



FENÔMENOS DE TRANSPORTE: Diâmetro Econômico

Prof. Felipe Corrêa
maio/2016

8.3 VELOCIDADE E DIÂMETRO ECONÔMICO

A escolha do diâmetro da tubulação deve levar em consideração os parâmetros econômicos e a disponibilidade de diâmetros dos tubos comerciais.

Na escolha do diâmetro, dois fatores são importantes:

O **custo da tubulação** a ser instalada (custos fixos ou depreciação do investimento inicial). Este custo aumenta a medida que se escolhe diâmetros maiores.

O **custo operacional do sistema**, ou seja, a energia gasta no bombeamento do fluido diminui com o aumento do diâmetro da tubulação (custos operacionais).

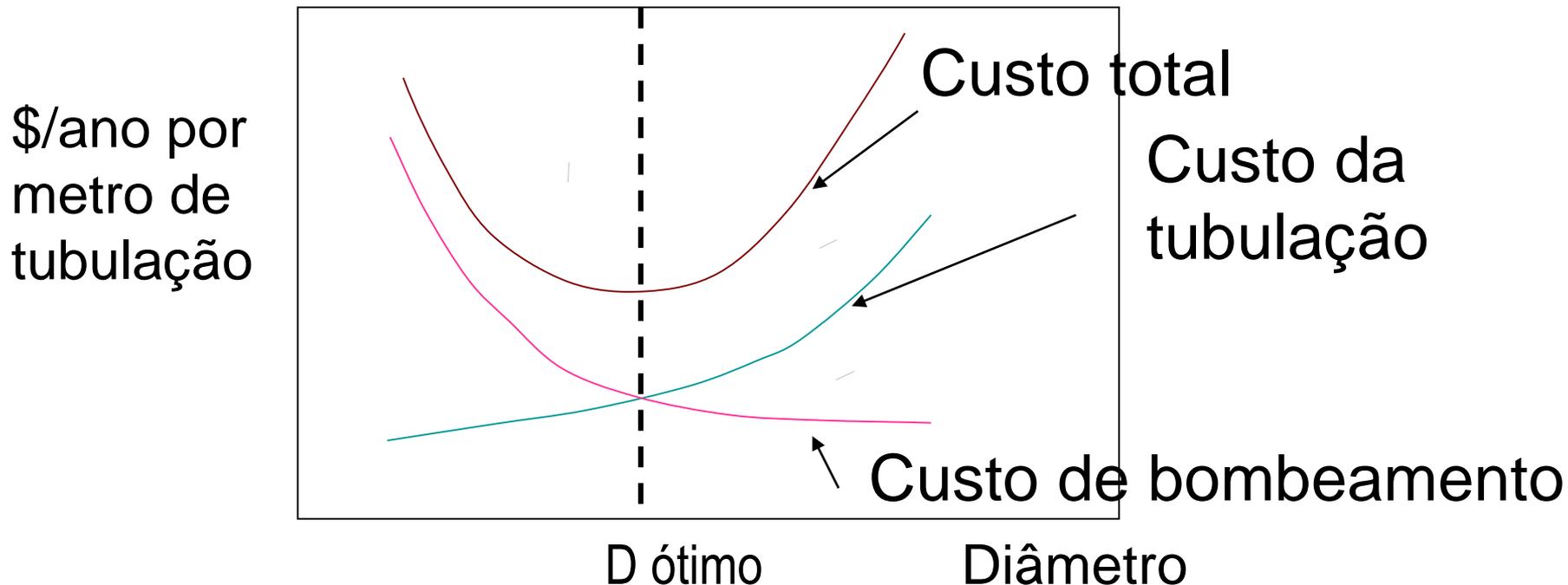


Figura: *Determinação do diâmetro ótimo*

A soma dos custos fixos mais os operacionais apresenta um valor mínimo que é denominado **diâmetro econômico**, aquele que minimiza os custos totais de uma tubulação.

O diâmetro econômico pode ser determinado através de duas metodologias:

- 1. Através de equações obtidas da derivação da equação resultante da soma dos custos fixos e dos operacionais.** Este método exige dados reais de tubulações e a obtenção de equações, porém fornece o verdadeiro valor do diâmetro ótimo. No caso de sistemas complexos de alto custo, este método é o método a ser seguido.
- 2. Através da velocidade aconselhável ou **velocidade econômica**.** Este método é adequado para pequenas e médias instalações e será o método que usaremos nesta disciplina.

Obtenção do diâmetro econômico através da equação de custos mínimos

Solução para fluidos newtonianos:

Denn, M.M.(1980) *Process fluid mechanics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Solução para fluidos newtonianos, da lei da potência e plásticos de Bingham

Darby, R. & Melson, J.D. (1982). Direct determination of optimum economic pipe diameter for non-Newtonian fluids, *J. Pipelines*, **2**, 11-21.

Solução para fluidos Herschel-Bulkley

Garcia, E.J. & Steffe, J.F. (1986) Optimum economic pipe diameter for pumping Herschel-Bulkley fluids in laminar flow, *Journal of Food Process Engineering*, **8**, 117-136.

Obtenção do diâmetro econômico através da velocidade econômica

Usa-se a **velocidade aconselhada** para um dado regime de escoamento, considerando a **viscosidade** ou a **densidade**. Com essa velocidade calcula-se o diâmetro.

Este método se baseia no fato de que as velocidades de fluidos que escoam em tubos com diâmetros econômicos, estão dentro de uma estreita faixa de valores.

Esses valores de velocidade variam em função da **densidade**, quando o escoamento é **turbulento** e da **viscosidade**, quando o regime é **laminar**.

Tabela: Valores de velocidade econômica para tubos com diâmetro igual ou inferior a 4 polegadas.

Escoamento Laminar

		óleo	Líquido viscoso
μ (cP)	10	100	1000
v (m/s)	1	0,3 - 0,8	0,1 - 0,24

Escoamento Turbulento

					água	
ρ (kg/m ³)	0,12	1,2	12	800	1200	
v (m/s)	12,5 - 15,5	5,5 - 7,7	3,2 - 4,0	1,6 - 2,0	0,79 - 1,0	

Escolhida a **velocidade aconselhável** através da tabela anterior, para um fluido de densidade ou viscosidade conhecidas, o diâmetro econômico será obtido pela expressão:

$$D_{eco} = \sqrt{\frac{4Q_m}{\pi\rho v_{eco}}} = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi v_{eco}}}$$

Após o cálculo do **diâmetro econômico**, se consulta o catálogo de tubulações para determinar a dimensão real do tubo. O **diâmetro escolhido** corresponde a um dos diâmetros-padrão e gera a **velocidade efetiva**.

Regra prática para a determinação do diâmetro ótimo (válido para linhas de recalque):

A partir do diâmetro econômico calculado, procura-se em tabelas de tubulações comerciais o valor do diâmetro interno mais próximo.

No caso das linhas de recalque, pode-se escolher o valor do diâmetro interno igual ou inferior ao diâmetro econômico.

No caso de linhas de sucção devemos usar outro critério, pois a perda de carga na sucção é crítica e precisamos escolher diâmetros maiores que o diâmetro econômico. E, também, linhas de comprimento com o menor comprimento possível.

Exemplo: Diâmetro econômico

Deseja-se transportar óleo de soja a uma vazão de 1,72 litros/s.

- Qual diâmetro de tubulação deve ser empregado?
- Qual a velocidade real do sistema?

Dados:

$$\rho = 0,95 \text{ g/cm}^3 = 950 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,0336 \text{ kg/m.s}$$

Supondo regime turbulento para o fluido newtoniano, com o auxílio da tabela abaixo podemos **estimar uma velocidade econômica de 1,5 m/s.**

$$\rho = 0,95 \text{ g/cm}^3 = 950 \text{ kg/m}^3$$

ρ (kg/m ³)	0,12	1,2	12	800	1200
v_{eco} (m/s)	12,5 - 15,5	5,5 - 7,7	3,2 - 4,0	1,6 - 2,0	0,79 - 1,0

O diâmetro econômico é calculado por:

$$D_{eco} = \sqrt{\frac{4Q_m}{\pi\rho v_{eco}}} = \sqrt{\frac{4Q_V}{\pi v_{eco}}}$$

$$D_{eco} = 3,82 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D_{eco} = 1,5 \text{ in}$$

Agora, devemos verificar se nossa suposição inicial (regime de escoamento **turbulento**) está correta:

$$Re = Dv\rho/\mu$$

$Re > 4000 =$ regime turbulento

$$Re = 1620$$

Regime laminar!

Suposição inicial não satisfeita !

Recalcular como regime laminar !

Supondo regime laminar para o fluido newtoniano, com o auxílio da tabela abaixo podemos **estimar uma velocidade econômica de 0,9 m/s** (lembrando que $0,0336 \text{ kg/m.s} = 33,6 \text{ cP}$).

				
		$\mu = 33,6 \text{ cP}$		
$\mu \text{ (cP)}$	10		100	1000
$v_{eco} \text{ (m/s)}$	1		0,3 - 0,8	0,1 - 0,24

O diâmetro econômico é calculado por:

$$D_{eco} = \sqrt{\frac{4Q_m}{\pi\rho v_{eco}}} = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi v_{eco}}}$$

$$D_{eco} = 4,93 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D_{eco} = 1,94 \text{ in}$$

Agora, devemos verificar se nossa suposição inicial (regime de escoamento laminar) está correta:

$$Re = Dv\rho/\mu$$

$Re < 2300 =$ regime laminar

Re = 1254 Considera-se regime laminar !

Suposição inicial satisfeita !

Agora, pode-se escolher um diâmetro comercial através de um catálogo.

Dimensão nominal do tubo, in	Diâmetro externo, in	Série n.º	Espessura da parede, in	Diâmetro interno, in
1/8	0,405	40	0,068	0,269
		80	0,095	0,215
1/4	0,540	40	0,088	0,364
		80	0,119	0,302
3/8	0,675	40	0,091	0,493
		80	0,126	0,423
1/2	0,840	40	0,109	0,622
		80	0,147	0,546
3/4	1,050	40	0,113	0,824
		80	0,154	0,742
1	1,315	40	0,133	1,049
		80	0,179	0,957
1 1/4	1,660	40	0,140	1,380
		80	0,191	1,278
1 1/2	1,900	40	0,145	1,610
		80	0,200	1,500
2	2,375	40	0,154	2,067
		80	0,218	1,939

$$D_{eco} = 4,93 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D_{eco} = 1,94 \text{ in}$$



Tubo selecionado, considerando série 80:

$$D_{interno} = 1,939 \text{ in} = 0,04925 \text{ m}$$

$$D_{nominal} = 2 \text{ in} = 0,05080 \text{ m}$$

Cálculo da velocidade real do sistema:

A vazão é conhecida e não se altera: $Q = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$

Então, a velocidade real é obtida com: $\bar{v} = \frac{\dot{Q}}{A}$

Onde, para o cálculo da área usa-se o diâmetro interno do tubo comercial selecionado: $D_{\text{interno}} = 1,939 \text{ in} = 0,04925 \text{ m}$

Velocidade real = 0,903 m/s

Exercício para fazer em sala e entregar:

Deseja-se transportar um fluido a uma vazão de 3 litros/s.

- Qual diâmetro de tubulação deve ser empregado?
- Qual a velocidade real do sistema?

Dados:

$$\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 10 \text{ cP}$$

Tabela: tubos comerciais

Dimensão nominal do tubo, in	Diâmetro externo, in	Série n.º	Espessura da parede, in	Diâmetro interno, in
1/8	0,405	40	0,068	0,269
		80	0,095	0,215
1/4	0,540	40	0,088	0,364
		80	0,119	0,302
3/8	0,675	40	0,091	0,493
		80	0,126	0,423
1/2	0,840	40	0,109	0,622
		80	0,147	0,546
3/4	1,050	40	0,113	0,824
		80	0,154	0,742
1	1,315	40	0,133	1,049
		80	0,179	0,957
1 1/4	1,660	40	0,140	1,380
		80	0,191	1,278
1 1/2	1,900	40	0,145	1,610
		80	0,200	1,500
2	2,375	40	0,154	2,067
		80	0,218	1,939
2 1/2	2,875	40	0,203	2,469
		80	0,276	2,323
3	3,500	40	0,216	3,068
		80	0,300	2,900
3 1/2	4,000	40	0,226	3,548
		80	0,318	3,364

Outros métodos de determinação

- Eq. Bresse

- $D = K\sqrt{Q}$ $k \longrightarrow 0,7 \text{ a } 1,3$

- NBR-5626

- $D = 1,3\sqrt[4]{t}\sqrt{Q}$ $t = \frac{\text{tempo de uso}}{24 \text{ h}}$

- Eq. Forccheimer

- $D = 1,46 x^{0,25}\sqrt{Q}$ $x = \text{horas de uso no ano}$

