

# 1- Conceitos Básicos

## 1-1 O Que é Um Fluido?

A primeira questão que se coloca ao estudarmos fluidos é defini-los. Existem duas formas simples de definir fluidos

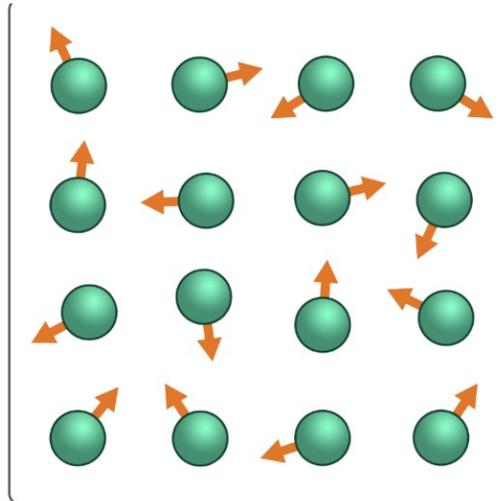
Em primeiro lugar, podemos definir fluidos como todo tipo de matéria que é capaz de ocupar um recipiente de forma que nesse processo de ocupação ele adquira a forma do recipiente.



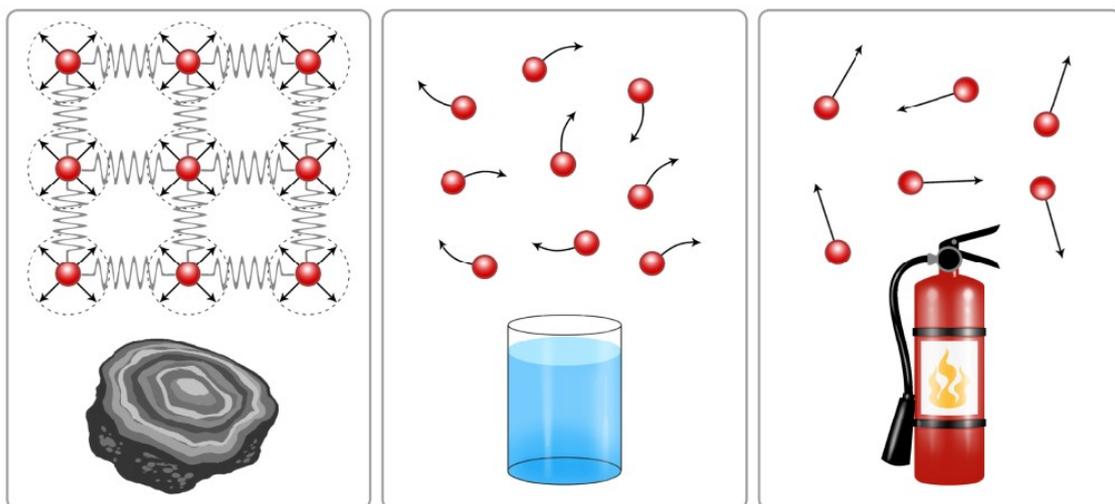
Assim se tivermos num recipiente esférico um fluido como a água, ele há de preencher este recipiente até uma determinada altura se ajustando ao formato do recipiente.



A mesma coisa com respeito a um gás. Aliás, um gás é capaz de preencher todo o espaço que estiver disponível. Por exemplo, ele pode ocupar todo o quarto de uma casa. É isso que acontece com o ar que respiramos e que está em todos os lugares.



Outra forma de definir fluidos é lembrar agora os 3 estados da matéria: o estado sólido, o estado líquido e o estado conhecido como gás. Vapor é um gás feito de moléculas da água.



Os sólidos são deformáveis, mas desde que se aplique a eles forças muito intensas. De outra forma, dizemos que os sólidos não são deformáveis. No entanto um líquido para se colocar em movimento basta uma força diminuta aplicada a ele.

A rigor o que caracteriza um fluido é sua capacidade de fluir. Daí a razão para o nome fluido.



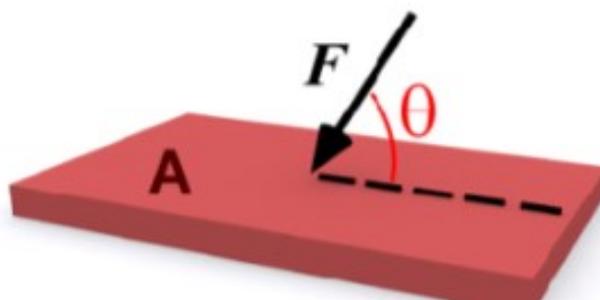
<https://www.nasa.gov/>

A água flui com facilidade. É o fluido mais importante, para nós os seres humanos. Objetos podem se movimentar quando imersos num fluido. Podem, também, flutuar.



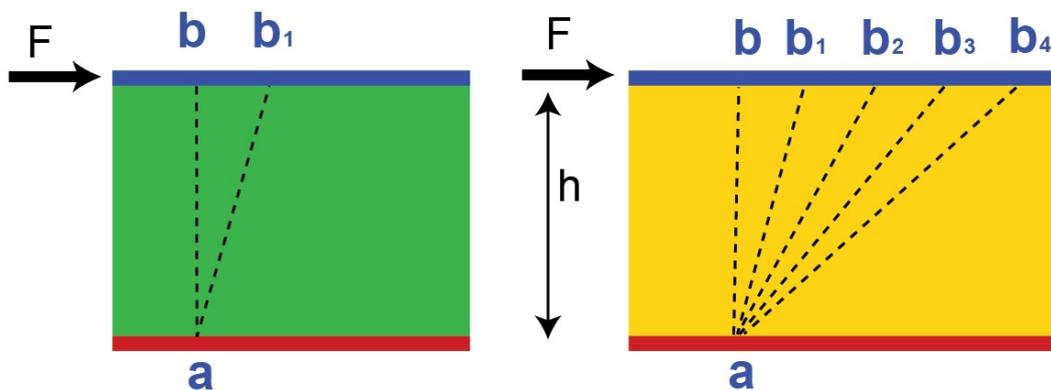
### 1.1.1- O que faz um fluido se colocar em movimento?

Para colocarmos um fluido em movimento, devemos aplicar forças tangenciais a ele. O que é mais relevante é a componente tangencial da força.

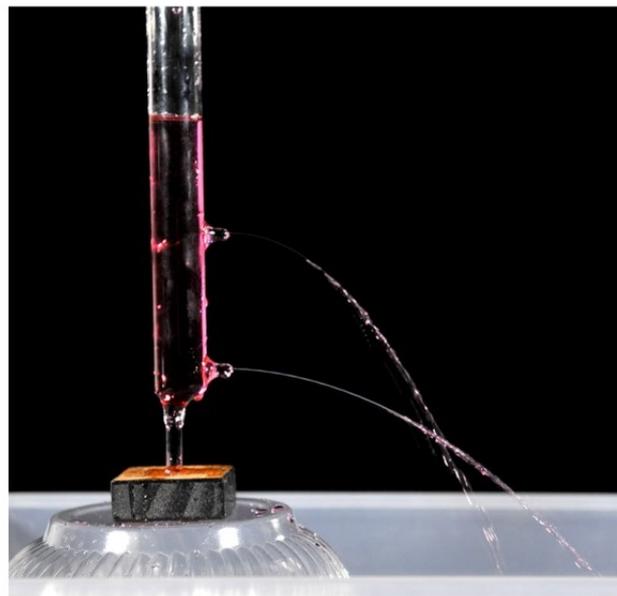


Definimos tensão de cisalhamento, como sendo o quociente entre a componente tangencial da força aplicada ao fluido, dividida pela área. Isto è

$$\tau = \frac{F_t}{A} = \frac{F \cos \theta}{A}$$



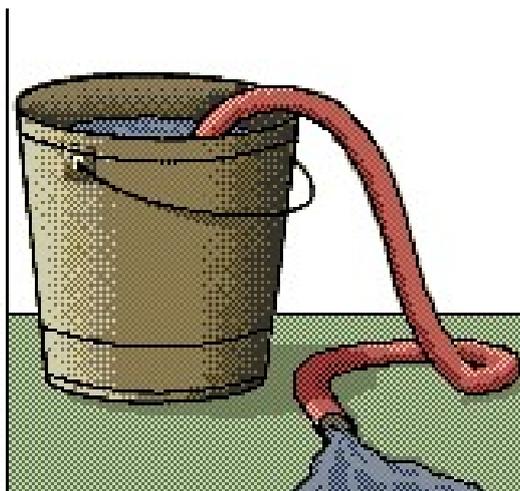
Sólidos se deformam pouco quando submetidos a uma tensão de cisalhamento. Fluidos se deslocam muito quando submetidos à mesma tensão de cisalhamento.



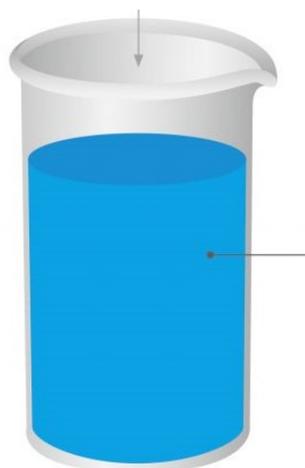
### 1.1.2- A Mecânica dos Fluidos

A área da física que se preocupa em entender o movimento dos fluidos é denominada mecânica dos fluidos. Também conhecida como fluidodinâmica.

Trata-se de uma área que requer conhecimentos aprofundados de matemática. Um fluido em movimento tem uma descrição bastante complexa do ponto de vista matemático.



A situação mais simples é quando o fluido se encontra em repouso. Nesse caso dizemos hidrostática é a área do conhecimento que estuda os fluidos nessas circunstâncias.

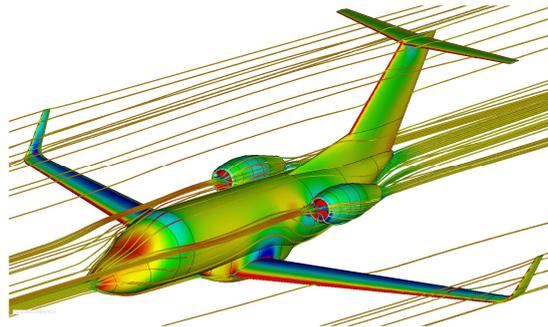


Fluido em repouso

Presenciamos no dia a dia o movimento de um fluido precioso. Trata-se do ar, que constitui a atmosfera terrestre. Seus movimentos muitas vezes levam a fenômenos assustadores como os furacões.

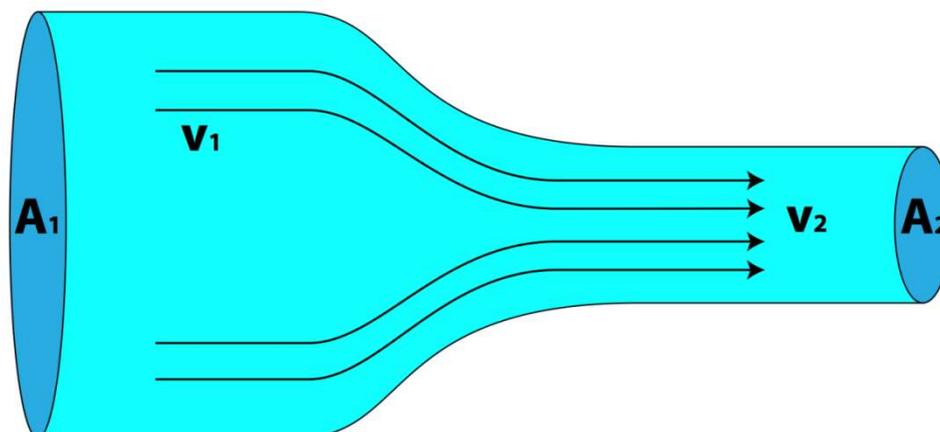


Fluidos se movimentam quando aplicamos forças a ele. Melhor dizendo, quando aplicamos uma pressão, ou uma tensão de cisalhamento (uma força tangencial à superfície do fluido, por exemplo), a ele. Temos também interesse em estudar o movimento de objetos que se deslocam num fluido, como os aviões.



[termoflow.com/jobs/detail/bachelor-master-thesis-in-computational-fluid-dynamics-cfd-1](http://termoflow.com/jobs/detail/bachelor-master-thesis-in-computational-fluid-dynamics-cfd-1)

O movimento dos fluidos levam a várias surpresas. Uma delas é a variação da sua velocidade ao longo do percurso do fluido.



Estudar estes movimentos requer a solução de equações muito complexas e que seriam necessárias para desvendar o mistério em torno da previsão do tempo.



### 1.1.3- O Estado de um Fluido

O estado de um sistema físico é definido a partir de um conjunto de grandezas escolhidas de forma a caracterizá-lo inteiramente. Ou seja, é o conjunto de informações necessárias, e completas, para especificar o sistema.

Para caracterizarmos o estado dos fluidos mais simples, aqueles aqui estudados, devemos especificar cinco variáveis. Estas variáveis são a velocidade  $\vec{v}$  (as três componentes da mesma), a pressão  $P$  e, no mais das vezes, a densidade de massa do fluido, indicada por  $\rho$ . Deveríamos, a rigor, incluir outras grandezas físicas visando uma descrição mais completa de um fluido. Por exemplo, a energia do fluido, ou sua entropia. No entanto, o escopo desse estudo é bem mais limitado. Com isso não podemos ter a pretensão de estudar, por exemplo, o transporte de calor num fluido. A evolução dessas grandezas é determinada a partir das soluções das equações descrevendo a dinâmica dos fluidos.

A omissão da temperatura para caracterizar o estado de um fluido é, em princípio, menos grave, uma vez que dadas a densidade de um fluido e sua pressão seria em princípio viável, fazendo uso da equação de estado, determinar sua temperatura. No entanto, enfatizamos que não levaremos em conta processos de transferência de calor e, conseqüentemente, não nos preocuparemos com essa variável na caracterização dos fluidos.

Quaisquer das grandezas a seguir consideradas são, a rigor, campos que variam de acordo com o ponto do espaço e com o tempo. Para caracterizar um ponto do fluido devemos adotar um referencial cartesiano.

Campos são, necessariamente, associados a grandezas físicas que variam de ponto a ponto no espaço e, eventualmente, do tempo. Esse é o caso de uma distribuição de grandezas físicas no espaço, como a distribuição de temperaturas na atmosfera terrestre. Se as grandezas têm um caráter escalar, o mesmo acontece com o campo. Analogamente, podemos

introduzir o conceito de campo vetorial para descrever a variação ponto a ponto de grandezas vetoriais como, por exemplo, a distribuição de velocidades do ar na atmosfera terrestre.

### Caracterizando o estado de um fluido

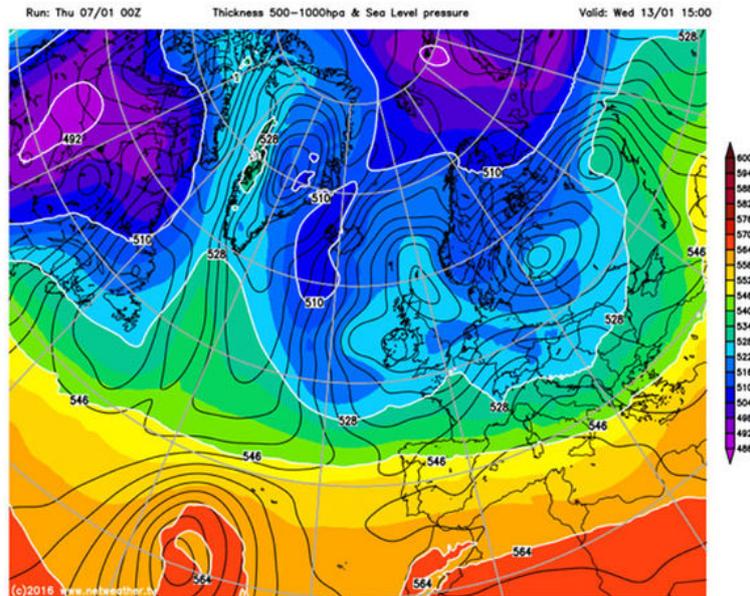
- **Velocidade**  $\vec{v}$
- **Pressão**  $P$
- **Densidade**  $\rho$

## 1-2 Relevância do Estudo dos Fluidos

O estudo dos fluidos se reveste de uma relevância muito maior do que parece a primeira vista, porquanto 2/3 da superfície terrestre está sob a forma de um fluido, a água. Sim, 2/3 da superfície são preenchidas por um fluido precioso para nós seres humanos.



Mas, veja-se que estamos por outro lado inseridos num fluido conhecido como ar. Aqui estamos falando da atmosfera terrestre.



Fato é que essa área do conhecimento é fundamental na previsão do tempo por exemplo.

Portanto, entender, por exemplo, o movimento das ondas do mar, o movimento de grandes massas acima da superfície terrestre e especialmente os movimentos que se dão e que tem grande relevância em relação às mudanças climáticas. Estamos, portanto diante de uma área do conhecimento que é fundamental para nós.



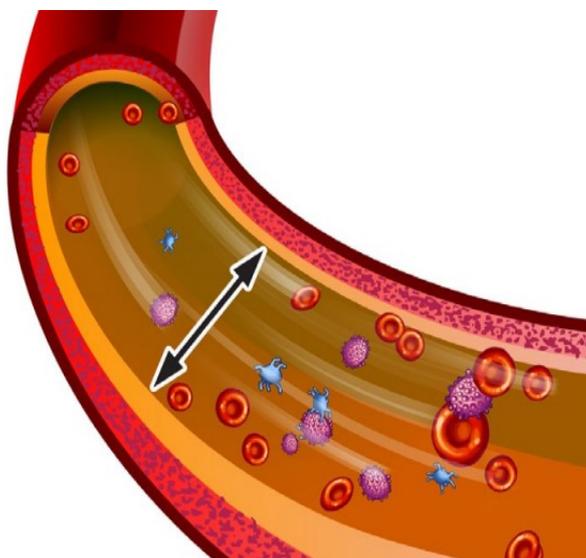
É claro que podemos tentar entender fenômenos relativamente simples como à formação de vórtices numa pia esse é um fenômeno bastante comum.



Mas a mecânica dos fluidos é relevante também em relação ao estudo do movimento de objetos nele inseridos. Nesse aspecto queremos chamar a atenção para uma área de física aplicada, da hidrodinâmica aplicada, que é o estudo da aerodinâmica. O estudo da aerodinâmica é fundamental para que os projetistas consigam projetar aviões bólidos, automóveis especialmente aqueles da fórmula 1, para que eles tenham um bom desempenho.



Assim é que a mecânica dos fluidos pode ser relevante também para o estudo de um fluido precioso que percorre o nosso corpo, o sangue. Esse fluido exerce uma pressão, que pode ser determinada.



Assim são muitas as aplicações da mecânica dos fluidos.



Como entender o movimento dos aviões e como podemos melhorá-los. Um problema típico da aerodinâmica.

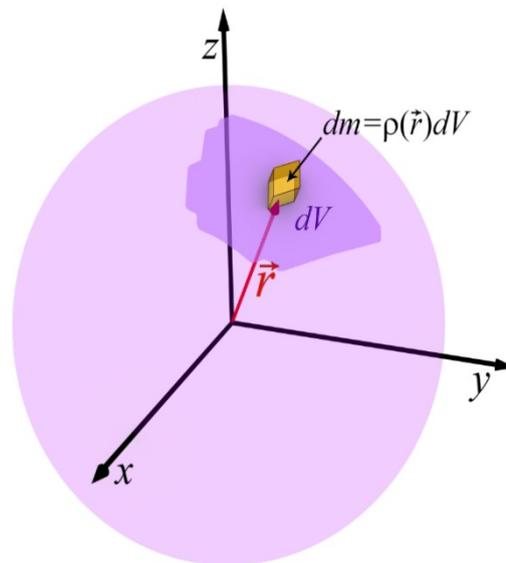
### 1-3 Densidade, ou Massa Específica

Um dos conceitos mais importantes na mecânica dos fluidos é o conceito de massa específica e que de agora em diante também será designada utilizando o termo densidade.

Do ponto de vista formal é melhor definirmos a densidade considerando um pequeno elemento de volume do fluido, que vamos designar  $dV$ . Esse elemento de volume contém uma massa do fluido que vamos designar por  $dm$ . Assim podemos definir a densidade como sendo a relação entre essas duas grandezas. Ou seja.

$$\rho = \frac{dm}{dV}$$

Isto é, a densidade é a massa por unidade de volume.



Estamos utilizando essa definição mais sofisticada por que a rigor a densidade depende do ponto considerado. Ela pode variar de um ponto a ponto. A densidade pode depender de um ponto do espaço, das suas coordenadas. Nesse caso se diz que ela é variável. Assim, escrevemos:

$$\rho(\underbrace{x, y, z}_{\text{coordenadas}})$$

Esse ponto, de coordenadas  $(x, y, z)$  é o ponto no qual se encontra o elemento de volume referido anteriormente.

Quando a densidade varia de ponto a ponto, a massa total é dada pela soma:

$$M = \sum_{i=1}^N \rho(x_i, y_i, z_i) dV_i$$

Uma definição mais simples e válida para fluidos homogêneos, ou seja, fluidos para os quais a densidade não varia de ponto a ponto. Nesse caso temos a definição mais simples. Definimos a densidade,  $\rho$ , como sendo a relação entre a massa contida num volume  $v$ , a massa  $m$ . Portanto

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

### 1.3.1- Unidades de Densidade

No sistema internacional de medidas a unidade de densidade ou de massa específica é o  $\text{kg/m}^3$ . No entanto, podemos fazer uso de outras unidades, como por exemplo, o  $\text{gr/cm}^3$ .

Fluidos exibem diferentes valores da densidade.

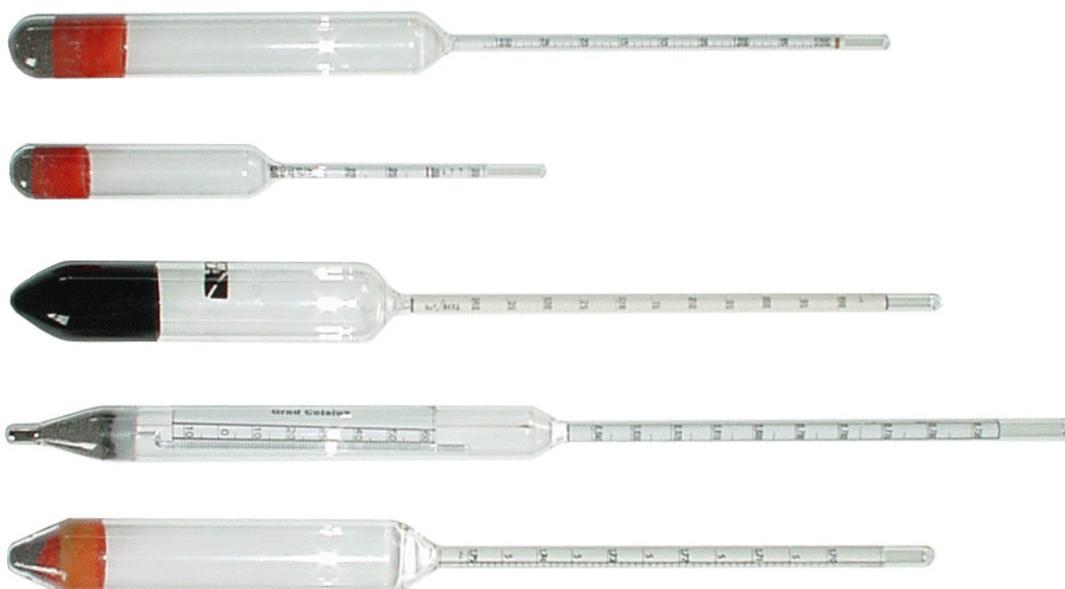
Material	Massa específica aproximada (g/cm <sup>3</sup> )
Etanol	0,78
Gasolina	0,80
Lubrificante automotivo	0,85
Madeira seca, carvalho	0,92
Água	1,00
Glicerina	1,20
HNO <sub>3</sub> 36%	1,22
PVC	1,40
Açúcar	1,57
Vidro	2,60
Alumínio	2,70
Aço Inoxidável	7,90
Cobre	8,90
Prata	10,50
Platina	21,40

### 1.3.2- Medidas de Densidade

Para fluidos com densidade uniforme, ela pode ser determinada mediante a determinação da sua massa, pesando-o, e a seguir determinando volume ocupado pelo fluido



Podemos fazer uso de aparelhos de medida. Densímetros são aparelhos para medir densidades.



A densidade pode depender também do tempo. O que é representado assim:

$$\rho(x, y, z, t)$$

espaço e tempo

Muitas vezes, fluidos com diferentes densidades não se misturam. Dizemos que os fluidos são imissíveis.



Fluidos podem ser imissíveis

### 1.3.4- Fluido Incompressível

Dizemos que um fluido é incompressível se sua densidade for uniforme. Isto é, se sua densidade é constante tanto em relação aos pontos do espaço quanto em relação ao tempo, mesmo que eles se coloquem em movimento. Escrevemos,

$$\rho = \rho_0$$

### 1.3.5- Densidade Relativa

Às vezes torna-se conveniente falar da densidade relativa de uma substância. A densidade relativa ( $\rho_r$ ) é a razão entre a densidade da substância e a densidade da água:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{\text{água}}}$$

Essa grandeza é adimensional. A água tem uma densidade de

$$d_{\text{água}} = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Ou seja, um metro cúbico de água tem uma massa de uma tonelada.

### 1.3.6- Peso Específico

Define-se o peso específico,  $P_e$ , como a razão entre o peso da substância e o seu volume. Portanto, o peso específico é o produto entre a densidade e a aceleração da gravidade.

$$P_e = \frac{mg}{V} = \rho g$$

## 1-4 Velocidade de um Fluido

Um dos fenômenos mais relevantes da mecânica dos fluidos é aquele que se refere ao movimento do mesmo. O movimento do fluido como um todo.

No caso do movimento do fluido como um todo a grandeza física relevante é a velocidade que se admite variável de um ponto para outro. Assim, sendo a velocidade uma grandeza vetorial, escrevemos:

$$\vec{V}(\underbrace{x, y, z}_{\text{coordenadas}})$$

Ou ainda:

$$V_x(x, y, z, t)$$

$$V_y(x, y, z, t)$$

$$V_z(x, y, z, t)$$

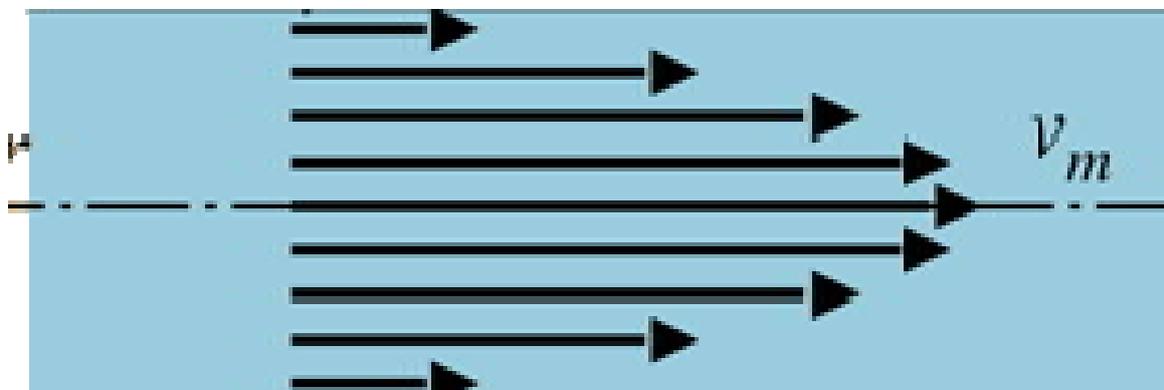
Onde as coordenadas da velocidade se referem às coordenadas dessa grandeza no ponto considerado.

Um dos problemas da mecânica dos fluidos é exatamente este de prever a velocidade de um fluido a cada instante de tempo e em cada um dos pontos do espaço.

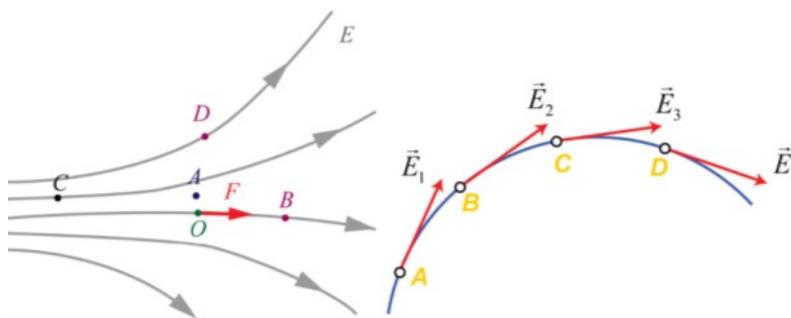
### 1.4.1- Linhas de Corrente

A melhor forma de representar as velocidades, dizemos um campo de velocidades, é por meio das linhas de corrente.

Uma linha corrente típica é dada na figura abaixo

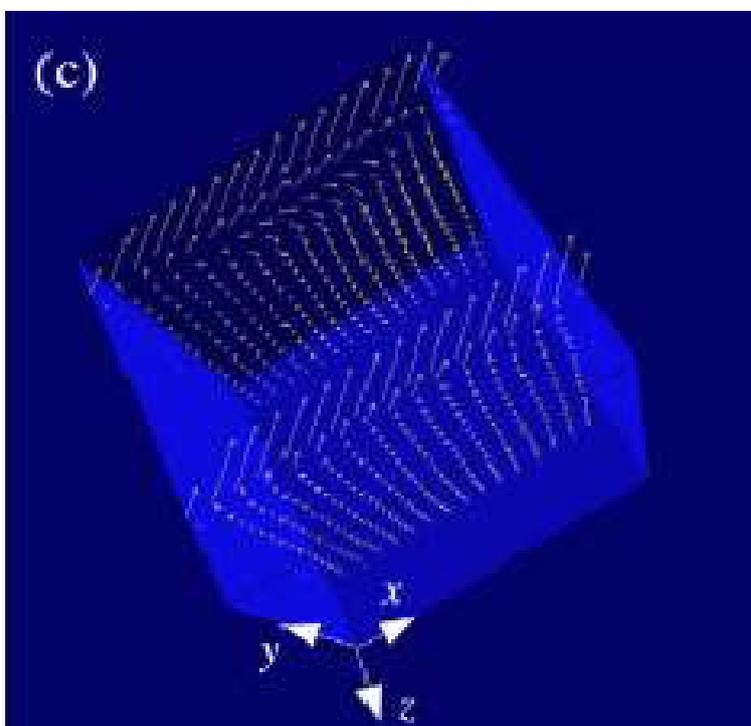


Linhas de corrente, assim como linhas de campo em geral são linhas orientadas como aquelas da figura acima e abaixo.



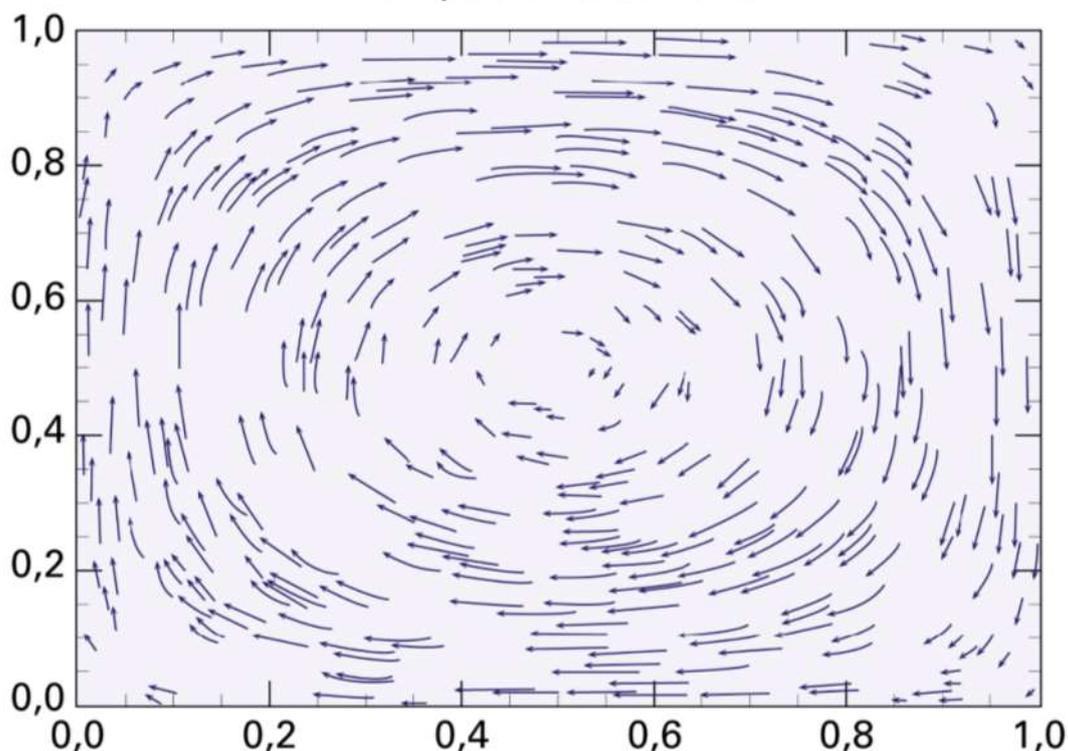
Linhas de campo são linhas orientadas

Nas linhas de corrente, a velocidade é determinada tomando-se a tangente à linha pelo ponto considerado.

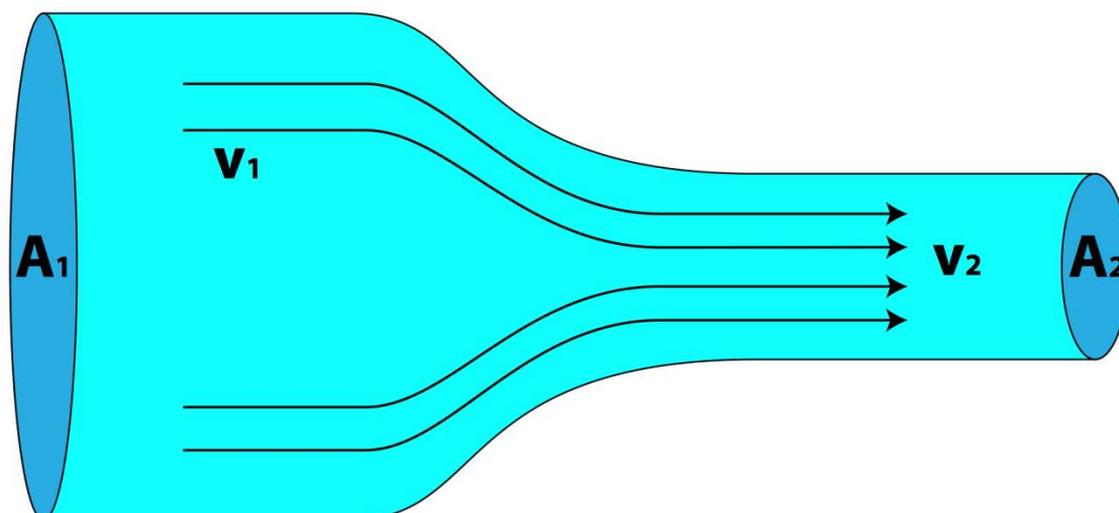


Linhas de corrente no caso de um escoamento tridimensional

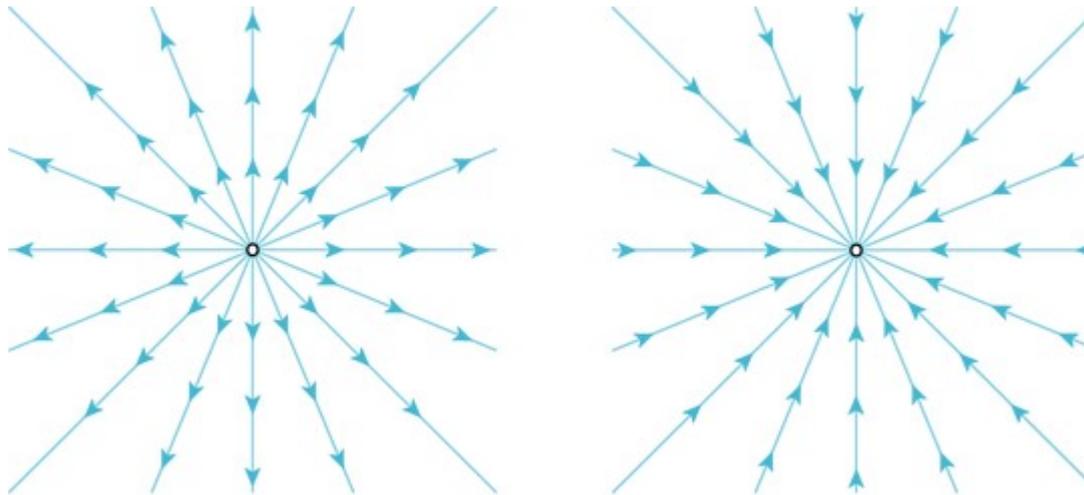
### campo de velocidade



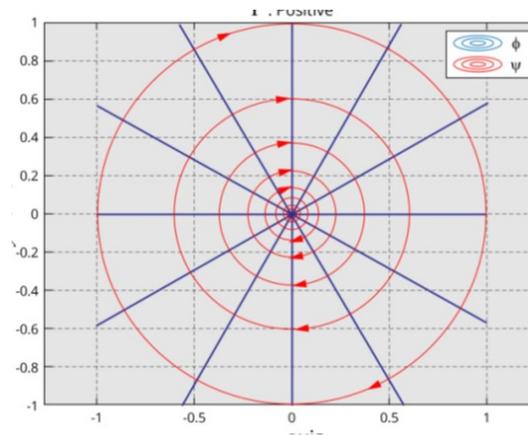
O sentido do vetor velocidade é o mesmo da orientação das linhas de campo. Por esse método de visualização, não se pode determinar com precisão a intensidade (o módulo) do campo vetorial. No entanto, convencionou-se que a intensidade do campo é tanto maior quanto for a aglomeração das linhas de força. Se as linhas forem pouco espaçadas, a intensidade do campo é alta naquela região. Se o adensamento for baixo, a intensidade do campo é pequena nessas regiões.



O adensamento das linhas de corrente na região 2 indica que nessa região a velocidade é maior do que na região 1.



Linhas de correntes associadas a uma fonte na origem e a um sorvedouro na origem.



Linhas de correntes podem ser fechadas

## 1-5 Pressão

Este é outro conceito fundamental na mecânica dos fluidos. Isto por que a gente não fala muito em força exceto quando analisamos um pequeno elemento de volume. Aliás, a mecânica dos fluidos ela é baseada na mecânica newtoniana para um elemento de volume  $dV$  quando analisamos as forças agindo sobre esse elemento de volume.

No entanto, no caso de um fluido como um todo o conceito relevante é a pressão. A pressão será indicada pela letra  $P$ .

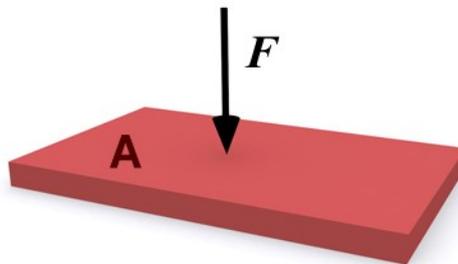
Quando empilhamos caixas sobre certa superfície devemos tomar o cuidado de espalhá-las para que o estrado no qual elas repousam não se quebre ou o chão não ceda, provocando o afundamento das caixas. Ao espalharmos as caixas estaremos reduzindo a pressão que elas exercem sobre a superfície sobre a qual elas repousam.

O que é pressão?

Para entendermos o que é pressão consideremos duas superfícies, uma de área de  $10 \text{ cm}^2$  e outra de área de  $20 \text{ cm}^2$ . Ao aplicarmos a mesma força sobre duas superfícies (no caso, essas duas) sentimos o efeito da força como se ela estivesse mais concentrada na superfície de área menor. Essa medida do nível de concentração ou diluição da força aplicada a uma superfície é o que denominamos de pressão. Definimos a pressão sobre uma superfície de área  $A$  como a relação entre o módulo da força perpendicular à superfície e a área  $A$ , isto é,

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

Assim, a pressão exercida pela **força**  $F$  (perpendicular à área) sobre a área de  $10 \text{ cm}^2$  é duas vezes maior do que a pressão exercida pela mesma força sobre a área de  $20 \text{ cm}^2$ . Como já foi dito anteriormente ([Hidrostática](#)), a pressão é uma grandeza escalar.



Geralmente, definimos pressão como sendo o quociente entre a componente normal da força dividido pela área na qual a força está aplicada. Isto é,

$$P = \frac{F_n}{A} = \frac{F}{A} \text{sen}\theta$$

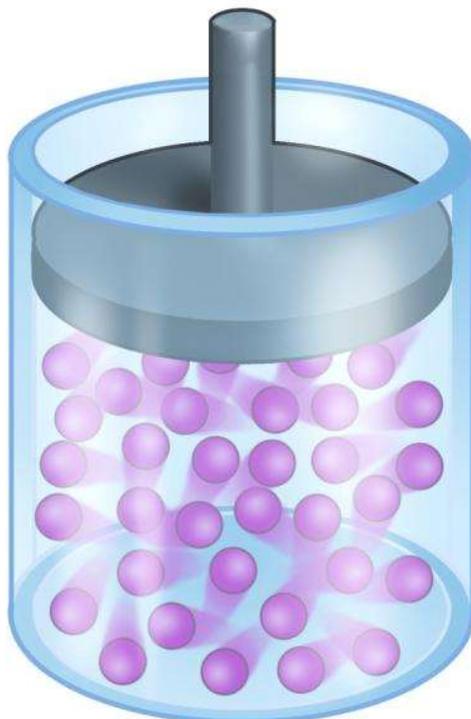
### 1.5.1- Unidades de Pressão

No sistema internacional de medidas a unidade de pressão é o pascal cujo símbolo é Pa. Um

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Newton/m}^2$$

Finalmente queremos chamar atenção para o fato de que um fluido pode exercer uma pressão sobre o vaso que o contém. Pode-se pensar também em situações nas quais temos uma pressão aplicada a um fluido.

Um fluido de grande relevância é o vapor que é um gás constituído por moléculas de água  $\text{H}_2\text{O}$ . A pressão exercida pelo vapor faz movimentar grandes máquinas.



Utilizamos ainda várias outras unidades de pressão, como o Torricelli, a atmosfera, o psi e assim por diante. Abaixo vai uma tabela de conversão de unidades de pressão.

Na mídia, em alguns noticiários sobre o tempo, chega-se a ouvir o valor da pressão atmosférica em bares ou em torr.

Mas, no sistema internacional, a pressão é medida em Pa (Pascal), que corresponde à pressão exercida por uma força de um Newton numa área de um metro quadrado.

$$1\text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

As principais conversões de pressão podem ser obtidas na tabela abaixo:

<b>1 Pa</b>	<b>Pascal = 1 N/m<sup>2</sup> (The SI unit)</b>
<b>1 psi</b>	<b>= 1 lb/in<sup>2</sup> (English unit) = 6,891 Pa</b>
<b>1 Bar</b>	<b>= 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> = 100 kPa ≈ 1 atm</b>
<b>1 Tor</b>	<b>= 1 mm Hg = 133.3 Pa ≈ 1 kPa</b>
<b>1 atm</b>	<b>= 101.3 kPa = 760 mm Hg = 29.92 in Hg = 14.70 psi</b>

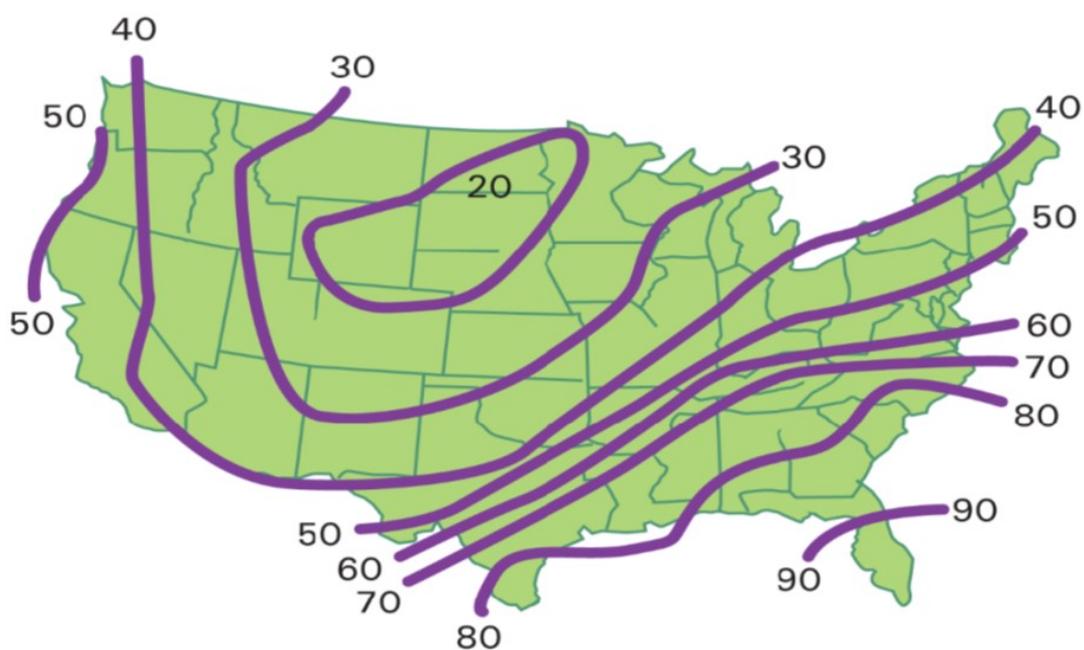
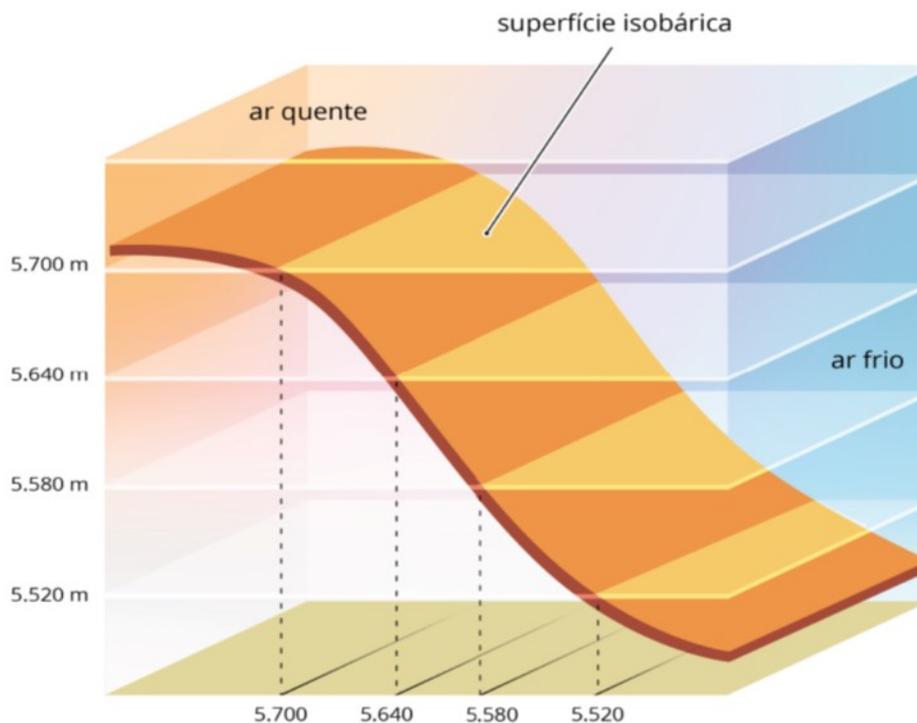
A conversão 14,7 psi = 1 atm deve ser usada para se saber a pressão colocada num pneu acima da pressão atmosférica.

## 1.5.2- Superfícies Isobáricas

As superfícies isobáricas são aquelas para as quais a pressão assume o mesmo valor ao longo delas. Isto é, são regiões do espaço para as quais podemos escrever:

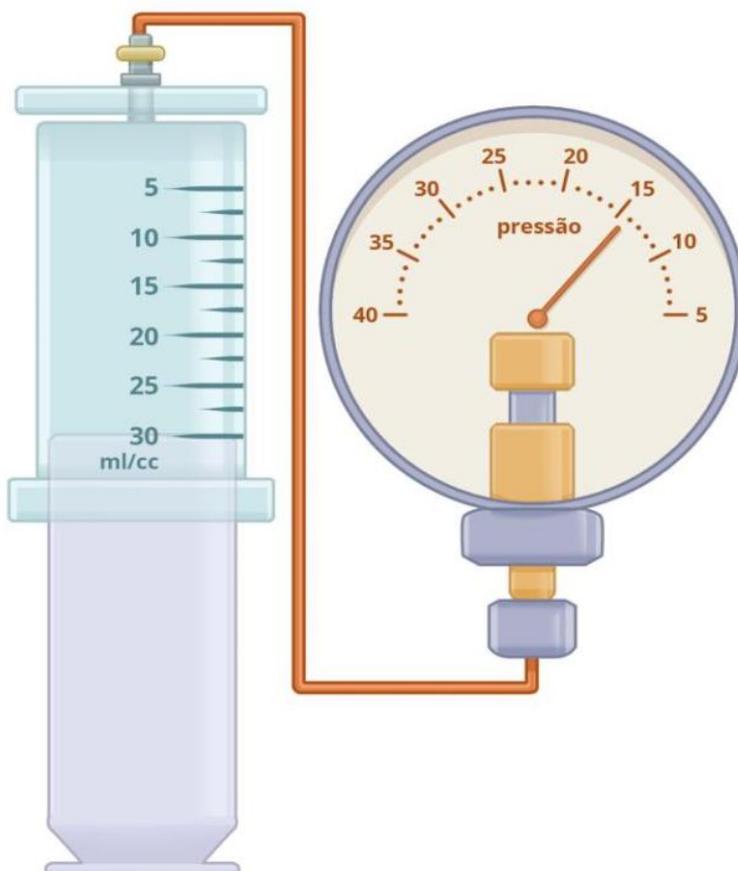
$$P(x, y, z, t) = P_0$$

Onde  $P_0$  é uma constante.



### 1.5.3- Medindo Pressões

Para medirmos a pressão podemos fazer uso de vários instrumentos. Tudo depende do tipo de pressão que queremos medir. Os mais instrumentos mais utilizados são dois. Primeiramente, os manômetros, especialmente aqueles ditos de tubo chato. Eles são utilizados para medir a pressão de uma forma relativamente simples. Manômetros são, portanto instrumentos voltados para medir a pressão.



No entanto os instrumentos utilizados para medir a pressão atmosférica são conhecidos como barômetros.



Podemos ainda, medir a pressão arterial, por meio de um estetoscópio. Pois, as artérias exercem uma pressão, dita pressão arterial, e esta deve ser sempre medida. Não pode ser muito alta, nem muito baixa.

O que significa a frase do médico “sua pressão é 12 por 8?”



Os borracheiros utilizam outro instrumento, dito calibrador de pneus.



A unidade de pressão dos pneus é denominada Psi.

#### 1.5.4- Pressão no Cotidiano

Qualquer objeto exerce uma pressão sobre a superfície na qual ele repousa.

O rastro deixado pelos pneus de um veículo ou pelas patas dos animais resulta da pressão exercida sobre o solo. As impressões digitais resultam da pressão que os dedos exercem sobre os objetos ao pegá-los.

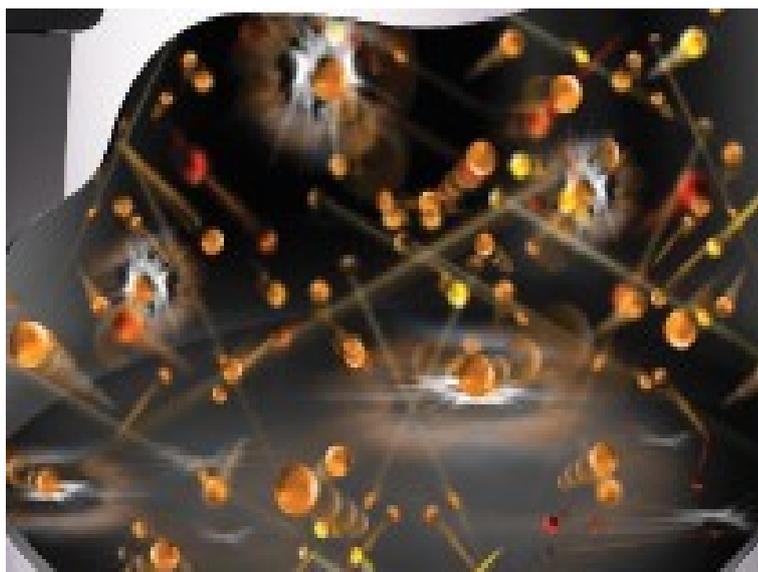


### 1.5.5- A Pressão Resultante de um Gás Aquecido

Sabemos que, à medida que aquecemos um gás, a pressão sobre as paredes do recipiente aumenta.

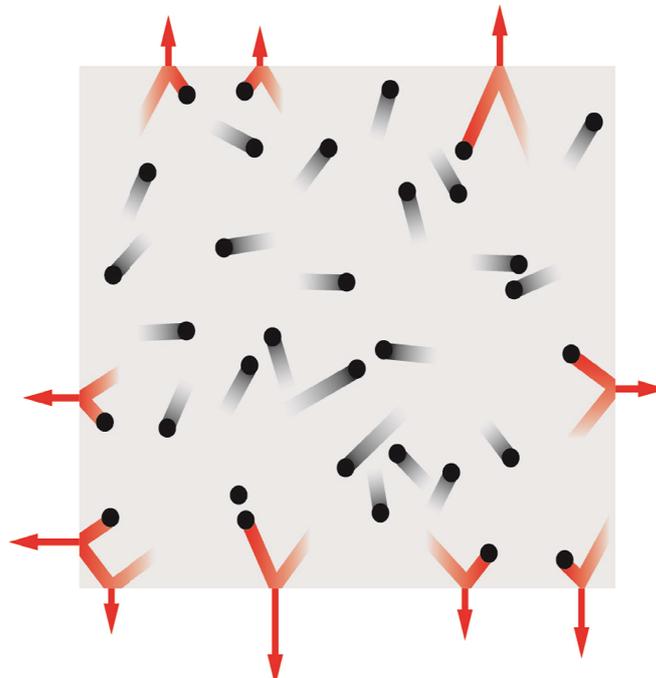
Algumas caldeiras e panelas de pressão são construídas de tal forma a resistir ao seu rompimento sob grandes pressões.

O que provoca a pressão de um gás sobre um recipiente é a colisão das moléculas do gás com as paredes do mesmo.



Ao colidir com as paredes do recipiente, as moléculas exercem forças sobre as mesmas. Essas forças resultam da mudança de sentido da velocidade das moléculas. Elas (as forças) são tão maiores quanto maiores forem as velocidades das moléculas.

Ao aquecermos um gás, aumentamos a velocidade das moléculas. O aumento da velocidade provoca o aumento da força exercida sobre a parede e, conseqüentemente, o aumento da pressão.



## 2- A Pressão Atmosférica



A enorme massa de ar existente acima de nós exerce uma pressão sobre todos os seres vivos na superfície terrestre.

À medida que subimos uma montanha, a pressão exercida pelo ar se torna menor, pois o peso do ar se reduziu (a quantidade de ar acima de nós é menor).

Por isso, a grandes altitudes a pressão é bastante reduzida, forçando os escaladores de montanha a tomar precauções.

### 3- Pressão no Fundo do Mar

À medida que descemos no mar a profundidades cada vez maiores, a pressão da água aumenta. O aumento da pressão força os escafandristas a utilizarem roupas muito especiais.

O que acarreta o aumento da pressão é o aumento do peso do fluido que está acima do mergulhador. Quanto maior for a profundidade tanto maior será o peso do líquido e, portanto, maior será a pressão.

Cada vez mais, a pressão da água aumenta. O aumento da pressão força os escafandristas a utilizarem roupas muito especiais.

O que acarreta o aumento da pressão é o aumento do peso do fluido que está acima do mergulhador. Quanto maior for a profundidade tanto maior será o peso do líquido e, portanto, maior será a pressão.

