

AULA 9

Volume II do Livro Texto

CONTEÚDO:

- *Capítulo 1*

Cálculo do Diâmetro das Tubulações.

- *Capítulo 2*

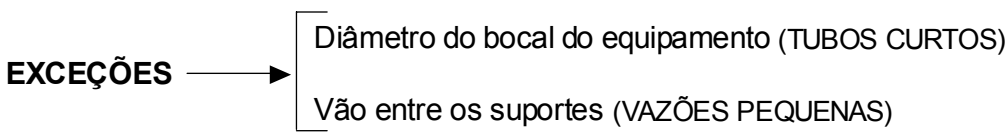
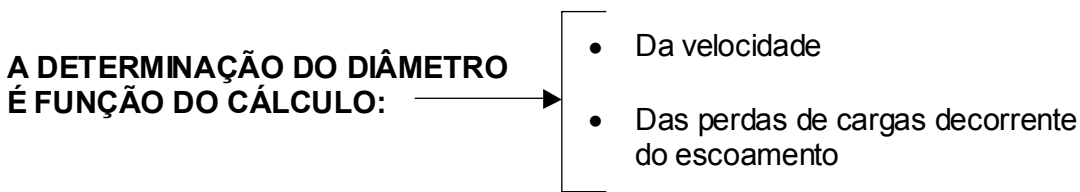
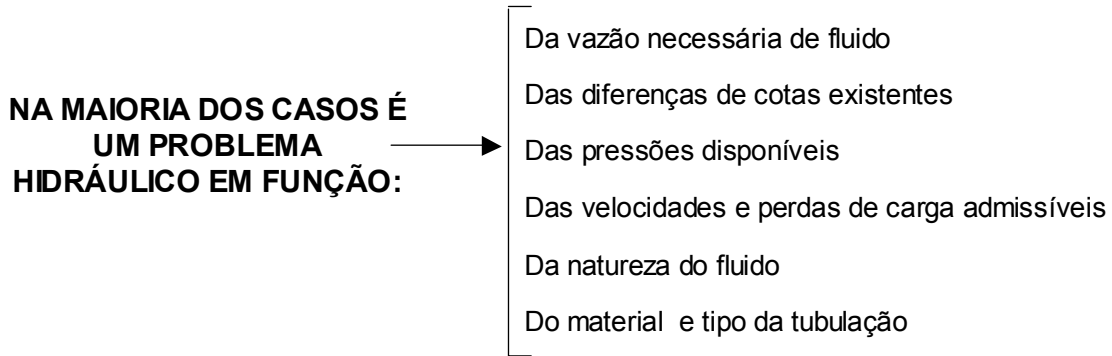
A Tubulação Considerada como um Elemento Estrutural.

- *Capítulo 3*

Cálculo da Espessura de Parede, Cálculo de Componentes de Tubulação e do Vão entre Suportes.

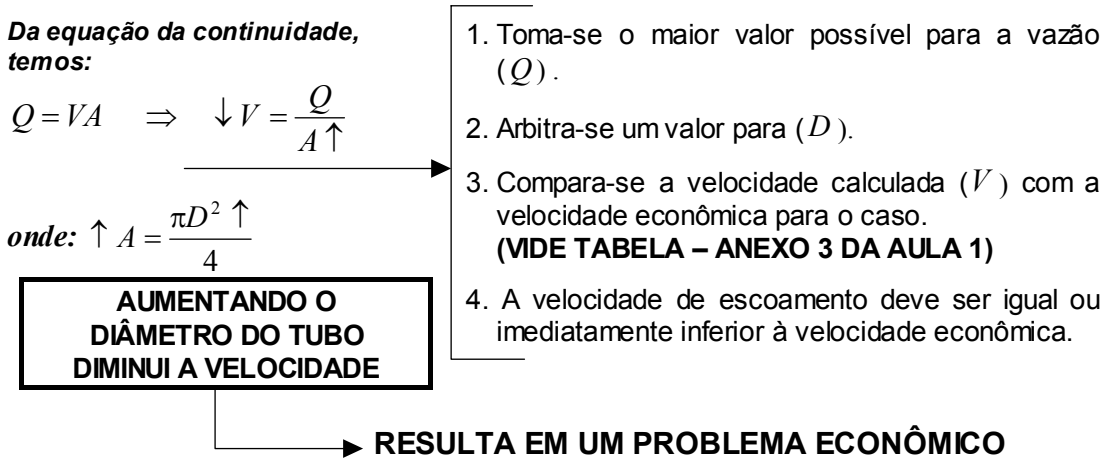
CÁLCULO DO DIÂMETRO DAS TUBULAÇÕES

1 – Critérios gerais para o dimensionamento do diâmetro das tubulações.



2 – Cálculo em função da velocidade (Válido para tubulações curtas)

O AUMENTO DE PERDA DE ENERGIA DURANTE O ESCOAMENTO (*perda de carga*) É PROPORCIONAL AO AUMENTO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO.



CALCULADO O DIÂMETRO EM FUNÇÃO DO ESCOAMENTO É PRECISO ADEQUAR O VALOR ENCONTRADO COM AS DIMENSÕES NORMALIZADAS PARA FABRICAÇÃO DE TUBOS.

(Utilizar as Tabelas do ANEXO 1 DA AULA 1)

(O diâmetro calculado corresponde ao diâmetro interno do tubo)

3 – Cálculo em função das perdas de cargas (Aplicado em tubulações longas)

3.1– TOMA-SE:

MAIOR VALOR DE VAZÃO (Q)

MENOR DIFERENÇA DE PRESSÕES ($P_1 - P_2$)

MAIORES VALORES DE ν E P_v → ν = Viscosidade cinemática
 P_v = Pressão de vapor na temperatura de operação

3.2- UTILIZANDO AS VELOCIDADES ECONÔMICAS ARBITRA-SE UM DIÂMETRO.

3.3 – CALCULA-SE A PERDA DE CARGA TOTAL (J)

<p>Para $R_n < 2000$ ESCOAMENTO LAMINAR</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $R_n = \frac{Vd}{\nu}$ </div> <p>Para $R_n > 2000$ ESCOAMENTO TURBILHONAR</p>	<p>→ $J = \frac{32LvV}{gd^2}$ FÓRMULA DE POISEUILLE</p> <hr/> <p>→ $J = \frac{fLV^2}{2dg}$ FÓRMULA DE DARCY</p>	<p>L = Comprimento total do tubo mais os comprimentos equivalentes de todos os acidentes existentes. V = Velocidade do fluido g = Aceleração da gravidade d = Diâmetro interno do tubo γ = Peso específico do fluido f = Coeficiente de atrito do fluido OS VALORES DE f SÃO OBTIDOS DO ÁBACO DE MOODY ANEXO 1 – AULA 9</p>
--	---	--

EXISTEM OUTRAS FÓRMULAS PARA O CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGAS; COMO É O CASO DA DE WILLIAMS-HAZEM DEDUZIDA ESPECIALMENTE PARA A ÁGUA.

AS PERDAS DE CARGAS EM ACESSÓRIOS E EM DERIVAÇÕES (Perdas secundárias) SÃO OBTIDAS EXPERIMENTALMENTE, PARA CADA TIPO E TAMANHO DE ACIDENTE, E DADAS EM COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE TUBO RETO DE MESMO DIÂMETRO

ANEXO 2 – AULA 9

LIMITAÇÕES E ERROS
NOS CÁLCULOS
DE PERDAS DE CARGA

- 1 – Que o escoamento se dê em regime permanente (*não há variação no tempo*).
- 2 – Que o escoamento seja isotérmico.
- 3 – Que o fluido seja homogêneo (*newtoniano*).
- 4 – Que o fluido seja incompressível.
- 5 – Que a seção transversal da tubulação seja constante e perfeitamente circular.

EXISTEM GRÁFICOS, DERIVADOS DAS FÓRMULAS VISTAS, QUE FORNECEM A PERDA DE CARGA SOB FORMA DE PERDA RELATIVA (*perda para um determinado comprimento*).

ANEXO 3 – AULA 9**3.4 – CALCULA-SE:**

$$(I) \left(H_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left(H_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right) \longrightarrow \text{PARA LINHAS DE RECALQUE DE BOMBAS OU ONDE O ESCOAMENTO SE DÊ POR DIFERENÇAS DE ALTURAS OU DE PRESSÕES}$$

$$(II) \frac{P_a}{\gamma} - \left[(H_1 - H_2) + \frac{P_v}{\gamma} + NPSH \right] \longrightarrow \text{PARA LINHAS DE SUÇÃO DE BOMBAS}$$

3.5 – COMPARA-SE O VALOR DA PERDA DE CARGA TOTAL (J) COM OS VALORES OBTIDOS NAS EQUAÇÕES (I) OU (II).

Se (J) for menor →

- VAZÃO MAIOR QUE A PREVISTA.
- A PRESSÃO EM (2) SERÁ MAIOR QUE A ESPERADA.
- O DIÂMETRO ARBITRADO ESTÁ SUPERDIMENSIONADO.

Se (J) for maior →

- VAZÃO MENOR QUE A PREVISTA.
- A PRESSÃO EM (2) SERÁ MENOR QUE A DESEJADA.
- O DIÂMETRO ARBITRADO É INSUFICIENTE.

A PARTIR DAS DIMENSÕES NORMALIZADAS, ARBITRA-SE UM NOVO VALOR PARA O DIÂMETRO, PROCURANDO-SE OBTER UM VALOR DE (J) IMEDIATAMENTE INFERIOR AOS VALORES DE (I) OU DE (II

Utilizar as tabelas do ANEXO 1 DA AULA 1

4.1 - Exemplo numérico

Comprimento dos trechos retos de tubo: $L_1 = 4\text{ m}$
 $L_2 = 88\text{ m}$
 $L_3 = 75\text{ m}$
 $L_4 = 7\text{ m}$.

Valor máximo da vazão: $Q = 200\text{ m}^3/\text{hora}$.

Cotas de elevação: (ponto 1) $H_1 = 0,85\text{ m}$
 (ponto 2) $H_2 = 13,7\text{ m}$.

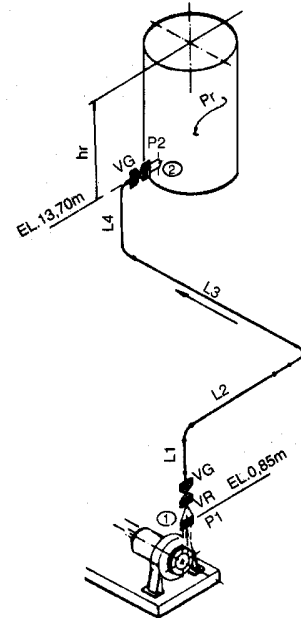
Pressão de saída da bomba: $P_1 = 45\text{ psig} \cong 310\text{ Kpa}$.

Altura máxima do líquido no reservatório: $h_r = 9\text{ m}$.

Pressão máxima no reservatório: $P_r = 10\text{ psig} \cong 69\text{ Kpa}$.

Peso específico do fluido: $\gamma = 9,5\text{ N/dm}^3$.

Viscosidade cinemática: $\nu = 550\text{ cSt } [10^{-6}\text{m}^2/\text{s}]$



a) Cálculo de H_1 , H_2 , P_1 e P_2

$$H_1 = 0,85\text{ m}$$

$$H_2 = 13,7\text{ m}$$

$$P_1 = 310\text{ KPa}$$

$$P_2 = P_r + \gamma h_r \longrightarrow 69000\text{ N/m}^2 + 9,5 \times 10^3\text{ N/m}^3 \times 9\text{ m} = 154500\text{ N/m}^2 \longrightarrow 154,5\text{ KPa}$$

b) Cálculo da diferença $\left(H_1 + \frac{P_1}{\gamma}\right) - \left(H_2 + \frac{P_2}{\gamma}\right)$

$$\left(H_1 + \frac{P_1}{\gamma}\right) = \left(0,85\text{ m} + \frac{310000\frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9,5\frac{\text{N}}{\text{dm}^3} \times \frac{10^3\text{ dm}^3}{\text{m}^3}}\right) = 34,11\text{ m} \longrightarrow \text{ENERGIA DO LÍQUIDO NO PONTO 1}$$

$$\left(H_2 + \frac{P_2}{\gamma}\right) = \left(13,7\text{ m} + \frac{154500\frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9,5\frac{\text{N}}{\text{dm}^3} \times \frac{10^3\text{ dm}^3}{\text{m}^3}}\right) = 29,96\text{ m} \longrightarrow \text{ENERGIA DO LÍQUIDO NO PONTO 2}$$

DIFERENÇA DE ENERGIA: $34,11 - 29,96 = 4,15\text{ m}$

c) **Cálculo do comprimento equivalente** (arbitrando Ø 10", série 40; temos d=254,5 mm)

Do gráfico ANEXO 2 – AULA 9, temos:

Válvula de gaveta	2,00 m	2 Válvulas de gaveta	4,00 m
Válvula de retenção	23,00 m	1 Válvula de retenção	23,00 m
Curva de gomos 90°	4,20 m	4 Curvas de gomos 90°	16,80 m
Entrada no reservatório	9,00 m	1 Entrada no reservatório	9,00 m
			Soma 52,80 m

Comprimentos dos trechos retos = 4 + 88 + 75 + 7 = **174,00 m**

Comprimento equivalente da tubulação $L = 174,00 + 52,80 = 226,80 \text{ m}$

d) **Cálculo da perda de carga**

d.1 – **Cálculo do Número de Reynolds**

$R_n = \frac{Vd}{\nu}$

Onde:

$V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{200 \frac{m^3}{h} \times \frac{10^6 cm^3}{m^3} \times \frac{h}{3600s}}{\frac{\pi 25,45^2 cm^2}{4}}$	$R_n = \frac{109,2 \frac{cm}{s} \times 25,45 cm}{5,50 \frac{cm^2}{s}}$
$V = 109,2 \frac{cm}{s}$	$R_n = 505$
$d = 254,5 mm \rightarrow d = 25,45 cm$	<p>Como $R_n < 2000$, o regime será laminar</p>
$\nu = 550 \text{ cSt} \rightarrow \nu = 5,50 \text{ St [cm}^2/\text{s]}$	

d.2 – **Cálculo da perda de carga** (Utilizando a fórmula de Poiseuille)

$J = \frac{32LvV}{gd^2}$

Onde:

$L = 226,8 m$	$J = \frac{32 \times 226,8m \times 5,50 \frac{cm^2}{s} \times \frac{10^{-4} m^2}{cm^2} \times 1,092 \frac{m}{s}}{9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,0648 m^2}$
$d^2 = 0,0648 m^2$	
$\nu = 5,50 \text{ St [cm}^2/\text{s]}$	
$V = 1,092 m/s$	
$g = 9,81 m/s^2$	
$J = 6,86 m$	

OBSERVA-SE QUE A PERDA DE CARGA É MAIOR QUE A DIFERENÇA DE ENERGIA CALCULADA NO ITEM b, E CONSEQÜENTEMENTE O DIÂMETRO ARBITRADO É INSUFICIENTE.

e) **Repetir o cálculo com novo valor de diâmetro** (Ø 12" série 30 – espessura de parede próxima ao série 40 de Ø 10")

$d = 0,3048 m$

$L = 231,6 m$

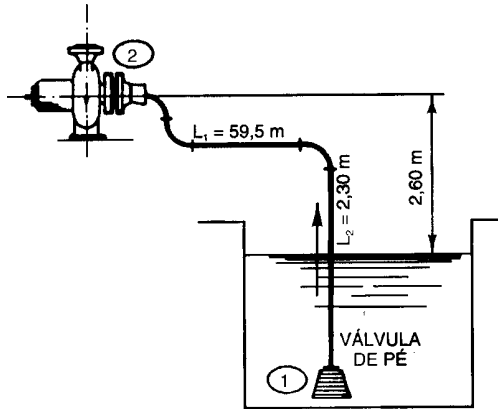
$V = 0,7614 m/s$

$d^2 = 0,0929 m^2$

$J = 3,41 m$

**COMO TEMOS $3,41 < 4,15$
 VEMOS QUE O DIÂMETRO INTERNO DE 12" SÉRIE 30 SATISFAZ**
 (O líquido chegará no ponto 2 com uma pressão um pouco maior que P_2)

4.2 – Exemplo numérico



Vazão máxima: $Q = 9$ litros/s

Comprimentos dos trechos retos: $L_1 = 59,5$ m
 $L_2 = 2,30$ m

Diferença de nível: $H_a = 2,60$ m

Bocal da bomba: $\varnothing 2 \frac{1}{2}$ "

Peso específico (Gasolina): $\gamma = 7,8$ N/dm³

Viscosidade: $\nu = 6$ cSt

Pressão de vapor a 25°C: $P_v = 35,2$ KPa

NPSH requerido na entrada da bomba: 1,9 m

a) Cálculo do comprimento equivalente (arbitrando $\varnothing 4$ ", série 40; temos $d=102,3$ mm)

Do gráfico ANEXO 2 – AULA 9, temos:

Válvula de pé	9,00 m	1 Válvulas de pe	9,00 m
Curva de 90°	2,50 m	3 Curvas de 90°	7,50 m
Redução de 4" para 2 1/2"	2,00 m	1 Redução de 4" para 2 1/2"	2,00 m
			Soma 18,50 m

Comprimentos dos trechos retos = $59,50 + 2,30 = 61,80$ m

Comprimento equivalente da tubulação $L = 174,00 + 52,80 = 80,30$ m

b) Cálculo da perda de carga

b.1 – Cálculo do Número de Reynolds

$R_n = \frac{Vd}{\nu}$

Onde:

$V = \frac{Q}{A}$	$V = \frac{9 \frac{dm^3}{s} \times 10^3 \frac{cm^3}{dm^3}}{\pi \frac{10,23^2 cm^2}{4}}$	$R_n = \frac{109,5 \frac{cm}{s} \times 10,23 cm}{0,06 \frac{cm^2}{s}}$
$d = 102,3 mm$	$d = 10,23 cm$	$R_n = 18669$
$\nu = 6 cSt$	$\nu = 0,06 St [cm^2/s]$	Como $R_n > 4000$, o regime será turbilhonar

b.2 – Cálculo da perda de carga (Utilizando a fórmula de Darcy)

$\frac{\epsilon}{d}$ E f SERÃO OBTIDOS DOS GRÁFICOS DO ANEXO 1 – AULA 9

$J = \frac{fLV^2}{2dg}$ Onde:	$L = 80,30 \text{ m}$	$J = \frac{0,0342 \times 80,30 \text{ m} \times 109,5^2 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}^2}}{2 \times 10,23 \text{ cm} \times 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}$ $J = 1,64 \text{ m}$
	$d = 10,23 \text{ cm}$	
	$v = 0,06 \text{ St} [\text{cm}^2/\text{s}]$	
	$V = 109,5 \text{ cm/s}$	
	$g = 981 \text{ cm/s}^2$	
	$\frac{\epsilon}{d} = 0,0047$	
	$f = 0,0342$	

c) Cálculo da expressão:

$\frac{P_a}{\gamma} - \left[(H_1 - H_2) + \frac{P_v}{\gamma} + NPSH \right]$ $11,69 - [2,60 + 4,51 + 1,90] = 2,68 \text{ m}$	$P_a = \text{pressão atmosférica} = 101,3 \text{ Kpa}$
	$\frac{P_a}{\gamma} = \frac{101300 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{7,8 \frac{\text{N}}{\text{dm}^3} \times \frac{\text{dm}^3 10^3}{\text{m}^3}} = 12,99 \text{ m}$
	<p>PARA COMPENSAR VARIACÕES DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA TOMA-SE 90% DO VALOR CALCULADO</p>
	$\frac{P_a}{\gamma} = 12,99 \times 0,9 = 11,69 \text{ m}$
	$(H_1 - H_2) = H_a = 2,60 \text{ m}$
	$\frac{P_v}{\gamma} = \frac{35200 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{7,8 \frac{\text{N}}{\text{dm}^3} \times \frac{\text{dm}^3 10^3}{\text{m}^3}} = 4,51 \text{ m}$
	$NPSH = 1,90 \text{ m}$

OBSERVA-SE QUE A PERDA DE CARGA É MENOR QUE O VALOR CALCULADO NO ITEM c, E CONSEQÜENTEMENTE O DIÂMETRO ARBITRADO SATISFAZ.

Neste exemplo, como a diferença entre os valores calculados é significativa, pode ser conveniente, por motivo econômico, refazer os cálculos com um diâmetro menor.

5 – Escoamento de Gases

PARA QUE OCORRA O ESCOAMENTO TEM QUE HAVER UMA DIFERENÇA DE PRESSÃO ENTRE OS PONTOS EXTREMOS DA TUBULAÇÃO ($\Delta P = P_1 - P_2 > 0$)

PARA O ESCOAMENTO DE GASES, NA PRÁTICA, PODE-SE DESPREZAR DO TEOREMA DE BERNOULLI AS PARCELAS CORRESPONDENTES À VELOCIDADE E AO PESO DO GÁS.

<p>De:</p> $\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + (H_1 - H_2) = J$	<p>Resulta:</p> $J = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ $J_{TOTAL} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \times L$
--	--

CALCULA-SE A PERDA DE CARGA, COMPARANDO-A COM AS DIFERENÇAS DE PRESSÕES ENTRE OS PONTOS EXTREMOS.

O CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGAS NOS ACESSÓRIOS É FEITA PELOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES, DE MANEIRA ANÁLOGA AO QUE JÁ VIMOS

PARA TUBULAÇÕES CURTAS OU POUCO IMPORTANTES, O DIMENSIONAMENTO DO DIÂMETRO PODE SER FEITO PELA VELOCIDADE ECONÔMICA.

6 – Escoamento de Vapor (Fórmula de Babcock)

ARBITRANDO-SE VALOR PARA O DIÂMETRO, PODE-SE CALCULAR A VAZÃO MÁXIMA EM FUNÇÃO DA PERDA DE CARGA PRÉFIXADA, OU CALCULAR A PERDA DE CARGA RESULTANTE PARA UMA DETERMINADA VAZÃO.

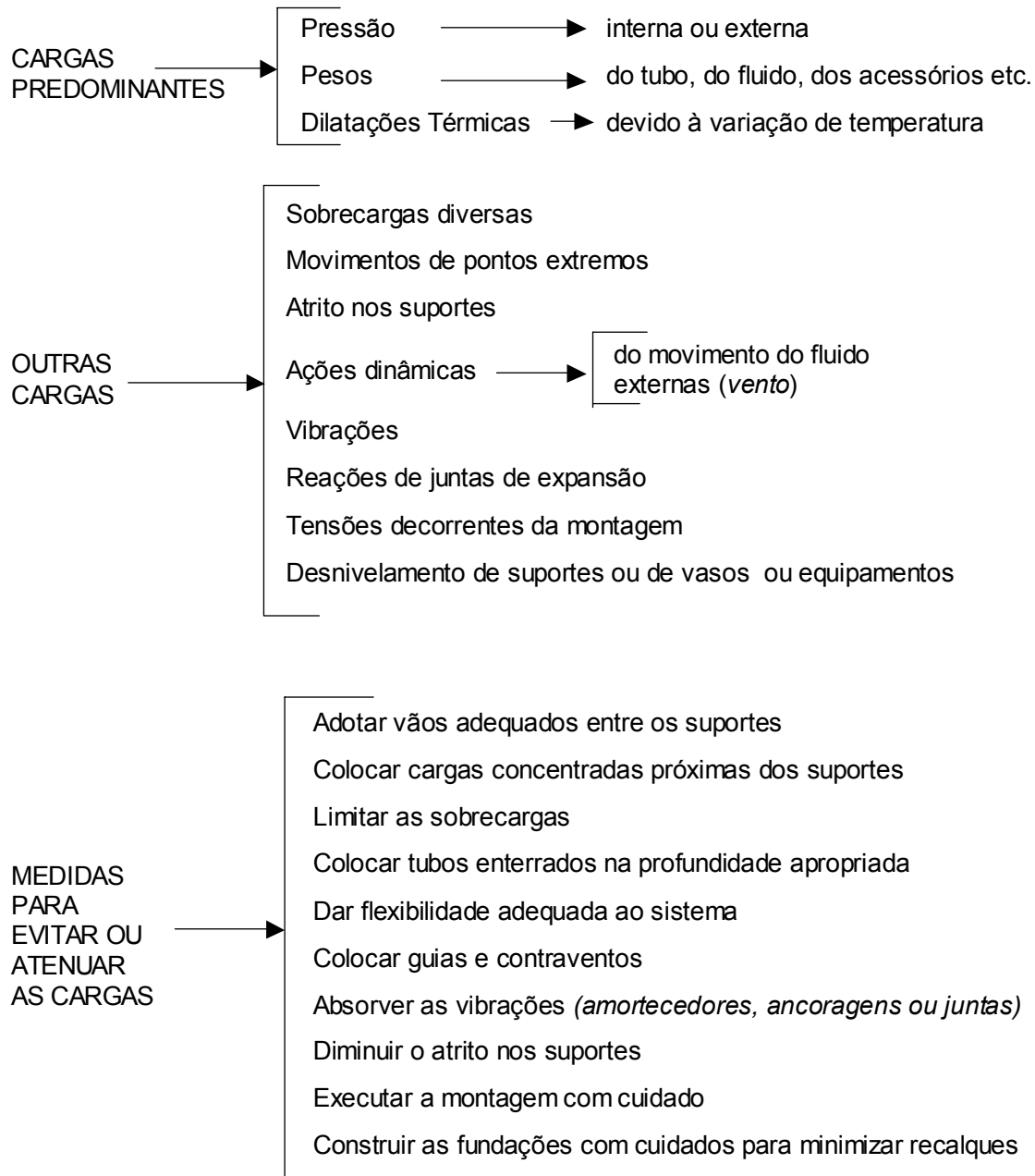
$Q = 5220 \sqrt{\frac{\Delta P \rho d^5}{\left(1 + \frac{3,6}{d}\right)L}}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $\Delta P = 0,0000000367 \left(1 + \frac{3,6}{d}\right) \frac{Q^2 L}{\rho d^5}$	<p>Q = Vazão de vapor (lb/h)</p>
	<p>ΔP = Queda de pressão entre os pontos extremos da tubulação (psi)</p>
	<p>ρ = Peso de um pé³ de vapor (lb)</p>
	<p>d = Diâmetro interno do tubo (pol.)</p> <p>L = Comprimento equivalente da tubulação (pé)</p>

7 – Escoamento de ar comprimido e de gases combustíveis (Fórmula de Weymouth)

$Q = 18,062 \frac{T_0}{P_0} \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) d^{5,33}}{\gamma T L}}$	<p>Q = Vazão (pes³/h) medida em $P = P_0$ e $T = T_0$</p>
	<p>T_0, P_0 = Temperatura e pressão absolutos (°F +460)</p>
	<p>P_1, P_2 = Pressões nos extremos da tubulação (psia)</p>
	<p>d = Diâmetro interno do tubo (pol.)</p>
	<p>γ = Densidade do gás em relação ao ar na T de escoam.</p>
	<p>T = Temperatura de escoamento (°F +460 → ABSOLUTA)</p> <p>L = Comprimento equivalente da tubulação (milhas)</p>

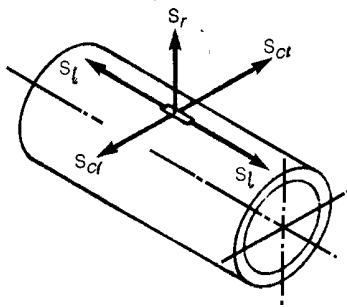
A TUBULAÇÃO CONSIDERADA COMO UM ELEMENTO ESTRUTURAL

1 – Cargas que Atuam Sobre as Tubulações



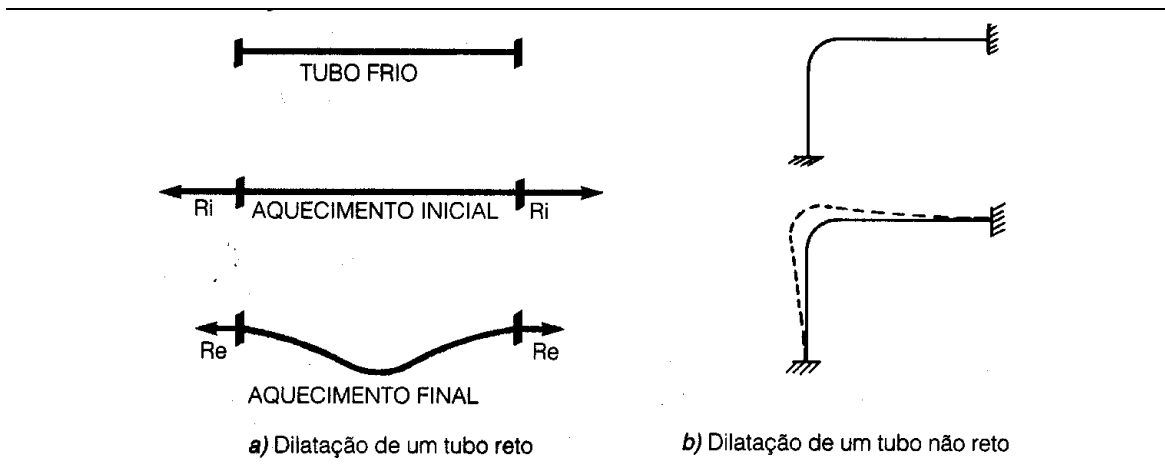
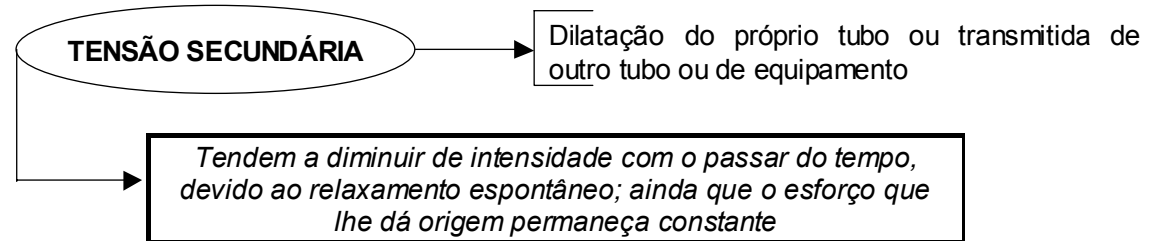
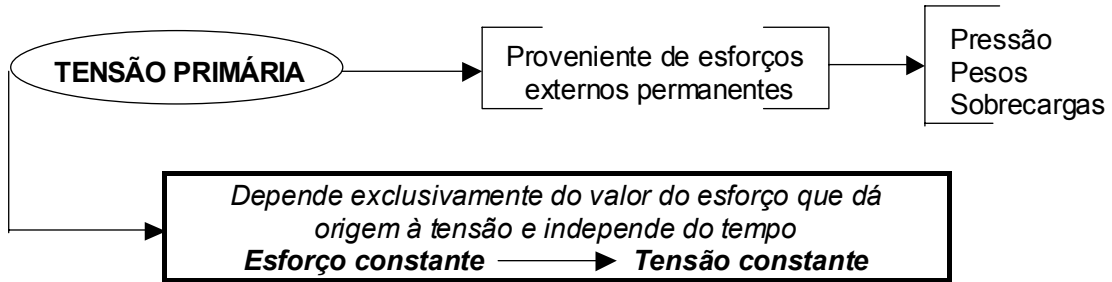
NA PRÁTICA FAZ-SE O CÁLCULO DAS CARGAS PREDOMINANTES, ADOTANDO-SE TENSÕES ADMISSÍVEIS MENORES PARA COMPENSAR OS ESFORÇOS NÃO CONSIDERADOS.

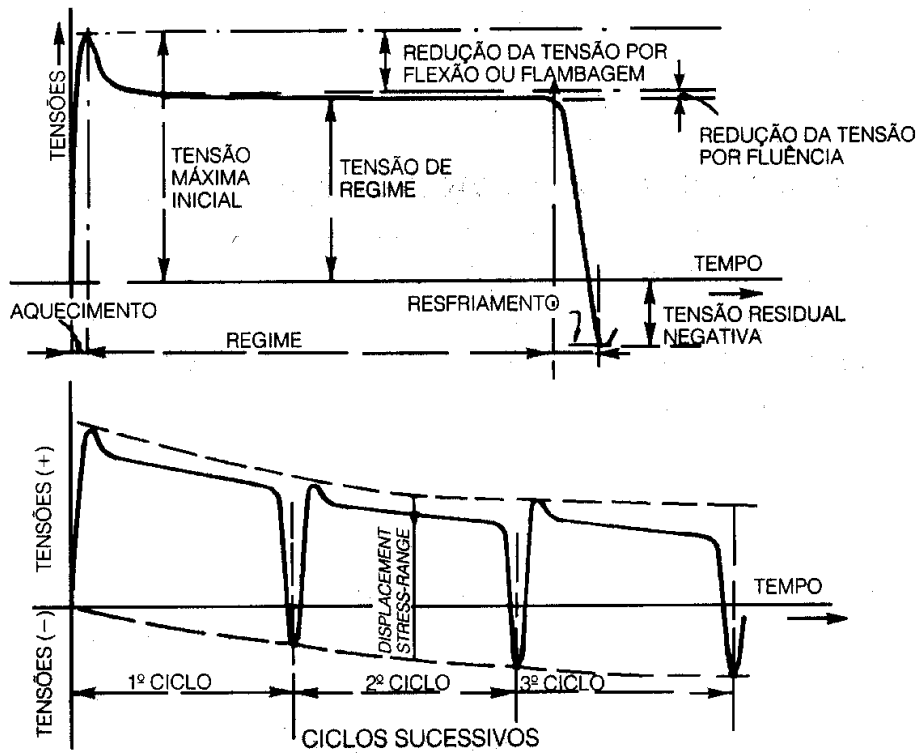
2 – Tensões nas Paredes dos Tubos



$S_l =$ Tensão Longitudinal (tração ou compressão) TENDE A ROMPER O TUBO SEGUNDO UMA CIRCUNFERÊNCIA	Pressão
	Momentos fletores
$S_{ct} =$ Tensão circunferencial TENDE A ROMPER O TUBO LONGITUDINALMENTE	Pressão (geralmente é a tensão predominante)
	Achatamento do tubo
$S_r =$ Tensão radial	Pressão (valor pequeno - costuma ser desprezada)

3 – Tensões Primárias e Secundárias





CONSEQÜÊNCIA → Pode-se aumentar a tensão admissível

4 – Tensões Admissíveis e Coeficientes de Segurança

$$\text{TENSÃO ADMISSÍVEL} = \frac{\text{Limite de Resistência ou o Limite de Escoamento}}{\text{Coeficiente de Segurança}}$$

FATORES QUE INTERFEREM NO COEFICIENTE DE SEGURANÇA

1. Tipo de Material (*dúctil ou frágil*)
2. Critério de cálculo (*abstrações e simplificações*)
3. Tipo de carregamento (*estático ou dinâmico*)
4. Variações nas condições de operação
5. Incerteza nas qualidades do material
6. Grau de segurança requerido

5 – Tensões Admissíveis da Norma ANSI/ASME B.31

Seções das normas		Tensões admissíveis básicas: (O MENOR DOS SEGUINTE VALORES)				
B.31.1	Centrais de vapor	LR/4	LE/1,66	Tdf	0,67 Tdfm	0,8 Trf
B.31.2	Tubulações de ar e gases	LR/2,66				
B.31.3	Refinarias, instalações petrolíferas, petroquímicas e indústrias químicas.	LR/3	LE/1,66	Tdf	0,67 Tdfm	0,8 Trf
B.31.4	Oleodutos		LE/1,39			
B.31.5	Refrigeração	LR/4	LE/1,66			
B.31.7	Centrais nucleares	LR/3	LE	Tdf	0,67 Tdfm	0,8 Trf
B.31.8	Transporte e distribuição de gases		LE/1,1			

Onde:

LR = Valor mínimo do limite de resistência (*ruptura*) na temperatura considerada ou na temperatura ambiente, o que for menor.

LE = Valor mínimo do limite de escoamento na temperatura considerada ou na temperatura ambiente, o que for menor.

Tdf = Tensão mínima que causa uma deformação por fluência de 1%, ao fim de 100.000 horas, na temperatura considerada.

Tdfm = Tensão média que causa uma deformação por fluência de 1%, ao fim de 100.000 horas, na temperatura considerada.

Trf = Tensão mínima que causa a ruptura do material, em consequência de deformação por fluência, ao fim de 100.000 horas, na temperatura considerada.

ANEXO 4 DA AULA 9

6 – Critérios de Cálculo da Norma ANSI/ASME B.31
(Válido para as Seções 31.1, 31.3, 31.5 e 31.7)

1. Tensão máxima devido a pressão $\longrightarrow S_p \text{ max.} \geq S_h$
2. Soma das tensões longitudinais
(pressão, peso, sobrecarga etc.) $\longrightarrow \sum S_l \geq S_h$
3. Tensões secundárias $S_a = f(1,25S_c + 0,25S_h)$

Onde:

S_c = Tensão admissível na temperatura mínima do ciclo de variação, é em geral a temperatura ambiente

S_h = Tensão admissível na temperatura máxima do ciclo de variação

f = Fator de redução para serviços cíclicos

Até 7000 ciclos térmicos durante a vida útil $\longrightarrow f = 1$

7 – Pressão e Temperatura de Projeto

VALORES CONSIDERADOS PARA EFEITO DE CÁLCULO E CORRESPONDEM À CONDIÇÃO MAIS SEVERA DE PRESSÃO E TEMPERATURA SIMULTÂNEAS.

Exemplo:

Tubo de aço carbono ASTM A 106 Gr B, operam nas seguintes condições:

1)	430 °C 3MPa (\cong 30 Kgf/cm ²)	1)	45 °C 4 MPa (\cong 40 Kgf/cm ²)
----	---	----	---

Tensões admissíveis para cada caso:

$S_h = 75,9 \text{ MPa}$ (\cong 759 Kgf/cm ²)	$S_h = 140,6 \text{ MPa}$ (\cong 1406 Kgf/cm ²)
--	--

NÃO DEIXAR DE CONSIDERAR AS CONDIÇÕES TRANSITÓRIAS QUE PODEM OCORRER NAS TUBULAÇÕES.

- Partida e parada do sistema (*flutuações de pressão e temperatura*)
- Falhas no sistema de proteção ou de controle, bem como erros de operação (*abertura ou fechamento indevido de uma válvula*)
- Paralisação repentina da circulação de um líquido – Golpe de Aríete
- Resfriamento de gases contidos em tubulações (*diminui a pressão e pode produzir vácuo*)
- Expansão de líquido contido em tubulação pelo aumento da temperatura (*o simples aquecimento do sol pode provocar pressões perigosas*)

O EFEITO DO SOL PODE PROVOCAR VARIAÇÕES DE TEMPERATURA DE ATÉ 30 °C E A PRESSÃO AUMENTAR APROXIMADAMENTE 9 Kgf/cm² PARA CADA °C

- A vaporização anormal de líquidos dentro das tubulações provoca aumento de pressão (*falha no sistema de resfriamento*)
- O congelamento de líquidos dentro de tubulações provoca aumento de pressão.
- A descompressão de gases liquefeitos causa abaixamento considerável de temperatura (*temperatura de ebulição do propano líquido na pressão atmosférica é – 50 °C*)
- Pré-aquecimento por lavagem de vapor

É PRECISO BOM SENSO NA CONSIDERAÇÃO DAS CONDIÇÕES TRANSITÓRIAS PORQUE, SE POR UM LADO TEMOS AS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA, POR OUTRO LADO EXISTE O LADO ECONÔMICO.

CÁLCULO DA ESPESSURA DE PAREDE

$$S_{ci} = \frac{Pd_m}{2t}$$

$$S_l = \frac{Pd_m}{2t}$$

Onde:

S_{ci} = Tensão circunferencial
 S_l = Tensão longitudinal
 P = Pressão interna
 d_m = Diâmetro médio do cilindro
 t = Espessura da parede

DAS FÓRMULAS ACIMA OBSERVA-SE QUE $S_{ci} = 2S_l$ —> PORTANTO S_{ci} SERÁ A TENSÃO LIMITANTE

Fazendo $S_{ci} = S_h$ obtem-se t_m para resistir à pressão interna do tubo

$$t_m = \frac{Pd_m}{2S_h}$$

AS FÓRMULAS ACIMA SÓ PODEM SER APLICADAS PARA $D > 6t$

Fórmula de Lamé
(para D/t entre 4 e 6)

$$t = \frac{D}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{S_h - P}{S_h + P}} \right)$$

Fórmula de Clavarino
(para paredes espessas)

$$S_{ci} = P \times \frac{d^2(1 - 2\lambda) + D^2(1 + \lambda)}{D^2 - d^2}$$

Onde: D = Diâmetro externo e λ = Módulo de Poisson

PARA BAIXAS PRESSÕES, EM TEMPERATURA MODERADA, O CÁLCULO RESULTA EM ESPESSURAS MUITO PEQUENAS.

PARA GARANTIR A RESISTÊNCIA ESTRUTURAL DO TUBO GERALMENTE SÃO ADOTADAS AS SEGUINTEES ESPESSURAS MÍNIMAS:

- Diâmetros nominais até 1 ½", inclusive: —> série 80
- Diâmetros nominais de 2" a 12", inclusive: —> série 40
- Diâmetros nominais de 14" ou maiores: —> 9 mm (3/8")

CÁLCULO DA ESPESSURA DE PAREDE (Norma ANSI/ASME. B.31)

$$t = \frac{PD}{2(S_h E + PY)} + C, \quad \text{ou} \quad t = \frac{Pd}{2(S_h E + PY - P)} + C$$

Onde:

P = pressão interna de projeto.

D = diâmetro externo; d = diâmetro interno

S_h = tensão admissível do material na temperatura de projeto.

E = coeficiente de eficiência de solda:

$E=1$ Para tubos sem costura e tubos com costura por solda de topo, totalmente radiografada.

$E=0,9$ Para tubos com costura por solda de topo, radiografia parcial

$E=0,85$ Idem, sem radiografia, solda pelos dois lados.

$E=0,8$ Idem, Idem, solda por um só lado.

Y = coeficiente de redução de acordo com o material e a temperatura.

$Y=0,4$ Para tubos de aço carbono e outros aços ferríticos, em temperaturas de até 485 °C.

$Y=0$ Para tubos de ferro fundido.

C = soma das sobreespessura para corrosão, erosão e abertura de roscas.

AS FÓRMULAS NÃO PODEM SER APLICADAS QUANDO $P/SE > 0,385$
E TAMBÉM QUANDO $t > D/6$

A SOBREESSPESURA PARA CORROSÃO E EROSÃO SERÁ O PRODUTO DA TAXA ANUAL DE CORROSÃO PELO NÚMERO DE ANOS DA VIDA ÚTIL; PARA TUBULAÇÕES EM GERAL, TOMA-SE DE 10 A 15 ANOS DE VIDA ÚTIL.

NA FALTA DE DADOS, PARA O AÇO CARBONO E AÇOS DE BAIXA LIGA, CONSIDERA-SE:

1. 1,2 mm como valor mínimo para a sobreespessura de corrosão
2. 2,0 mm em serviços de média corrosão
3. até 4,0 mm em serviços de alta corrosão

DEVE-SE CONSIDERAR AINDA A VARIAÇÃO DE ESPESSURA DE PAREDE DEVIDO O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TUBO.

ESPESSURA DE PAREDE PARA TUBULAÇÕES ENTERRADAS E PARA TUBULAÇÕES SUJEITAS A PRESSÃO EXTERNA

AÇÃO DO PESO DA TERRA	PRESSÃO DE COLAPSO
$W = CgB^2$ <p>W = Carga sobre o tubo (N/m^2) C = Coeficiente da natureza do solo <small>TABELADO PELA NORMA H-1 D AWWA (American Water Works Association)</small> g = Peso específico da terra (N/m^3) B = Largura da trincheira (m)</p>	$P_c = \frac{2E}{1-\lambda^2} \left(\frac{t}{D} \right)^3$ <p>P_c = Pressão de colapso E = Módulo de elasticidade do material λ = Módulo de Poisson do material</p>

CÁLCULO DO VÃO ENTRE SUPORTES

FATORES LIMITANTES

A tensão máxima de flexão, no ponto de maior momento fletor, deverá ser inferior a uma determinada tensão admissível.
A flecha máxima, no meio do vão, deverá ser inferior a um determinado valor admissível.

$$S_v = \frac{L}{10Z} [qL + 2(Q + W)]$$

Onde:

S_v = Tensão máxima de flexão (MPa)

L = Vão entre os suportes (m)

q = Soma das cargas distribuídas (N/m)

Peso próprio do tubo

Peso do fluido ou peso da água de teste

Peso do isolamento térmico

Peso do sistema de aquecimento

Q = Soma das cargas concentradas (N)

W = Sobrecarga aplicada no meio do vão - (recomenda-se uma sobrecarga de 2000 N para tubulações de aço de Ø 3" ou maior, situadas a até 3 m de altura do solo)

Z = Momento resistente da seção transversal do tubo (cm³) – (ANEXO 1 DA AULA 1)

Quando só existirem cargas distribuídas:

$$S_v = \frac{qL^2}{10Z} \quad \text{que resulta em: } L = \sqrt{\frac{10ZS_v}{q}}$$

É usual considerar: $S_v \leq \frac{LR}{10}$

(Sendo LR = Limite de resistência do material)

Para o aço carbono até a temperatura de 350 °C:

$$S_v = 35 \text{ MPa } (\cong 350 \text{ Kgf/cm}^2)$$

A FLECHA MÁXIMA, NO MEIO DO VÃO, PODE SER CALCULADA POR:

$$\delta = \frac{2400 L^3}{EI} \left[\frac{Q+W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$$

Onde:

δ = Flecha máxima (mm)

E = Módulo de elasticidade do material na temperatura considerada (MPa)

ANEXO 5 DA AULA 9

I = Momento de inércia da seção transversal do tubo (cm⁴) – (ANEXO 1 DA AULA 1)

Quando só existirem cargas distribuídas:

$$\delta = \frac{600qL^4}{EI} \quad \text{que resulta em: } L = \sqrt[4]{\frac{\delta EI}{600q}}$$

VALORES ADMITIDOS PARA FLECHAS:

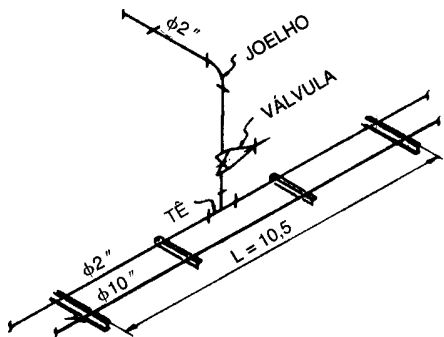
Tubulações em áreas de processo:

- Tubos de $\varnothing 3''$ ou menores- Tubos de $\varnothing 4''$ ou maiores

Tubulações fora de áreas de processo

EXEMPLO NUMÉRICO

Calcular a tensão causada pelos pesos no tubo de 10'', e a tensão combinada longitudinal, de acordo com o critério da norma ANSI/ASME B.31



Considerando os seguintes dados:

Peso do tubo de 10'' cheio de água: 1110 N/m
 Peso do tubo de 2'' cheio de água: 94 N/m
 Peso da derivação, válvulas e acessórios: $Q = 530 \text{ N}$
 Sobrecarga adicional considerada: $W = 1000 \text{ N}$
 Pressão de projeto: $P = 4800 \text{ Kpa} = 4,8 \text{ MPa}$
 Vão entre os suportes: $L = 10,5 \text{ m}$
 Espessura da parede (série 40): $t = 9,3 \text{ mm}$
 Diâmetro externo do tubo de 10'': $D = 273 \text{ mm}$
 Material: Aço-carbono API-5L Gr. A
 Temperatura de projeto: $200 \text{ }^\circ\text{C}$
 Momento resistente do tubo de 10'': $Z = 490 \text{ cm}^3$

Para facilitar, aproximar, considerando o peso do tubo de 2'' como carga distribuída.

Assim: $q = 1110 + 94 = 1204 \text{ N/m}$

A tensão devido aos pesos será então:

$$S_v = \frac{L}{10 Z} [qL + 2(Q + W)] = \frac{10,5}{10 \times 490} [1204 \times 10,5 + 2(530 + 1000)] = 33,6 \text{ MPa}$$

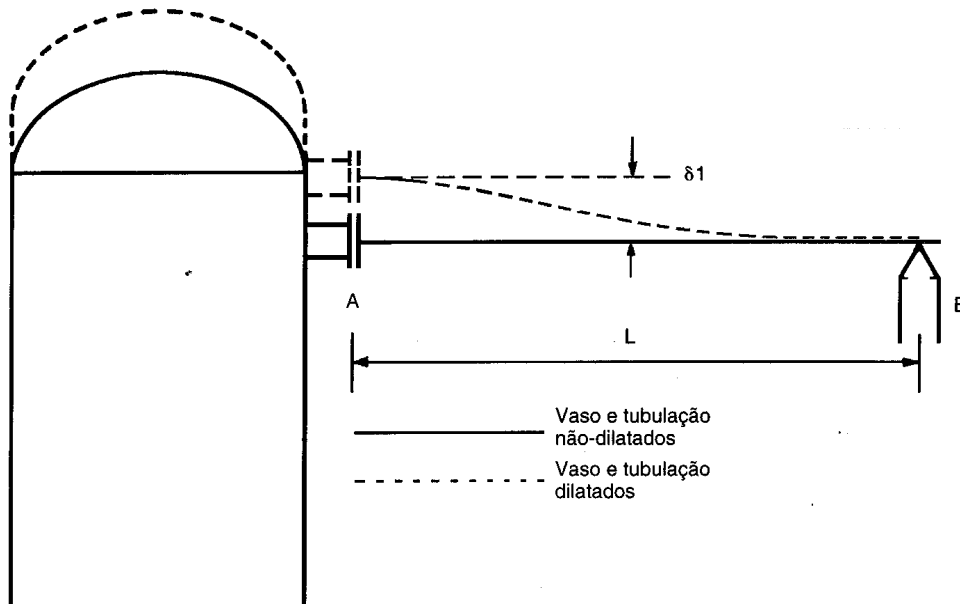
Como $S_v < 35 \text{ MPa}$, significa que o valor do vão está razoável, apesar do carregamento adicional.

Para a tensão combinada temos: $\sum S_l \leq S_h \Rightarrow S_v + S_l \leq S_h$ onde,

$$S_l = \frac{PD}{4t} \Rightarrow S_l = \frac{4,8 \times 273}{4 \times 9,3} = 35,2 \text{ MPa} \Rightarrow S_v + S_l = 33,6 + 35,2 = 68,6 \text{ MPa}$$

Como $S_h = 110,3 \text{ MPa}$ conclui-se que o vão adotado é satisfatório

MOVIMENTO VERTICAL LIMITE PARA EMPREGO DE SUPORTES MÓVEIS



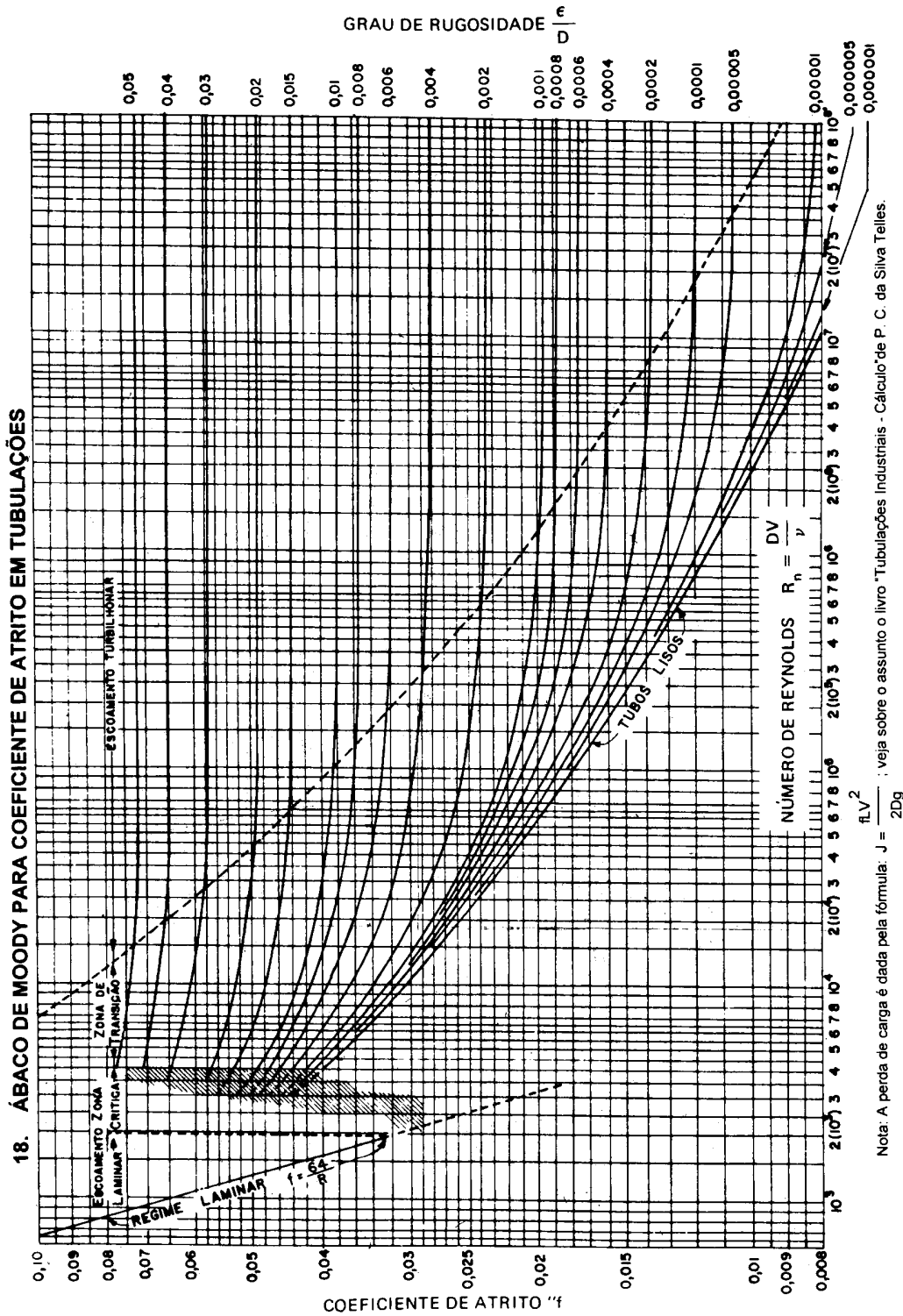
SE O MOVIMENTO VERTICAL δ_1 FOR SUPERIOR A $\delta_{m\acute{a}x}$. SERÁ NECESSÁRIO O EMPREGO DE UM SUPORTE MÓVEL NO PONTO "B"

$$\delta_{m\acute{a}x.} = \frac{10^7 qL^4}{24EI} \quad \text{onde:}$$

- $\delta_{m\acute{a}x.}$ = deslocamento vertical máximo (mm)
- q = peso do tubo, incluindo fluido, isolamento etc. (Kgf/m)
- L = vão entre os suportes (m)
- E = módulo de elasticidade do material na temperatura considerada (Kgf/cm²) – (ANEXO 5 DA AULA 9)
- I = momento de inércia da seção transversal do tubo (cm⁴)

AULA 9

Referente aos Capítulos 1,2 e 3 do
Segundo Volume Livro Texto

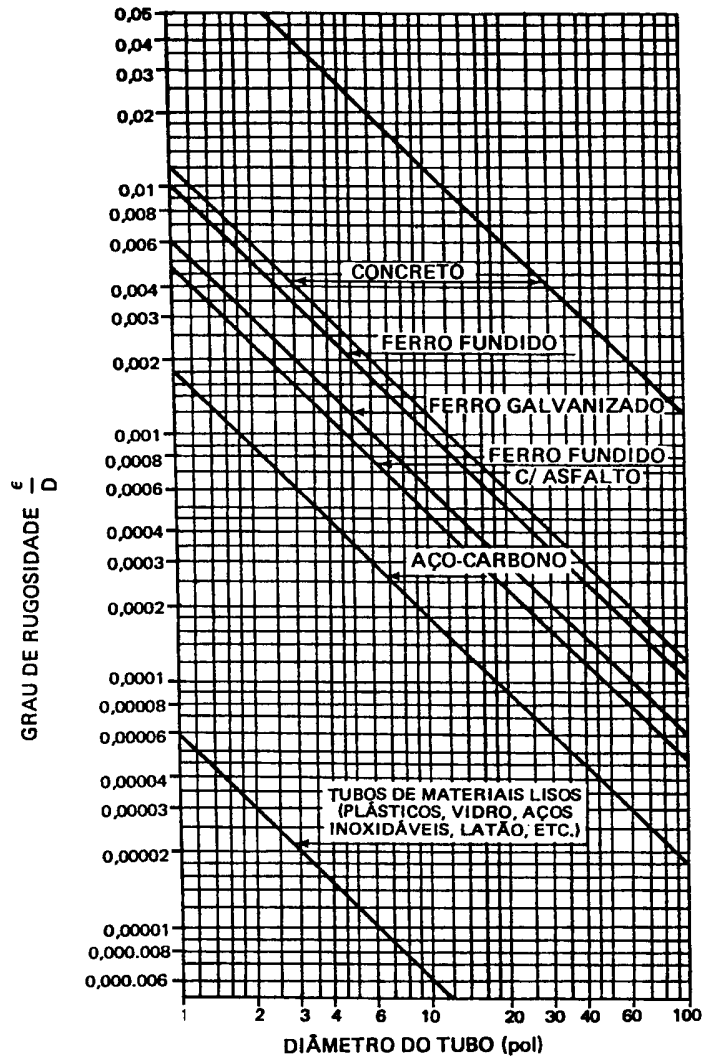


60

ANEXO 1 – Livro de Tabelas (pág. 60)

Folha 1 de 2

19. GRAU DE RUGOSIDADE DE TUBOS



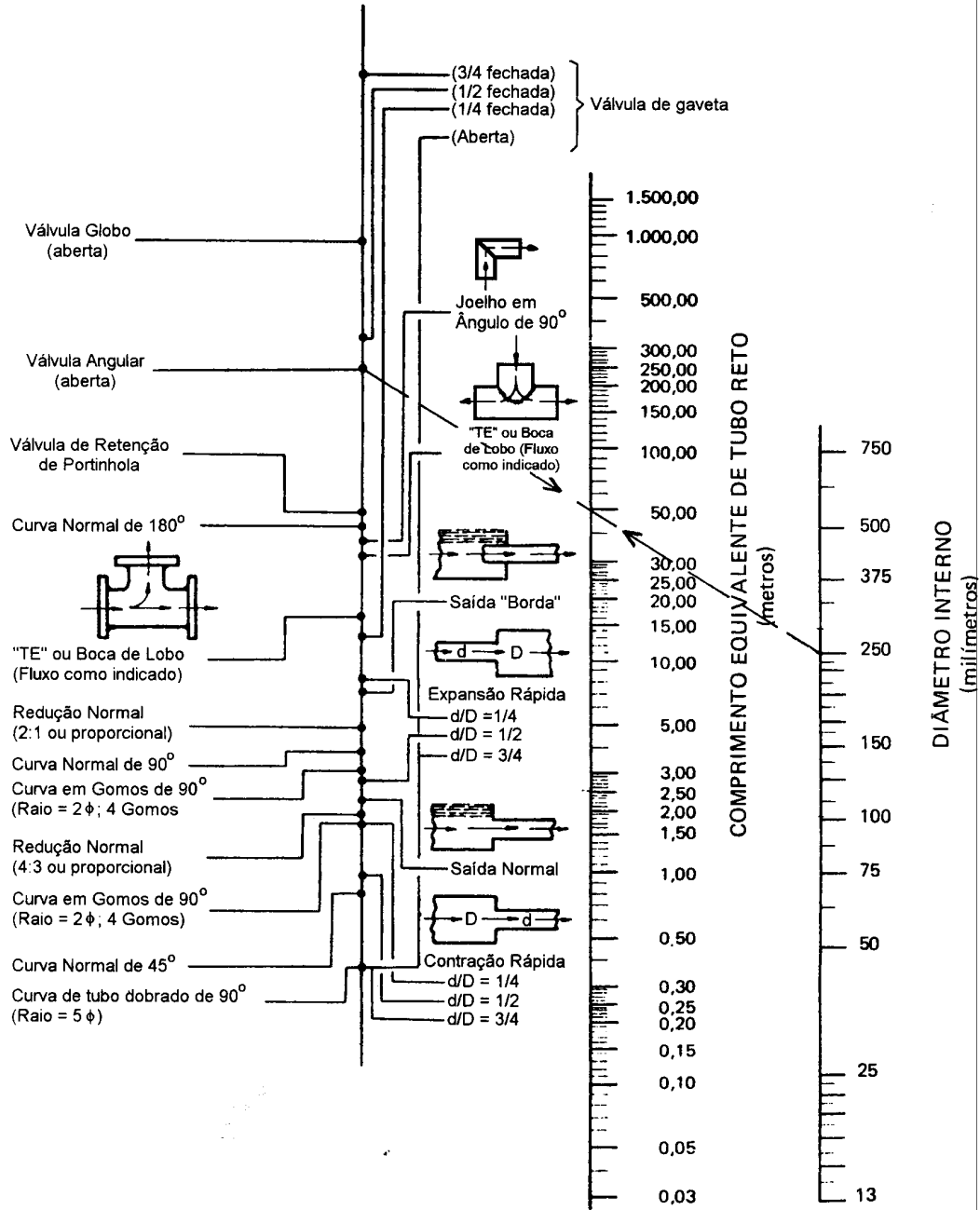
20. VAZÕES E DECLIVIDADES PARA TUBOS DE ESGOTO

Diâmetro nominal do tubo (pol.)	Velocidade mínima 0,9 m/s		Velocidade máxima 1,5 m/s	
	Vazão (l/s)	Declividade (cm/m)	Vazão (l/s)	Declividade (cm/m)
4	7,57	1,70	12,62	4,40
6	16,40	1,10	28,39	2,70
8	30,29	0,76	50,48	2,00
10	47,32	0,60	78,87	1,50
12	69,41	0,48	113,58	1,20
14	105,69	0,36	176,68	0,90
16	119,89	0,33	201,92	0,86
18	154,59	0,29	258,71	0,77
20	189,30	0,26	315,50	0,67
24	265,02	0,20	479,56	0,60

Nota: Os valores acima são obtidos da fórmula de Manning, e supõe os tubos com seção plena.

ANEXO 1 – Livro de Tabelas (pág. 61)
Folha 2 de 2

21. PERDA DE CARGA EM VÁLVULAS, CONEXÕES E OUTROS ACIDENTES
COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

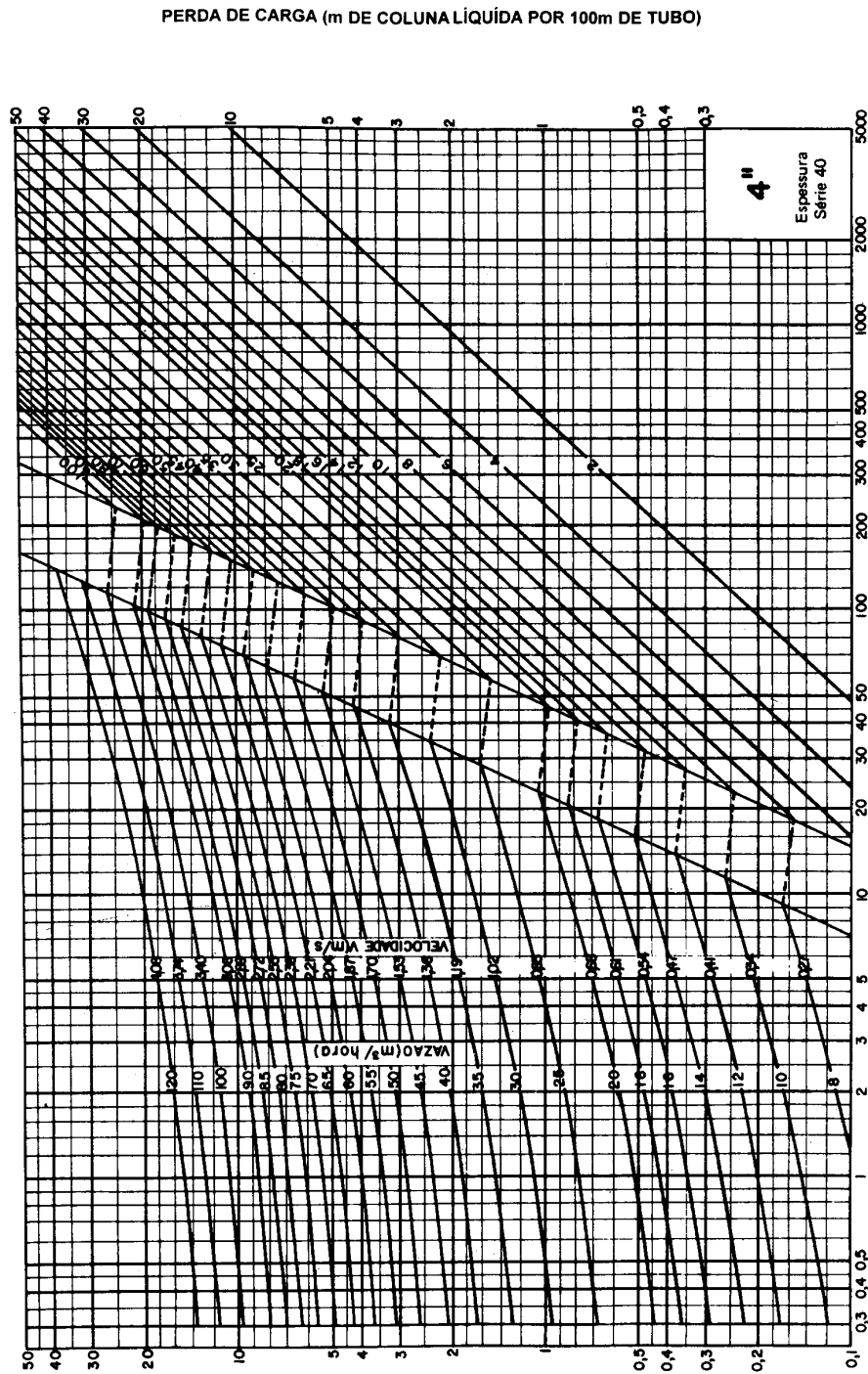


Nota: 1. Veja Tabela 5, para a correspondência entre os "DIÂMETROS NOMINAIS" e os "DIÂMETROS INTERNOS" dos tubos. Observe-se que para tubos de grande espessura esses dois valores diferem bastante entre si.
2. As "CURVAS NORMAIS" têm o raio médio igual a uma vez e meia o "DIÂMETRO NOMINAL".
3. Os valores de perda de carga para as válvulas são valores médios. A perda de carga verdadeira poderá variar bastante dependendo do fabricante da válvula.

ANEXO 2 – Livro de Tabelas (pág. 62)

Folha 1 de 1

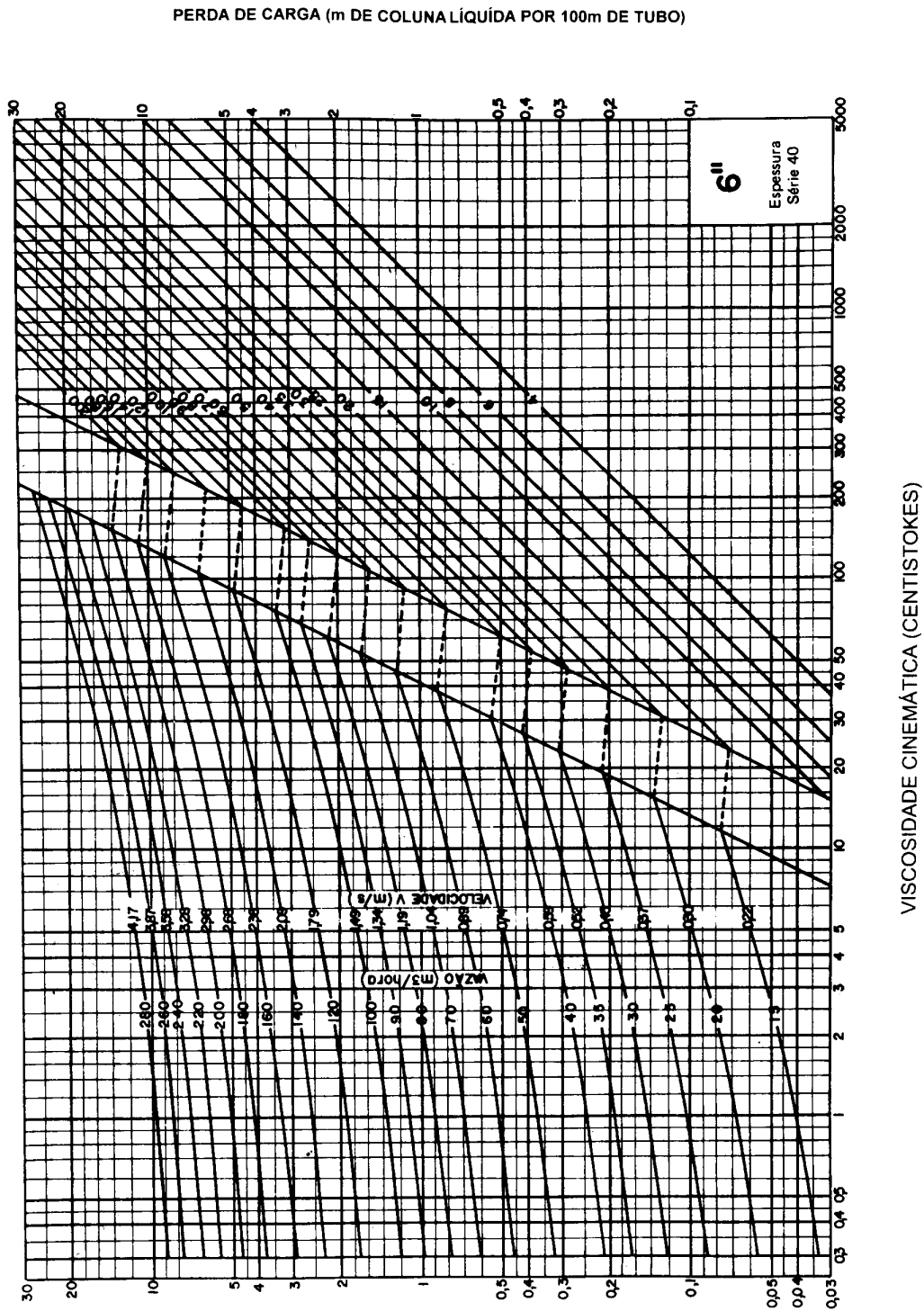
13. GRÁFICOS PARA CÁLCULO DA PERDA DE CARGA EM TUBOS PARA LÍQUIDOS
(Aplicáveis para tubos novos de aço - qualquer tipo de aço)



VISCOSIDADE CINEMÁTICA (CENTISTOKES)

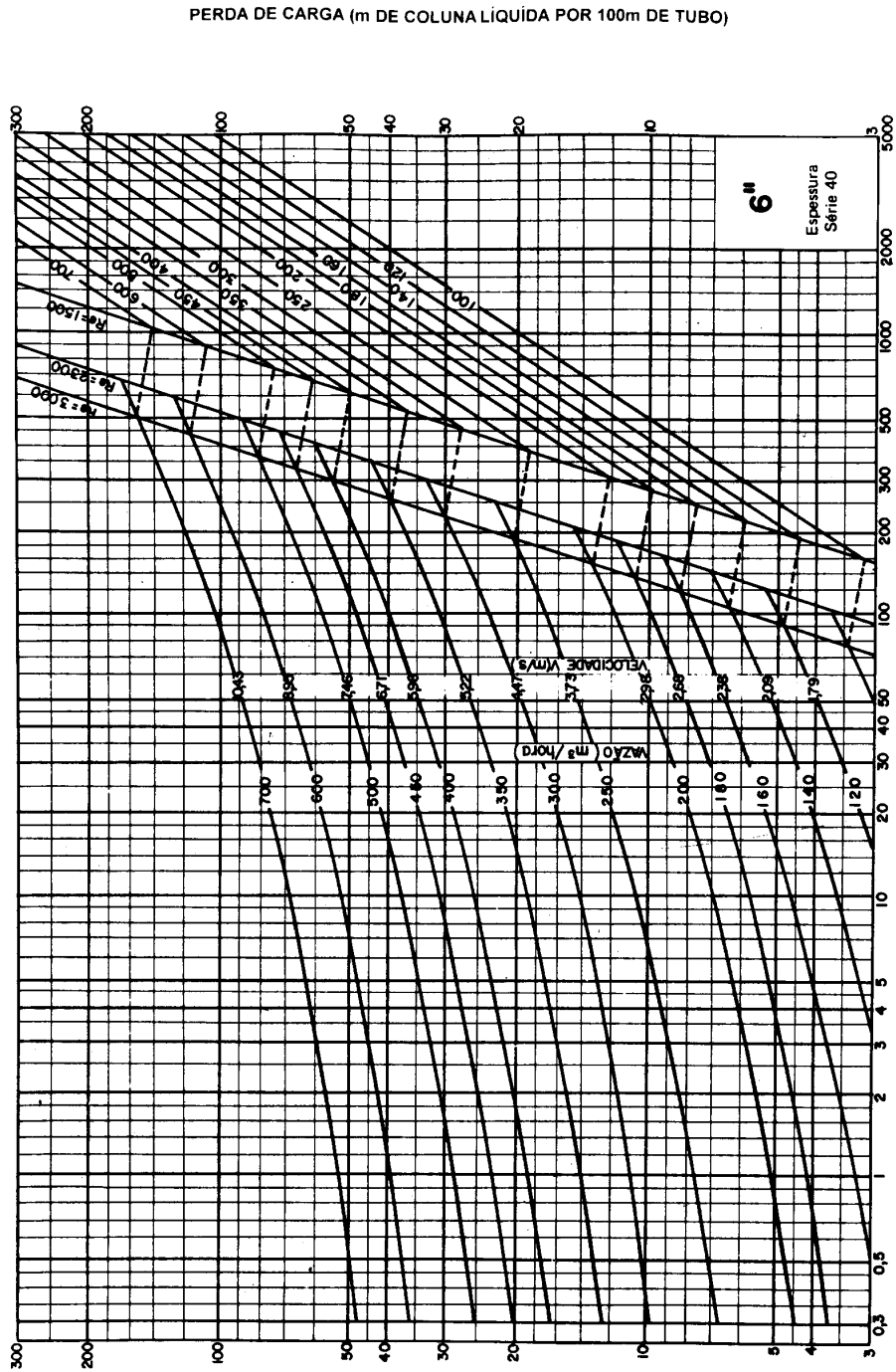
ESTE GRÁFICO É DE PROPRIEDADE DA "SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM MAATSCHAPPIJ B. V." - REPRODUZIDO COM PERMISSÃO

13. GRÁFICOS PARA CÁLCULO DA PERDA DE CARGA EM TUBOS PARA LÍQUIDOS
(Aplicáveis para tubos novos de aço - qualquer tipo de aço)



ANEXO 3 – Livro de Tabelas (pág. 35)
Folha 2 de 3

13. GRÁFICOS PARA CÁLCULO DA PERDA DE CARGA EM TUBOS PARA LÍQUIDOS
(Aplicáveis para tubos novos de aço - qualquer tipo de aço)



VISCOSIDADE CINEMÁTICA (CENTISTOKES)

ESTE GRÁFICO É DE PROPRIEDADE DA "SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM MAATSCHAPPIJ B. V." - REPRODUZIDO COM PERMISSÃO

29. TENSÕES ADMISSÍVEIS PARA AÇOS PARA TUBOS
29.1 De acordo com a norma ANSI/ASME B. 31.1, para Tubulações em Centrais de Vapor (continuação)

(Para limites de temperatura veja Tabelas 27). (Veja Notas na pág. 87)

b) Tensões admissíveis em MPa (veja Nota 1) (Para tensões admissíveis em kg/cm², veja pág. 86)

Tipo de material	Especificação de material e grau (de acordo com ASTM ou API)	Temperatura do metal (°C)																		
		38	93	149	204	260	316	343	371	399	427	454	482	510	538	566	593	621	649	
Aço-carbono (sem costura)	A - 53 Gr A	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	80,7	73,8	62,0					
	A - 106 Gr A	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	80,7	73,8	62,0					
	API - 5L Gr A	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7	80,7	73,8	62,0					
	A - 53 Gr-B	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	99,3	89,6	74,5					
	A - 106 Gr B	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	99,3	89,6	74,5					
Aço-carbono (solda por resistência elétrica)	API - 5L Gr B	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	99,3	89,6	74,5					
	A - 120	74,5	73,1	70,3	67,5															
Aço-carbono (solda elétrica por arco protegido) (v. nota 3)	A - 53 Gr A (ERW)	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	68,3	62,7	53,1					
	API - 5L Gr A (ERW)	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	70,3	66,3	62,7	52,4					
	A - 53 Gr B (ERW)	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	84,1	75,8	63,4					
	API - 5L Gr B (ERW)	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	88,2	84,1	75,8	63,4					
	A - 671 - CA 55	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	91,7	83,4	70,3					
Aços de baixa liga (sem costura)	A - 672 - A 55, C 55	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	91,7	83,4	70,3					
	A - 671 - CB 60, CC 60	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	99,3	89,6	74,5					
	A - 672 - B 60, C 60	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	99,3	89,6	74,5					
	A - 671 - CB 70, CC 70	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	114,4	102,0	82,7					
	A - 672 - B 70, C 70	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	114,4	102,0	82,7					
Aços de baixa liga (solda elétrica por arco protegido)	API - 5L Gr A (EFW)	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5	74,5	72,4	66,2	55,8					
	API - 5L Gr B (EFW)	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	89,6	80,1	66,9					
	A - 335 Gr P - 1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	95,1	93,1					
	A - 335 Gr P - 5	103,4	103,4	103,4	103,4	100,0	96,5	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5	92,4	90,3	86,2					
	A - 335 Gr P - 7	103,4	103,4	103,4	103,4	100,0	96,5	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5	92,4	90,3	86,2					
Aços de baixa liga (solda elétrica por arco protegido)	A - 335 Gr P - 9	103,4	103,4	103,4	103,4	100,0	96,5	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5	92,4	90,3	86,2					
	A - 335 Gr P - 11	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4					
	A - 335 Gr P - 12	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	102,0					
	A - 335 Gr P - 22	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4					
	A - 691 CM 65	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	111,7	108,9	105,5				
Aços de baixa liga (solda elétrica por arco protegido)	A - 691 CM 70	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	120,7	117,9	116,5				
	A - 691 (1 ½ Cr)	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4					
	A - 691 (2 ¼ Cr)	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4					
	A - 691 (5 Cr)	103,4	103,4	103,4	103,4	100,0	96,5	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5	92,4	90,3	88,2					

* (veja Nota 3)

29. TENSÕES ADMISSÍVEIS PARA AÇOS PARA TUBOS
29.1 De acordo com a norma ANSI/ASME B. 31.1, para Tubulações em Centrais de Vapor (continuação)

(Para limites de temperatura veja Tabelas 27) (Veja Notas na pág. 87)
 b) Tensões admissíveis em MPa (veja Nota 1) (Para tensões admissíveis em kg/cm², veja pág. 86)

Tipo de material	Especificação de material e grau (de acordo com ASTM)	Temperatura do metal (°C)																	
		38	93	149	204	260	316	343	371	399	427	454	482	510	538	566	593	621	649
Aços inoxidáveis (sem costura)	A - 312 TP 304, TP 304H	129,6	122,7	114,4	111,7	108,6	108,6	109,6	109,6	107,5	104,8	102,7	101,3	99,3	95,1	84,1	67,6	53,1	42,0
	A - 312 TP 304L	108,2	108,2	105,5	101,3	99,3	96,5	94,5	93,1	91,7	89,6								
	A - 312 TP 310	129,6	118,6	113,1	109,6	106,9	105,5	104,8	104,1	103,4	102,7	100,7	95,8	86,2	75,8	67,6	58,2	50,3	41,4
	A - 312 TP 316, TP 316H	129,6	129,6	126,9	124,8	124,1	117,2	115,1	112,4	111,0	109,6	108,2	107,5	106,2	105,5	100,0	85,5	67,6	51,0
	A - 312 TP 316L	108,2	108,2	108,2	106,9	99,3	93,1	91,0	88,9	86,9	85,5	83,4							
	A - 312 TP 321	129,6	126,9	119,3	117,9	117,9	113,1	111,0	108,9	108,2	106,9	106,2	105,5	104,8	96,1	66,2	47,6	34,5	24,8
Aços inoxidáveis (solda elétrica protegido)	A - 312 TP 347	129,6	123,4	113,1	106,9	102,7	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	100,7	96,5	83,4	62,7	42,0	30,3
	A - 268 TP 405, TP 430	103,4	98,6	95,1	91,7	88,9	85,5	84,8	83,4										
	A - 268 TP 410	103,4	98,6	95,1	91,7	88,9	85,5	84,8	83,4										
	A - 268 TP 446	120,7	111,0	111,0	107,5	103,4	100,0	98,6	97,2										
	A - 312 TP 304, TP 304H	110,3	104,1	97,2	95,1	93,1	93,1	93,1	93,1	91,0	88,9	87,6	86,2	84,1	80,7	71,7	57,2	45,5	35,8
	A - 312 TP 304L	91,7	91,7	89,6	86,2	84,8	82,0	80,7	79,3	77,9	76,5								
Aços inoxidáveis (solda elétrica protegido)	A - 312 TP 310	116,5	100,7	96,5	93,1	91,0	89,6	88,9	88,9	88,2	87,6	85,5	81,4	73,1	64,8	41,4			
	A - 312 TP 316, TP 316H	110,3	110,3	107,5	106,2	105,5	100,0	97,9	95,8	94,5	93,1	92,4	91,0	90,3	89,6	84,8	73,1	57,2	43,4
	A - 312 TP 316L	91,7	91,7	91,7	91,0	84,8	79,3	77,2	75,1	73,8	72,4	71,0							
	A - 312 TP 321	110,3	107,6	101,3	100,7	100,7	95,8	94,5	93,1	91,7	91,0	90,3	89,6	88,9	81,4	56,5	40,7	29,6	21,4
	A - 312 TP 347	110,3	104,8	96,5	91,0	87,6	86,2	86,2	86,2	86,2	86,2	86,2	86,2	85,5	82,0	71,0	53,8	35,8	26,2
	A - 268 TP 405, TP 410, TP 430	88,2	84,1	84,1	77,9	75,1	73,1	71,7	71,0										
A - 268 TP 446	102,7	97,9	94,5	91,7	88,2	84,8	84,1	82,7											

29. TENSÕES ADMISSÍVEIS PARA AÇOS PARA TUBOS
29.2 De acordo com a norma ANSI/ASME B. 31.3, para Tubulações em Indústrias Químicas e Refinarias de Petróleo
 (Veja Notas na pág. 94)
 a) Tensões admissíveis em kg/cm² (veja Nota 1) (Para tensões admissíveis em MPa, veja pág. 92)

Tipo de material	Especificação de material e grau (de acordo com ASTM ou API)	Temperatura do metal (°C)															
		38	93	149	204	260	316	343	371	399	427	454	482	510	538	566	593
Aço-carbono (sem costura ou com costura)	A - 53 Gr A	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.040	1.019	1.012	752	654	555	457	316	176	112	70
	A - 106 Gr A	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.040	1.019	1.012	752	654	555	457	316	176	112	70
	API - 5L Gr A	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.040	1.019	1.012	752	654	555	457	316	176	112	70
	A - 135 Gr A	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.040	1.019	1.012	752	654	555	457	316	176	112	70
	A - 53 Gr B	1.406	1.406	1.406	1.406	1.329	1.216	1.195	1.160	914	759	611	457	316	176	112	70
	A - 106 Gr B	1.406	1.406	1.406	1.406	1.329	1.216	1.195	1.160	914	759	611	457	316	176	112	70
	API - 5L Gr B	1.406	1.406	1.406	1.406	1.329	1.216	1.195	1.160	914	759	611	457	316	176	112	70
	A - 135 Gr B	1.406	1.406	1.406	1.406	1.329	1.216	1.195	1.160	914	759	611	457	316	176	112	70
	A - 333 Gr 6	1.406	1.406	1.406	1.406	1.329	1.216	1.195	1.160	914	759	611	457	316	176	112	70
	API 5L x 42	1.406	1.406	1.406													
API 5L x 42	1.476	1.476	1.476														
API 5L x 52	1.547	1.547	1.547														
A - 134 (285 C)	1.174	1.153	1.125	1.083	1.026	935	921	914	787	675	569	457					
A - 134 (283 B)	963	914	872														
A - 120	844	801															
A - 671 - CA 55	1.286	1.286	1.244	1.209	1.139	1.040	1.019	1.012	850	717	590	457	316	176	112	70	
A - 672 - A 55, C 55	1.286	1.286	1.244	1.209	1.139	1.040	1.019	1.012	850	717	590	457	316	176	112	70	
A - 671 - CB 60, CC 60	1.406	1.371	1.329	1.286	1.216	1.111	1.090	1.083	914	759	611	457	316	176	112	70	
A - 672 - B 60, C 60	1.406	1.371	1.329	1.286	1.216	1.111	1.090	1.083	914	759	611	457	316	176	112	70	
A - 671 - CB 70, CC 70	1.638	1.624	1.582	1.525	1.441	1.314	1.294	1.286	1.040	844	654	457	316	176	112	70	
A - 672 - B 70, C 70	1.638	1.624	1.582	1.525	1.441	1.314	1.294	1.286	1.040	844	654	457	316	176	112	70	

* (veja Nota 3)

29. TENSÕES ADMISSÍVEIS PARA AÇOS PARA TUBOS
29.2 De acordo com a norma ANSI/ASME B. 31.3, para Tubulações em Indústrias Químicas e Refinarias de Petróleo (continuação)

(Veja Notas na pág. 94)

a) Tensões admissíveis em kg/cm² (veja Nota 1) (Para tensões admissíveis em MPa, veja pág. 92)

Tipo de material	Especificação de material e grau (de acordo com ASTM)	Temperatura do metal (°C)																								
		38	93	148	204	260	316	343	371	399	427	454	482	510	538	566	593	621	649	677	704	732	760	788	816	
Aços de baixa liga	A - 333 Gr 3 e Gr 7	1.526	1.378	1.378	1.315	1.251	1.181	1.146	1.090	977	801	633	457	316	176	112	70									
	A - 335 Gr P - 1	1.287	1.287	1.230	1.118	1.146	1.104	1.803	1.062	970	949	928	893	893	893	893	893									
	A - 335 Gr P - 5	1.406	1.273	1.223	1.209	1.202	1.181	1.167	1.146	928	900	851	766	562	408	295	204	141	91							
	A - 335 Gr P - 7	1.406	1.273	1.223	1.209	1.202	1.181	1.167	1.146	928	900	851	766	562	408	295	204	141	84							
	A - 335 Gr P - 9	1.406	1.273	1.223	1.209	1.202	1.181	1.167	1.146	928	900	851	801	745	520	351	232	155	105							
	A - 335 Gr P - 11	1.406	1.315	1.265	1.230	1.209	1.174	1.139	1.097	1.069	1.055	1.019	900	773	548	387	281	176	84							
	A - 335 Gr P - 12	1.406	1.315	1.265	1.230	1.209	1.174	1.139	1.097	1.069	1.055	1.019	900	773	527	351	197	112	70							
	A - 335 Gr P - 22	1.406	1.301	1.265	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.069	1.019	900	773	548	408	295	211	141						
	A - 691 CM 65	1.526	1.526	1.526	1.455	1.406	1.357	1.308	1.146	1.111	1.076	963	576	337												
	A - 691 CM 70	1.638	1.638	1.538	1.582	1.526	1.469	1.441	1.413	1.230	1.202	963	576	337												
Aços inoxidáveis	A - 691 (1/2 Cr)	1.406	1.406	1.406	1.385	1.328	1.287	1.265	1.237	1.216	1.181	1.146	1.055	773	485	323	197	148	84							
	A - 691 (2 1/2 Cr)	1.406	1.301	1.265	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.069	1.019	900	773	548	408	295	211	141							
	A - 691 (5 Cr)	1.406	1.273	1.223	1.209	1.202	1.181	1.167	1.146	928	900	851	766	562	408	295	204	141	91							
	A - 312 TP 304, 304 H	1.406	1.406	1.406	1.315	1.230	1.153	1.139	1.125	1.097	1.069	1.048	1.026	1.012	970	858	682	541	422	330	280	204	162	126	98	
	A - 312 TP 304 L	1.174	1.174	1.174	1.111	1.040	1.005	963	949	935	914	900	837	696	548	443	358	281	224	183	147	119	77	70	63	
	A - 312 TP 310	1.406	1.406	1.406	1.406	1.406	1.350	1.322	1.287	1.265	1.230	1.026	977	879	773	499	351	253	176	105	56	35	28	21	14	
	A - 312 TP 316, 316 H	1.406	1.406	1.406	1.357	1.258	1.195	1.174	1.146	1.132	1.118	1.104	1.090	1.083	1.076	1.005	872	699	520	386	288	218	162	119	91	
	A - 312 TP 316 L	1.174	1.174	1.174	1.090	1.012	949	928	907	886	872	851	830	808	787	759	717	619	450	330	246	176	126	91	70	
	A - 312 TP 321	1.406	1.406	1.406	1.308	1.230	1.153	1.132	1.111	1.104	1.090	1.076	1.069	1.062	970	875	485	351	253	183	119	77	56	35	21	
	A - 312 TP 347	1.406	1.406	1.406	1.406	1.399	1.357	1.308	1.301	1.287	1.083	1.048	1.005	984	851	640	429	309	232	154	105	84	63	56		
A - 268 TP 405	1.406	1.294	1.244	1.223	1.209	1.181	1.146	1.139	815	780	731	675	591	281												
A - 268 TP 410	1.406	1.294	1.244	1.223	1.209	1.181	1.146	1.139	815	780	731	675	591	450	308	204	126	70								
A - 268 TP 430	1.406	1.406	1.378	1.350	1.336	1.301	1.280	1.237	815	780	731	675	598	457	316	255	169	119								
A - 268 TP 446	1.638	1.638	1.505	1.434	1.364	1.294	1.265	1.230	1.188	1.139	1.062	914	478	316												

29. TENSÕES ADMISSÍVEIS PARA AÇOS PARA TUBOS**29.2. De acordo com a norma ANSI/ASME B. 31.3, para Tubulações em Indústrias Químicas e Refinarias de Petróleo (conclusão)**

- Notas:
- Essas tensões admissíveis aplicam-se às tensões de tração e de flexão provenientes de cargas externas estáticas e permanentes (tensões primárias). Para outros tipos de tensões, veja a norma.
 - Para os tubos com costura os valores de tensões admissíveis já contém o fator de eficiência de solda, e portanto poderão ser empregados diretamente nos cálculos.
 - As tensões admissíveis das especificações A-671 e A-672 correspondem aos tubos de "Classe 12", isto é, sem tratamento térmico e com radiografia total da solda. Para a especificação A-691, as tensões admissíveis correspondem à "Classe 22", isto é, com tratamento térmico de alívio de tensões e com radiografia total da solda.
 - Para composição química, limites de temperatura, e outras propriedades dos materiais que constam nesta tabela, veja Tabelas 27.
 - Permite-se a interpolação para valores intermediários da temperatura.

29.3. De acordo com a Norma ANSI B. 31.4, para Oleodutos

Especificação de material e grau (De acordo com ASTM ou API)	Tensões admissíveis	
	kg/cm ²	MPa
A - 53 Gr A, A - 106 Gr A, API - 5L Gr A	1.519	148,9
A - 53 Gr B, A - 106 Gr B, API - 5L Gr B	1.772	173,8
API - 5LX Gr X42	2.127	208,6
API - 5LX Gr X46	2.327	228,2
API - 5LX Gr X52	2.633	258,2
API - 5LX Gr X56	2.833	277,8
API - 5LX Gr X60	3.037	297,8
API - 5LX Gr X65	3.290	322,6
API - 5LX Gr X70	3.544	347,5

- Notas:
- Essas tensões admissíveis aplicam-se aos tubos sem costura e aos tubos com costura obtidos por solda de resistência elétrica ou por solda de arco protegido.
 - Para os tubos com costura as tensões admissíveis já contém o fator de eficiência de solda, e portanto podem ser empregados diretamente nos cálculos.
 - Essas tensões admissíveis só podem ser empregados para temperatura até 120° C.

MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS METAIS

