



# **Mecânica dos fluidos**

***Prof. Marcos Tadeu Pereira***

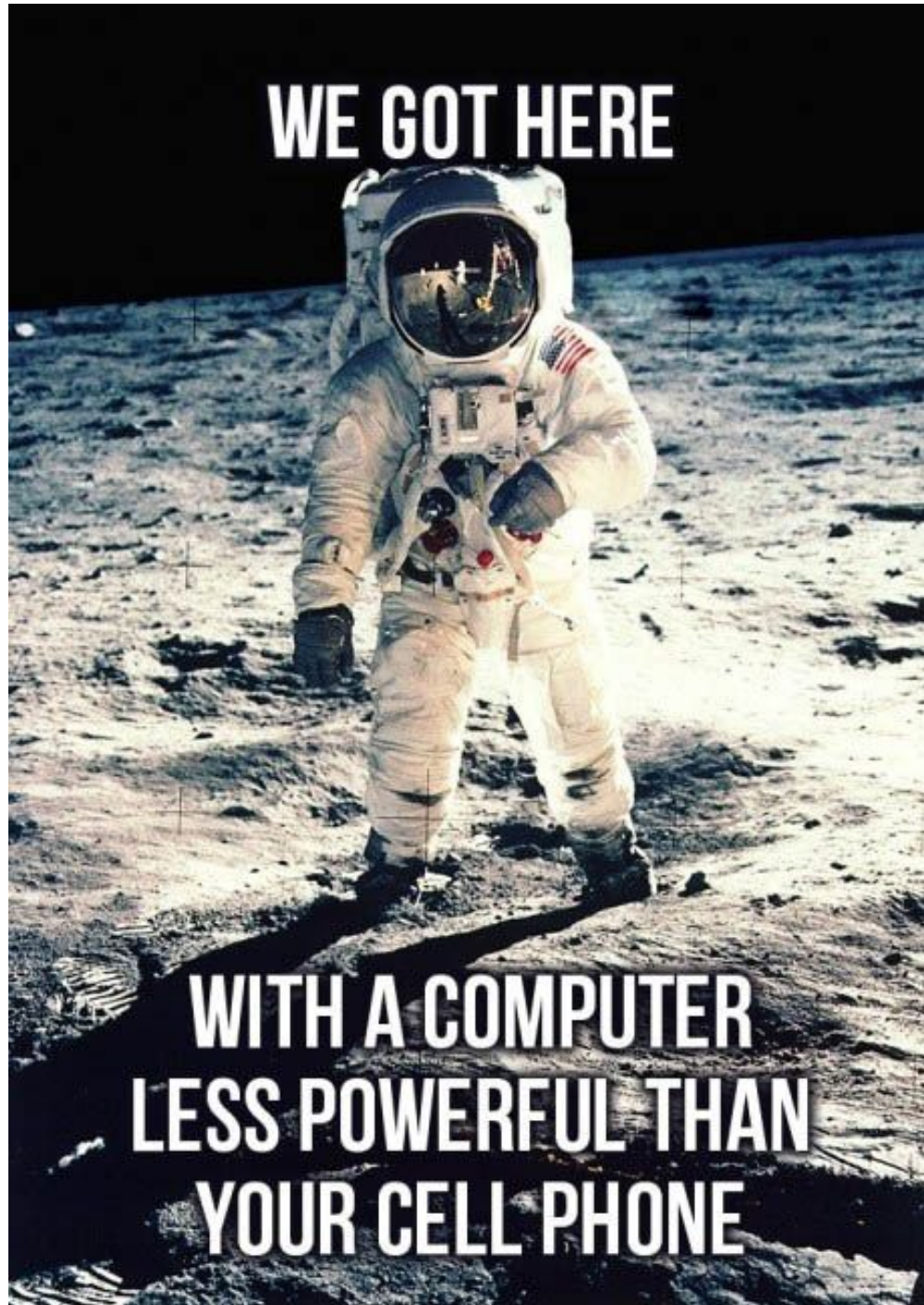
***Engenharias Mecânica,  
Naval e de Produção***

***PME 3230 - 2019***



**WE GOT HERE**

**WITH A COMPUTER  
LESS POWERFUL THAN  
YOUR CELL PHONE**

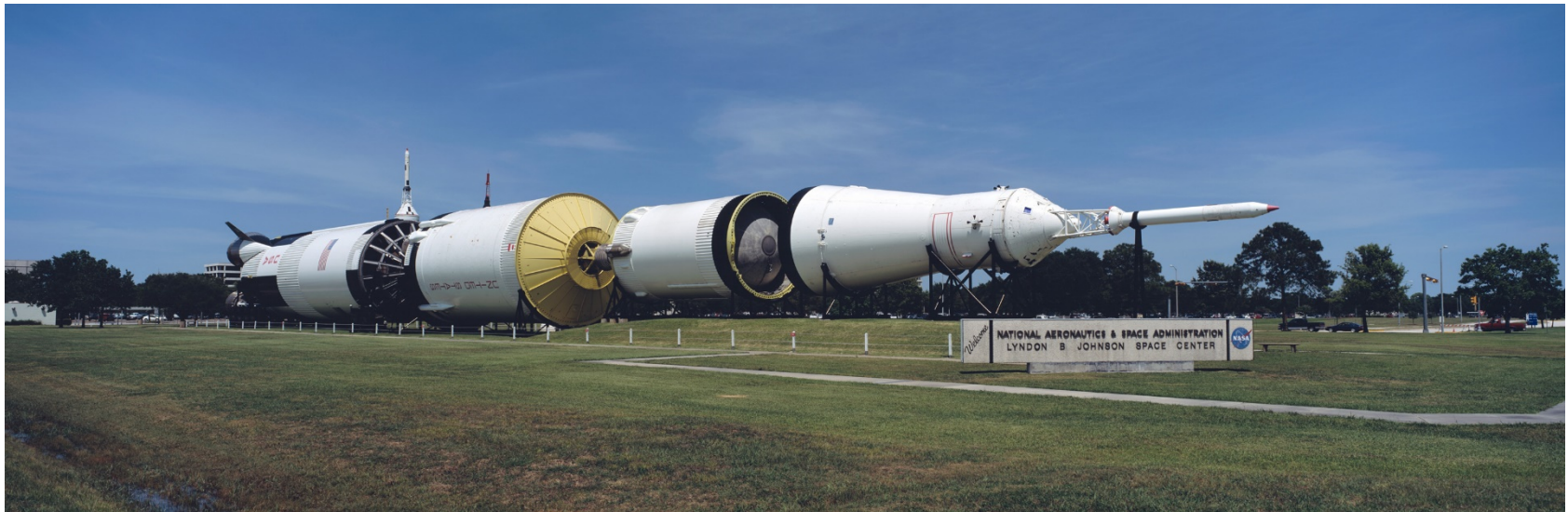




**And a rocket!**  
**A fucking**  
**huge rocket!**

**E muita MecFlu!**

111m altura  
10m diâmetro  
2.970 toneladas



# BÁSICO EM MECÂNICA DOS FLUIDOS

## EXPERIMENTOS

- 1. Princípio da Conservação da Massa.**
- 2. Primeira Lei da Termodinâmica (princípio da conservação de energia).**
- 3. Segunda Lei da Termodinâmica.  
(irreversibilidades)**
- 4. Segunda Lei de Newton  $F = ma$ .**

Cada uma destas quatro idéias é a generalização de dados experimentais. Nenhuma delas pode se deduzida das outras ou de qualquer outro princípio anterior.

# Análise Dimensional e Semelhança

A **A.D.** é uma das 3 técnicas de estudo de escoamentos. As outras são a **Análise Integral** e a **Análise Diferencial**.

É um método que reduz o número e a complexidade de variáveis que afetam um dado fenômeno físico:

- Economia de tempo e dinheiro
- Planejamento de experimentos e teoria
- Leis de escala para trabalho com modelos.

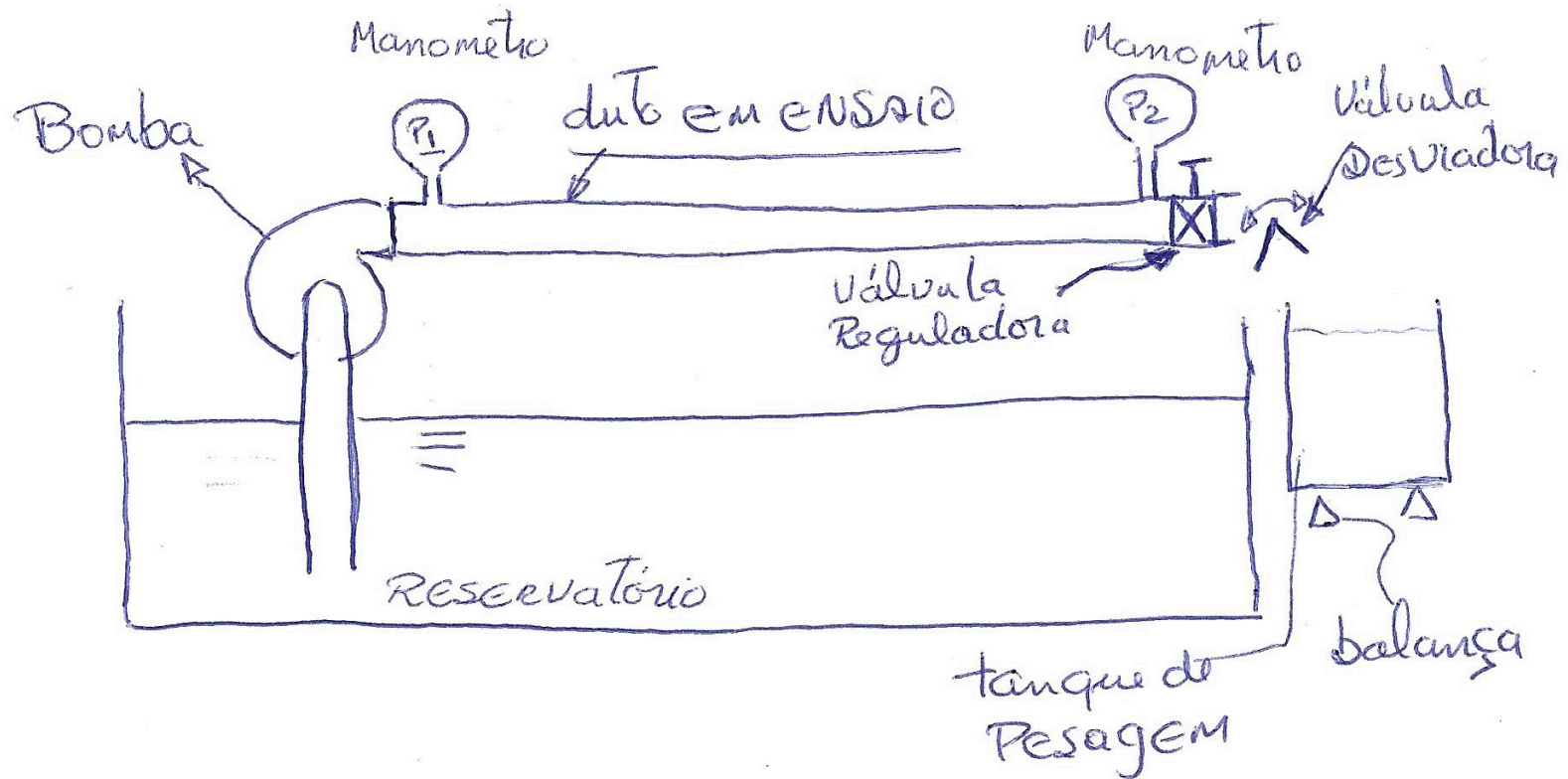
Ex.: estudar a perda de carga por metro de duto ( $\Delta P_l$ ) em escoamento ( $V$ ) de fluido newtoniano ( $\mu$ ), incompressível ( $\rho$ ), em duto circular ( $D$ ), horizontal, longo e de paredes lisas.

Parece simples, mas não há como resolver partindo de equações fundamentais!! (Feynman). Só há uma maneira, até o momento: **experimentação.**

Da experiência (livros, artigos, engos e técnicos mais velhos, etc.) se sabe que:

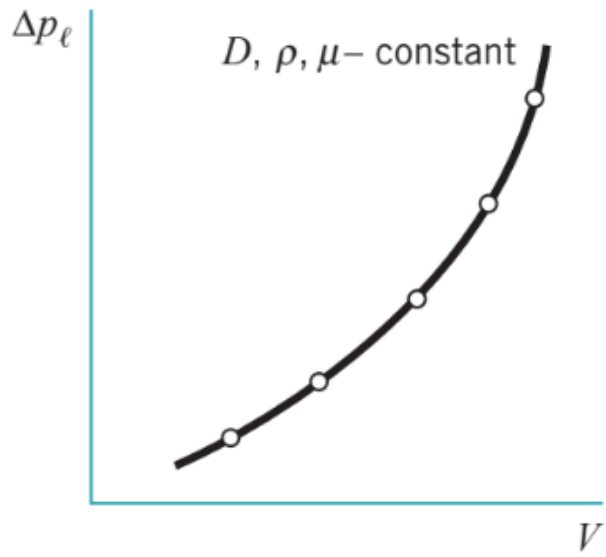
$$\Delta P_l = f(D, \rho, \mu, V)$$

Pode se montar, por exemplo, um aparato como o que existe no Lab de Mec Flu.

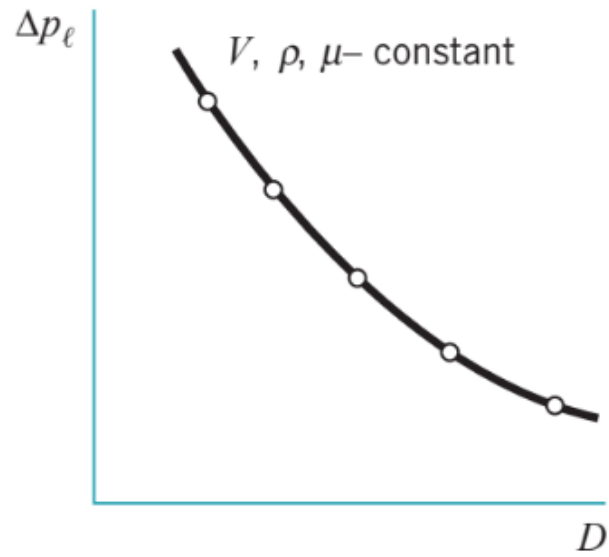


Devem ser realizados experimentos, mantendo 3 grandezas constantes e variando uma. Mede se sempre o  $\Delta P$ .

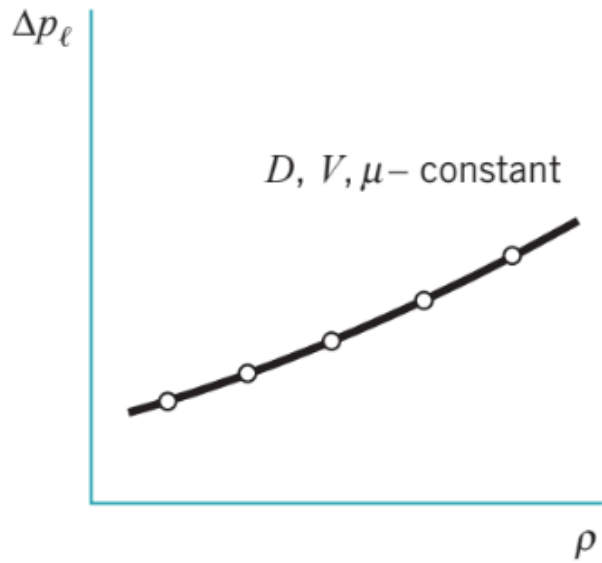




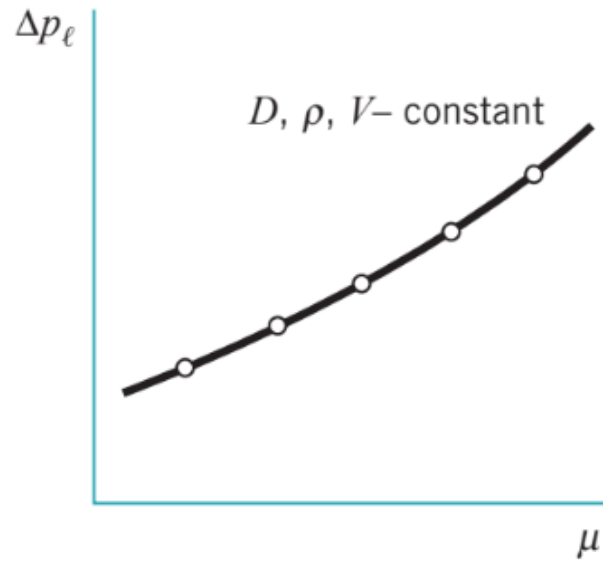
(a)



(b)



(c)



(d)

Se cada gráfico for gerado a partir de 10 pontos, teriam que ser gerados  $10^4$  experimentos (0,5 hora por ponto experimental, 6 horas de trabalho por dia, levaria uns 2 anos para completar o trabalho). E se ficaria com 10 mil gráficos.

Se for aplicado o procedimento simples de A.D., seria obtido em 20 minutos:

$$\frac{D \cdot \Delta P}{\rho V^2} = \phi(R_e)$$

Um único experimento, oito horas de trabalho para 10 pontos do gráfico, responde a questão proposta para dutos nas condições do problema!

# Estrutura das Leis Físicas

Buckingham desenvolveu a seguinte teoria: “ a única maneira de grandezas se relacionarem em um fenômeno físico é por meio de relações de proporcionalidade entre potências das grandezas que intervêm no fenômeno”.

$$Y = C \cdot X_1^{\alpha_1} \cdot X_2^{\alpha_2} \dots X_n^{\alpha_n}$$

Na mec-flu se usam 3 grandezas fundamentais:  
MLT e FLT

# Princípio da Homogeneidade dimensional

Se uma equação expressa verdadeiramente uma relação correta entre variáveis num processo físico, ela será dimensionalmente homogênea



Exemplo: estudar o arrasto em uma placa retangular com comprimento  $w$  e altura  $h$ , normal a uma corrente de fluido

Este exercício, resolvido em classe, mostra a aplicação do ***Teorema dos  $\pi$*** , de Buckingham: “se uma equação, envolvendo “ $n$ ” grandezas é dimensionalmente homogênea, pode ser reduzida a uma relação entre “ $n-r$ ” produtos adimensionais independentes”

Trata-se de **reduzir o número de grandezas** a um número muito menor de **números adimensionais**, facilitando muito a análise de qualquer problema.

# Comentários sobre o teorema:

- 1) A seleção das grandezas é sempre o passo mais difícil. Deve-se ter uma boa compreensão do fenômeno físico, cujas variáveis podem ser enquadradas, geralmente, em 3 grupos:
  - Geométricas - comprimentos e ângulos. **Atenção:** se houver ângulo importante, já é o primeiro adimensional  $\pi_1$
  - Propriedades do material – respostas de sistemas dependem dos materiais envolvidos ( $\rho, \mu, \gamma, etc$ ).
  - Efeitos externos – campos de  $V, P, g, etc$ .

2) Todas as variáveis devem ser independentes. As dependentes devem ser eliminadas: por exemplo  $\mu$  e temperatura.

3) O tempo e a gravidade podem ser importantes. Ex terminal de ônibus.

4) É indiferente usar MLT ou FLT

5) Não há unicidade nos termos  $\pi$ . No caso do exemplo de perda de carga em dutos, se usar a base

$$\rho V D \rightarrow \frac{D \cdot \Delta P}{\rho V^2} = \phi(R_e)$$

$$\mu D V \rightarrow \frac{\Delta P D^2}{V \mu} = \phi_2(R_e)$$

**Ambas  
corretas**

## Alguns números adimensionais importantes:

• Reynolds:  $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$  . Razão entre forças de inércia e viscosas

• Euler:  $Eu = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho V^2}$  . Razão entre forças de pressão e de inércia

• Froude:  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gl}}$  . Razão entre inércia e raiz de força gravit.

• Mach:  $Ma = \frac{V}{c}$  . Razão entre inércia e velocidade do som

• Strouhal:  $St = \frac{\omega l}{V}$  . Razão entre oscilação e veloc.do escoamento



# Teoria da Semelhança

Modelos são representações de sistemas físicos, usados para prever o comportamento destes sistemas em outras situações.

Ou seja: se  $\pi_1 = \emptyset(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n)$ , então deve existir  $\pi_{1m} = \emptyset(\pi_{2m}, \pi_{3m}, \dots, \pi_{nm})$ , onde  $\emptyset$  é a mesma, pois **o fenômeno é o mesmo** no protótipo e no modelo.

Há 3 tipos de semelhança:

1) Geométrica- exige mesmas formas e ângulos, e que as dimensões lineares estejam relacionadas entre si por um mesmo **fator de escala**. Se houver efeito de escala o modelo é dito distorcido.

2) Cinemática- exige a semel. geométrica, e que as velocidades em pontos correspondentes no modelo e no protótipo tenham a mesma direção e sentido, e fator de escala constante entre as magnitudes.

3) Dinâmica – modelo e protótipo com a mesma escala geométrica, a mesma escala de tempo e a mesma escala de força.

Se o escoamento for **compressível**, também

$$Re_{mod} = Re_{prot}, Ma_{mod} = Ma_{prot} e \gamma_{mod} = \gamma_{prot}$$

Se o escoamento for **incompressível**

a) sem superfície livre:  $Re_{mod} = Re_{prot}$

b) com superfície livre:  $Re_{mod} = Re_{prot}, Fr_{mod} = Fr_{prot}$  e, à vezes  $We_{mod} = We_{prot}$