

O ar está pesado

Fim de semana, Gaspar vai à praia. Ele mora numa cidade distante do mar, não só distante, como também mais alta do que o mar: é preciso descer a serra. Num momento, durante a descida da serra, Gaspar teve a sensação de ensurdecer: seus ouvidos ficaram tapados.

Você já teve essa sensação? O que se faz normalmente é bocejar ou engolir para que a sensação estranha desapareça! Por que e como isso acontece?



Muito prazer: atmosfera

Na Aula 12, você aprendeu que todos os objetos se atraem e os que estão próximos à Terra são atraídos para sua superfície.

Envolvendo a Terra existe uma camada formada por gases. Essa camada recebe o nome de **atmosfera** (Figura 1). A atmosfera contém, entre outros gases, oxigênio, que é essencial à vida.

Os gases são formados por conjuntos de átomos, chamados de **moléculas**. Essas moléculas possuem massa e são atraídas para a Terra, mantendo-se, assim, ao seu redor.

Existem muitas dessas moléculas envolvendo a Terra e sendo atraídas na sua direção.

Cada uma delas é extremamente leve, pois sua massa é muito pequena, mas, como existem muitas delas, o peso de todas juntas é considerável.

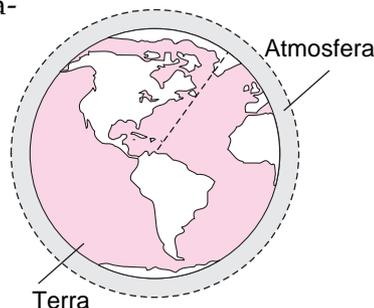


Figura 1



“Não me faça pressão”

Durante a descida da serra, Alberta, a esposa de Gaspar, disse: “Gaspar, no próximo sábado iremos comprar um fogão novo. Não me venha com desculpas. Caso contrário não cozinharei mais!”

E Gaspar respondeu: “Querida, por favor, não me faça **pressão**.”

Nesse diálogo do cotidiano, Gaspar usou a palavra **pressão**. Pressão é também um conceito físico e vamos discutir o seu significado mais adiante. Antes, vamos verificar o que **pressão** significa, no contexto acima.

Nessa situação, Alberta está tentando **forçar** Gaspar a comprar um fogão novo, pois, ao que parece, ele não está com muita vontade.

No dicionário encontramos, entre outros, estes significados:

PALAVRA	SIGNIFICADO
Pressão	Coação, ato de pressionar.
Pressionar	Coagir, fazer pressão sobre algo.
Forçar	Conquistar, obter por força, levar alguém a fazer algo contra a sua vontade.

Observe que, nessa situação, foram utilizadas duas palavras relacionadas a dois conceitos físicos: **força**, que você já conhece, e **pressão**. No texto acima, é ainda possível perceber que **força** e **pressão** estão relacionadas, mas não têm o mesmo significado, não são sinônimos.

Em Física isso também acontece. Os conceitos de força e de pressão estão relacionados, mas **não são a mesma coisa!**

Vamos analisar o significado de **pressão** na Física e qual sua relação com o conceito de **força**.

Com a mão
na massa

Pegue um alfinete e um lápis (com a extremidade sem ponta) e empurre-os contra uma folha de papel colocada sobre uma mesa. Procure empurrá-los com a mesma força. Você notou alguma diferença sobre o papel?

Veremos adiante como sua observação está relacionada ao conceito de pressão. Antes, vejamos outro exemplo:

Passo-a-passo

Se você já passou pela experiência de pregar um prego na parede (se ainda não passou, experimente!), deve ter notado que os bons pregos têm uma ponta bem fina na extremidade, e não uma extremidade reta, como se pode ver na Figura 2. Qual dos dois pregos penetra mais facilmente na parede?

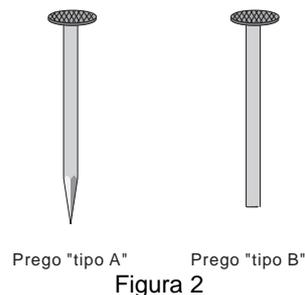


Figura 2

Se você martelar os dois pregos contra a parede, verá que o prego pontudo entrará na parede com mais facilidade.

Por que isso acontece? Qual é a diferença entre as duas situações?

Em ambas as situações, a força que fazemos com o martelo é transmitida pelo prego à parede. Vamos supor que essa força seja igual nas duas situações.

A única diferença é o tamanho da superfície de contato, isto é, da região do prego que encosta na parede. Em outras palavras, a **área onde a força é aplicada é diferente nas duas situações**.

Então, o efeito desejado (que o prego entre na parede) será melhor quanto menor for a área de contato entre o prego e a parede, isto é, quanto mais pontudo for o prego.

O prego pontudo entra na parede com mais facilidade porque a **pressão que ele exerce sobre a parede é maior**. Assim, **quanto menor for a área** de aplicação da força, mais facilmente o prego entrará na parede, pois **maior será a pressão** que ela exercerá sobre a parede.

Se usarmos dois pregos iguais (pontudos), veremos que, **quanto maior for a força aplicada**, mais facilmente o prego entrará na parede, pois **maior será a pressão**. Portanto, quanto maior a força aplicada numa superfície, maior será a pressão da força exercida sobre essa superfície.

Então, podemos juntar as duas observações e dizer que:

- a pressão é **inversamente proporcional** à área;
- a pressão é **diretamente proporcional** à força.

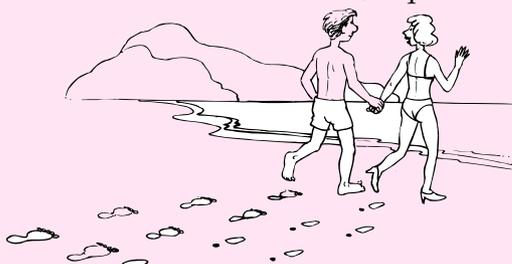
Matematicamente, a pressão (p) é definida como:

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

Agora é possível entender por que, quando se empurra o alfinete e o lápis contra o papel, com a mesma força, o alfinete fura o papel, ou ao menos deixa uma marca, e o lápis não faz nada: **a pressão do alfinete sobre o papel é maior**.

Você sabia?

Por causa da pressão, é difícil caminhar na areia com sapatos de salto fino. É muito mais fácil andar com os pés descalços. Devido ao nosso peso, nossos pés exercem pressão sobre a areia. Quando andamos descalços, a superfície de contato, onde a força é aplicada (área dos pés), é maior do que quando andamos com os sapatos (Fig. 3), de forma que a pressão será menor e afundaremos menos, o que facilita a caminhada.



• Figura 3

Pela mesma razão, podemos nos deitar numa cama de pregos. Quando nos deitamos, o nosso peso se distribui por uma área grande e, dessa forma, a pressão de cada prego é pequena, e não nos fere. Se, por outro lado, ficássemos em pé sobre a cama, com certeza iríamos nos machucar, pois agora o nosso peso estaria distribuído por uma área bem menor (dos pés) e, assim, a pressão seria bem maior.

Pressão, atmosfera... pressão atmosférica...

Afinal, qual a relação entre as coisas que discutimos: os pregos, a força, a pressão, a atmosfera, e o ouvido do Gaspar?

A conversa a respeito dos pregos serviu para que você aprendesse sobre o conceito de pressão. Para existir pressão, é preciso que uma força seja aplicada a uma superfície, portanto, quando se fala em pressão, entendemos **pressão de uma força sobre uma superfície**.

Vimos como a pressão varia quando variamos a força e a área; portanto, podemos afirmar que:

A pressão de uma força aplicada a uma superfície (ou simplesmente pressão), é igual à intensidade da força aplicada, dividida pela área da superfície onde essa força é aplicada.

Como vimos no início da aula, ao nosso redor e acima de nossas cabeças, existe ar e esse ar tem peso; logo, ele irá exercer pressão sobre as nossas cabeças. E não só sobre elas, mas sobre toda a superfície da Terra. Essa pressão é chamada de **pressão atmosférica**.

Pressão atmosférica é a pressão que a atmosfera exerce sobre a superfície da Terra.

Agora veja: se a pressão depende diretamente da força, nesse caso, o peso do ar e, esse, depende da quantidade de moléculas que existe lá para cima, então, quanto menor for a espessura da atmosfera, menor será sua pressão e vice-versa. Portanto, a pressão **atmosférica diminui com a altitude**, isto é, com a **altura do local, em relação ao nível do mar**.

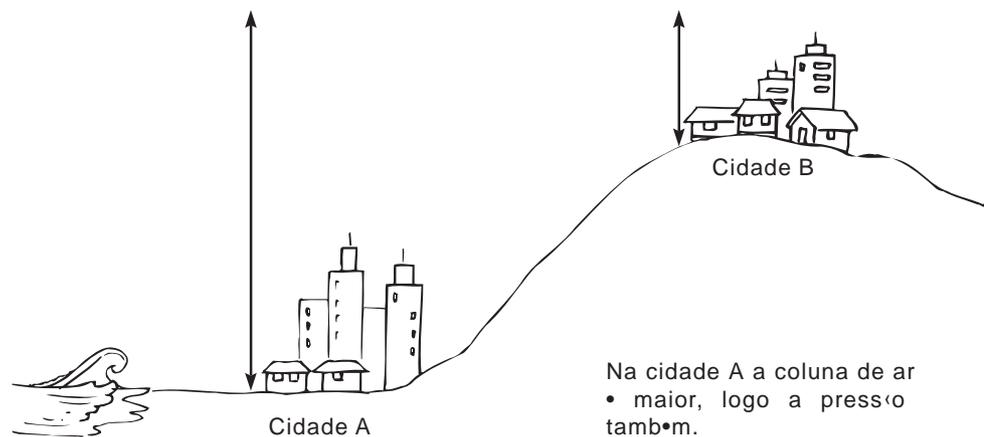


Figura 4. A coluna de ar é maior na cidade A, portanto a pressão também é maior.

E o que aconteceu a Gaspar? À medida que foi descendo a serra, a pressão atmosférica foi aumentando, e o seu ouvido... Vamos estudar um pouco o ouvido.

Você sabia?

No **ouvido**, existe uma pele muito fina, chamada **tímpano**, que separa o interior do ouvido da sua parte externa. Em situações normais, a pressão nos dois lados do tímpano é praticamente a mesma, de forma que ele não sente pressão.

O tímpano é uma membrana muito fina e delicada. Por isso, precisamos ter muito cuidado ao usar cotonetes e também com sons e ruídos muito intensos, para não feri-lo. O tímpano é o principal responsável pela nossa audição, e fortes agressões poderão resultar em surdez.

Você já pode imaginar o que ocorreu: à medida que a pressão atmosférica foi aumentando, a pressão do lado externo do tímpano ficou maior do que do outro lado; então, o tímpano foi pressionado e empurrado levemente para dentro. Essa foi a causa da sensação estranha no ouvido do Gaspar.

Ao engolir saliva ou bocejar, a pressão nos dois lados se torna igual novamente e desaparece a sensação desagradável.

É possível medir a pressão atmosférica?

Até o século XVII, pouco se sabia sobre a pressão atmosférica. Muitas pessoas nem acreditavam que de fato ela existia.

Um físico italiano chamado Evangelista Torricelli, por volta de 1630, realizou uma experiência que comprovou a existência da pressão atmosférica e, além disso, determinou o seu valor.

Torricelli teve uma ótima idéia: primeiro apanhou um recipiente cheio de mercúrio (aquele líquido prateado usado nos termômetros). Depois, pegou um tubo fechado de um lado e o encheu com mercúrio (Figura 5). Em seguida, tapou a outra extremidade e mergulhou o tubo no recipiente (com a parte tapada virada para baixo).

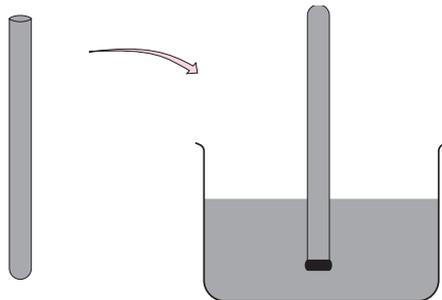


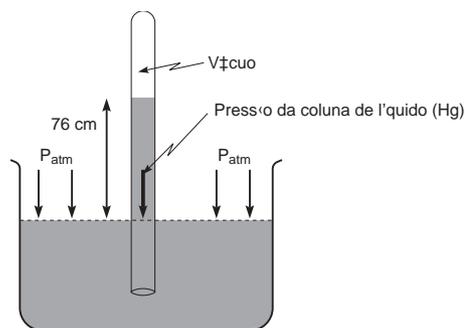
Figura 5

Ao destapar o tubo, ele observou que a coluna de mercúrio desceu até atingir uma certa altura: 76 cm.

Torricelli então concluiu que:

A pressão exercida pela coluna de mercúrio é igual à pressão atmosférica, pois ela é capaz de equilibrar a coluna.

É importante notar que, dentro do tubo, fica uma região sem ar: o **vácuo**. Se fosse feito um buraco no topo do tubo, o ar entraria e a coluna desceria, até atingir o mesmo nível do mercúrio no recipiente, pois seria pressionada pela atmosfera.



O mercúrio do tubo desce até ficar equilibrado: = P_{atm} 76 cm Hg

Figura 6. O mercúrio dentro do tubo desce até ficar equilibrado, a 76 cm de altura.

Então, Torricelli concluiu que:

A pressão atmosférica (p_{atm}) equivale à pressão exercida por uma coluna de mercúrio de 76 cm de altura.

O mercúrio é representado pelas letras Hg, então:

$$p_{\text{atm}} = 76 \text{ cmHg}$$

Note que **centímetros de mercúrio** (cmHg) é uma unidade de pressão, assim como o **quilograma** (kg) é uma unidade de massa e o **newton** (N) é de força. Foi criada uma outra unidade de pressão chamada **atmosfera** (atm) que equivale à pressão atmosférica. Então:

$$p_{\text{atm}} = 1 \text{ atm}$$

Já que 76 cmHg equivalem à pressão atmosférica, são equivalentes:

$$p_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg}$$

Para sua curiosidade, colocamos na tabela ao lado o valor da pressão atmosférica de acordo com a altitude:

O nível do mar corresponde à altitude 0 m: aí, a pressão atmosférica é máxima.

Altitude (m)	P_{atm} (cmHg)
0	76
500	72
1.000	67
2.000	60
3.000	53
4.000	47
5.000	41
6.000	36
7.000	31
8.000	27
9.000	24
10.000	21

Chegando ao mar: um bom mergulho!

Finalmente, Alberta e Gaspar chegaram à praia.

O mar estava um pouco agitado e Gaspar sabe nadar muito bem. Pegou sua máscara de mergulho e foi direto para a água.

Gaspar mergulhou fundo. De repente... "Ai, que dor no ouvido!" Desta vez não foi só uma sensação estranha, doeu pra valer. Sabe por quê?

Conforme você aprendeu, quando uma força é aplicada sobre uma superfície, ela exerce pressão. Viu também que existe uma "coluna de ar" sobre nossas cabeças e que, como tem peso, também exerce pressão sobre nós.

O que acontece quando mergulhamos na água? Acima de nossas cabeças existe, **além** da coluna de ar, uma coluna de água. Essa coluna de água **também tem peso** e, portanto, também **exerce pressão sobre nós**. Pobre tímpano! Então:

**A pressão no fundo do mar é igual
à pressão atmosférica *mais* a pressão da coluna de água!**

E isso serve para qualquer situação onde existe um líquido: a pressão, numa certa profundidade do líquido, é igual à pressão atmosférica mais a pressão da coluna do líquido acima daquele ponto.

O valor da pressão atmosférica nós já conhecemos, mas como se calcula a pressão da coluna de líquido?

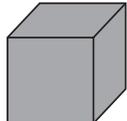
Já sabemos que **pressão** é a relação entre **a força aplicada e a área**. Assim, o primeiro passo para obter o valor da pressão da coluna de água é calcular a força que ela faz, isto é, o seu peso. De acordo com o que você aprendeu na Aula 12, o peso será dado pelo produto da massa (m_{liq}) da coluna pela aceleração da gravidade (g).

$$P_{liq} = m_{liq} \cdot g$$

E agora temos um outro problema: como calcular a massa da coluna de líquido? Para isso, vamos precisar de uma outra grandeza física: a **densidade**.

Você já deve ter ouvido falar: “a densidade da população na cidade X é de **2 habitantes por metro quadrado**”. Isso quer dizer que, nessa cidade existem, **em média**, dois habitantes para cada metro quadrado de terreno.

Então, **densidade** é uma quantidade (que pode ser o número de pessoas, a massa de algum objeto etc.) dividida pela região que ela ocupa (pode ser a área ocupada pela população, o volume do objeto etc.). Portanto é possível utilizar densidade de várias formas, observe a tabela abaixo.

TABELA 2		
TIPO DE DENSIDADE	DEFINIÇÃO DA DENSIDADE	UNIDADE DA DENSIDADE
Densidade de habitantes 	Número de habitantes dividido pela área que eles ocupam Ex.: 6 habitantes, área = 3 m ² d = 2 habitantes/m ²	número de habitantes/ m ²
Densidade de massa de um objeto 	Massa do objeto dividida pelo volume que ele ocupa Ex.: massa = 4 kg, volume = 2 m ³ d = 2 kg/m ³	$\frac{\text{unidade de massa}}{\text{unidade de volume}}$ Ex.: kg/m ³ , g/cm ³ etc.

Normalmente, quando falamos da **densidade de um objeto** referimo-nos a sua densidade de massa, que é a relação entre a sua massa e o seu volume. Nesse caso, a densidade é também chamada de **massa específica**, pois ela nos diz a quantidade de massa que existe numa unidade de volume.

Por exemplo: “a densidade do gelo é 0,92 g/cm³ significa que em cada cm³ de gelo existem 0,92 gramas de gelo”. Ou “a densidade da água é 1,0 g/cm³ significa que em cada cm³ de água existe 1,0 grama de água”.

A densidade de um material depende da temperatura e da pressão a qual está sujeito. Normalmente, quando nada é falado, a densidade foi medida estando o objeto a zero grau sob a pressão de 1 atm. A tabela ao lado mostra o valor da densidade de alguns materiais.

TABELA 3	
Material	Densidade (gramas/cm ³)
Ar	0,0013
Gasolina	0,70
Gelo	0,92
Água pura	1,00
Água do mar	1,03
Ferro	7,60
Mercúrio	13,6
Ouro	19,3

Um fato importante é que a densidade de um objeto não depende do seu tamanho, já a massa depende: quanto maior o objeto, maior é a sua massa. Mas a **densidade é a mesma**, não importam as dimensões do objeto, mas de que tipo de material ele é formado. Por exemplo, a densidade da água é a mesma, não importa se é uma gota ou uma garrafa.

Para representar a densidade, ou massa específica, normalmente se utiliza a letra d . Escreve-se a densidade de um objeto como:

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

onde m representa a massa e V o volume do objeto.

Voltando ao mar

Observe a figura do Gaspar no fundo do mar. Nela, desenhamos uma coluna de água. Vamos calcular a pressão exercida pela coluna. Para isso, precisamos calcular o seu peso, utilizando o conceito de densidade.

Usando a definição de densidade, podemos escrever a massa da coluna como o produto da densidade do líquido pelo volume da coluna:

$$m_{\text{coluna}} = d_{\text{líquido}} \cdot V_{\text{coluna}}$$

Para calcular o volume da coluna, basta multiplicar a área da sua base (A_{base}) pela sua altura (h_{coluna}), que é a profundidade onde o Gaspar se encontra:

$$V_{\text{coluna}} = A_{\text{base}} \cdot h_{\text{coluna}}$$

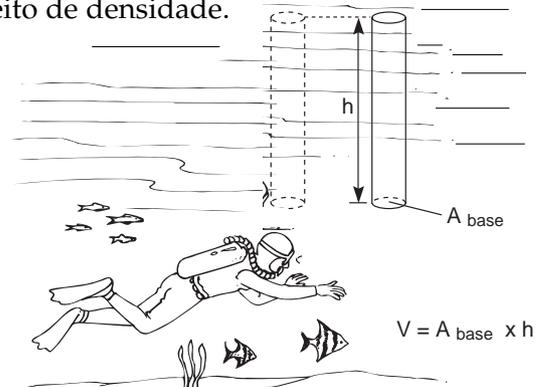


Figura 9. No fundo mar, o Gaspar está suportando a pressão de uma coluna de água.

Então, substituindo o volume, podemos escrever a massa como:

$$m_{\text{coluna}} = d_{\text{líquido}} \cdot A_{\text{base}} \cdot h_{\text{coluna}}$$

Ótimo! Agora, basta lembrar que a pressão é força dividida pela área:

$$p = \frac{F_{\text{coluna}}}{A_{\text{base}}}$$

e que, nesse caso, a força é o peso da coluna:

$$P = m_{\text{coluna}} \cdot g, \text{ assim:}$$

$$p = \frac{P}{A_{\text{base}}} = \frac{m_{\text{coluna}} \cdot g}{A_{\text{base}}}$$

Utilizando a expressão encontrada para a massa:

$$p = \frac{d_{\text{líquido}} \cdot A_{\text{base}} \cdot h_{\text{coluna}} \cdot g}{A_{\text{base}}}$$

Veja que estamos multiplicando e dividindo pela área da base, assim podemos eliminar a área, obtendo finalmente:

$$p = d_{\text{líquido}} \cdot g \cdot h_{\text{coluna}}$$

Essa é a pressão exercida pela coluna de água sobre o Gaspar.

Mas lembre-se de que, além da água, existe a atmosfera. Assim, a pressão **total** sobre o ponto onde está o Gaspar será:

$$p = p_{\text{atm}} + d_{\text{líquido}} \cdot g \cdot h_{\text{coluna}}$$

Essa expressão determina a pressão num ponto, a uma profundidade h , no interior de um líquido de densidade d . Esse fato é conhecido como **lei de Stevin**, em homenagem ao físico Simon Stevin, responsável pela sua dedução.

Então, Gaspar sentiu uma forte dor no ouvido quando mergulhou fundo, porque a pressão nos seus tímpanos aumentou à medida que ele afundou no mar.

Qual o valor da pressão onde Gaspar mergulhou?

Imagine que Gaspar tenha descido até uma profundidade de 5 m. A pressão da coluna de água será dada pela expressão: $p = d \cdot g \cdot h$. Sabemos que $g = 10 \text{ m/s}^2$, $h = 5 \text{ m}$ e a densidade da água do mar é $d = 1,03 \text{ g/cm}^3$.

Agora, basta fazer a conta? Não. É preciso ter muito **cuidado com as unidades**. Elas precisam ser **equivalentes**. Veja que g e h utilizam unidades do SI, mas d não. Por isso, deve-se fazer uma **transformação de unidades**. Precisamos escrever a densidade em kg/m^3 .

$$d = 1,03 \text{ g/cm}^3 = 1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Agora, fazendo a conta obtemos o seguinte resultado:

$$p = 1,03 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 5$$

$$p = 0,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Então, a pressão total sobre Gaspar, que está no mar a 5 m de profundidade será:

$$P = P_{\text{atm}} + P_{\text{líquido}}$$

$$p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 + 0,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1,5 \text{ atm}$$

Note que essa pressão é 1,5 vez maior do que a pressão atmosférica. Foi por isso que o ouvido de Gaspar doeu.

Igualando unidades

Observe que utilizamos uma outra unidade para pressão, o **newton por metro quadrado** (N/m^2). Ela vem da definição de pressão, quando se utilizam as grandezas no SI (ver Aula 2): $p = F \text{ (newtons)}/A \text{ (m}^2\text{)}$. Como se relaciona essa unidade com a unidade **atmosfera**, que equivale a **76 cmHg**?

Sabemos que a pressão da coluna de mercúrio pode ser escrita como $p = d_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h_{\text{Hg}}$. Conhecemos todos esses valores: $d_{\text{Hg}} = 13,6 \text{ g/cm}^3$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $h_{\text{Hg}} = 76 \text{ cmHg}$. Para encontrar o valor da p_{atm} nas unidades do SI (N/m^2), basta transformar todas as unidades para as unidades do SI (kg , m , s) e fazer a conta:

$$d_{\text{Hg}} = 13,6 \text{ g/cm}^3 = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ e } h_{\text{Hg}} = 76 \text{ cmHg} = 0,76 \text{ m}$$

Portanto, $p_{\text{atm}} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ nas unidades do SI.

Então, são equivalentes: $1 \text{ atm} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 76 \text{ cmHg}$

Nesta aula, você aprendeu que:

- sempre que uma força é aplicada sobre uma superfície, ela exerce uma **pressão**, que é diretamente proporcional à força e inversamente proporcional à área da superfície onde a força é aplicada. Matematicamente: $p = F/A$;
- por ter peso, a atmosfera exerce pressão sobre a superfície da Terra. É a **pressão atmosférica**: a pressão atmosférica varia de acordo com a altitude e é possível medir o seu valor. Ao nível do mar, ela é máxima e equivale a uma coluna de 76 cmHg (= 1 atm);



- existe uma grandeza física que nos diz a quantidade de massa de um material que existe numa unidade de volume: é a **massa específica** ou **densidade**;
- uma coluna de líquido de densidade d exerce pressão e que essa pressão vale $p = d \cdot g \cdot h$, sendo h a profundidade ou a altura da coluna;
- a **pressão no interior de um líquido** é a soma da pressão atmosférica e da pressão da coluna de líquido: $p = p_{\text{atm}} + d \cdot g \cdot h$;
- as unidades mais utilizadas de pressão são: cmHg, atm e N/m^2 . E a relação entre elas é: $76 \text{ cmHg} = 1 \text{ atm} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.



Sempre que necessário, utilize $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Exercício 1

Imagine um planeta cuja p_{atm} é aproximadamente 10 vezes menor do que na Terra. Se a experiência de Torricelli fosse realizada nesse planeta, qual seria a altura da coluna de mercúrio?

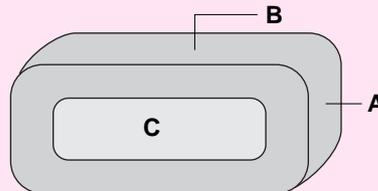
Exercício 2

O ponto mais alto do Brasil é o Pico da Neblina, com cerca de 3.000 m. Qual é o valor aproximado da pressão atmosférica no seu topo? (Consulte a tabela no texto.) Dê a sua resposta em:

- cmHg
- atm
- N/m^2

Exercício 3

As dimensões de um tijolo são aproximadamente $5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, e a sua massa 1.500 g.



- Calcule o seu volume, seu peso e sua densidade.
- Calcule a pressão que ele exerce sobre uma mesa, quando está apoiado em cada uma de suas três faces.

Exercício 4

A densidade da água do mar é aproximadamente $1,03 \text{ g/cm}^3 = 1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

- Calcule a pressão no fundo do mar, para as profundidades indicadas e complete a tabela abaixo. Não se esqueça de incluir a pressão atmosférica nos seus cálculos. Atenção às unidades. Dê o seu resultado em N/m^2 e atm.

Profundidade (m)	p (N/m^2)	p (atm)
0		
20		
40		
60		
80		
100		

- Construa um gráfico da pressão (p), em função da profundidade (h).
- Que tipo de curva você obteve?