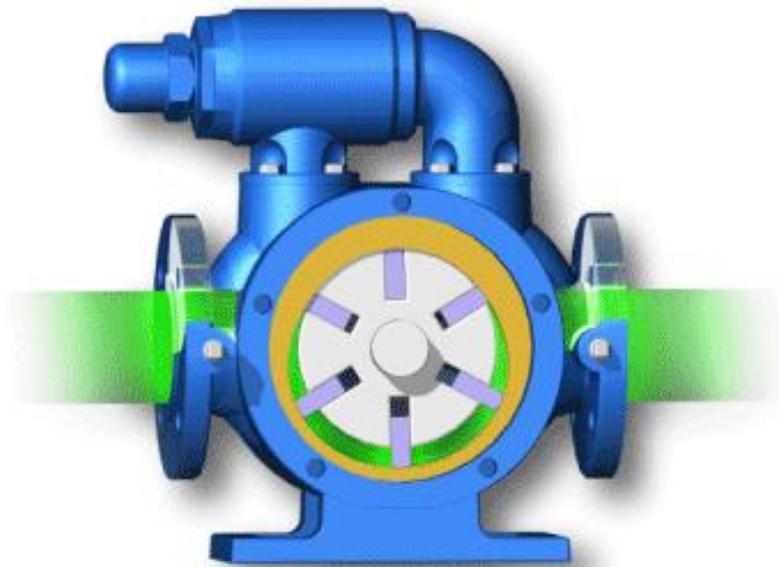
Altura de um fluido

**Bombas => Mover líquidos**

**Ventilador, soprador e compressor => Mover gás**

# Bombas

Equipamento que transfere energia de uma determinada fonte (por ex. motor elétrico) para um líquido, em consequência de que este líquido pode deslocar-se de um lugar para outro.

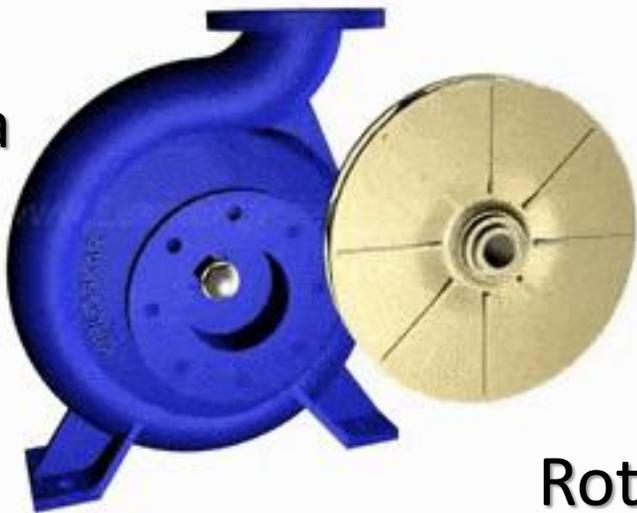


- as turbobombas (bombas centrífugas)
- as bombas de deslocamento positivo (bombas de pistão)

# Turbobombas (Bombas Centrífugas)



Carcaça

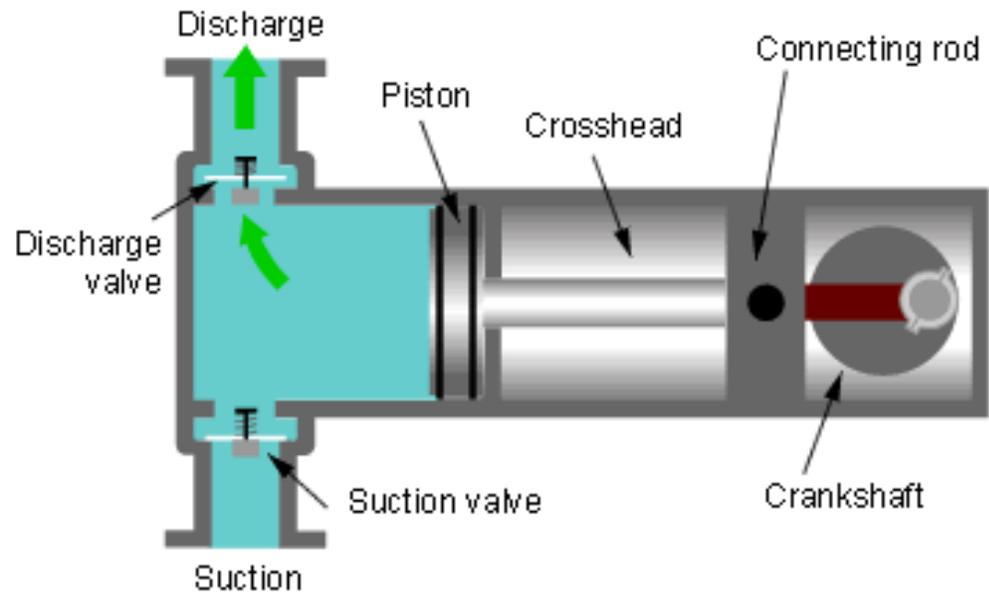


Rotor ou Impelidor

# Bombas de Deslocamento Positivo

## Rotativas

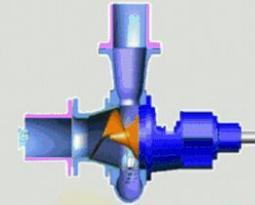
### Alternativas



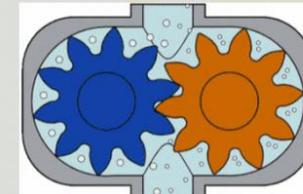
### Tipos de Bombas Rotativas



Centrífuga



Centrífuga Helicoidal



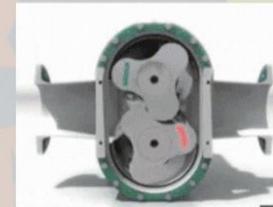
Engrenagens Externas



Engrenagens Internas



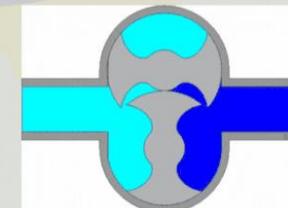
Palhetas



Lóbulos



Peristáltica



Pistão Circunferencial