

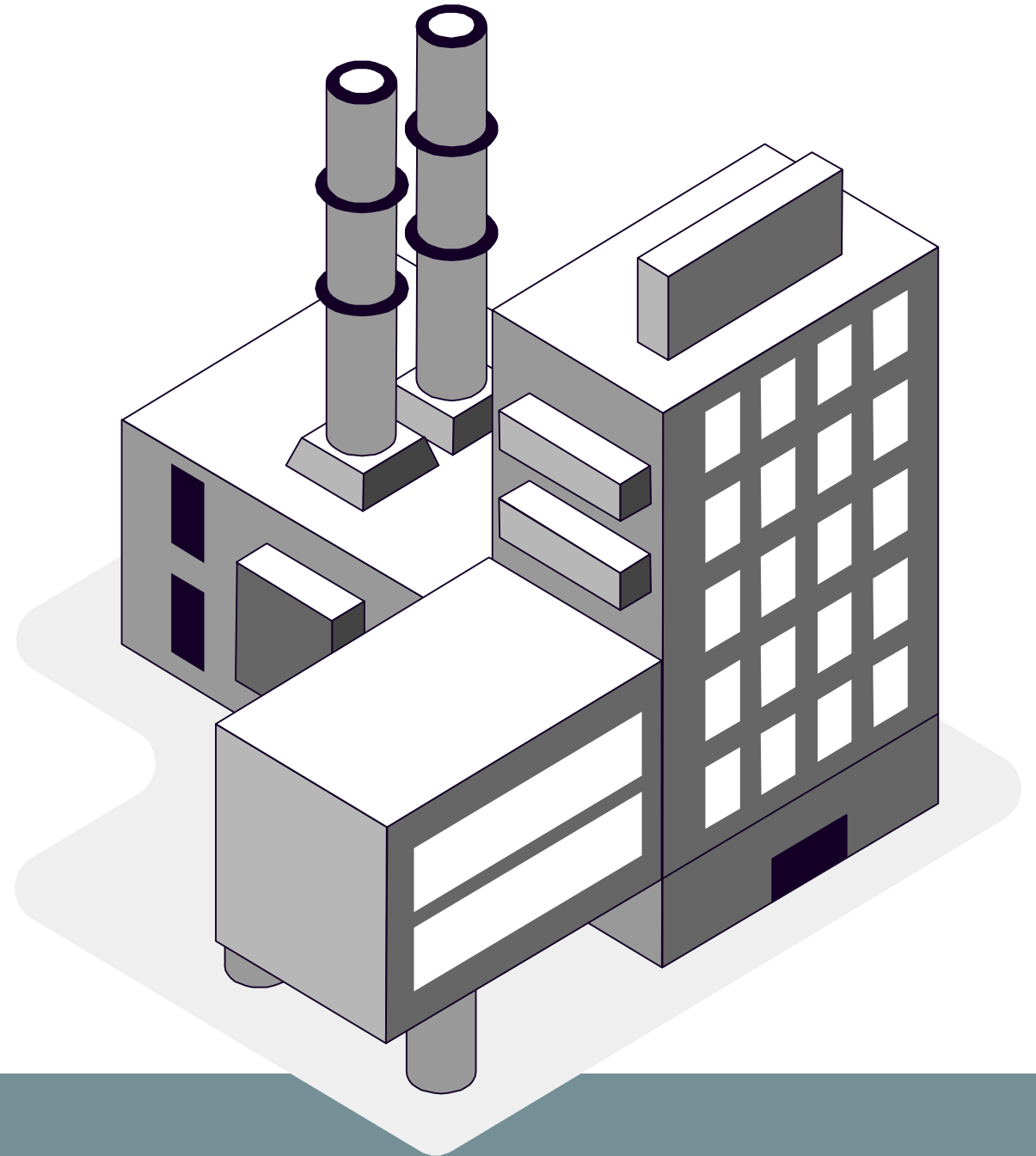
# OPERAÇÕES UNITÁRIAS I

PROFª KASSIA G SANTOS

2020/1- CURSO REMOTO

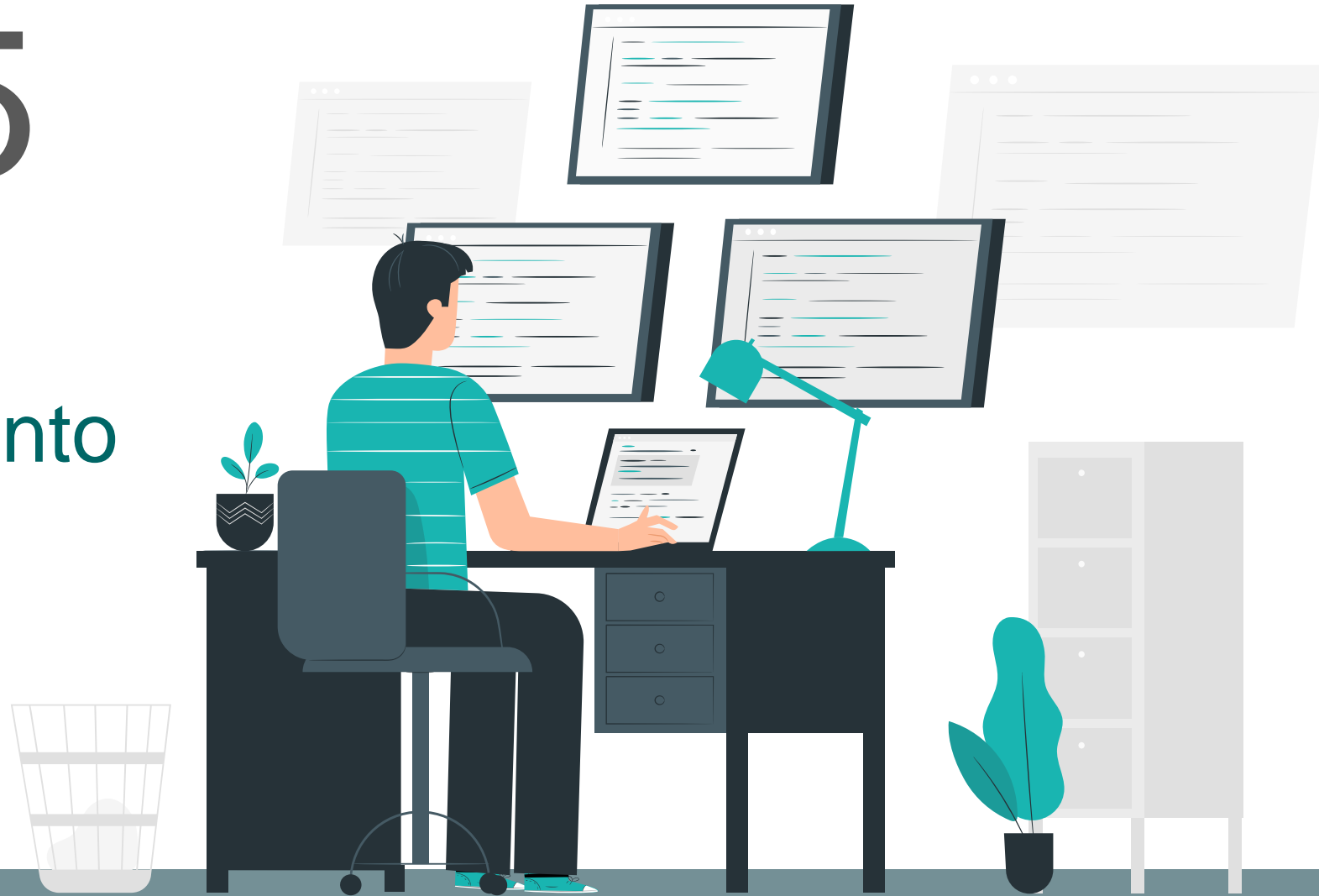
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

UFTM



# AULA 5

## 1.5 Dimensionamento de Tubulações (Exercícios)



# Dimensionamento de Tubulações

## Problema do Tipo 3 Calcular D

NA MAIORIA DOS CASOS É  
UM PROBLEMA  
HIDRÁULICO EM FUNÇÃO:

Da vazão necessária de fluido  
Das diferenças de cotas existentes  
Das pressões disponíveis  
Das velocidades e perdas de carga admissíveis  
Da natureza do fluido  
Do material e tipo da tubulação

$$H_c = f \left( \frac{L}{D} + \frac{Le}{D} + K \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$Q = v \frac{\pi D^2}{4}$$

$$f = f(\text{Re}, \varepsilon / D)$$

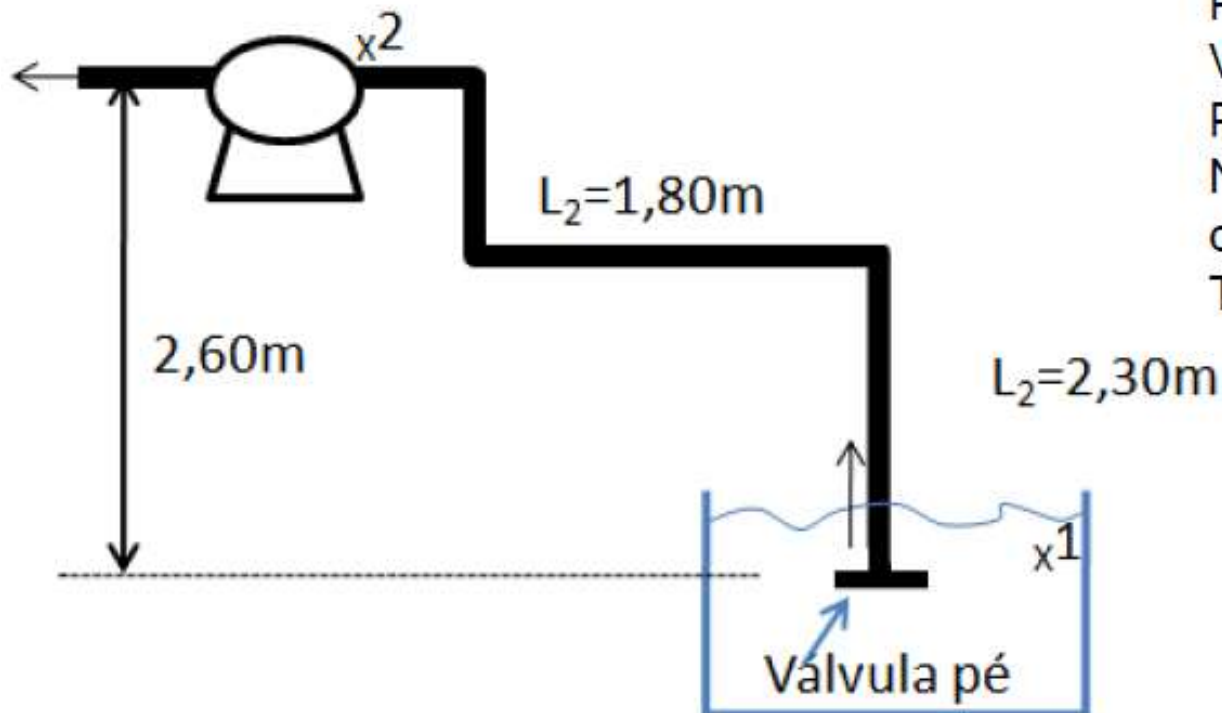
**Solução:  
Chutar D**

### Observações

- ❑ É recomendado evitar velocidades  **muito**  altas porque pode causar vibrações na tubulação;
- ❑ Para diminuir a perda de carga pode ser preciso aumentar o diâmetro, o que resulta em um problema econômico.

# Cálculo de Linha de Sucção

Ex 8: Dimensionar o diâmetro da tubulação de sucção (aço galvanizado) de uma bomba como no esquema.



Vazão máxima=540 L/min  
Bocal de sucção da bomba=2,5in  
Líquido bombeado: gasolina  
Peso específico=790 kgf/m<sup>3</sup>  
Viscosidade cinemática=  $6 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s  
Pressão de vapor= 3520 kgf/m<sup>2</sup>  
NPSH<sub>r</sub>=1,9m (tirado da curva característica da bomba)  
Tubulação aço galvanizado ( $\epsilon/D=0,0015$ )

É necessário obter um **diâmetro** para a linha de tal forma que a **perda de carga** do sistema forneça um  **$NPSH_d > NPSH_r$**

**$NPSH_d$  ?**

Aplicando Bernoulli para uma bomba **NÃO** afogada:

$$NPSH_d = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} - h_2 - H_c - \frac{P_v}{\rho g}$$

mas:  $v_1 = 0$  e  $P_1 = P_{\text{atmosférica}} = 1,033 \text{ kgf/cm}^2$  ;  $\rho g = 790 \text{ kgf/m}^3$

$$NPSH_d = \frac{P_1}{\rho g} - h_2 - H_c - \frac{P_v}{\rho g}$$



$$NPSH_d = \frac{10330}{790} - 2,6 - H_c - \frac{3520}{790}$$

Calcular perda de carga do sistema ( $H_c$ )

Calcular perda de carga do sistema ( $H_C$ )

$$H_C = f \left( \frac{L}{D} + \frac{L_{eq}}{D} + K \right) \frac{v^2}{2g}$$

**D = ?**

É necessário obter um **diâmetro** para a linha de tal forma que a **perda de carga** do sistema forneça um **NPSH<sub>d</sub> > NPSH<sub>r</sub>**

**Primeiro valor arbitrado: D = 4 in ~ 0,102 m**

Cálculo do comprimento equivalente ( $L_{eq}$ ) considerando trechos retos e acessórios:

**Soma dos trechos retos:**

$$1,80 + 2,60 = 4,40 \text{ m}$$

1 redução de 4in para 2,5 in	1,00m
3 joelhos de 90° (L/D=30)	9,15m
1 válvula de retenção (pé) (L/D=75)	7,60m
Soma dos trechos retos	4,40 m
	<hr/>
	22,15 m

## Redução de 4in para 2,5 in

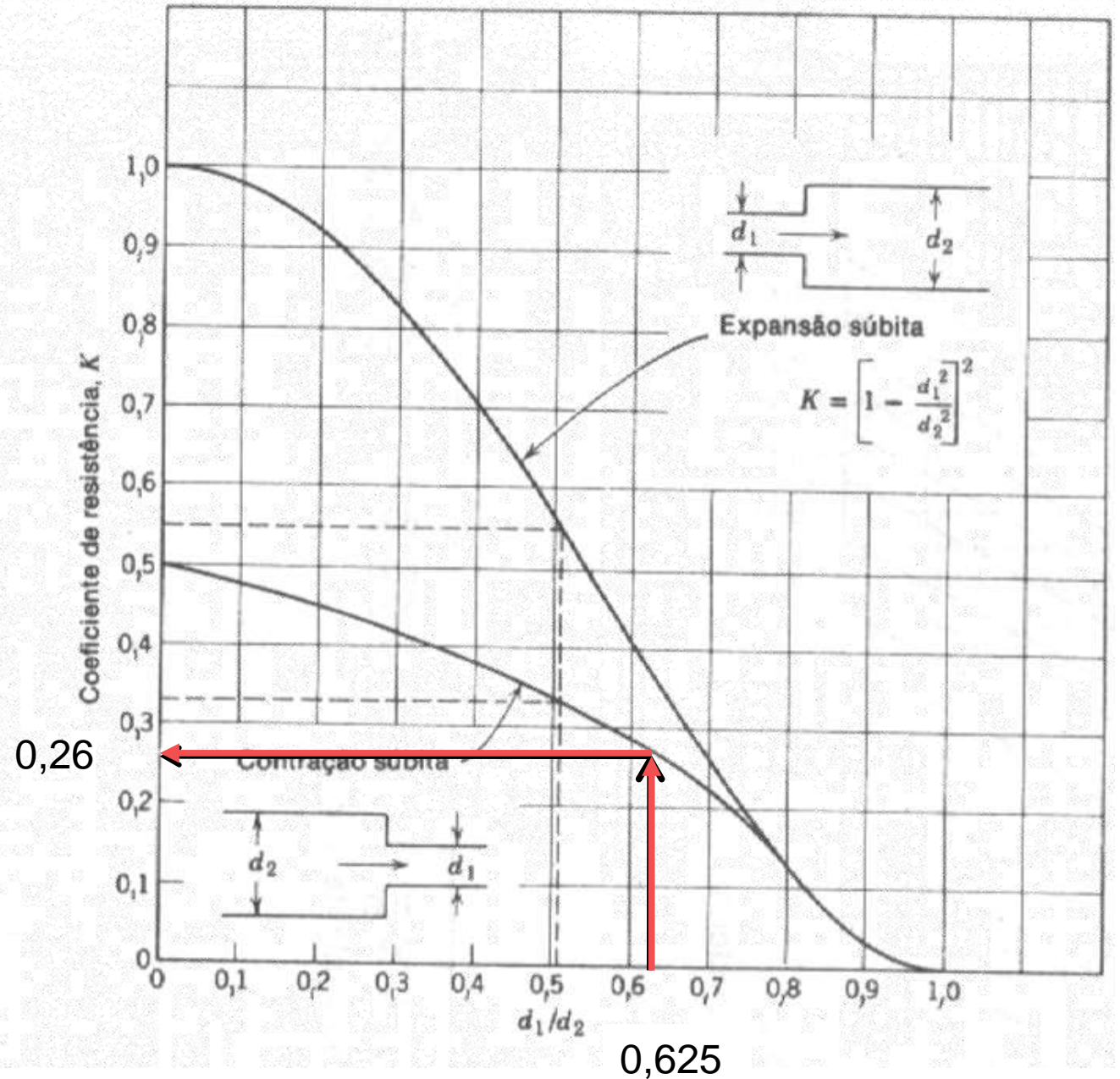
→ **Eixo X**

$$d_1 / d_2 \rightarrow 2,5 / 4 = 0,625$$

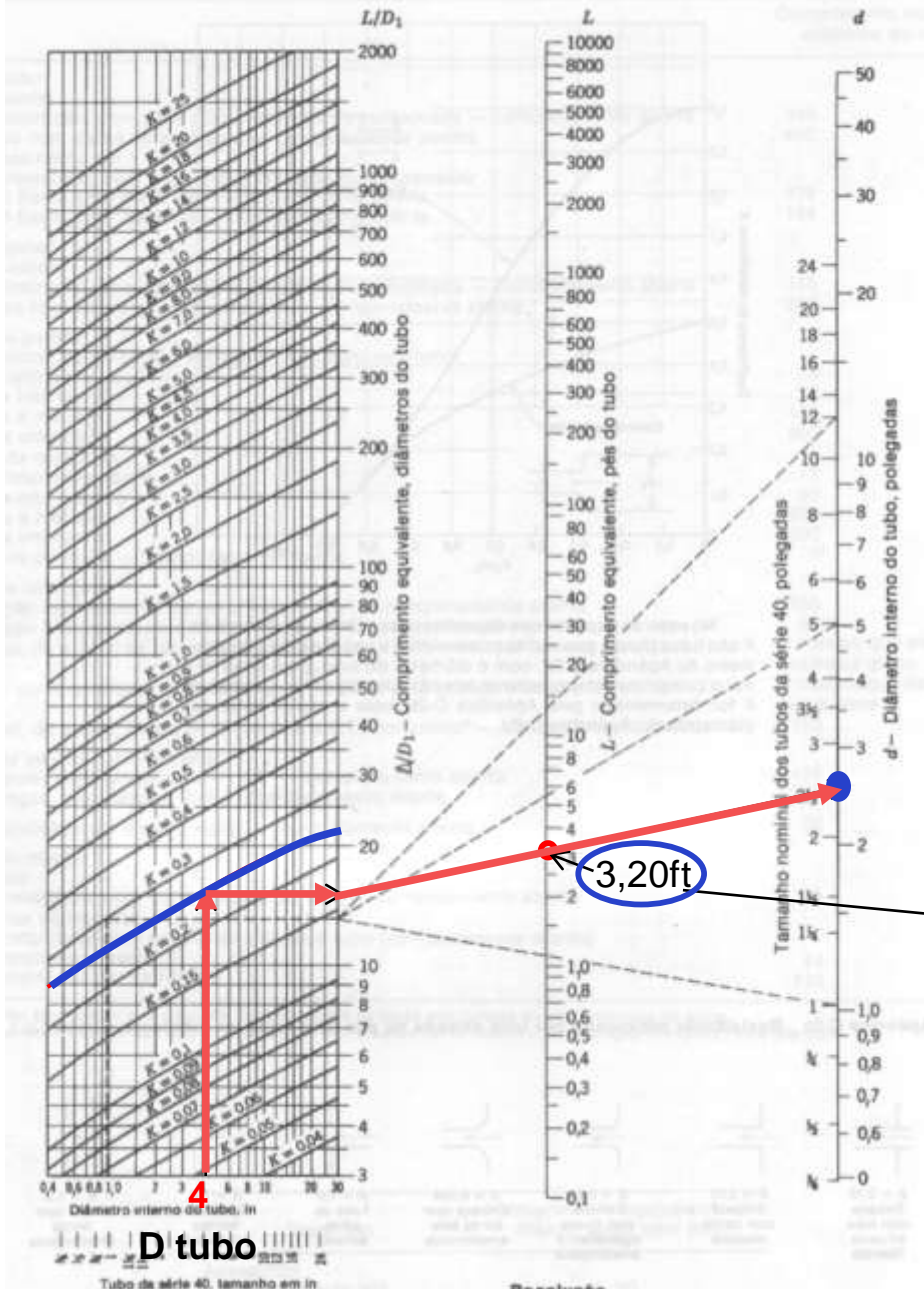
→ **Eixo Y**

$K \rightarrow 0,26$  pelo gráfico

**Com o valor de K  
podemos  
encontrar Le para  
uma redução**







Redução de 4in para 2,5 in

Para  $K=0,26$  e diâmetro interno  $d_1$  (2,5 in temos:

$$L_{eq}=3,20 \text{ ft} = 1 \text{ m}$$

Aprox: 1m



# Válvula de pé

$$L_{eq}/D = 75$$

## Válvula de retenção (tampão articulado) →

$$L_{eq} = 1 \cdot 75 \cdot (0,102 \text{ m}) \sim 7,60 \text{ m}$$

### Apêndice C-2a Comprimentos equivalentes representativos, em diâmetros do tubo, de diversas válvulas e acessórios (Crane Co.)

Descrição	Comprimento equivalente em diâmetro do tubo (L/D)
<b>Válvulas globo</b>	
Convencional	
Sem obstrução, com sede plana, biselada ou tamponada — completamente aberta	340
Tampão com aletas ou pino guia — completamente aberta	450
Com escoamento em Y	
(Sem obstrução, com sede plana, biselada ou tamponada)	
Com haste a 60° da linha — completamente aberta	175
Com haste a 45° da linha — completamente aberta	145
<b>Válvula angular</b>	
Convencional	
Sem obstrução, com sede plana, biselada ou tamponada — completamente aberta	145
Tampão com aletas ou com pino guia — completamente aberta	200
<b>Válvulas de gaveta</b>	
Convencional, com tampão em cunha, ou duplo ou chato	
Completamente aberta	13
Aberta três quartos	35
Aberta a metade	160
Aberta um quarto	900
<b>Válvula de comporta</b>	
Completamente aberta	17
Aberta três quartos	50
Aberta a metade	260
Aberta um quarto	1200
<b>Válvula de conduíte — completamente aberta</b>	3*
<b>Válvulas de retenção</b>	
Articulação convencional da portinhola — 0,5° — completamente aberta	135
Articulação integral da portinhola — 0,5° — completamente aberta	50
Retenção, de esfera, de retenção e fechamento — 2,0° — completamente aberta	O mesmo que para as válvulas globo
Angular, ou de retenção e fechamento — 2,0° — completamente aberta	O mesmo que para as válvulas angulares
Retenção, de esfera, direta — 2,5 vertical e 0,25 horizontal° — completamente aberta	150
<b>Válvulas de pé com crivo filtrante</b>	
Com tampão de levantamento — 0,3° — completamente aberta	420
Com tampão articulado — 0,4° — completamente aberta	75
<b>Válvulas borboleta (de 6 in ou mais) — completamente aberta</b>	20
<b>Válvulas de macho</b>	
Retilíneas	
Furo retangular com 100% da área do tubo — completamente aberta	18
<b>Válvulas de três vias</b>	
Furo retangular com área igual a 80% do tubo (completamente aberta)	
Escoamento direto	44
Escoamento por derivação	140

\*Comprimento equivalente exato igual à distância entre as faces dos flanges ou dos terminais de solda.

°Queda de pressão mínima (em psi) calculada para que o escoamento ocorra com o tampão completamente elevado.

## Joelho de 90°

$$L_{eq}/D = 30$$

Joelhos 90° →

$$L_{eq} = 3 \cdot 30 \cdot (0,102 \text{ m})$$
$$\sim 9,15 \text{ m}$$

1 redução de 4in para 2,5 in	1,00m
3 joelhos de 90° (L/D=30)	9,15m
1 válvula de retenção (pé)	7,60m
(L/D=75)	
Soma dos trechos retos	4,40 m
	<u>22,15 m</u>

Descrição	Comprimento equivalente em diâmetros do tubo (L/D)
<b>Acessórios</b>	
Joelho padrão 90°	30
Joelho padrão 45°	16
Curva de raio grande 90°	20
Junta rosqueada 90°	50
Junta rosqueada 45°	26
Junta angular 90°	57
<b>Peça em T normal</b>	
Escoamento direto	20
Escoamento pela ramificação	60
Curva de retorno em gomos	50

Cálculo da velocidade ( $v$ ):

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{540 \frac{\cancel{L}}{\cancel{\text{min}}} \frac{m^{\cancel{3}}}{10^3 \cancel{L}} \frac{1 \cancel{\text{min}}}{60s}}{3,1415 \left( \frac{0,102^2}{4} \right) m^2} = 1,10 \frac{m}{s}$$

Cálculo do Reynolds ( $Re$ ):

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \rightarrow \frac{\mu}{\rho} = 6.10^{-6} \frac{m^2}{s} \Rightarrow Re = \frac{0,102 \times 1,10}{6.10^{-6}} = 18700$$

Cálculo do fator de atrito ( $f$ ):

$$\epsilon/D \text{ (aço galvanizado)} = 0,0015 \text{ e de } Re \quad f = 0,029$$

Cálculo perda de carga do sistema ( $H_C$ )

$$H_C = f \left( \frac{L}{D} + \frac{L_{eq}}{D} \right) \frac{v^2}{2g} = \frac{0,029 \times 22,15 \times 1,10^2}{2 \times 0,102 \times 9,81} = 0,388 \text{ m}$$

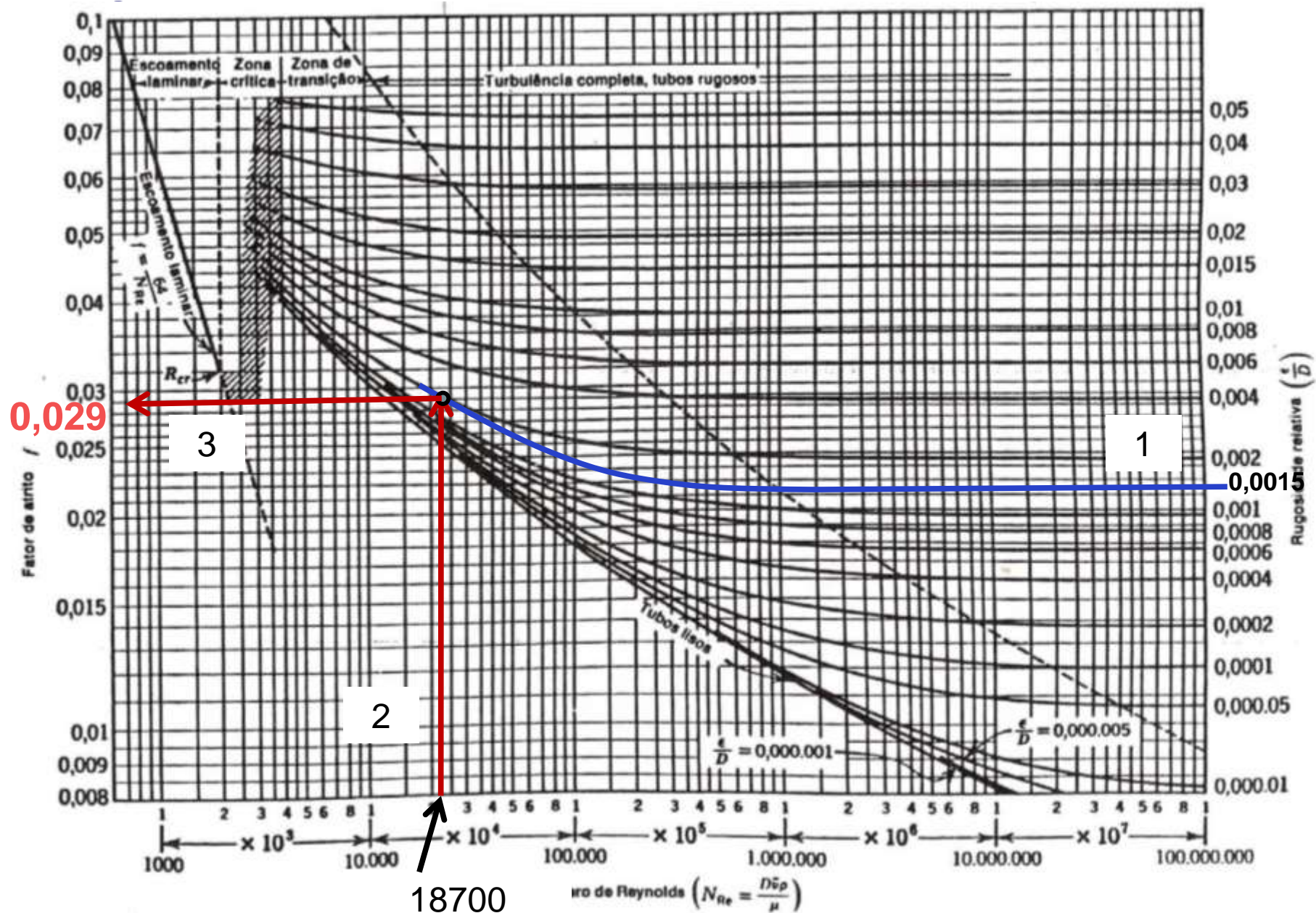
Deste modo:

$$NPSH_d = \frac{10330}{790} - 2,6 - 0,388 - \frac{3520}{790} = 5,63m$$

$$NPSH_r = 1,9 \text{ m}$$

Portanto:  **$NPSH_d > NPSH_r$  ( OK !!! )**

Assim, com  $\varepsilon/D$  e  $Re$  no diagrama de Moody encontra-se  $f = 0,029$ :





# Cálculo de Linha de Recalque

Ex9: Dimensionar o diâmetro que deverá ter a tubulação mostrada na figura, que vai do bocal de recalque de uma bomba até um reservatório elevado.

Vazão máxima: **200 m<sup>3</sup>/h**

Pressão na saída da bomba para o valor de vazão considerado:  **$P_1 = 3,16 \text{ kgf/cm}^2$**

Altura máxima do líquido no reservatório acima do ponto 2,  **$H_r = 9,0\text{m}$**

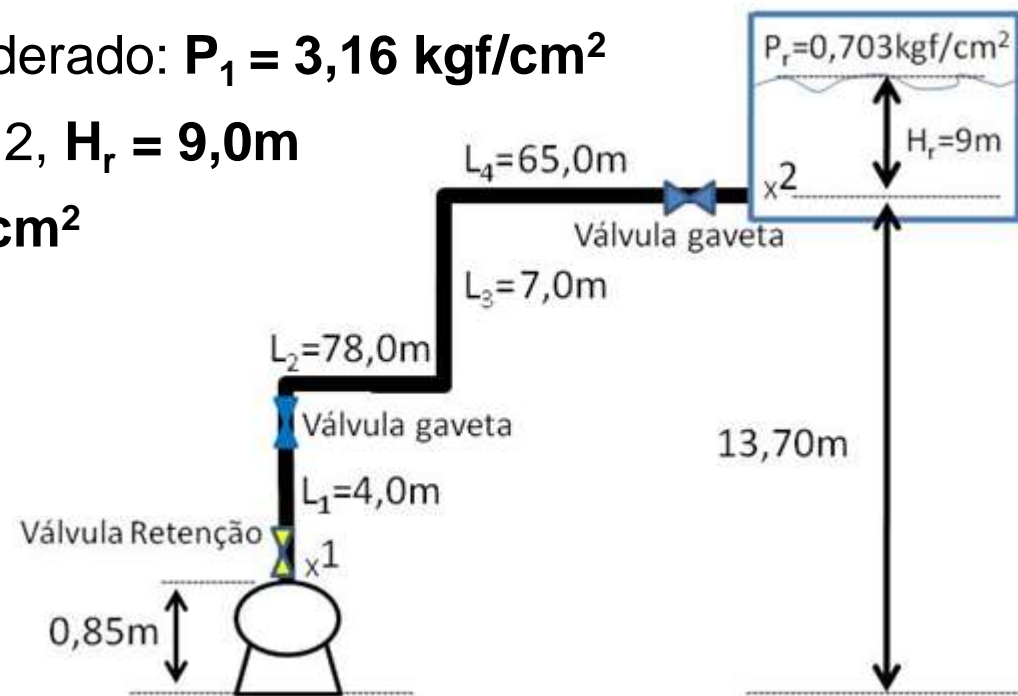
Pressão máxima reinante no reservatório:  **$P_r = 0,703 \text{ kgf/cm}^2$**

Peso específico do líquido = **0,95 kgf/L**

Viscosidade cinemática = **5,5 cm<sup>2</sup>/s**

Bocal de saída da bomba: **10 in (1ª estimativa)**

$$D = 10 \cancel{\text{in}} \cdot \frac{1\text{m}}{39,37 \cancel{\text{in}}} = 0,254\text{m}$$



## 1. Cálculo da Pressão no ponto 2:

$$P_2 = P_r + \gamma h_r = 0,703 + 0,95 \cdot 10^{-3} \times 900 = 1,56 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

## 2. Cálculo da Carga disponível entre 1 e 2:

$$\left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \right) = H_{\text{C disponível entre trechos}}$$

$$H_{\text{Centre trechos}} = \left( \frac{3,16}{0,95 \cdot 10^{-3}} + 0,85 \cancel{\text{m}} \frac{10^2 \text{ cm}}{1 \cancel{\text{m}}} \right) - \left( \frac{1,56}{0,95 \cdot 10^{-3}} + 13,70 \cancel{\text{m}} \frac{10^2 \text{ cm}}{1 \cancel{\text{m}}} \right) = 399,21 \cancel{\text{cm}} \frac{1 \text{ m}}{10^2 \cancel{\text{cm}}} = 3,99 \text{ m}$$

## 3. Perda de carga do sistema: (1º Chute: D=10 in)

acessórios	$L_{\text{eq}}$
02 válvulas gavetas (L/D=35)	17,80m
01 válvulas retenção (L/D=75)	19,00m
03 curvas 90° (L/D=20)	15,20m
Considere perda entrada no reservatório	10,00m
Comprimento dos trechos retos	154,00m

Pode ser tirada de livros, tabelas ou medida experimentalmente  
Nesse caso foi dado. Na prática você deve procurar listar todas as possíveis perdas de carga existentes na linha

Total: 216,00m



### 3. Perda de carga do sistema: (1º Chute: D=10 in ou 0,254 m)

Cálculo da velocidade:

$$v = \frac{Q}{Area} = \frac{4 \left( 200 \frac{\cancel{m^3}^1}{\cancel{h}} \cdot \frac{1 \cancel{h}}{3600s} \right)}{\left( 3,1415 (0,254)^2 \cancel{m^2} \right)} = 1,10 \frac{m}{s}$$

Cálculo do Re

$$Re = \frac{Dv}{\nu} = \frac{0,254 \cdot 1,10}{\left( 5,5 \frac{\cancel{cm^2}}{s} \cdot \frac{1m}{10^4 \cancel{cm^2}} \right)} = 508$$

Cálculo do fator de atrito (D. Moody)

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{508} = 0,126$$

Perda de carga do sistema (1º chute)

$$*H_c = f \frac{(L + L_{eq})}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{0,126 \cdot 216 \cdot 1,10^2}{0,254 \cdot 2 \cdot 9,81} = 6,60m$$

$$*H_{C-sistema} > H_{Cdisponível}$$

Como o sistema apresenta perda de carga maior que a carga disponível entre os pontos 1 e 2, é preciso diminuir a perda de carga do sistema, o que pode ser feito aumentando D.

2º chute D=12 in, refaça e verifique se este é aceitável!!!!

### 3. Perda de carga do sistema: (2º Chute: D=12 in ou 0,3048 m)

Cálculo da velocidade:  $v = \frac{Q}{Area} = 0,762 \frac{m}{s}$

Cálculo do Re  $Re = \frac{Dv}{\nu} = 422$

Cálculo do f:  $f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{422} = 0,1516$

acessórios do sistema

02 válvulas gavetas (L/D=35)

01 válvulas retenção (L/D=75)

03 curvas 90° (L/D=20)

Considere perda entrada no reservatório

Comprimento dos trechos retos

	$L_{eq}$
02 válvulas gavetas (L/D=35)	21,34m
01 válvulas retenção (L/D=75)	22,86m
03 curvas 90° (L/D=20)	18,29m
Considere perda entrada no reservatório	10,00m
Comprimento dos trechos retos	154,00m
Total:	226,48m

Perda de carga do sistema (2º chute)

$$*H_c = f \frac{(L + L_{eq})}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{0,1516 \cdot 226,48 \cdot 0,762^2}{0,3048 \cdot 2 \cdot 9,81} = 3,33m$$

$$*H_{C-sistema} < 3,99$$

**Obs:** Costuma-se dar folga de 15 a 20% entre as perdas de carga disponível e do sistema

$$*H_{C-sistema} / H_{Cdisponível} = 3,33 / 3,99 = 83,4\%$$

Está 16,6% maior que o disponível

(OK! pode ser usado  $D_T = 12in$ )

Caso queira margem maior, recalcular para D= 14 in

# Atividades da Aula 5

## Individual:

- ☐ Refaça os exercícios.

## Atividade da Empresa:

- ☐ Agora vocês já podem implementar o Projeto Orientado 1, do dimensionamento de tubulações.
- ☐ Mandar um email informando o assunto escolhido.



EX.

Água é bombeada a razão de  $0,0566 \text{ m}^3/\text{s}$  de um reservatório (1) cujo nível está a  $6,1\text{m}$  acima da sucção da bomba para uma descarga livre a  $27,43\text{m}$  acima da bomba (4). A pressão na admissão da bomba (2) é de  $34485 \text{ Pa}$  e na descarga (3) é de  $344850 \text{ Pa}$ , ambas manométricas. Os tubos são de aço comercial com  $0,152 \text{ m}$  de diâmetro. Determine:

- Altura de elevação suprida pela bomba  $H_e$  (2)-(3);
- Energia específica da bomba e sua potência;
- Perda altura elevação bomba /descarga, (3) a (4).

$$D = 152 \text{ mm}; \rho = 998 \text{ kg/m}^3; \mu = 0,001 \text{ Ns/m}^2$$

