# HIDRÁULICA, IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

## *HIDRÁULICA*
## HIDRODINÂMICA
## Março/2023

**Prof. Tamara Gomes**

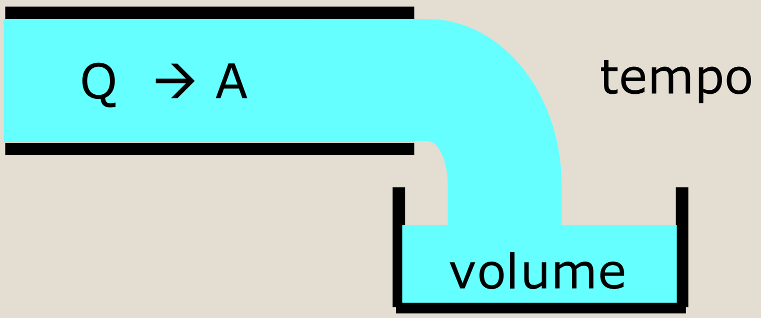
# Introdução

**CONCEITO: é o estudo dos líquidos em movimento.**

**O *FLUIDO PERFEITO* (ideal): é um fluido teórico, não tem coesão; não tem atrito (viscosidade) e é incompressível (sem elasticidade), isto é, sua massa específica não se altera qualquer que seja a pressão.**

**VAZÃO OU DESCARGA (Q ou q): é o volume de líquido que atravessa uma dada secção por unidade de tempo.**

$$Q = \frac{volume}{tempo} = \frac{m^3}{s}$$




Unidade S.I. (MKS): **$m^3/s$**

Na prática:

- L/s → canalizações;
- L/h → gotejadores, microaspersores;
- $m^3/h$ → bombas e aspersores.

# Classificação dos movimentos

- **Movimento Permanente:**
  - Uniforme
  - Não Uniforme
    - Acelerado
    - Retardado
- Movimento Variado.

**Definições:**

**Escoamento em Regime Permanente:** as propriedades do fluido: pressão, velocidade, viscosidade e massa específica, em um ponto do campo não mudam com o tempo.

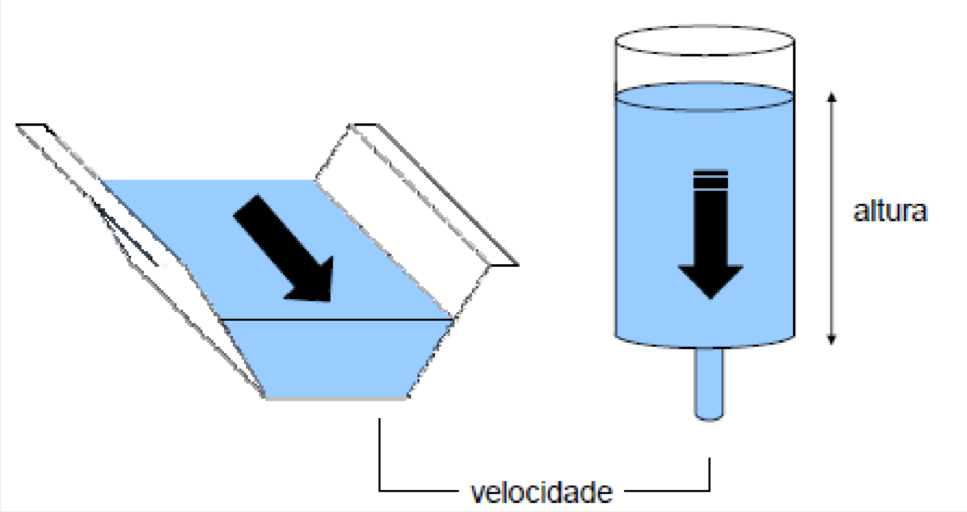



Imagem: Alan Sulato de Andrade - UFPR

# Classificação dos movimentos

- Movimento Permanente: { - Uniforme
  - Não Uniforme { - Acelerado
    - Retardado

- Movimento Variado.

**<u>Definições</u>:**

**Escoamento em Regime Permanente Uniforme:** é caracterizado pela velocidade ser constante em qualquer seção normal ao escoamento, isto é, a velocidade média não varia ao longo da tubulação.

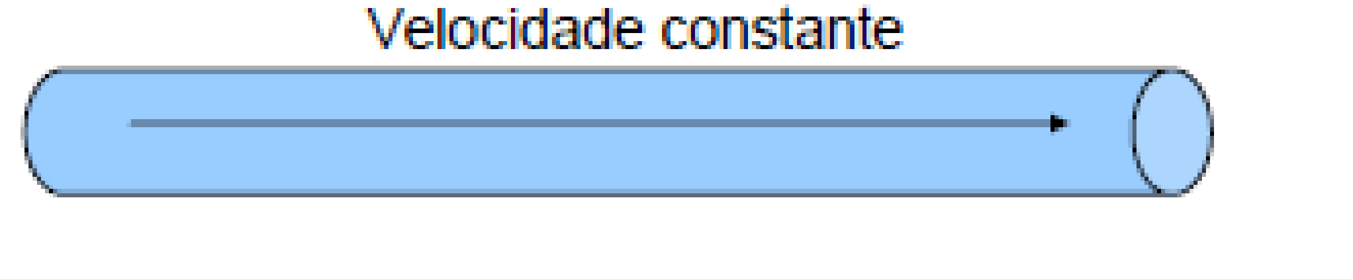



Imagem: Alan Sulato de Andrade - UFPR

# Classificação dos movimentos

- Movimento Permanente:
  - Uniforme
  - Não Uniforme
    - Acelerado
    - Retardado
- Movimento Variado.

**Definições:**

**Escoamento em Regime Permanente não Uniforme:** é aquele em que as velocidades variam em cada seção transversal ao longo do escoamento.

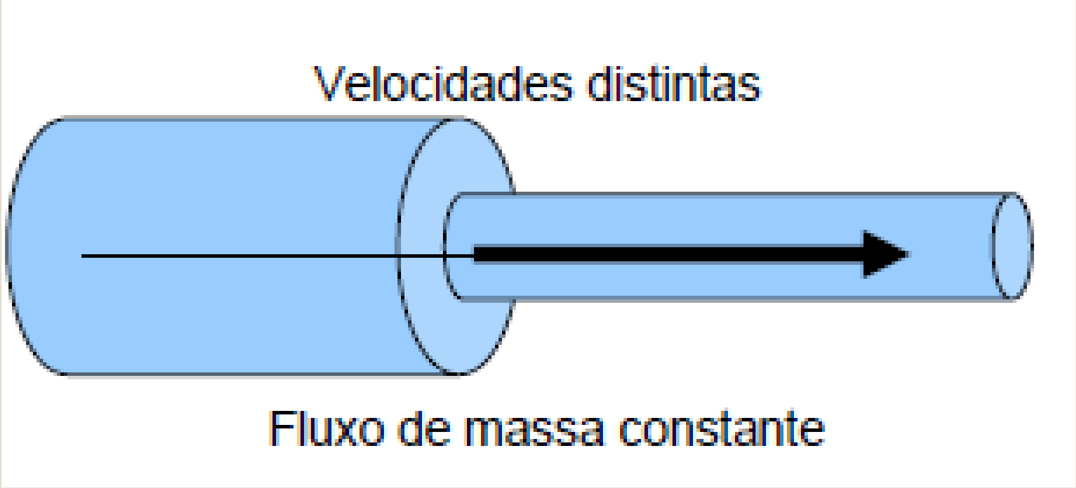



Imagem: Alan Sulato de Andrade - UFPR

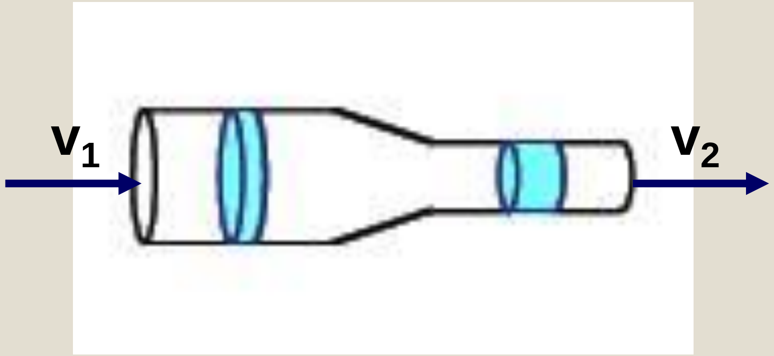
# Classificação dos movimentos

- Movimento Permanente:
  - Uniforme
  - Não Uniforme
    - Acelerado
    - Retardado
- Movimento Variado.

**Definições:**

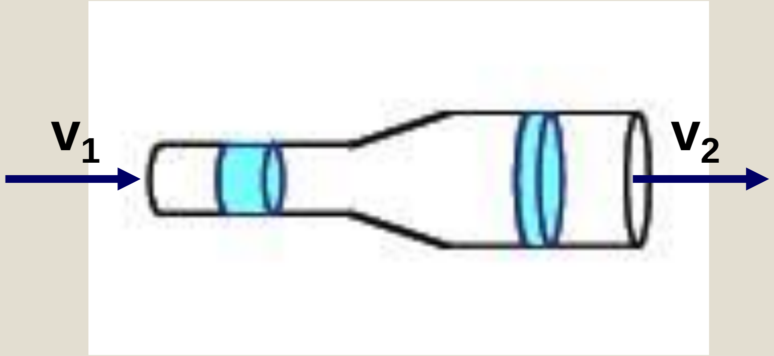
**Escoamento em Regime Permanente não Uniforme:** é aquele em que as velocidades variam em cada seção transversal ao longo do escoamento.

**- Acelerado**




Velocidade aumenta.

**- Retardado**




Velocidade diminui.

# Classificação dos movimentos

- Movimento Permanente:
  - Uniforme
  - Não Uniforme
    - Acelerado
    - Retardado
- Movimento Variado.

**Definições:**

**Escoamento Variado:** **Pressão, velocidade, viscosidade e massa específica variam no decorrer do tempo.**

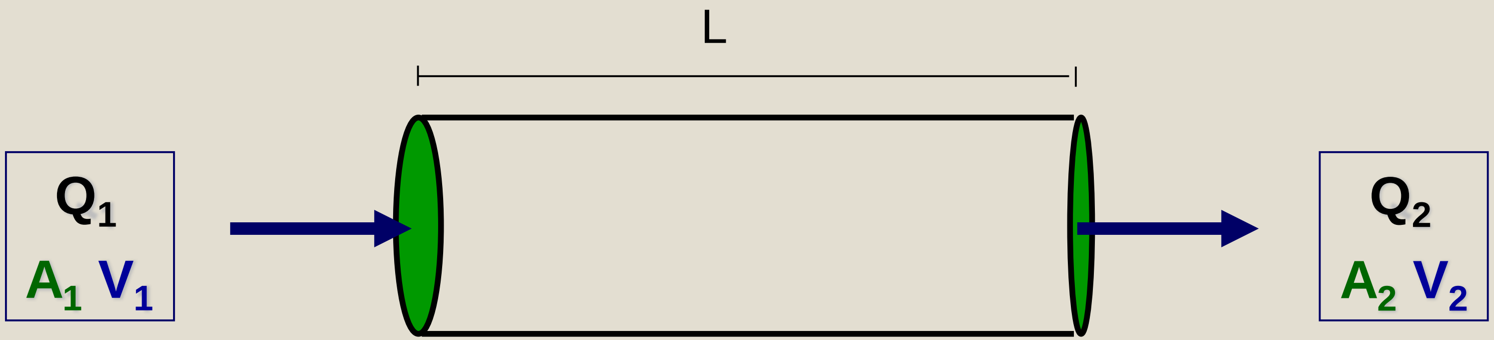
Movimento Não Permanente Uniforme.

# Classificação dos movimentos

**RESUMO:**

- Se:

$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 \\ A_1 = A_2 \\ V_1 = V_2 \end{cases} \Rightarrow \boxed{\text{Movimento Permanente Uniforme}}$$



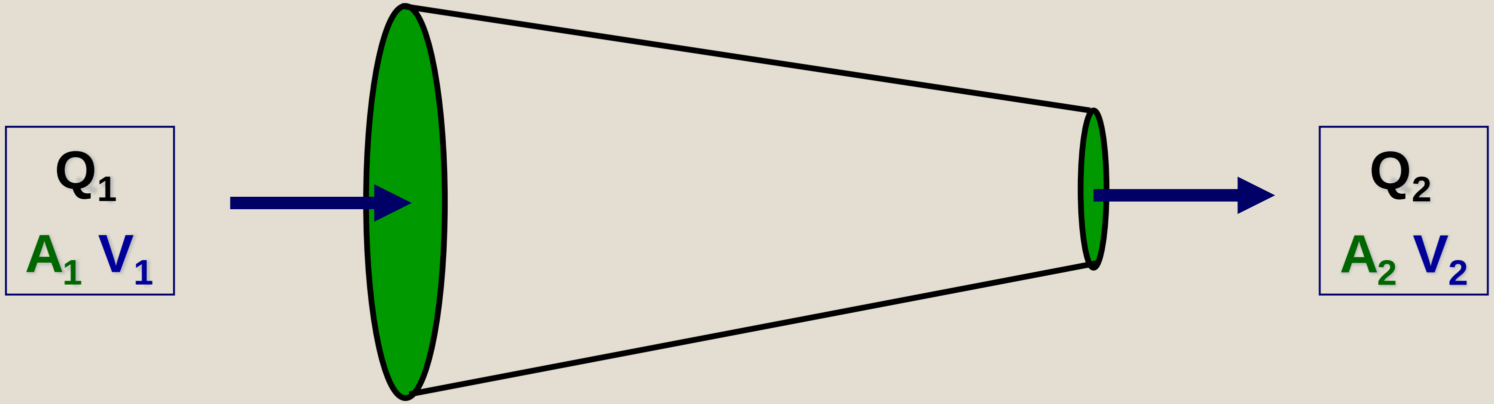
# Classificação dos movimentos

**RESUMO:**

**- Se:**

$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 \\ A_1 > A_2 \\ V_1 < V_2 \end{cases}$$

**Mov. Permanente não Uniforme Acelerado**



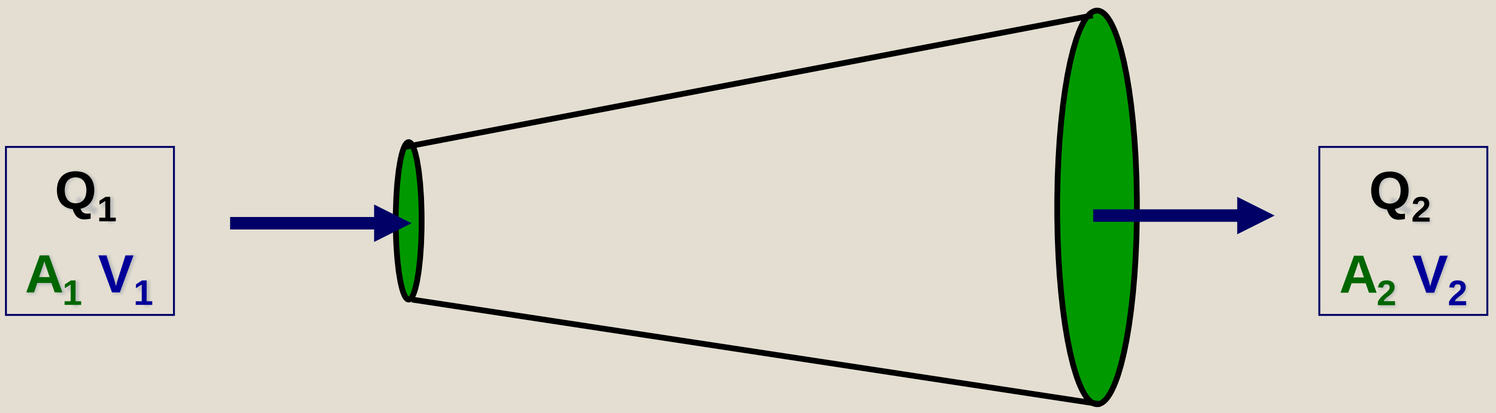
# Classificação dos movimentos

**RESUMO:**

**- Se:**

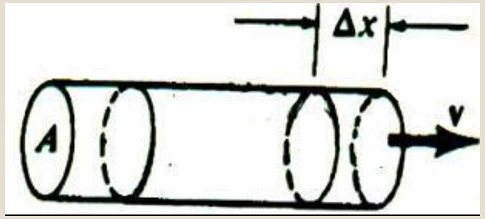
$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 \\ A_1 < A_2 \\ V_1 > V_2 \end{cases}$$

**Mov. Permanente não Uniforme Retardado**



# Equação da Continuidade

**É a lei da conservação de massa aplicada ao movimento dos Fluídos (quando permanente).**




$$\left.\begin{aligned} dVol &= A.dx \quad (1) \\ dVol &= Q \times dt \quad (2) \end{aligned}\right\} \quad como: (1) = (2)$$

Velocidade

**Então:**

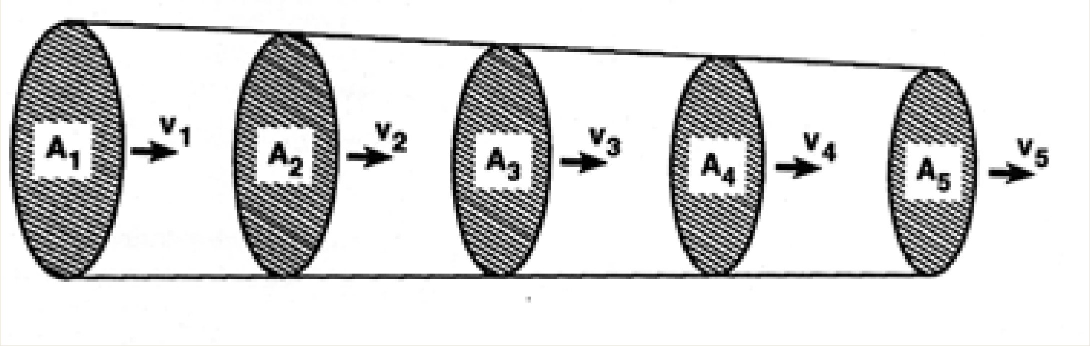
$$Q \times dt = A \times dx \quad \Rightarrow \quad Q = \frac{A \times dx}{dt} = A \times \frac{dx}{dt}$$

$$\boxed{Q = A \times v}$$

**onde:** 
- **$Q = m^3/s$**
- **$A = m^2$**
- **$v = m/s$**

# Equação da Continuidade

**Então, para uma tubulação com diferentes diâmetros, em regime permanente, temos:**




$$\boxed{Como: \quad Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5}$$

$$\boxed{Então: \; A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3 = A_4 v_4 = A_5 v_5}$$

# EXERCÍCIO:

**Em uma tubulação de alumínio utilizada em sistemas de irrigação por aspersão, recomenda-se uma velocidade da água de 2 m/s para que não haja desgaste prematuro das mesmas.**
**Determinar a vazão em L/h nos tubos de 101,6 mm (4") e 152,4 mm (6").**

**Tubulação de 101,6 mm (4")**

$$Q = A \times v \Rightarrow Q = \frac{\pi \times d^2}{4} \times v$$

$$Q = \frac{\pi \times (0{,}1016m)^2}{4} \times 2\frac{m}{s}$$

$$Q = 0{,}016215\frac{m^3}{s} = 58{,}37\frac{m^3}{h} = 58.372{,}83\frac{L}{h}$$

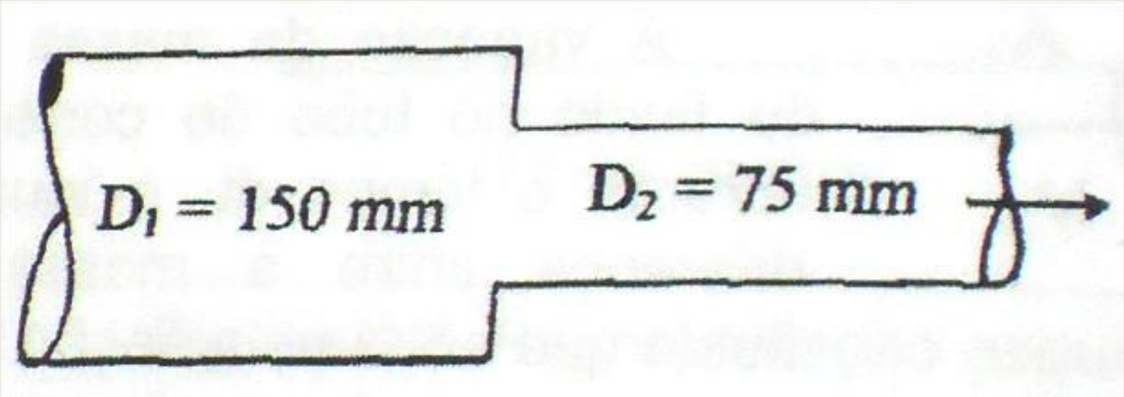
**Tubulação de 152,4 mm (6")**

$$Q = \frac{\pi \times (0{,}1524m)^2}{4} \times 2\frac{m}{s}$$

$$Q = 131.339\frac{L}{h}$$

# EXERCÍCIO:

**A tubulação representada na figura, que é composta de dois trechos de diâmetros diferentes $D_1$ =150 mm e $D_2$ =75 mm, está conduzindo uma vazão de 55 L $s^{-1}$ de água. Determinar a velocidade média de escoamento da água nos trechos 1 ($v_1$) e 2 ($v_2$) .**




$$Q = A_1 \times v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$Q = A_2 \times v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

**Trecho 1 (D1=150mm)**

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \Rightarrow v1 = \frac{0{,}055}{\frac{\pi \times (0{,}15)^2}{4}} = 3{,}11 \frac{m}{s}$$

**Trecho 2 (D2=75mm)**

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} \Rightarrow v_2 = \frac{0{,}055}{\frac{\pi \times (0{,}075)^2}{4}} = 12{,}5 \frac{m}{s}$$

## Equação da energia para regime permanente

- **Com base no fato de que a energia não pode ser criada nem destruída é possível construir uma equação que permite fazer o *balanço de energia*.**

- **Benefícios: determinação da potência de máquinas hidráulicas, determinação de perdas em escoamentos, transformação da energia, etc.**

**Tipos de energia mecânica associada a um fluido:**

**- Energia potencial (Ep)**

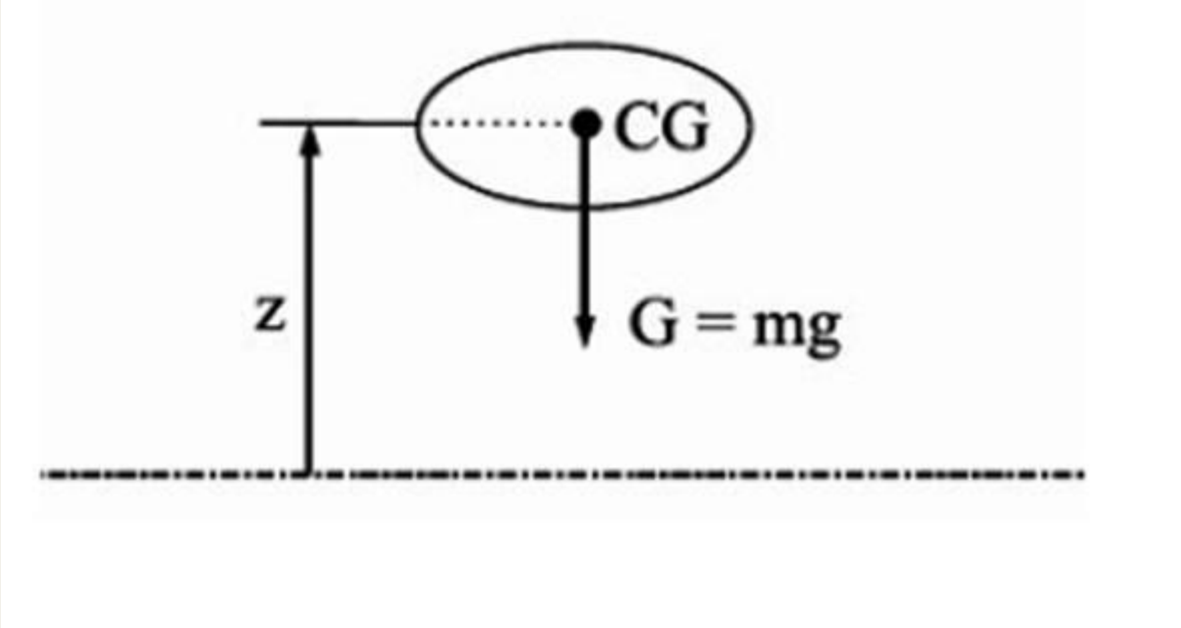
**- Energia cinética (Ec)**

**- Energia de pressão (Epr)**

# Equação da energia para regime permanente

- **Energia potencial (Ep): é o estado da energia devido à sua posição no campo da gravidade em relação a um plano de referência.**

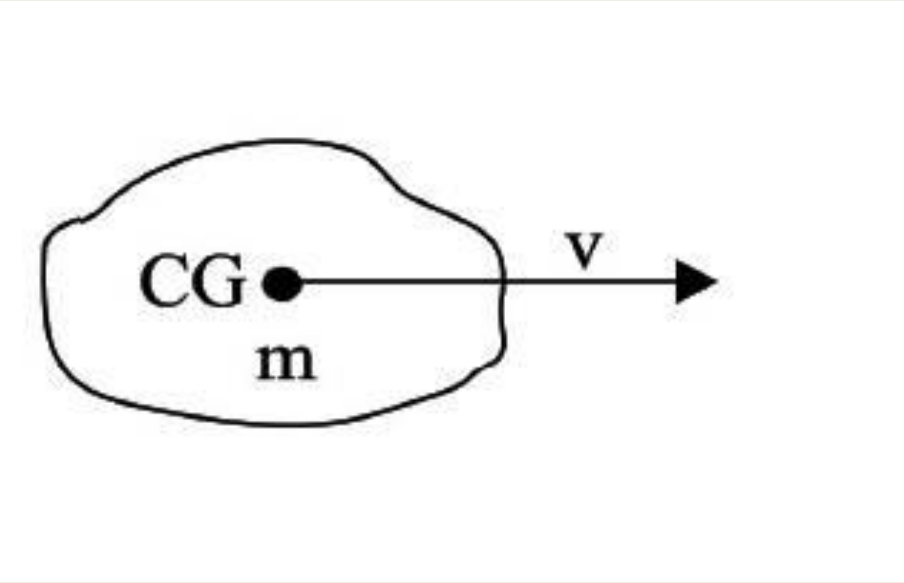
$$\boxed{E_P = m \cdot g \cdot z}$$



# Equação da energia para regime permanente

- **Energia Cinética (Ec): é o estado de energia determinado pelo movimento do fluido.**

$$\boxed{E_C = \frac{m \cdot v^2}{2}}$$

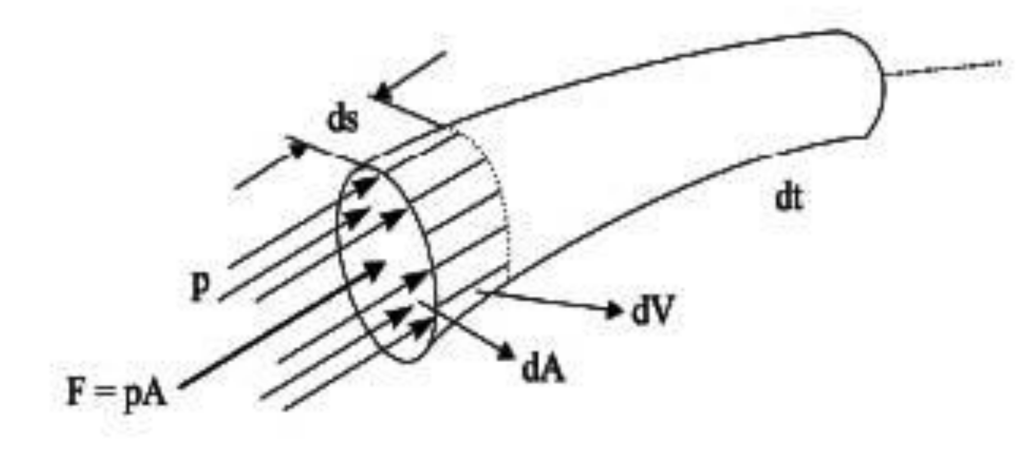


# Equação da energia para regime permanente

- **Energia de pressão (Epr): corresponde ao trabalho potencial das forças de pressão que atuam no escoamento de um fluido.**

$$d_W = F \cdot ds \text{ , } mas \;\; p = \frac{F}{A} \;\; \Rightarrow F = p \cdot A \;\; \therefore$$

$$\begin{cases} d_W = p \cdot A \cdot ds = p \cdot dV \\ d_W = dE_{pr} \text{ , } então: \end{cases}$$




$$dE_{pr} = p \cdot dV \;\Rightarrow$$

$$E_{pr} = \int_V p \cdot dV \;\Rightarrow\; E_{pr} = p \cdot \int_V dV \;\Rightarrow\; \boxed{E_{pr} = p \cdot V}$$

# Equação da energia para regime permanente

- **Energia Mecânica Total (E): excluindo-se energias térmicas, e levando em conta apenas os efeitos mecânicos, a energia total de um sistema de fluido será:.**

$$\boxed{E = E_P + E_C + E_{pr}}$$

**ou**

$$\boxed{E = m \cdot g \cdot z + \frac{m \cdot v^2}{2} + p \cdot V}$$

# TEOREMA DE BERNOULLI

**É o princípio da conservação de energia aplicada ao Escoamento dos fluidos em Regime Permanente.**

**<u>FLUÍDO PERFEITO SEM PERDA DE ENERGIA</u>:**

**Energia: Capacidade de realizar trabalho = F . D (N.m ou J)**

**Formas: energia por unidade de peso →**

$$\frac{E_C}{Peso} = \frac{\frac{1}{2}m.v^2}{mg} = \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{E_P}{Peso} = \frac{m.g.h}{m.g} = h$$

$$\frac{E_{pres}}{Peso} = \frac{p.V}{\gamma.V} = \frac{p}{\gamma}$$

$$\frac{E_{total}}{Peso} = \frac{E_C}{Peso} + \frac{E_P}{Peso} + \frac{E_{pres}}{Peso} \Rightarrow$$

$$\boxed{E_{Total} = \frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\gamma}}$$

# TEOREMA DE BERNOULLI

$$\boxed{E_{Total} = \frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\gamma}}$$

## É IMPORTANTE SABER QUE:

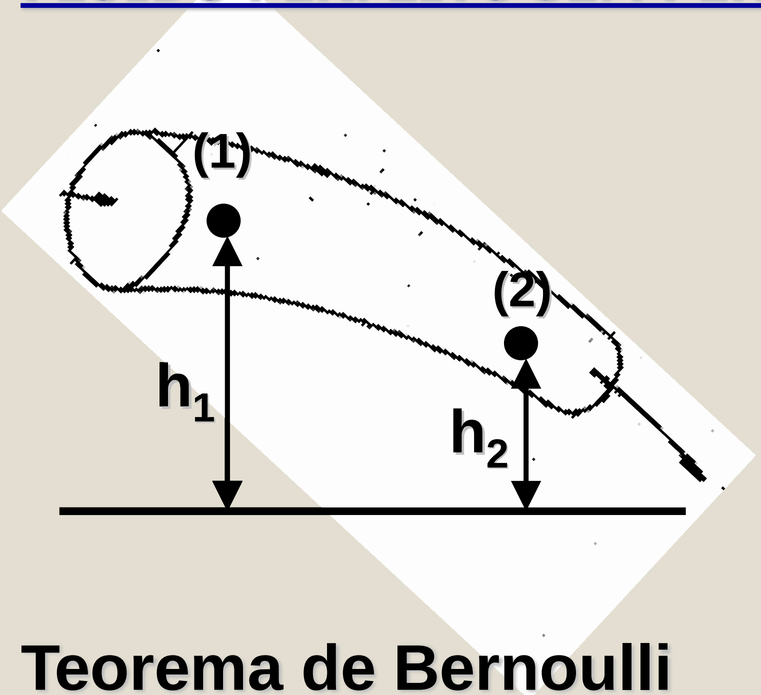
$\boxed{\frac{v^2}{2g}} \longrightarrow$ **CARGA CINÉTICA**

$\boxed{h} \longrightarrow$ **CARGA POTENCIAL**

$\boxed{\frac{p}{\gamma}} \longrightarrow$ **CARGA DE PRESSÃO**

# TEOREMA DE BERNOULLI

## FLUÍDO PERFEITO SEM PERDA DE ENERGIA:




Teorema de Bernoulli

$$Energia\,total(1) = Energia\,total(2)$$

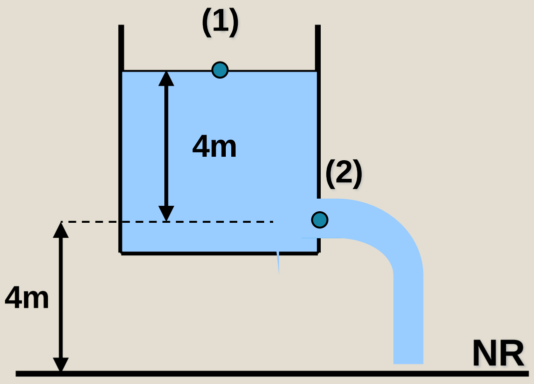
$$E_{pres_1} + E_{c_1} + E_{p_1} = E_{pres_2} + E_{c_2} + E_{p_1}$$

$$\boxed{\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2}$$

<u>Condição:</u> entre duas seções do escoamento, o fluido for incompressível, sem atritos, regime permanente, não houver trocas de calor.

# EXERCÍCIO:

1) Qual a velocidade teórica da água no orifício do esquema (2), considerando a água um fluido perfeito.




$$\frac{P1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} + h1 = \frac{P2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + h2$$

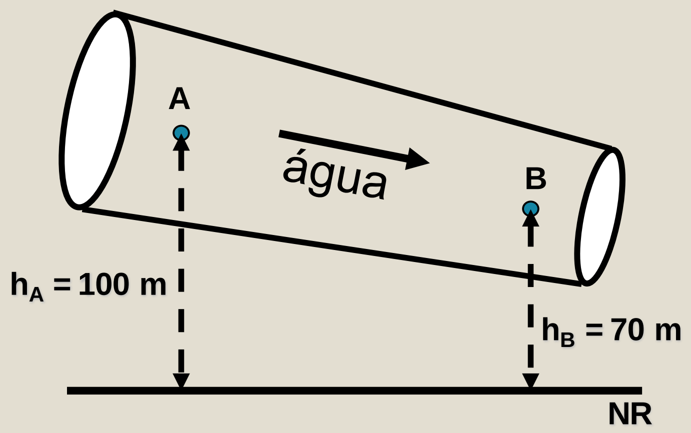
$$\frac{0}{\gamma} + \frac{0}{2g} + 8m = \frac{0}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + 4m$$

$$v2 = 8{,}85\ m/s$$

# EXERCÍCIO:

2) Calcular a vazão, dado o esquema abaixo, sendo:

- Pressão em A: $P_A = 0,5$ kgf / cm²
- Pressão em B: $P_B = 3,38$ kgf / cm²
- Diâmetro em A = 11,3 cm
- Diâmetro em B = 8,0 cm




$$\gamma_{água} = 1.000 kgf.m^{-3}$$

$$\frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} + h_A = \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + h_B$$

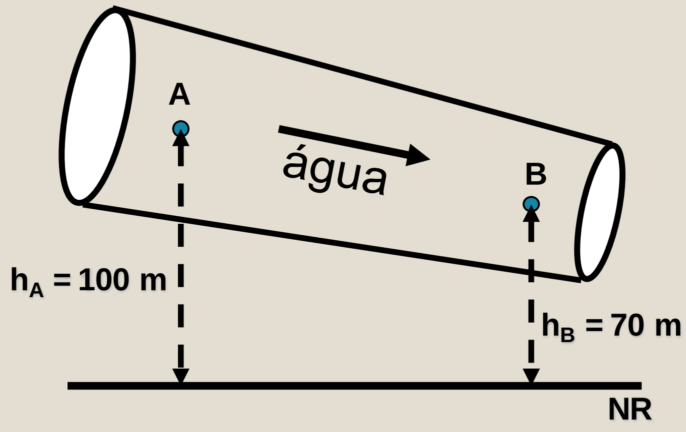
$$\frac{5000\frac{kgf}{m^2}}{1000\frac{kgf}{m^3}} + \frac{v_A^2}{2g} + 100m = \frac{33800\frac{kgf}{m^2}}{1000\frac{kgf}{m^3}} + \frac{v_B^2}{2g} + 70m$$

$$v_B{}^2 - v_A{}^2 = 23{,}54\frac{m^2}{s_2}$$

# EXERCÍCIO:

**2) Calcular a vazão, dado o esquema abaixo, sendo:**

- **Pressão em A: $P_A$= 0,5 kgf / cm²**
- **Pressão em B: $P_B$= 3,38 kgf / cm²**
- **Diâmetro em A = 11,3 cm**
- **Diâmetro em B = 8,0 cm**




$$\gamma_{água} = 1.000 kgf.m^{-3}$$

$$Q_A = Q_B$$

$$\frac{\pi \times D^2{}_A}{4} \times v_A = \frac{\pi \times D^2{}_B}{4} \times v_B$$

$$\frac{\pi \times (0{,}113)^2}{4} \times v_A = \frac{\pi \times (0{,}08)^2}{4} \times v_B \Rightarrow v_B = 2v_A$$

$$v_B{}^2 - v_A{}^2 = 23{,}54 \frac{m^2}{s_2}$$

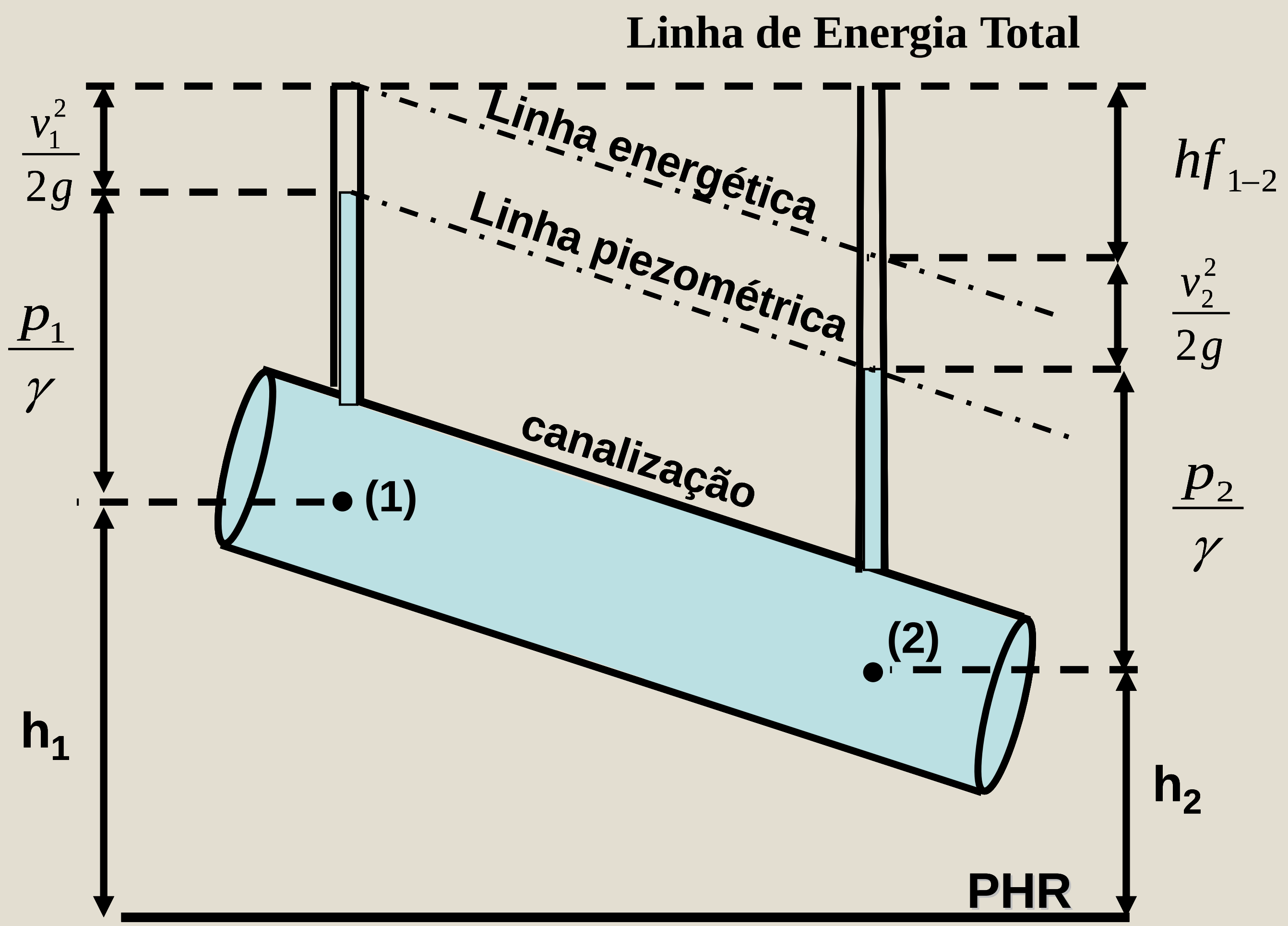
**Fazendo as substituições:**

$$v_A = 2{,}80 \frac{m}{s}$$

$$v_B = 5{,}60 \frac{m}{s}$$

$$\boxed{Q = 0{,}0281 \frac{m^3}{s} = 28{,}1 \frac{L}{s}}$$

# EXTENSÃO DO TEOREMA DE BERNOULLI A FLUIDOS REAIS:




**Fluído Real → hf = perda de carga.**

## EXTENSÃO DO TEOREMA DE BERNOULLI A FLUIDOS REAIS:

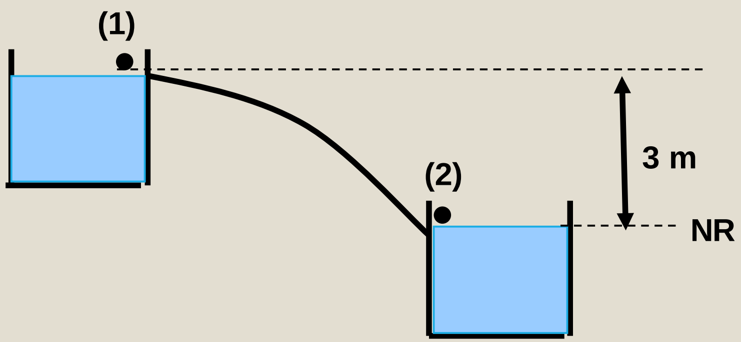
**Nos Fluídos Reais, a viscosidade, a rugosidade do conduto, a velocidade de escoamento e a distância percorrida pelo fluido no conduto dão origem a uma "perda" de energia, chamada perda de carga. Por isso introduz-se na equação de Bernoulli um termo corretivo hf.**

$$\boxed{\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + hf}$$

**Equação de Bernoulli para fluídos reais.**

**A perda de carga "hf" corresponde a energia potencial (de pressão e gravitacional), dissipada irreversivelmente na forma de energia térmica, durante o processo de escoamento.**

# Vide esquema, pede-se a perda de carga.



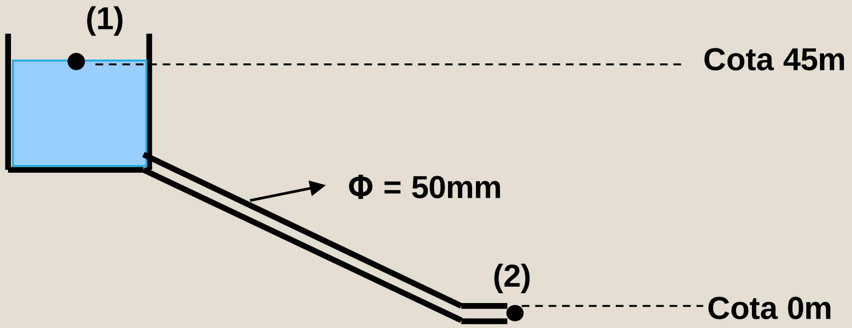

**Utilizando a equação de Bernoulli:**

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1-2} \Rightarrow$$

$$0 + 0 + 3m = 0 + 0 + 0 + hf_{1-2} \Rightarrow \quad \boxed{hf_{1-2} = 3m}$$

# EXERCÍCIO:

**Dados: vide esquema, e perda de carga hf = 33,6m. Pede-se a vazão.**




$$\frac{P1}{\gamma}+\frac{v1^2}{2g}+h1=\frac{P2}{\gamma}+\frac{v2^2}{2g}+h2+hf(1-2\Big)$$

$$\frac{0}{\gamma}+\frac{0}{2g}+45m=\frac{0}{\gamma}+\frac{v2^2}{2g}+0m+33{,}6\,m$$

$$v2=14{,}9\ m/s \qquad\qquad Q=0{,}0294\ m^3/s$$

# TEOREMA DE BERNOULLI

## TEOREMA DE BERNOULLI APLICADO A BOMBAS HIDRÁULICAS:

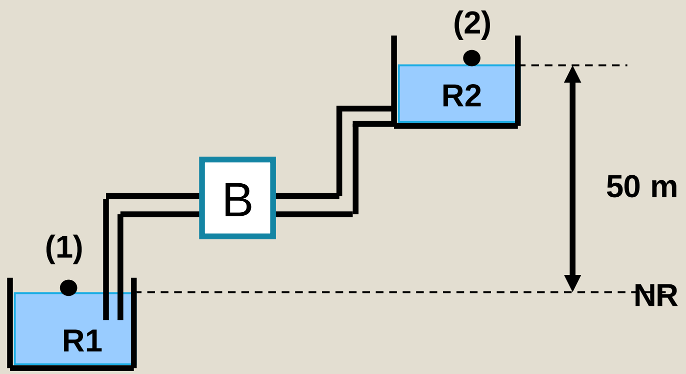

$$h_{Bomba} + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1-2}$$

**Equação de Bernoulli**

Bomba hidráulica = dispositivo que fornece energia ao escoamento.

# EXERCÍCIO:

**Calcular a potência hidráulica, em watts e cv, da bomba (B) do esquema ao abaixo, sabendo-se que a vazão é de 100 l/s e a perda de carga do reservatório (R1) ao reservatório (R2) é de 6 mca.**




$$hbomba + \frac{P1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} + h1 = \frac{P2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + h2 + hf(1-2)$$

$$hbomba + \frac{0}{\gamma} + \frac{0}{2g} + 0m = \frac{0}{\gamma} + \frac{0}{2g} + 50m + 6\,m$$

$$Potência = hbomba \times \gamma \times Q$$

$$hbomba = 56\,m.c.a$$

$$Potência = 56m \times 9800\frac{N}{m^3} \times 0{,}1\frac{m^3}{s}$$

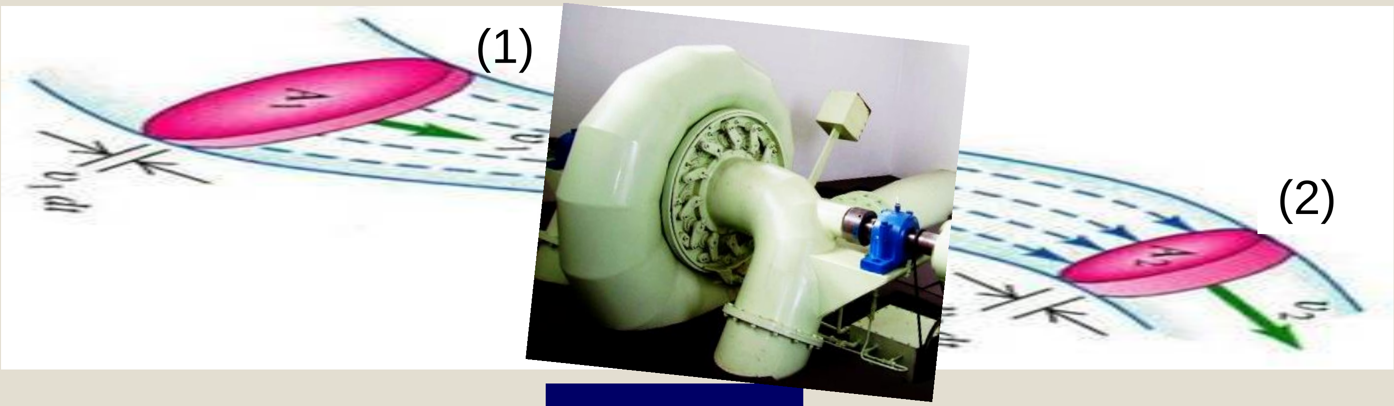
1cv=735w

$$Potência = 54.880\frac{Nm}{s}$$

$$Potência = 54.880\frac{J}{s} = 54.880\,w = 74{,}66\,cv$$

# TEOREMA DE BERNOULLI

## TEOREMA DE BERNOULLI APLICADO A TURBINAS HIDRÁULICAS:




Turbina

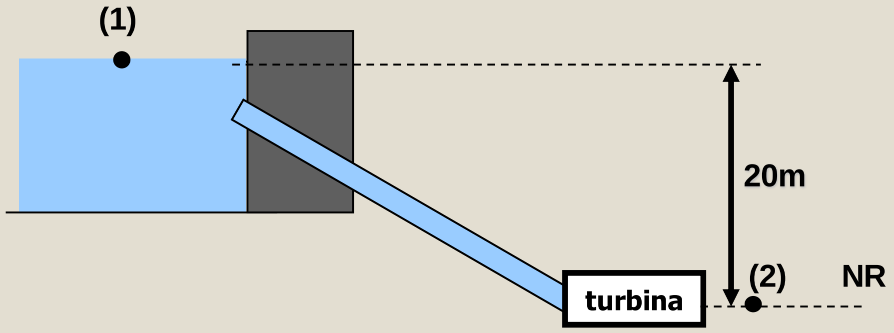
$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1-2} + h_{Turbina}$$

Equação de Bernoulli

**Turbina hidráulica = dispositivo que retira energia do escoamento.**

# EXERCÍCIO:

1) **Calcular a potência teórica da queda d'água a seguir, considerando a perda de carga entre (1) e (2) igual a zero e vazão de 100 l/s.**




$$\frac{P1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} + h1 = \frac{P2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + h2 + hf(1-2) + hturbina$$

$$\frac{0}{\gamma} + \frac{0}{2g} + 20m = \frac{0}{\gamma} + \frac{0}{2g} + 0m + 0\,m + hturbina$$

$$hturbina = 20m.c.a$$

$$Potência = hturbina \times \gamma \times Q$$

$$Potência = 19.620\frac{Nm}{s}$$

$$Potência = 19.620\frac{J}{s} = 19.620\,w = 26{,}66\,cv$$

# SITE SIMULAÇÃO

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fluid-pressure-and-flow/latest/fluid-pressure-and-flow.html?simulation=fluid-pressure-and-flow