

## **Fundamentos de Hidrostática e Calorimetria**

- 1. Conceitos Fundamentais e definição de fluido**
- 2. Propriedades dos fluidos**
- 3. Teorema de Stevin**
- 4. Lei de Pascal**
- 5. Manômetros e Manometria**
- 6. Unidades de Pressão**



- Graduação em Engenharia de Materiais (2002);
- Pós-graduação em Administração Industrial (2009)
- Consultor em treinamentos na Zaraplast S/A (atual);
- Professor na Anhanguera Educacional, nos cursos de Engenharia e Tecnologias de Gestão;

# Plano de Ensino e Aprendizagem:

## Hidrostática

- Conceitos fundamentais e definição de fluido
- Propriedades dos fluidos
- Fluidos em repouso
- Pressão
- Conceito de carga de pressão
- Equação manométrica
- Medição de pressão
- Princípio de Pascal
- Princípio de Arquimedes

# Plano de Ensino e Aprendizagem:

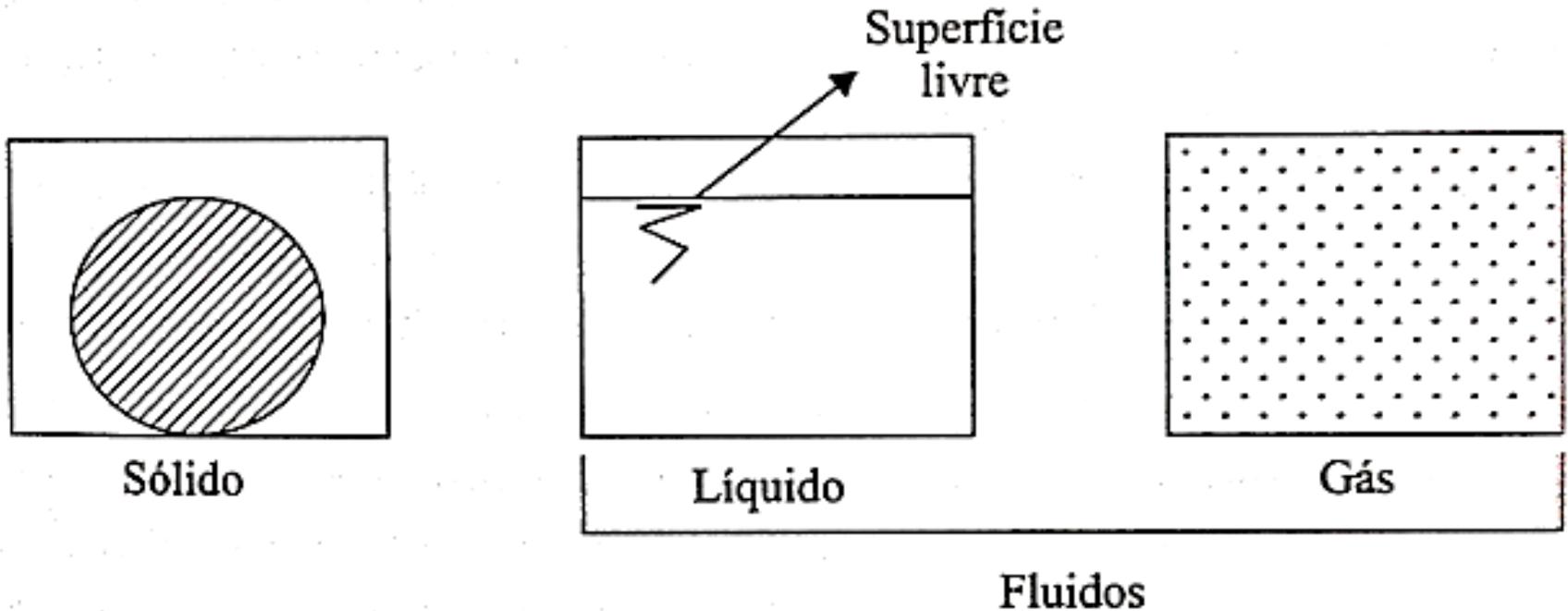
## Calorimetria

- Temperatura
- Medição de temperatura
- Dilatação térmica dos corpos sólidos
- Dilatação térmica dos líquidos
- Calorimetria
- Propriedades térmicas importantes
- Calorímetro
- Conceito de fluxo de calor
- Transferência de calor

- Em cada um dos bimestres teremos:
  - Prova: peso 6
  - ATPS: peso 2
  - Relatório de aulas práticas (laboratórios): peso 2
- O peso na média final da nota de cada bimestre será:
  - 1º. Bimestre: peso 4
  - 2º. Bimestre: peso 6
- Nas provas serão cobradas questões referentes à ATPS;

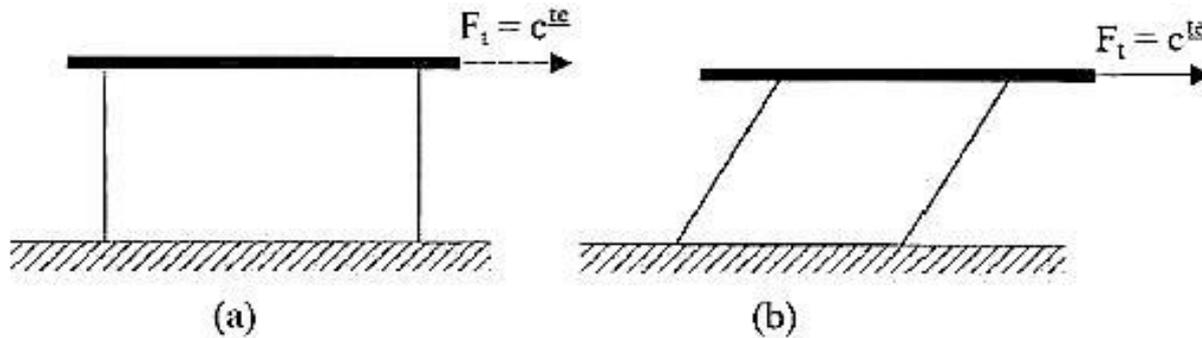
# Conceitos Fundamentais

- Um fluido, ao contrário de um sólido, é uma substância que pode escoar;

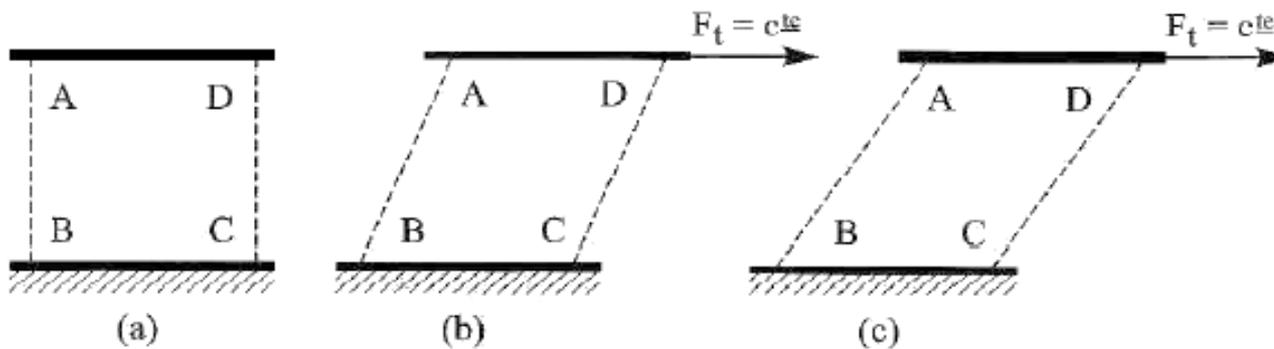


- A principal característica dos fluidos está relacionada a propriedade de não resistir a deformação e apresentam a capacidade de fluir, ou seja, possuem a habilidade de tomar a forma de seus recipientes.
- Os fluidos também são divididos em líquidos e gases.
- Um fluido que apresenta resistência à redução de volume próprio é denominado fluido incompressível, enquanto o fluido que responde com uma redução de seu volume próprio ao ser submetido a ação de uma força é denominado fluido compressível.

# Conceitos e Definições de Fluidos



sólido: deforma-se angularmente e alcança equilíbrio estático



fluido: deforma-se continuamente e não alcança equilíbrio estático

- **Fluido ideal:** fluido de viscosidade nula, que escoar sem perdas de energia;
- **Fluido ou escoamento incompressível:** fluido que não apresenta variação de volume/massa específica ao variar a pressão;

- escoamento de líquidos e gases, máquinas hidráulicas, aplicações de pneumática e hidráulica industrial, sistemas de ventilação e ar condicionado além de diversas aplicações na área de aerodinâmica voltada para a indústria aeroespacial.
- O estudo da mecânica dos fluidos é dividido basicamente em dois ramos, a estatística dos fluidos e a dinâmica dos fluidos

- Massa específica (conhecida como densidade)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{un } \rho = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Peso específico

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

$$\text{un } \gamma = \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

- Peso específico relativo (líquidos)

$$\gamma_r = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O}}, \text{ onde } \gamma_{H_2O} = 10.000 \text{ N/m}^3 \text{ (SI)}$$

# Massa específica e peso específico

## Algumas Massas Específicas

Substância ou Objeto	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Substância ou Objeto	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )
Espaço interestelar	$10^{-20}$	Ferro	$7,9 \times 10^3$
Melhor vácuo em laboratório	$10^{-17}$	Mercúrio (o metal, não o planeta)	$13,6 \times 10^3$
Ar: 20°C e 1 atm de pressão	1,21	Terra: média	$5,5 \times 10^3$
20°C e 50 atm	60,5	núcleo	$9,5 \times 10^3$
Isopor	$1 \times 10^2$	crosta	$2,8 \times 10^3$
Gelo	$0,917 \times 10^3$	Sol: média	$1,4 \times 10^3$
Água: 20°C e 1 atm	$0,998 \times 10^3$	núcleo	$1,6 \times 10^5$
20°C e 50 atm	$1,000 \times 10^3$	Anã branca (núcleo)	$10^{10}$
Água do mar: 20°C e 1 atm	$1,024 \times 10^3$	Núcleo de urânio	$3 \times 10^{17}$
Sangue	$1,060 \times 10^3$	Estrela de nêutrons (núcleo)	$10^{18}$

1. Sabendo-se que 1500kg de massa de uma determinada substância ocupa um volume de  $2m^3$ , determine a massa específica, o peso específico e o peso específico relativo dessa substância. Dados:  $\gamma_{H_2O} = 10000N/m^3$ ,  $g = 10m/s^2$ .
2. Um reservatório cilíndrico possui diâmetro de base igual a 2m e altura de 4m, sabendo-se que o mesmo está totalmente preenchido com gasolina ( $\rho = 720kg/m^3$ ), determine a massa de gasolina presente no reservatório.
3. A massa específica de uma determinada substância é igual a  $740kg/m^3$ , determine o volume ocupado por uma massa de 500kg dessa substância.
4. Sabe-se que 400kg de um líquido ocupa um reservatório com volume de 1500 litros, determine sua massa específica, seu peso específico relativo. Dados:  $\gamma_{H_2O} = 10000N/m^3$ ,  $g = 10m/s^2$ , 1000 litros =  $1m^3$ .
5. Determine a massa de mercúrio presente em uma garrafa de 2 litros. ( $\rho = 13.600kg/m^3$ ). Dados:  $g = 10m/s^2$ , 1000 litros =  $1m^3$ .
6. Um reservatório cúbico com 2m de aresta está completamente cheio de óleo lubrificante (ver propriedades na Tabela). Determine a massa de óleo quando apenas  $3/4$  do tanque estiver ocupado. Dados:  $\gamma_{H_2O} = 10000N/m^3$ ,  $g = 10m/s^2$ .
7. Sabendo-se que o peso específico relativo de um determinado óleo é igual a 0,8, determine seu peso específico em  $N/m^3$ . Dados:  $\gamma_{H_2O} = 10000N/m^3$ ,  $g = 10m/s^2$ .

- Definimos a pressão como:

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

- Se a força é uniforme em uma superfície plana de área  $A$  podemos dizer que:

$$p = \frac{F}{A}$$

- A pressão é uma grandeza escalar; suas propriedades não dependem da orientação.
- A unidade de pressão no SI é o newton por metro quadrado (**pascal** - Pa);
- $1 Pa = 1 \frac{N}{m^2}$
- $MPa = 10^6 Pa$
- $kPa = 10^3 Pa$

# Escalas de Pressão

- Zero absoluto = vácuo = pressão absoluta;
- Pressão atmosférica = pressão efetiva;
- Manômetros registram zero quando abertos à atmosfera;
- Se  $p < p_{atm}$ ,  $p$  é chamada impropriamente de vácuo e mais propriamente de depressão;

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{ef}$$

- Pressão atmosférica também é chamada de pressão barométrica e varia com a altitude;

# Unidades de Pressão

a) Propriamente ditas ( $F/A$ ):

$$1 \frac{kgf}{cm^2} = 10^4 \frac{kgf}{m^2} = 9,8 \times 10^4 Pa = 0,98 bar = 14,7 psi$$

- psi: libras por polegada ao quadrado
- bar: decanewton (10N) por  $cm^2$

b) Unidades de carga de pressão utilizadas para indicar pressão:

- Unidade de comprimento seguida da denominação do fluido:
  - mca, cmca, mmHg

# Unidades de Pressão

b) Unidades de carga de pressão utilizadas para indicar pressão:

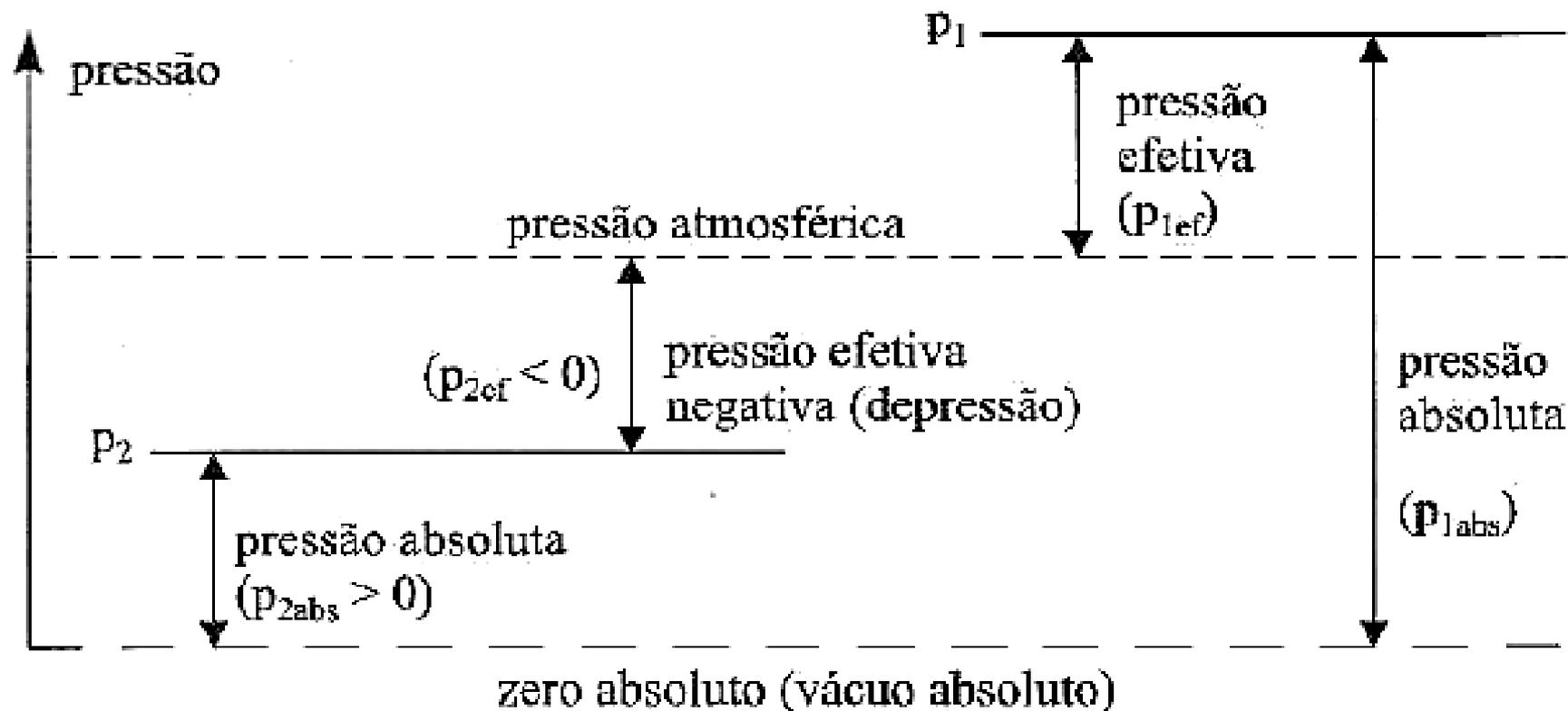
$1 \text{ mca} = 10.000 \frac{N}{m^2}$  pois  $\gamma_{H_2O} = 10.000 \frac{N}{m^3}$  e  $p = \gamma h$ ,  
então:

$$p = 10.000 \times 1 = 10.000 \frac{N}{m^2}$$

c) Unidades definidas: atm, q(atmosfera), que é a pressão que eleva 760mm em uma coluna de mercúrio.

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101.230 \text{ Pa} = \frac{10.330 \text{ kgf}}{m^2} = 1,01 \text{ bar} = 14,7 \text{ psi} = 10,33 \text{ mca}$$

# Escalas de Pressão

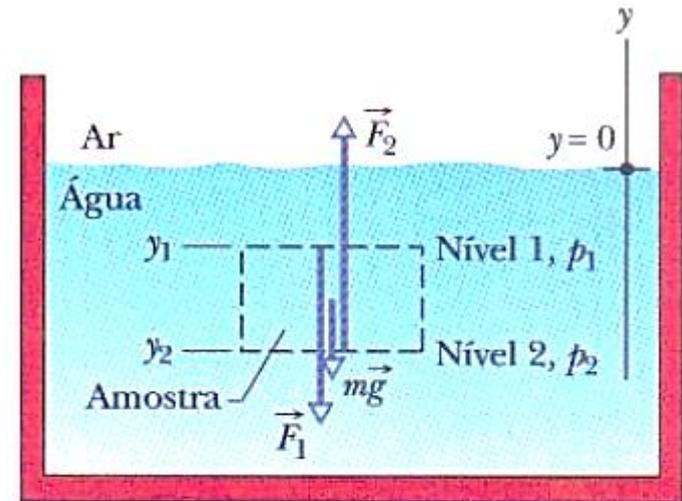


- A estática dos fluidos é a parte da Mecânica dos Fluidos que estuda o comportamento do fluido em uma condição de equilíbrio estático, ou seja, de um fluido em repouso;
- Como todo mergulhador sabe, a pressão aumenta com o aumento da profundidade. O mesmo ocorre com o alpinista. A pressão diminui quanto mais alto se sobe. Por que?

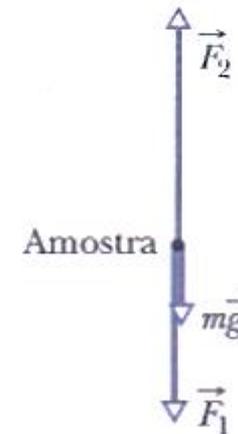
# Fluidos em repouso

A figura (b) ao lado mostra o diagrama de corpo livre da água do cilindro, conforme figura (a). A água se encontra em *equilíbrio estático*, ou seja, está em repouso, e a resultante das forças que agem sobre ela é nula. A água está sujeita a três forças verticais: a força  $F_1$  age sobre a superfície superior do cilindro e se deve à água que está acima do cilindro. A força  $F_2$  age sobre a superfície inferior do cilindro e se deve à água que está abaixo do cilindro. A força gravitacional que age sobre a água no cilindro está representada por  $mg$ , onde  $m$  é a massa de água no cilindro. O equilíbrio dessas forças pode ser escrito na forma:

$$F_2 = F_1 + mg$$



(a)



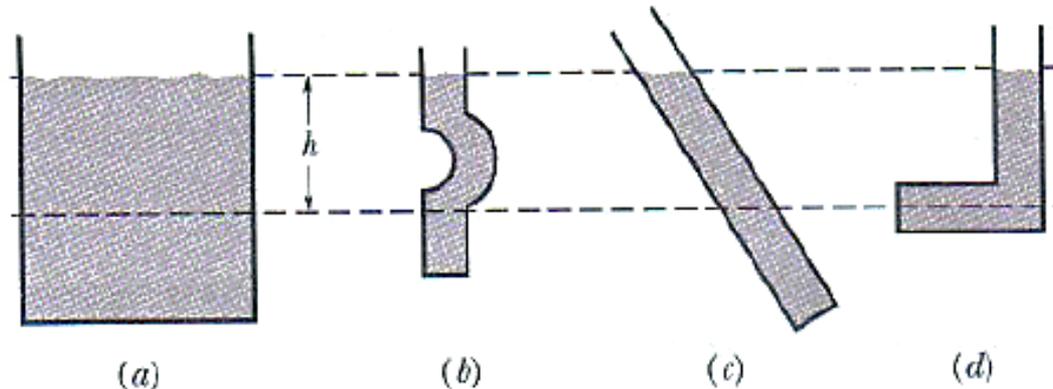
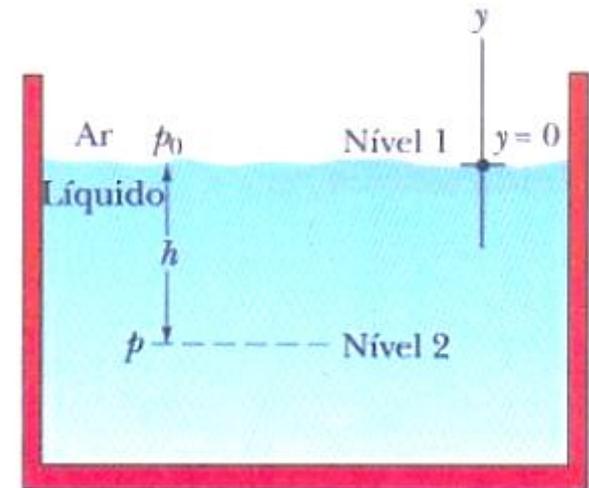
(b)

Como:

$F_1 = p_1 A$ ,  $F_2 = p_2 A$  e  $m = \rho V = \rho A(y_1 - y_2)$ ,  
então:

$$p = p_0 + \rho g h$$

- Através dessa expressão podemos concluir que a pressão de um fluido em equilíbrio estático depende da profundidade desse ponto, mas não da dimensão horizontal ou forma do fluido ou do recipiente;



$$p = p_0 + \rho g h$$

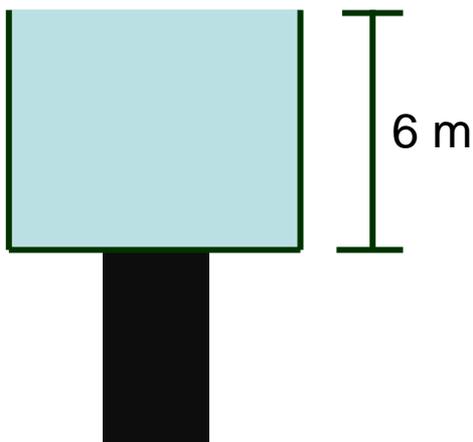
- O Teorema de Stevin (ou teorema fundamental da hidrostática) diz: “A diferença de pressão entre dois pontos de um fluido em repouso é igual ao produto do peso específico do fluido pela diferença de cotas (diferença de altura) dos dois pontos”;
- Dessa forma, sabendo que  $\gamma = \rho g$ , podemos escrever a equação acima da seguinte forma:

$$p = p_0 + \gamma h$$

# Teorema de Stevin - Exemplo

- Um reservatório de água com a parte superior aberta possui 6m de profundidade. Calcule a pressão hidrostática no fundo deste reservatório.
- Dado:  $\gamma_{H_2O} = 10^4 \frac{N}{m^3}$

$$p_N - p_M = \gamma h = \gamma(z_M - z_N)$$

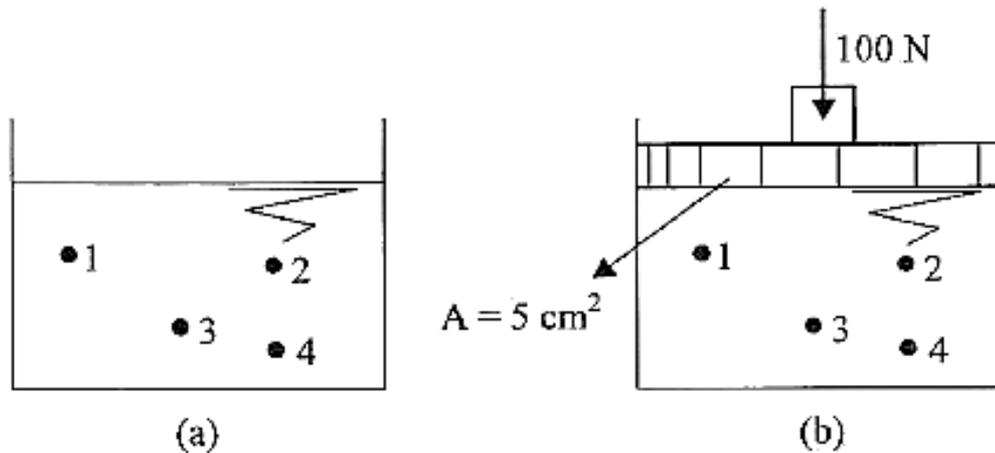


# Teorema de Stevin - Observações

- Na diferença de pressão entre dois pontos não interessa a distância entre eles, mas sim a diferença de cotas;
- A pressão dos pontos em um mesmo plano horizontal é a mesma;
- O formato do recipiente não é importante para o cálculo da pressão;
- Se a pressão na superfície livre de um recipiente for nula, a pressão num ponto à profundidade  $h$  será  $p = \gamma h$ ;
- Nos gases, devido ao pequeno peso específico, se a diferença de cota não for muito grande entre dois pontos, pode-se desprezar a diferença de pressão entre eles;
- Uma aplicação do teorema de Stevin é o cálculo da pressão que um mergulhador sofrerá devido à profundidade;
- Outra aplicação são os vasos comunicantes, utilização de mangueiras transparentes por pedreiros para verificar nível;

# Lei de Pascal

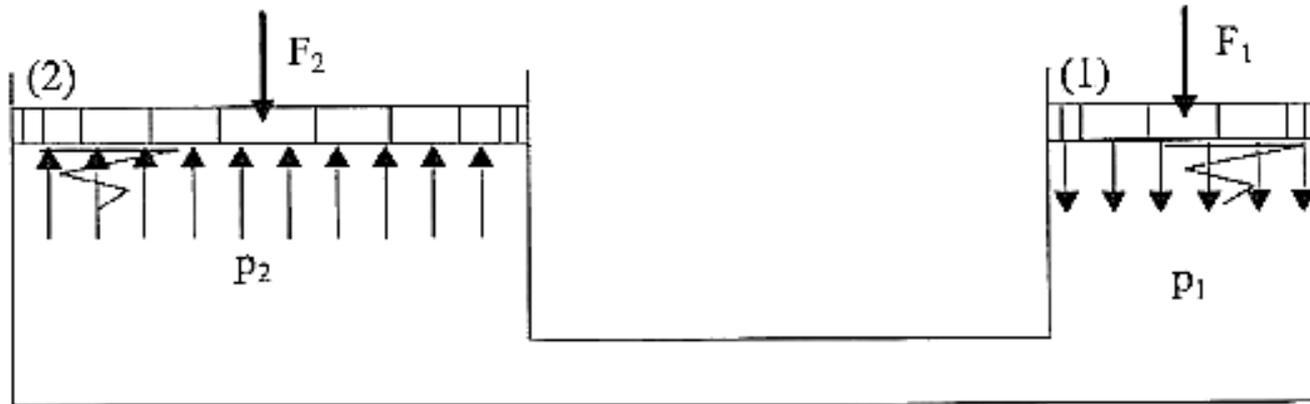
- “A pressão aplicada em um ponto de um fluido em repouso transmite-se integralmente a todos os pontos do fluido”;



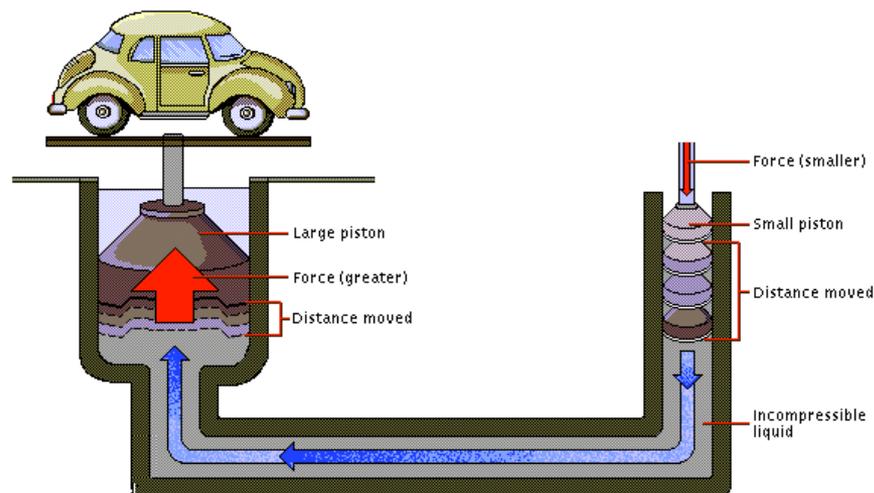
- Aplicação: problemas de dispositivos que transmitem e ampliam uma força através da pressão aplicada em um fluido: prensas hidráulicas, servomecanismos, freios, etc;

# Lei de Pascal – Aplicação

- Resolução do exemplo pag. 22 (Mec. dos Fluidos, Brunetti).



- Dados:  $A_1 = 10\text{cm}^2$ ,  $A_2 = 100\text{cm}^2$ ,  $F_1 = 200\text{N}$

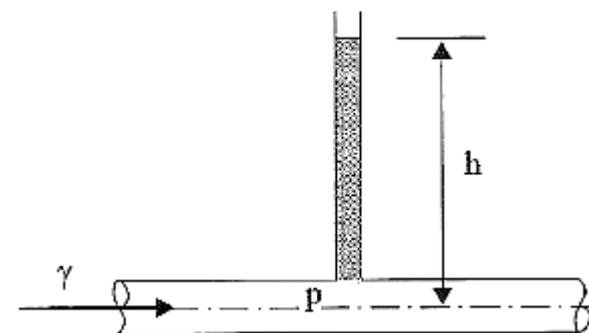
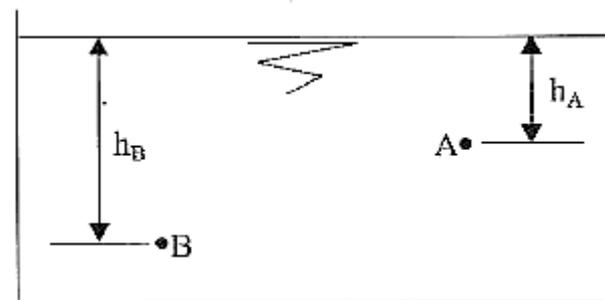


# Carga de pressão

- Sabe-se, pelo Teorema de Stevin, que:

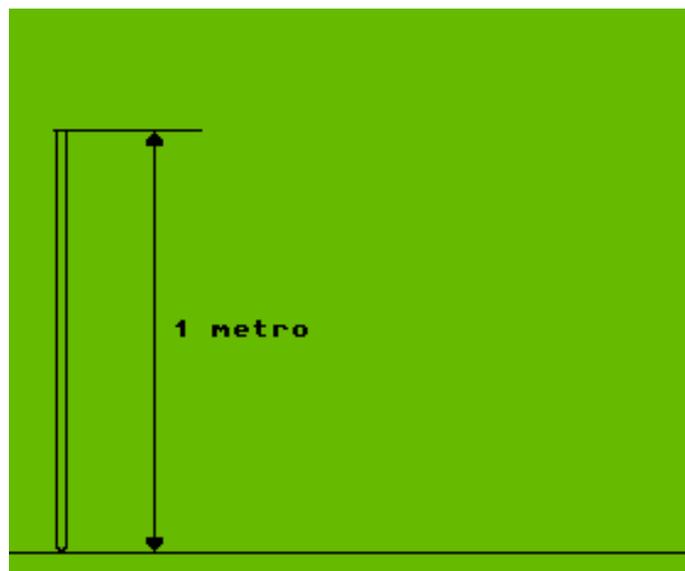
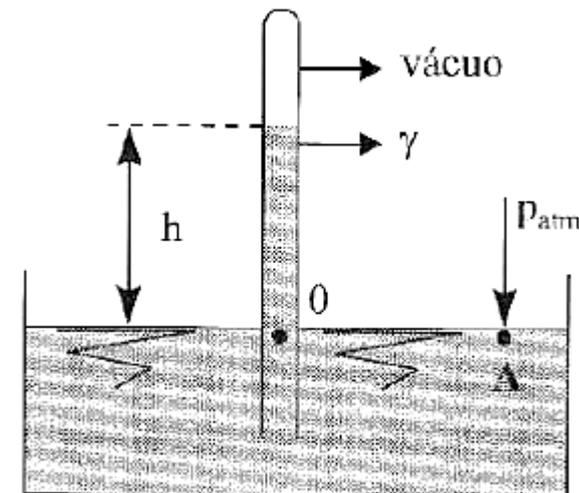
$$\frac{p}{\gamma} = h$$

- Essa altura  $h$ , que multiplicada pelo peso específico do fluido, reproduz a pressão em um ponto, é chamada de “carga de pressão”;
- Colunas em um conduto: a altura  $h$  representa a carga de pressão do fluido passando por este conduto;
- “carga de pressão é a altura à qual se eleva uma coluna de fluido por uma pressão  $p$ ”.



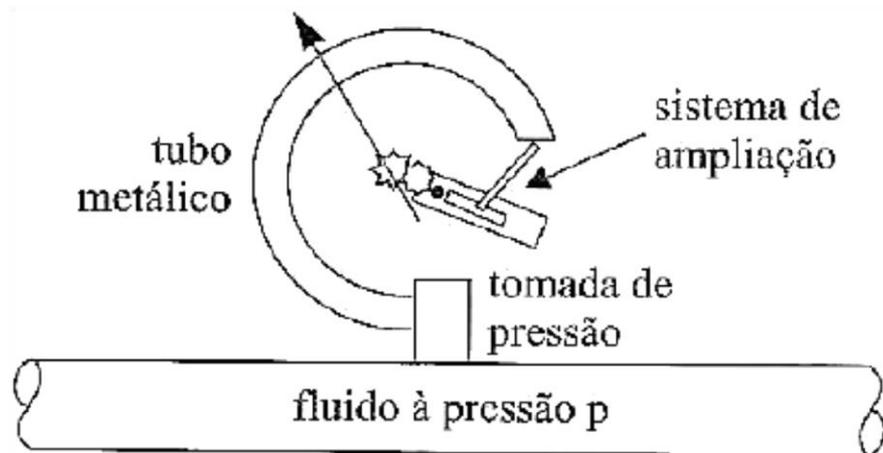
# O Barômetro

- A pressão atmosférica é medida pelo barômetro;
- A pressão em um mesmo nível é a mesma, logo a coluna  $h$  formada é devido à pressão atmosférica;

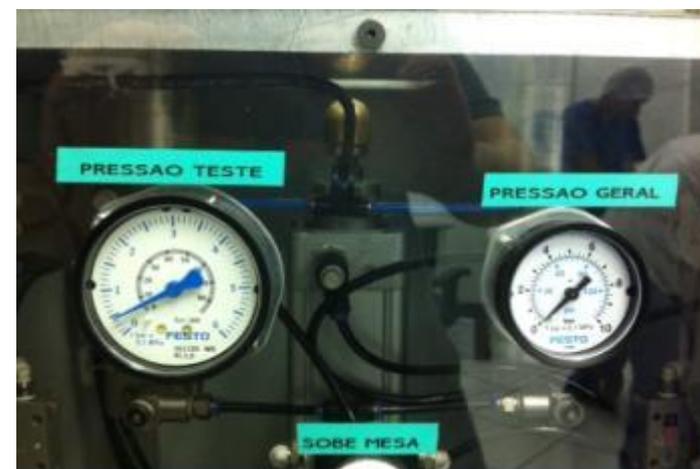


# Medidores de Pressão

- **Manômetro metálico ou de Bourdon:** mede a pressão pela deformação do tubo metálico, que está ligado ao ponteiro por alavancas



$$p_{man} = p_{int} - p_{ext}$$



# Medidores de Pressão

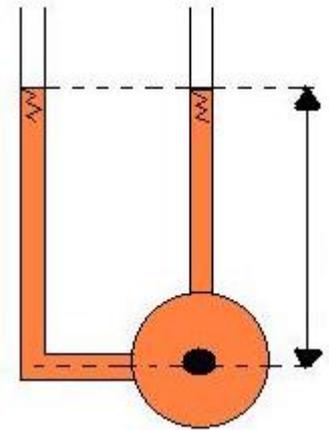
- **Piezômetro:** tubo de vidro, que ligado ao reservatório, permite medir diretamente a carga de pressão. O mesmo apresenta limitação de uso:

a) pressões elevadas e líquidos de baixo peso específico gera coluna muito alta;

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

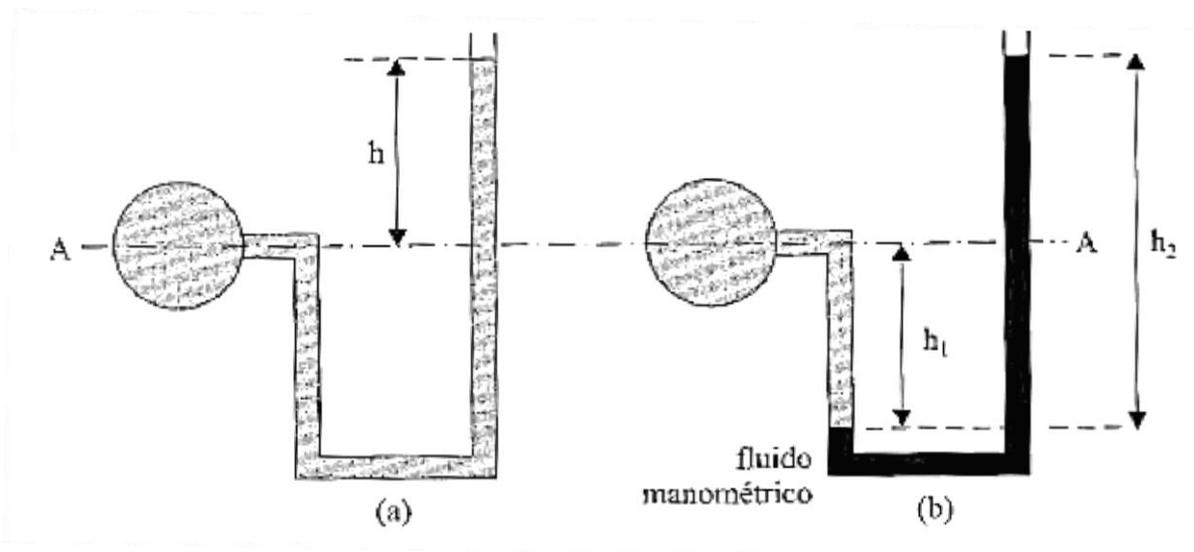
b) não se pode medir pressão de gases;

c) Não se pode medir pressões efetivas negativas



# Medidores de Pressão

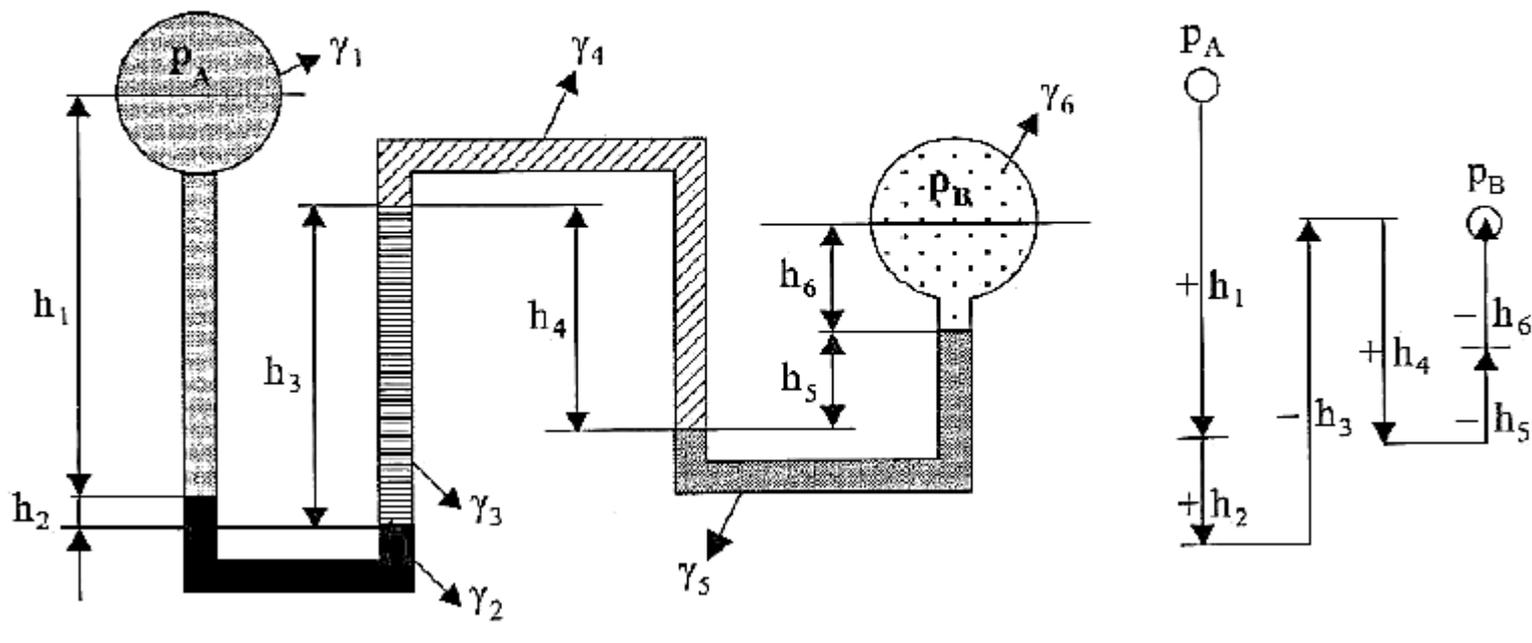
- **Manômetro com tubo em U:** Corrige-se o problema das pressões efetivas negativas. O fluido manométrico geralmente é o mercúrio. A presença do fluido manométrico permite a medida da pressão dos gases, pois impede que estes escapem.
- **Manômetros diferenciais:** quando ligados a dois reservatórios.



# Medidores de Pressão

- Equação Manométrica: “começando do lado esquerdo, soma-se à pressão  $p_A$  a pressão das colunas descendentes e subtrai-se aquela das colunas ascendentes”

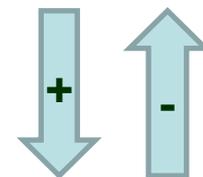
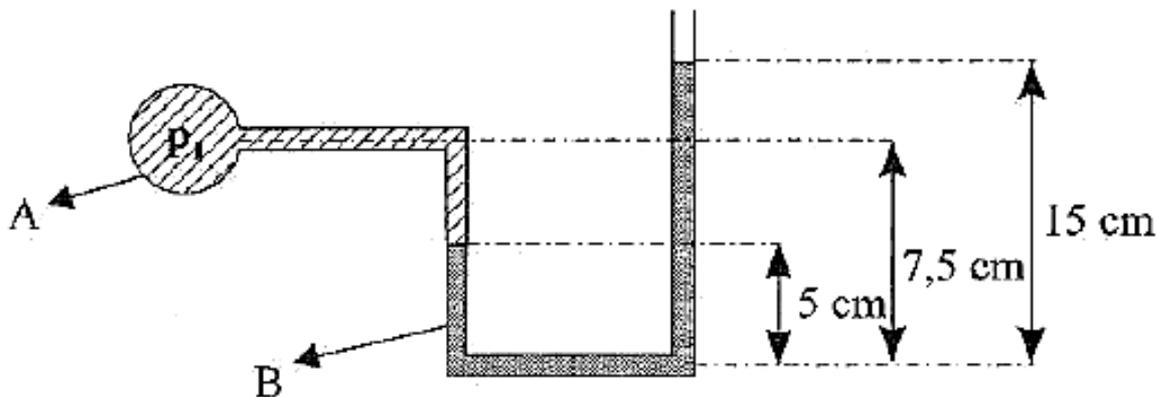
$$p_A + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 - \gamma_3 h_3 + \gamma_4 h_4 - \gamma_5 h_5 - \gamma_6 h_6 = p_B$$



# Medidores de Pressão

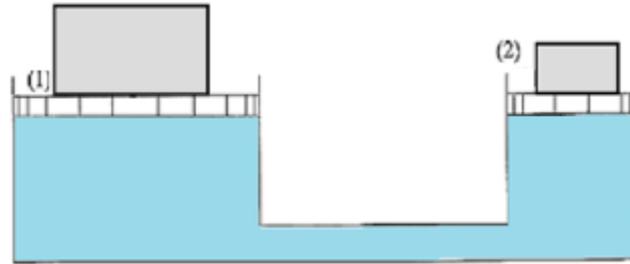
- Equação Manométrica – Exemplo:

No manômetro da figura, o fluido A é a água e o B, o mercúrio. Qual é a pressão  $p_1$ ? Dados:  $\gamma_{Hg} = 136.000 \text{ N/m}^3$  e  $\gamma_{H_2O} = 10.000 \text{ N/m}^3$



# Exercícios Hidrostática

1) O sistema a seguir se encontra em equilíbrio estático. Os êmbolos (1) e (2), possuem áreas de  $100\text{cm}^2$  e  $10\text{cm}^2$  respectivamente. Sabendo-se que a massa do corpo em (1) é igual a  $50\text{kg}$ , determinar a massa do corpo em (2). Desprezar o peso dos êmbolos e considerar  $g = 10\text{m/s}^2$ .



2) Explique as desvantagens na utilização do piezômetro como medidor de pressão. Por que o manômetro com tubo em U é melhor neste caso?

3) Como funciona o manômetro de Bourdon? De exemplos de aplicações práticas deste tipo de manômetro.

4) Faça as transformações de unidades:

a)  $2,5\text{ atm}$  em Pa, mmHg, bar e psi

b)  $20\text{ mca}$  em Pa, mmHg, bar e psi

5) Dê exemplos de aplicações práticas da Lei de Pascal.

6) Lista de exercícios complementares (a ser enviada).