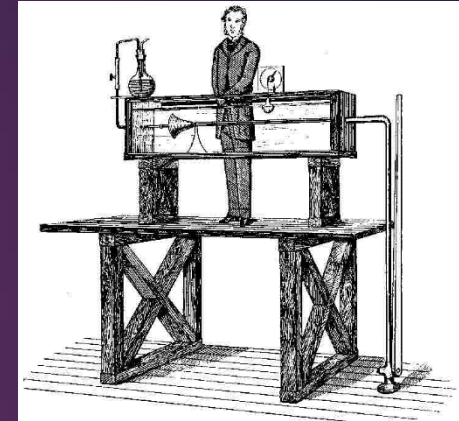


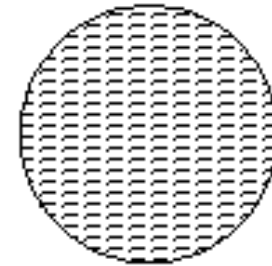
$$hf = K \cdot \frac{L \cdot V^m}{D^n}$$



Aula 6 – Condutos Forçados e Perdas de Carga (parte 1)

Condutores forçados

- ▶ São canalizações em que o escoamento ocorre a uma pressão diferente da pressão atmosférica.
- ▶ - Sempre fechados e escoamento com seção completamente cheia
- ▶ Escoamento por gravidade ou bombeamento

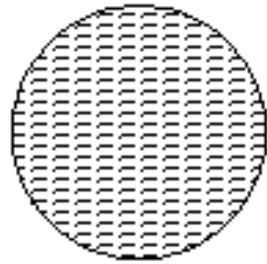


$P \neq P_{atm}$

Seção plena

Bomba ou gravidade

CONDUTOS FORÇADOS

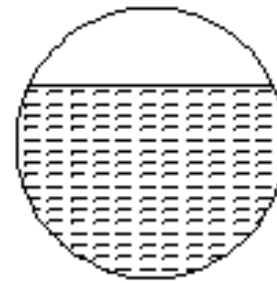


$$P \neq P_{atm}$$

Seção plena

Bomba ou gravidade

CONDUTOS LIVRES



$$P = P_{atm}$$

Seção parcial

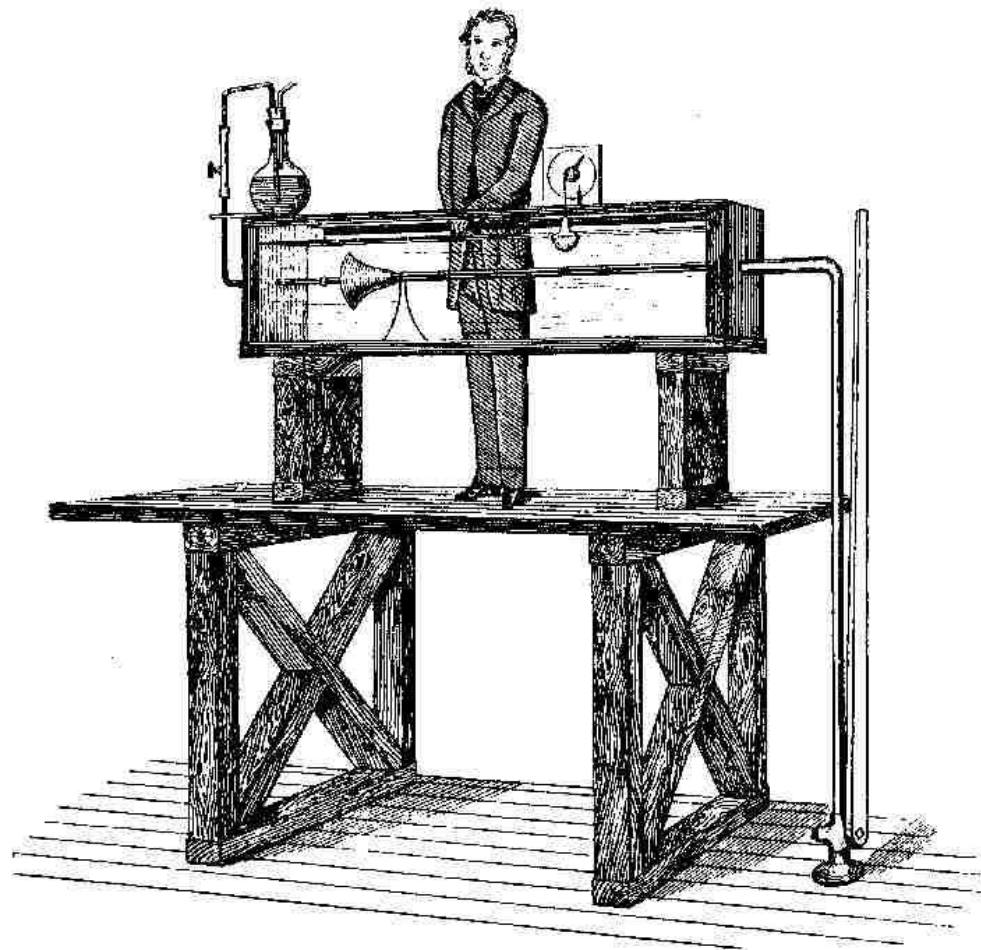
Gravidade

Condutores forçados

Histórico - escoamento de líquidos em condutores forçados

- ❖ Perdas de carga são proporcionais à velocidade de escoamento
 - Gotthilf Heinrich Ludwig **HAGEN** (Prússia, 1830): $h_f \propto V$
 - Jean-Louis-Marie **POISEUILLE** (França, 1840): $h_f \propto V^n$; $n \approx 2$

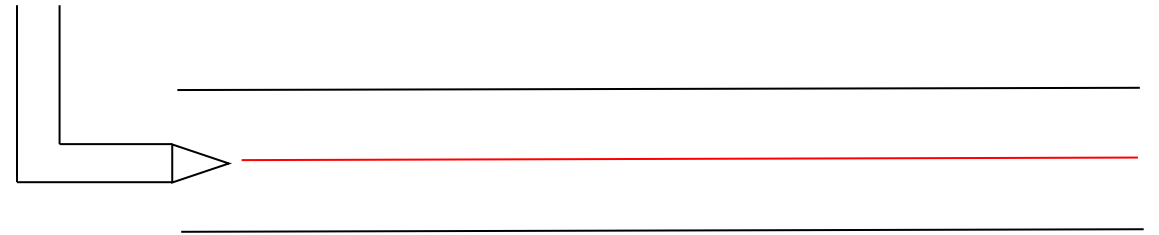
Experimento de Osborne Reynolds (1883)



Fonte: Manchester School of Engineer
(<http://www.mace.manchester.ac.uk>)

Regime laminar

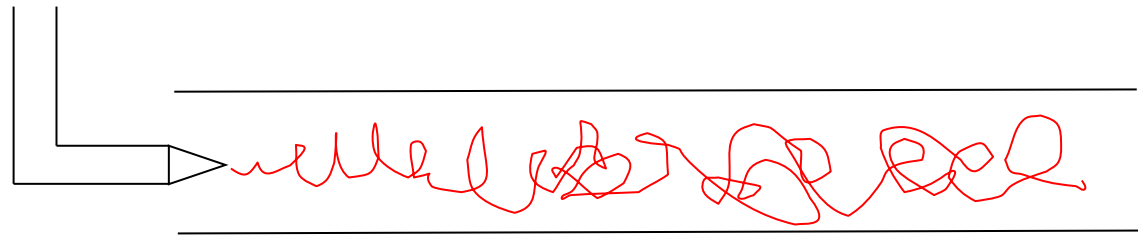
- ▶ Reynolds observou que:
- ▶ $V < V_{\text{crítica}} \rightarrow$ corante retilíneo e a trajetória das partículas não se misturava
- ▶ As partículas fluidas apresentam trajetórias bem definidas e não se cruzam



NR < 2.000 \rightarrow Regime laminar

REGIME TURBULENTO

- ▶ $V > V_{\text{crítica}} \rightarrow$ corrente se mistura em um movimento desordenado
- ▶ Trajetórias das partículas são desordenadas



$NR > 4.000 \rightarrow$ Regime turbulento

Regimes de escoamento

$2.000 > NR > 4.000 \rightarrow$ zona crítica \rightarrow Transição

Experimento de Osborne Reynolds (1883)

▶ Observações de Reynolds:

▶ - Diâmetro: $D \downarrow \Rightarrow \downarrow$ Turbulência
 $D \uparrow \Rightarrow \uparrow$ Turbulência

▶ Viscosidade cinemática (ν , "ni"):

$\nu \uparrow \Rightarrow \downarrow$ Turbulência

$\nu \downarrow \Rightarrow \uparrow$ Turbulência

▶ Número de Reynolds: $Re = \frac{V \times D}{\nu}$

Número de Reynolds

$$Re = NR = \frac{V \text{ (m s}^{-1}\text{)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}}$$

- ▶ NR = número de Reynolds (adimensional)
- ▶ V = velocidade média (m/s)
- ▶ D = diâmetro do conduto (m)
- ▶ ν = Viscosidade cinemática do líquido (m²/s²)

Tipo de escoamento:

Escoamento laminar:

$$Re \leq 2000$$

Transição:

$$2000 < Re \leq 4000$$

Escoamento turbulento:

$$Re > 4000$$

Limites de velocidade

Limites de velocidade em escoamento de líquidos

- Mínimo: evita sedimentação de partículas

Água não tratada: 0,4 m/s

Esgoto: 0,6 m/s

Água tratada: sem limite mínimo

- Máximo: evita perda de carga excessiva e desgaste prematuro de condutos

$V \leq 2,5$ m/s

Medida prática: $V_{\max} = 2,0$ m/s (Tubos de PVC e Polietileno)

Exemplo:

- ▶ Qual o regime de escoamento da água a 20 °C em um conduto de $\varnothing = 0,05$ m com uma velocidade de 1 m s^{-1} ?

$$\nu_{\text{água } 20^{\circ}\text{C}} = 10^{-6} = 0,000001 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

- ▶ Qual deveria ser a velocidade de escoamento do exemplo anterior para que o regime se tornasse laminar? (Regime laminar: $Re \leq 2000$)

Exemplo 1

Qual o número de Reynolds para o escoamento de água a 20°C num tubo de 50 mm de diâmetro com velocidade de escoamento de 1 m s⁻¹?

Dados:

$$D = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$V = 1 \text{ m/s}$$

T = 20°C ⇒ viscosidade cinemática da água (Tabela): $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$NR = \frac{V (m s^{-1}) \cdot D (m)}{\nu (m^2 s^{-1})}$$

$$NR = \frac{1 \cdot 0,05}{10^{-6}} = 50.000$$

Escoamento turbulento

Exemplo 2

- Qual deveria ser a velocidade de escoamento do exemplo anterior para que o regime se tornasse laminar? (Regime laminar: $Re \leq 2000$)

Regime laminar: $Re \leq 2000$

Obs.: Regime laminar ocorre quando

V é muito baixa

D é muito pequeno

ν é muito alta

Maioria dos casos:

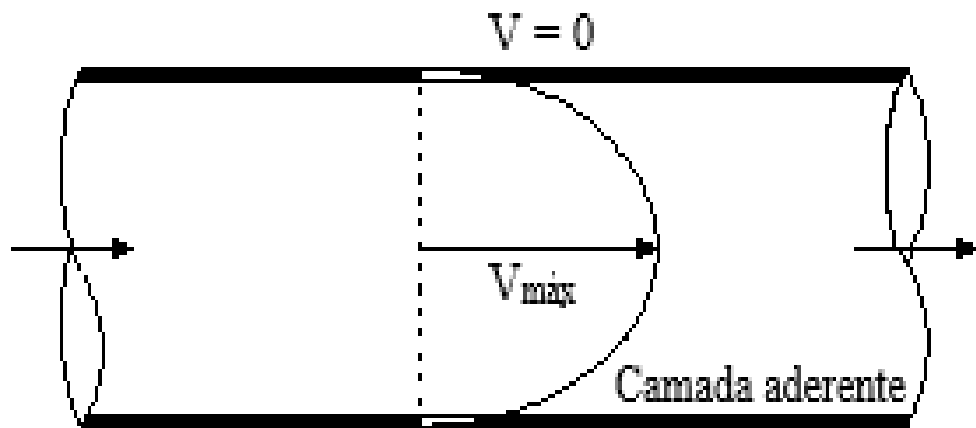
regime de ESCOAMENTO TURBULENTO

$$NR = \frac{V \text{ (m s}^{-1}\text{)} \cdot D \text{ (m)}}{\nu \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}}$$

$$2000 = \frac{V \cdot 0,05}{10^{-6}} \rightarrow V = 0,04 \text{ m/s}$$

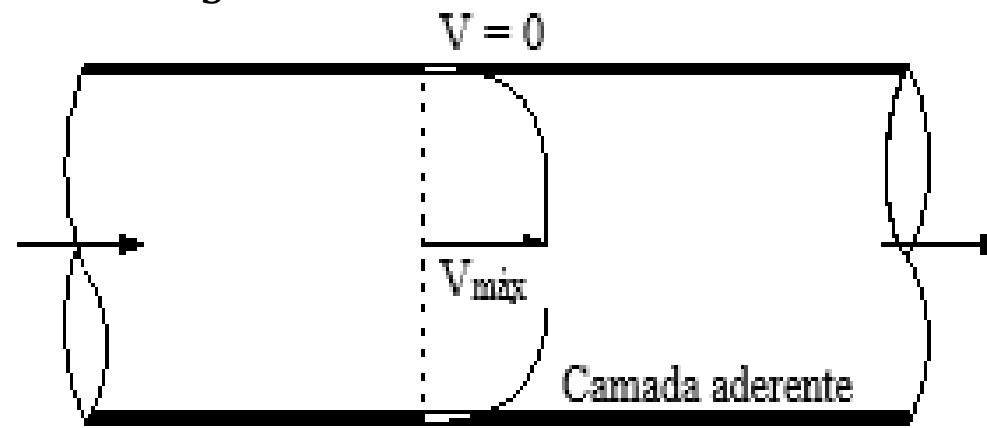
Distribuição de velocidade em tubos

$$V_m = \text{Velocidade média} = \frac{Q}{S}$$



Escoamento Laminar

$$V_{\max} = 2 V_m$$
$$V_m \approx 0,5 V_{\max}$$



Escoamento Turbulento

$$V_{\max} = 1,1 \text{ a } 1,25 V_m$$
$$V_m \approx 0,8 \text{ a } 0,9 V_{\max}$$