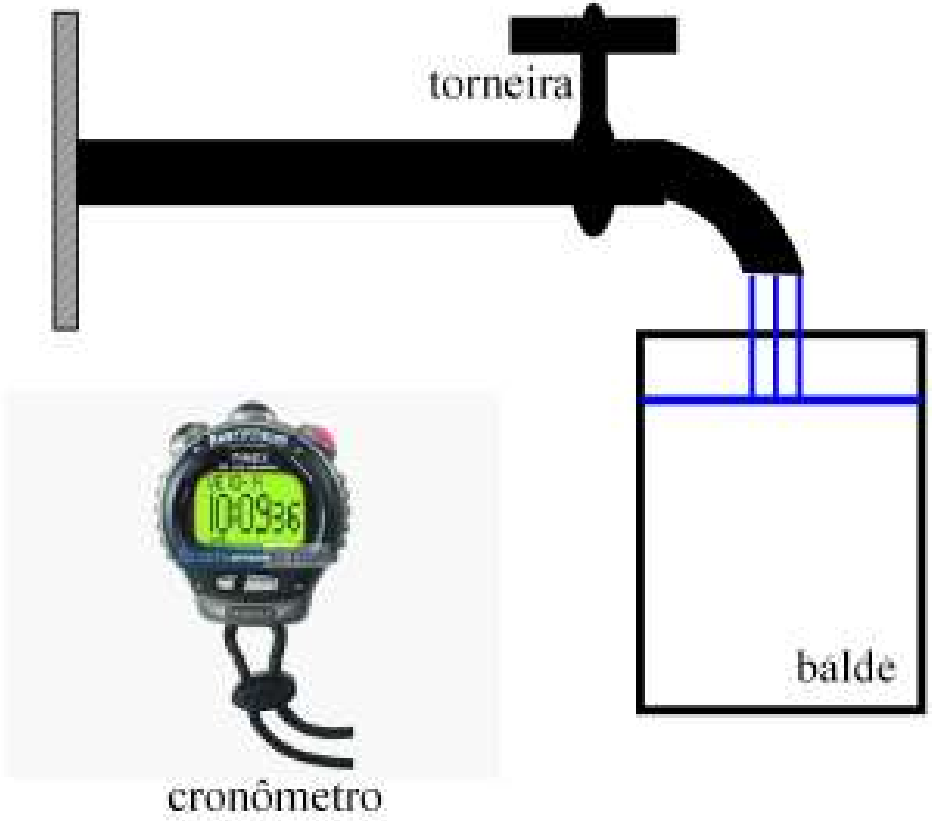
Medições de caudal em escoamentos sob pressão

$$\mathbf{Q} = A\,\mathbf{v}$$

Factores a ter em conta na escolha de medidores de caudal

- custo
- precisão garantida para a gama de caudais a medir
- condicionalismos para a instalação
- condições de exploração e manutenção

Método volumétrico



$$Q = \frac{V}{t}$$

t deve ser > 1 min

- método mais rigoroso
- só aplicável a pequenos caudais

Aspersores

Rega localizada

Medição de caudal em escoamentos sob pressão

- medição da velocidade a partir da medição de Δp

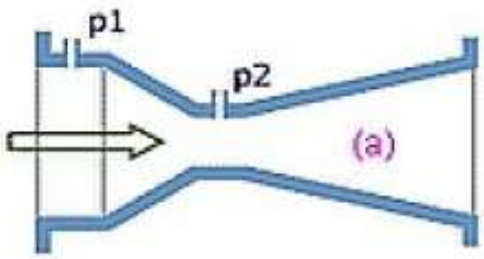
  (orifícios, tubo de Venturi)

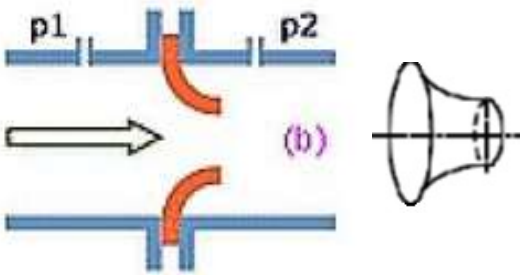
- medidores ultra-sónicos
- contadores volumétricos
- medidores de área variável

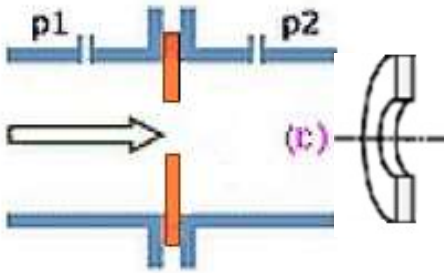
Medições em escoamentos sob pressão

- **Medição da velocidade a partir da diferença de pressões**
  - tubo de Pitot
  - tubo de Venturi
  - bocais
  - orifícios

Perda de carga



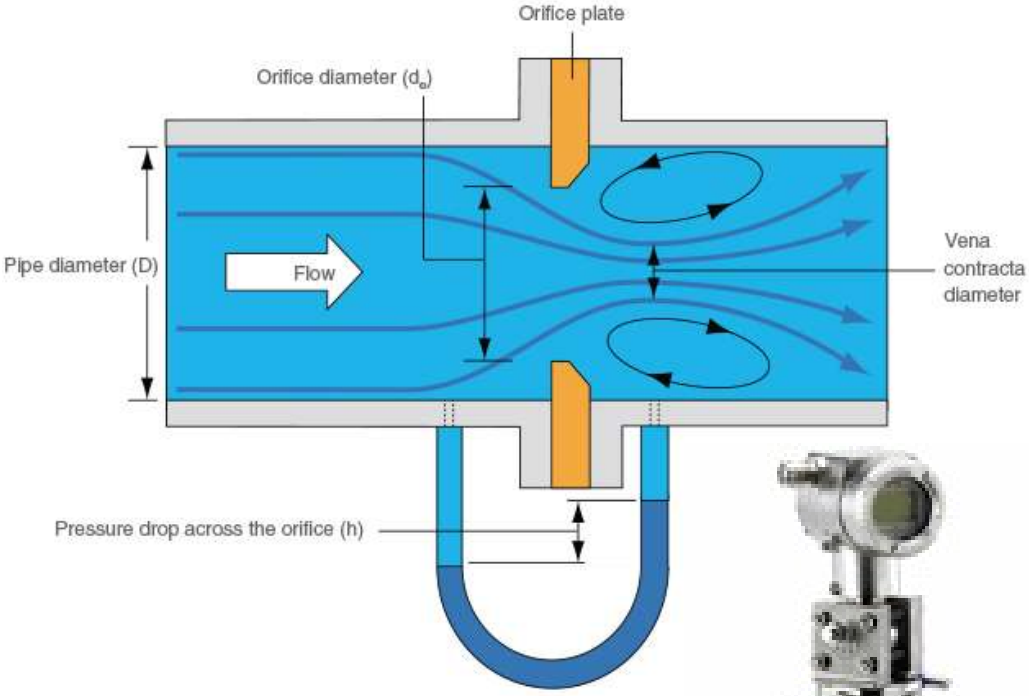




Orifícios

$$Q = cA_o\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho(1 - A_o^2/A^2)}}$$

c ~ 0.60



Vantagens

- barato e fácil instalação
- pode ser instalado em tubos de grande diâmetro

Desvantagens

- o comprimento da "vena contracta" depende do gume do orifício e rugosidade do tubo → pode ser difícil fazer medição na zona adequada
- perdas de carga elevadas (40 – 90% de Δh)
- pode ser obstruido por partículas em suspensão
- corrosão, uso → precisão altera-se com o tempo

Tubo de Venturi

$$Q = cA_o\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho(1 - A_o^2/A^2)}}$$

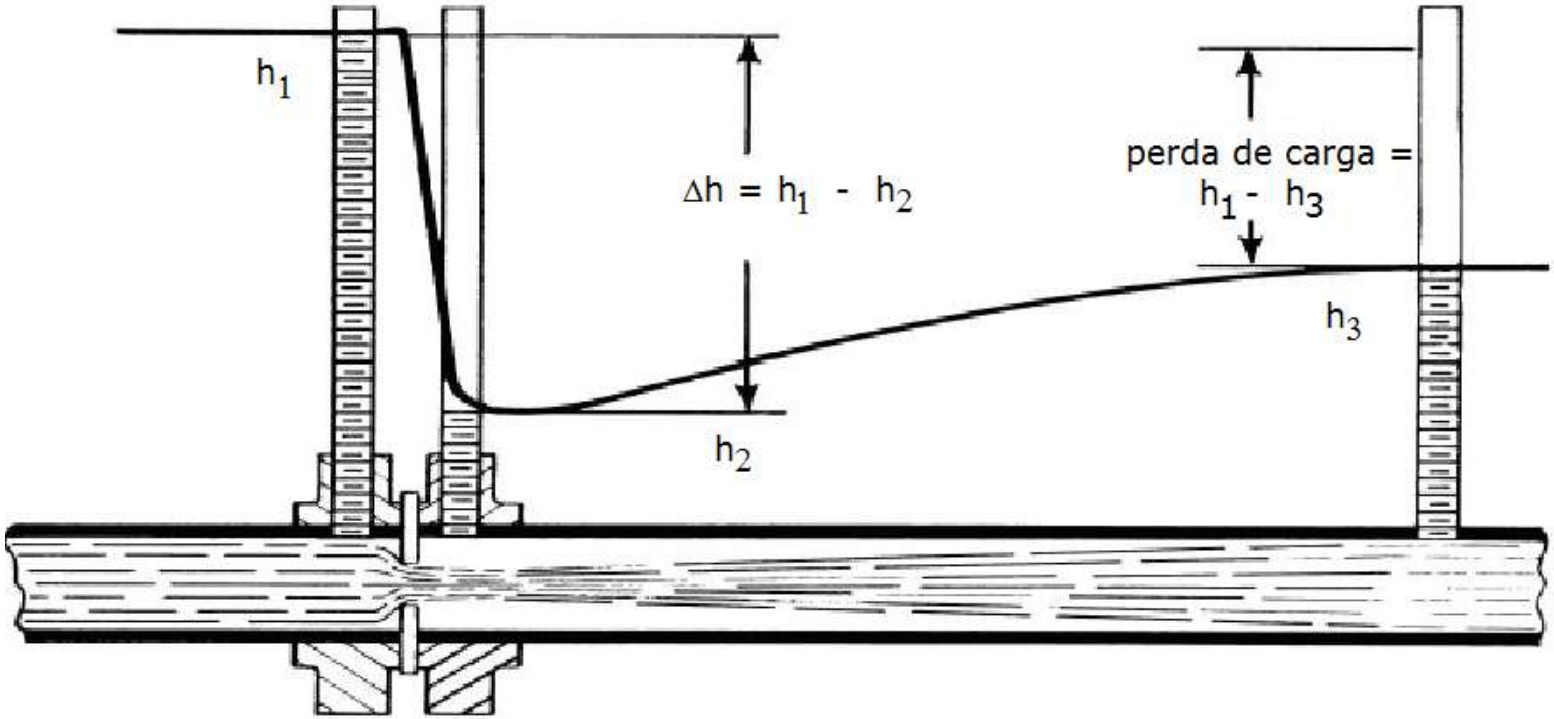
c ~ 0.98

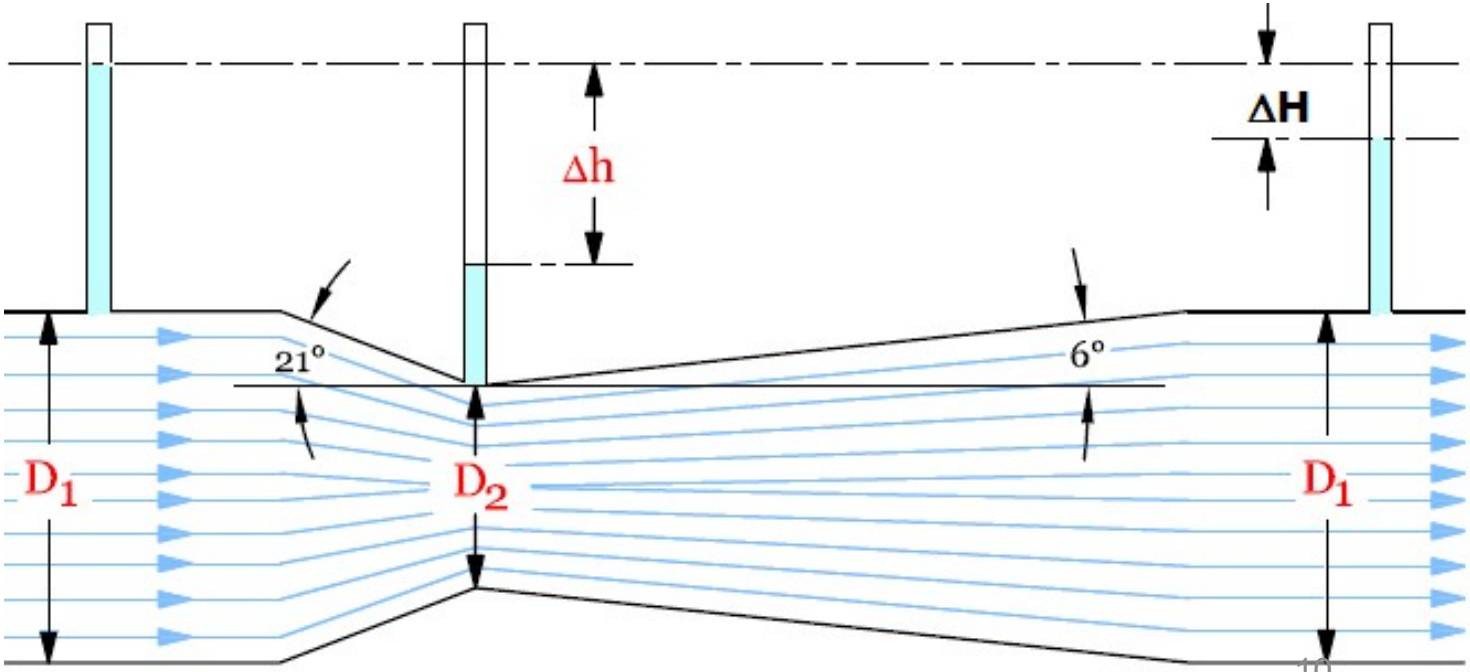
Vantagens

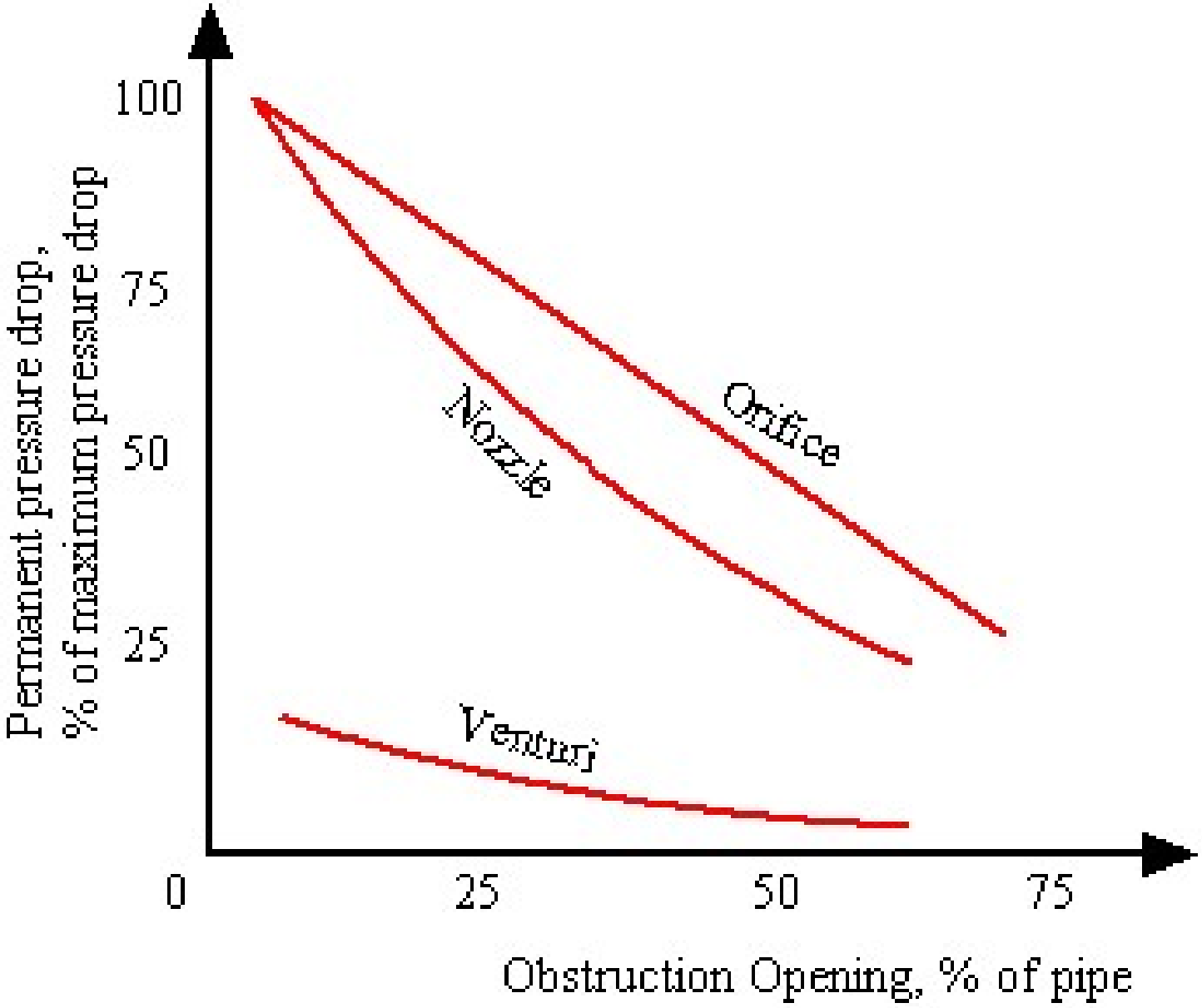
- elevada precisão (1 - 3%)
- barato e fácil utilização
- não têm partes móveis → baixa manutenção e alta durabilidade
- baixa perda de carga

Desvantagens

- peso e tamanho → não adequados a tubos com grande diâmetro e/ou a locais com limitações de espaço


h1
Δh = h1 - h2
perda de carga =
h1 - h3
h3
h2


Δh
ΔH
21°
6°
D1
D2
D1


100
75
50
25
0
25
50
75
Permanent pressure drop,
% of maximum pressure drop
Obstruction Opening, % of pipe
Orifice
Nozzle
Venturi

• Medidores ultra-sónicos

Classificação segundo o tipo de instalação

- **Clamp-on (externos):** os sensores são fixados **do lado de fora do tubo.**
  - não é necessário cortar o fluxo para serem instalados
  - não causam perda de carga
  - usados em **medições temporárias** ou **monitorização não intrusiva**.

- **Inline:** O sensor é instalado **dentro do tubo**, em contacto direto com o fluido.
  - oferece **maior precisão**, mas requer **instalação física** no sistema.

Classificação segundo o princípio de medição

- tempo de trânsito (ou de percurso)
- efeito Doppler

• Medidores ultra-sónicos

Vantagens

- ✓ não causam perda de carga (sem partes móveis ou obstruções)
- ✓ instalação simples
- ✓ funcionam em líquidos limpos e sujos (dependendo do tipo)
- ✓ elevada durabilidade e baixa manutenção
- ✓ adequados para tubos de grandes diâmetros

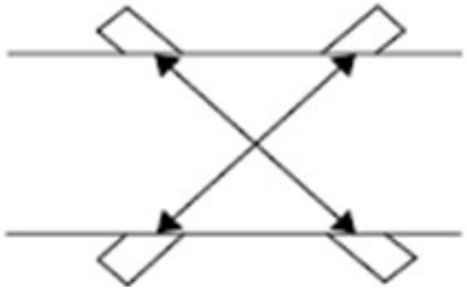
Desvantagens

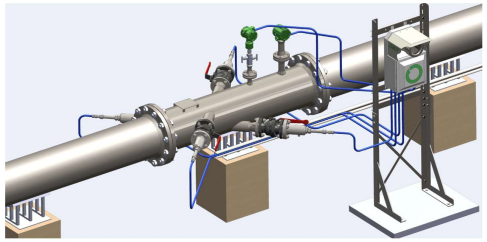
- × requerem perfil de escoamento estável (troços rectilíneos antes e depois do sensor)
- × a precisão depende da homogeneidade do fluido e da instalação correta

• Medidores ultra-sónicos

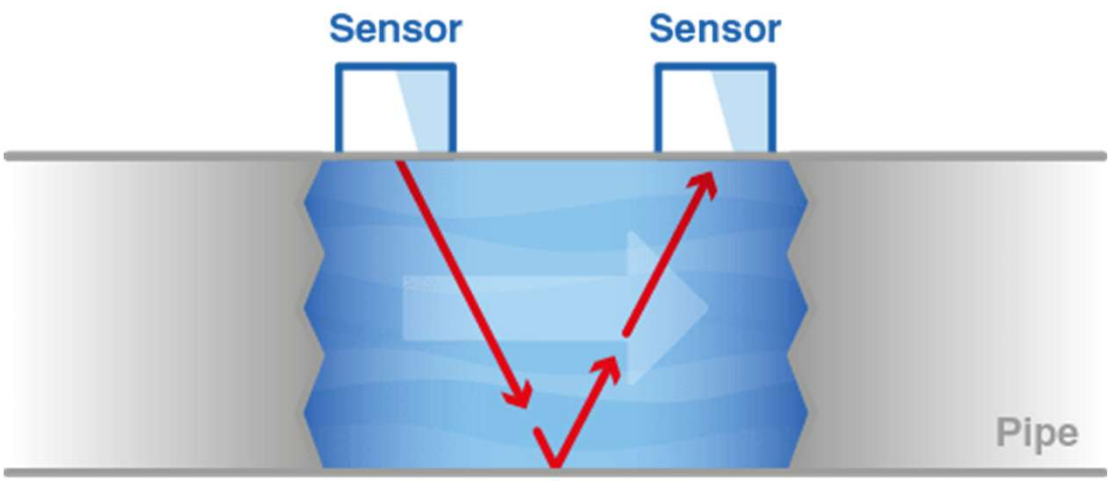
baseados no tempo de percurso

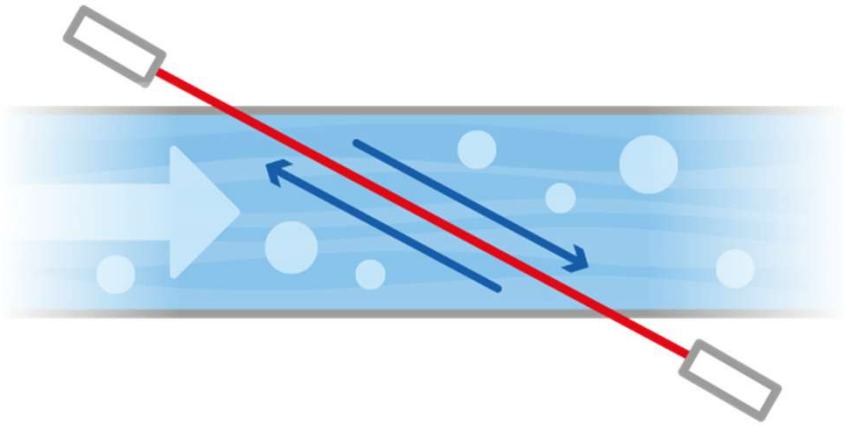
- dois sensores são colocados em lados opostos do tubo
- um envia um sinal sonoro para jusante (a favor do fluxo) e outro para montante (contra o fluxo)
- o tempo de percurso do sinal acústico emitido para montante é superior ao tempo de percurso quando emitido para jusante. Medindo-se o tempo levado pelos 2 sinais, pode-se calcular a velocidade média do som e, a partir daí, a velocidade do fluido

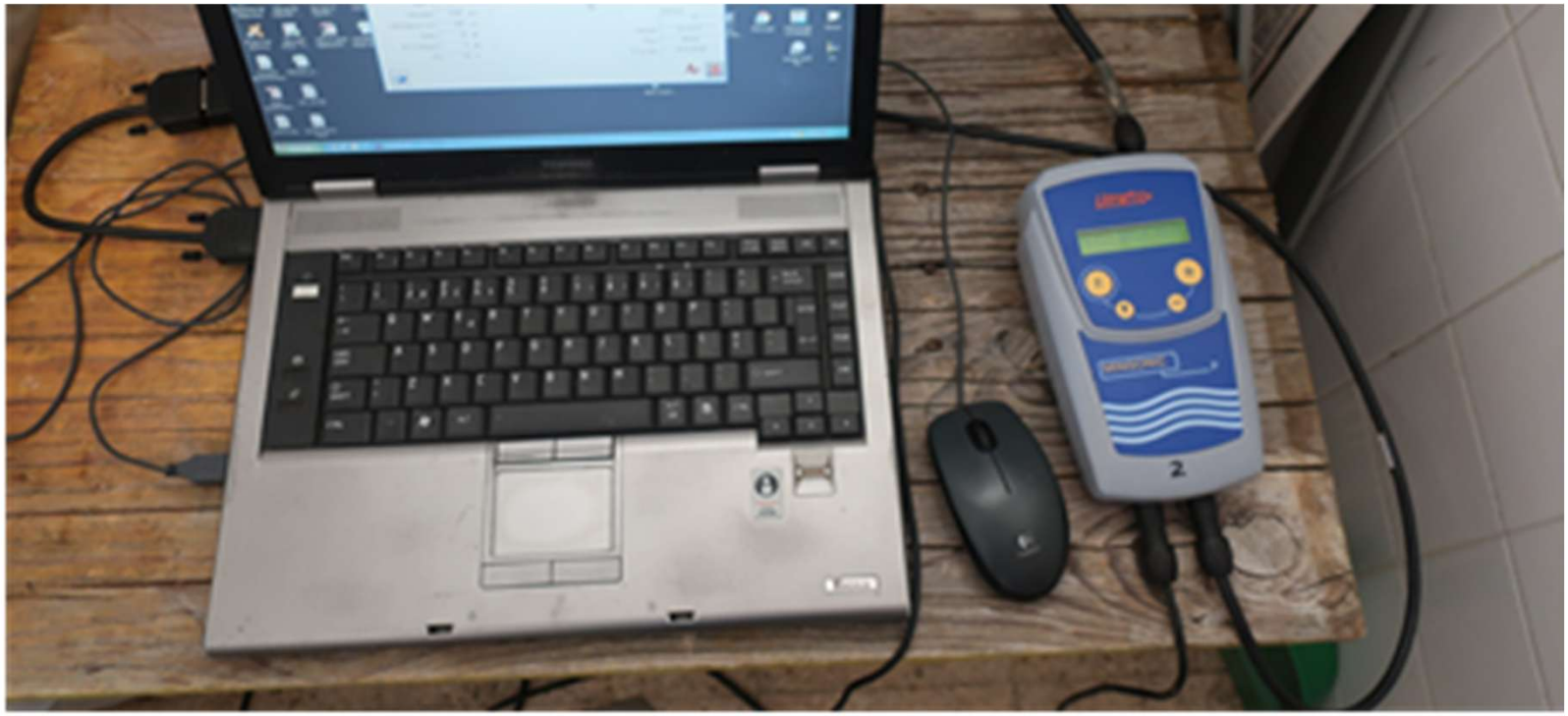




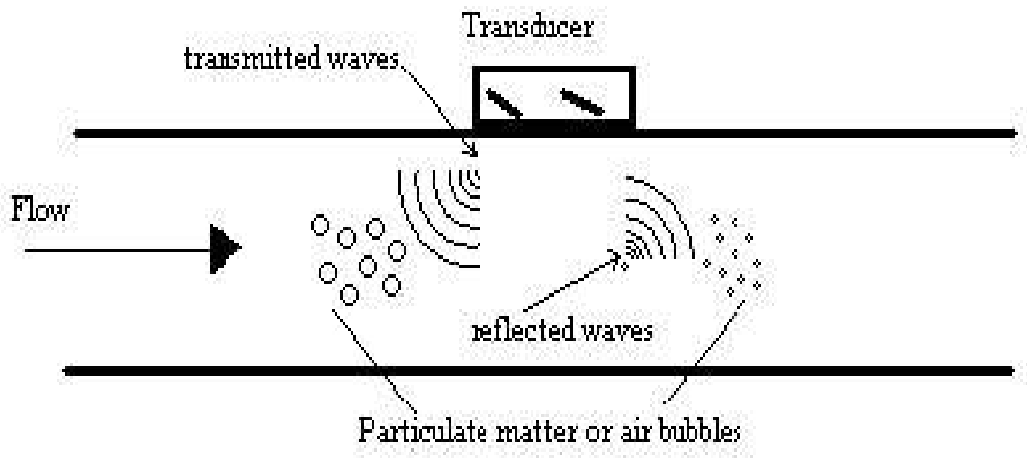
Para líquidos limpos (sem partículas em suspensão ou bolhas de ar) (água potável, água de rega)


Sensor
Sensor
Pipe





baseados no efeito Doppler



Os sinais acústicos emitidos são reflectidos pelas partículas ou bolhas de ar em suspensão . Como estas partículas têm movimento relativamente ao emissor, o sinal acústico sofre efeito de Doppler (alteração da frequência). A medição da variação da frequência do som permite determinar a velocidade

Adequado para líquidos com partículas em suspensão ou bolhas de ar (águas residuais, lamas)

Precisão

- **tempo de percurso:** 1 - 2%
- **efeito Doppler:** 2 - 5%, dependendo da concentração e homogeneidade de distribuição de partículas

• Contador volumétrico

Vantagens:

- ✓ baratos
- ✓ boa precisão em líquidos limpos
- ✓ resposta rápida a variações de caudal

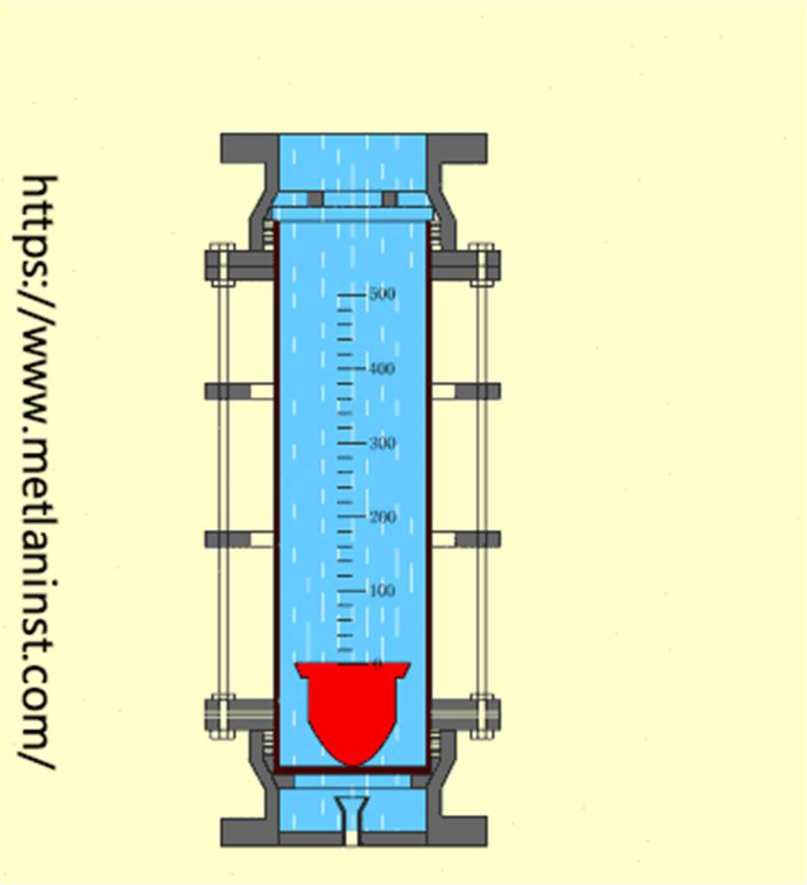
.

Desvantagens:

- × requerem fluido limpo

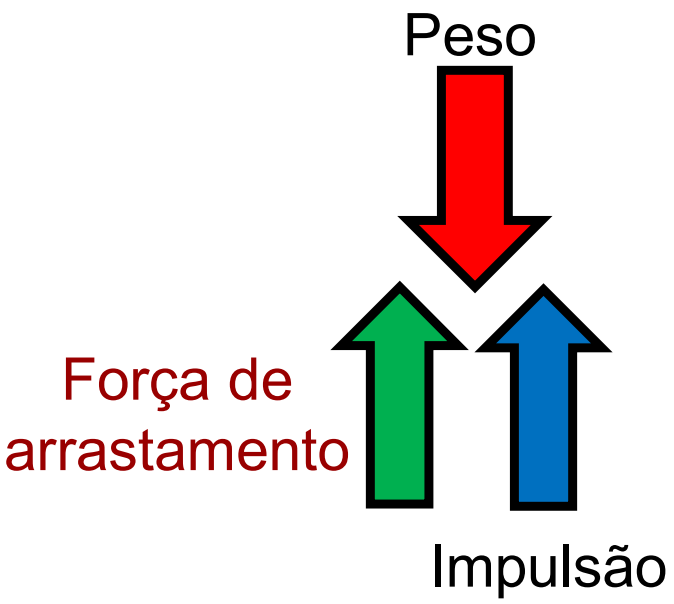
• Medidores de área variável (= rotâmetro)

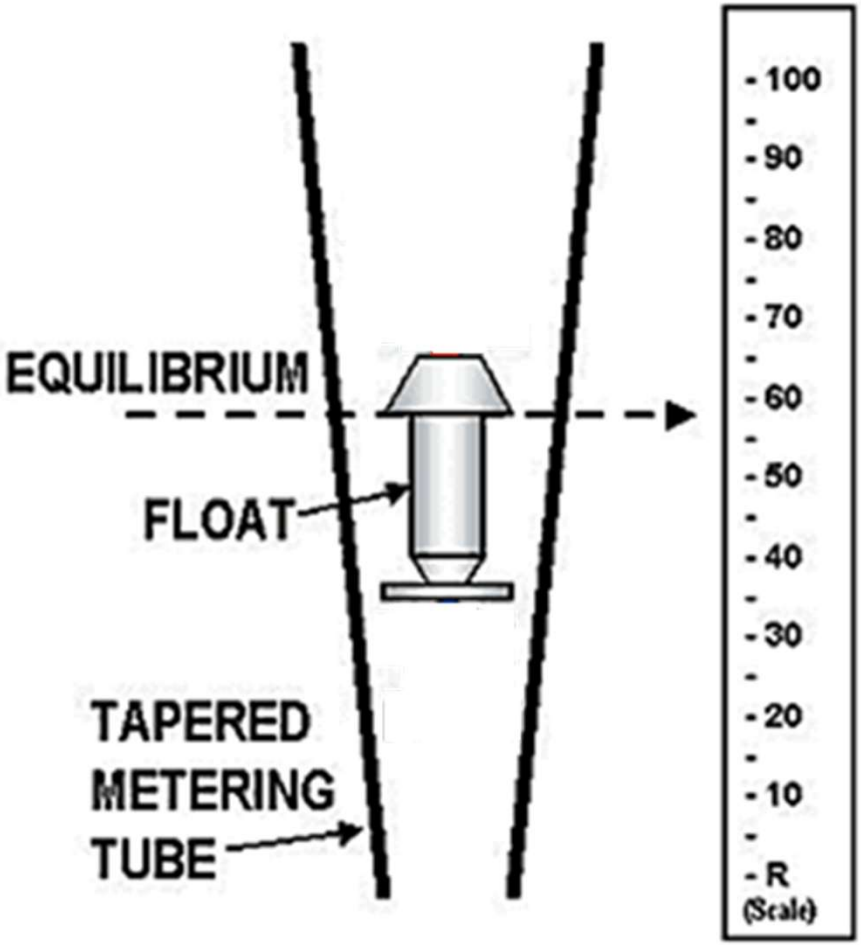
Possuem um flutuador que sobe e desce num tubo cónico, dependendo do caudal.



https://www.metlaninst.com/

O tubo cónico é mais largo na parte superior do que na parte inferior, pelo que à medida que o flutuador sobe, a área à sua volta aumenta, permitindo a passagem de mais fluido.





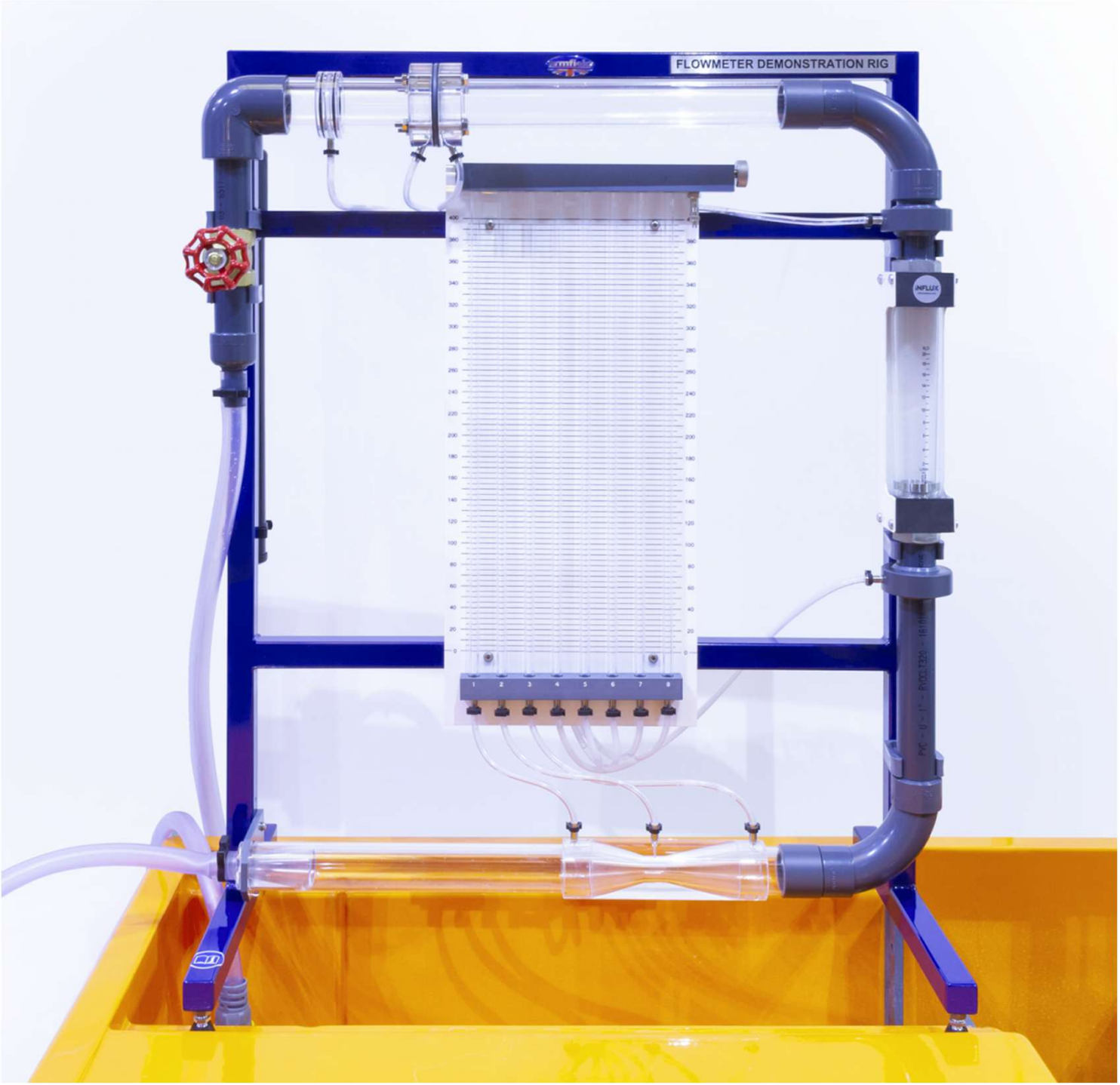
O caudal é lido diretamente a partir de uma escala no tubo, tornando os rotâmetros simples e fáceis de utilizar.

Vantagens

- ✓ custo baixo
- ✓ são simples de instalar, operar e manter
- ✓ versatilidade de construção e aplicações
- ✓ não necessitam de qualquer fonte de energia externa
- ✓ o caudal pode ser facilmente lido directamente na escala

Desvantagens

- × precisão limitada, particularmente para baixos caudais
- × a precisão pode ser afetada por alterações na densidade e viscosidade do fluido devidas a variações na temperatura
- × a perda de carga causada pode ser significativa
- × têm que ser instalados em troços de tubagem verticais e fluxo ascendente
- × não permitem automatização


FLOWMETER DEMONSTRATION RIG