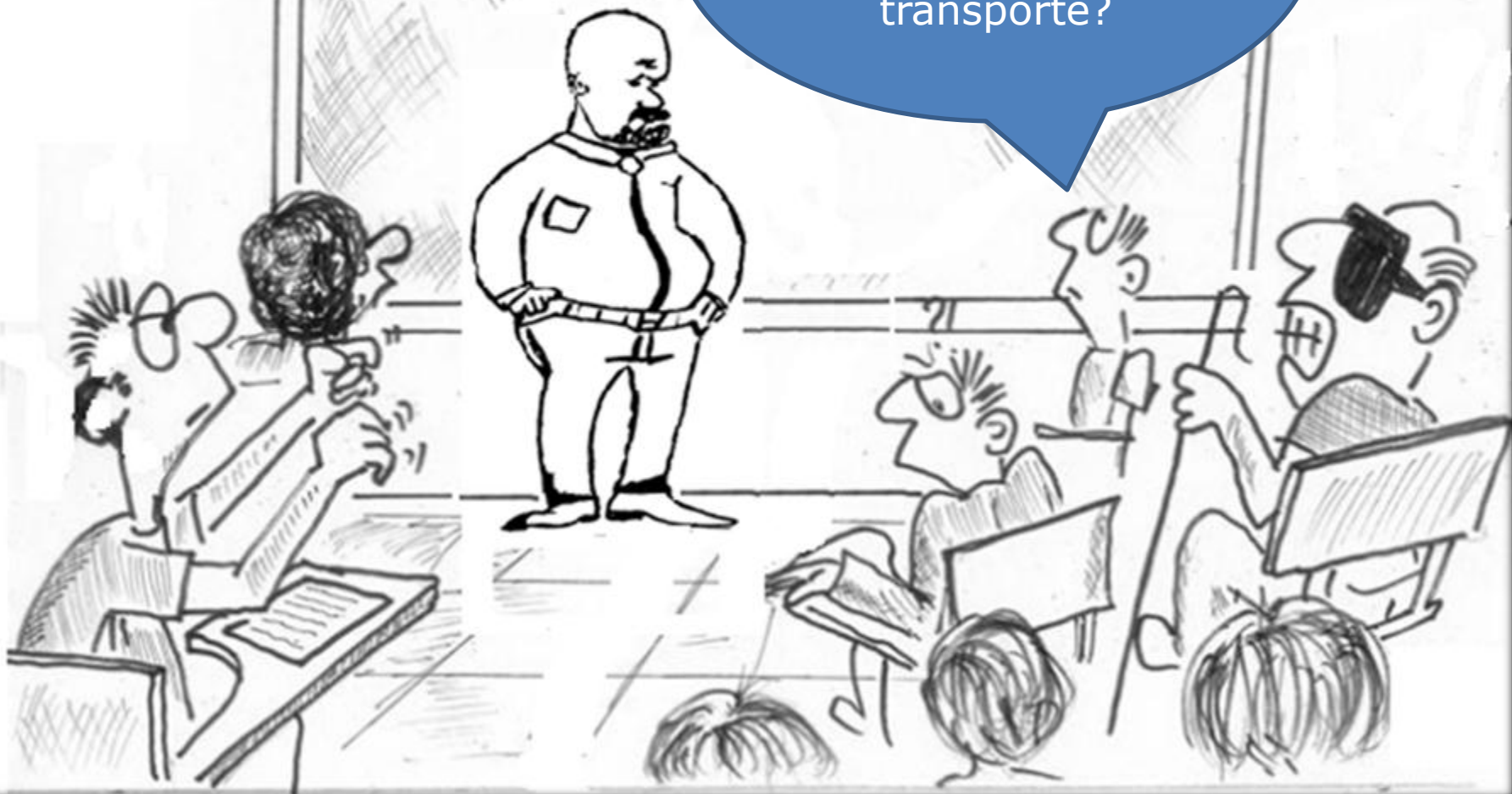


# Aula 1 de fenômenos de transporte

07/02/2013

O que vamos  
estudar em  
fenômenos de  
transporte?



Estudaremos as propriedades dos fluidos; teorema de Stevin; lei de Pascal; equação manométrica; número de Reynolds; equação da continuidade; balanço em massa e de energia.

E qual seria a bibliografia básica do curso?



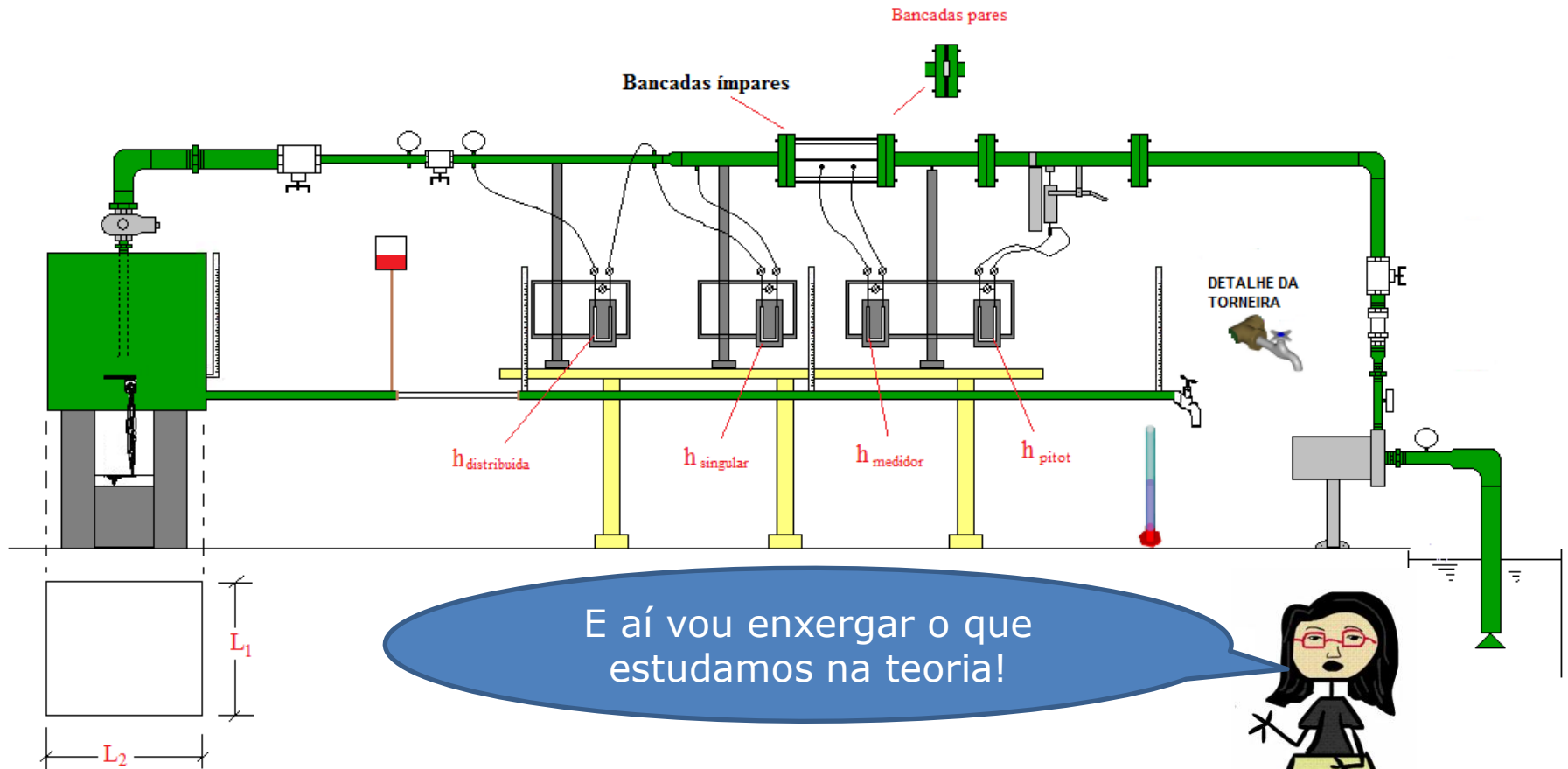
A bibliografia básica  
adotada:  
**BRUNETTI, FRANCO,**  
**Mecânica dos fluidos.**  
São Paulo: Pearson  
Prentice Hall, 409 p., 2008.

E vamos fazer  
alguma  
experiência?



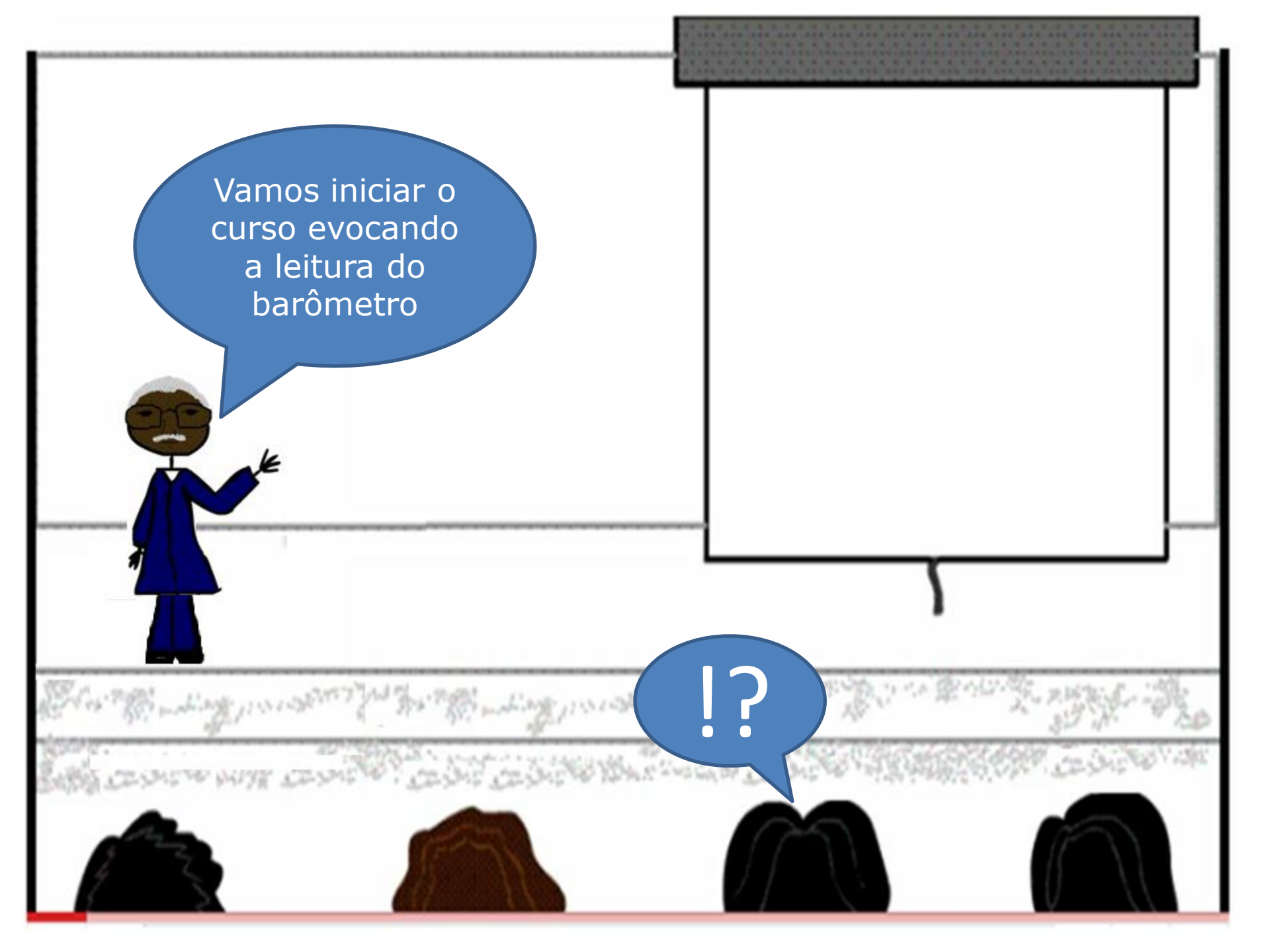


Serão realizadas nas bancadas do laboratório as experiências de Reynolds, tubo de Pitot, medidores de vazão e bocal convergente.



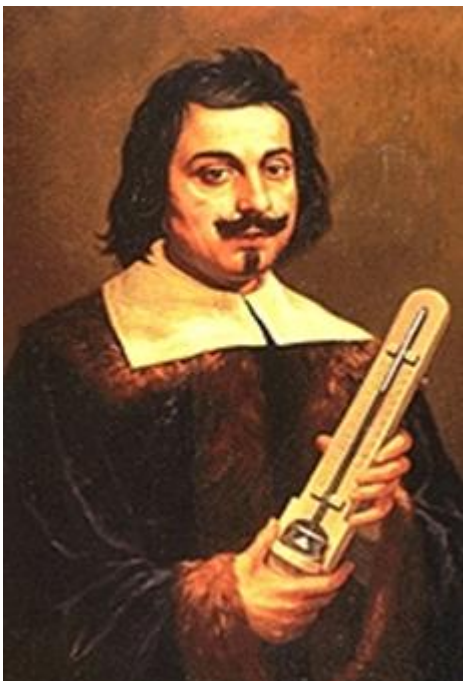
E aí vou enxergar o que estudamos na teoria!





Vamos iniciar o curso evocando a leitura do barômetro

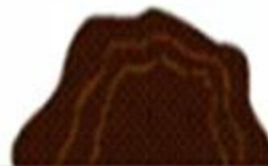
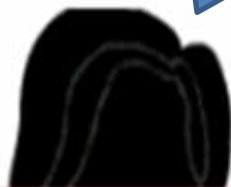
!?



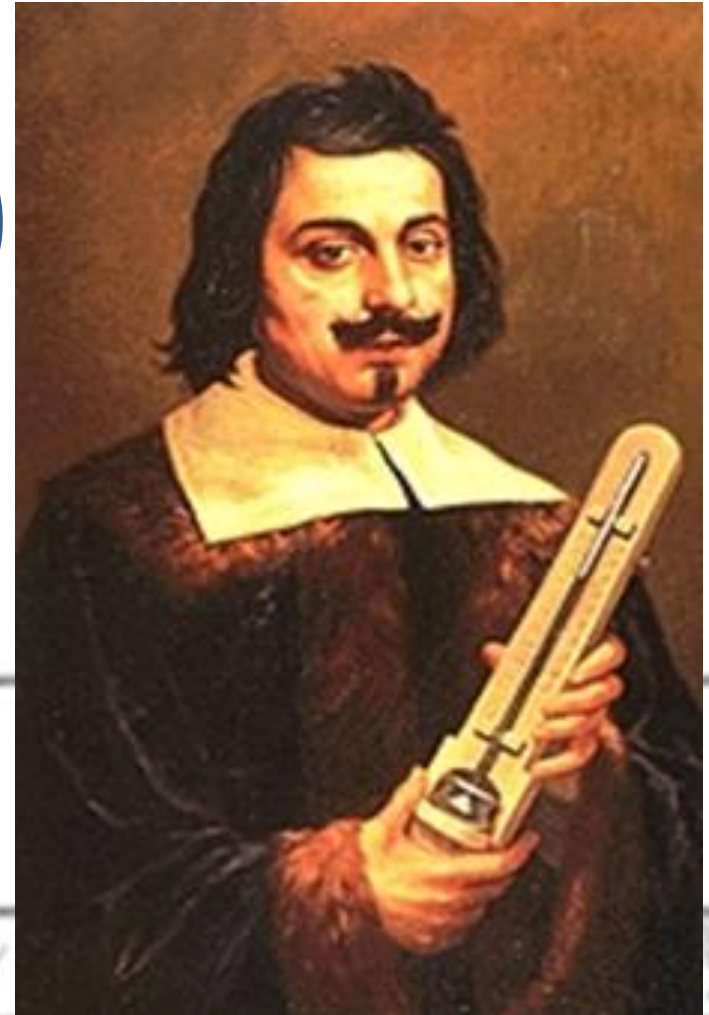
O barômetro foi  
idealizado pelo meu  
amigo Evangelista  
Torricelli.



E para que  
serve?



Para responder esta  
pergunta vou  
considerar um texto  
que muito me  
agrada.



## O barômetro

Há algum tempo recebi um convite de um colega para servir de árbitro na revisão de uma prova de Meteorologia Física. Tratava-se de avaliar uma questão de física, que recebera nota 'zero'.

O aluno contestava tal conceito, alegando que merecia nota máxima pela resposta, a não ser que houvesse uma 'conspiração do sistema' contra ele.

Professor e aluno concordaram em submeter o problema a um juiz imparcial, e eu fui o escolhido. Chegando à sala de meu colega, li a questão da prova, que dizia: 'Mostrar como se pode determinar a altura de um edifício alto com o auxílio de um barômetro'.

A resposta do estudante foi a seguinte: 'Leve o barômetro ao alto do edifício e amarre uma corda nele; baixe o barômetro até a calçada; em seguida use a corda e meça seu comprimento; este comprimento será igual à altura do edifício'. Sem dúvida era uma resposta interessante, e de alguma forma correta, pois satisfazia o enunciado.

Por instantes vacilei quanto ao veredicto. Recompondo-me rapidamente, disse ao estudante que ele tinha forte razão para ter nota máxima, já que havia respondido a questão completa e corretamente. Entretanto, se ele tirasse nota máxima, estaria caracterizada uma classificação para um curso de Física, mas a resposta não confirmava isso.

Sugeri então que fizesse uma outra tentativa para responder à questão. Não me surpreendi quando meu colega concordou, mas sim quando o estudante resolveu encarar o que eu imaginei seria um bom desafio.

Segundo o acordo, ele teria seis minutos para responder à questão; isto após ter sido prevenido de que sua resposta deveria demonstrar, necessariamente, algum conhecimento de física.

Passados cinco minutos ele não havia escrito nada; apenas olhava pensativamente para o teto da sala.

Perguntei-lhe então se desejava desistir, pois eu tinha um compromisso logo em seguida, e não tinha tempo a perder. Mais surpreso ainda fiquei quando o estudante anunciou que não havia desistido. Na realidade tinha muitas respostas, e estava justamente escolhendo a melhor. Desculpei-me pela interrupção e solicitei que continuasse.

No momento seguinte ele escreveu esta resposta: 'Vá ao alto do edifício, incline-se numa ponta do telhado e solte o barômetro, medindo o tempo de queda desde a largada até o toque com o solo. Depois, empregando a fórmula  $h = \frac{1}{2}gt^2$  calcule a altura do edifício'.

Perguntei então ao meu colega se ele estava satisfeito com a nova resposta, e se concordava com a minha disposição em conferir praticamente nota máxima à prova.

Meu colega concordou, embora sentisse nele uma expressão de descontentamento, talvez inconformismo...

Ao sair da sala lembrei-me que o estudante havia dito ter outras respostas para o problema. Embora já sem tempo, não resisti à curiosidade e perguntei-lhe quais eram estas respostas.

Ah!, sim,' - disse ele - 'há muitas maneiras de se achar a altura de um edifício com a ajuda de um barômetro'.

Perante a minha curiosidade e a já perplexidade de meu colega, o estudante desfilou as seguintes explicações.

'Por exemplo, num belo dia de sol pode-se medir a altura do barômetro e o comprimento de sua sombra projetada no solo, bem como a do edifício. Depois, usando uma simples regra de três, determina-se a altura do edifício'.

'Um outro método básico de medida, aliás bastante simples e direto, é subir as escadas do edifício fazendo marcas na parede, espaçadas da altura do barômetro. Contando o número de marcas, ter-se-á a altura do edifício em unidades barométricas'.

'Um método mais sofisticado seria amarrar o barômetro na ponta de uma corda e balançá-lo como um pêndulo, o que permite a determinação da aceleração da gravidade ( $g$ ). Repetindo a operação ao nível da rua e no topo do edifício, tem-se  $2g$ s, e a altura do edifício pode, a princípio, ser calculada com base nessa diferença'.

'Finalmente', concluiu, 'se não for cobrada uma solução física para o problema, existem outras respostas. Por exemplo, pode-se ir até o edifício e bater à porta do síndico. Quando ele aparecer, diz-se: Caro Sr. síndico, trago aqui um ótimo barômetro; se o Sr. me disser a altura deste edifício, eu lhe darei o barômetro de presente'.

A esta altura, perguntei ao estudante se ele não sabia qual era a resposta esperada para o Problema. Ele admitiu que sabia, mas estava tão farto com as tentativas dos professores de controlar o seu raciocínio e a cobrar respostas prontas com base em informações mecanicamente arroladas, que ele resolveu contestar aquilo que considerava, principalmente, uma farsa.

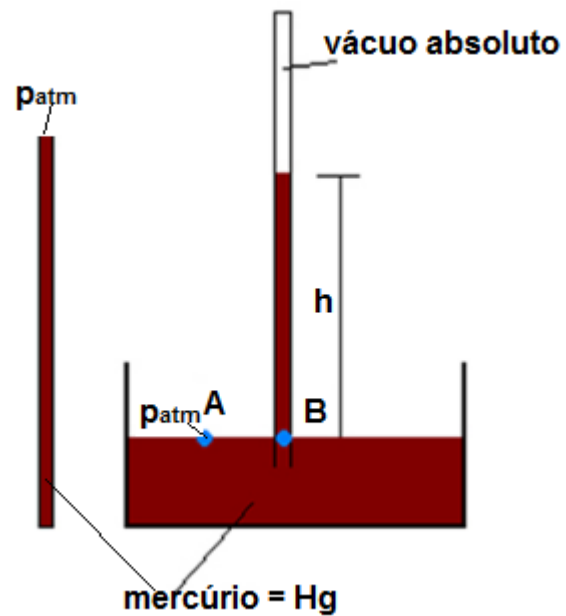
O estudante era **Niels Bohr**, o único Dinamarquês que ganhou o **Prêmio Nobel da Física em 1922** e o árbitro era Rutherford **Prêmio Nobel de Química em 1910**.

"Grandes espíritos sempre se defrontaram com oposição sem trégua das mentes medíocres - **Albert Einstein**".

Voltando a pergunta, podemos afirmar que o barômetro possibilita a determinação da pressão atmosférica.



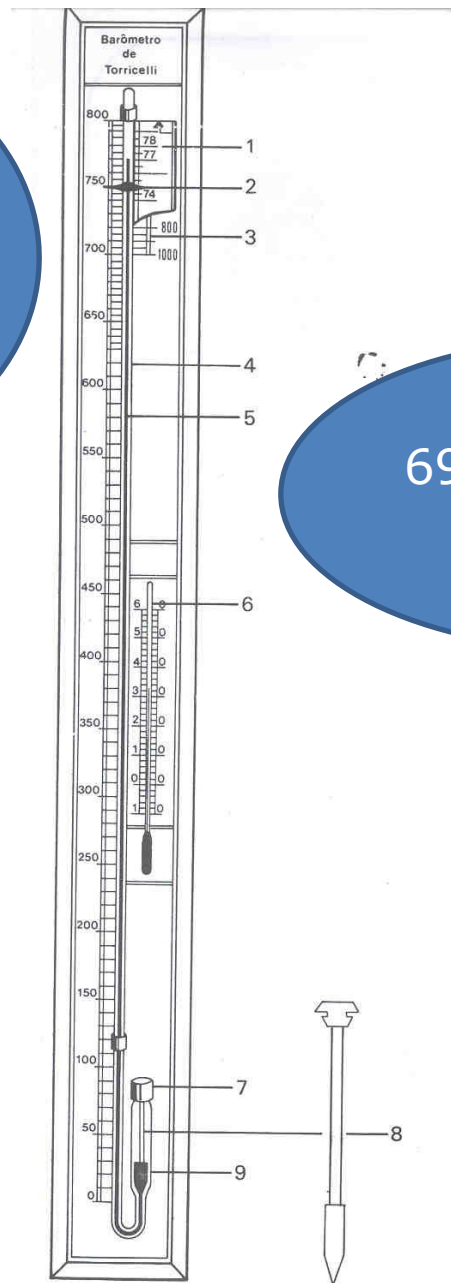
Esquemáticamente,  
temos:



E o que  
lemos?



Lemos a altura  
de mercúrio  $h$ ,  
por exemplo  
698 mm Hg



698 mmHg, isto  
é pressão?



Para responder a sua pergunta vou considerar uma unidade de pressão que geralmente podemos ver na calibragem dos pneus, onde temos uma pressão constante aplicada.



psi ou

$$\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$



## Capítulo 2: Estática dos Fluidos

### 2.1 - Conceito de pressão



Considerando  
uma pressão  
constante ou  
média:

$$p = \frac{F_N}{A} \Rightarrow [p] = \frac{[F_N]}{[A]}$$

$$\text{SI} \rightarrow [p] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$

Outras unidades comumente utilizadas

$$[p] = \text{psi} = \frac{\text{lbf}}{\text{pol}^2} \rightarrow [p] = \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$14,7 \text{ psi} = 101234 \text{ Pa}$$

$$1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 10^4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 9,8 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$



E se for um  
ponto fluido?



Para estudar a pressão em um ponto fluido, vamos estabelecer as restrições para o estudo da estática dos fluidos.

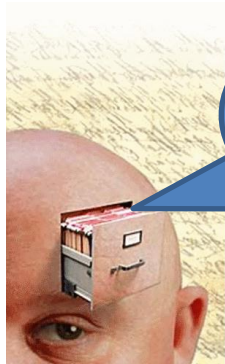
Tudo o que for estudado só valerá para o fluido contínuo, em repouso, incompressível e isto é constatado se sua massa específica ( $\rho$ ) permanecer constante.

O que vem a ser massa específica?



$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} = \frac{m}{V} \Rightarrow [\rho]_{\text{SI}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Vamos também evocar o conceito de peso específico ( $\gamma$ ) e a sua relação com a massa específica ( $\rho$ )



$$\gamma = \frac{\text{peso}}{\text{volume}} = \frac{G}{V} = \frac{m \times g}{V}$$

$$\gamma = \rho \times g$$

$$[\gamma]_{\text{SI}} = \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

# pressão em um ponto fluido pertencente a um fluido

contínuo

incompressível

repouso

$$|dF_N| = \int p \times dA$$

Se a pressão for constante  $\Rightarrow |F_N| = p \times A$

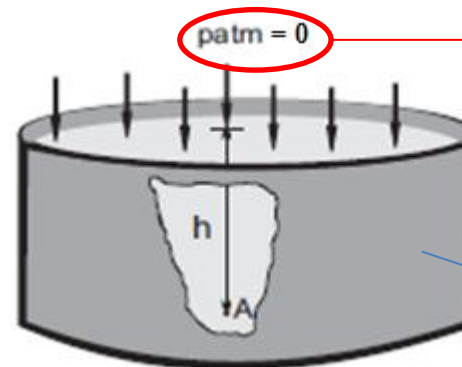
nesta situação, tem - se :  $p = \frac{|F_N|}{A}$

Re cordando o conceito de peso específico :

$$\gamma = \frac{\text{peso}}{\text{volume}} = \frac{G}{V} \text{ e lembrando que ele é}$$

constante para um fluido incompressível,

tem - se :



Escala efetiva ou  
relativa, que é  
aquela que adota  
como zero a  
pressão  
atmosférica

$\gamma = \text{cte}$

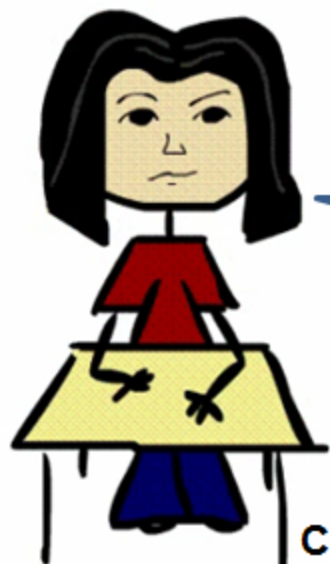
Fluido como meio contínuo, ou seja, não apresenta nenhum vazio.



PELA CONDIÇÃO DE UM FLUIDO CONTÍNUO O PONTO FLUIDO TERÁ SEMPRE UM DIMENSÃO ELEMENTAR ( $dA$ ) E ISTO IMPLICA QUE SOBRE ELE EXISTIRÁ UM PESO ( $dG$ ), O QUAL PODE SER DETERMINADO POR:

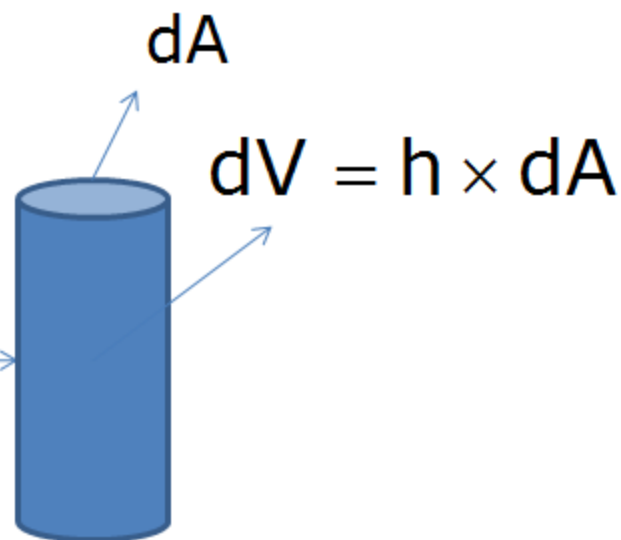
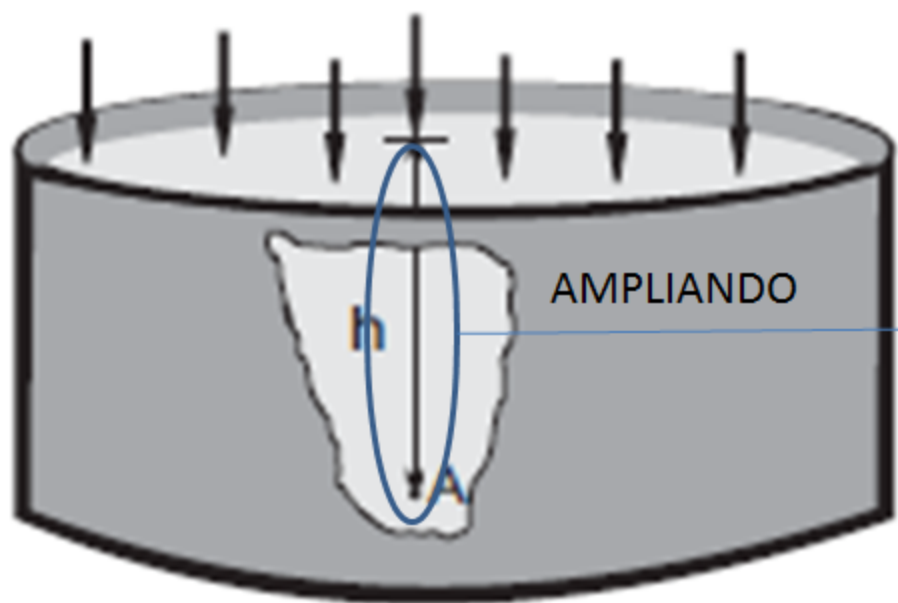

$$dG = \gamma \times dV$$


$$dG = \gamma \times h \times dA$$



AÍ FICOU  
FÁCIL!

Considerando  $p_{\text{atm}} = 0$ , ou seja,  
trabalhando na escala efetiva.



$$\therefore dG = \gamma \times dV \Rightarrow p = \frac{dG}{dA} = \frac{\gamma \times h \times dA}{dA}$$

## 1 – Conceito de pressão

$$p = \frac{|dF_N|}{dA} \Rightarrow |F_N| = p \times dA$$

Supondo pressão constante ou média :

$$|F_N| = p \times A \Rightarrow p = \frac{|F_N|}{A}$$

Unidade no SI



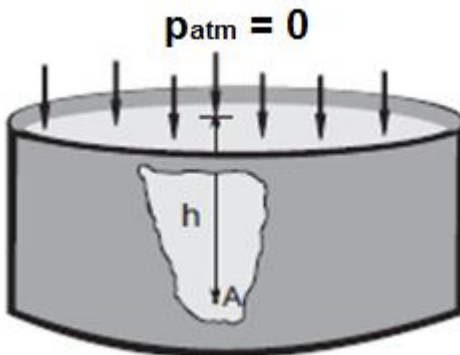
$$[p] = \frac{\text{n}}{\text{m}^2}$$

$$[p] = \text{Pa}$$

$$101234 \text{ Pa} = 14,7 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 1 \frac{\text{lbf}}{\text{pol}^2}$$

Sintetizando



2 – Conceito de pressão em um ponto fluido na escala efetiva

$$p = \gamma \times \textcircled{h} \rightarrow \text{carga de pressão}$$



Importante: a carga de pressão não é pressão, ela é uma coluna de fluido que terá como unidade uma unidade de comprimento acrescida do nome do fluido considerado, exemplos: mmHg e mca

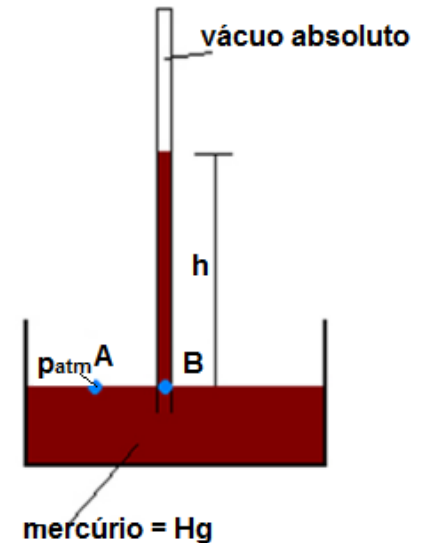
### 3 – Escala efetiva ou relativa

É aquela que adota como zero a pressão atmosférica, nesta escala podemos ter pressões positivas, nulas e negativas

### 4 – Barômetro

Dispositivo que trabalha na escala absoluta e que possibilita a determinação da pressão atmosférica através da carga de pressão lida no barômetro.

$$P_{\text{atm}} = \gamma_{\text{Hg}} \times h$$



Leitura do  
barômetro  
698 mmHg



$$\rho_{\text{Hg}} = 13546 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{\text{Hg}} = 13546 \times 9,8$$

$$\gamma_{\text{Hg}} = 132750,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$p_{\text{atm}} = 132750,8 \times 0,698$$

$$p_{\text{atm}} \cong 92660,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} (\text{ou Pa})$$

## 5. Escala absoluta

É aquela que adota como zero o vácuo absoluto, nesta escala só temos pressões positivas, teoricamente poderíamos ter pressão nula.

Relação entre a pressão absoluta e efetiva

$$p_{\text{abs}} = p + p_{\text{atm}}$$



Blaise Pascal

Entre os dezoito e dezenove anos inventou a primeira máquina de calcular. Aos vinte anos aplicou seu talento à física, pois se interessou pelo trabalho de Torricelli sobre pressão atmosférica, deixando como resultado o Princípio de Pascal sobre a lei das pressões num líquido, que publicou em 1653 no seu tratado do equilíbrio dos líquidos.

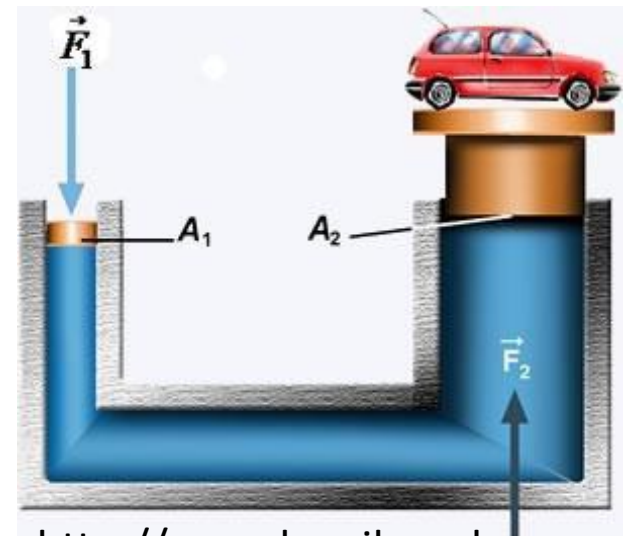
PUTS!



Lei de Pascal  
(1623-1662)  
Ao se aplicar a pressão em um ponto fluido ela se transmite integralmente aos demais pontos.



Vantagens dos fluidos sobre os sólidos!

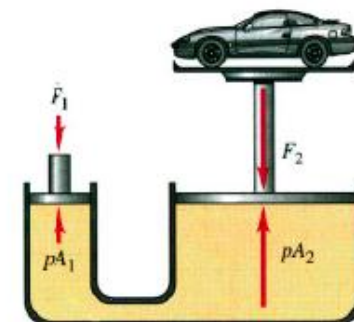


<http://www.brasilecola.com>

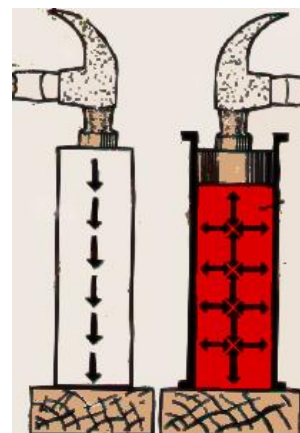


$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \longrightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$

Elevador hidráulico



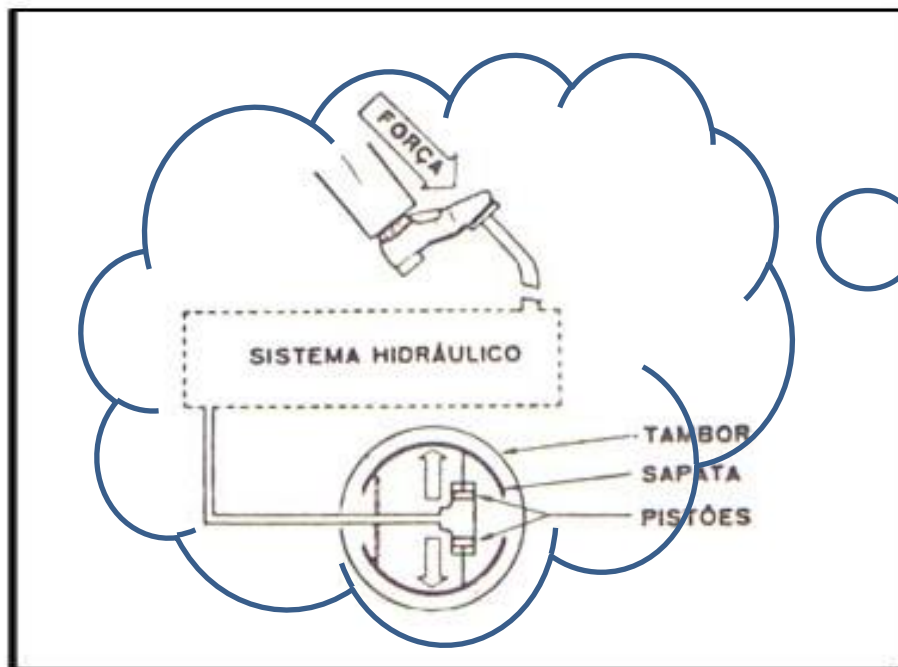
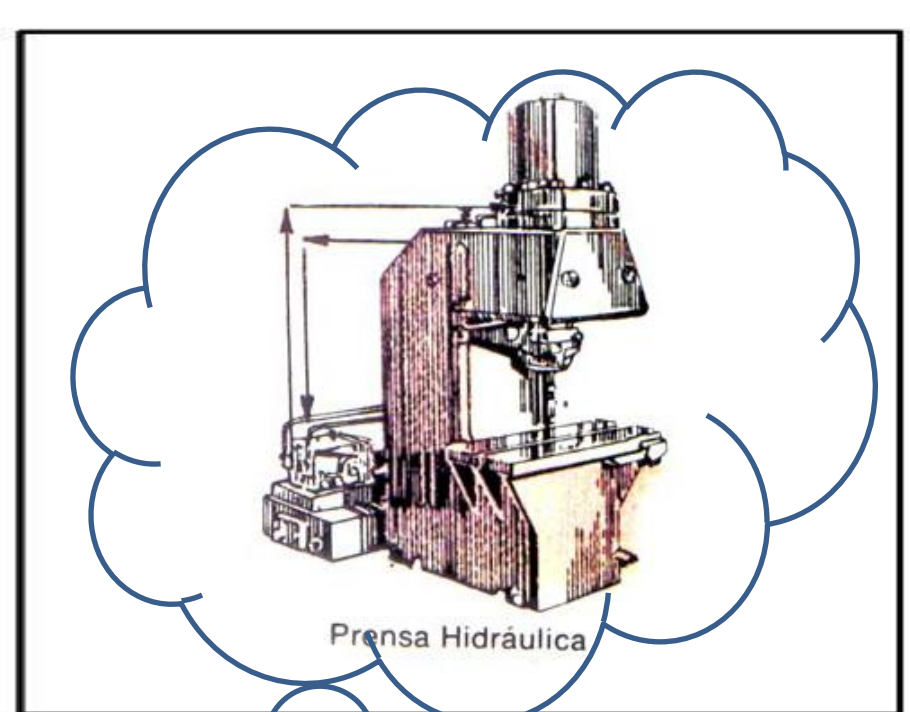
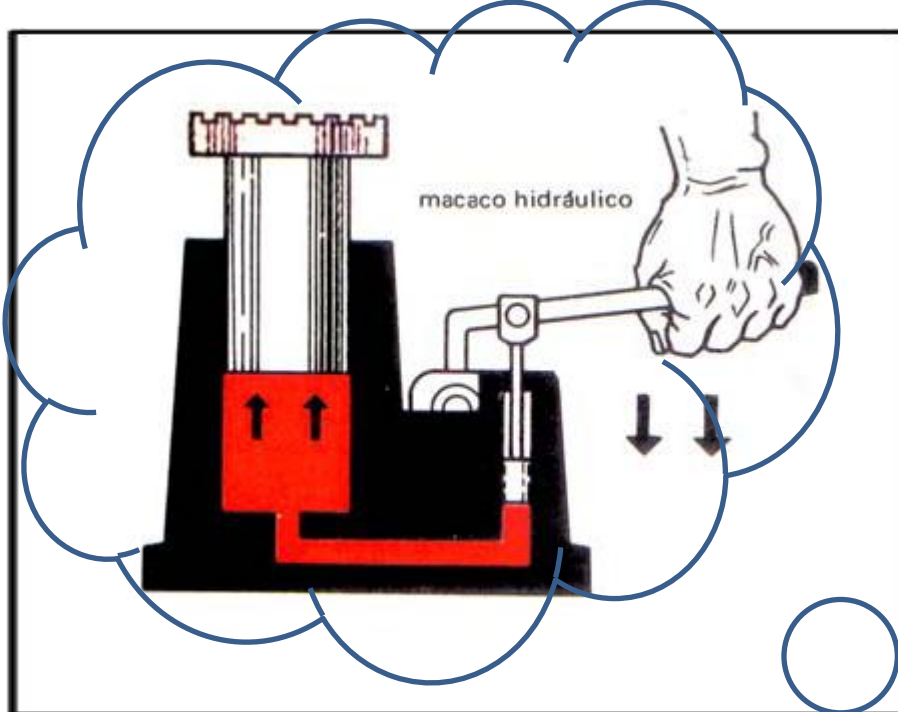
Existem muitas vantagens de se trabalhar com fluido em relação aos sólidos!

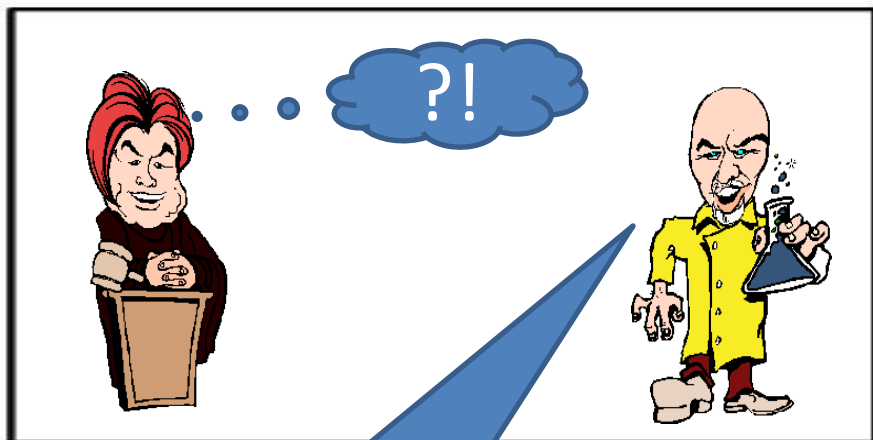


Para os sólidos a propagação da força é na direção da sua aplicação e só se consegue mudá-la através de engrenagens.

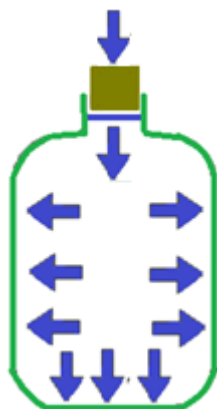
Já nos fluidos ela se propaga espontaneamente em todas as direções







1. Suponha uma garrafa cheia de líquido, o qual é praticamente incompressível

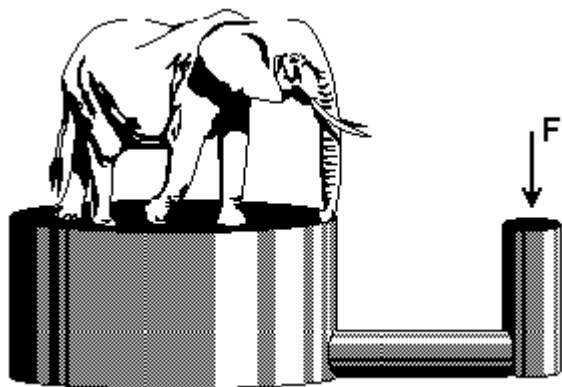


2. Se aplicarmos uma força de 100 N numa rolha de 1 cm<sup>2</sup> de área.

4. Se o fundo tiver uma área de 20 cm<sup>2</sup>, existirá no mesmo uma força de 2000N.

3. O resultado será uma pressão de 100 N/cm<sup>2</sup> agindo em todos os seus pontos.

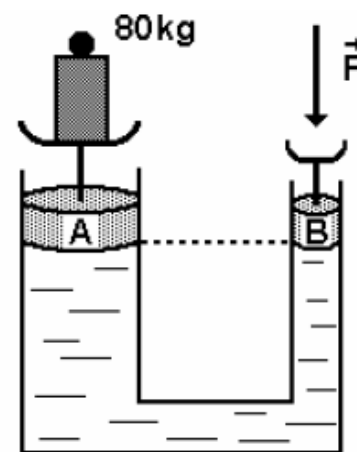
(Uerj 2001) Um adestrador quer saber o peso de um elefante. Utilizando uma prensa hidráulica, consegue equilibrar o elefante sobre um pistão de  $2000\text{cm}^2$  de área, exercendo uma força vertical  $F$  equivalente a  $200\text{N}$ , de cima para baixo, sobre o outro pistão da prensa, cuja área é igual a  $25\text{cm}^2$ . Calcule o peso do elefante.



(Mackenzie 98) Dispõe-se de uma prensa hidráulica conforme o esquema a seguir, na qual os êmbolos A e B, de pesos desprezíveis, têm diâmetros respectivamente iguais a  $40\text{cm}$  e  $10\text{cm}$ . Se desejarmos equilibrar um corpo de  $80\text{kg}$  que repousa sobre o êmbolo A, deveremos aplicar em B a força perpendicular  $F$ , de intensidade:

- a)  $5,0\text{ N}$
- b)  $10\text{ N}$
- c)  $20\text{ N}$
- d)  $25\text{ N}$
- e)  $50\text{ N}$

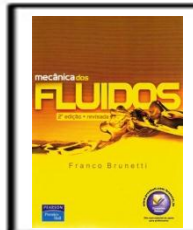
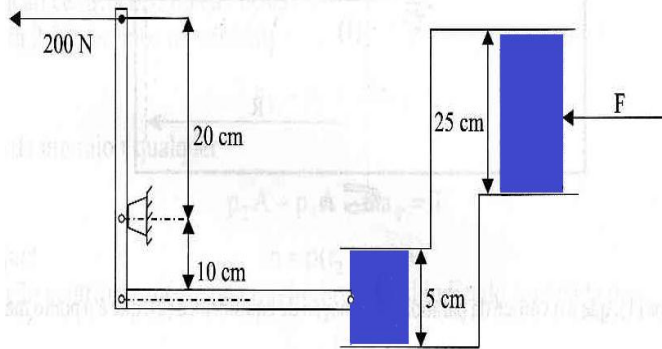
Dado:  
 $g = 10\text{ m/s}^2$



Alguns  
exemplos de  
aplicação da  
lei de Pascal



2.2 – Aplica-se a força de 200 N na alavanca AB, como é mostrado na figura. Qual a força  $F$  que deve ser exercida sobre a haste do cilindro para que o sistema permaneça em equilíbrio?



2.1 – No sistema da figura, desprezando-se o desnível entre os cilindros, determinar o peso  $G$ , que pode ser suportado pelo pistão V. Desprezar os atritos. Dados:

$$p_1 = 500 \text{ kPa}; A_I = 10 \text{ cm}^2;$$

$$A_{H1} = 2\text{cm}^2; A_{II} = 2,5\text{cm}^2;$$

$$A_{III} = 5\text{cm}^2; A_{IV} = 20\text{cm}^2;$$

$$A_V = 10 \text{ cm}^2; h = 2 \text{ m}; \gamma_{\text{Hg}} = 136000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

