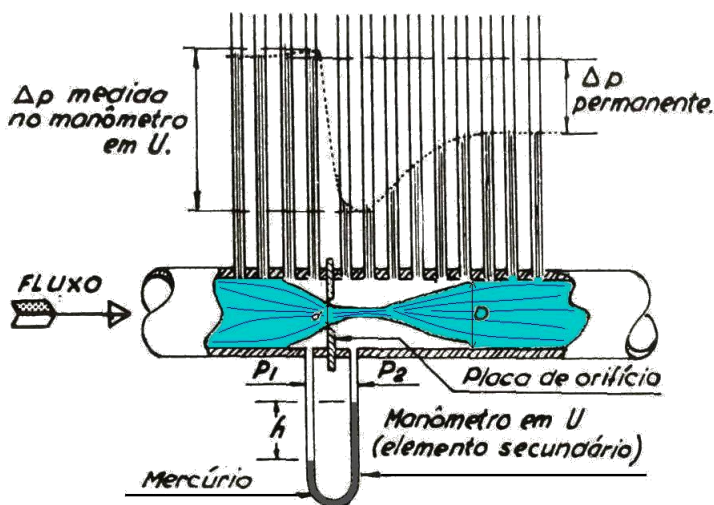


Dimensionamento de uma placa de orifício

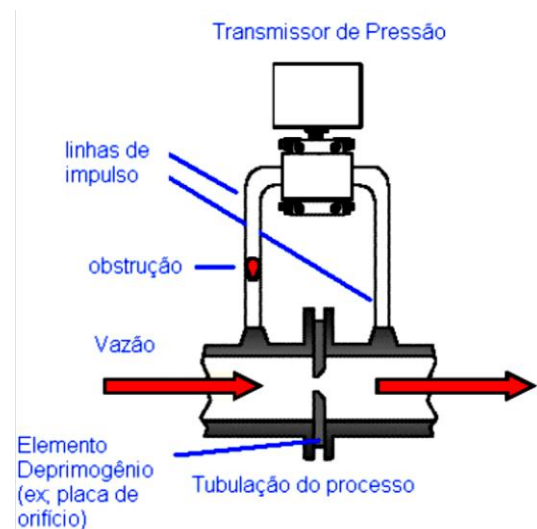
Henrique Brum*

Durante a seleção de assuntos para elaborar artigos para a EQ na Palma da Mão, me deparei com a data de aniversário da minha formatura. Fazendo um retrospecto, recordei que o primeiro trabalho que assinei como engenheiro foi o dimensionamento de uma placa de orifício. O método aqui apresentado é baseado totalmente em equações explícitas, evitando a necessidade de métodos numéricos de convergência ou métodos gráficos, o que facilita a sua alimentação em planilhas de cálculo.

Entre os diversos elementos de medição de vazão disponíveis e utilizados na indústria, um dos mais conhecidos e talvez o mais utilizado é a placa de orifício. De forma conceitual, são medidores deprimogênicos (que utilizam o princípio de pressão diferencial) primários de vazão instantânea (conforme NBR 10396). Se no interior de uma tubulação tiver uma restrição em qualquer ponto do fluxo, de acordo com a Lei de Bernoulli da conservação de energia, haverá um aumento da velocidade do fluido e uma redução na pressão estática. Ou seja, o que o fluido ganha em pressão dinâmica perderá em pressão estática. Ao passar pela restrição haverá uma recuperação parcial desta perda da pressão estática, mas haverá uma pequena perda permanente da mesma pressão.



Placa de orifício funcionando (Sighieri, 1973).



Montagem industrial típica com transmissor de pressão.

Os medidores deprimogênicos apresentam como vantagens um custo relativamente baixo, boa resistência (não possui peças móveis) e realizam medidas instantâneas. Como desvantagens, apresentam sensibilidade a distúrbios do escoamento e à qualidade da água, e inserem perda de carga na linha [Camargo 2009].

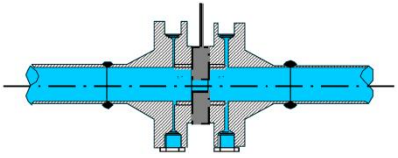
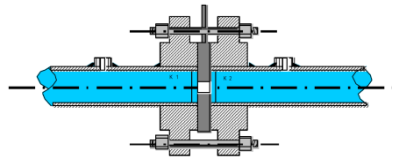
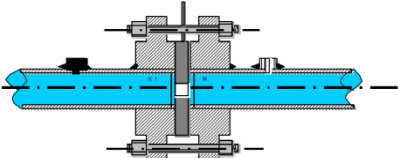
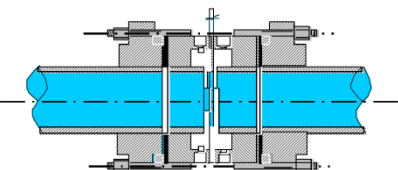
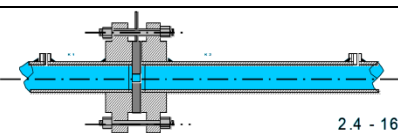
EQ na Palma da Mão

Para cálculo de uma aplicação específica de uma placa de orifício, é preciso conhecer os seguintes dados:

- Pressão e temperatura de trabalho no ponto de medição;
- Vazão de trabalho e vazão de cálculo;
- Quando a medição for de fluídos gasosos, deve-se obter a densidade deste na CNTP;
- Viscosidade;
- Umidade relativa quando for fluído gasoso;
- Pressão diferencial máxima desejada e perda de carga permanente aceitável;
- Diâmetro nominal e Schedule da linha;
- Material de tubulação;
- Posição das tomadas de pressão (na flange ou na tubulação)

Para a correta instalação existe muita divergência quanto ao comprimento do trecho a montante e a jusante do dispositivo. Usando o diâmetro interno da tubulação como unidade de medida, se exige que não seja menor do que 4:2, mas as referências mais sérias recomendam 10:5.

Tabela 01: Posições para convencionais para as tomadas de pressão

Denominação na literatura inglesa / em português	Normalmente utilizado em tubulações	Distância da tomada à face montante K1	Distância da tomada à jusante K2	Montagem
FLANGE TAPS / TOMADA NOS FLANGES	2" a 6"	1"	1"	
RADIUS TAPS / TOMADAS A D & ½D	≤ 6"	1D	½D	
VENA CONTRACTA TAPS	≤ 6"	½D A 2D	VER TABELA III.1 b ASME 1971	
CORNER TAPS / TOMADAS NOS CANTOS	¾" a 1½"	JUNTO	JUNTO	
PIPE TAPS / TOMADAS A 2½D & 8D	≤ 4"	2½D	8D	

EQ na Palma da Mão

A equação para determinação do fluxo através do orifício, a qual relaciona queda de pressão com fluxo mássico é:

$$Q = C_f \cdot a_o \cdot Y \cdot \sqrt{2 \cdot g_c \cdot \rho \cdot \Delta P} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q	=	Fluxo mássico	Kg _m /s	lb _m /s
C _f	=	Coeficiente de fluxo	Adimensional	Adimensional
a _o	=	Área do orifício	m ²	ft ²
Y	=	Fator de expansão do fluido	Adimensional	Adimensional
g _c	=	Gravidade para conversão	(m.Kg _m)/(Kgf.s ²)	(ft.lb _m)/(lb _f .s ²)
ΔP	=	Perda de carga do orifício	Kgf/m ²	lb _f /ft ²
ρ	=	Densidade do fluido	Kg _m /m ³	lb _m /ft ³

Definindo β como a razão entre o diâmetro do orifício (d_o) em relação ao diâmetro interno da tubulação (d) ficamos com:

$$\beta = \frac{d_o}{d} \therefore a_o = \frac{\pi \cdot \beta^2 \cdot d^2}{4} \quad \text{Equação 2}$$

Combinando e rearranjando as **Equações 2 e 1**, ficamos:

$$C_f \cdot \beta^2 = \frac{0,1587 \cdot Q}{d^2 \cdot Y \cdot \sqrt{\rho \cdot \Delta P}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde o fator de expansão do fluido, se gasoso pode ser obtido pela **Equação 4**, se líquido é igual a 1.

$$Y = \sqrt{r^{\frac{2}{k}} \cdot \left(\frac{k}{k-1}\right) \cdot \left(\frac{1-r^{\frac{k-1}{k}}}{1-r}\right) \cdot \left(\frac{1-\beta^4}{1-\beta^4 \cdot r^{\frac{2}{k}}}\right)} \therefore \begin{matrix} r = \frac{P_f}{P_i} \\ k = \frac{C_p}{C_v} \end{matrix} \quad \text{Equação 4}$$

Uma equação para C_f como função de β (0,25 ≤ β ≤ 0,72) e do Número de Reynolds (N_{Re}) é, segundo Buzzard, 1978:

$$C_f = 0,593 + 0,4 \cdot \beta^4 + \left(\frac{1,5 \cdot \sqrt{\beta} + 12\beta^4}{\sqrt{N_{Re}}} \right) \quad \text{Equação 5}$$

Resolvendo as equações na ordem contrária, obteremos todos os parâmetros. Entretanto, se houver uma limitação na ΔP, calcular o menor valor possível para d_o é muito mais difícil. Para isso, recombina-se as **Equações 5 e 3**, resultando na **equação implícita 6**.

$$\beta^2 = \frac{0,267 \cdot Q}{d^2 \cdot Y \cdot \sqrt{\rho \cdot \Delta P}} - 0,675 \cdot \beta^2 - \frac{\beta^2 \cdot (2,5 \cdot \sqrt{\beta} + 20\beta^4)}{\sqrt{N_{Re}}} \quad \text{Equação 6}$$

Como não pretendemos trabalhar com equações implícitas, e, ao se observar os dois últimos termos da **Equação 5**, nota-se que estes são muito menores que o primeiro, logo uma boa aproximação para β² é:

$$\beta^2 \equiv \frac{0,267 \cdot Q}{d^2 \cdot Y \cdot \sqrt{\rho \cdot \Delta P}} \quad \text{Equação 7}$$

EQ na Palma da Mão

Ao reescrevermos a **Equação 6** ficamos:

$$\beta = \sqrt{\beta_0^2 - 0,675 \cdot \beta^2 - \frac{\beta^2 \cdot (2,5 \cdot \sqrt{\beta} + 20 \cdot \beta^4)}{\sqrt{N_{Re}}}}$$

Equação 8




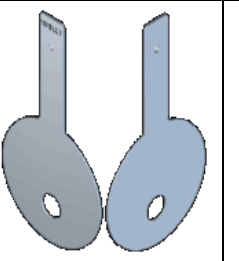
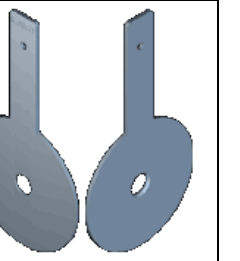
Usando β_0 calculado pela **Equação 6** como estimativa inicial para β na **Equação 8** frequentemente chega-se a um resultado aceitável. Melhores resultados em uma ampla faixa de valores para ΔP e N_{Re} , comparados com aqueles obtidos por apenas uma interação com **Equação 8**, podem ser obtidos pela média dos resultados da primeira passagem com **Equação 8** e β de **Equação 6**. Isto é dado por:

$$\beta = \frac{\beta_0}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - 0,675 \cdot \beta_0^4 - \frac{\beta_0^2 \cdot (2,5 \cdot \sqrt{\beta_0} + 20 \cdot \beta_0^4)}{\sqrt{N_{Re}}}} \right)$$

Equação 9

Com a adoção da **Equação 9** podemos obter um valor para o beta com um erro médio de menos de 1% em relação ao valor totalmente convergente.

Tabela 02: Tipos mais comuns de placas de orifício

Com entrada cônica	Com bordo quadrante	Orifício segmental	Excêntrica	Concêntrica
				
Líquidos e gases com alta viscosidade provocando nº de Reynolds baixo Para se reduzir resistência a fricção	Fluxos com Número de Reynolds entre 5000 e 10000. Nesta faixa, o coeficiente de descarga é bastante constante. São também utilizados para fluidos sujos e/ou pesados.	Mesmas aplicações do tipo de orifício excêntrico. Orifício é um segmento de círculo, de diâmetro igual a 98% do diâmetro do tubo.	Previne o depósito de partículas no caso de fluidos sujos. Pode ser montada em linhas horizontais ou verticais	Permite a medição de fluxo nos dois sentidos. Não recomendada para fluidos sujos. Se inevitável montar em linha vertical com fluxo ascendente.

EQ na Palma da Mão

Referências:

01. Perry, R.H., ET AL. eds., *Chemical Engineer's Handbook* 8th ed., McGraw-Hill N.Y., 2001, Cap 10.
02. CAMARGO, A. P.; 2009. **Desenvolvimento de um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga**, Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
03. Sighieri, L., Nishinari, A. **Controle Automático de Processos Industriais** - 2ª Edição, 1973, 248 pp.
04. Buzzard, W.S., *Flowmeter Orifice Sizing* (Handbook Nº 10B9000), Fisher and Porter Co., Warminster, Penn., 1978.
05. Telles, P.C.S, **Tubulações Industriais** – Cálculo, LTC, 9ª edição, 1999, 178 pp.

(*) Engenheiro Químico formado pela FURG e atua como Engenheiro de Processos da Gerência de Desenvolvimento de Processos da Vale Fertilizantes S.A. e é Diretor da Regional de SP da ABEQ.