

INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

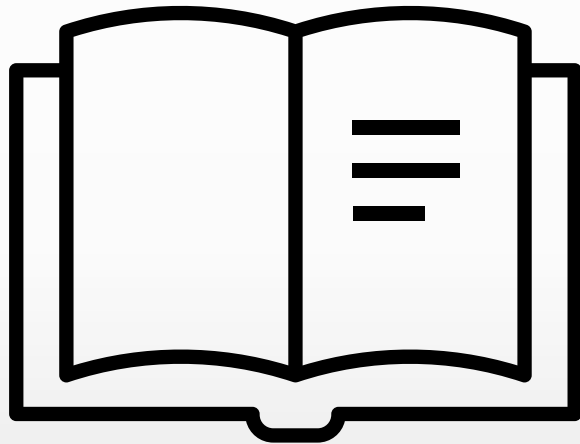
Campus Petrolina Zona Rural

Aula 7 – Hidrodinâmica

Prof. José Sebastião Costa de Sousa

Dr. Engenharia Agrícola

CPZR/IFSertãoPE



Sumário

- ✓ Lei da conservação da massa
- ✓ Classificação dos movimentos
- ✓ Classificação dos regimes de fluxo
- ✓ Lei da conservação da energia

A Hidrodinâmica tem por objeto o estudo do movimento dos fluidos.

Consideremos um fluido perfeito em movimento, referindo as diversas posições dos seus pontos a um sistema de eixos ortogonais $0x, 0y, 0z$.

O movimento desse fluido ficará perfeitamente determinado se, em qualquer instante t , forem conhecidas a grandeza e a direção da velocidade v relativa a qualquer ponto ou, então, o que vem a ser o mesmo, se forem conhecidas as componentes v_x, v_y, v_z , dessa velocidade, segundo os três eixos considerados.

Além disso, há a considerar os valores da pressão p e da massa específica ρ , que caracterizam as condições do fluido em cada ponto considerado.

O problema relativo ao escoamento dos fluidos perfeitos comporta, portanto, cinco incógnitas, v_x, v_y, v_z, p e ρ , que são funções de quatro variáveis independentes, x, y, z e t . A resolução do problema exige, pois, um sistema de cinco equações.

As cinco equações necessárias compreendem: as três equações gerais do movimento, relativas a cada um dos três eixos; a equação da continuidade, que exprime a lei de conservação das massas; e uma equação complementar, que leva em conta a natureza do fluido.

São dois os métodos gerais para a solução desse problema: o método de Lagrange, que consiste em acompanhar as partículas em movimento ao longo das suas trajetórias, e o de Euler, que estuda, no decorrer do tempo e em determinado ponto, a variação das grandezas mencionadas.

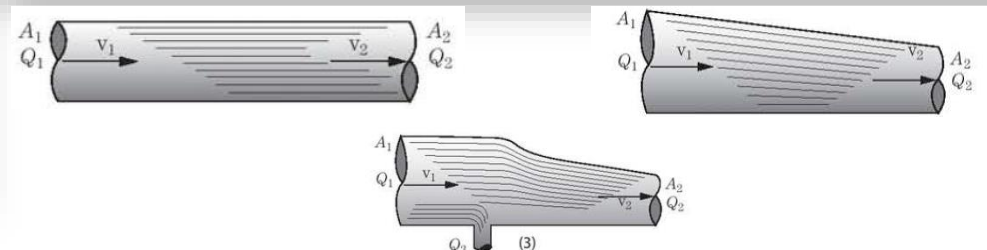
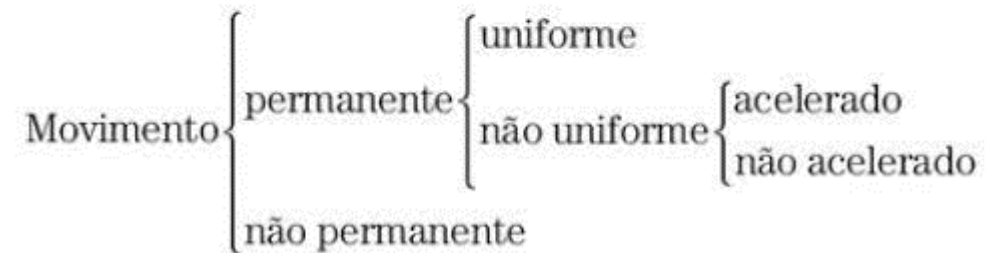
O método de Euler é o adotado neste manual, por nos parecer mais simples e cômodo.

A-4.2 VAZÃO OU DESCARGA

Chama-se vazão ou descarga, numa determinada seção transversal ao fluxo, o volume de líquido que atravessa essa seção na unidade de tempo.

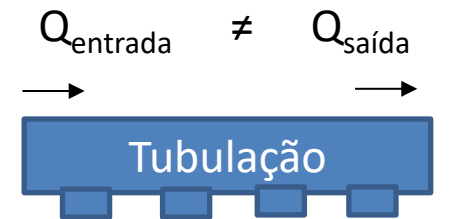
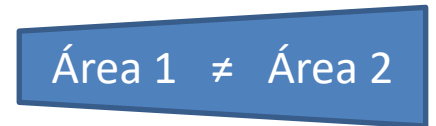
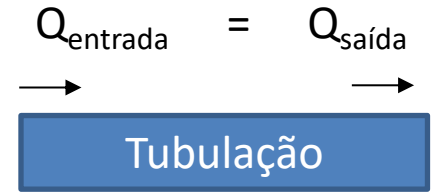
Na prática a vazão é expressa em m^3/s ou em outras unidades múltiplas ou submúltiplas. Assim, para o cálculo de canalizações, é comum empregarem-se litros por segundo; os perfuradores de poços e fornecedores de bombas costumam usar litros por hora. Neste livro será usado litros por segundo ou metro cúbico por segundo.

A-4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS

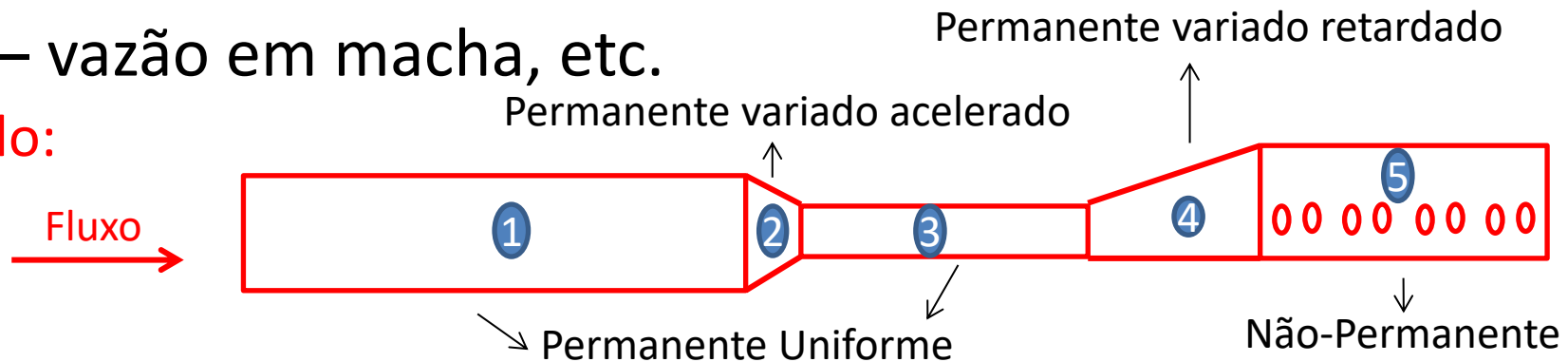


Classificação dos movimentos

- Escoamento permanente – vazão constante.
 - Uniforme: quando a velocidade é constante.
 - Variado: velocidade varia no espaço.
 - Acelerado: se houver aumento da velocidade.
 - Retardado: se houver decréscimo da velocidade.
- Escoamento não-permanente – vazão varia no tempo e no espaço.
 - vazão em macha, etc.



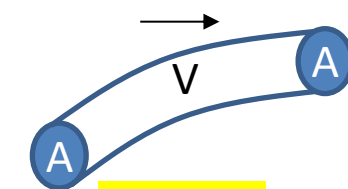
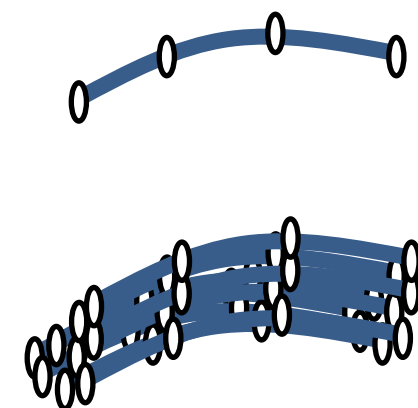
Exemplo:



Linhas (filetes) e tubos de fluxo

Nota: As leis da hidrodinâmica são estabelecidas para fluidos ideais, isto é, que não possuam viscosidade.

- O movimento das partículas descrevem trajetórias contínuas;
- quando estudadas infinitesimalmente, são denominadas linhas de fluxo.
- Várias linhas de fluxo juntas geram os chamados tubos de fluxo, com velocidade de animação V .
- Ao se analisar um tubo de fluxo numa seção de área A , permite-se a determinação da vazão de fluxo (Q) como o produto da área pela velocidade, ou seja, **$Q = A \times V$** , *Equação da continuidade, ou da conservação da massa.*



Lei da
conservação
da massa:
 $Q = A \times V$

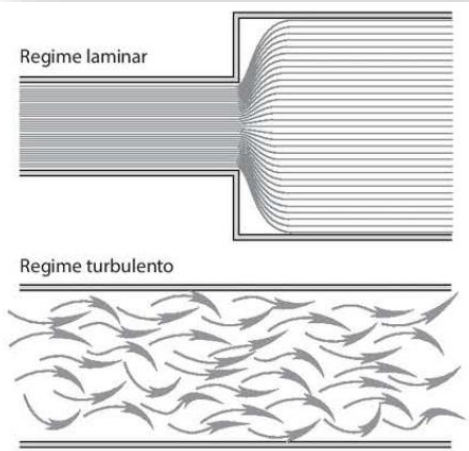
A-4.4 REGIMES DE ESCOAMENTO

A observação dos líquidos em movimento leva-nos a distinguir dois tipos de movimento (*Figura A-4.4-a*):

- a) regime laminar (tranquilo ou lamelar);
- b) regime turbulento (agitado ou hidráulico).

Com o regime laminar, as trajetórias das partículas em movimento são bem definidas e não se cruzam.

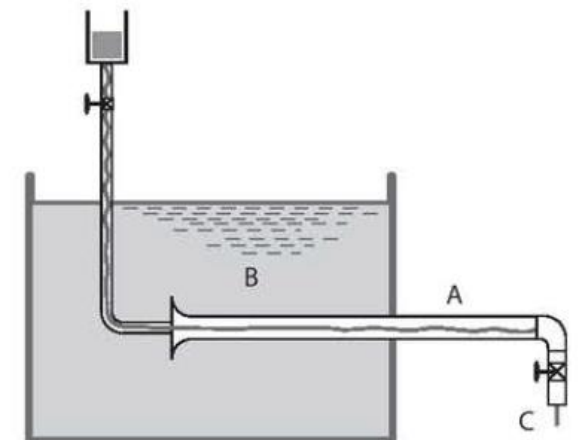
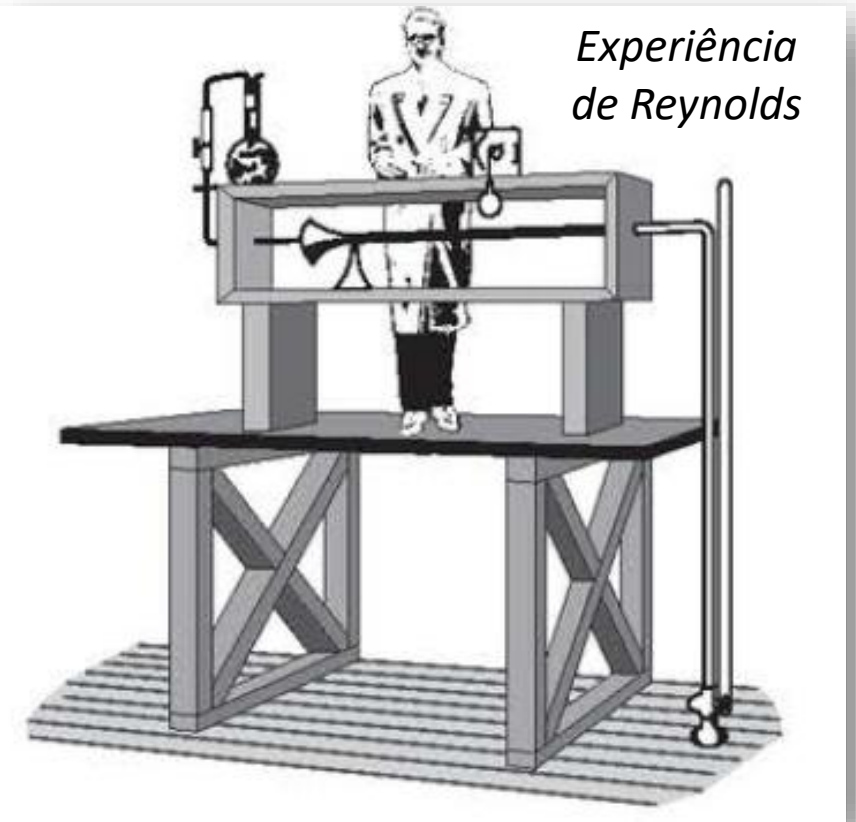
O regime turbulento caracteriza-se pelo movimento desordenado das partículas.



$$R_e = \frac{v \times D}{\nu_{cn}}$$

que é o número de Reynolds, onde

v = velocidade do fluido (m/s)
 D = diâmetro da canalização (m)
 ν_{cn} = viscosidade cinemática (m²/s)



Qualquer que seja o sistema de unidades empregadas, o valor de R_e será o mesmo.

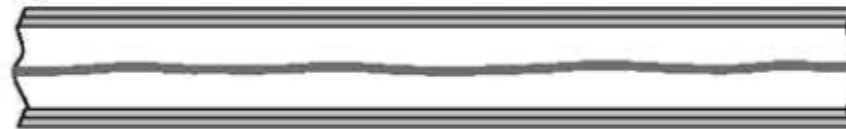
Se o escoamento se verificar com R_e superior a 4.000, o movimento nas condições correntes, em tubos comerciais, sempre será turbulento. Em condições ideais de laboratório, já se observou o regime laminar com valores de R_e superiores a 40.000; entretanto, nessas condições, o regime é muito instável, bastando qualquer causa perturbadora, por pequena que seja, para modificá-lo. Na prática, admite-se que tais causas perturbadoras sempre estão presentes (*Figura A-7.2-d*).

Para as tubulações, o escoamento em regime laminar ocorre e é estável para valores do número de Reynolds inferiores a 2.000. Entre esse valor e 4.000 encontra-se uma zona crítica, na qual não se pode determinar com segurança a perda de carga nas canalizações.

1) $Re < 2.000$



2)



3) $Re > 4.000$

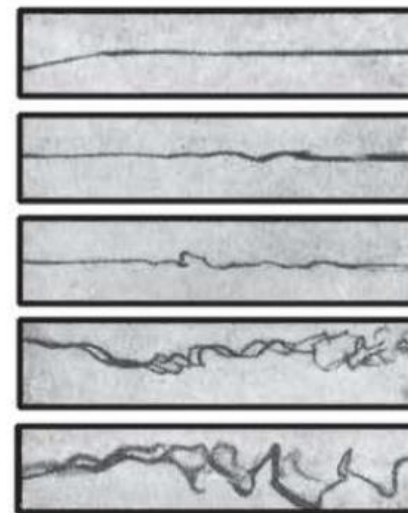
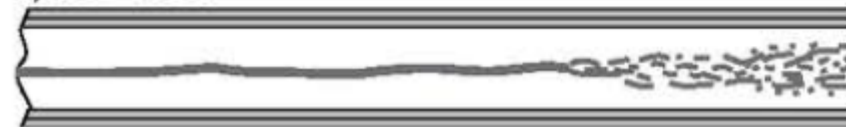


Figura A-7.2-d – Fotografias mostrando filamentos coloridos para diversos valores do número de Reynolds.

Regimes de fluxo

Para condução forçada e tubulação de secção transversal circular.

- **Laminar** – fluxo tranquilo, partículas não cruzam trajetórias umas das outras.

$$Rey < 2.000$$

- **Turbulento** – fluxo agitado, partículas em todas as direções.

$$Rey > 4.000$$

É função da
camada limite e
da rugosidade
do conduto.

- Liso
- Transitório
- Rugoso

- **Transitório** – tem características laminar e turbulento

$$2.000 \leq Rey \leq 4.000$$

Exemplo: qual regime de fluxo para os dados:

$$V = 0,50 \text{ m/s}$$

$$D = 3,00 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$$

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Respostas: } Rey = 0,50 * 0,003 / (10^{-6})$$

$$Rey = 1.500 \gg \gg \gg \text{ Como } Rey < 2.000$$

Regime de fluxo: Laminar

$$Rey = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

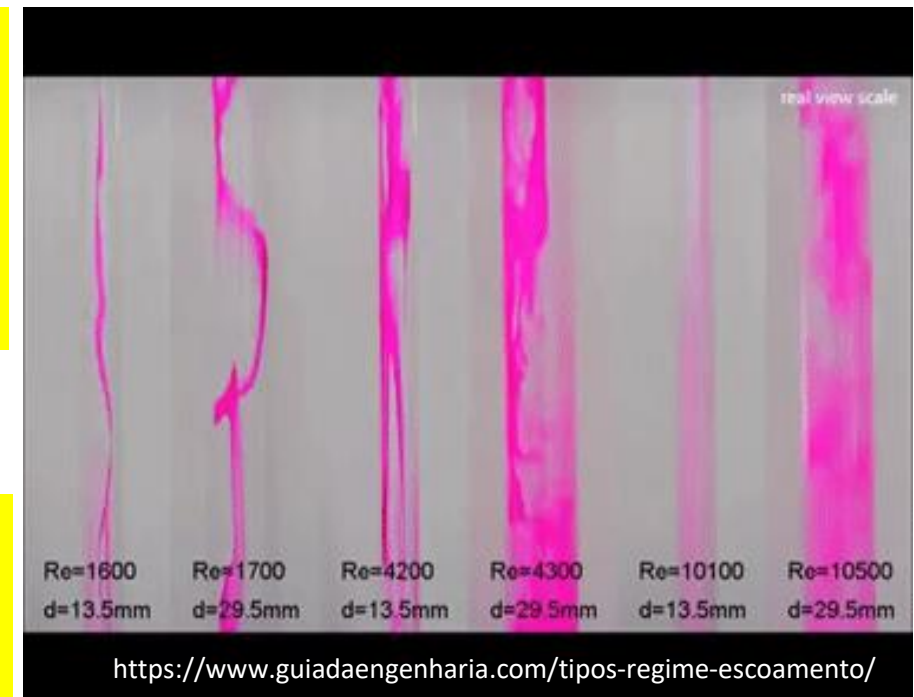
Em que:

Rey – nº de Reynolds, adimensional

V – velocidade do fluxo, m/s

D – diâmetro interno do conduto, m

ν – viscosidade cinemática do fluido, m^2/s

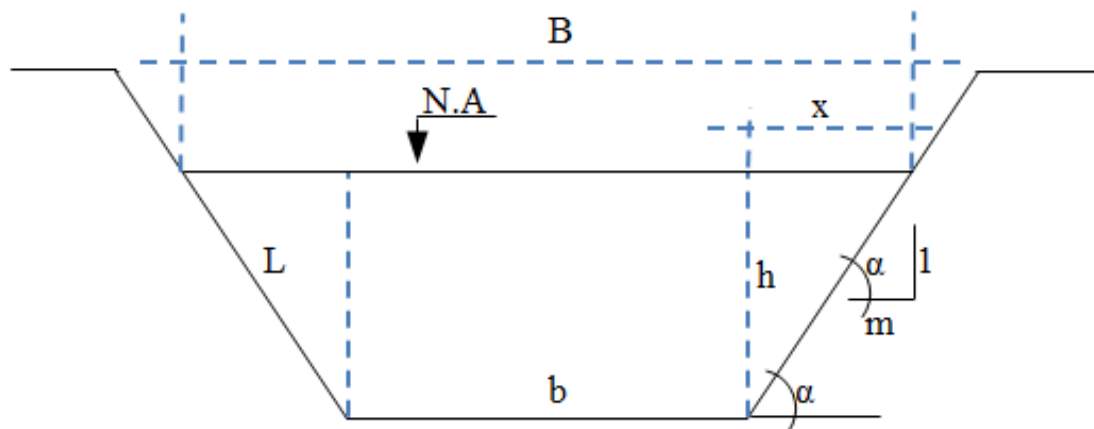


Regimes de fluxo

Para condução livre e tubulação de secção transversal qualquer.

- Laminar $Rey < 500$
- Turbulento $Rey > 2.000$
- Transitório $500 \leq Rey \leq 2.000$

Exercício 1 – Faça a classificação de fluxo para a condução de água a uma velocidade de 0,80 m/s em um canal trapezoidal com taludes inclinados (1:m) 1:1,50, base inferior (b) de 0,50 m e carga hidráulica (altura de escoamento) (h) de 0,80 m.



$$Rey = \frac{V \cdot 4 \cdot Rh}{\nu}$$

Em que:

Rey – nº de Reynolds, adimensional

V – velocidade do fluxo, m/s

Rh – raio hidráulico = A/P, m

A – área da secção transversal de fluxo, m²

P – Perímetro molhado, m.

ν – viscosidade cinemática do fluido, m²/s

$$A = b \cdot h + m \cdot h^2$$

$$P = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{(1 + m^2)}$$

$$A = 0,50 \cdot 0,80 + 1,50 \cdot 0,80^2 = 1,36 \text{ m}^2$$

$$P = 0,50 + 2 \cdot 0,80 \cdot \sqrt{(1 + 1,50^2)} = 3,38 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{1,36}{3,38} = 0,40 \text{ m}$$

$$Rey = \frac{0,80 \cdot 4 \cdot 0,40}{10^{-6}} = 1.280.000$$

**Fluxo
turbulento**

Lei da conservação da energia - Teorema de Bernoulli

Ao longo de qualquer linha de fluxo o somatório abaixo é constante:

$$\Delta H = 0 \text{ mca, para fluidos ideais.}$$
$$Z_1 + P_1 + \frac{V_1^2}{(2 \cdot g)} = Z_2 + P_2 + \frac{V_2^2}{(2 \cdot g)} + \Delta H_{1-2}$$

Nos fluidos reais as perdas de cargas ocorrem por atrito interno (efeito da viscosidade) e externo ao fluido (atrito com as paredes do conduto).

Em que:

Z – carga de posição ou potencial, m;

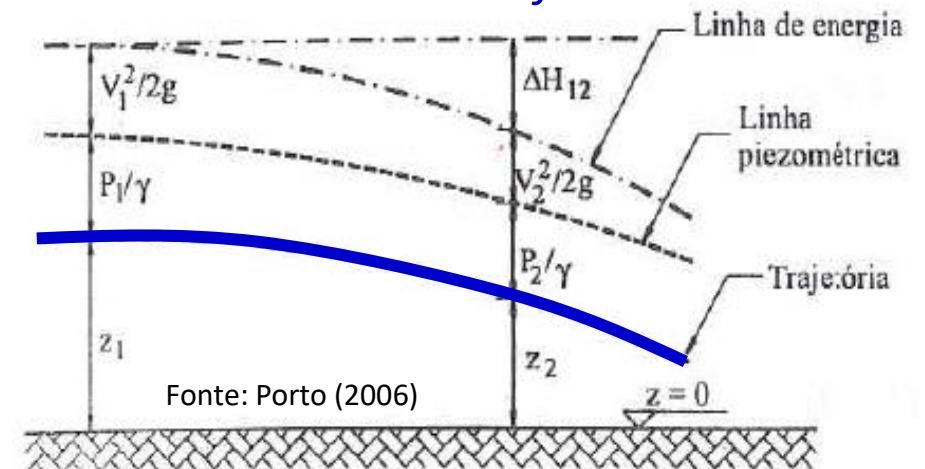
P – carga de pressão ou piezométrica, mca;

$V^2/2g$ – carga cinética; mca;

ΔH – perda de carga, mca.

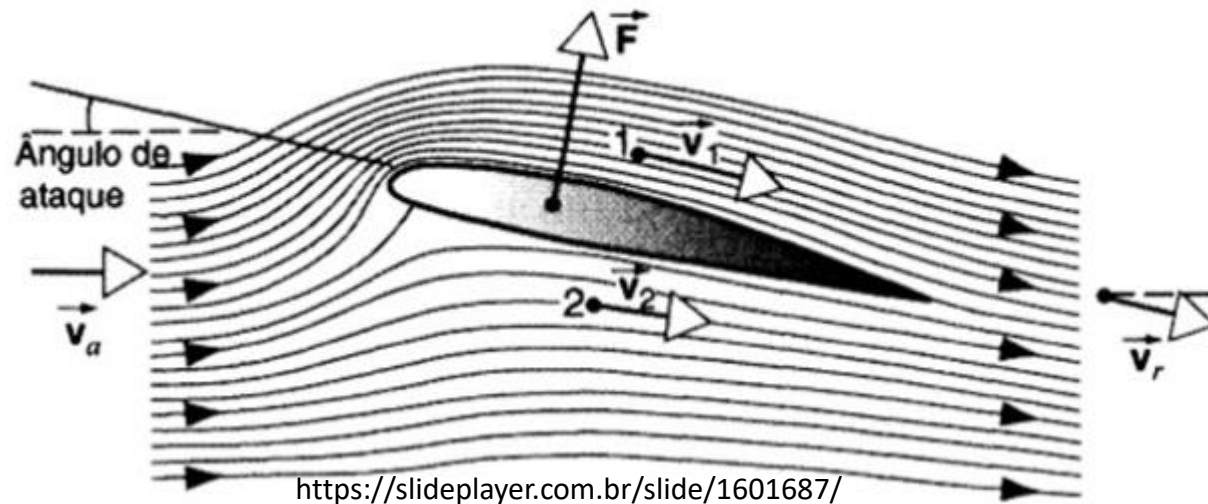
$$\text{Carga} = \frac{\text{Energia}}{\text{Força}} = \frac{N \cdot m}{N} = m$$

Linha de energia, ou estado quantitativo total do fluido.



Lei da conservação da energia - Teorema de Bernoulli

Sustentação dinâmica: Asa do avião



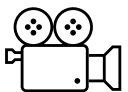
<https://slideplayer.com.br/slide/1601687/>

$$Z_1 + P_1 + \frac{V_1^2}{(2 \cdot g)} = Z_2 + P_2 + \frac{V_2^2}{(2 \cdot g)} + \Delta H_{1-2}$$

$$P + \frac{V^2}{(2 \cdot g)} = \text{constante, então se: } V \uparrow \therefore P \downarrow$$



<https://nascidosparavolar.wordpress.com/category/comissario-de-bordo/page/2/>



<https://www.youtube.com/watch?v=i-Ka9Co9eSg>

<https://www.youtube.com/watch?v=-ydKJCuARAc>

<https://www.youtube.com/watch?v=JfYyD-kw0>

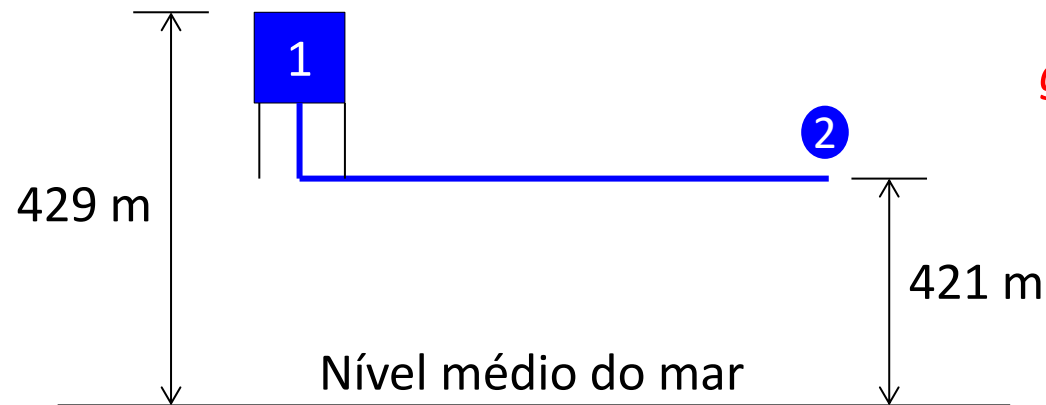
Lei da conservação da energia - Teorema de Bernoulli



- O projétil sai com uma velocidade muito alta.
- Gera baixa pressão na massa de água a sua volta suficiente para que a tensão de vapor da água seja atingida.
- A coluna de vapor é comprimida pela água e volta ao estado líquido implodindo.
- Processo semelhante ocorre na cavitação.

Lei da conservação da energia - Teorema de Bernoulli

Exemplo: calcular a perda de carga num escoamento de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ de água da cota 429 m para a cota 421 m, por uma tubulação de 96,00 mm de diâmetro.



Assumir $V_1 = 0 \text{ m/s}$ devido à grande dimensão do reservatório, comparado a tubulação.

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V$$

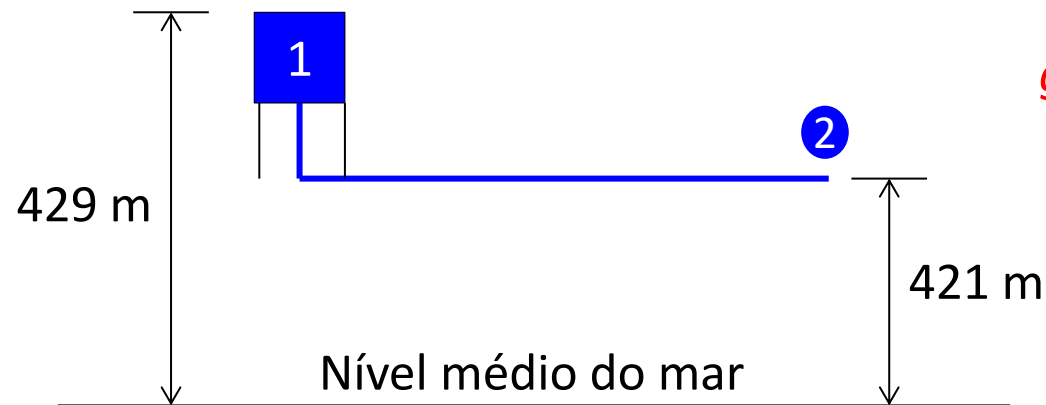
$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

$$Z_1 + P_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + P_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

$$429 + 0 + \frac{0^2}{(2 * 9,8)} = 421 + 0 + \frac{2,76^2}{(2 * 9,8)} + \Delta H_{1-2} \quad V_2 = \frac{4 \cdot 0,02}{\pi \cdot 0,096^2} = 2,76 \text{ m/s}$$

Lei da conservação da energia - Teorema de Bernoulli

Exemplo: calcular a perda de carga num escoamento de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ de água da cota 429 m para a cota 421 m, por uma tubulação de 96,00 mm de diâmetro.



Assumir $V_1 = 0 \text{ m/s}$ devido à grande dimensão do reservatório, comparado a tubulação.

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V$$

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

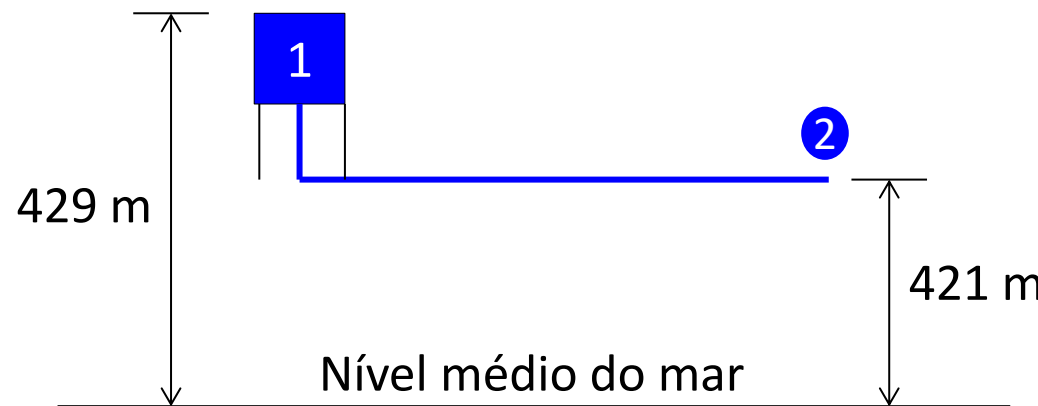
$$V_2 = \frac{4 \cdot 0,02}{\pi \cdot 0,096^2} = 2,76 \text{ m/s}$$

$$Z_1 + P_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + P_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2}$$

$$\Delta H_{1-2} = 429 - 421 - \frac{2,76^2}{(2 \cdot 9,8)} = 7,61 \text{ mca}$$

Lei da conservação da energia - Teorema de Bernoulli

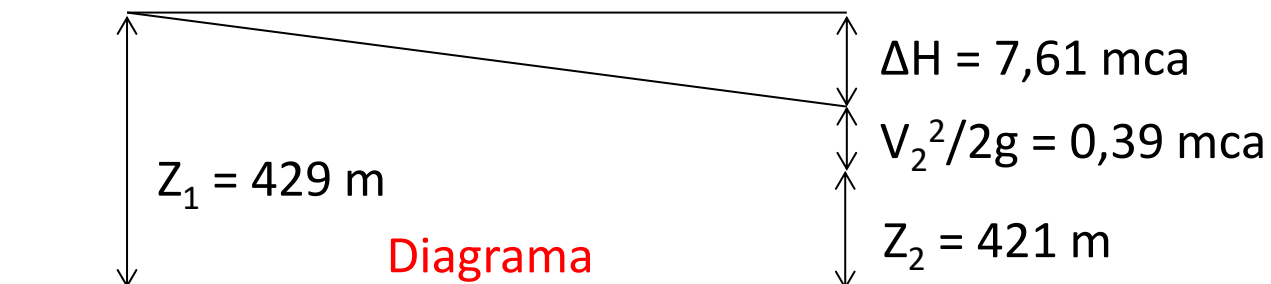
Exemplo: calcular a perda de carga num escoamento de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ de água da cota 429 m para a cota 421 m, por uma tubulação de 96,00 mm de diâmetro.



Assumir $V_1 = 0 \text{ m/s}$ devido à grande dimensão do reservatório, comparado a tubulação.

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V$$

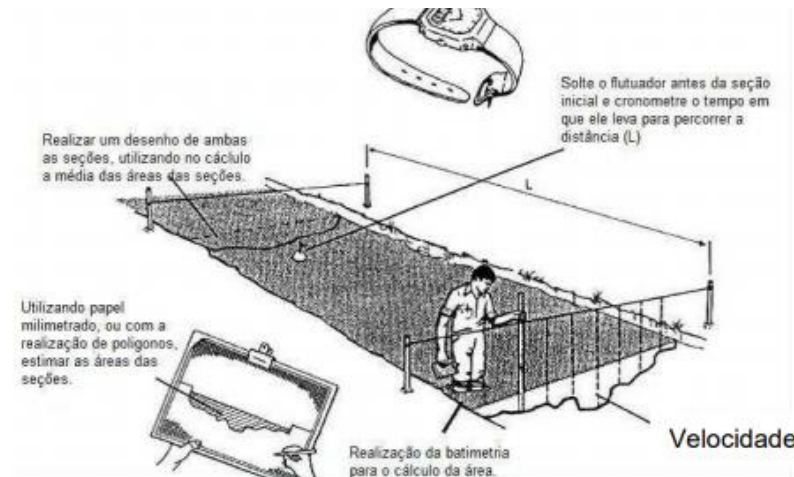


Atividade para casa:
Refazer o exemplo acima para tubulação com diâmetro de 48,10 mm.

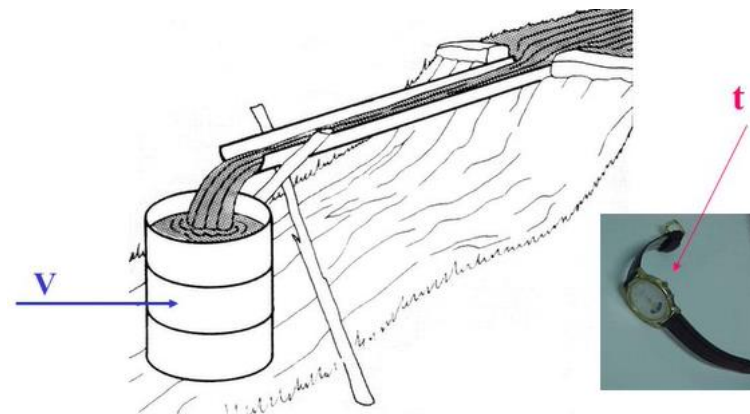
Vazão

Métodos diretos de determinação

- Equação da continuidade: $Q = A \cdot V$
Onde: Q – vazão, m^3/s ; A – área da seção transversal, m^2 ; V – velocidade de fluxo, m/s .
- Razão entre volume e tempo: $Q = \frac{Vol}{T}$ ou $Q = \frac{m}{\rho \cdot T}$
 Q – vazão; Vol – volume; T – tempo; m – massa, ρ - densidade .



Fonte: Miranda et al. (2014) – link: <http://www.conhecer.org.br/>



<https://slideplayer.com.br/slide/5649912/>

Vazão

Métodos diretos de determinação

- Equação da continuidade: $Q = A \cdot V$
Onde: Q – vazão, m^3/s ; A – área da seção transversal, m^2 ; V – velocidade de fluxo, m/s .
- Razão entre volume e tempo: $Q = \frac{Vol}{T}$ ou $Q = \frac{m}{\rho \cdot T}$
 Q – vazão; Vol – volume; T – tempo; m – massa, ρ - densidade .

Algumas conversões

$$1 \text{ m}^3/s = 60 \text{ m}^3/min = 3.600 \text{ m}^3/h = 1.000 \text{ L/s} = 3.600.000 \text{ L/h.}$$

Exemplo 1: Qual a vazão em uma torneira que descarrega 200 L de água em 30 minutos? Quanto de água seria coletado em 1 h e 45 min.?

Resposta: $0,40 \text{ m}^3/h = 1,11 \times 10^{-4} \text{ m}^3/s$; 700 L.



FIM
