



INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal Fluminense

Física III

(2/ 2017)

Fluidos, Termodinâmica, Ondas e Ótica

Instrutor: Prof^a. Daniele Freitas

danielecsf@id.uff.br

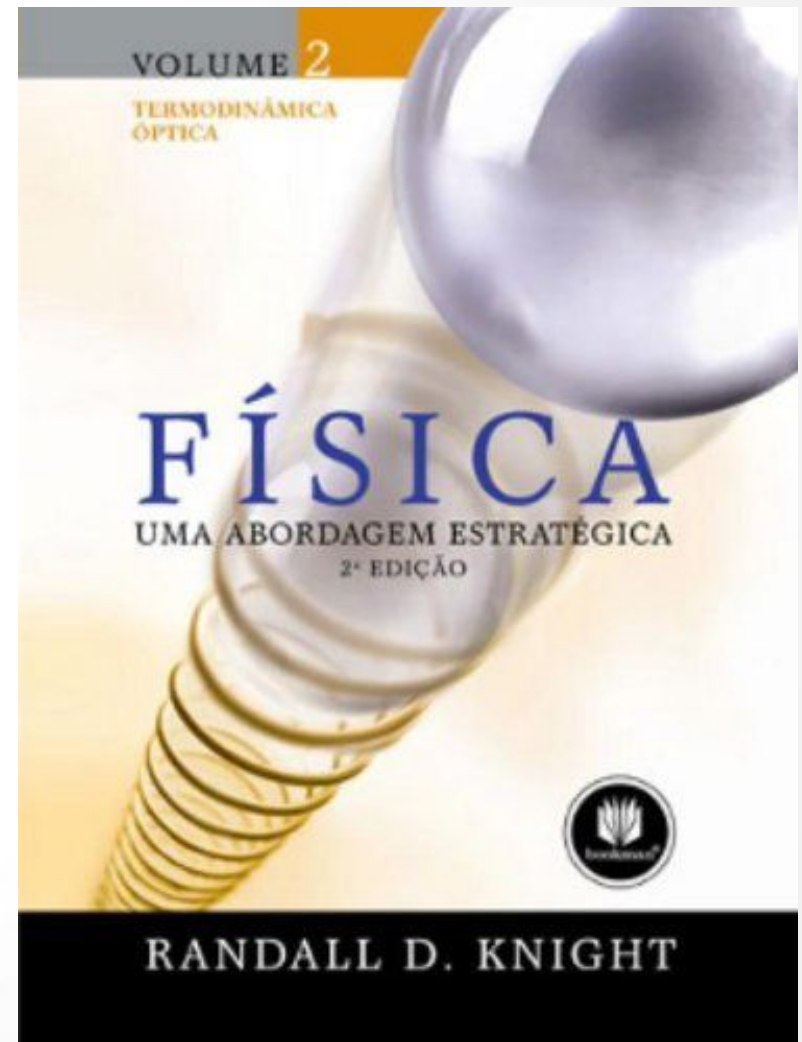
A1-11

Site do curso: <https://cursos.if.uff.br/!fisica3-0217>

Livro-texto recomendado

“Física, uma abordagem estratégica”, vol. 2
Randall L. Knight

Caps. 15 – 22



Calendário – 1sem17 – (4as/6as)

	Seg.	Ter.	Qua.	Qui	Sex	Sab.			Tópicos
Agosto				17	18				
	21	22	23	24	25				
	28	29	30	31	1				P1
Setembro	4	5	6	Feriado 7	recesso 8				15- Fluidos e Elasticidade
	11	12	13	14	15				16- Descrição Macroscópica da Matér
	18	19	20	21	22	P1 23			17- 1a Lei da Termodinâmica
	25	26	27	28	29				Revisão
Outubro	2	3	4	5	6				
	9	10	11	Feriado 12	recesso 13				P2
	16	17	18	19	20	P2 21			18- Conexão micro/macro
sem. academica	23	24	25	26	27	28			19- Máquinas Térmicas
Novembro	30	31	1	Feriado 2	Recesso	recesso 4			Revisão
	6	7	8	9	10				
	13	14	Feriado 15	16	17				P3
	Feriado 20	21	Feriado 22	23	24				20- Ondas I
	27	28	29	29	30				21- Ondas II - Superposição
Dezembro	4	5	6	7	8	P3 9			22- Óptica Ondulatória
	VR 11	12	13	14	15	VS 16			Revisão
	18	19	20	21	fim 22				
MT1	06/09	cap 15							
MT2	22/9	cap 16 e 17							
MT3	11/10	cap 18							
MT4	20/10	cap 19							
MT5	10/11	cap 20							
MT6	29/11	cap 21							
MT7	8/12	cap 22							

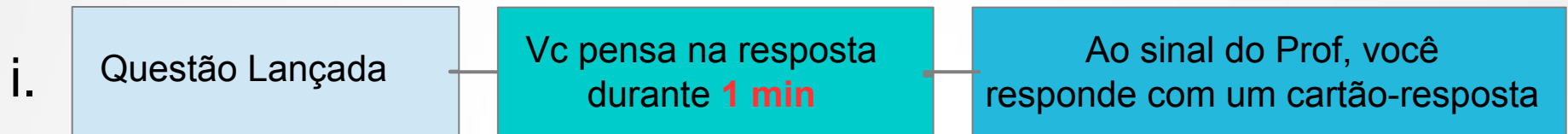
Avaliação

Provas (3): múltipla escolha

MiniTestes : 1Q discursiva da lista

$$\begin{aligned} \text{Nota final} = & \text{(Média 3 Provas)} \times 80\% \\ & + \text{(Média MiniTestes)} \times 20\% \end{aligned}$$

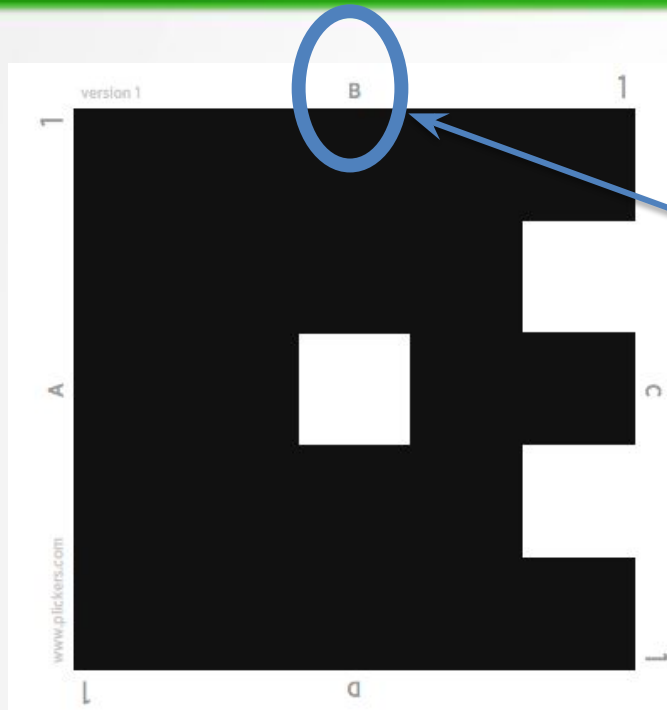
Teste conceitual: como funciona



- Se $> \sim 70\%$ da turma acertar, o prof. segue com a matéria.
 - Se $< \sim 30\%$ da turma acertar, o prof. reexplica o conteúdo e refazemos a questão.
- ii. Se **30-70%** da turma acertar, você discute com um colega, cada um tentando convencer o outro de que a sua resposta é a correta
- iii. Fazemos uma segunda votação e vemos como as opiniões mudaram (ou não). Independente do resultado, o professor explica a questão.

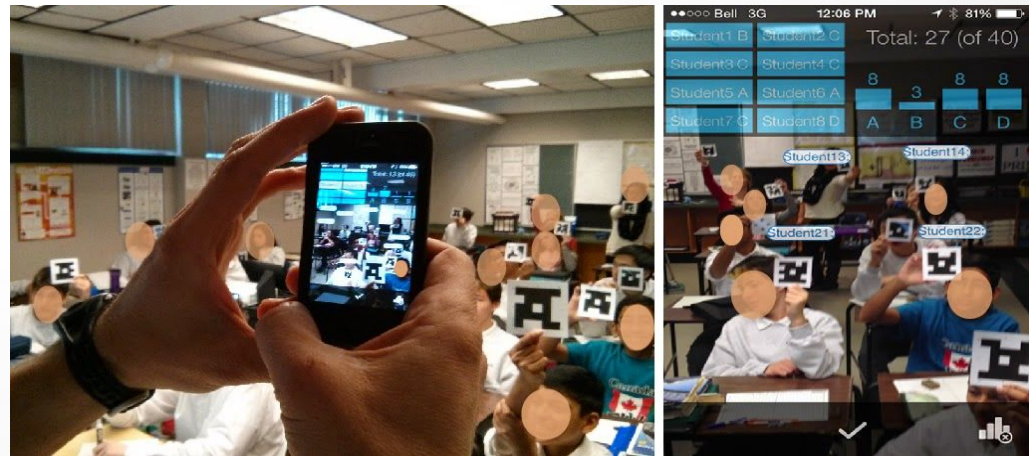
Parte da metodologia **peer instruction** (*instrução pelos colegas*):
Metodologia desenvolvida originalmente em Princeton (EUA), com comprovado resultado na melhora da absorção de conteúdo de física universitária.

Teste Conceitual: tecnologia



- 64 cartões, todos diferentes
- Resposta levantando o cartão com sua resposta virada pra cima
- Letras pequenas de propósito (p/ seu colega não ver sua resposta!)

Eu escaneio a turma usando um aplicativo no celular



Parte I – Fluidos e Elasticidade

(slides baseados parcialmente em material dos profs. Carlos Eduardo R. de Sousa e Daniel Jonathan)

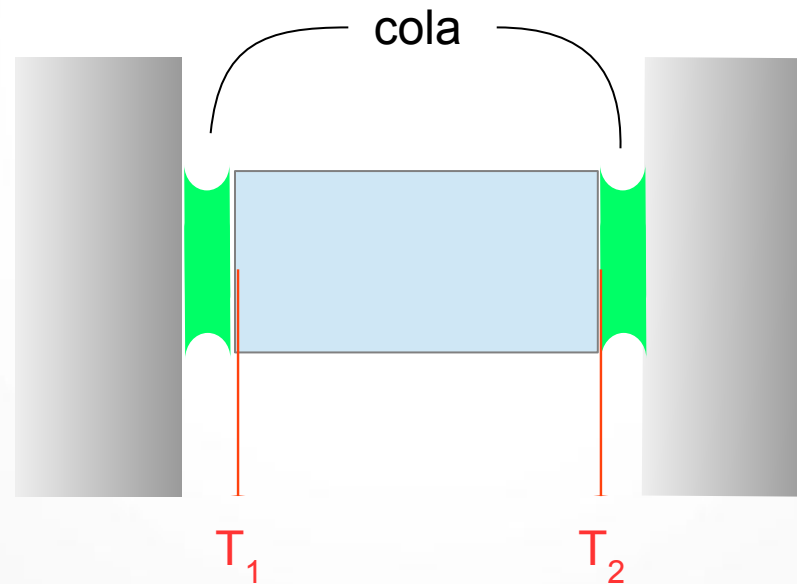
Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.



P: O que diferencia um sólido de um fluido?

Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

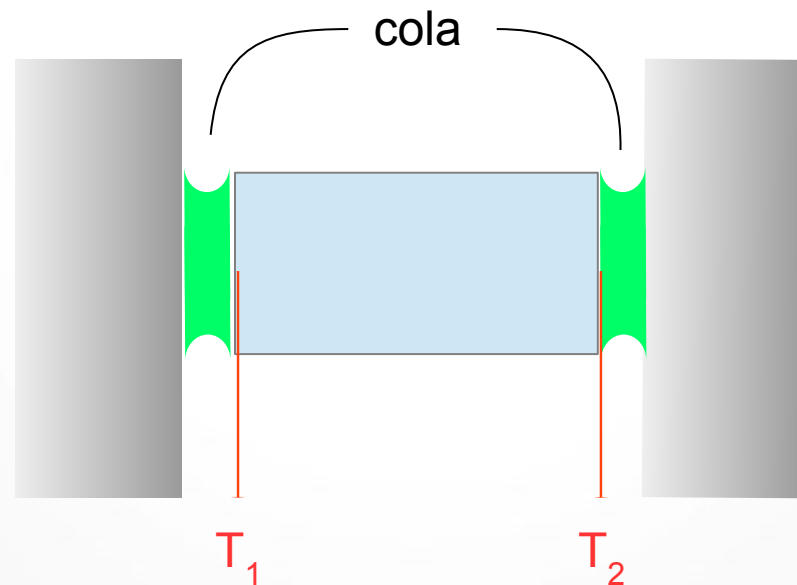
R: A diferença fundamental entre sólidos e líquidos está na forma de responder a forças (**tensões**) tangenciais à superfície



T = tensão superficial
(cisalhamento)

Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

Se a cola não estiver seca, a tensão superficial provoca deslizamento de camadas adjacentes da cola, o que leva à descida do bloco.

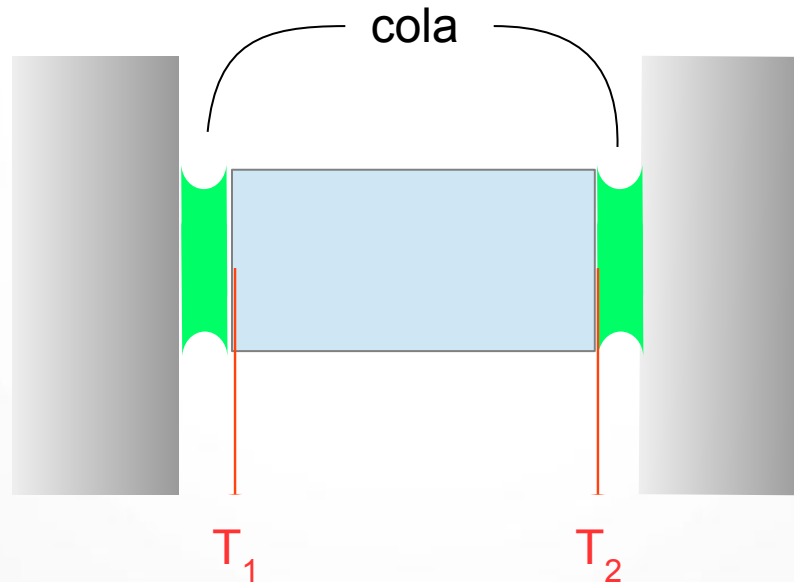


T = tensão superficial
(cisalhamento)

Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

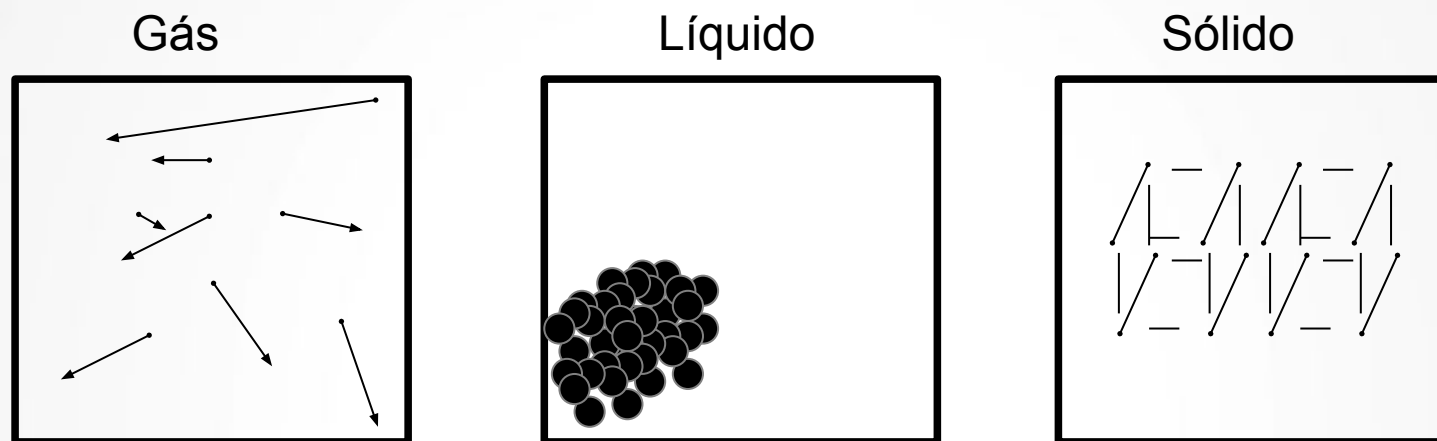
Sólido → se deforma até o equilíbrio quando sujeito a uma tensão superficial tangencial.

Fluido → não equilibra nenhuma tensão superficial tangencial, ele flui.



T = tensão superficial
(cisalhamento)

Origem das diferenças macroscópicas: propriedades dos constituintes microscópicos da matéria



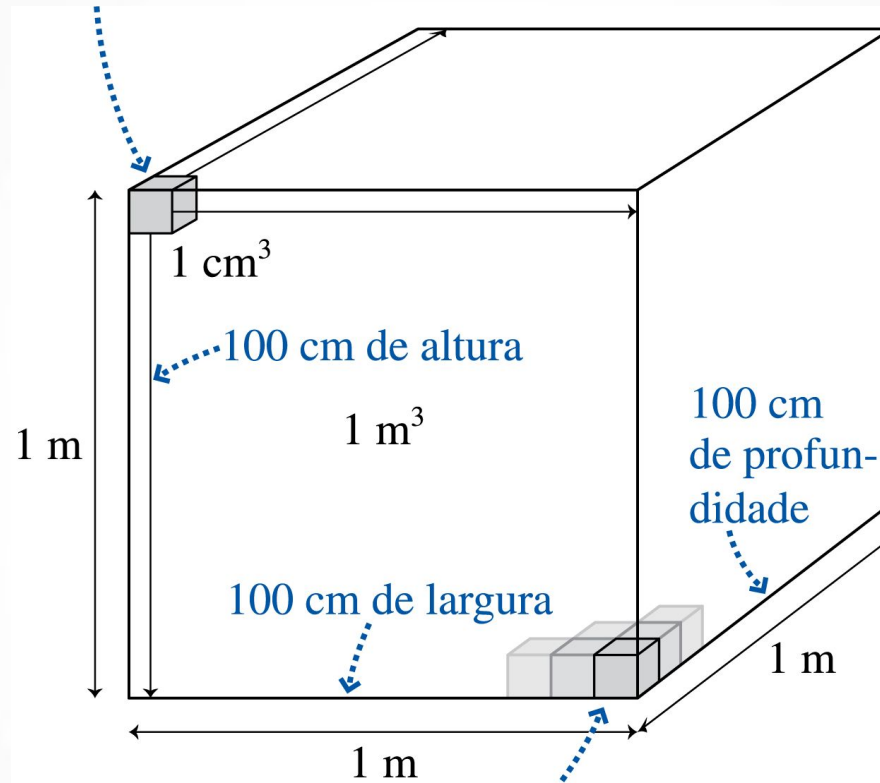
Gás: partículas espaçadas, interagem apenas durante colisões
– é um fluido *compressível*.

Líquido: partículas ligadas fracamente umas às outras, sem deixar espaços significativos entre elas – podem fluir, mas não podem se aproximar mais – é um fluido (aprox.) *incompressível*

Sólido: partículas ligadas fortemente umas às outras, formando uma estrutura rígida - não fluem

Grandezas relevantes

Volume \equiv espaço ocupado $\rightarrow [m^3]$



$$1m^3 = 1m \times 1m \times 1m = 100cm \times 100cm \times 100cm = 10^6 cm^3$$

$$1L = 10cm \times 10cm \times 10cm = 10^3 cm^3 = 10^{-3} m^3$$

$$1mL = 1cm^3$$

Grandezas relevantes

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

TABELA 15.1 Densidades de fluidos em condições padrão de temperatura (0 °C) e pressão (1 atm)

Substância	ρ (kg/m ³)
Ar	1,28
Álcool etílico	790
Gasolina	680
Glicerina	1.260
Hélio gasoso	0,18
Mercúrio	13.600
Óleo (comum)	900
Água do mar	1.030
Água	1.000

querosene
álcool
óleo vegetal
água
detergente
leite
xarope de maple
xarope de milho
mel



← bolinha de pingue-pongue
← tampa plástica
← contas
← tomate cereja
← dado
← milho de pipoca
← parafuso

- densidade (média) de um **objeto** = massa **total** / volume **total** do objeto
- densidade de uma **substância** (ou 'massa específica')
= massa/volume de uma porção pequena daquela substância

Grandezas relevantes

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

TABELA 15.1 Densidades de fluidos em condições padrão de temperatura (0 °C) e pressão (1 atm)

Substância	ρ (kg/m ³)
Ar	1,28
Álcool etílico	790
Gasolina	680
Glicerina	1.260
Hélio gasoso	0,18
Mercúrio	13.600
Óleo (comum)	900
Água do mar	1.030
Água	1.000

Teste conceitual 15.1

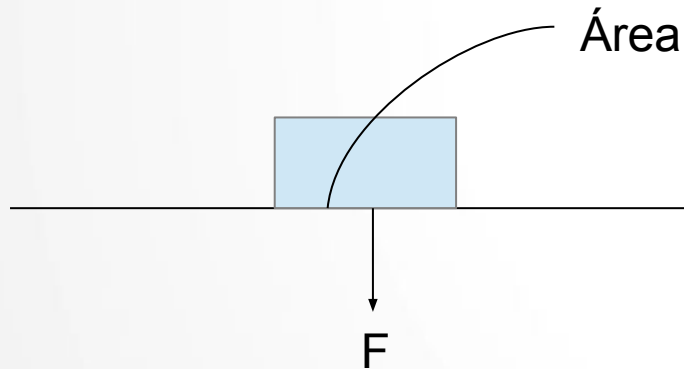
Se um objeto tem densidade igual a **1g/cm³**, ele é

- A) Mais denso que a água
- B) Tão denso como a água
- C) Um pouco menos denso que a água
- D) Muito menos denso que a água

Grandezas relevantes

Pressão

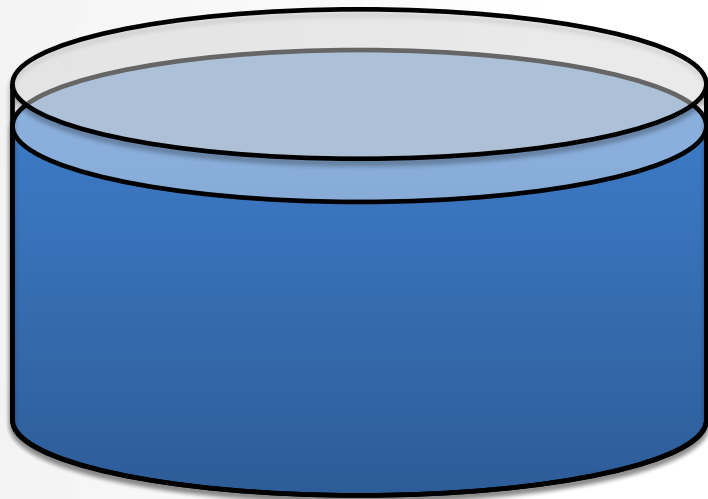
→ Uma grandeza relacionada com a força *perpendicular* a uma superfície.



$$\text{Pressão} \equiv | \text{Força} | / \text{Área}$$

unidade no SI: $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ (pascal)

Teste Conceitual 15.2



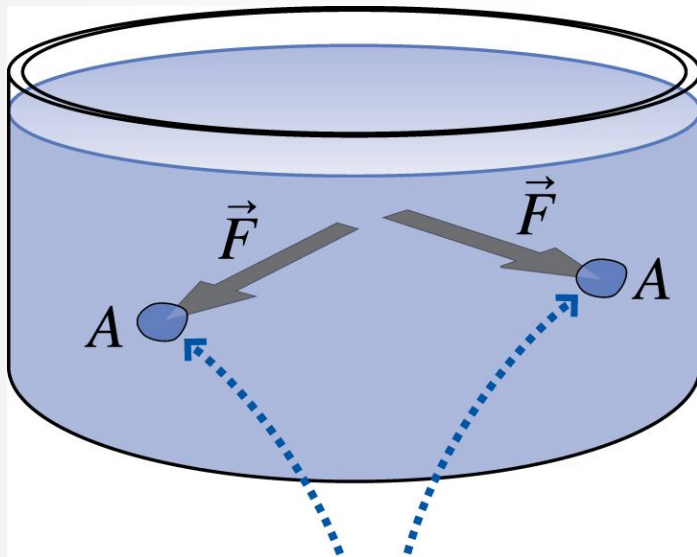
Considere um líquido num recipiente aberto.

Em que região(ões) do líquido existe pressão?

- A) No fundo do recipiente
- B) Nas paredes e no fundo do recipiente
- C) Nas paredes, no fundo e na superfície aberta ao ar
- D) Em todas as suas partes, seja nas superfícies ou no interior do seu volume

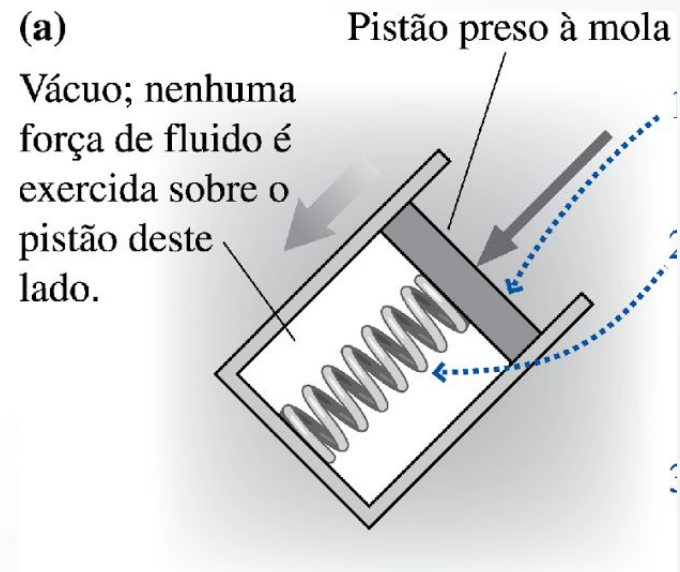
Pressão num fluido

A pressão existe em **todos** os pontos do fluido



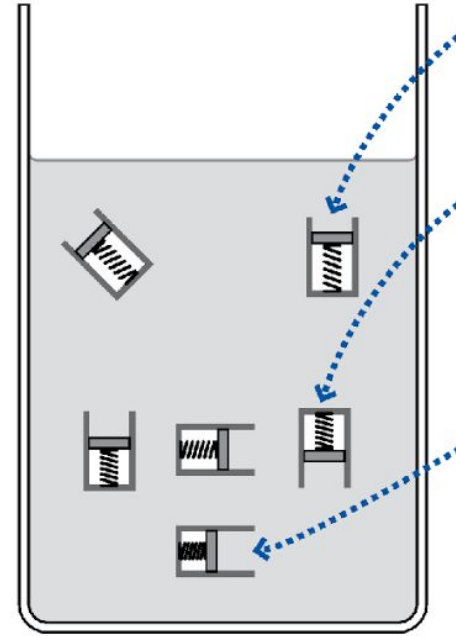
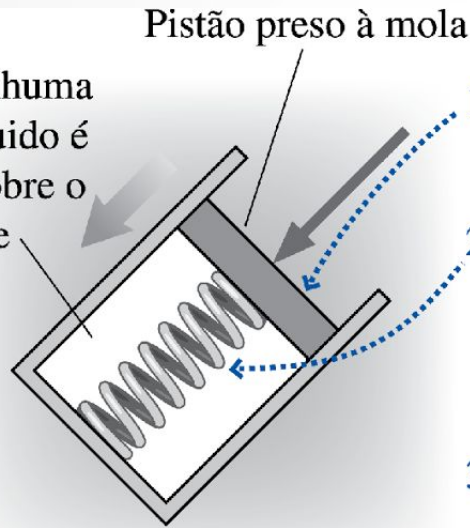
O fluido empurra a área A com força \vec{F} .

Considere um medidor formado por um pequeno pistão preso a uma mola. Quanto maior a pressão, maior a deformação



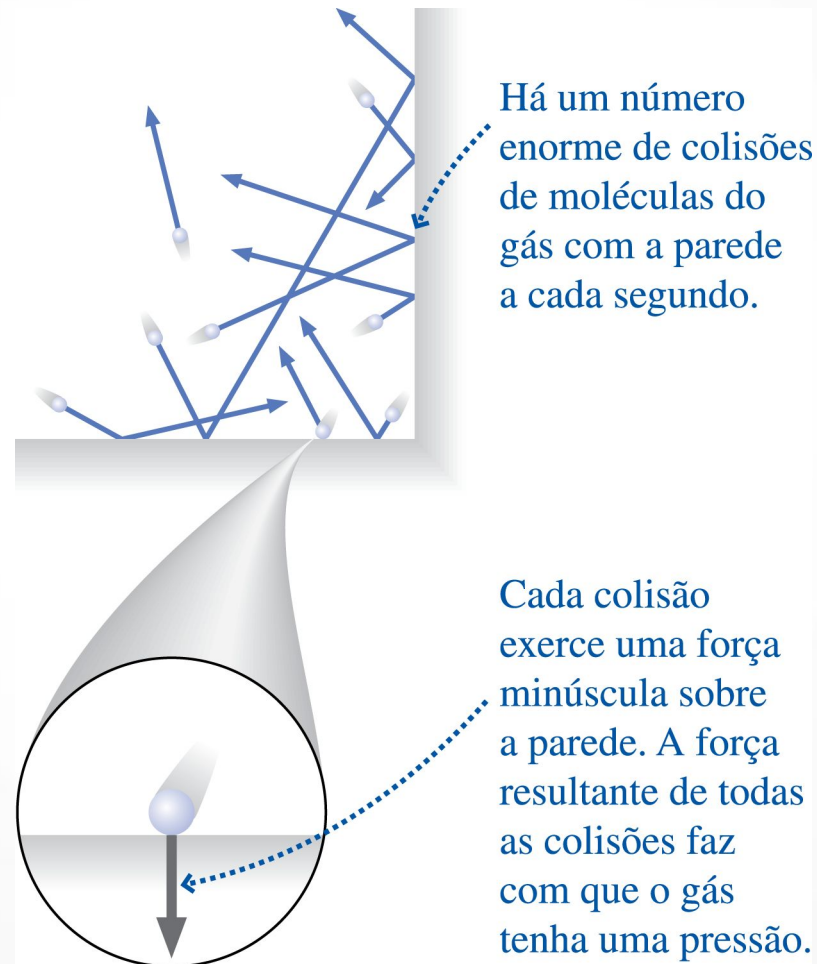
Num dado ponto do fluido, a deformação é a mesma independente da direção que aponta o medidor!

(a)
Vácuo; nenhuma força de fluido é exercida sobre o pistão deste lado.



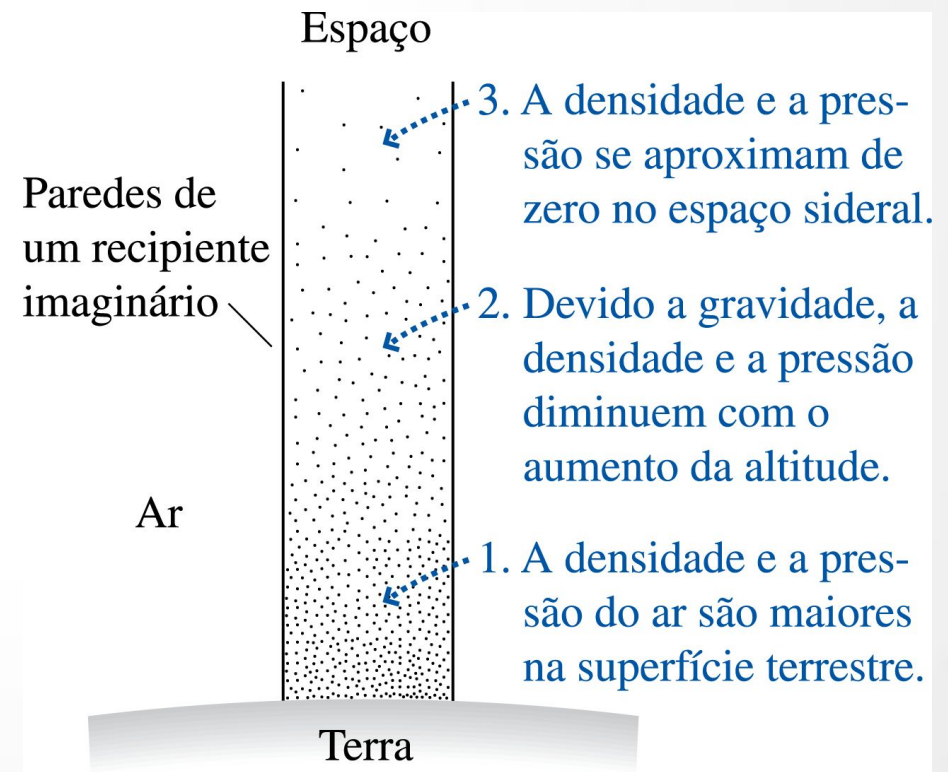
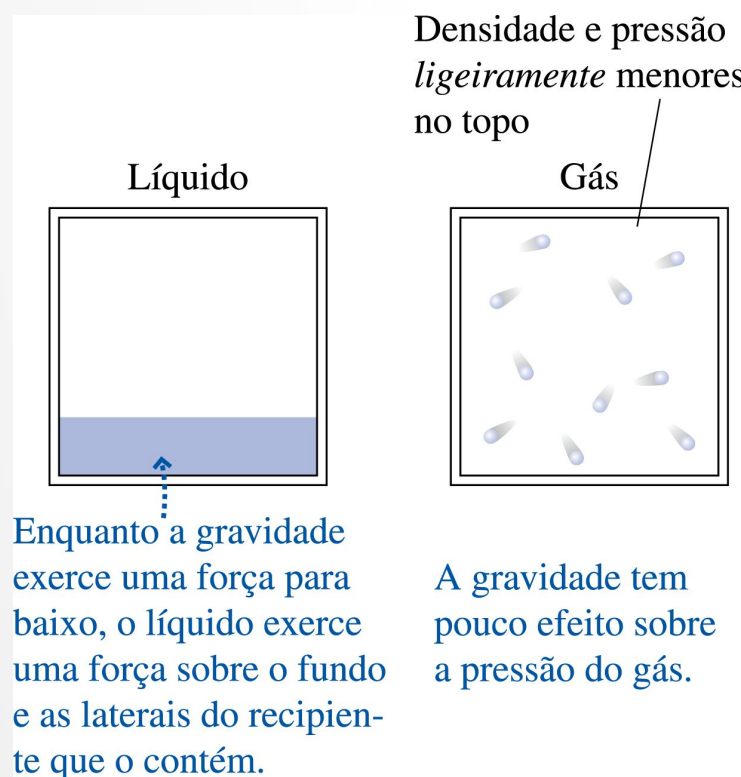
Conclusão: a pressão é uma quantidade escalar (não tem direção ou sentido, como as forças)!

Origem da pressão: colisões das partículas microscópicas do fluido umas com as outras, e com as paredes do recipiente



Duas contribuições para essas colisões:

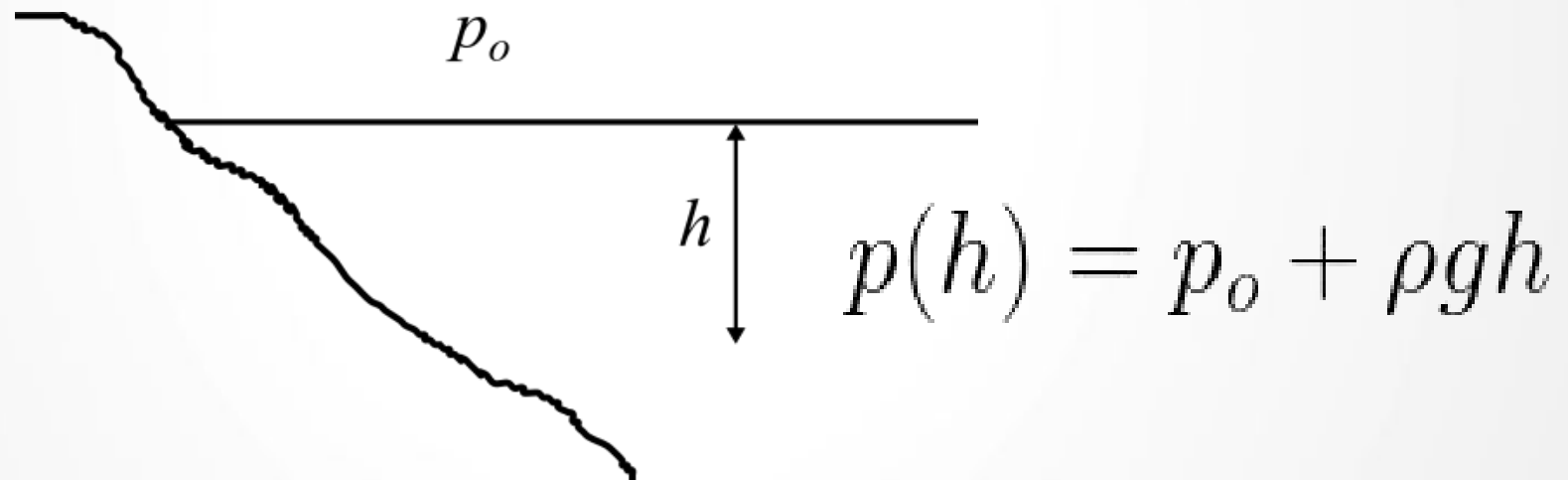
- **Agitação térmica das partículas.**
Relevante em gases, pouco relevante em líquidos
- **A atração gravitacional sobre o fluido.** Relevante em líquidos ou em volumes imensos de gases (ex: a atmosfera inteira). Pouco relevante em pequenos recipientes de gás.



Pressão do ar no nível do mar: 101.300 Pa

Lei de Stevin

Pressão sob a superfície de um fluido ***incompressível*** em ***equilíbrio hidrostático***.
(Ex: líquido parado em um recipiente)

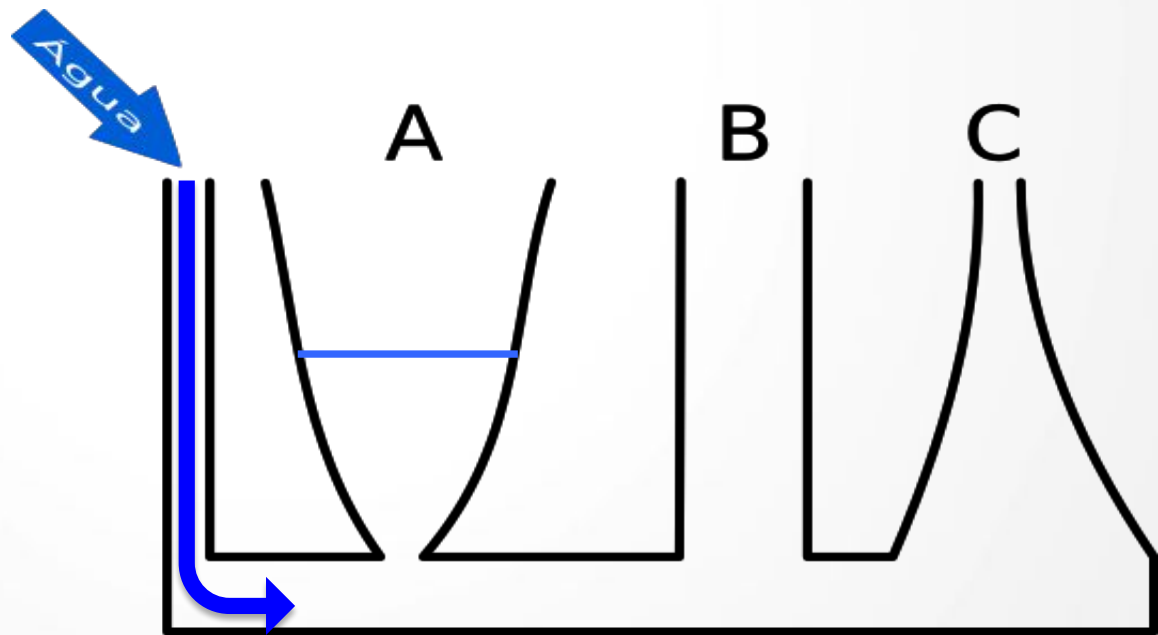


A pressão hidrostática só depende da profundidade e da pressão na superfície!

Teste Conceitual 15.3

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)?

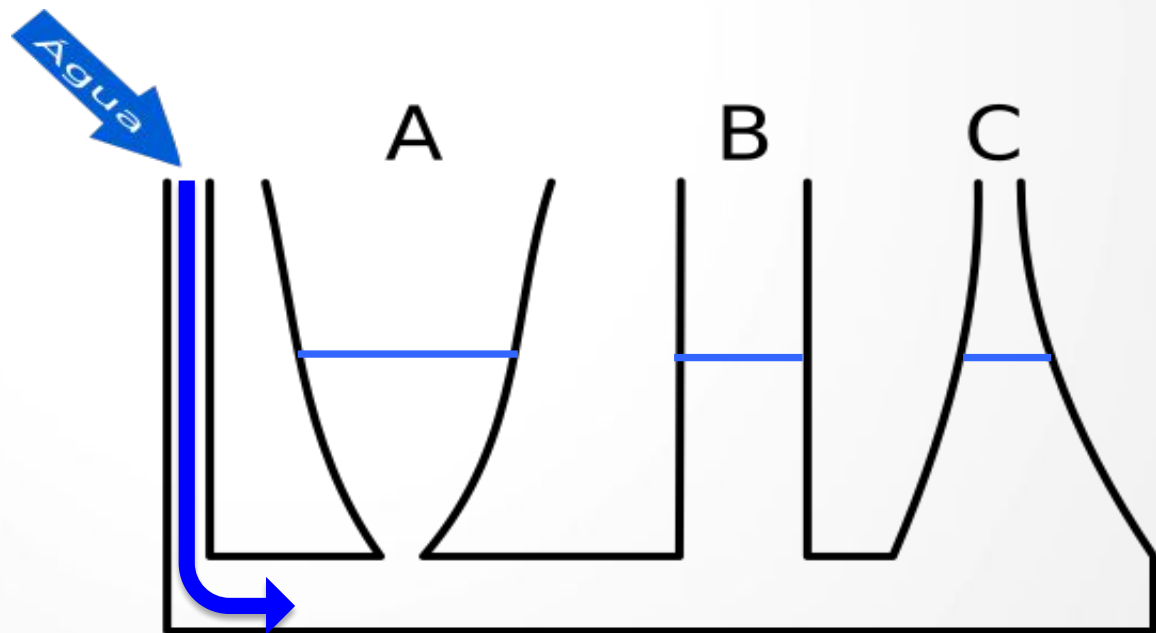
- (A) $d_A > d_B > d_C$
- (B) $d_A < d_B < d_C$
- (C) $d_A > d_B = d_C$
- (D) $d_A = d_B = d_C$



Teste Conceitual 15.3

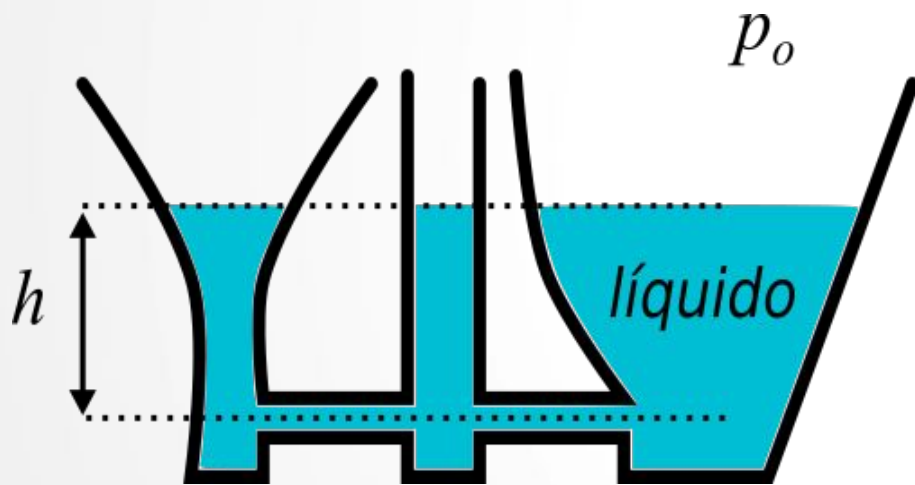
Água é lentamente derramada no recipiente da figura abaixo até que o nível tenha aumentado nos tubos A, B e C. Interrompe-se o derramamento antes que haja o transbordamento. Como se comparam entre si as profundidades de água nas três colunas (parcialmente cheias)?

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



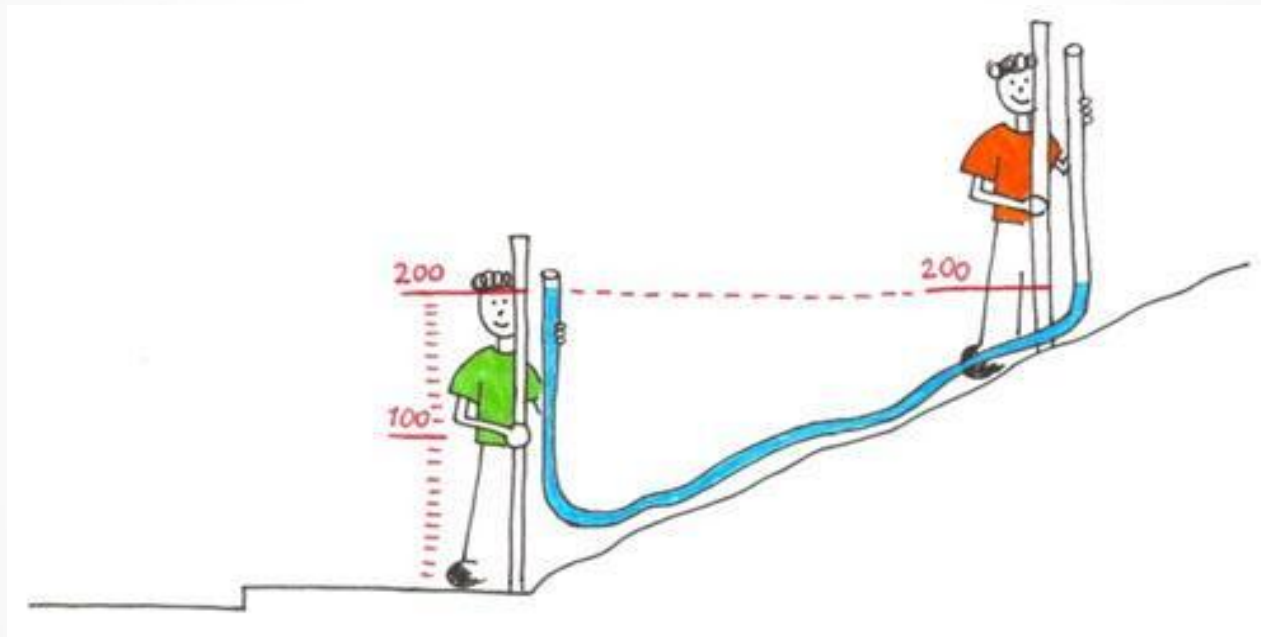
Vasos Comunicantes

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



Vasos Comunicantes

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

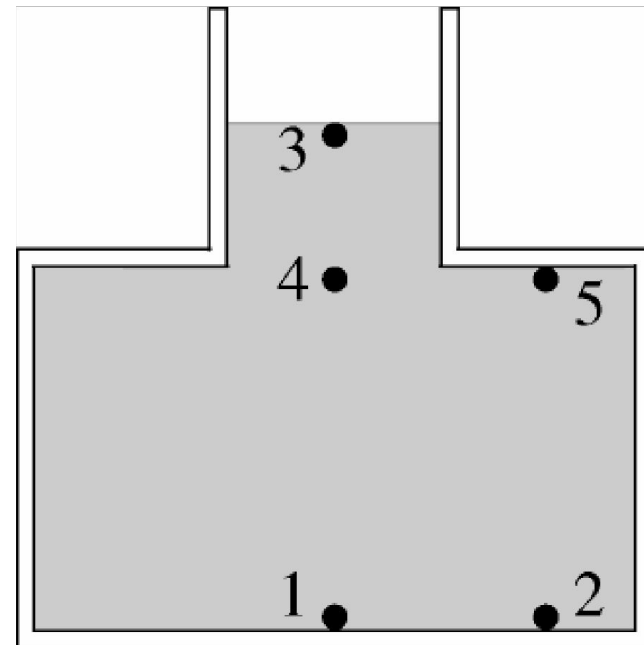


A mangueira de nível, utilizada na construção civil, é uma aplicação prática deste fenômeno!

Teste Conceitual 15.4

Supondo que o fluido na figura está todo em equilíbrio estático, a pressão no ponto 5 é

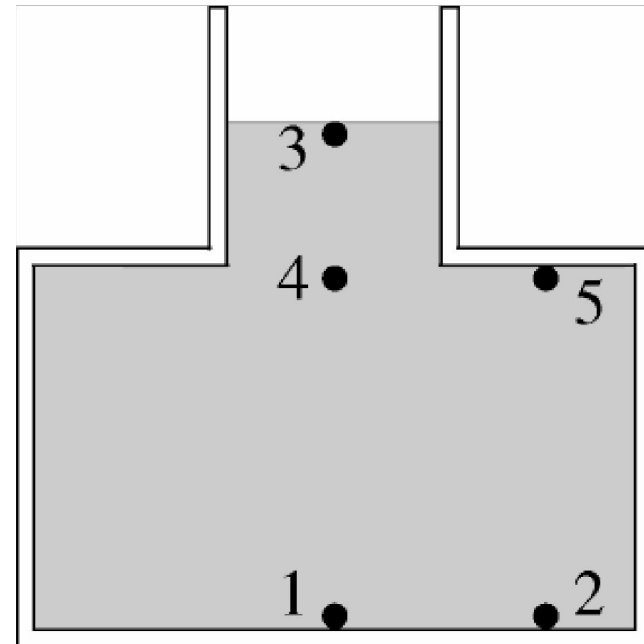
- A) Maior que a do ponto 4
- B) Igual à do ponto 4
- C) Menor que a do ponto 4
- D) Não dá para determinar



Teste Conceitual 15.4

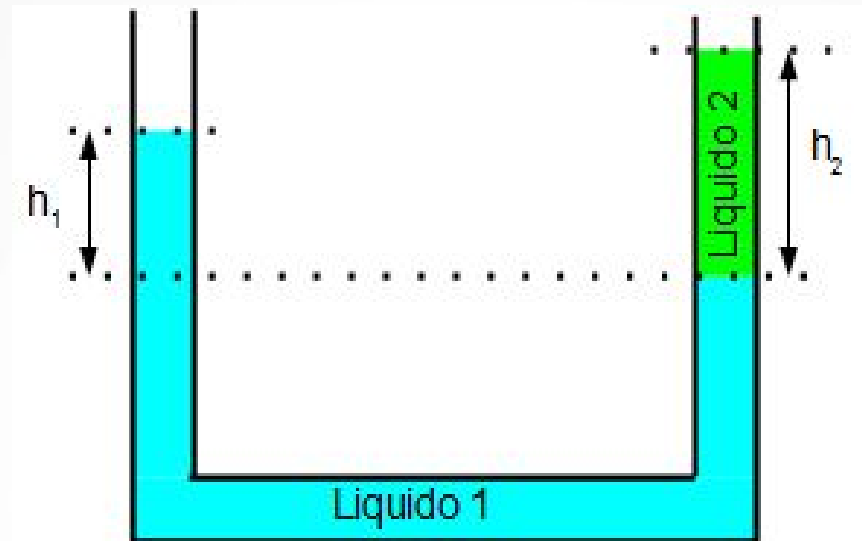
Supondo que o fluido na figura está todo em equilíbrio estático, a pressão no ponto 5 é

- A) Maior que a do ponto 4
- B) Igual à do ponto 4**
- C) Menor que a do ponto 4
- D) Não dá para determinar



Se abrirmos um furo no ponto 5, sairá um esguicho!

Aplicação: Tubo em U com dois líquidos distintos.



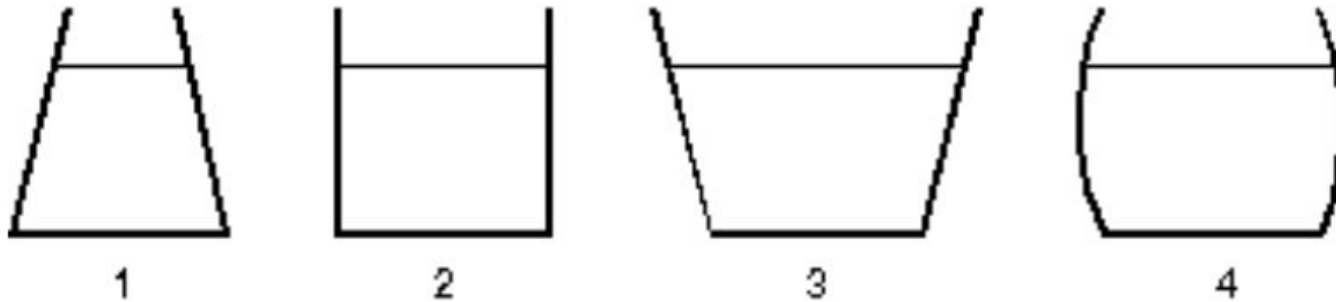
Pela Lei de Stevin, a diferença de pressão entre dois pontos de um líquido é cte, dependendo apenas do desnível entre esses pontos.

Logo, **se produzirmos uma variação de pressão num ponto do líquido, essa variação se transmite igualmente a todos os pontos do líquido.** Esse conceito é conhecido por

“Princípio de Pascal”

V. exemplo 15.4

Teste Conceitual 15.5



As vasilhas de água mostradas acima têm formatos e volumes diferentes, mas a mesma área de fundo, e estão preenchidas até a mesma altura.

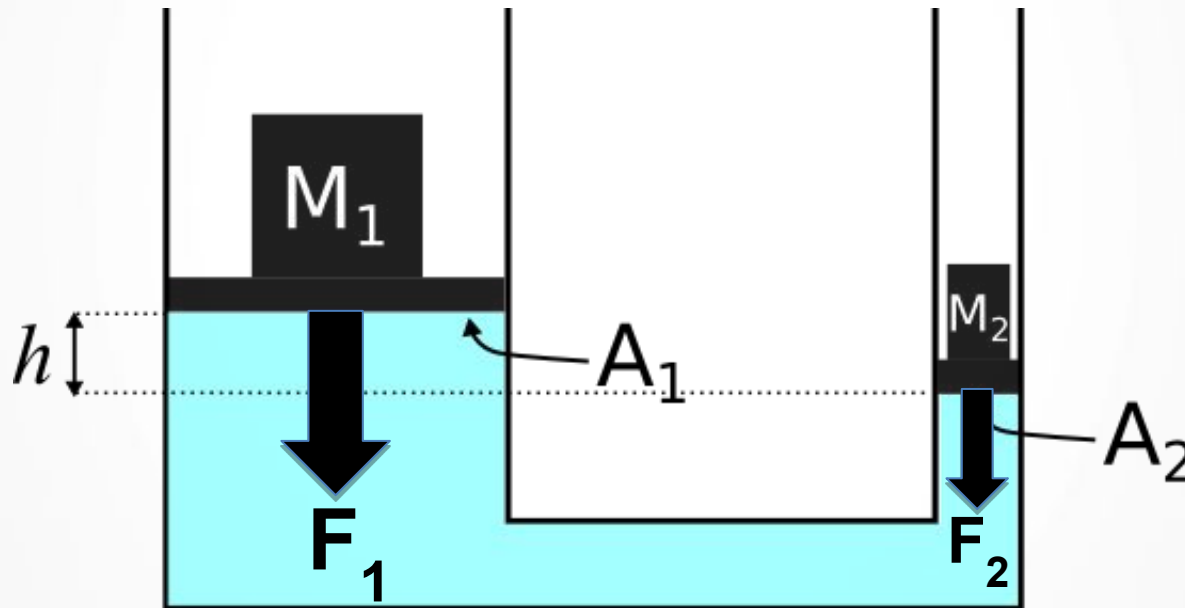
Considere a força total exercida pela água no fundo de cada vasilha. Podemos dizer que

- A) $F_1 < F_2 < F_4 < F_3$
- B) $F_3 < F_4 < F_2 < F_1$
- C) $F_1 < F_2 = F_4 < F_3$
- D) $F_1 = F_2 = F_3 = F_4$

Aplicação: Elevador Hidráulico

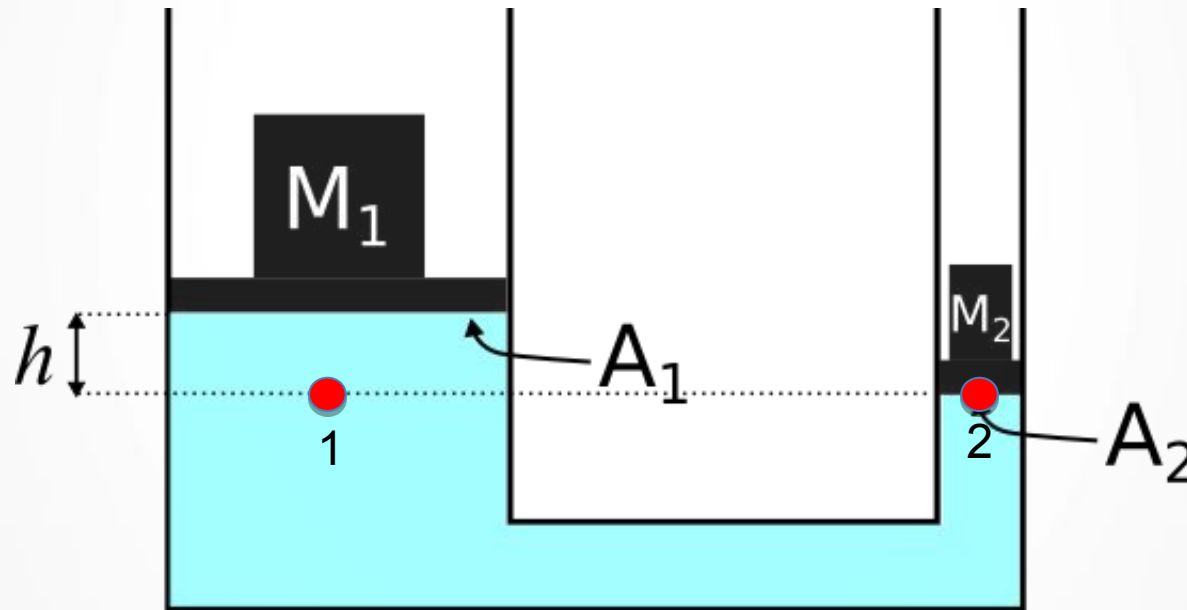
→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)

“Uma pequena massa pode equilibrar uma massa gigante...”



Aplicação: Elevador Hidráulico

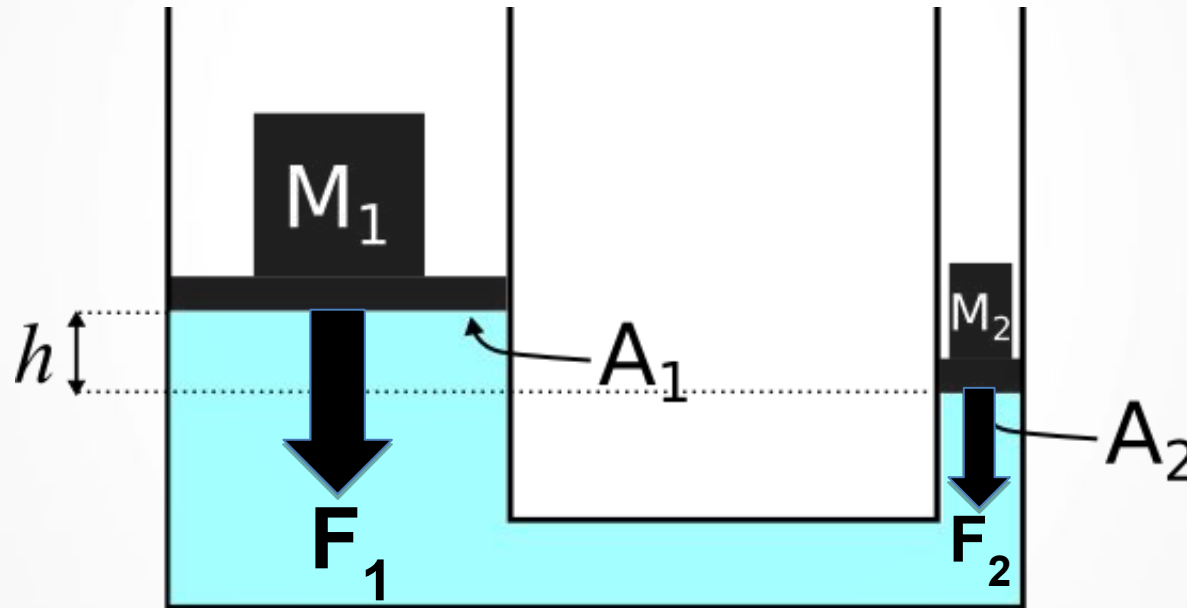
→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)



$$p_1 = p_2 \Rightarrow p_0 + \frac{F_1}{A_1} + \rho gh = p_0 + \frac{F_2}{A_2}$$

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)



$$\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} + \rho gh$$

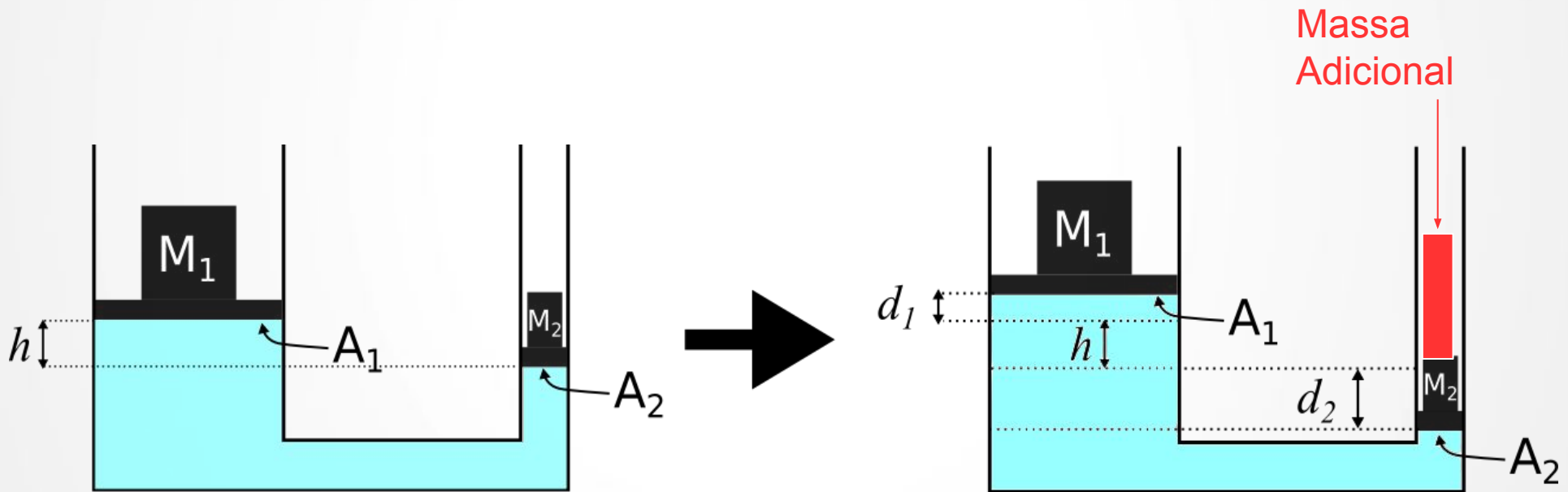
→ Uma peq. força numa peq. área equilibra uma gde força numa gde área!

Olhar o problema resolvido 15.7!

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)

De quanto subirá o pistão 1 se deslocamos o pistão 2 para baixo, colocando, por exemplo, uma massa adicional?



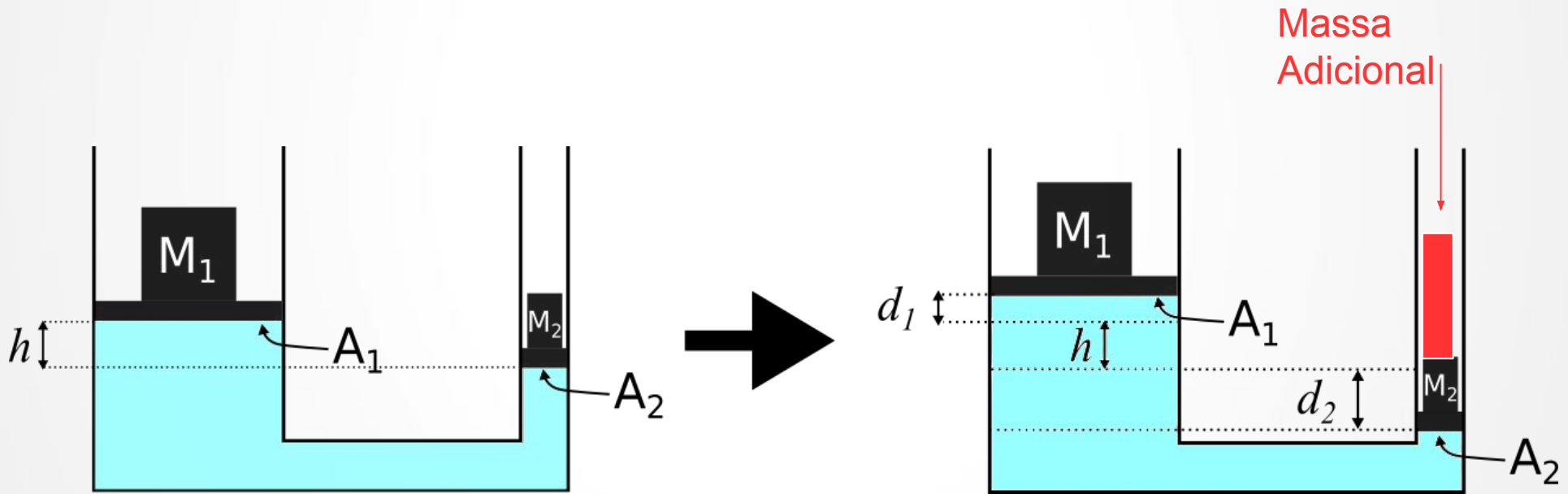
Como o líquido é incompressível:

$$d_1 = d_2 \frac{A_2}{A_1}$$

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)

Qual deve ser a força adicional para levantar o pistão 1 de uma distância d_1 ?



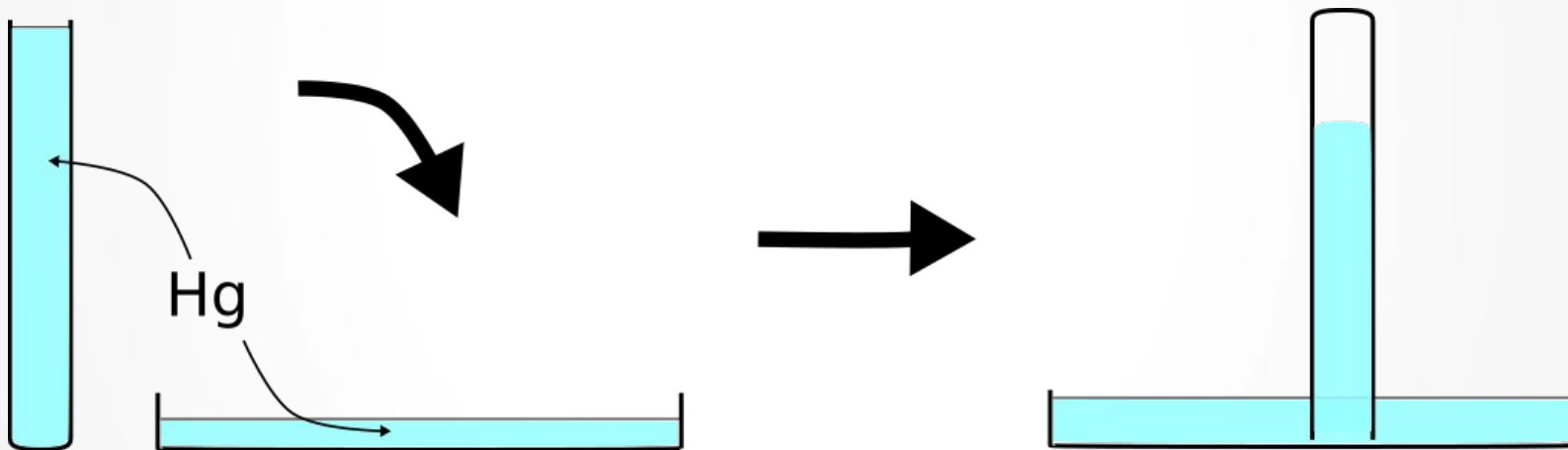
$$F'_2 - F_2 = \rho g d_1 (A_1 + A_2)$$

→ Olhar o problema resolvido 15.7!

Qual a força exercida pelo ar em nosso antebraço?

Medidores de Pressão: Barômetro de mercúrio

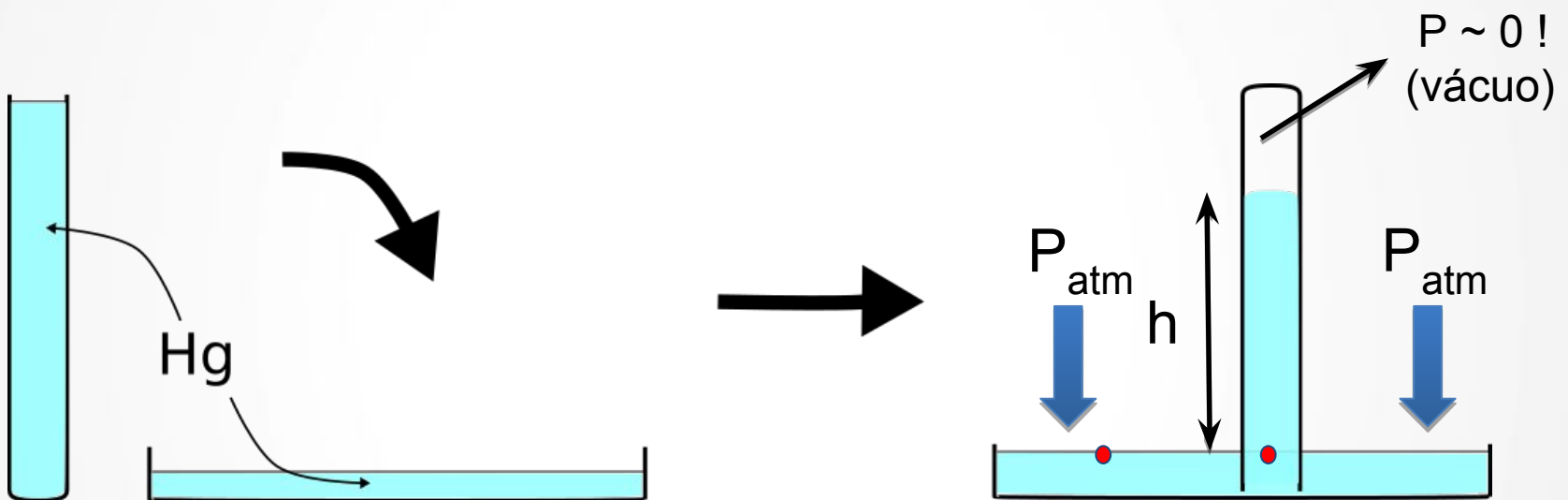
(Hg é um metal líquido à temp. ambiente, com $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg / m}^3$)



Por que o líquido não escorre totalmente?

Medidores de Pressão: Barômetro de mercúrio

(Hg é um metal líquido à temp. ambiente, com $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg / m}^3$)



$$P_{\text{atm}} = \rho_{\text{Hg}} g h$$

Na altura do mar e a 0°C , $h = 0,760 \text{ m} \rightarrow P_{\text{atm}} = 101,3\text{kPa}$

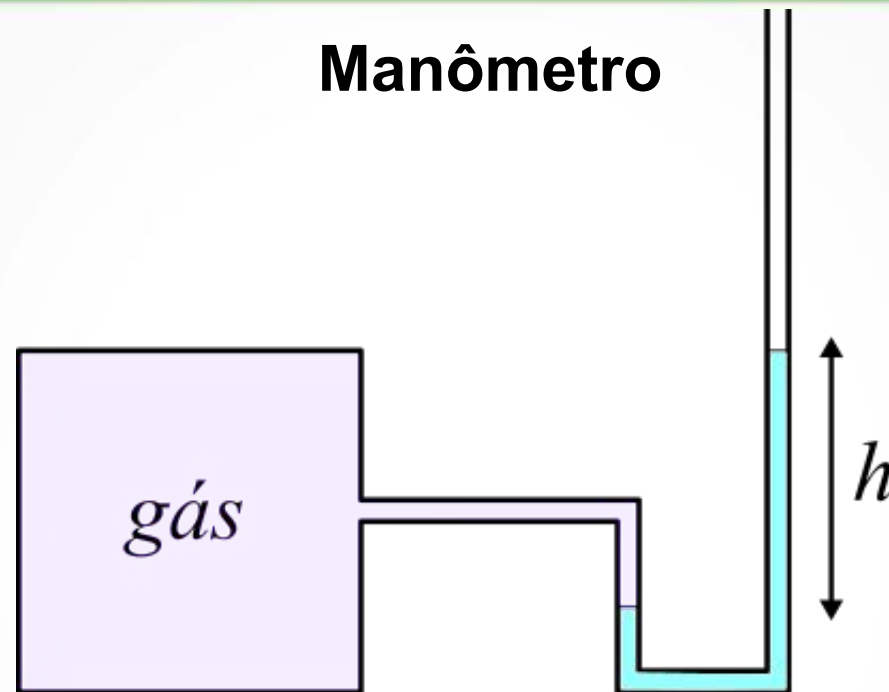
Outras unidades de pressão

Por tradição, em muitas situações práticas usa-se unidades de pressão diferentes do Pascal

TABELA 15.2 Unidades de pressão

Unidade	Abreviação	Valor correspondente a 1 atm	Usos
pascal	Pa	101,3 kPa	unidade do SI: 1 Pa = 1 N/m ²
atmosfera	atm	1 atm	geral
milímetros de mercúrio	mm de Hg	760 mm de Hg	pressão barométrica e gases
polegadas de mercúrio	pol	29,92 polegadas	pressão barométrica nas previsões de tempo nos EUA
libras por polegada quadrada	psi	14,7 psi	engenharia e indústria
100kPa	bar	1,013 bar	geral – útil pois é quase igual a 1 atm mas é um ‘numero redondo’ no SI

Medidores de Pressão



A altura h fornece a pressão do gás.

$$p_m = \text{pressão manométrica} = p_{\text{gás}} - 1\text{atm} = \rho gh$$

Ex: medidores de pressão de pneu em postos de gasolina

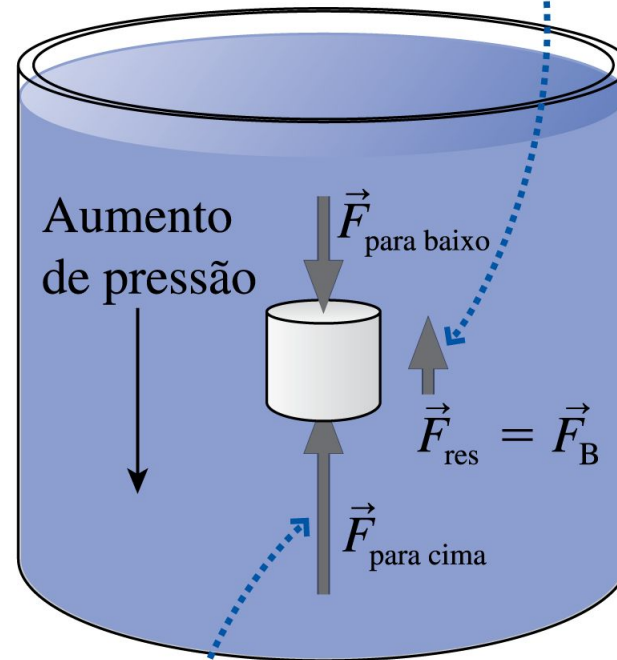
Obs: A pressão manométrica pode ser nula ou mesmo negativa!

Empuxo

Considere um objeto cilíndrico de um material qualquer, submerso em um fluido.

Como a pressão aumenta com a profundidade, a força sobre o objeto devido ao contato com o fluido é diferente de zero e aponta **para cima**.

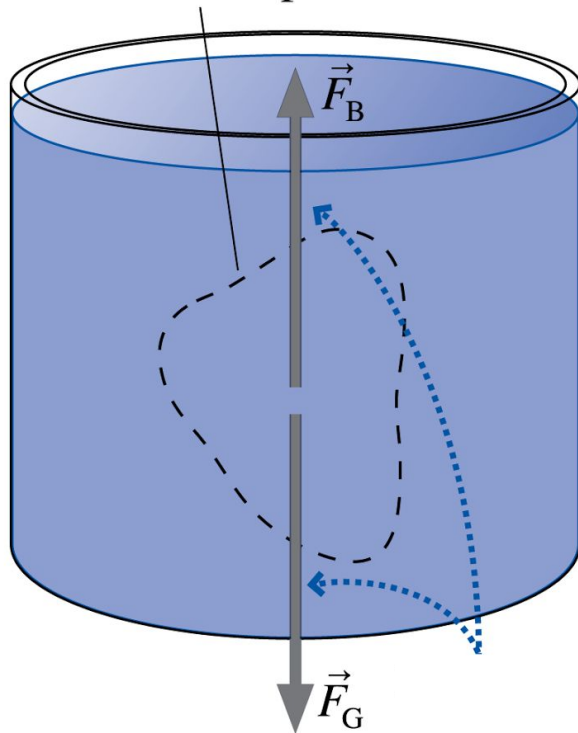
A força resultante do fluido sobre o cilindro é a força de empuxo \vec{F}_B .



$F_{\text{para cima}} > F_{\text{para baixo}}$ porque a pressão é maior no fundo. Logo, o fluido exerce uma força resultante orientada para cima.

A mesma conclusão se aplica para objetos de **qualquer** formato, total ou parcialmente submersos no fluido

(a) Limite imaginário em torno de uma parcela de fluido

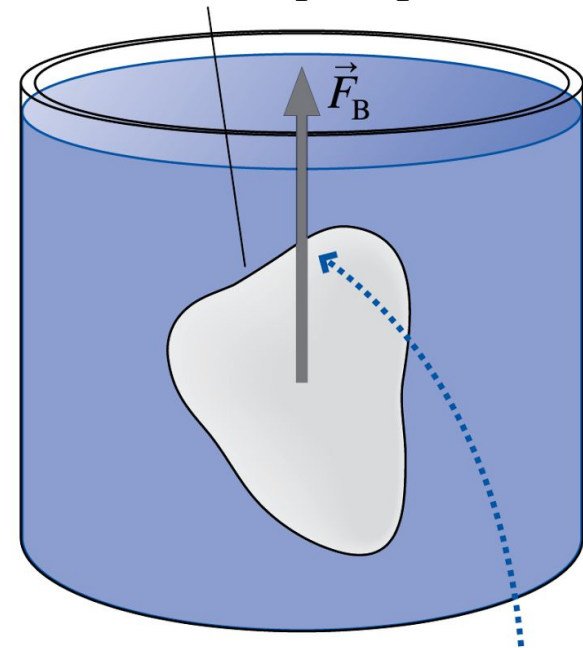


F_B = força de empuxo sobre o volume tracejado devido ao resto do fluido

F_G = peso do volume tracejado de fluido

Num fluido em equilíbrio: $F_B + F_G = 0$

(b) Objeto real de mesmo tamanho e formato que a parcela do fluido



O objeto sofre a MESMA força de empuxo vertical que seria sentida sobre o volume de fluido que ele deslocou, pois o restante do fluido não foi alterado

Princípio de Arquimedes

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, no seu livro “Sobre corpos flutuantes” (séc III A.C.)



Princípio de Arquimedes

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.”

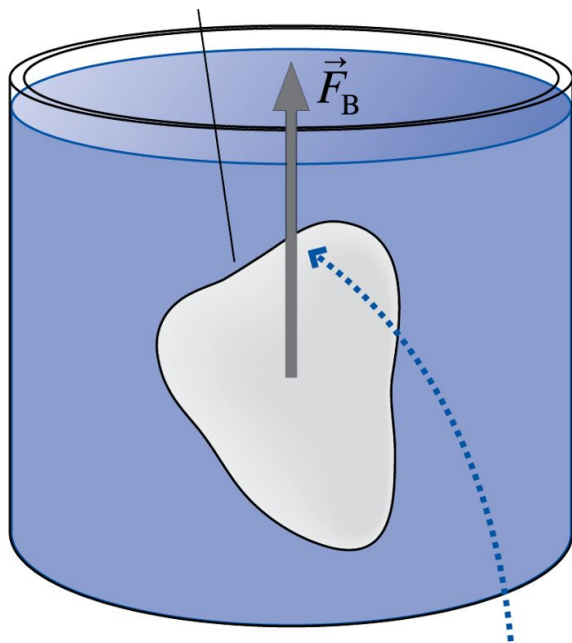
Arquimedes de Siracusa, no seu livro
“Sobre corpos flutuantes” (séc III A.C.)



único exemplar existente do texto grego original, copiado por volta do ano 1000 DC e só encontrado em 1906 “escondido” atrás de outro texto do século XIII. Vejam <http://archimedespalimpsest.org>

Princípio de Arquimedes

Matematicamente



F_B força de empuxo

Sendo $m_f = \rho_f V_f$

fluido deslocado

$$F_B = \rho_f V_f g$$

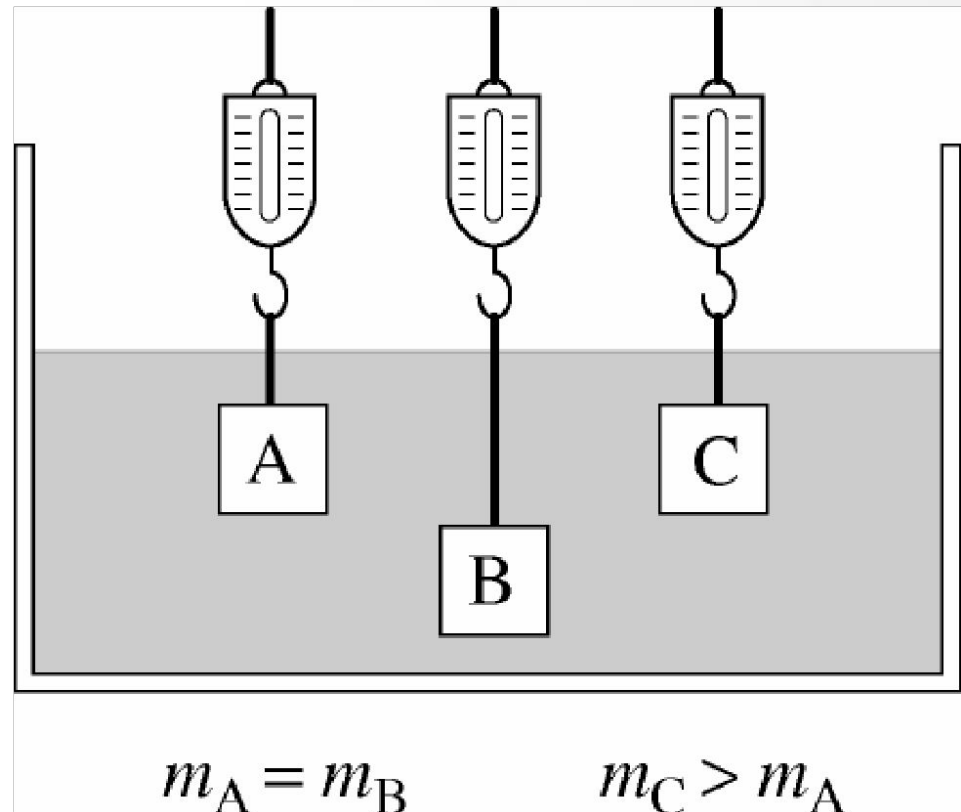
Não confunda densidade e volume do fluido deslocado com a densidade e volume do objeto!

Teste Conceitual 15.6

Três blocos de mesmo tamanho e com as massas indicadas estão suspensos por balanças enquanto são mergulhados num fluido, conforme a figura.

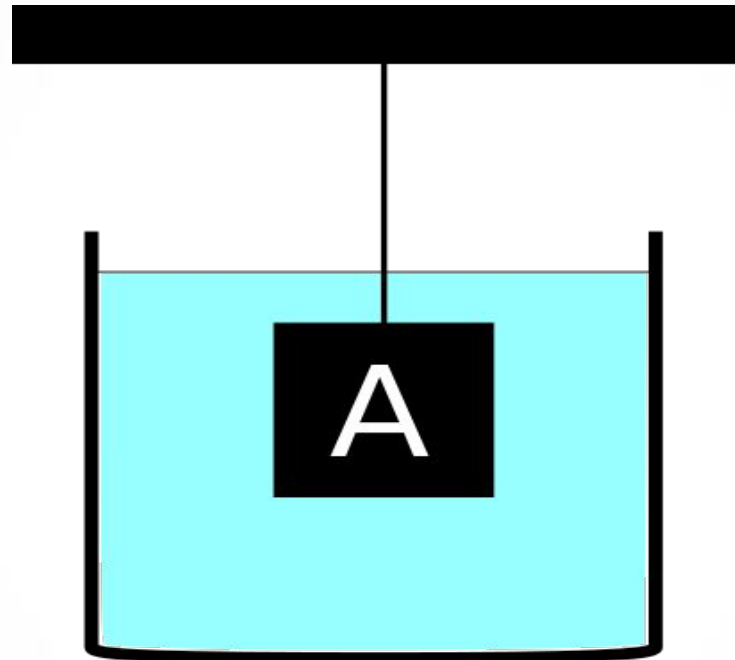
P: como se ordenam os pesos aparentes dos blocos, conforme medidos pelas balanças?

(Obs: Assuma que os fios são inextensíveis e de massa desprezível)



- A) $P_A^{\text{apar}} = P_C^{\text{apar}} < P_B^{\text{apar}}$
 B) $P_A^{\text{apar}} = P_C^{\text{apar}} < P_B^{\text{apar}}$
 C) $P_A^{\text{apar}} < P_B^{\text{apar}} < P_C^{\text{apar}}$
 D) $P_A^{\text{apar}} = P_B^{\text{apar}} = P_C^{\text{apar}}$

Problema: Qual a Tensão no barbante da figura abaixo?

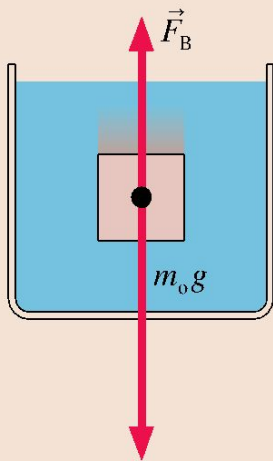


Fluido: Álcool Etílico – bloco: Alumínio sólido com volume 100cm^3 .

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

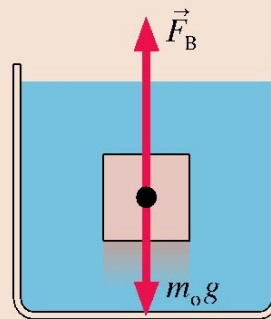
Empuxo e Flutuação

$$\rho_o > \rho_f$$



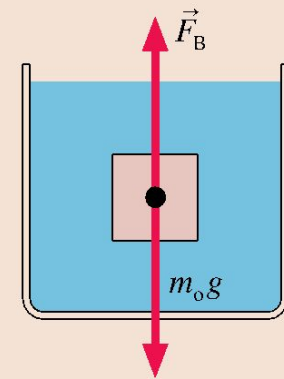
Objeto afunda

$$\rho_o < \rho_f$$



Objeto sobe até a superfície,
onde flutua parcialmente submerso

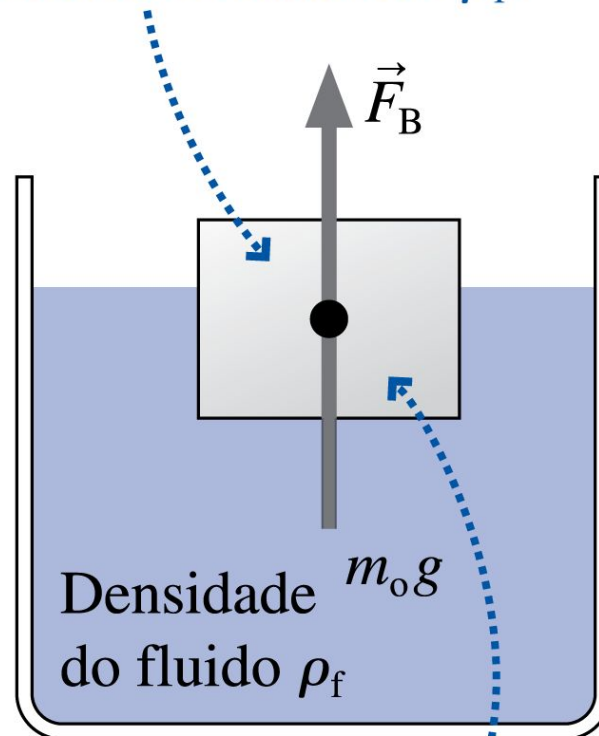
$$\rho_o = \rho_f$$



Objeto em equilíbrio
hidrostático

Empuxo e Flutuação

Um objeto de densidade ρ_o e volume V_o está flutuando num fluido de densidade ρ_f .

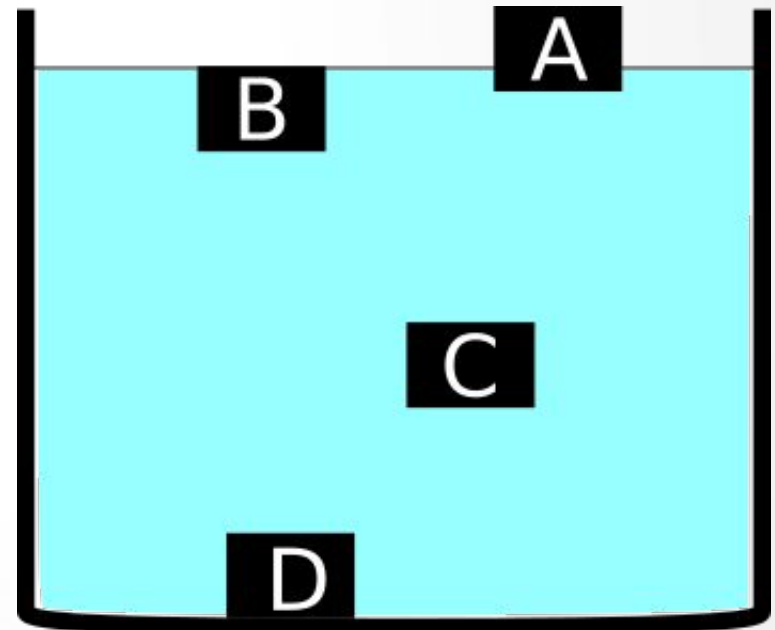


O volume submerso do objeto é igual ao volume V_f do objeto do fluido deslocado.

Teste Conceitual 15.7

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

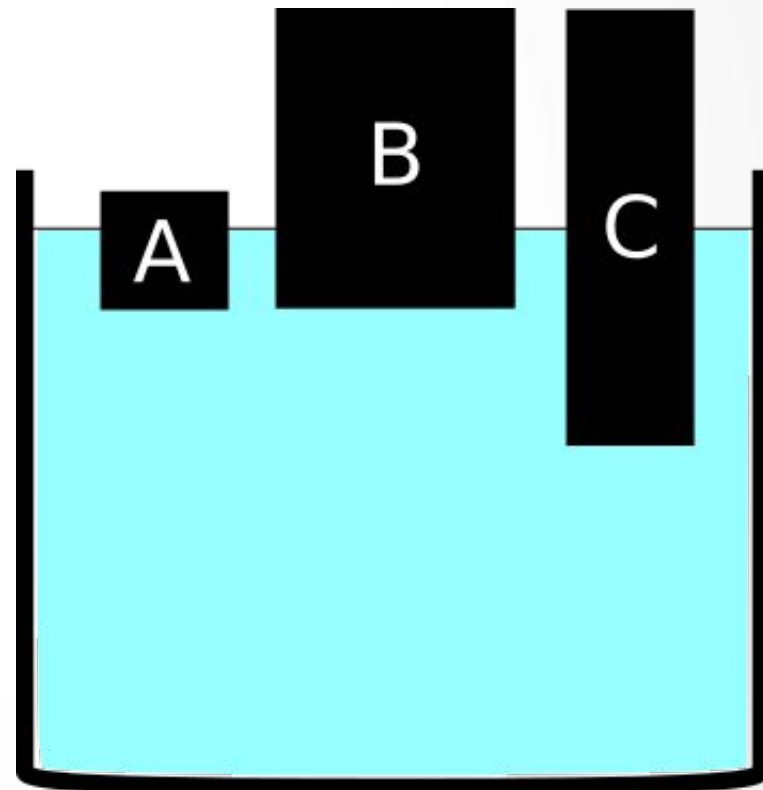
- (A) $E_A < E_B = E_C = E_D$
- (B) $E_A < E_B < E_C < E_D$
- (C) $E_A < E_B = E_C < E_D$
- (D) $E_D < E_C < E_B < E_A$



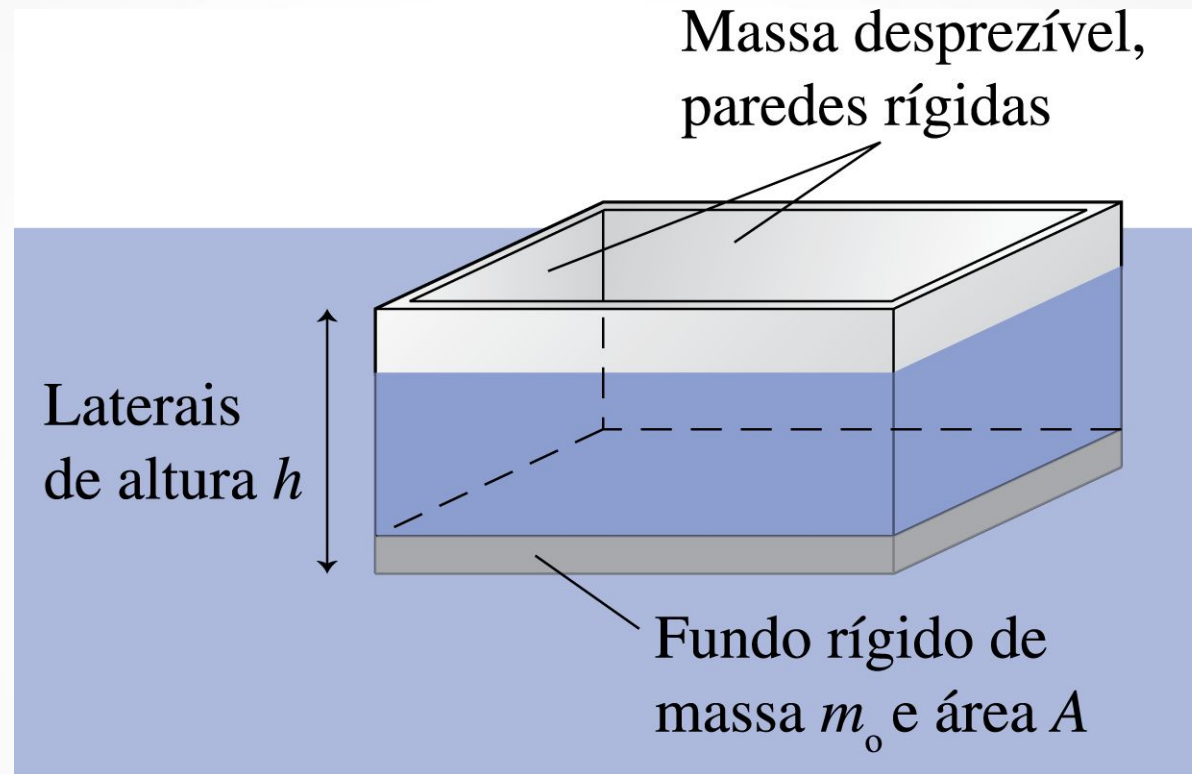
Teste Conceitual 15.8

Ordene as densidades dos três blocos.

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



Flutuação: “modelo” para um barco



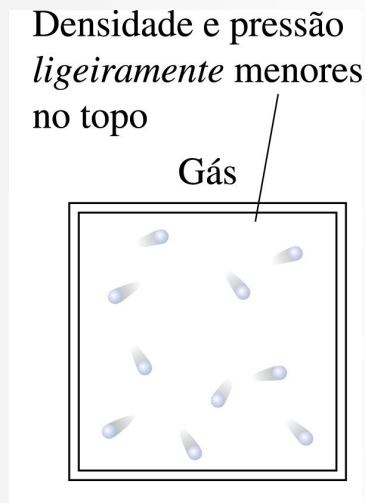
Teste Conceitual 15.9

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.

Pressão em gases

Atenção: a Lei de Stevin **não** se aplica no caso de fluidos compressíveis (ex: gases)



$$~~p(h) = p_0 + \rho gh~~$$

Paredes de um recipiente imaginário

Ar

Espaço

Terra

1. A densidade e a pressão do ar são maiores na superfície terrestre.
2. Devido a gravidade, a densidade e a pressão diminuem com o aumento da altitude.
3. A densidade e a pressão se aproximam de zero no espaço sideral.

Nesse caso, pode-se mostrar que, num gás a temperatura constante, vale a relação

$$P(z) \sim P_{\text{embaixo}} \exp(-z / c)$$

onde c é uma constante que vale $\sim 8,6$ km na superfície da Terra

Assim, para recipientes com dimensões $\ll 8,6$ km, $P(z) \sim$ constante

Teste Conceitual 15.10

Vimos antes que o empuxo sofrido por um corpo dentro de um líquido se deve à diferença entre as pressões sobre a sua parte de cima e sua parte de baixo, descrita pela Lei de Stevin ($P = P_0 + \rho_L gh$).

Vemos agora porém que, no caso de um corpo pequeno mergulhado em um gás, a Lei de Stevin não se aplica, pois a pressão externa é praticamente uniforme sobre ele.

P: Por que, então, um balão de festa, cheio com gás Hélio, sobe rapidamente quando é solto?



Teste Conceitual 15.10

Por que um balão de festa, cheio com gás Hélio, sobe rapidamente quando é solto?

- A) Pois a pressão no seu interior é maior que a externa, e portanto ele subirá até uma altitude onde elas equalizarão.
- B) Pois ainda existe uma minúscula diferença entre a pressão atmosférica sobre o lado de baixo do balão e aquela sobre o lado de cima, e isso é suficiente para gerar empuxo.
- C) Pois como o Hélio é menos denso que o ar, a pressão no interior do balão é menor que a externa, de modo que a diferença dessas pressões (fora e dentro) gera um empuxo.
- D) O professor estava brincando – é claro que a lei de Stevin também se aplica para gases!

Dados possivelmente úteis (ou não):

- nas CNTP, a densidade do Hélio é de 0.18 kg/m^3 , cerca de $1/7$ a do ar
- um balão de borracha vazio tem cerca de 10g de massa
- dimensões típicas de um balão cheio: $\sim 15\text{cm}$ de raio $\sim 35\text{cm}$ de altura



Teste Conceitual 15.10

Por que um balão de festa, cheio com gás Hélio, sobe rapidamente quando é solto?

B) Pois ainda existe uma minúscula diferença entre a pressão atmosférica sobre o lado de baixo do balão e aquela sobre o lado de cima, e isso é suficiente para gerar empuxo.

Continua sendo verdade que $\text{Empuxo} = \rho_{\text{ar}} Vg!$

(pois continua verdade que a resultante das forças de pressão sobre o ar deslocado equilibraria seu próprio peso.)

Como o Hélio é muito menos denso que o ar, o peso total (borracha +hélio) do balão não supera o do ar deslocado, portanto a força resulta para cima

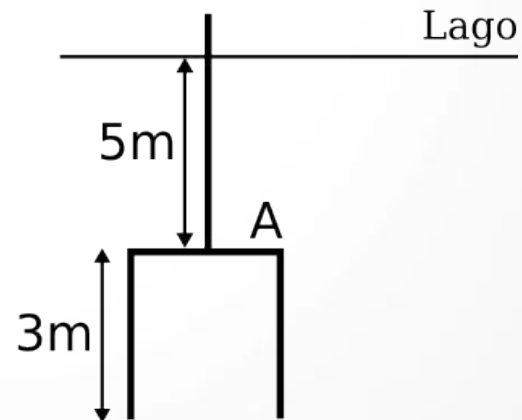
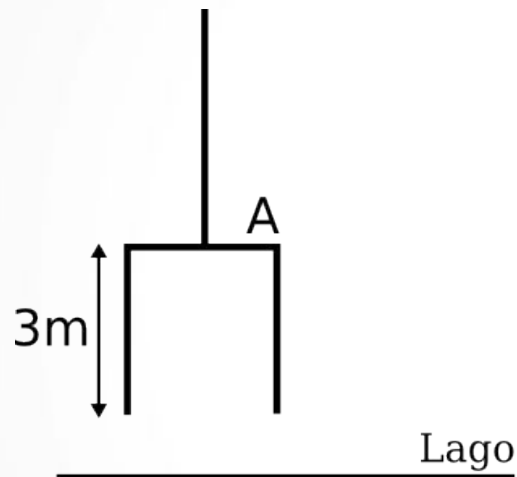
Dados possivelmente úteis (ou não):

- nas CNTP, a densidade do Hélio é de 0.18 kg/m^3 , cerca de $1/7$ a do ar
- um balão de borracha vazio tem cerca de 10g de massa
- dimensões típicas de um balão cheio: $\sim 15\text{cm}$ de raio $\sim 35\text{cm}$ de altura

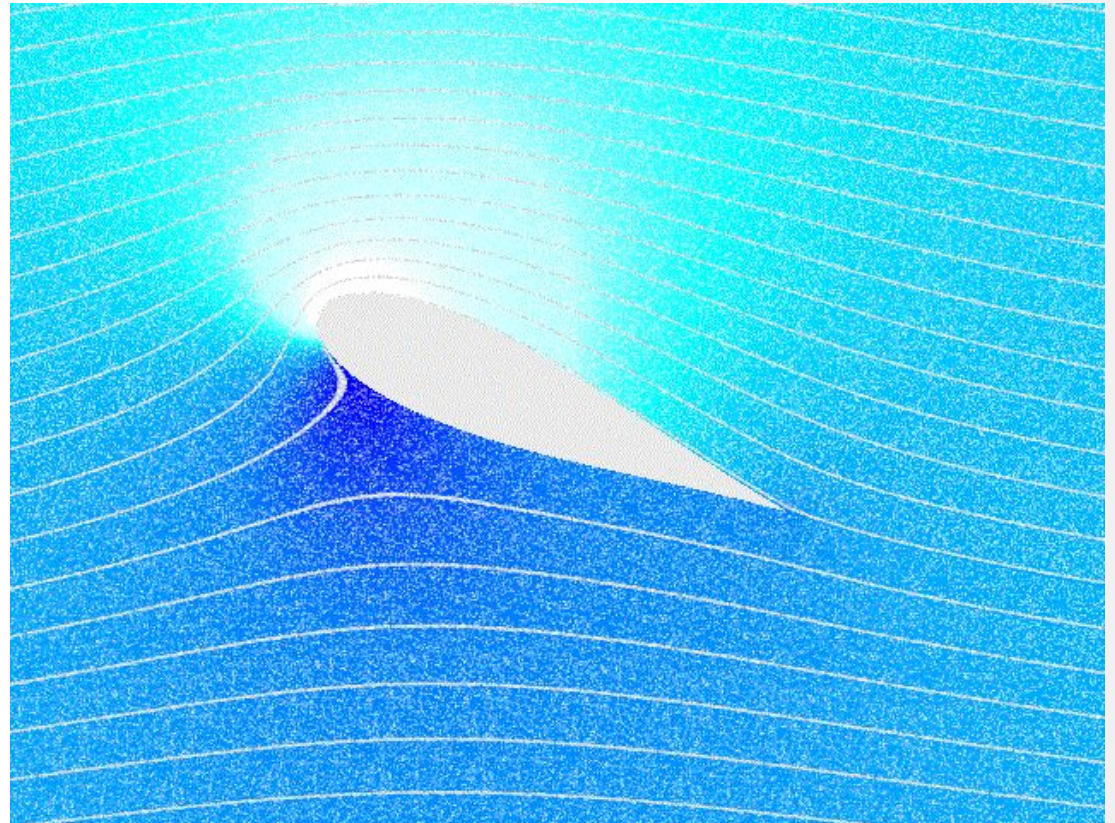


Problema – Para o lar

Que fração do volume da campânula é ocupada pela água?



Hidrodinâmica : Fluidos em movimento



Hidrodinâmica : Fluidos em movimento

Porém, entender o movimento de fluidos reais no caso mais geral é um dos problemas mais difíceis da Física !

Vórtices

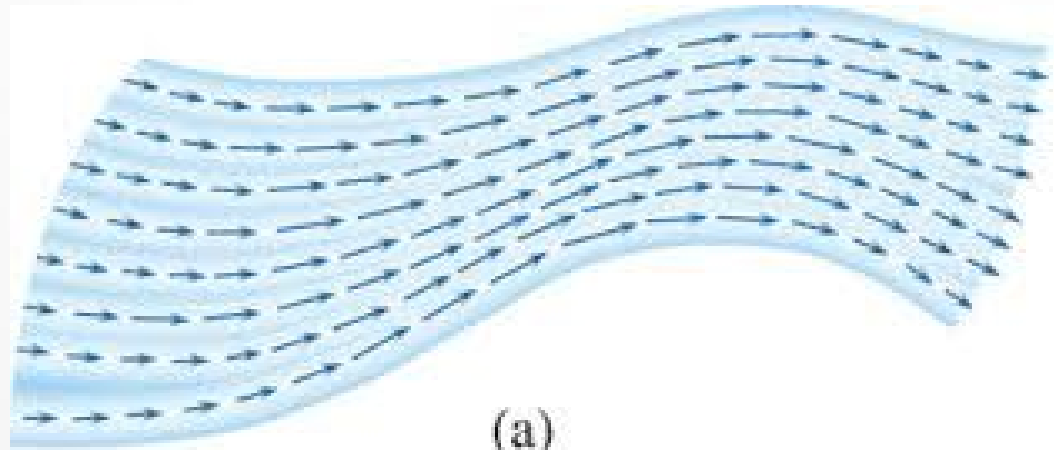


Turbulência

Hidrodinâmica : Fluidos em movimento

Aqui vamos nos restringir inicialmente a situações idealizadas, suficientes para uma 1ª aproximação. Vamos supor que o fluido:

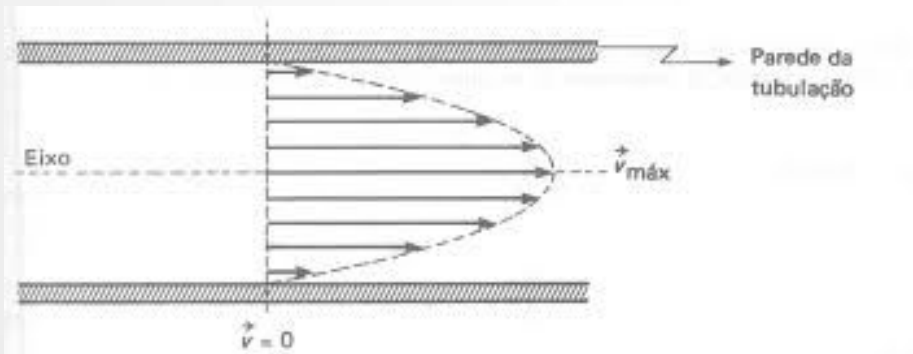
- é **incompressível**
- Flui de forma **estacionária**: a velocidade das partículas passando por um dado ponto do fluido não muda no tempo.



Hidrodinâmica : Fluidos em movimento

- **não possui viscosidade** ou seja, desprezaremos o atrito entre as partículas do fluido, bem como com as paredes ao longo dos quais ocorre um escoamento.

um fluido viscoso
“agarra nas paredes”

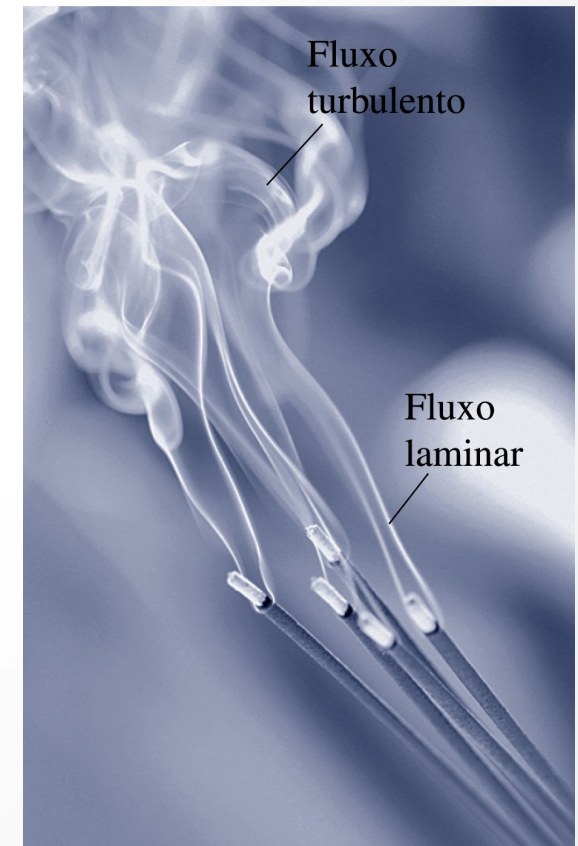
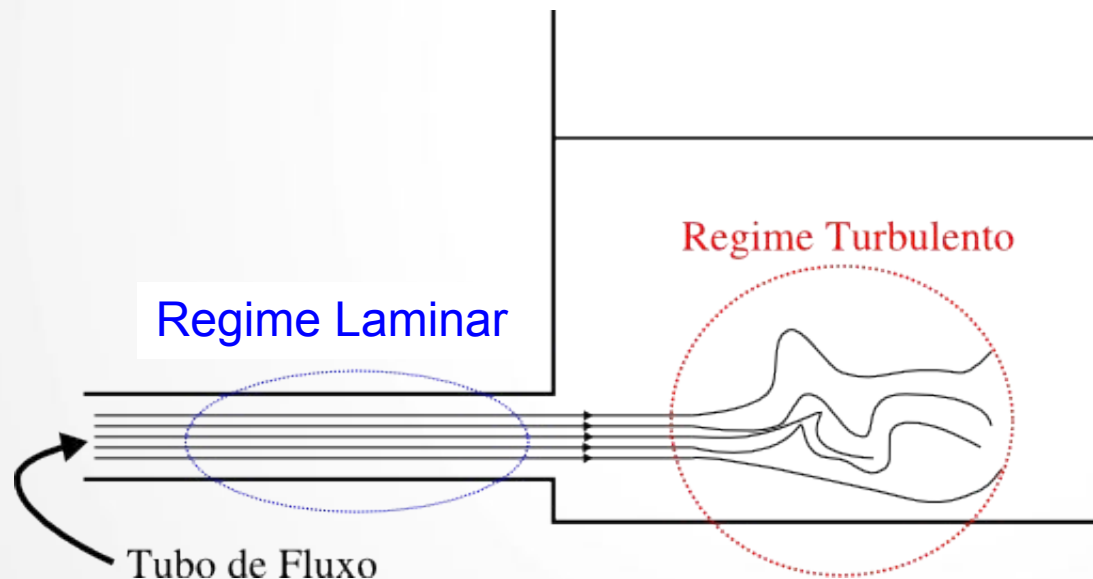


óleo lubrificante com diferentes viscosidades.

Obs: A viscosidade é essencial para compreender o comportamento de fluidos em muitas situações reais – desprezá-la é “como estudar as propriedades da água seca” (R. Feynman).

Fluxo laminar

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

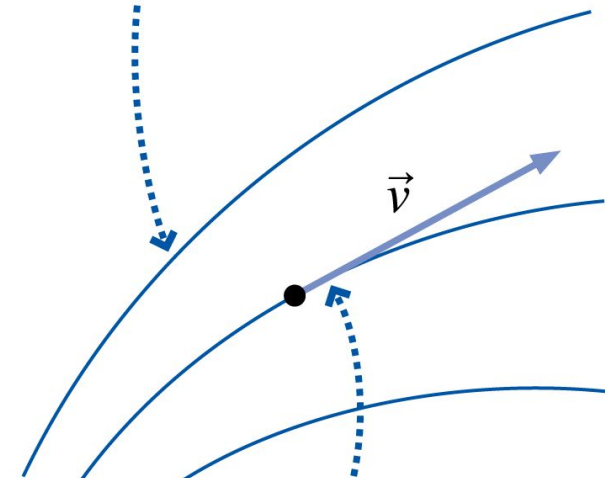


Linhas de Fluxo e tubos de fluxo

Linha de fluxo : trajetória seguida por uma partícula qualquer em um fluido em movimento estacionário.



1. Linhas de fluxo nunca se cruzam.



2. A velocidade da partícula do fluido é tangente à linha de fluxo.

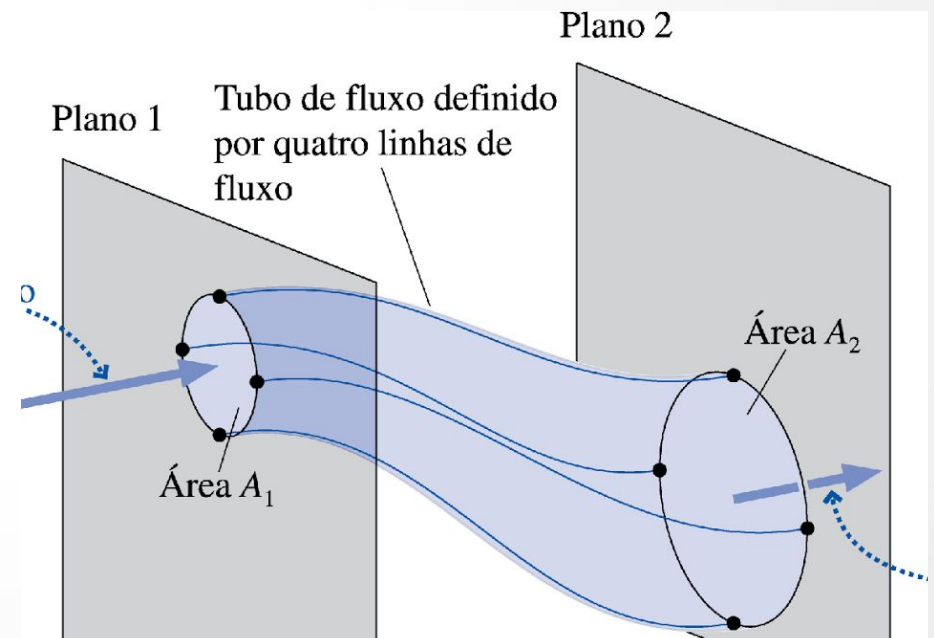
3. A velocidade é maior onde as linhas de fluxo estão mais próximas.

Linhas de Fluxo e tubos de fluxo

Linha de fluxo : trajetória seguida por uma partícula qualquer em um fluido em movimento estacionário.

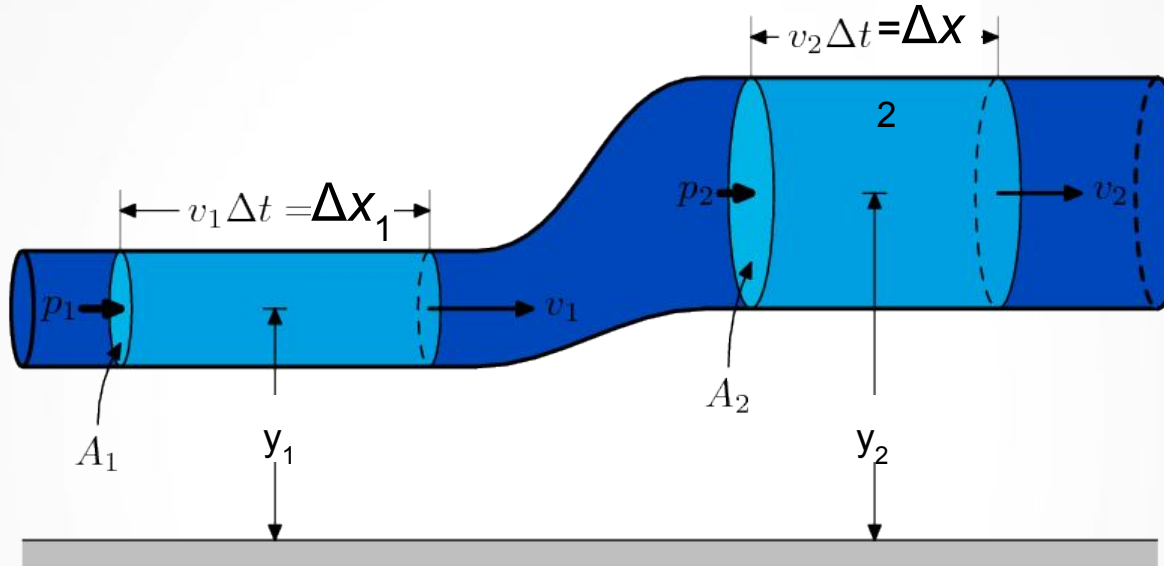


Tubo de fluxo: feixe de linhas de fluxo que atravessa uma determinada área do fluido



Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo

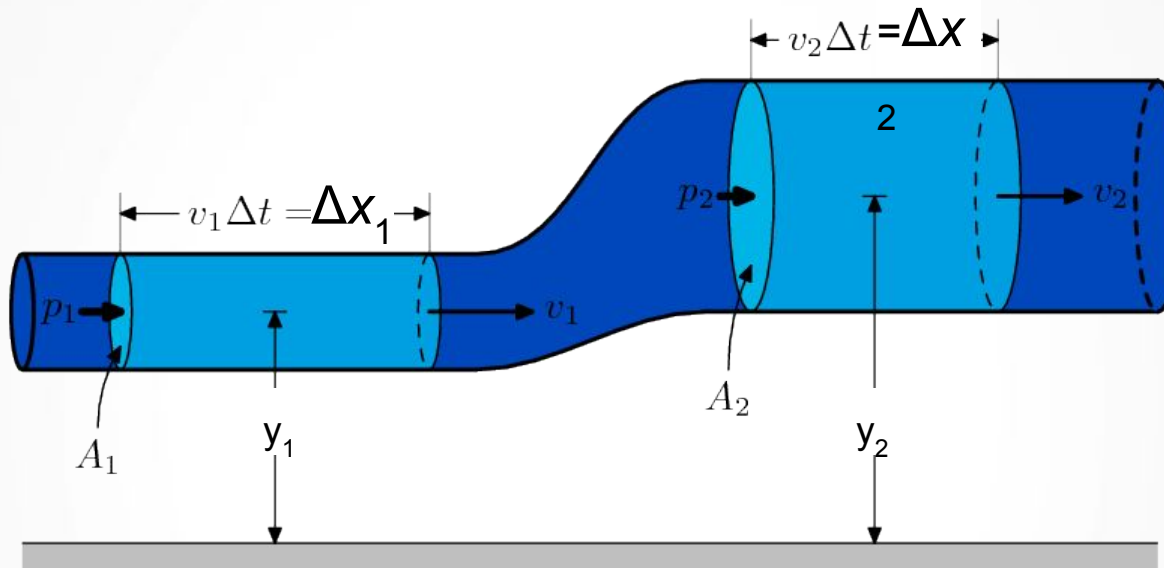


Em Δt um vol V_1 do líquido atravessa A_1 . Se a velocidade do fluido é v_1 ,

$$V_1 = A_1 v_1 \Delta t$$

Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo

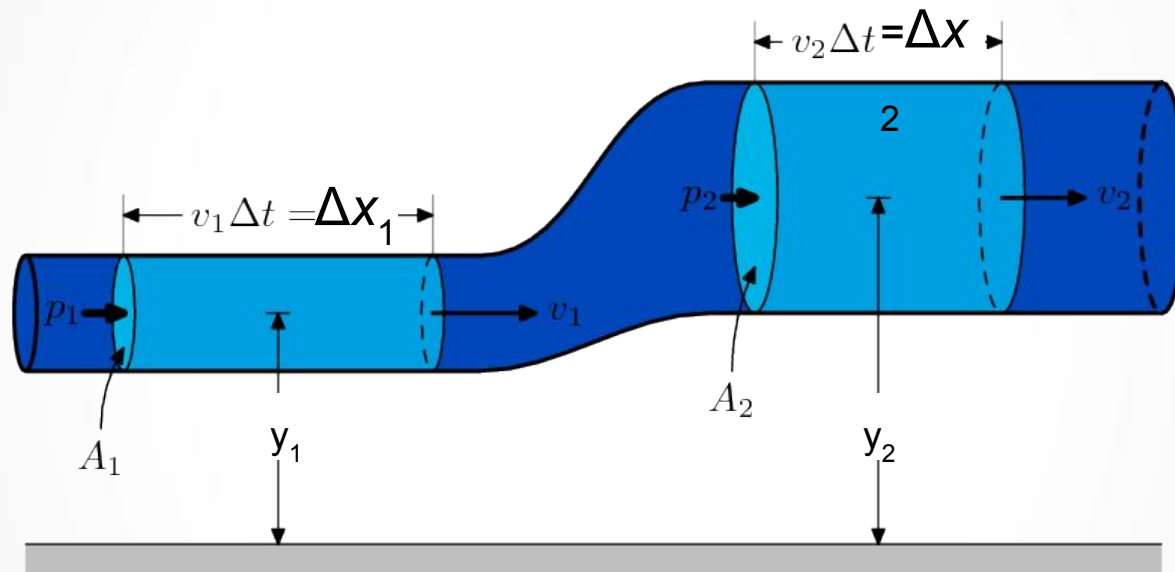


A mesma análise pode ser feita para A_2 , de forma que em Δt , um vol V_2 do líquido atravessa A_2 . Neste caso, a velocidade do fluido é v_2 ,

$$V_2 = A_2 v_2 \Delta t$$

Equação da Continuidade

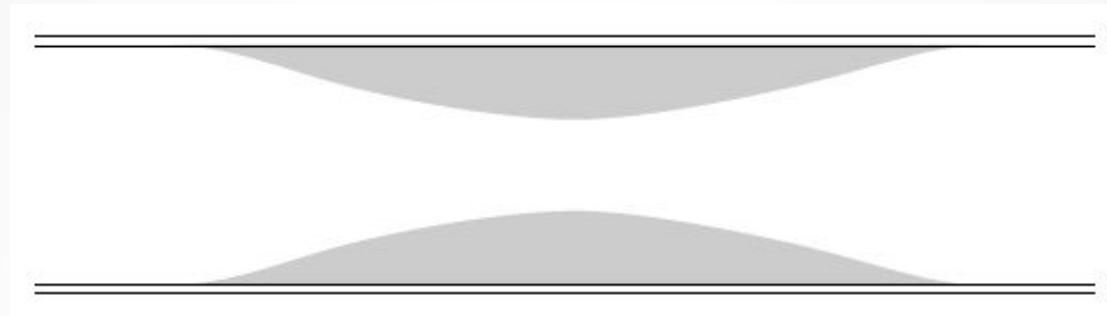
Como o fluido não é criado e nem destruído entre A_1 e A_2 ,



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

$$\boxed{A_1 v_1 = A_2 v_2} = Q \text{ (vazão de volume)} \\ \text{[m}^3\text{/s]}$$

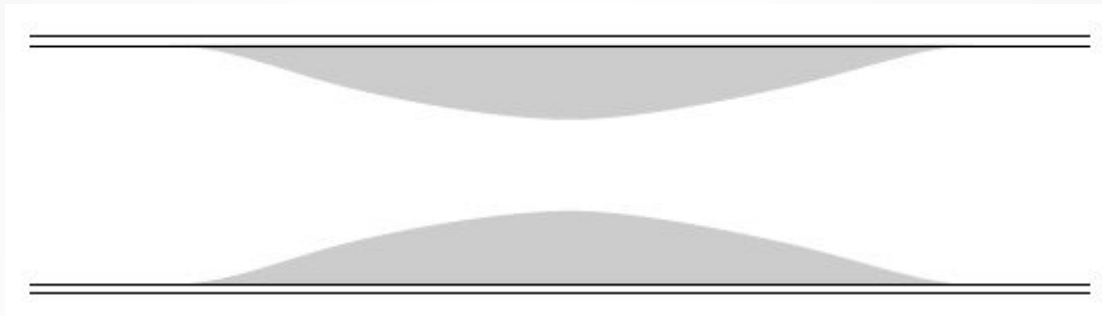
Teste Conceitual 15.11



Sangue corre por uma artéria coronária que está parcialmente bloqueada por depósitos nas paredes. Em qual parte da artéria o fluxo (qtde de sangue fluindo por unidade de tempo) é maior?

- A) Na parte mais estreita
- B) Na parte mais larga
- C) O fluxo é igual em ambas as partes

Teste Conceitual 15.12

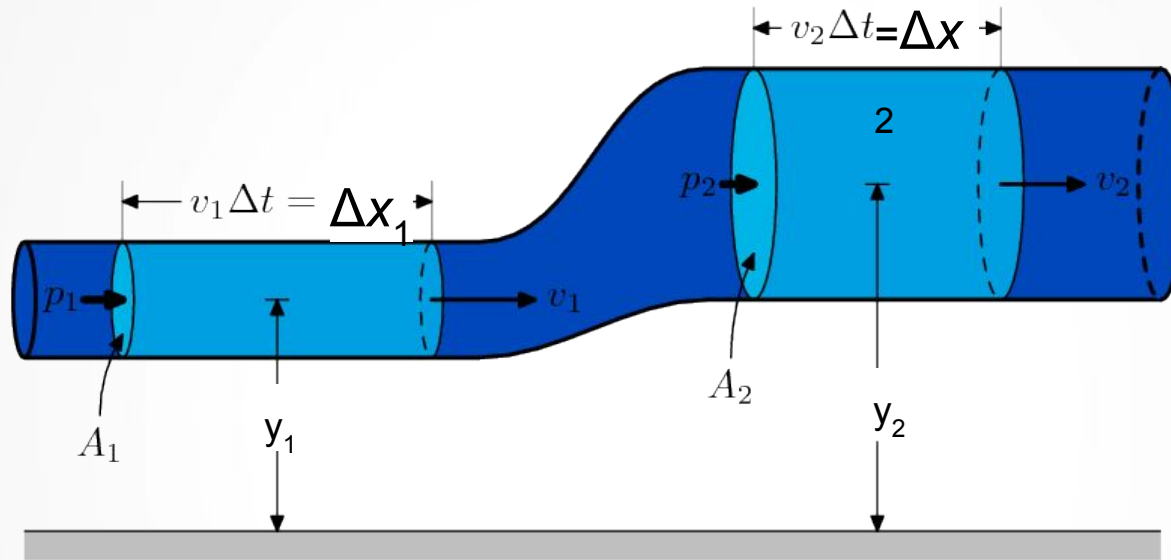


Sangue corre por uma artéria coronária que está parcialmente bloqueada por depósitos nas paredes. Em qual parte da artéria o sangue corre mais rápido?

- A) Na parte mais estreita
- B) Na parte mais larga
- C) A velocidade é igual em ambas as partes

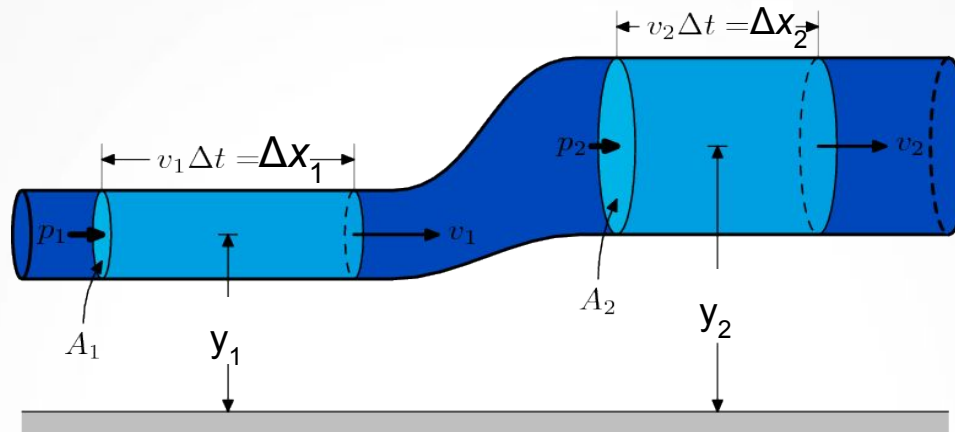
Equação de Bernoulli (Daniel Bernoulli, 1738)

Expressa a **Conservação de Energia** em um fluido ideal



P: quais são as trocas de energia envolvidas quando o líquido, inicialmente compreendido entre A_1 e A_2 , se move para a região entre $A_1 + \Delta x_1$ e $A_2 + \Delta x_2$?

Equação de Bernoulli

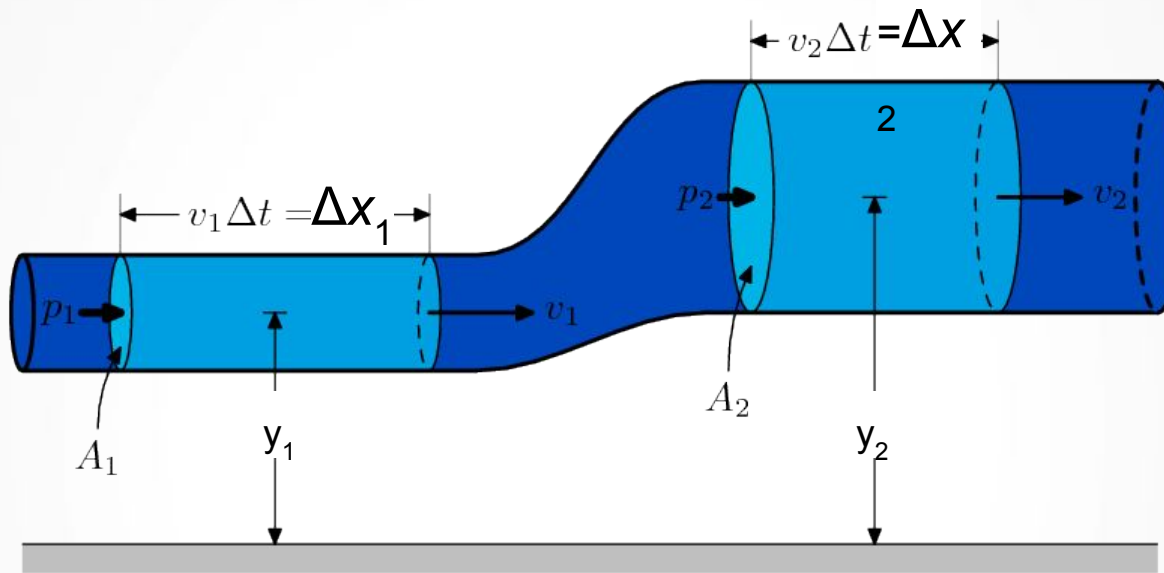


Conservação de Energia: $\Delta E^{cin} + \Delta U = W^{ext}$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = W^{ext}$$

Equação de Bernoulli

Considere o **trabalho** W^{ext} realizado **sobre** o fluido enquanto ele se desloca



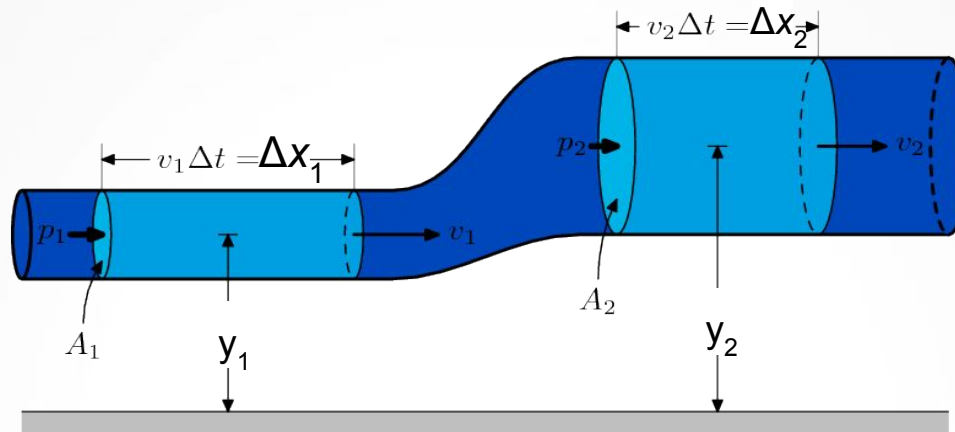
$=0$ (forças \square desloc)

$$W^{ext} = W_1 + W_2 + \cancel{W^{lateral}}$$

$$W_1 = \square F_1 \Delta x_1 = P_1 A_1 \Delta x_1 = \square P_1 V$$

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

Equação de Bernoulli

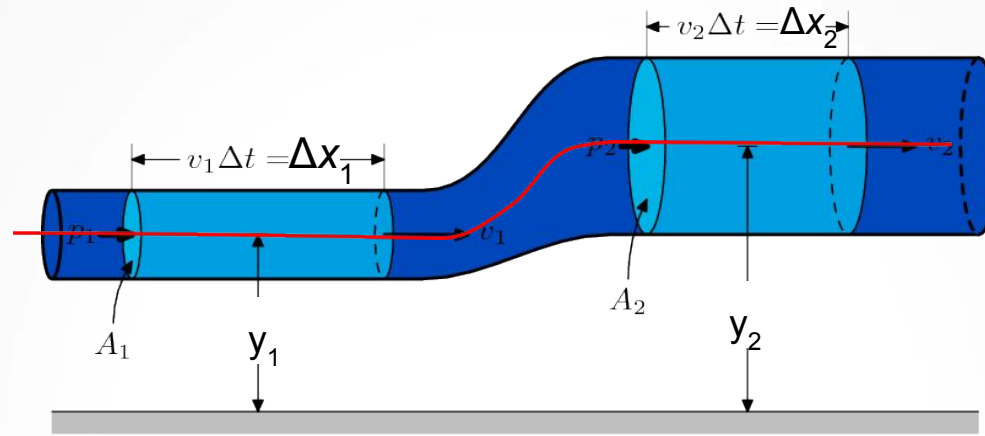


Conservação de Energia: $\Delta E + \Delta U = W^{ext}$

$$W^{ext} = W_1 + W_2 = P_1 V - P_2 V$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = P_1 V - P_2 V$$

Equação de Bernoulli



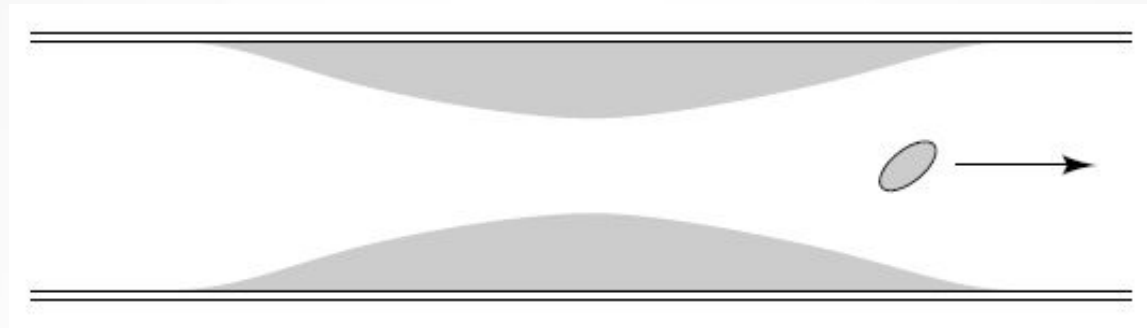
$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = P_1V - P_2V$$

Equação de Bernoulli

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

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

Teste Conceitual 15.13



Uma plaqueta é carregada pelo fluxo de sangue através de uma artéria coronária que está parcialmente bloqueada por depósitos nas paredes. Quando a plaqueta sai da região estreita e passa para a região mais larga ela sente

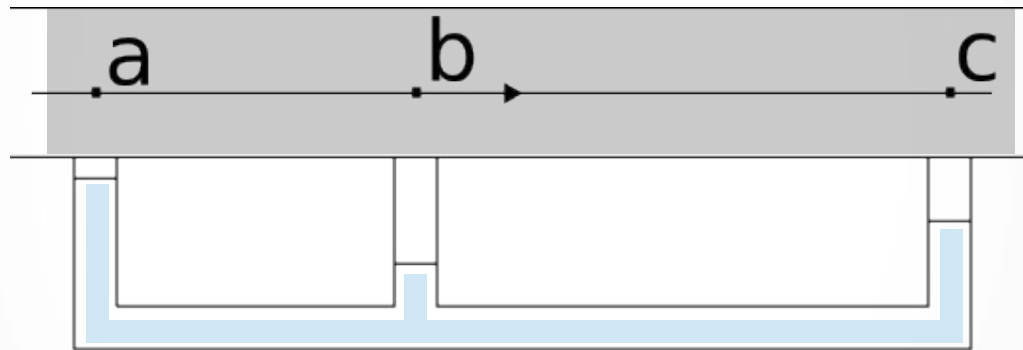
- A) um aumento na pressão
- B) nenhuma mudança na pressão
- C) uma queda na pressão.

Teste Conceitual 15.14

Gás flui no tubo cinza abaixo, o qual tem variações internas de diâmetro que não podem ser vistas diretamente.

Qual a sequência correta entre as velocidades do gás nos pontos a, b, c?

Obs: assumamos que podemos usar a eq. de Bernoulli



(A) $v_a < v_b < v_c$

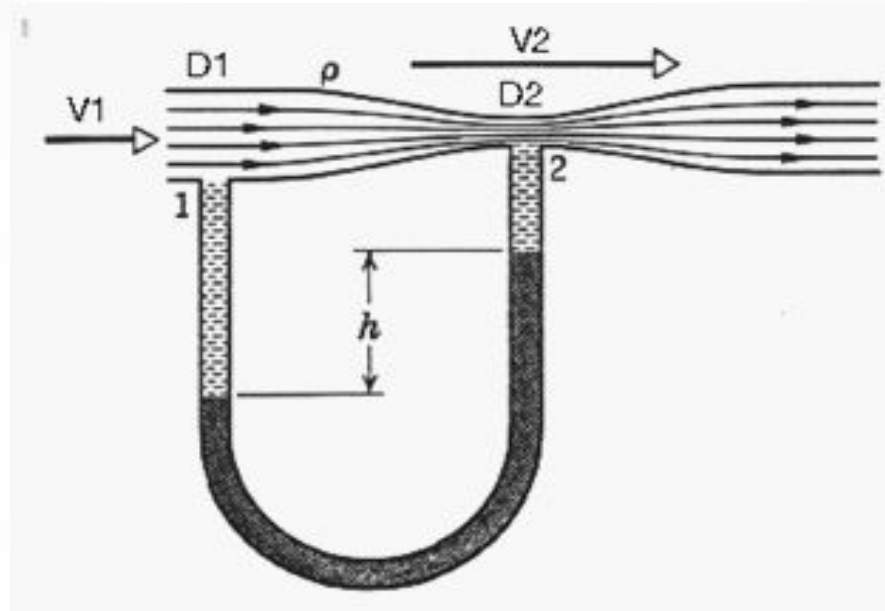
(B) $v_a < v_b > v_c$

(C) $v_a > v_c > v_b$

(D) $v_a < v_c < v_b$

Aplicação: Tubo de Venturi

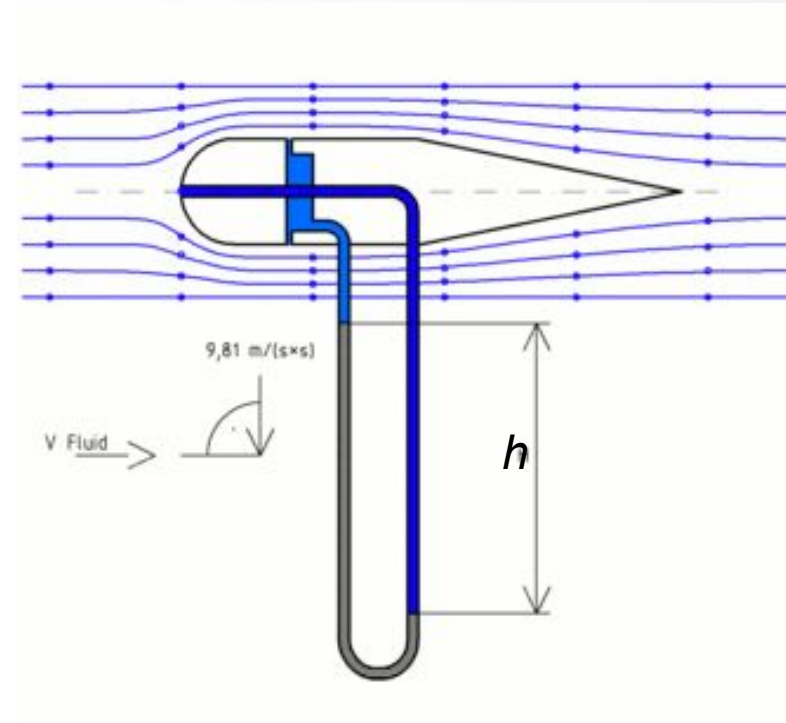
(mede a velocidade de gases)



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

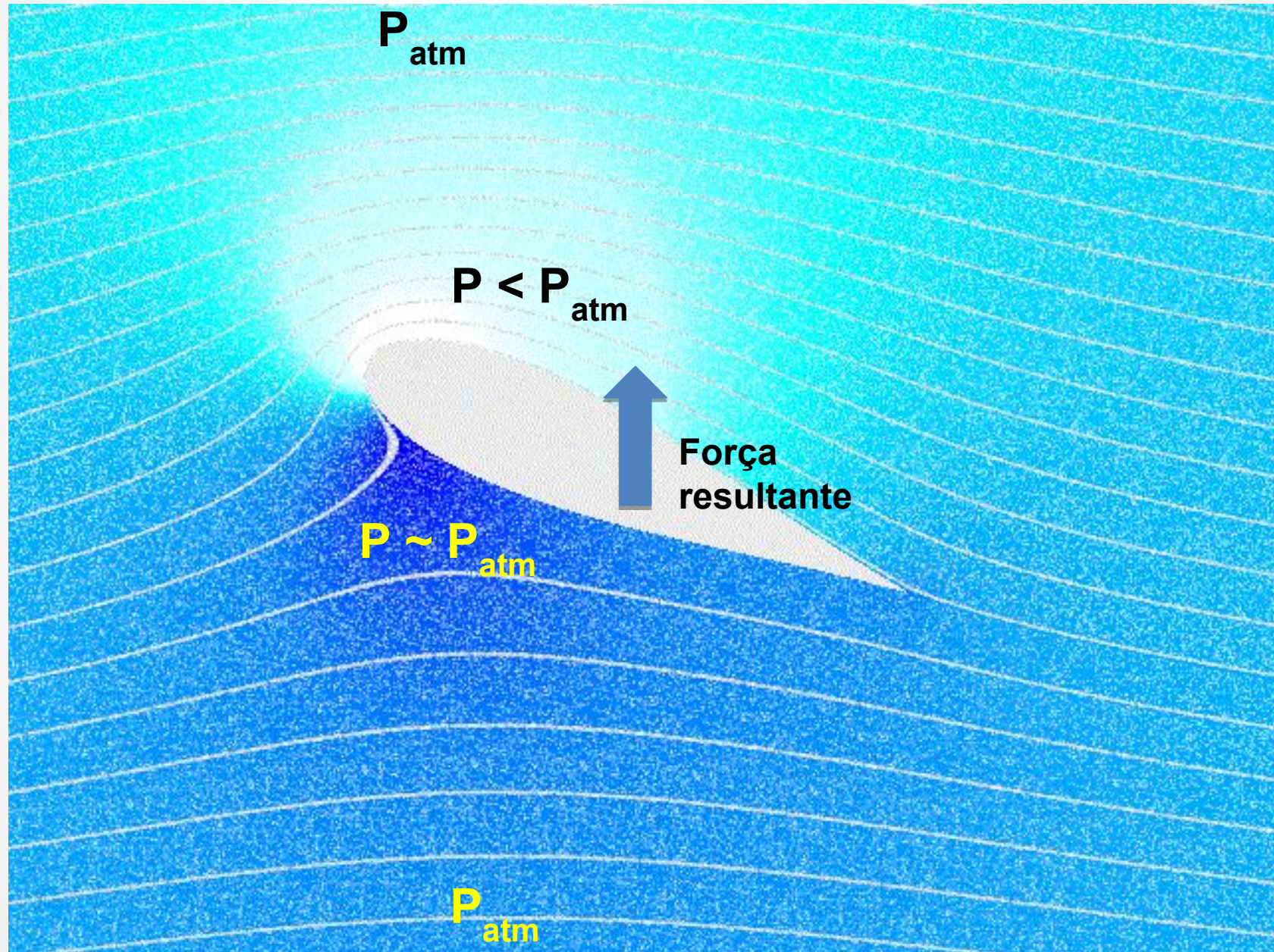
Aplicação: Tubo de Pitot

(medidor da velocidade de fluidos ao redor de um objeto)



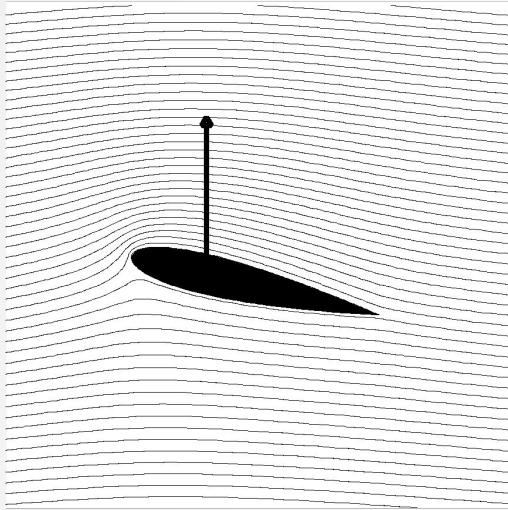
$$v = \sqrt{2 \frac{\rho_{\text{líq}}}{\rho_{\text{ar}}} gh}$$

Aplicação: Asa de avião

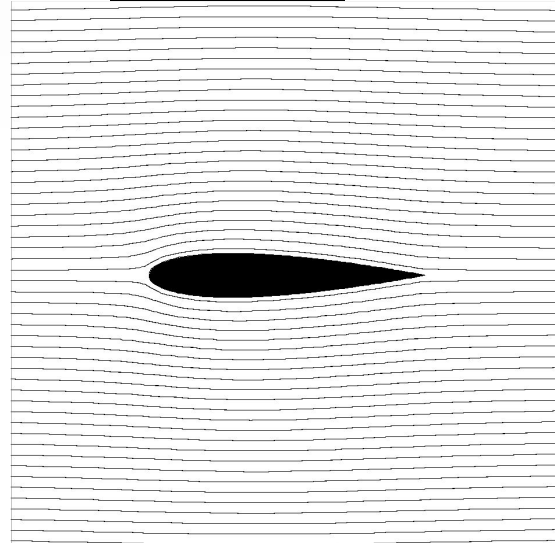


Aplicação: Asa de avião

Fluxo ao redor de uma asa simétrica



(a)



(c)

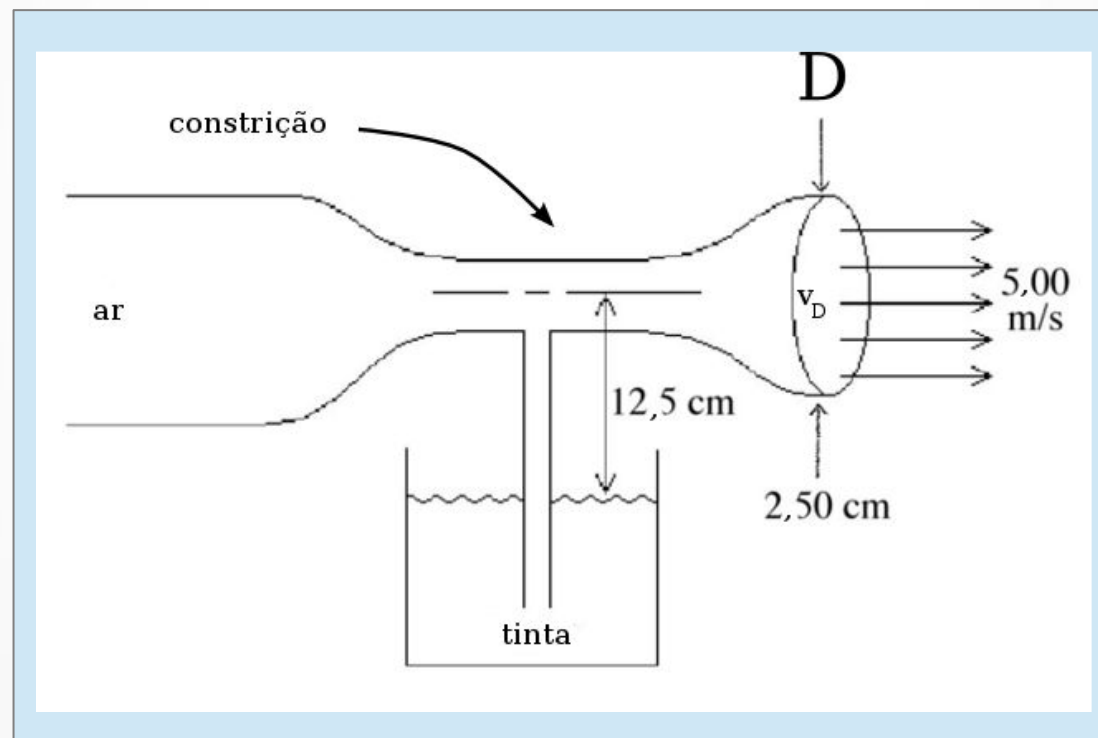
Dependendo do 'ângulo de ataque' (angulação com a direção de movimento do avião, a mesma asa pode gerar

- a) força resultante para cima (flutuação)
- b) zero força resultante
- c) até uma força resultante para baixo! (útil em aerofólios de carros de F1...)

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 a outro tubo parcialmente inserido na tinta. A tinta fica contida num reservatório aberto ao ar externo.

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



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?