Física 3

(1/2016)

Fluidos, Termodinâmica, Ondas e Ótica

Instrutor: Rubens Amaral
Texto original: Cadu

rubensamaral@id.uff.br

O que vamos estudar nesta disciplina?
Como será nosso curso?

Estática e Dinâmica de Fluidos
Termodinâmica
Ondas e Ótica

.
.

http://cursos.if.uff.br/fisica3-0116/

Fluidos

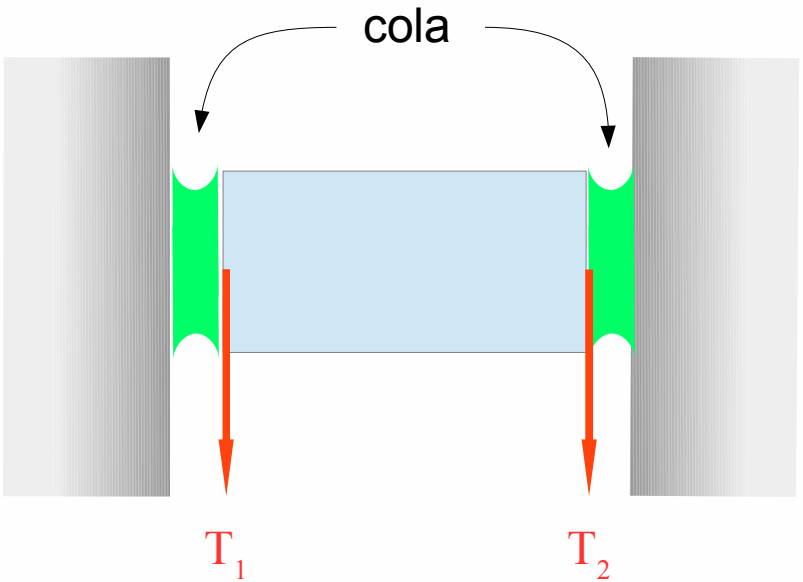
Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

O que diferencia um sólido de um fluido?

Fluidos e Elasticidade

Fluido: sistemas macroscópicos que fluem.

A diferença fundamental entre sólidos e líquidos está na forma de responder às **tensões tangenciais**

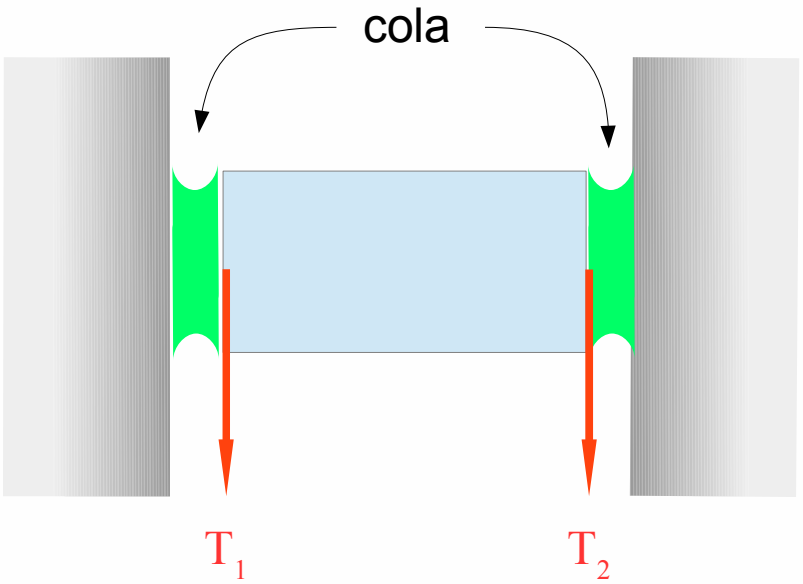


T = tensão superficial (cisalhamento)

Fluidos e Elasticidade

Fluido: sistemas macroscópicos que fluem.

Se a cola não estivesse seca, a tensão superficial provocaria deslizamento de camadas adjacentes da cola, o que levaria à descida do bloco.



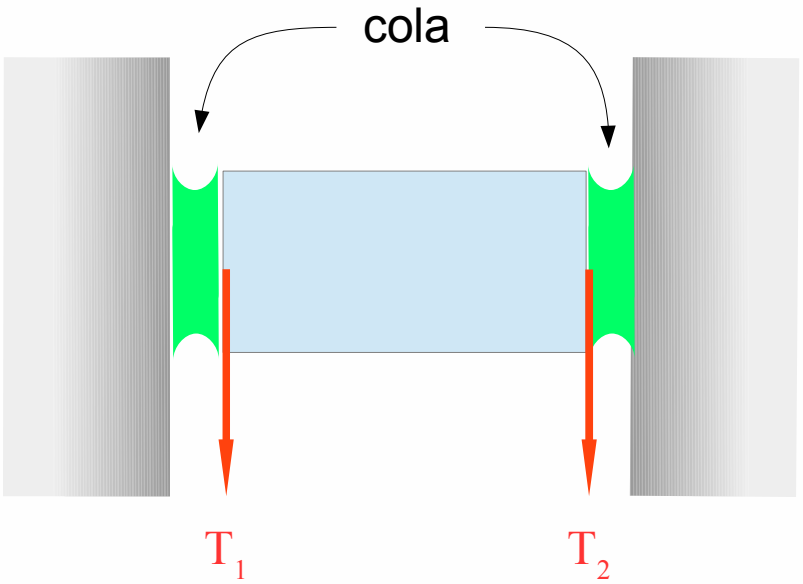
T = tensão superficial (cisalhamento)

Fluidos e Elasticidade

Fluido: sistemas macroscópicos que fluem.

Sólido → se deforma até o equilíbrio quando sujeito a uma tensão superficial.

Líquido → não equilibra nenhuma tensão superficial, ele flui.



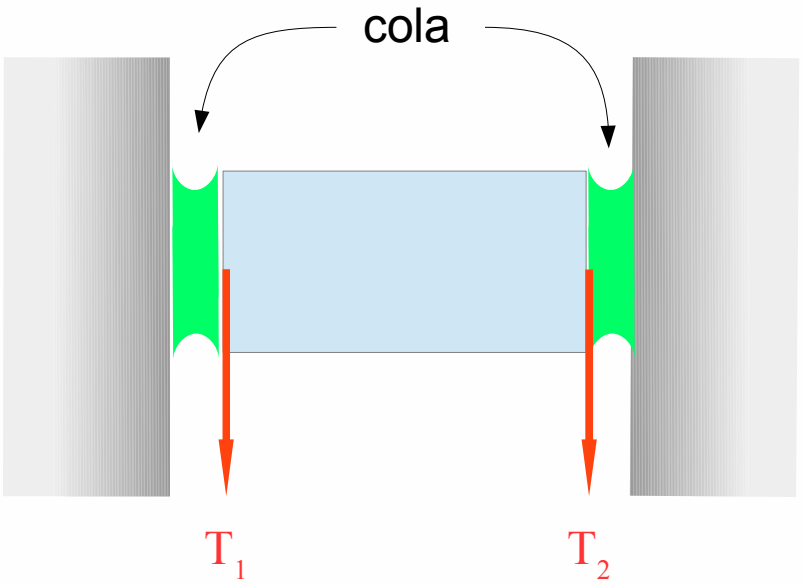
T = tensão superficial (cisalhamento)

Fluidos e Elasticidade

Fluido: sistemas macroscópicos que fluem.

Sólido → se deforma até o equilíbrio quando sujeito a uma tensão superficial.

Líquido → não equilibra nenhuma tensão superficial, ele flui.



T = tensão superficial (cisalhamento)

Fluidos e Elasticidade

Modelo Fluido Ideal → viscosidade (resistência ao deslocamento) nula.

Fluidos e Elasticidade

Modelo Fluido Ideal → viscosidade (resistência ao deslocamento) nula.

No mundo real a viscosidade depende da velocidade de escoamento.
Viscosidade: Grandeza relacionada à força superficial tangencial:

Se $v = 0$ → tensão superficial é nula!!!

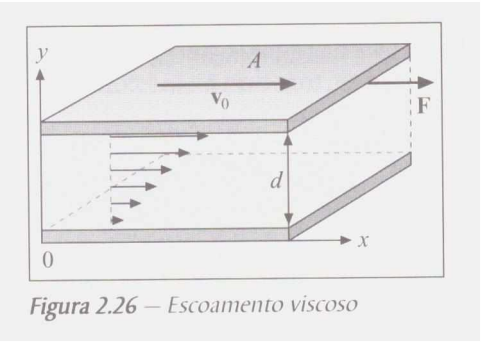
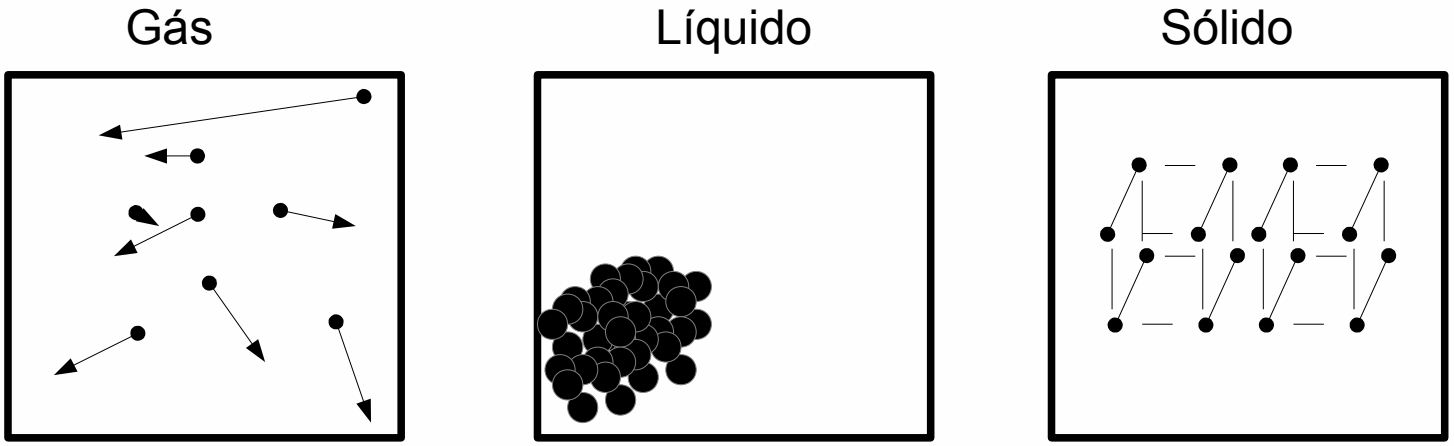


Figura 2.26 — Escoamento viscoso

$F/A = v\, v_0/d$

Muito bem, antes de falarmos de propriedades dos fluidos e definirmos grandezas vamos rever nossos **objetivos** e a **base do nosso conhecimento.**

Modelo Atômico da Matéria



Um gás é composto de partículas que interagem apenas durante as colisões.

Grandezas (No Sistema Internacional)

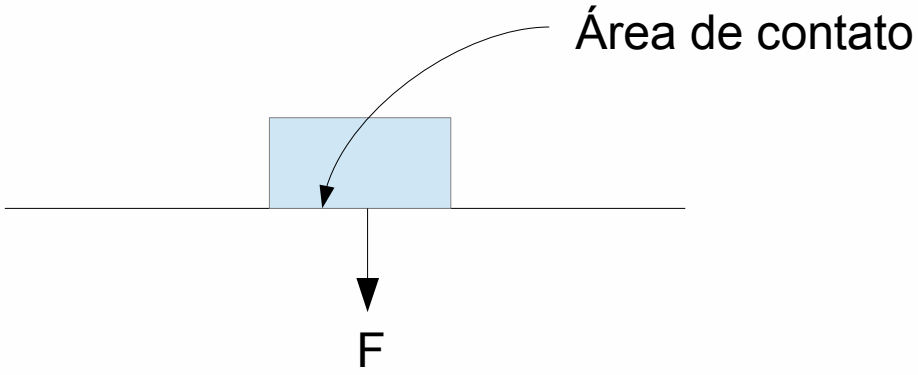
Volume ≡ espaço ocupado → $[m^3]$

Densidade ≡ Qtde de matéria por volume: $\rho = m/V \rightarrow [kg/m^3]$

Pressão = ????

Obs: Mesma dimensão que densidade de energia

Pressão → Uma grandeza relacionada com a força superficial normal.

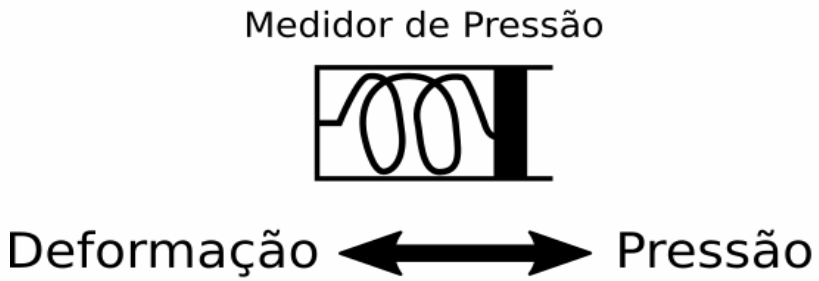


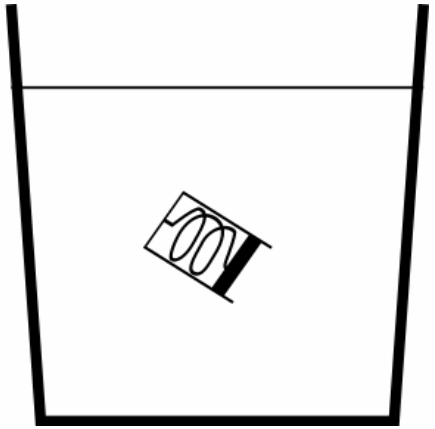
Pressão ≡ Força/Área

$$\vec{F} = p\,\vec{A}$$

Grandezas

A Pressão é um escalar! Não depende da orientação do medidor...





A pressão é a mesma independentemente da direção que que aponta o medidor!

Vamos fazer um Teste Conceitual?

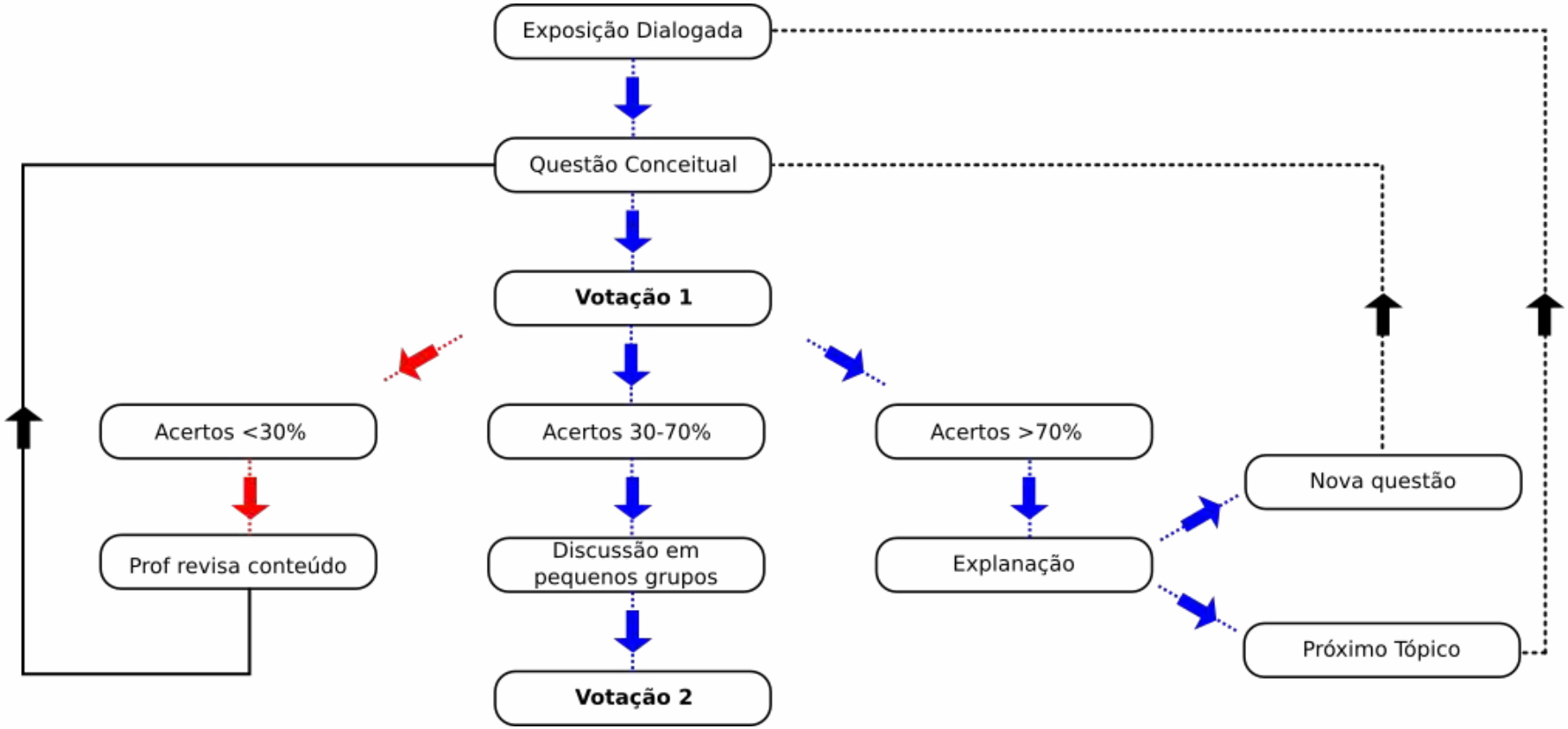
Vamos estipular uma regra...
Regra do Teste Conceitual

1- Se 70% da turma acertar, o prof. segue com a matéria.
2- Se até 30% da turma acertar, o prof. explica a questão.

Se de 30-70% da turma acertar, você procura um colega que tenha marcado uma resposta diferente e argumenta (com ele) porque você acha que a sua resposta é a correta.

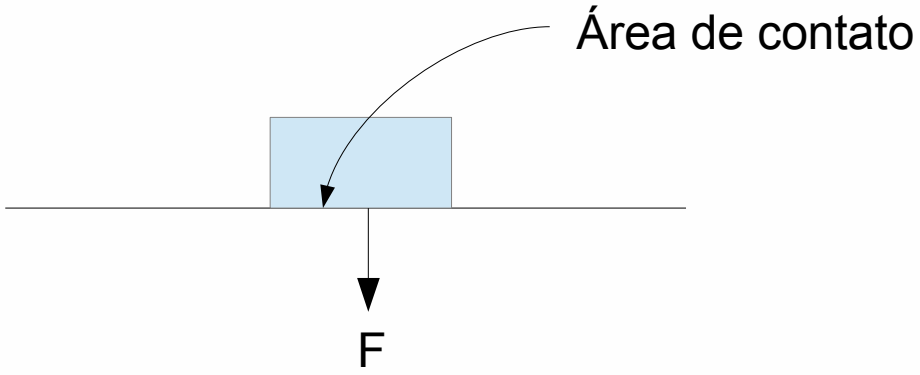
Ao sinal do Prof, você
levanta a placa com sua NOVA resposta

Independente da resposta o prof. explicará a questão.


Exposição Dialogada
Questão Conceitual
Votação 1
Acertos <30%
Acertos 30-70%
Acertos >70%
Prof revisa conteúdo
Discussão em pequenos grupos
Explanação
Nova questão
Próximo Tópico
Votação 2

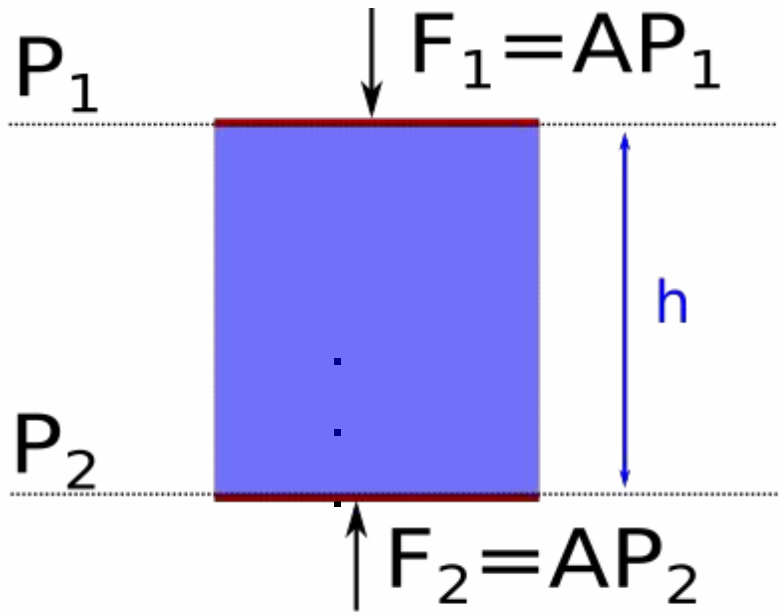
Teste Conceitual 1

Considere um bloco apoiado em uma superfície horizontal



(A) A superfície está sujeita à força peso do bloco.
(B) Se o bloco for colocado em pé, a pressão na superfície aumenta.
(C) A pressão na superfície é inversamente proporcional à massa do bloco.
(D) As três alternativas anteriores estão corretas.

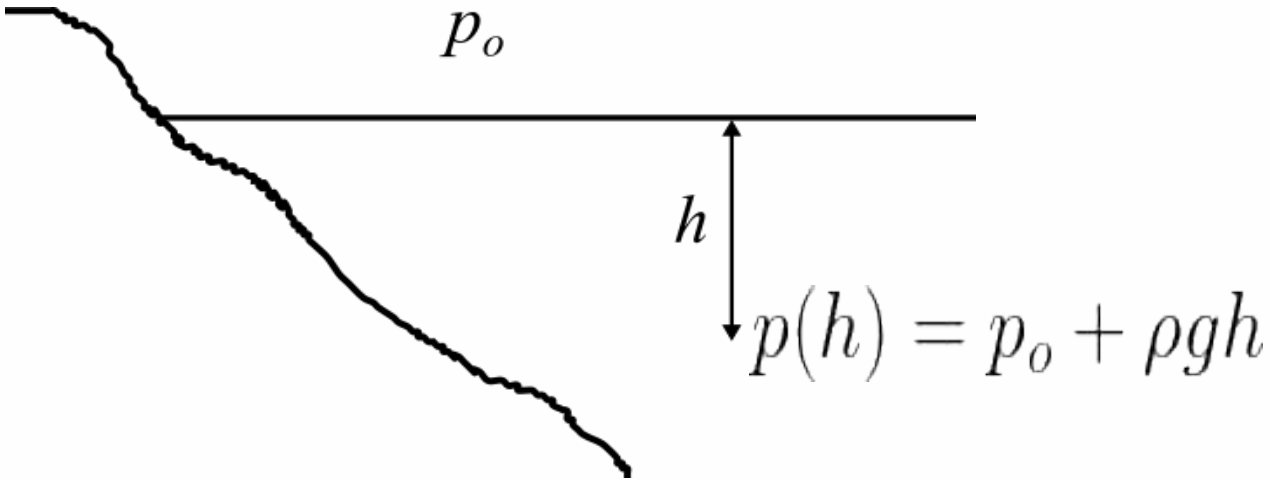
Desenvolveremos a seguir uma expressão que descreve a pressão nos fluidos estáticos.



$$F_2 - F_1 = A\Delta P = \rho g V = \rho g A h$$

$$p(h) = p_o + \rho g h$$

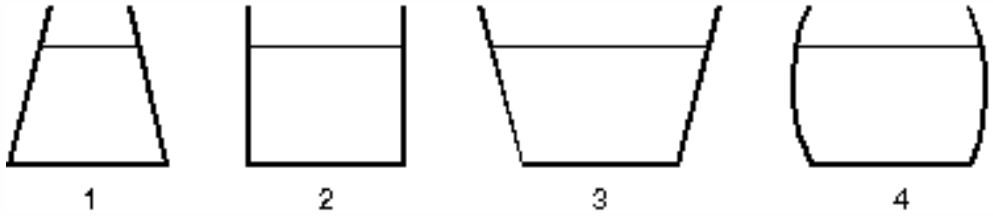
A ***Lei de Stevin*** descreve a pressão no interior dos fluidos estáticos.



A pressão hidrostática só depende da profundidade e da pressão na superfície!

Teste Conceitual 2

Todas as vasilhas mostradas abaixo contém a mesma qtde de água e estão preenchidas a mesma altura. A sequência que melhor expressa o aumento da pressão, exercida pela água, no fundo de cada recipiente é:

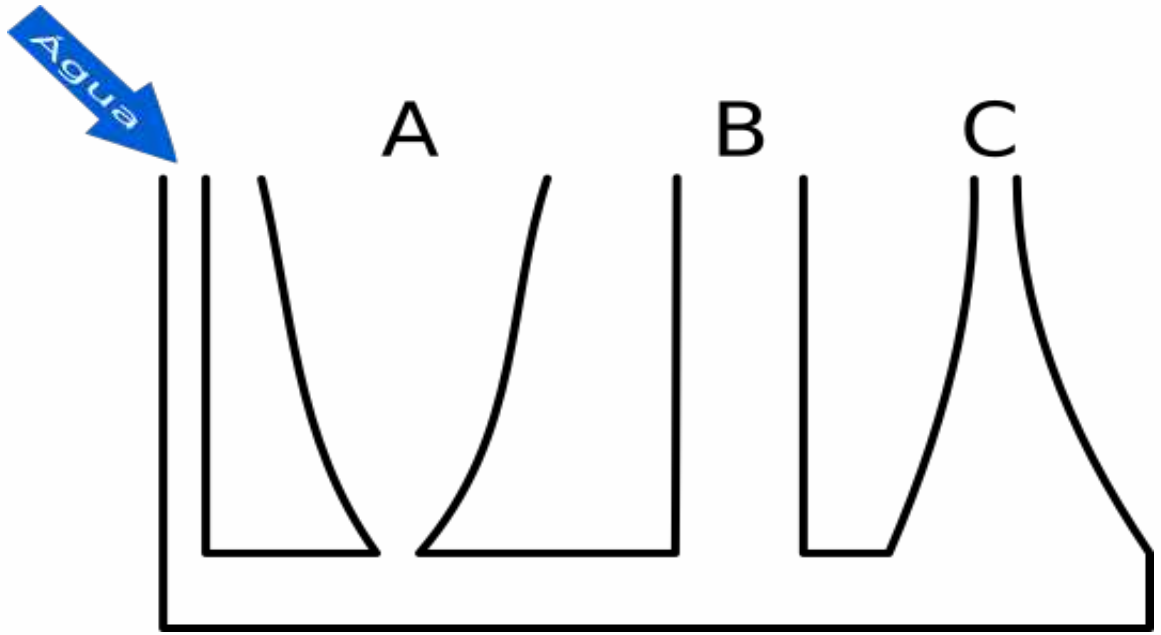


A) 1, 2, 3, 4
B) 3, 4, 2, 1
C) 4, 3, 2, 1
D) todas as pressões são idênticas

Teste Conceitual 3

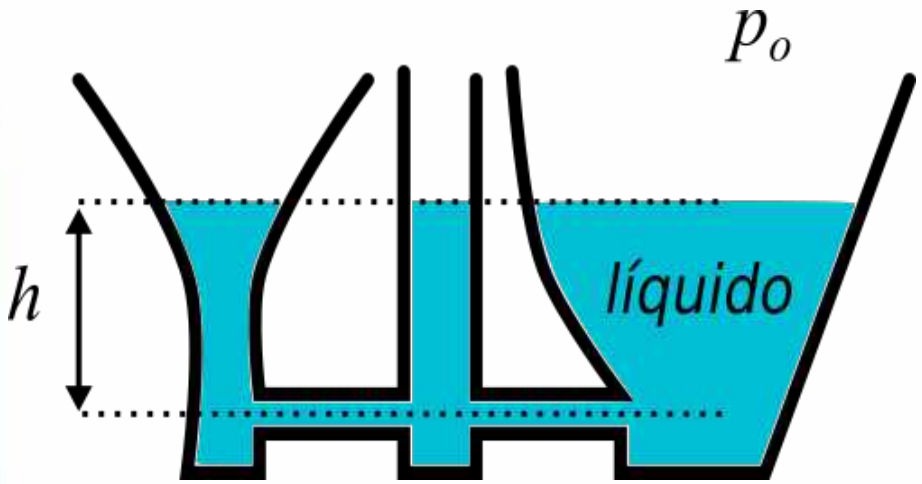
Água é lentamente derramada no recipiente da figura abaixo até que o nível tenha aumentado nos tubos A, B e C. Interrompe-se o derramamento antes que haja o transbordamento. Como se comparam entre si as profundidades de água nas três colunas (parcialmente cheias)?

(A) $d_A > d_B > d_C$
(B) $d_A < d_B < d_C$
(C) $d_A > d_B = d_C$
(D) $d_A = d_B = d_C$



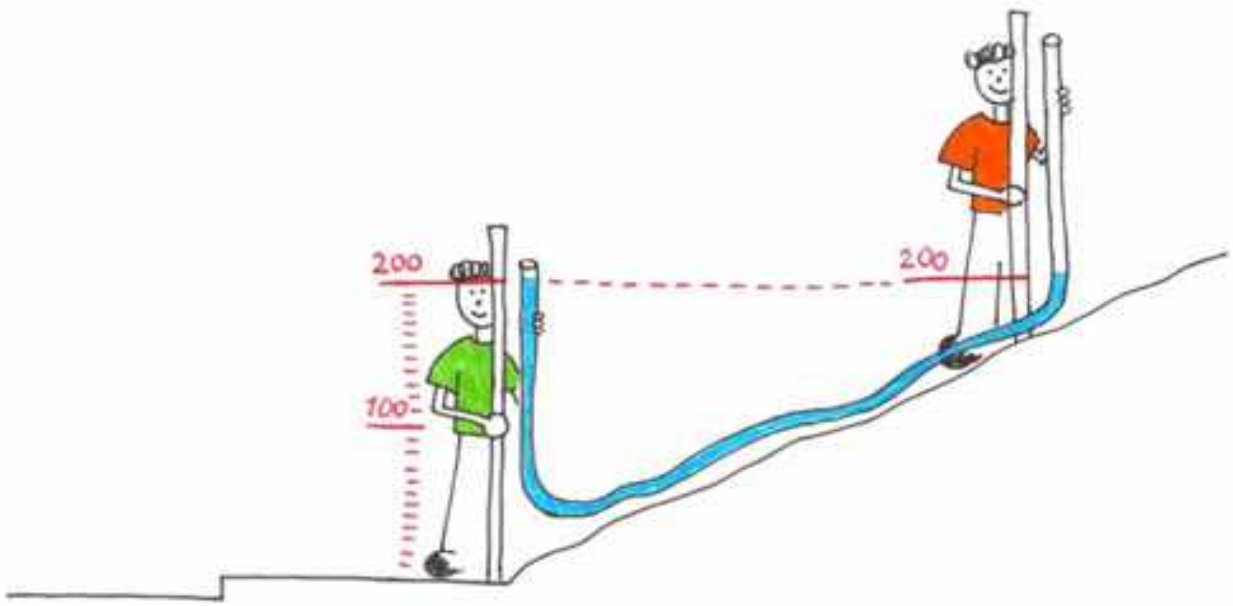
Vasos Comunicantes

Um líquido em equilíbrio hidrostático, contido num recipiente conectado, sobe até a mesma altura em todas as regiões!



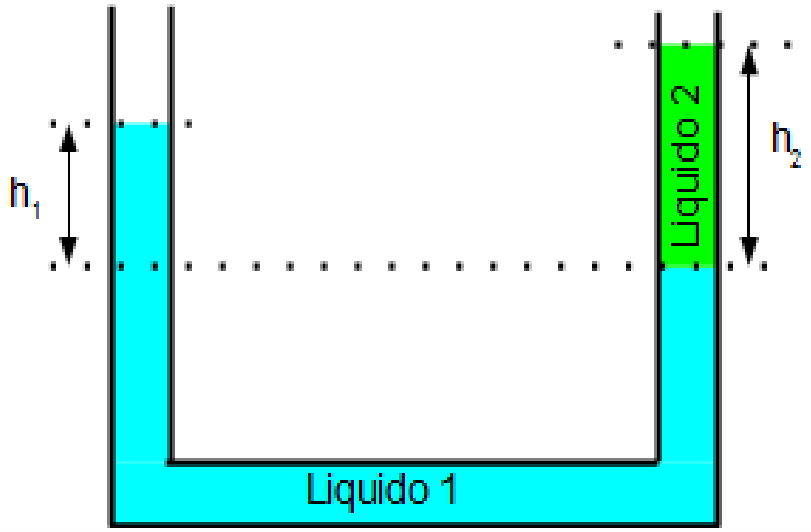
Vasos Comunicantes

Um (mesmo) líquido em equilíbrio hidrostático, contido num recipiente conectado, sobe até a mesma altura em todas as regiões!



O Nível de obra, utilizado na construção civil, é uma aplicação prática deste fenômeno!

Aplicação: Tubo em U com dois líquidos distintos.



“Princípio de Pascal”

Pela Lei de Stevin, a diferença de pressão entre dois pontos de um líquido é cte, dependendo apenas do desnível entre esses pontos. Logo, **se produzirmos uma variação de pressão num ponto do líquido, essa variação se transmite igualmente a todos os pontos do líquido.**

Ver exemplo 15.4

Termômetros e Medidores de pressão de gases.

50. || O manômetro de mercúrio mostrado na **FIGURA P16.50** está acoplado a uma célula de gás. A altura h do mercúrio do manômetro é de 120 mm quando a célula é mantida imersa em uma mistura de gelo e água e diminui para 30 mm quando o aparelho é mantido em um congelador industrial. Qual é a temperatura do congelador?
Dica: O tubo direito do manômetro é muito mais estreito do que o tubo esquerdo. Que pressuposição razoável pode ser feita acerca do volume do gás?

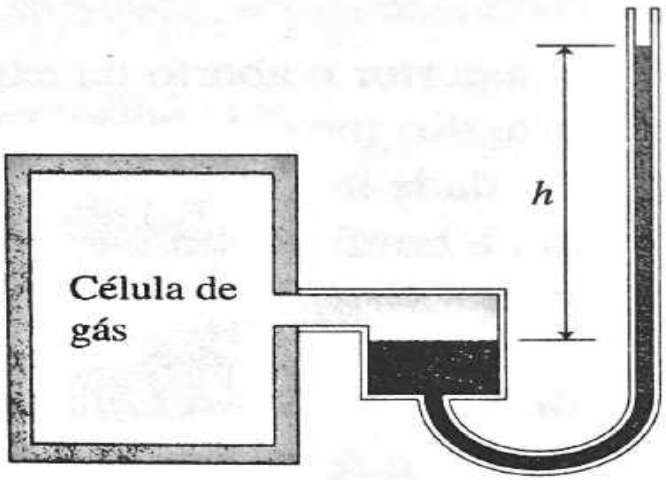


FIGURA P16.50

Termômetros e Medidores de pressão de gases.

50. || O manômetro de mercúrio mostrado na **FIGURA P16.50** está acoplado a uma célula de gás. A altura h do mercúrio do manômetro é de 120 mm quando a célula é mantida imersa em uma mistura de gelo e água e diminui para 30 mm quando o aparelho é mantido em um congelador industrial. Qual é a temperatura do congelador?
Dica: O tubo direito do manômetro é muito mais estreito do que o tubo esquerdo. Que pressuposição razoável pode ser feita acerca do volume do gás?

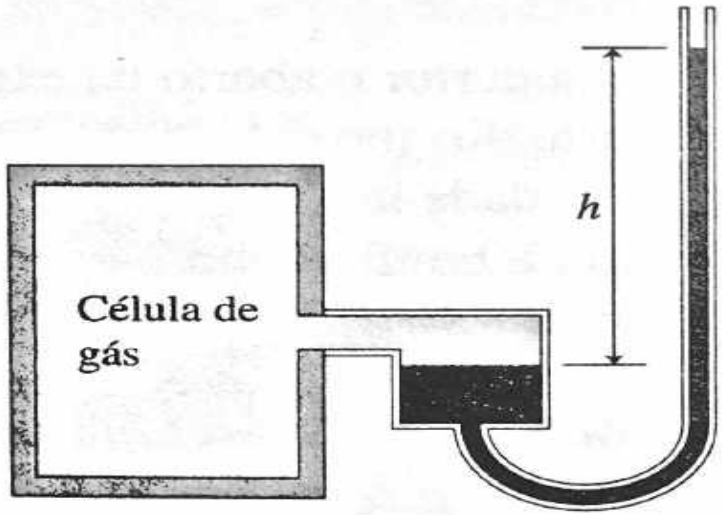
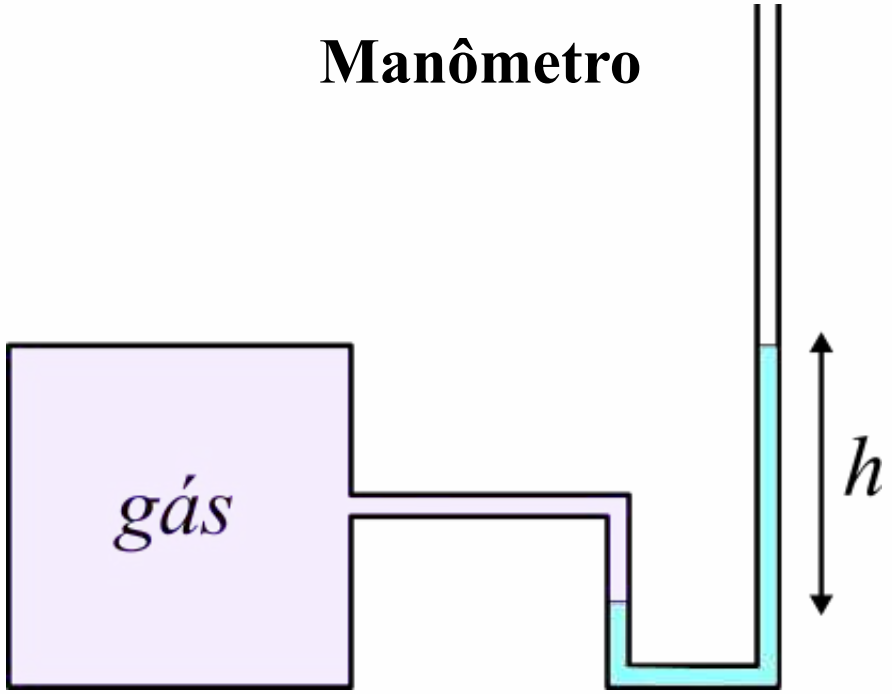


FIGURA P16.50

Neste caso, a variação da pressão do gás produziu uma variação na pressão na interface líquido-gás (sem mudar apreciavelmente a sua altura). De acordo com o ***Princípio de Pascal***, essa variação de pressão se transmitiu para todo o líquido, o que levou a variação de h.

Medidores de Pressão

Manômetro



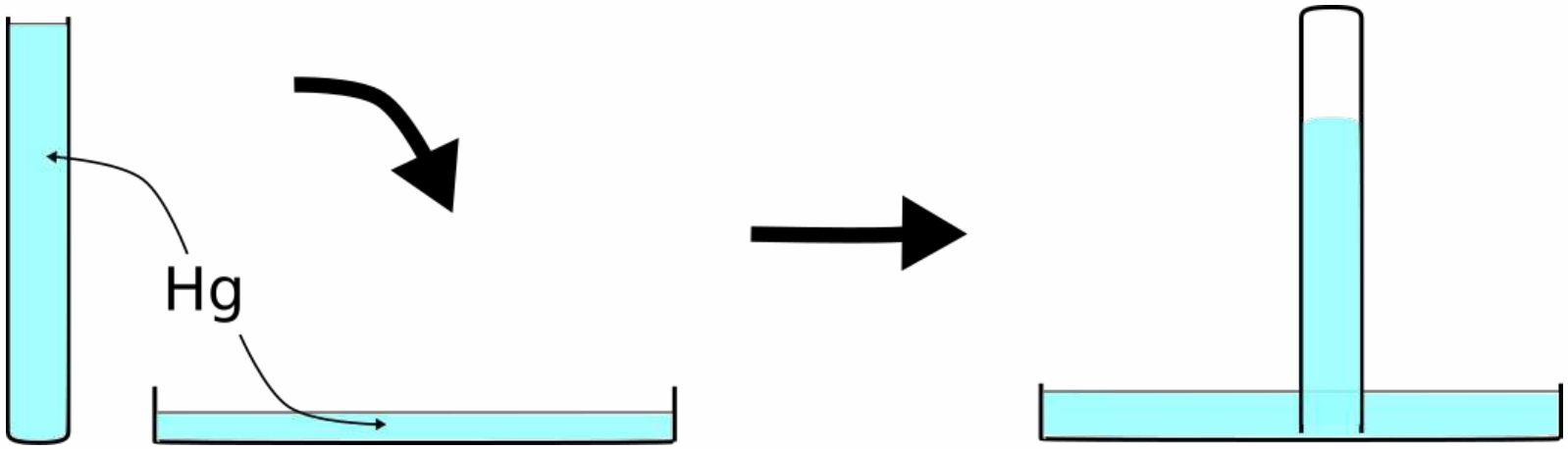
A altura *h* fornece a pressão do gás.

p_m = pressão manométrica = p – 1atm = ρgh

A **pressão manométrica** pode ser nula! Ou mesmo negativa.

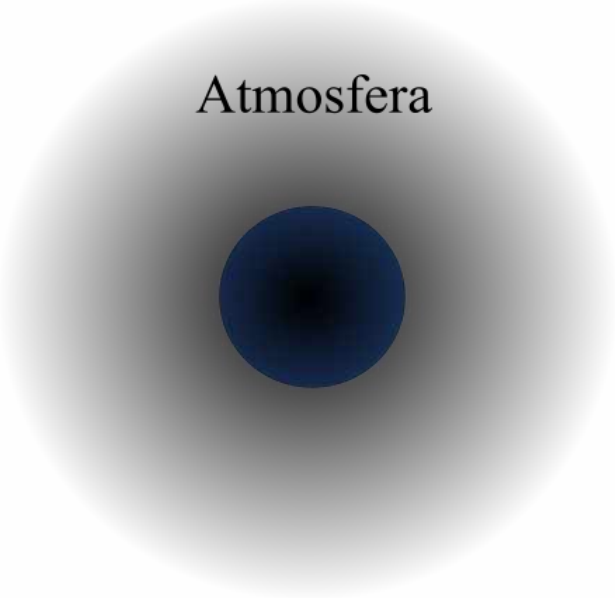
Medidores de Pressão

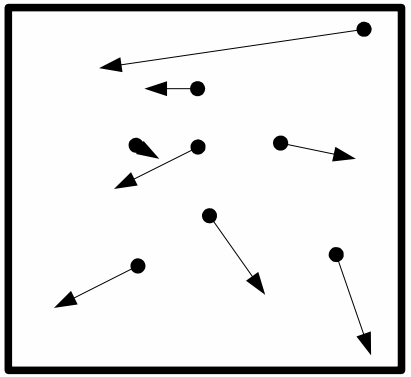
Barômetro



Por que o líquido não escorre totalmente?

A pressão nos gases depende da gravidade e da temperatura.





$p \leftrightarrow g$

Em sistemas grandes, como a Terra, o efeito da gravidade torna-se bem perceptível

$p \leftrightarrow \mathsf{T}$

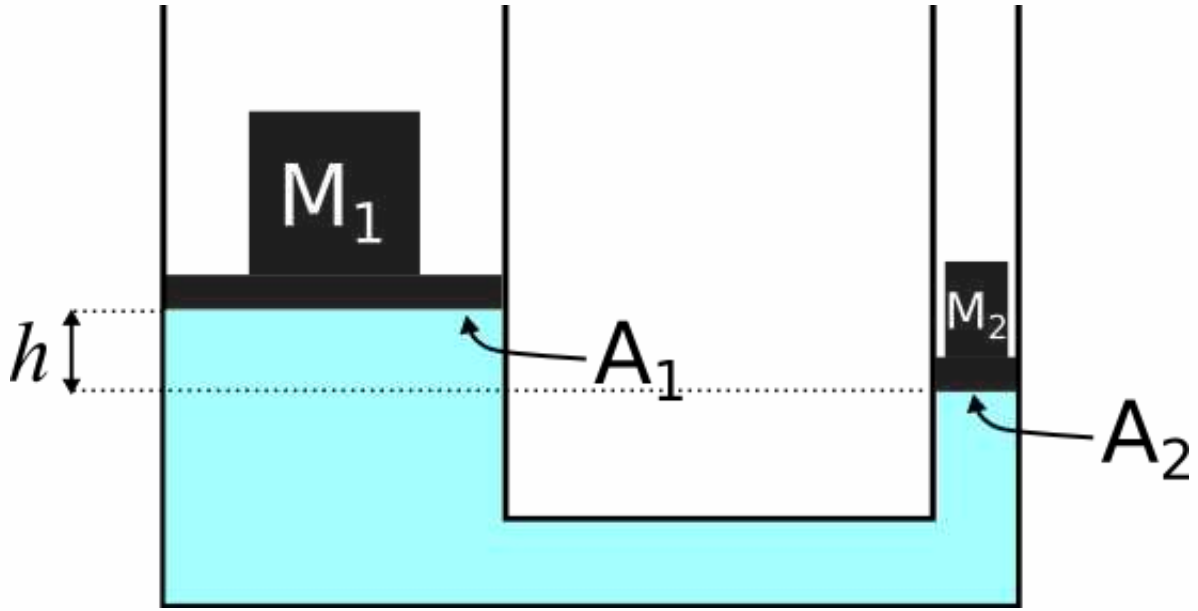
Em sistemas pequenos, como o gás num recipiente, o efeito da gravidade não é perceptível

Qual a força exercida pelo ar em nosso antebraço?

Aplicação: Elevador Hidráulico

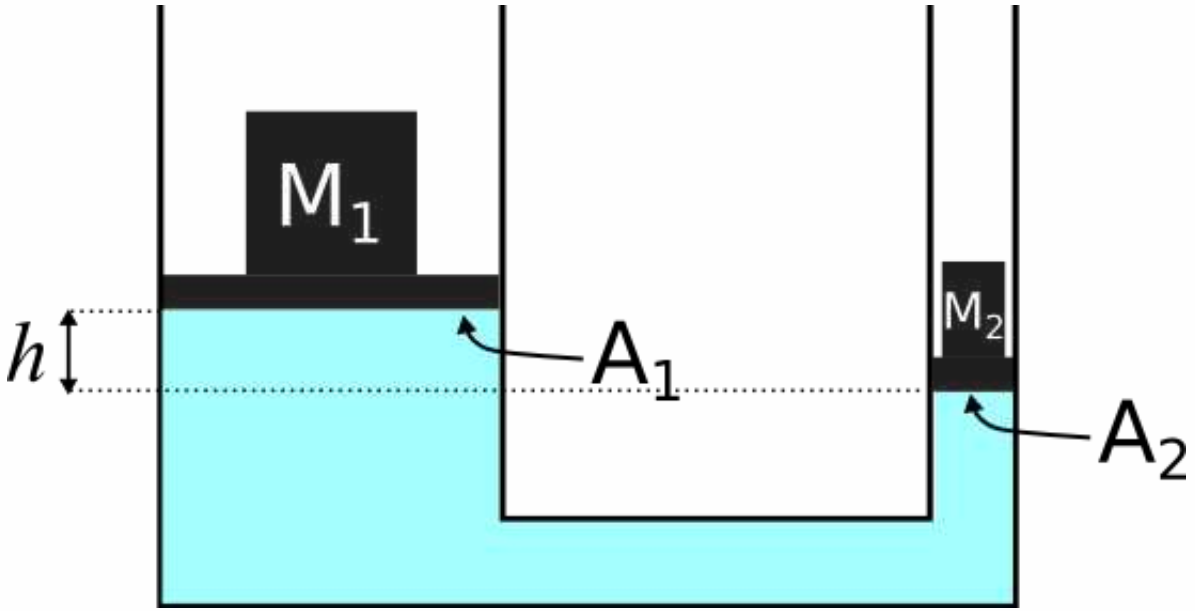
→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

"Uma pequena massa pode equilibrar uma massa gigante..."



Aplicação: Elevador Hidráulico

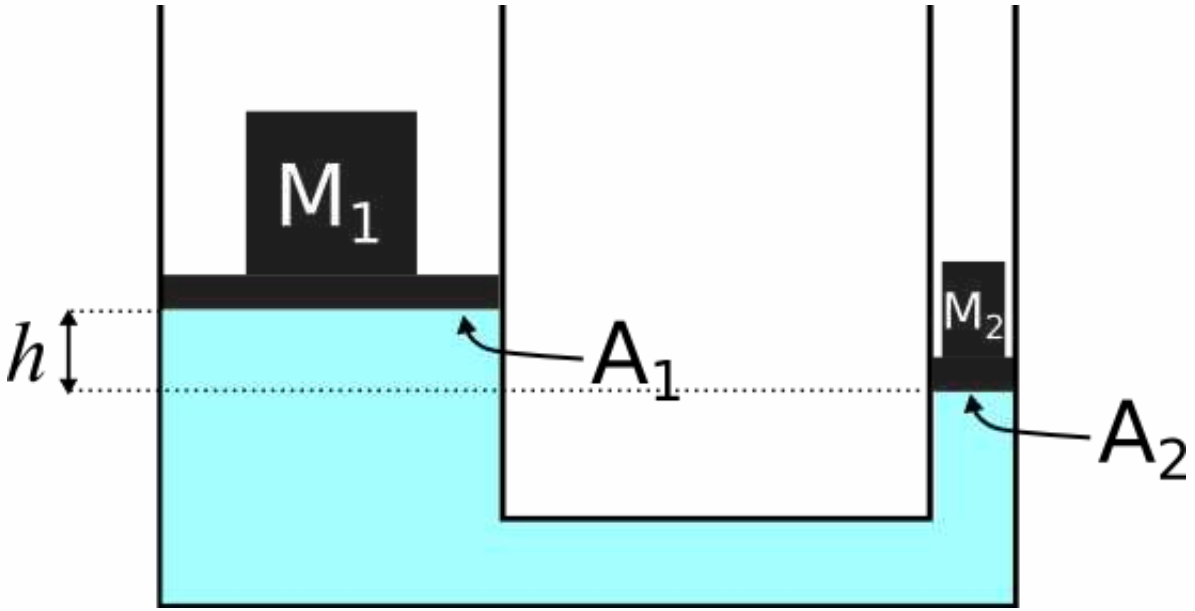
→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)



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

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)



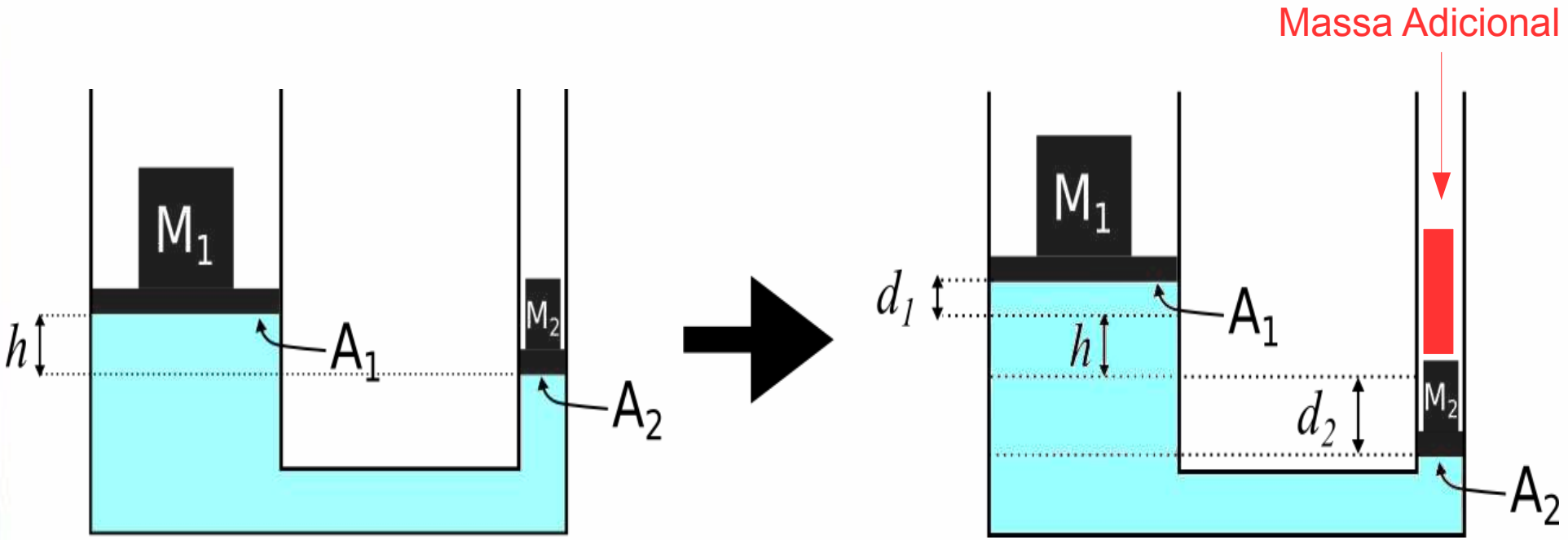
Se deslocarmos m_2 de d_2...

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad \leftrightarrow \quad d_1 = \frac{A_2}{A_1} d_2$$

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

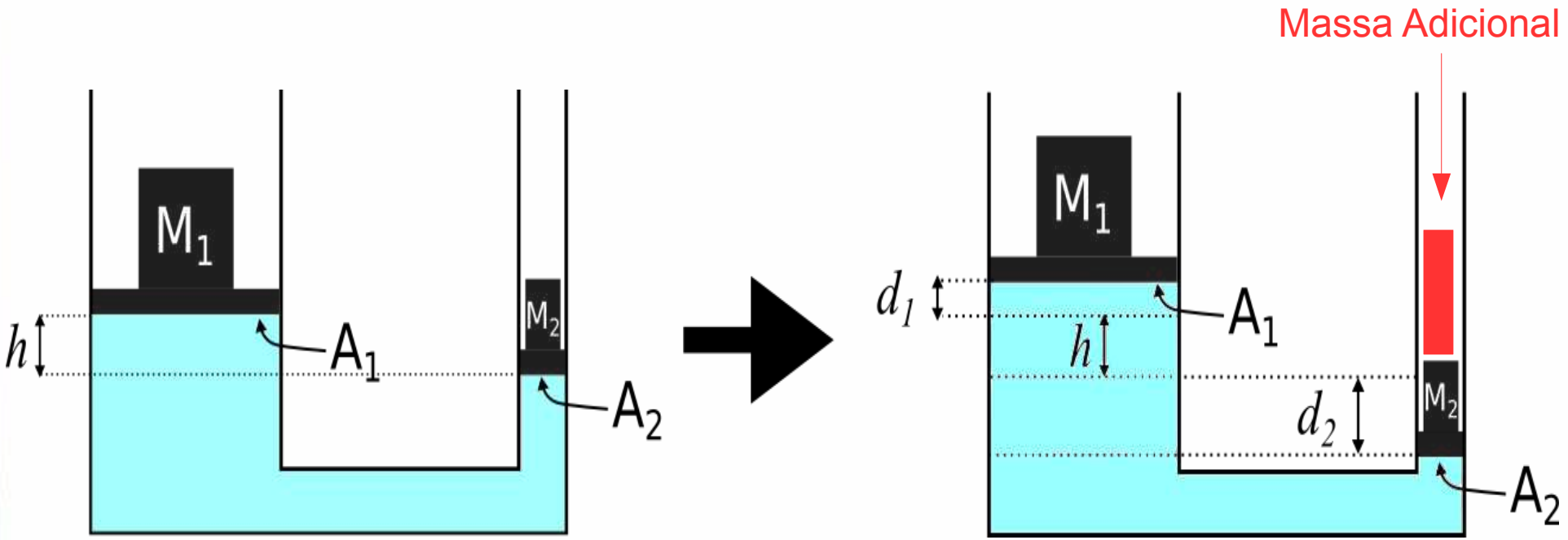
De quanto subirá o pistão 1 se aumentarmos a força no pistão 2, colocando, por exemplo, uma massa adicional?



Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

De quanto subirá o pistão 1 se aumentarmos a força no pistão 2, colocando, por exemplo, uma massa adicional?



$$F_2' - F_2 = \rho g d_1 (A_1 + A_2)$$

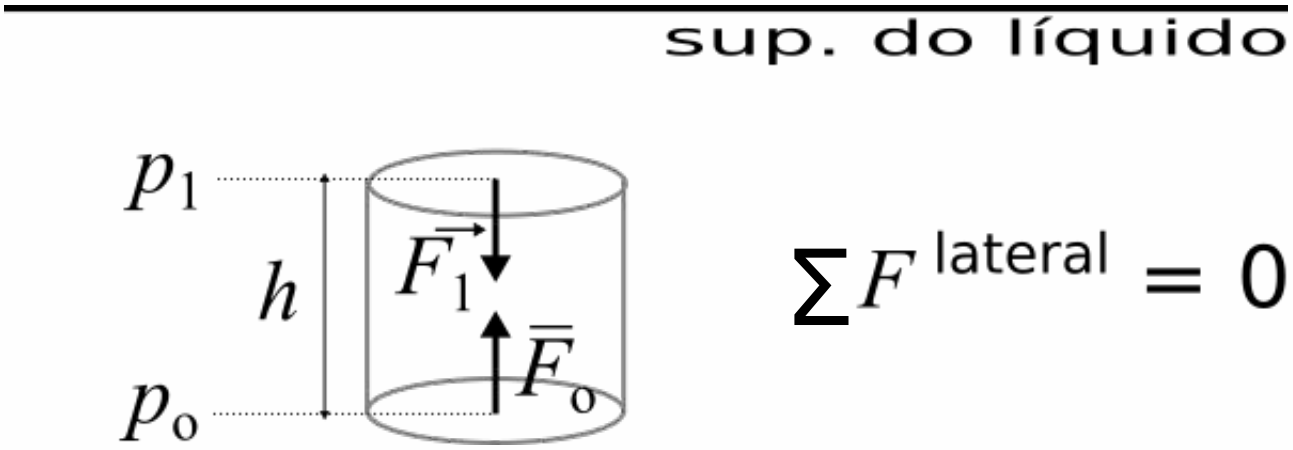
→ **Olhar o problema resolvido 15,7!**

Flutuação de corpos em fluidos...

Força de Empuxo

Força realizada por fluidos cujo módulo é igual ao peso do fluido deslocado

Imaginemos um objeto cilíndrico submerso



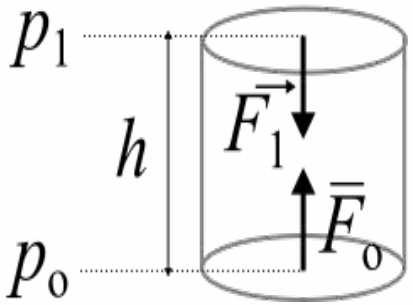
$$p_0 - p_1 = \rho g h$$

Força de Empuxo

A resultante das forças (superficiais) sobre o cilindro é o empuxo

sup. do líquido

$$p_0 - p_1 = \rho g h$$



$$\sum F^{\text{lateral}} = 0$$

$$\begin{aligned} E &= p_0 A - p_1 A = \rho g h A \\ &= \rho g V g \\ &= m_{líq} g \end{aligned}$$

→ peso do líquido deslocado

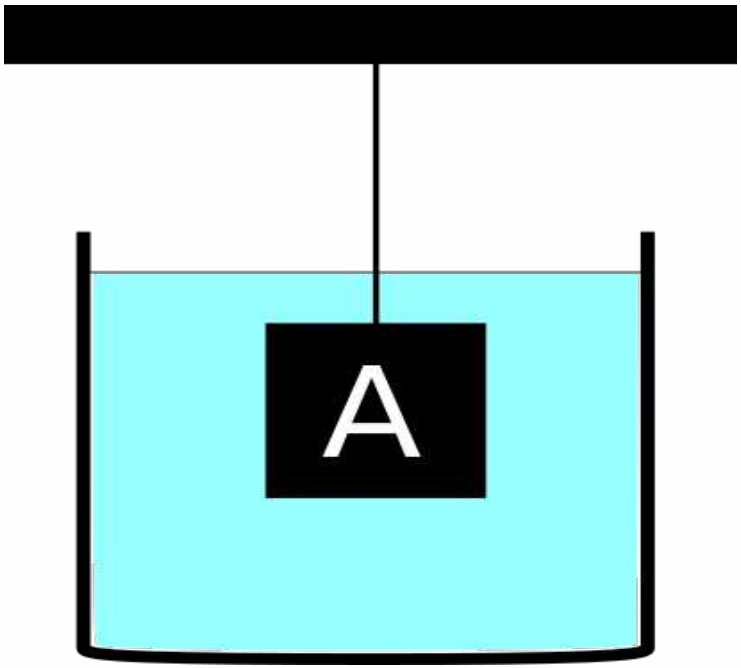
A noção da força de empuxo dá origem a um princípio muito importante e básico para a descrição de sistemas flutuantes e/ou submersos como os barcos e submarinos

Princípio de Arquimedes:

“Um corpo total ou parcialmente imerso num fluido recebe um empuxo igual e contrário ao peso da porção de fluido deslocado e aplicado no centro de gravidade do referido fluido deslocado.”

Arquimedes de Siracusa (séc III A.C.)

Problema: Qual é a Tensão no barbante da figura abaixo?



Fluido: Álcool Etílico – bloco: material Al e Volume 100cm^3.

$\rho_{álcool} = 790$ kg/m^3 / $\rho_{Al} = 2700$ kg/m^3

Teste Online

Algumas respostas...

O que significa dizer que a pressão é uma grandeza escalar?

Estudante 1- "A pressão é um escalar, pois independe do sentido da força para ter um sentido. Ou seja, ela sempre será um valor."

Estudante 2- "Significa que a pressão pode ser definida apenas com o seu módulo e uma unidade de medida, não sendo necessário que se especifique sua orientação (direção e sentido)."

Teste Online

Algumas respostas...

O que acontecerá com a ventosa do exemplo 15.2 se o ambiente onde ela se encontra for evacuado? Porque?

Estudante 1- "A ventosa vai acabar se desprendendo do teto pois não haverá mais ar empurrando ela contra o teto."

Estudante 2- "A ventosa irá cair, já que o ar empurrando-a contra o teto não existirá e a força da gravidade irá atraí-la para baixo."

A uma certa profundidade no oceano, a pressão absoluta vale P. Se você afunda, de forma que sua profundidade dobra, a pressão absoluta observada valerá 2P." Essa afirmativa é correta? Justifique sua resposta

Estudante 1- "Sim. A pressão na profundidade P de um líquido é dada pela seguinte equação: $p = p0 + \rho gP$, onde ρ é a densidade do líquido. Uma vez que o fluido encontra-se em repouso (pressão hidrostática) a pressão será proporcional a profundidade."

Estudante 2- "Não. A altura influencia sim na pressão, mas não dobrando a pressão como um todo. $P = P0 + \rho gh$, logo, a altura só dobra a segunda parte da equação, enquanto a pressão inicial permanece a mesma não importando a altura que a pessoa descer."

Teste Online

Algumas respostas...

O que é o Empuxo?

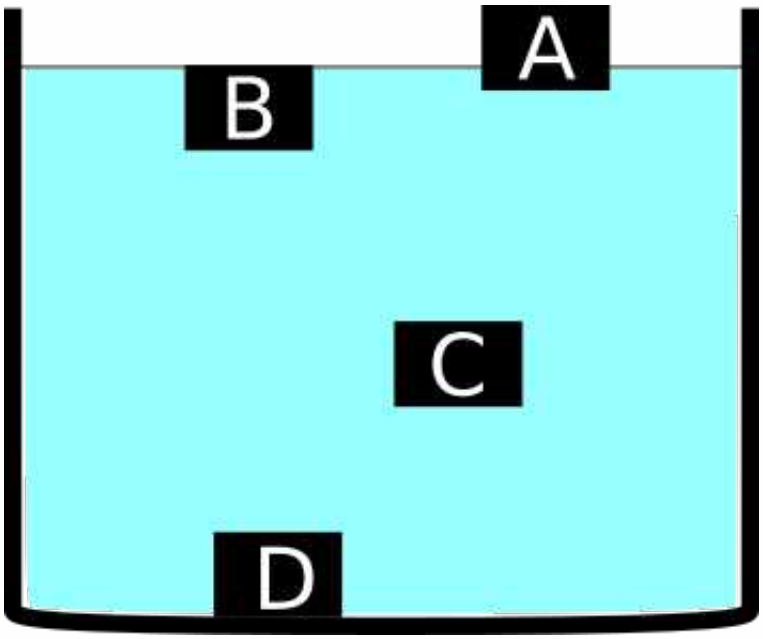
Estudante 1- “É a força que um líquido faz quando uma força é aplicada sobre ele ”

Estudante 2- “É a força resultante de fluido orientada para cima.”

Teste Conceitual 4

Os blocos A, B, C e D têm o mesmo volume. Determine a sequência correta referente aos Empuxos sobre cada um deles.

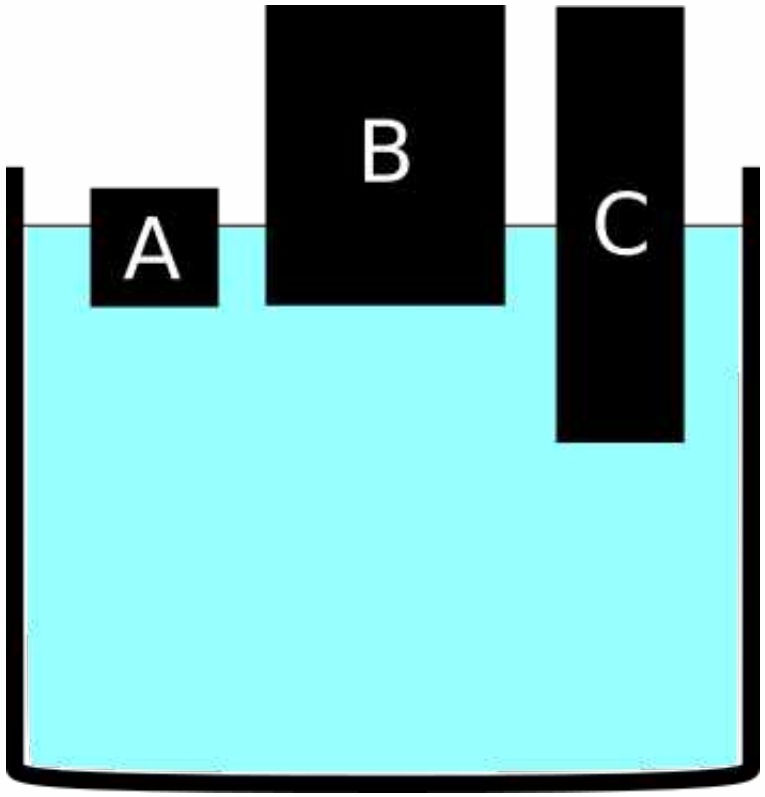
(A) $E_A < E_B = E_C = E_D$
(B) $E_A < E_B < E_C < E_D$
(C) $E_A < E_B = E_C < E_D$
(D) $E_A < E_B < E_C > E_D$



Teste Conceitual 5

Ordene a densidade de cada um dos blocos.

(A) $\rho_A < \rho_C$
(B) $\rho_A > \rho_B$
(C) $\rho_A < \rho_B$
(D) $\rho_B > \rho_C$



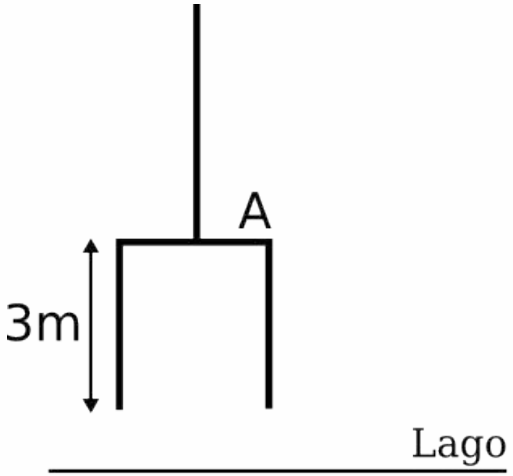
Teste Conceitual 6

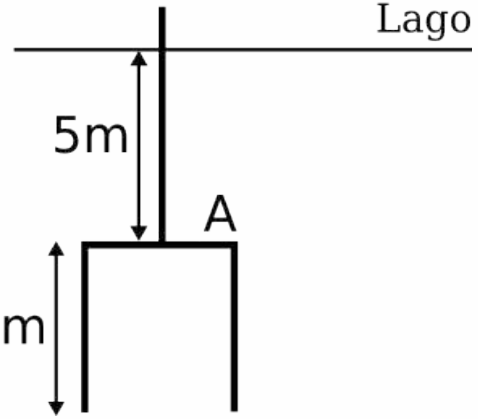
Água salgada é mais densa que água doce. Um navio flutua tanto na água doce quanto na água salgada. Comparado com a água doce, o volume deslocado pelo casco do navio na água salgada é:

(A) maior que o volume da água doce.
(B) menor que o volume da água doce.
(C) igual ao volume da água doce.
(D) impossível determinar sem saber o valor da pressão atmosférica.

Problema – Para o lar

Que fração da campânula é ocupada pela água?





Aula 3

Hidrodinâmica

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Modelo de Fluido Ideal (3 hipóteses!)

- **Fluido incompressível**
- **O Fluido é não-viscoso (análogo do atrito cinético)**
- **Fluxo é estacionário (a velocidade é cte em cada ponto do fluido)**

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Modelo de Fluido Ideal (3 hipóteses!)

- **Fluido incompressível**
- **O Fluido é não-viscoso (análogo do atrito cinético)**
- **Fluxo é estacionário (a velocidade é cte em cada ponto do fluido)**

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

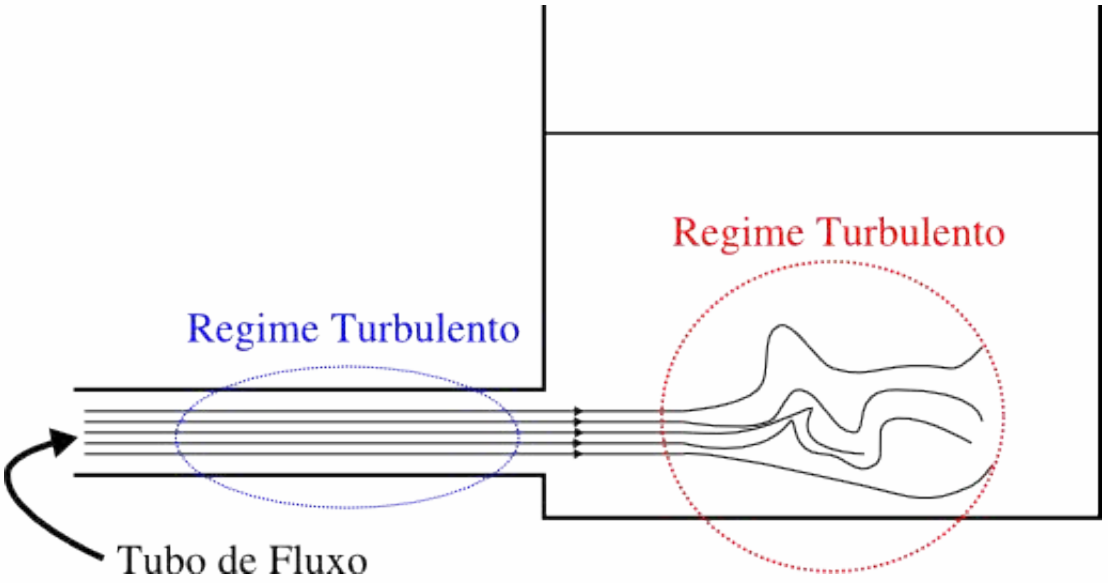
Modelo de Fluido Ideal (3 hipóteses!)

- **Fluido incompressível**
- **O Fluido é não-viscoso (análogo do atrito cinético)**
- **Fluxo é estacionário (a velocidade é cte em cada ponto do fluido)**

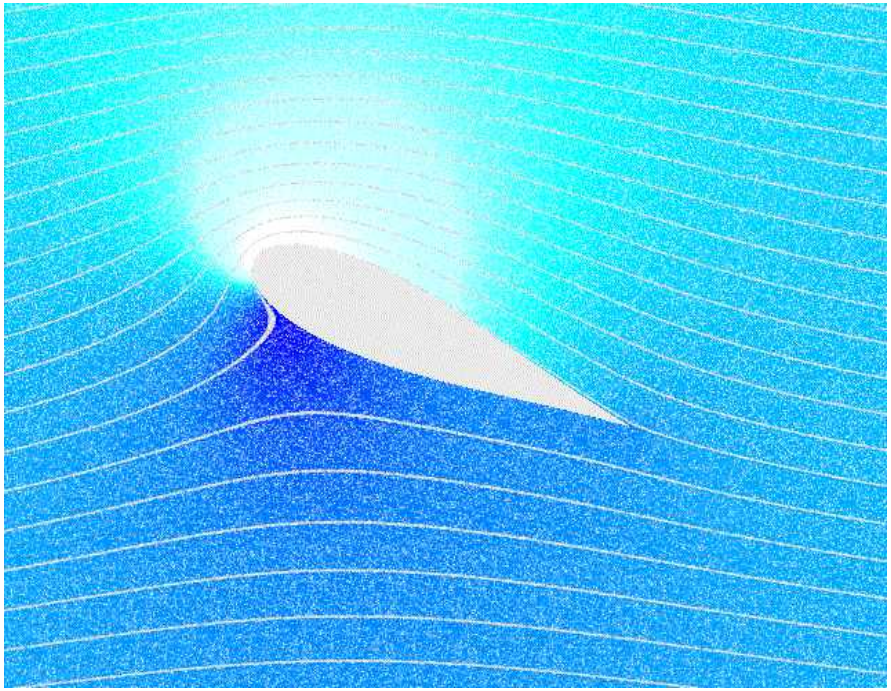
Um fluxo estacionário é chamado de fluxo laminar, oposto de fluxo turbulento.

Dinâmica dos Fluidos
(Fluidos em movimento)

Um fluxo estacionário é chamado de fluxo laminar, oposto de fluxo turbulento.



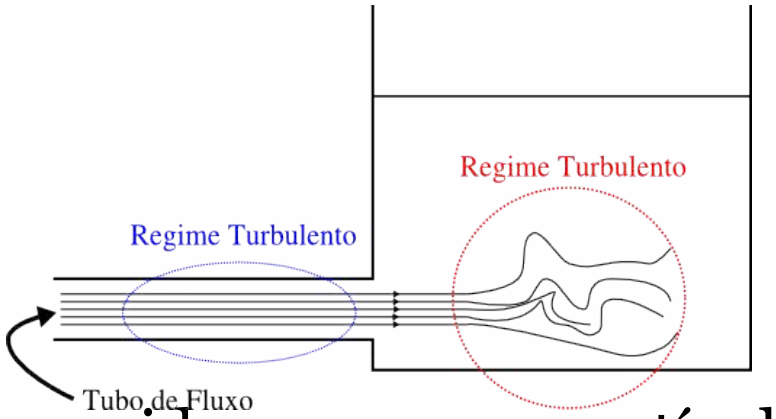
Ver Figura 15.26!



Referência: Thierry Dugnolle - Own work, CC0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18803279

Dinâmica dos Fluidos
(Fluidos em movimento)

Um fluxo estacionário é chamado de fluxo laminar, oposto de fluxo turbulento.



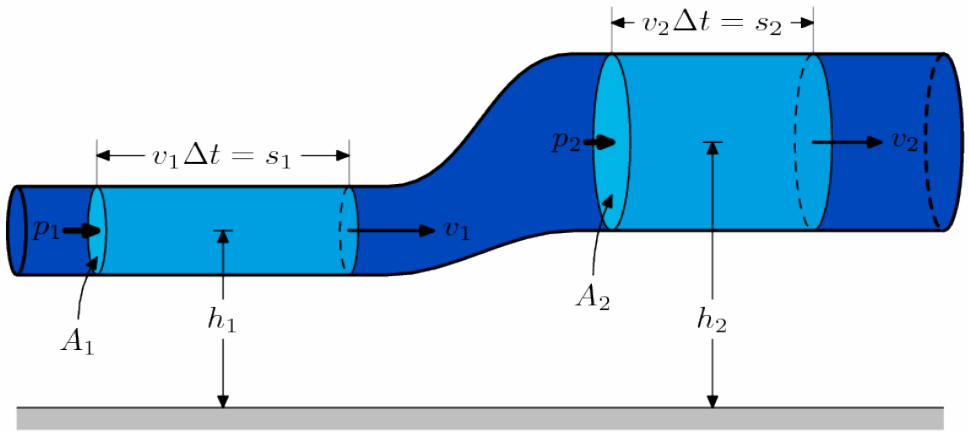
→ A linha de fluxo é a trajetória seguida por uma partícula qualquer em um fluido em movimento estacionário.

→ O tubo de fluxo é o feixe de linhas de fluxo.

Dinâmica dos Fluidos
(Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo



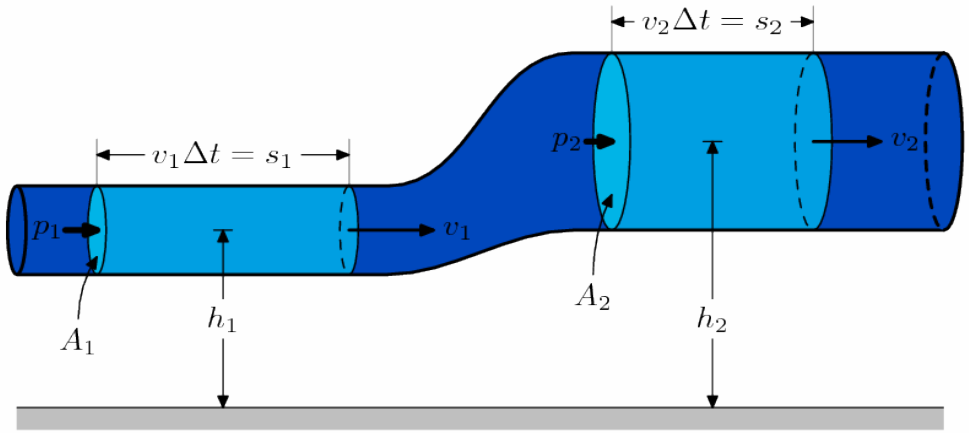
Em Δt uma qtde V do líquido atravessa A_1. Se a velocidade do fluido é v_1,

$$V = A_1 v_1 \Delta t$$

Dinâmica dos Fluidos
(Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo



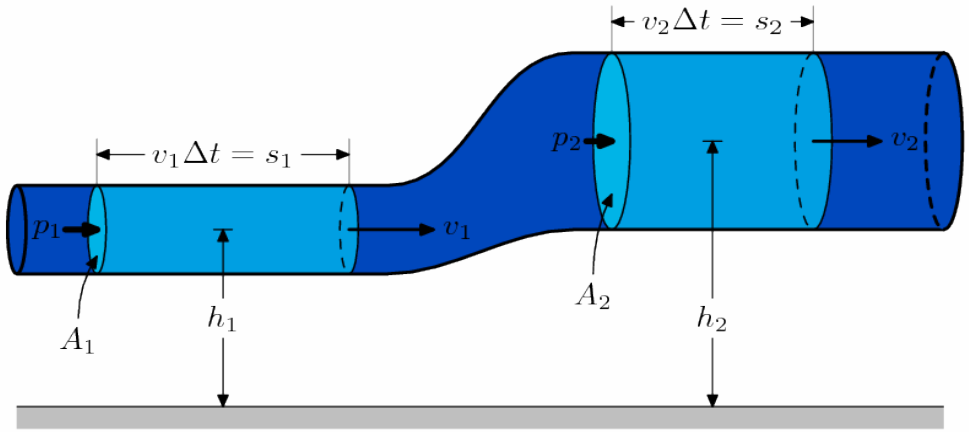
A mesma análise pode ser feita para A_2, de forma que em Δt, uma qtde V do líquido atravessa A_2. Neste caso, a velocidade do fluido é v_2,

$$V = A_2 v_2 \Delta t$$

Dinâmica dos Fluidos
(Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

Como o fluido não é criado e nem destruído entre A_1 e A_2,



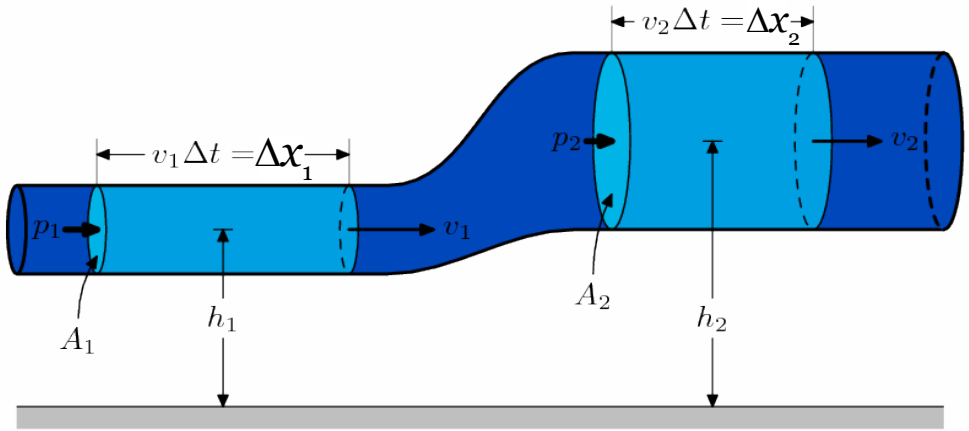
$$V_1 = V_2 \mapsto A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

$$\boxed{A_1 v_1 = A_2 v_2}$$ = Q (vazão) [m³/s]

Dinâmica dos Fluidos
(Fluidos em movimento)

Equação de Bernoulli

Consideremos novamente o mesmo tubo de fluxo

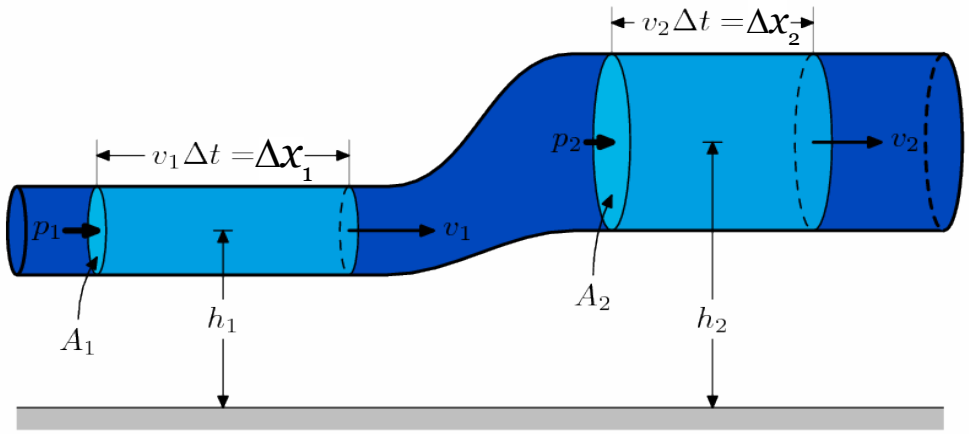


→ Força de pressão circundante atua sobre o fluido que se move!

Força F_1 atua no sentido do movimento e F_2 no sentido contrário, enquanto o líquido, compreendido entre A_1 e A_2, se move para $A_1+\Delta x_1$ e $A_2+\Delta x_2$.

Equação de Bernoulli

Considerando o trabalho realizado no deslocamento do fluido

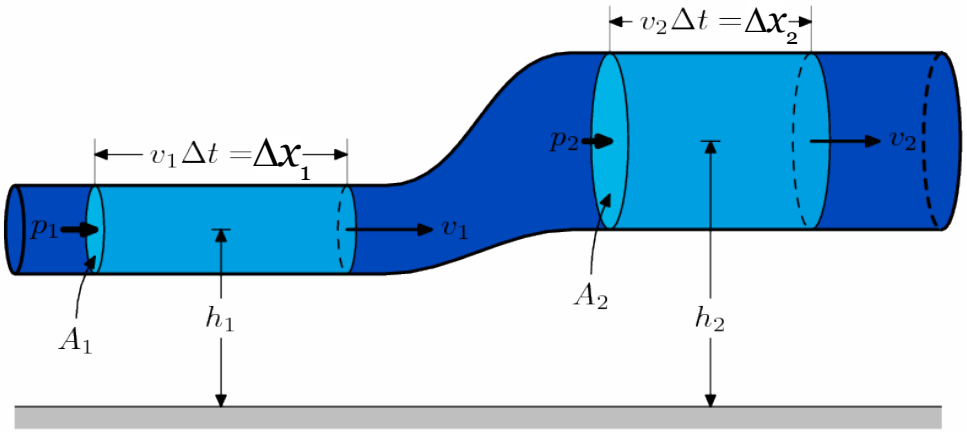


$$W^{lateral} = 0$$

$$W_1 = \cdot \ F_1 \Delta x_1 = \cdot \ P_1 A_1 \Delta x_1 = \cdot \ P_1 V \Leftrightarrow F_1 \parallel \Delta x_1$$

$$W_2 = -F_2 \Delta x_2 = -P_2 A_2 \Delta x_2 = -P_2 V \Leftrightarrow F_2 \parallel -\Delta x_2$$

Equação de Bernoulli



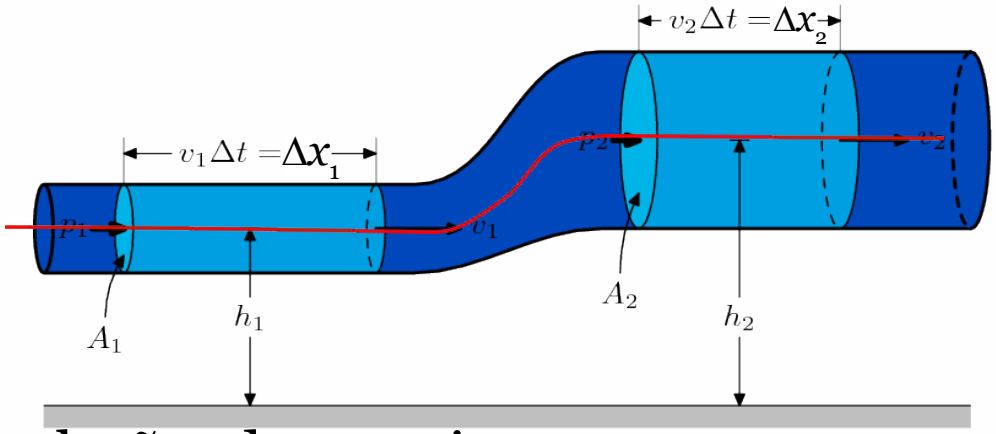
Observando as relações de energia,

$$\Delta E + \Delta U = W^{ext}$$

$$W^{ext} = W_1 + W_2 = P_1V - P_2V$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = P_1V - P_2V$$

Equação de Bernoulli



Observando as relações de energia,

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = P_1V - P_2V$$

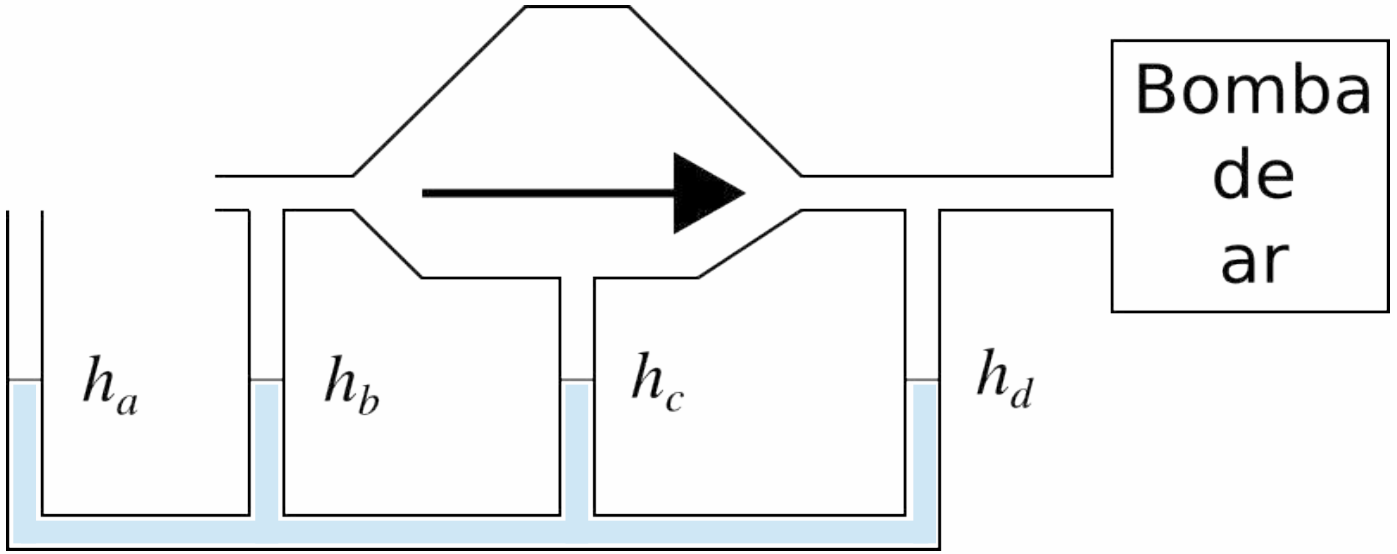
Equação de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

A Equação de Bernoulli relaciona dois pontos na mesma linha de fluxo.

Teste Conceitual 4

Qual a sequência correta entre as alturas $h_a - h_d$.



(A) $h_a < h_c < h_b < h_d$

(B) $h_a > h_c > h_b > h_d$

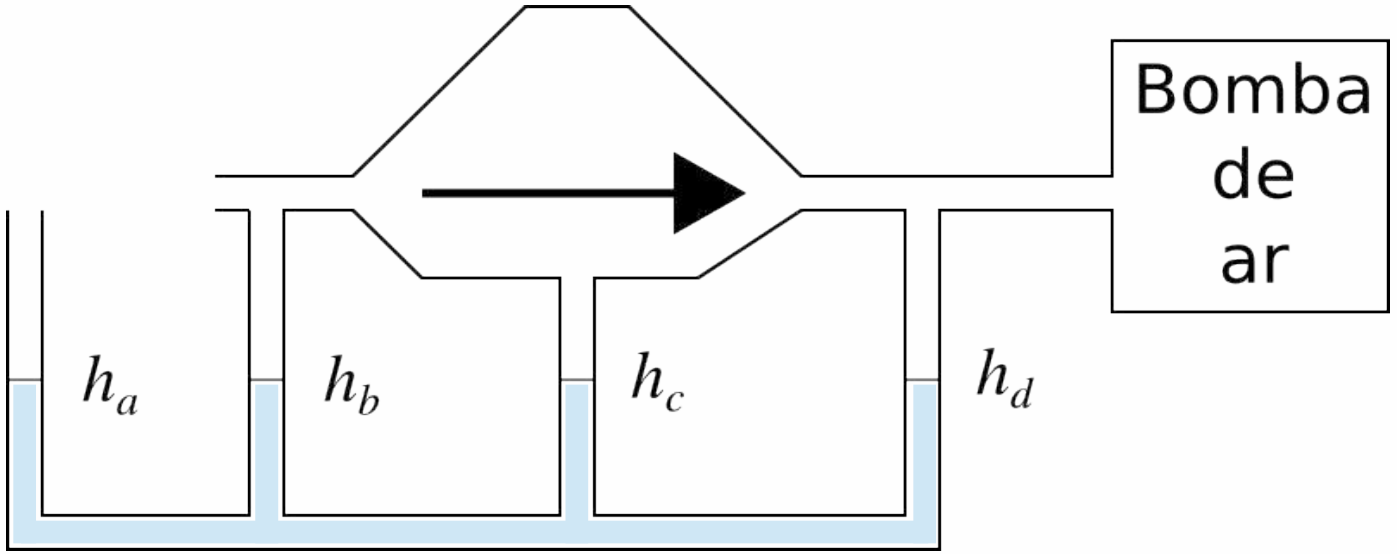
(C) $h_a > h_c > h_b = h_d$

(D) $h_a < h_c < h_b = h_d$

Teste Conceitual 4b

Invertendo o sentido do fluxo

Qual a sequência correta entre as alturas $h_a - h_d$.



(A) $h_a < h_c < h_b < h_d$

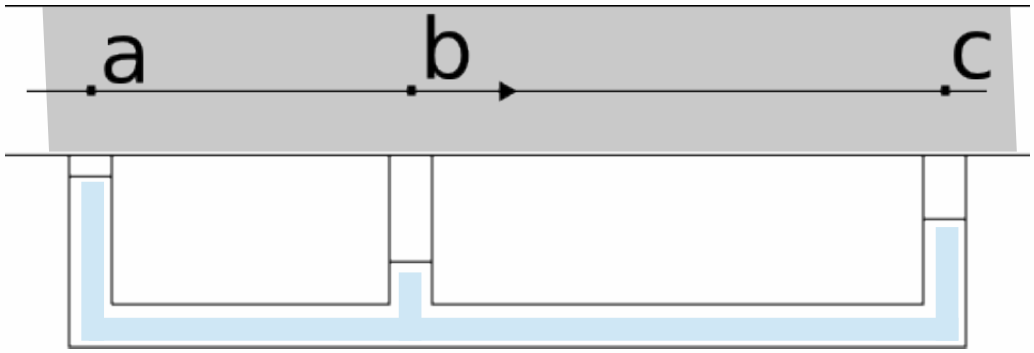
(B) $h_a > h_c > h_b > h_d$

(C) $h_a > h_c > h_b = h_d$

(D) $h_a < h_c < h_b = h_d$

Teste Conceitual 5

Gás flui no tubo abaixo. Você não consegue ver os diâmetros nos pontos a, b e c. Qual a sequência correta das velocidades v_a, v_b e v_c?



(A) $v_a < v_b < v_c$

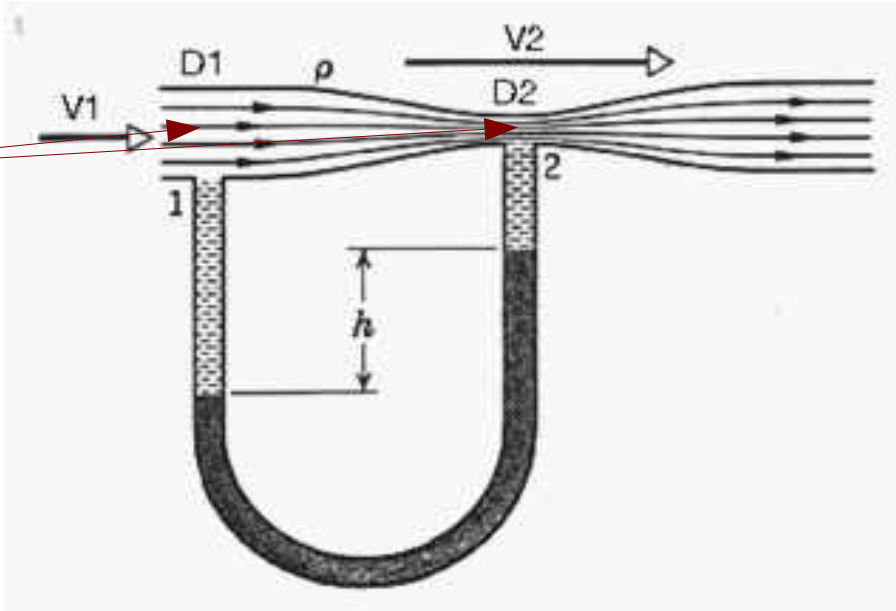
(B) $v_a < v_b > v_c$

(C) $v_a > v_c > v_b$

(D) $v_a < v_c < v_b$

Aplicação: Tubo de Venturi
(medida da velocidade de gases)

ΔP

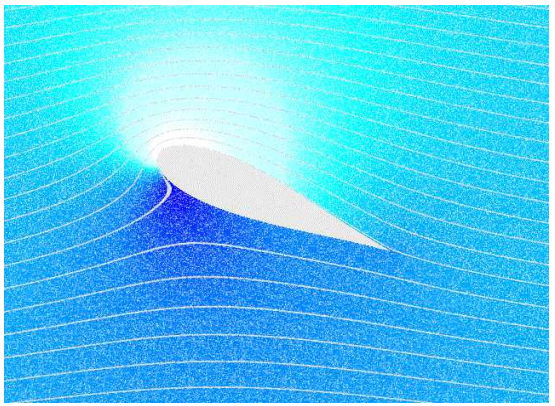


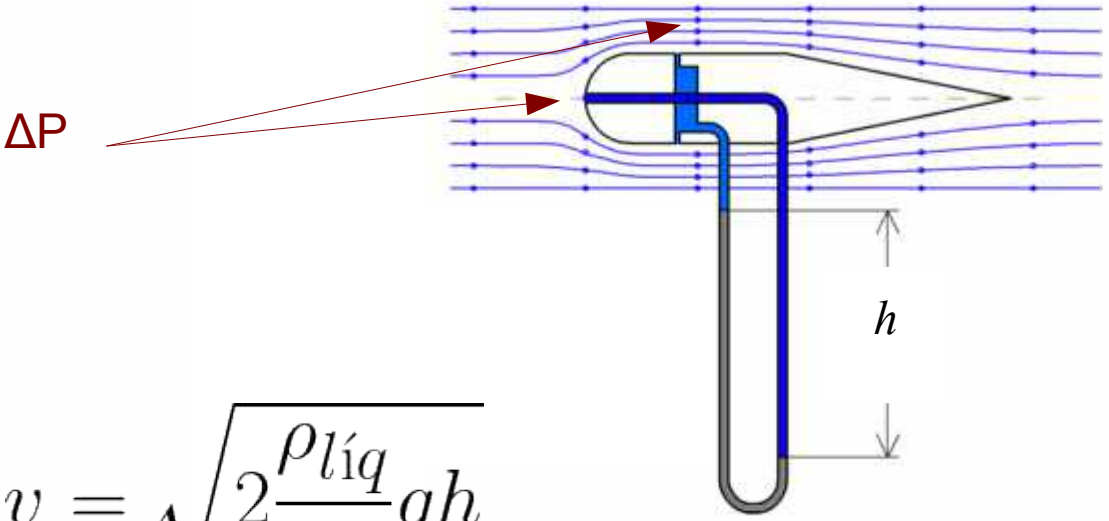
$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho_{liq} g h}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Teste conceitual

- **Uma partícula é carregada por um líquido, acompanhando o seu movimento ao longo da linha de fluxo. Se o fluxo é estacionário, a velocidade da partícula muda ao longo do tempo ou é necessariamente constante? Justifique**
- a)É necessariamente constante se a seção do tubo se manter constante. Estando a partícula numa mesma linha de fluxo é então respeitado a equação da continuidade e assim é possível afirmar que a velocidade é constante, sendo que a área do tudo NÃO SE ALTERA..
- b) A velocidade do fluido em cada ponto do mesmo é constante, ou seja, não flutua e nem se altera com o decorrer do tempo. Sob tais condições, o fluxo é chamado de fluxo laminar.
- c) A velocidade e a pressão num determinado ponto, não variam com o tempo, pois o fluxo é estável. Essas variáveis podem mudar de um ponto para outro do fluxo, mas se mantêm constantes em cada ponto imóvel do espaço, em qualquer momento do tempo.
- d)A velocidade da partícula muda ao longo do tempo, mas como o fluxo, ao longo de um tubo de fluxo, é constante, a variação acontece de acordo com a variação da área desse tubo de fluxo de maneira inversamente proporcional, bem como a equação da continuidade descreve.

Aplicação: Tubo de Pitot
(medida da velocidade de fluidos)

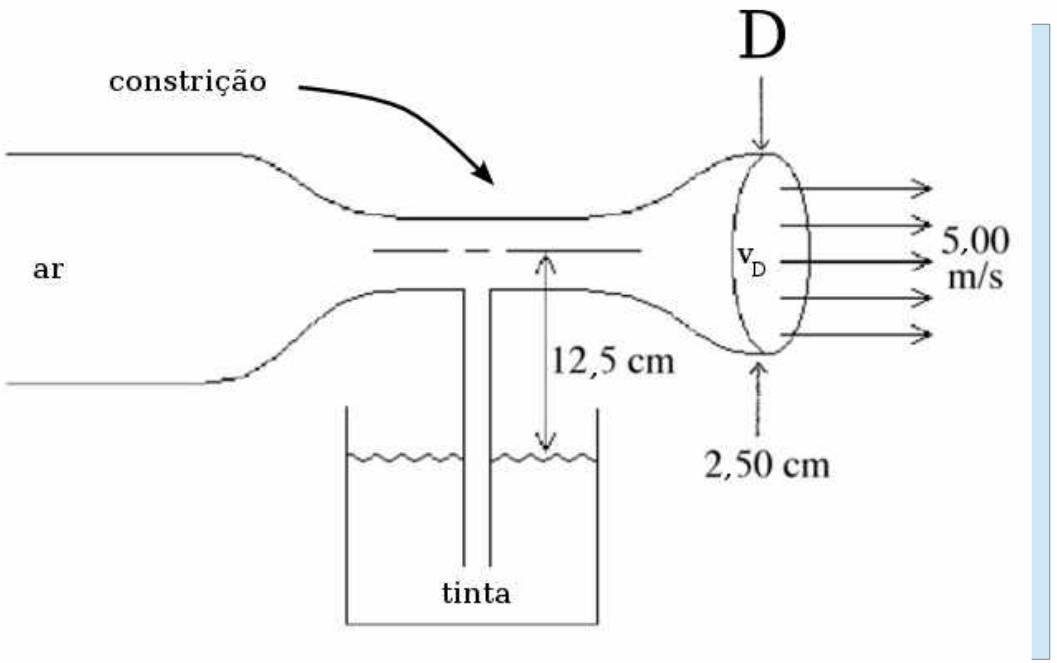




$$v = \sqrt{2\frac{\rho_{líq}}{\rho_{ar}}gh}$$

Problema: O desenho abaixo ilustra o esquema de funcionamento de uma lata de ¨spray¨. O ar flui através do tubo que possui uma constrição que é conectada perpendicularmente (como ilustrado na figura) em outro tubo parcialmente inserido na tinta. A tinta fica contida num reservatório aberto.

→ Na figura: D=2,50cm; ρ_{ar}=1,29 kg/m^3; ρ_{tinta}=1200 kg/m^3 e v_{arD}=5,0m/s.



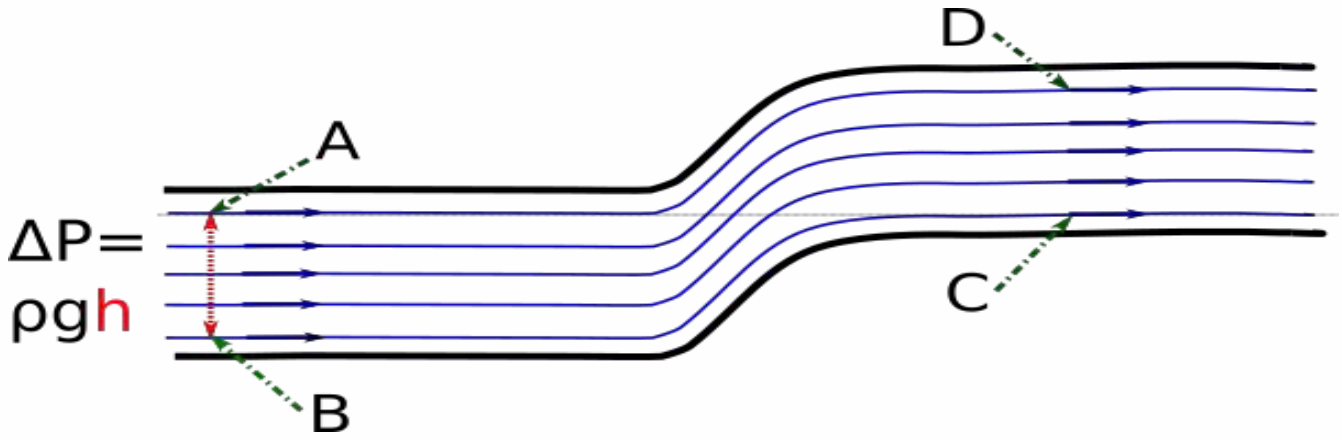
Para o lar

1- Por que a tinta sobe através do tubo? Explique à luz da Eq. de Bernoulli

2- Qual é o diâmetro mínimo da constrição para que a tinta seja ejetada pelo tubo?

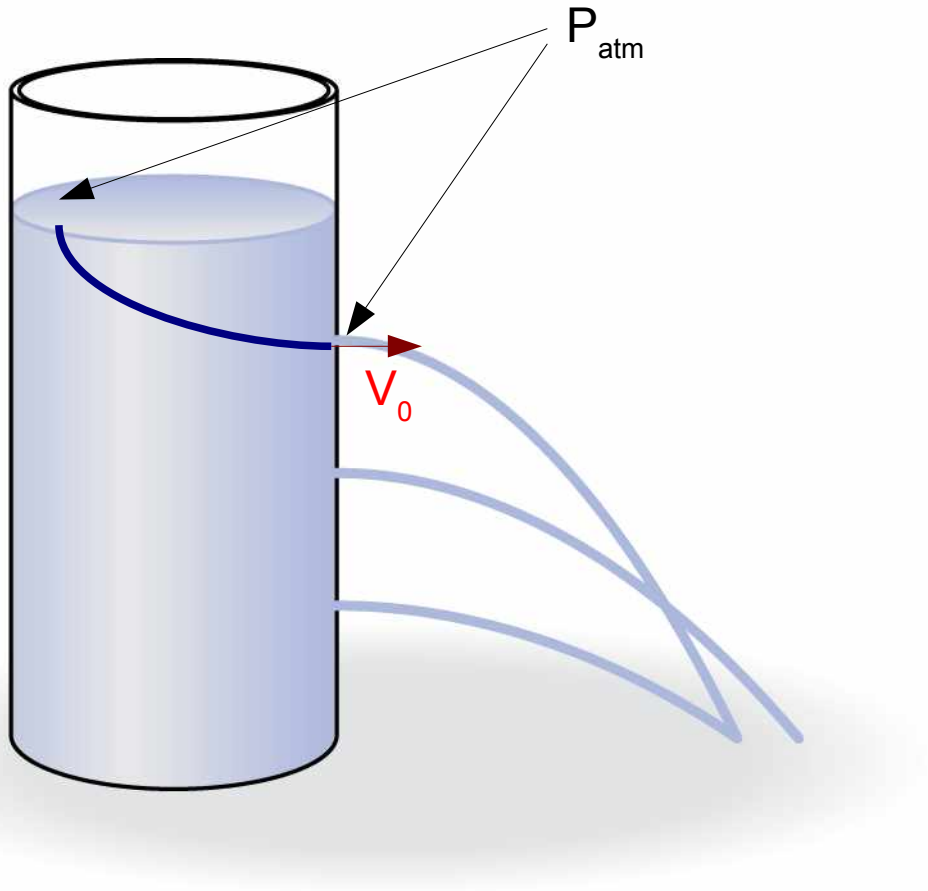
Lembrete: Quando Bernoulli é aplicável?

- Somente se pode aplicar Bernoulli ao longo de linhas de fluxo (de um mesmo fluido):



- A-D e B-C:Bernoulli. A-B e C-D: Stevin.

Velocidade de escape por furo pequeno

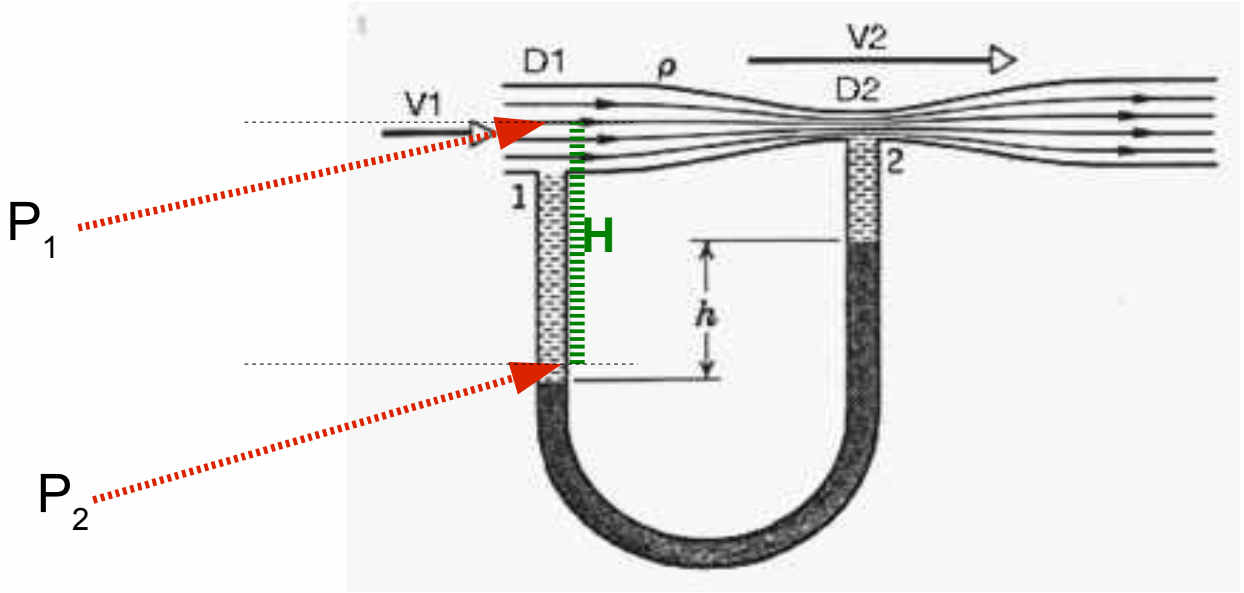


Teste conceitual

A diferença de pessão no gás, P_2-P_1, vale

a) $\rho g\mathbf{H}+(1/2)\rho(v_1)^2$, devido a Bernoulli. b) $\rho g\mathbf{H}$, devido a de Bernoulli.

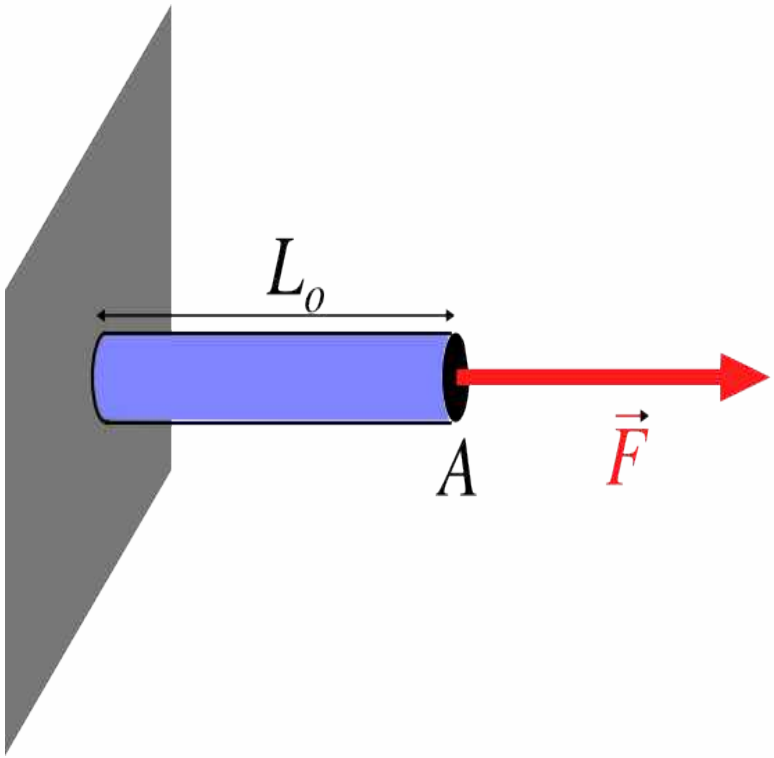
c) $\rho g\mathbf{H}+(1/2)\rho(v_1)^2$, devido a Stevin. d) $\rho g\mathbf{H}$, devido Stevin.

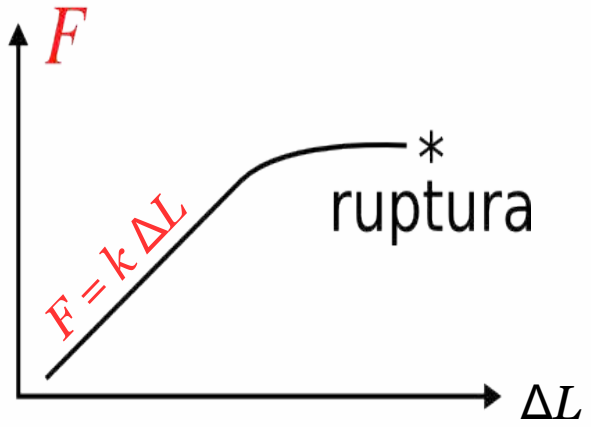


Elasticidade

Elasticidade

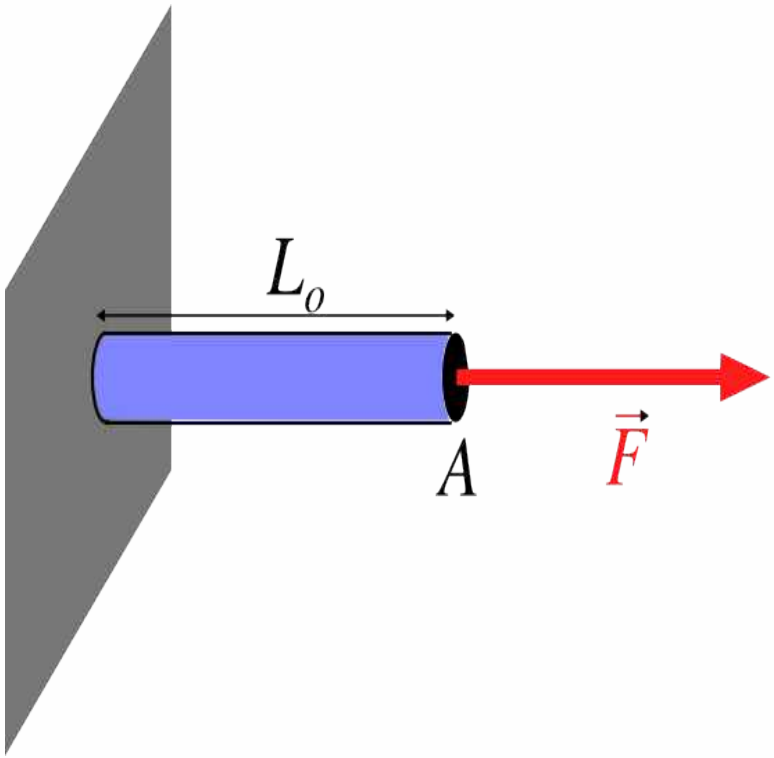
Sólidos

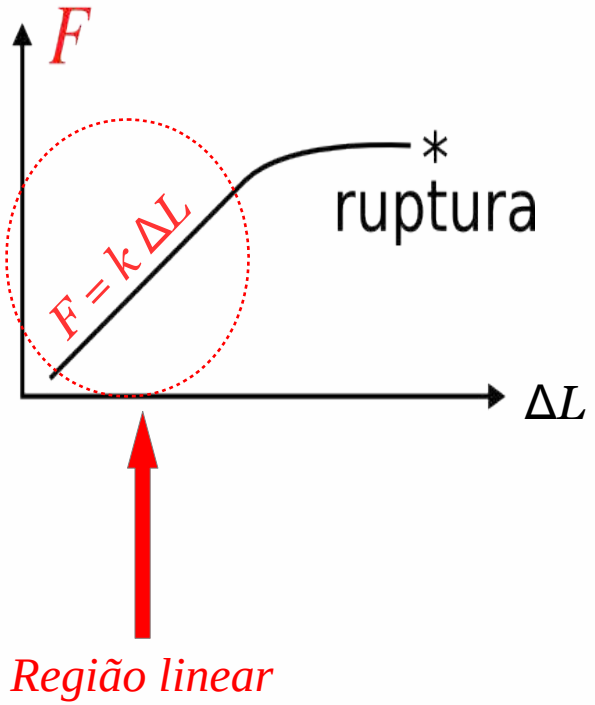




Elasticidade

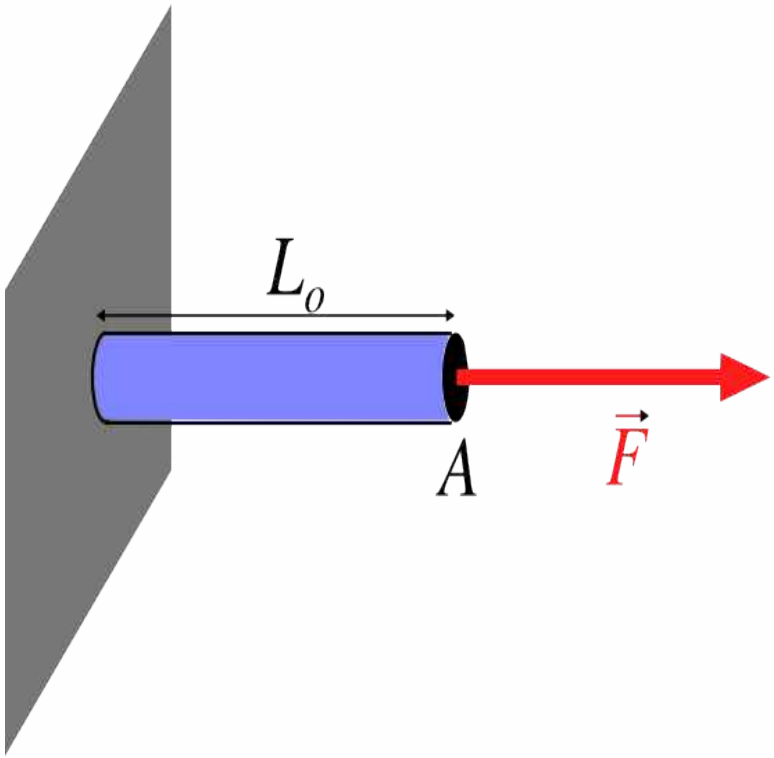
Sólidos

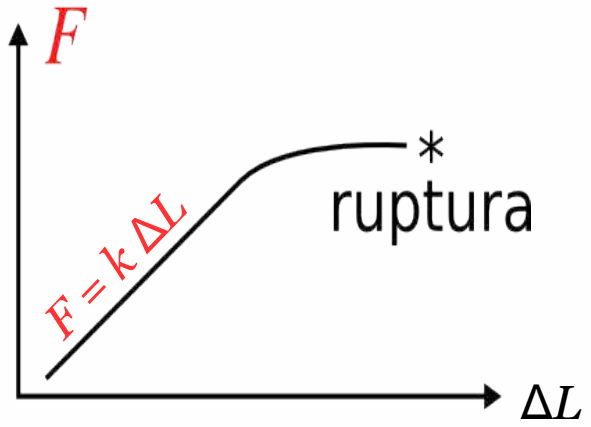




Elasticidade

Sólidos



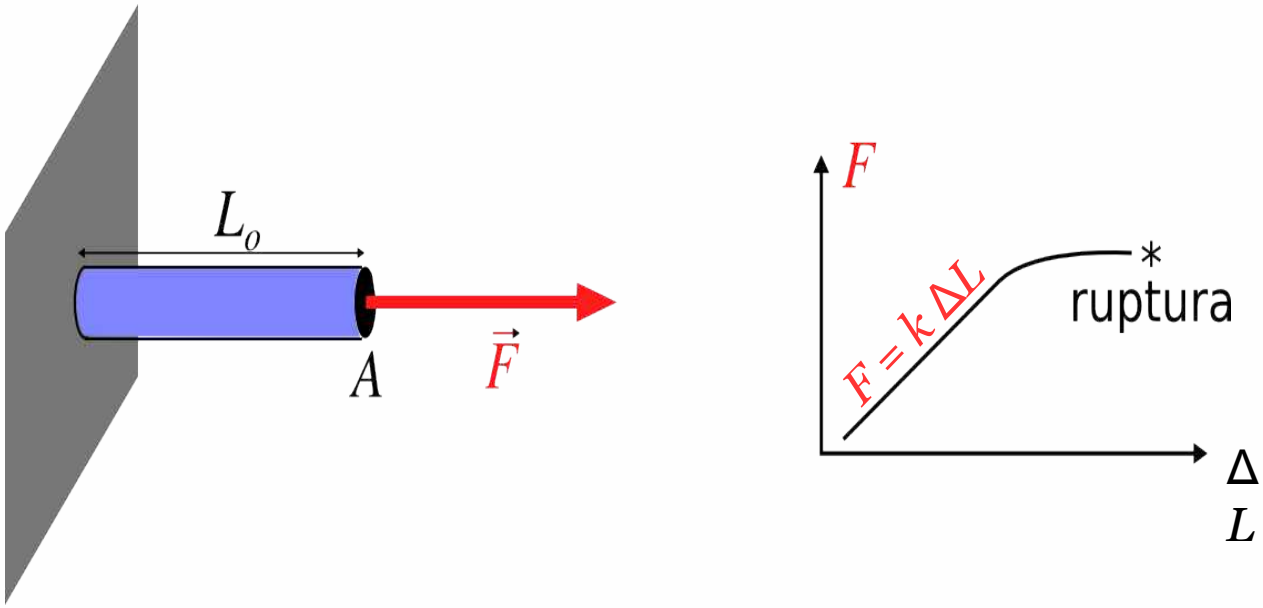


Cada objeto tem um k.

→ k depende de L_o, A e do material

Elasticidade

Sólidos



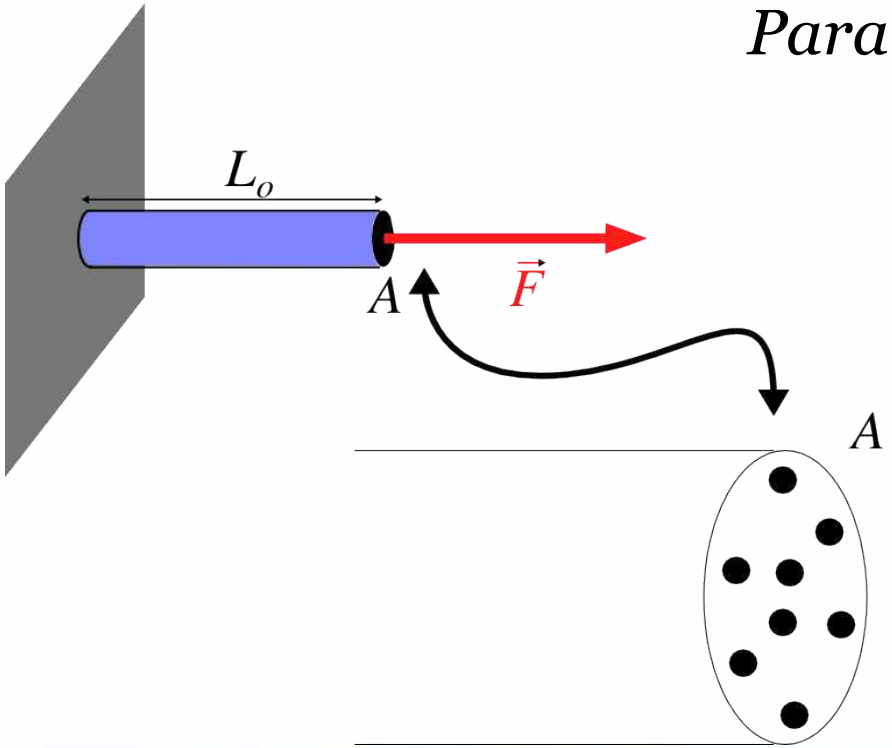
$\rightarrow k$ *depende de* L_o, A *e do material*

Seria bem interessante encontrar uma constante que caracterizasse o material e que não dependesse da geometria do objeto!

Seria bem interessante encontrar uma constante que caracterizasse o material e que não dependesse da geometria do objeto!

A elasticidade de um material está diretamente relacionada com a cte elástica das ligações moleculares.

Modelo:

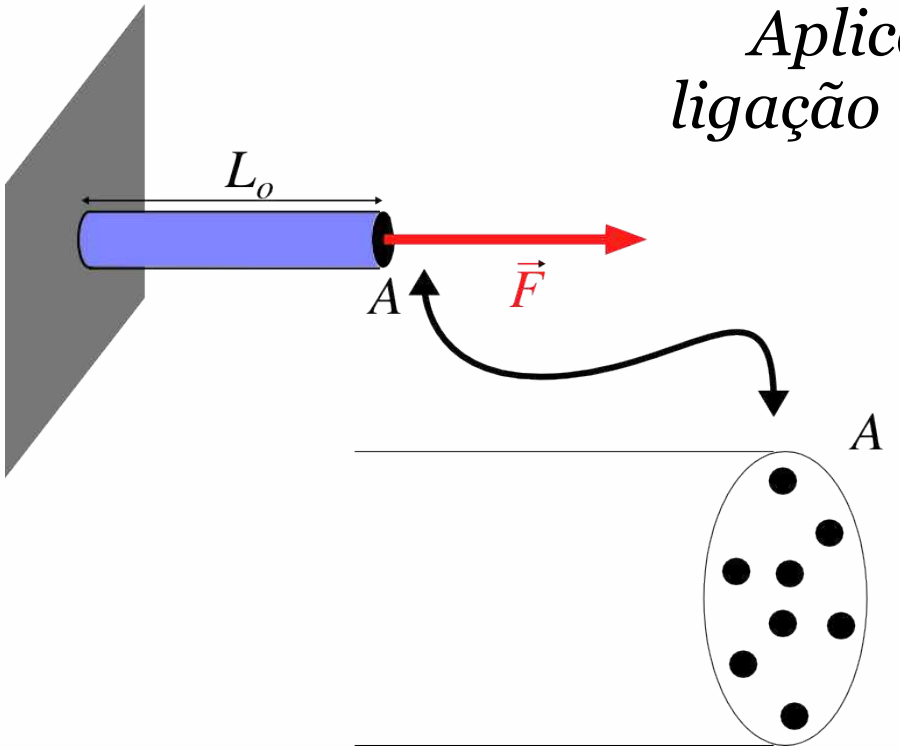


Para cada ligação entre partículas

$$f \propto F/A$$
$$\Delta l \propto \Delta L/L_o$$

Elasticidade

Sólidos



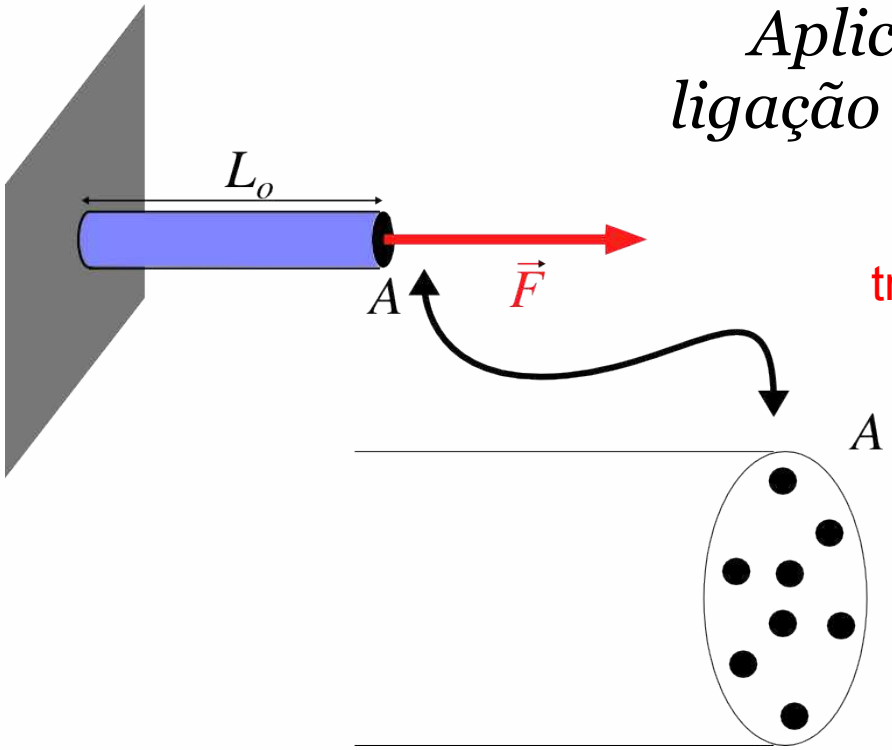
Aplicando a lei de Hooke para cada ligação

$$F/A = Y\ \Delta L/L_o$$

Módulo de Young

Elasticidade

Sólidos



Aplicando a lei de Hooke para cada ligação

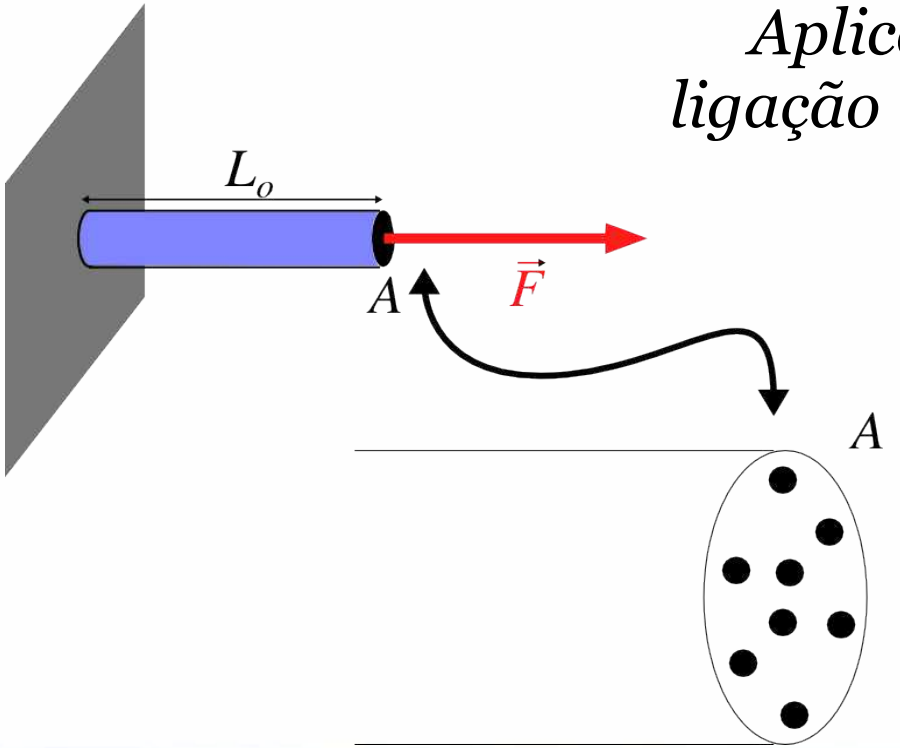
Tensão de tração (N/m^2) $(F/A) = Y\,(\Delta L/L_o)$ Deformação

Módulo de Young

Elasticidade

Sólidos

Módulo de Young: Uma cte que não depende da geometria do objeto!



Aplicando a lei de Hooke para cada ligação

$$F/A = Y\ \Delta L/L_o$$

Módulo de Young

$$k = AY/L_o \quad \leftrightarrow \quad \mathrm{Y} = \mathrm{kL_o/A}$$

Parâmetros que podem ser medidos no laboratório.

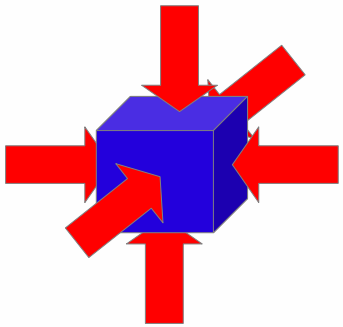
TABELA 15.3 Propriedades elásticas de vários materiais

Substância	Módulo de Young (N/m^2)*
Alumínio	7×10^{10}
Concreto	3×10^{10}
Cobre	11×10^{10}
Mercúrio	–
Plástico (poliestireno)	$0{,}3 \times 10^{10}$
Aço	20×10^{10}
Água	–
Madeira (abeto)	1×10^{10}

Mesma unidade de tensão de tração (N/m^2)

O Módulo de Young caracteriza a resposta da substância ao ser puxado-tracionado em uma direção.

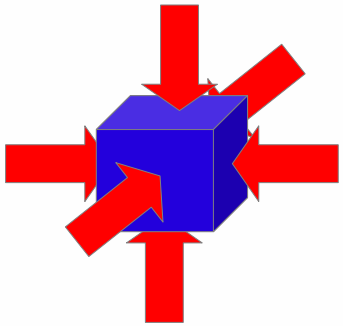
Objetos submersos geralmente estão sujeitos às pressões Em todas as direções:



Neste caso, o objeto é pressionado por todos os lados com a mesma força e a razão

F/A = Pressão

Objetos submersos geralmente estão sujeitos às pressões
Em todas as direções:



Neste caso, o objeto é pressionado por todos os lados com a mesma força e a razão

$$F/A = \text{Pressão} = -B\,\Delta V/V_0$$

B = Módulo de elasticidade Volumétrica

TABELA 15.3 Propriedades elásticas de vários materiais

Substância	Módulo de Young (N/m^2)*	Módulo de elasticidade volumétrica (N/m^2)*
Alumínio	7×10^{10}	7×10^{10}
Concreto	3×10^{10}	–
Cobre	11×10^{10}	14×10^{10}
Mercúrio	–	3×10^{10}
Plástico (poliestireno)	$0{,}3 \times 10^{10}$	–
Aço	20×10^{10}	16×10^{10}
Água	–	$0{,}2 \times 10^{10}$
Madeira (abeto)	1×10^{10}	–

Mesma unidade de tensão de tração (N/m^2)

Problema:

A) No oceano, qual é a pressão a uma profundidade de 5000m?

B) Qual a variação relativa de volume?

C) Qual a densidade da água do mar a essa pressão?

Suponha $g=9,8m/s^2$ e $\rho_{mar}=1030Kg/m^3$