

## MEDIDORES DE VAZÃO

Revisão: Maurício Trielli

### 1 – INTRODUÇÃO

Medidor de vazão é todo dispositivo que permite, de forma indireta, determinar o volume de fluido que passa através de uma dada seção de escoamento por unidade de tempo.

O princípio de funcionamento de um medidor de vazão pode ser baseado em um dos seguintes fundamentos:

- Pesagem;
- Efeito da força de arrasto;
- Equação da Energia.

#### a) Pesagem:

Baseia-se no fato de que a vazão pode ser determinada a partir do fluxo de massa que atravessa uma seção durante o intervalo de tempo. Os instrumentos necessários para efetuar este tipo de medição são uma balança e um cronômetro.

O método apresenta como restrições:

- a necessidade de se desviar o fluxo;
- a medição não é instantânea, isto é, requer tempo para que uma amostra de fluido seja coletada.

#### b) Efeito da força de arrasto:

Baseia-se no fato da força de arrasto ser proporcional ao quadrado da velocidade média do escoamento na seção. Um dispositivo que emprega este método é denominado “Rotâmetro”.

O Rotâmetro (ver fig.1) é constituído por um tubo transparente cônico graduado, por onde escoo o fluido, e por um flutuador (mais pesado que o fluido) que se posiciona dentro do tubo cônico em conformidade com o valor da vazão.

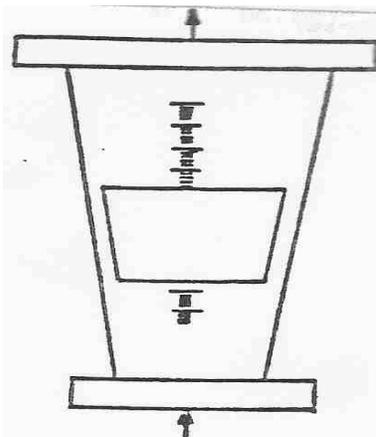


Fig. 1 Esquema do Rotâmetro

## c) Equação da Energia

Consiste em ~~se~~ alterar a seção de escoamento para que sejam verificadas variações nos termos da equação da energia aplicada entre estas seções de cada tipo de medidor..  
Dentre os medidores de vazão que empregam este fundamento destacam-se:

c1) Vertedouro: é empregado para medição de vazão em canais abertos. Consiste na redução da seção de escoamento através da introdução de uma placa vertical com a configuração mostrada na Figura 2.

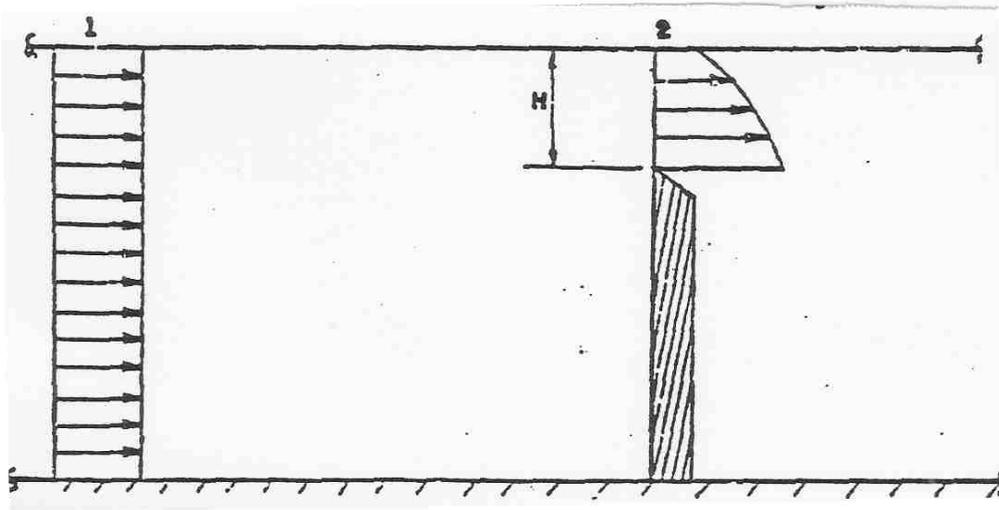


Fig. 2 Esquema simplificado do escoamento num vertedouro.

A vazão, obtida pela aplicação da Equação da Energia entre as seções 1 e 2, é função da altura  $H$  conforme a relação:

$$Q = C_w \frac{2}{3} \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

$C_w$  é um coeficiente obtido experimentalmente que permite a obtenção da vazão real no vertedouro a partir da vazão ideal obtida por meio do modelo simplificado mostrado na Fig. 2.

c2) Placa de orifício (ou diafragma ou orifício de bordos delgados)

c3) Bocal

c4) Tubo venturi

Estes três últimos dispositivos são os objetos desta experiência e serão analisados detalhadamente nos fundamentos teóricos.

## 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### a) Placa de orifício

A placa de orifício consiste num disco com um orifício central com saída em ângulo que deve ser montado concêntrico ao eixo do conduto cilíndrico, provido de duas tomadas de pressão, uma a jusante e outra a montante do disco, conforme mostra a Figura 3.

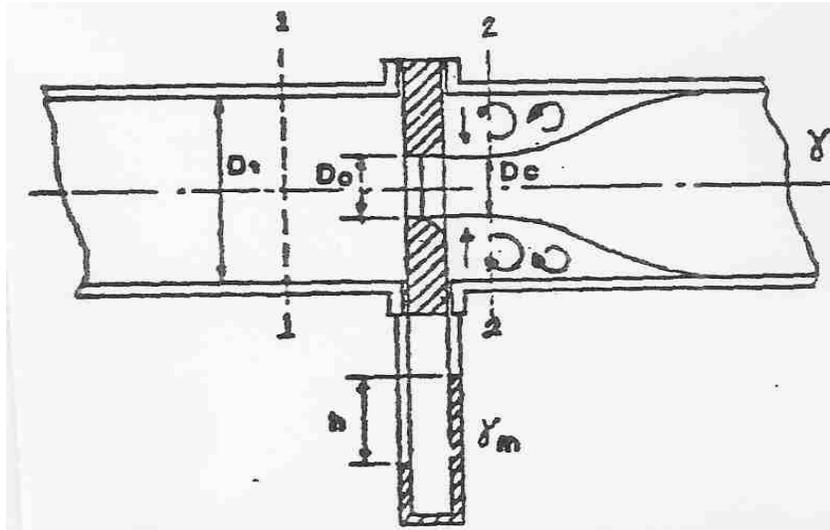


Fig. 3 Esquema da placa de orifício

Pela aplicação da equação da energia entre as secções 1 e 2, tem-se:

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{1,2}$$

onde

$$H_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + z_1,$$

$$H_2 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + z_2$$

$$\text{e } \Delta H_{1,2} = K_s \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\therefore \left( \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left( \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \right) = K_s \frac{V_2^2}{2g}$$

A equação da continuidade fornece:

$$Q_1 = Q_2 \quad V_1 S_1 = V_2 S_2$$

$$Q_o = Q_2 \quad V_o S_o = V_2 S_2$$

Devido à dificuldade na determinação da área da seção  $S_2$ , define-se um coeficiente experimental chamado coeficiente de contração e dado pela relação:

$$C_c = \frac{S_2}{S_o} < 1$$

Portanto, rearranjando as expressões acima, considerando eixo horizontal, tem - se :

$$V_2 = \frac{\sqrt{2g\left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right)}}{\sqrt{\alpha_2 + K_s - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}}$$

Então, para a obtenção da vazão

$$Q = V_2 S_2$$

tem - se :

$$Q = C_c S_o \frac{\sqrt{2g\left(\Delta \frac{p}{\gamma}\right)}}{\sqrt{\alpha_2 + K_s - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}}$$

Definindo-se a velocidade média teórica na seção 2 do escoamento, como sendo aquela que ocorreria se não houvesse perda de carga no medidor e se o mesmo diferencial de pressão se mantivesse, tem-se a velocidade média teórica  $V_{2T}$ , dada por:

$$V_{2T} = \frac{\sqrt{2g(P_1 - P_2)/\gamma}}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}}$$

Pode-se, então, definir um coeficiente experimental, denominado coeficiente de velocidade, como segue:

$$C_v = \frac{V_2}{V_{2T}} = \frac{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}}{\sqrt{\alpha_2 + K_s - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}} < 1$$

Desta forma, a vazão pode ser reescrita como :

$$Q = C_c C_v S_o \frac{\sqrt{2g \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}}$$

Usualmente combinam-se os dois coeficientes “  $C_c$  “ e “  $C_v$  “ num único coeficiente, denominado coeficiente de vazão ou de descarga  $C_d$  , dado por:

$$C_d = C_v \cdot C_c$$

$$\therefore Q = \frac{C_d \sqrt{2g \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}}$$

Afim de simplificar a utilização da equação acima, introduz-se o coeficiente  $C$ , denominado coeficiente funcional do dispositivo:

$$C = \frac{C_d}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 C_c^2 \left(\frac{S_o}{S_1}\right)^2}}$$

logo

$$Q = CS_o \sqrt{2g \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}$$

Como as variáveis que intervêm no escoamento através da placa de orifício são:

$$\Delta p = (p_1 - p_2) ; D_1 ; D_o ; V_1 ; \mu \text{ e } \rho,$$

pressupõe-se a existência de uma função dimensionalmente homogênea representativa do fenômeno do tipo  $f(\Delta p, D_1, D_o, V_1, \mu, \rho) = 0$  ou a função de argumentos adimensionais equivalente, resultante da aplicação do Teorema de Buckingham da Análise Dimensional:

$$\frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho V_1^2} = \phi\left(\frac{\rho V_1 D_1}{\mu}, \frac{D_o}{D_1}\right)$$

Esta relação e a equação da vazão obtida anteriormente deixam claro a dependência do valor do coeficiente funcional da geometria ( $D_o/D_1$ ) e das condições de escoamento ( $R$ ), conforme mostram as relações abaixo:

$$C = C\left(\frac{\rho V_1 D_1}{\mu}, \frac{D_o}{D_1}\right)$$

$$C = C\left(\text{Re}, \frac{D_o}{D_1}\right)$$

### b) Tubo Venturi

O tubo venturi é um dispositivo composto por:

- um trecho de tubulação de entrada com seção igual à do conduto ao qual está acoplado e onde está instalado um anel piezométrico para medir a pressão estática nesta seção;
- uma tubeira convergente que tem por objetivo uniformizar a distribuição de velocidade na seção circular reduzida, chamada garganta, também munida de um anel piezométrico para medição de pressão estática;
- uma tubeira divergente que, gradualmente, leva a seção circular da garganta de volta à medida do conduto, conforme mostrado na Figura 4.

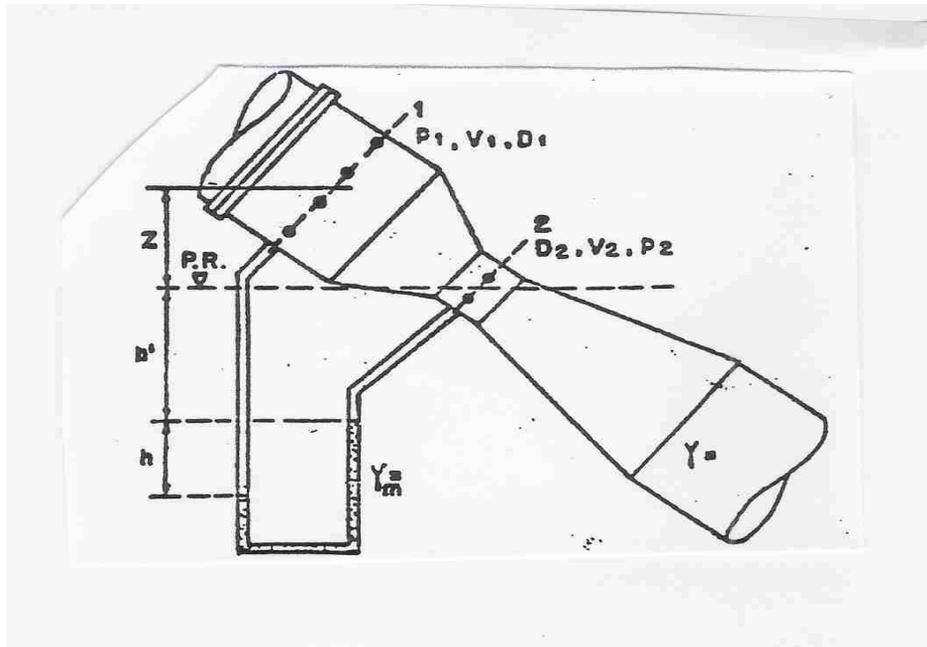


Fig. 4 Esquema do Tubo Venturi

O equacionamento do medidor Venturi é análogo ao do diafragma, sendo que para o tubo Venturi o coeficiente de contração ( $C_c$ ) é próxima da unidade, isto é, a seção de escoamento mínima praticamente coincide com a seção da garganta, resultando uma perda de carga menor que a obtida no caso anterior para uma mesma vazão.

Como  $C_c \sim 1$ , pode-se escrever:

$$C_v = \frac{V_2}{V_{2T}} = \frac{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}{\sqrt{\alpha_2 + K_s - \alpha_1 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}} \quad Q = C_v S_2 \frac{\sqrt{2g \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}$$

$$Q = C S_2 \sqrt{2g \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}$$

onde

$$C = \frac{C_v}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}$$

A relação funcional fica:

$$C_v = C_v \left( \text{Re}, \frac{D_2}{D_1} \right)$$

c) Bocal

É um medidor semelhante ao tubo Venturi, porém sem a tubeira divergente, sendo também chamado tubo Venturi curto.

Seu equacionamento fornece resultados bastante próximos aos obtidos para o tubo Venturi.

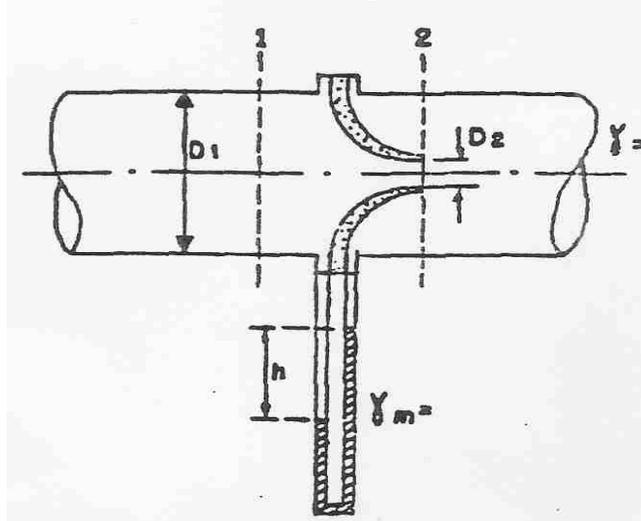


Fig. 5 Esquema do Bocal

### 3 – ARRANJO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O arranjo experimental é constituído por um conjunto de condutos equipados com um medidor de vazão (com manômetro diferencial no qual o fluido manométrico é o mercúrio acoplado), um registro para regulação de vazão e uma válvula de três vias para orientação do escoamento.

Para o desenvolvimento do experimento são necessários, ainda, contar com uma balança e um cronômetro.

Observação: Verificar qual é o medidor instalado na sua bancada e anotar suas dimensões.

O procedimento experimental propriamente dito consiste em:

- Registrar a diferença de cotas entre os meniscos do mercúrio nos dois ramos do manômetro diferencial para oito ( 8 ) valores diferentes de vazão.
- Medir as oito ( 8 ) vazões pelo método das pesagens.

Desta forma, é possível calibrar o medidor.

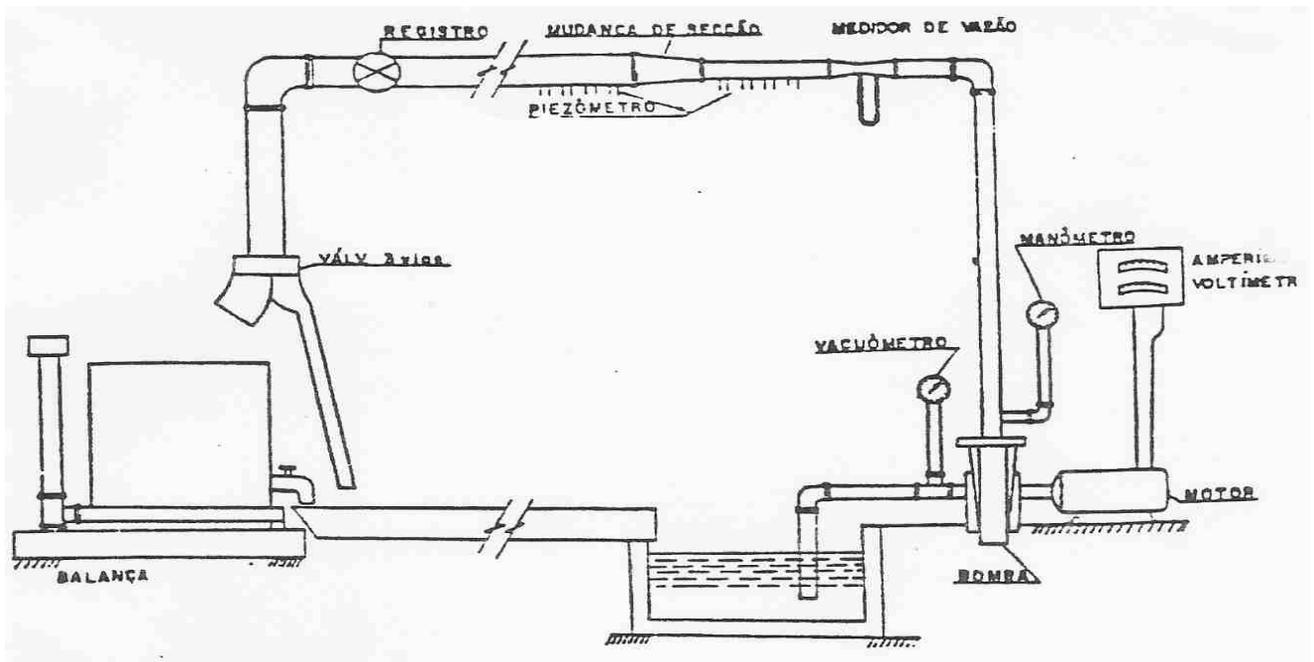


Fig. 6 Esquema da instalação

### 4 – Questões Propostas

- Traçar o gráfico da função  $h = h(Q)$ , onde “ h “ é a diferença de cotas entre os meniscos do mercúrio do manômetro diferencial. Justificar analiticamente a curva característica de calibração obtida.
- Traçar o gráfico da função  $C = C(Re)$ ;

- c) Desenvolver a curva característica do mesmo aparelho quando empregado na medição de vazão de querosene a 20°C e compará-la com a obtida no item “a”, justificando as diferenças.  
Sugestão: usar a mesma faixa de vazão obtida no item “a” e sobrepor as curvas.
- d) Resolver o problema:  
Determinar a vazão de álcool etílico, a 36°C, empregando o medidor usado na experiência sendo a diferença de cotas dos meniscos  $h = 150\text{mm}$ .

## **5 – BIBLIOGRAFIA**

Citar a bibliografia usada.