

$\Delta \phi = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{x_2 - x_1}{\lambda} S_2$   $v = c/\lambda$   $\Phi = NBS$   
 $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V\psi = E\psi$   $M_e = \sigma T^4$   $\phi_e = \frac{L}{4\pi r^2} \int \frac{\Delta\phi}{2\pi} d\Omega$   
 $U_{ef} = U_m$   $E = \hbar\omega$   $U = \frac{W_{AB}}{e} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{e} = \frac{|\phi_A - \phi_B|}{e}$   $X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L$   $F = \frac{m_1 m_2}{2\pi d}$   
 $\vec{B} = \mu_0 \frac{NI\sqrt{2}}{2\pi r m_e}$   $v = \frac{\hbar k}{m_e}$   $\phi_E = \frac{E_e}{e} = k \frac{Q}{r^2} \phi$   $m = N \cdot m_0 = \frac{Q}{e} \frac{M_m}{N_A}$   $E = \frac{E_c}{a} \int_{-a/L}^{+a/L} \sin(\omega t + \phi) dy$   $R_m = \frac{c}{T} k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$   
 $K = \frac{p^2}{2m}$   $m_0 = \frac{M_m}{N_A} = \frac{M_r \cdot 10^{-3}}{N_A}$   $l_t = l_0(1 + d \Delta t)$   $I = \frac{U_e}{R + R_i}$   $\omega = 2\pi f$   
 $\lambda = \frac{h}{m v}$   $R = \rho \frac{l}{S}$   $E = mc^2$   $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{w_2}{w_1}$   $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$   
 $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$   $\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{n\pi x}{L}$   $E = \frac{1}{2} \hbar |k/m|$   $\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B}$   $\phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{w_1}{x} + \frac{w_2}{x'} = \frac{w_2 - w_1}{v}$   
 $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \iint \vec{J} d\vec{S}$   $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B})$   $E_k = \frac{\hbar^2}{8mL^2} n^2$   $\oint \vec{D} d\vec{S} = Q^*$   
 $v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT N_A}{M_m}} = \sqrt{\frac{3R_m T}{M_r \cdot 10^{-3}}}$   $E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$   $PC = \frac{1 AU}{r}$   $S = \frac{U}{I}$   $w_2 = U_e I t$   $F_v = \int \frac{F_n}{R}$   
 $\lambda = \frac{h v_2}{T}$   $F_n = S h \rho g$   $f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{l}}$   $\sigma = \frac{Q}{S T^2}$   $M = F d \cos \alpha$

# AerोटD

ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL

Física

Prof. Evandro Carlos Ferreira



<b>CNPJ</b>	72.443.914/0001-38
<b>Mantenedora</b>	AERO TD ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL LTDA - ME
<b>Instituição</b>	AERO TD Escola de Aviação Civil
<b>Esfera Administrativa</b>	Privada
<b>Endereço (Rua, N°.)</b>	Rua Madalena Barbi nº 46.
<b>Cidade UF CEP</b>	Bairro: Centro - Florianópolis SC. CEP: 88.015-200
<b>Telefone Fax</b>	(48) 32235191
<b>Eixo Tecnológico:</b>	Infraestrutura
<b>Curso:</b>	Profissionalizante em Manutenção de Aeronaves - Habilitação Grupo Motopropulsor
<b>Carga Horária Total:</b>	1034 horas

## Sumário

Apresentação \_\_\_\_\_ 4

Módulo I \_\_\_\_\_ 5 - 107

ESCU

## Apresentação da Disciplina

*Caro aluno,*

*Pretendo que a disciplina de **Física** seja um instrumento que ofereça a você os conceitos básicos para compreender a maior parte dos trabalhos que irá executar em uma aeronave.*

*Com ela você irá ter a base teórica do princípio de funcionamento dos motores a reação, das hélices, alavancas, do voo propriamente dito e muito mais.*

*Vamos abordar os seguintes conteúdos: Características da matéria, teoria cinética dos gases, sistema de forças dos gases, escalas de temperatura, leis físicas relativas à atmosfera e aerodinâmica.*

*Ao encerrar esta disciplina você possuirá condições de identificar os princípios e os elementos da Física e sua aplicação na aviação.*

*Lembre-se que estarei ao seu lado, acompanhando-o, orientando-o e estimulando seus estudos. É muito importante poder compartilhar esses conteúdos com você.*

*Bons estudos!*

*Prof. Evandro Carlos Ferreira*



Fonte: *utexas.edu*

## MÓDULO I

### FÍSICA

#### INTRODUÇÃO

Caro aluno,

No decorrer deste módulo, você perceberá o quanto a disciplina de Física é interessante e excitante, pois tanto para um técnico como para uma pessoa comum que goste de manutenção por hobby, ela irá mostrar-se uma ferramenta de grande valor.

Trataremos aqui dos principais conceitos teóricos que darão suporte ao seu aprendizado tais como, teoria dos gases, tipos de alavancas, pressão e aerodinâmica.

Portanto, ao final deste módulo você deverá entender, por exemplo, como funciona um torquímetro, o porquê uma aeronave voa, a importância da troposfera na aviação e muito mais.

A física é o termo aplicado à área de conhecimento, relativo à natureza básica e fundamental da matéria e energia. Ela não tenciona determinar o comportamento da matéria e da energia na sua relação com o fenômeno físico, mas tão somente como se

comportam. As pessoas que cuidam de manutenção e reparo de aeronaves precisam ter conhecimentos de física básica, que é, às vezes, chamada de ciência da matéria e energia.

## 1.1 MATÉRIA

Embora a matéria seja a mais fundamental de todas as coisas contidas no campo da física e do mundo material, é difícil de definir. Como não pode ser categoricamente definida, este capítulo indicará aquelas características que são facilmente reconhecidas.

A matéria em si mesma não pode ser destruída, mas pode ser transformada de um estado para outro, por meios físicos ou químicos. Ela é normalmente considerada pela energia que contém, absorve ou oferece. Sob certas condições controladas, o homem pode utilizar-se disto na sua vida diária.

Matéria é qualquer substância que ocupa espaço e tem peso.

Existem três estados de matéria: (1) sólido (2) líquido e (3) gasoso. Sólidos têm volume e forma definidos. Líquidos tem volume definido, mas tomam a forma do recipiente que os contém. Gases não têm volume nem forma definidos. Os gases não apenas tomam a forma do recipiente, no qual são contidos, como se expandem para completá-lo, seja qual for o seu volume.



Fonte: <http://www.infoescola.com>

Exemplo de um sólido, líquido e gasoso.

A água é um bom exemplo de transformação de matéria de um estado para outro. Sob temperatura alta, ela está no estado gasoso, na forma de vapor. Sob temperatura moderada, permanece na forma líquida e, sob baixas temperaturas torna-se gelo, um estado sólido. Neste exemplo, a temperatura é o fator dominante na determinação do estado que a substância assume.





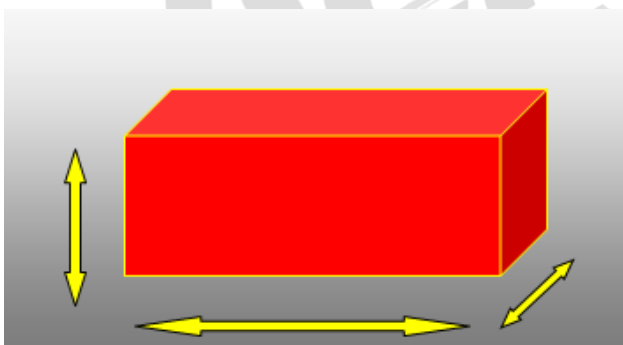
Fonte: profpc.com.br

A pressão é outro fator importante que produzirá transformações no estado da matéria. Sob pressões inferiores à pressão atmosférica, a água ferverá, transformando-se em vapor, sob temperaturas abaixo de 100°C. A pressão é um fator crítico na transformação de alguns gases em líquidos ou sólidos. Normalmente, quando pressão e resfriamento ao mesmo tempo são aplicados a um gás, ele assume o estado líquido. O ar líquido, que é uma mistura de oxigênio e nitrogênio, é produzido desta maneira.

### Características da Matéria

Toda matéria possui certas características ou propriedades gerais. Estas propriedades são definidas de forma, elementar e superficial e, mais especificamente, em aplicações através do texto. Entre estas propriedades e circunstâncias estão:

- a. **Volume** - significando ocupar espaço, tendo algumas medidas como comprimento, largura e altura. Pode ser medido em polegadas cúbicas, centímetros cúbicos e semelhantes.



Fonte: Prof. Evandro Ferreira

**b. Massa** - é a medição de quantidade ou a medida da quantidade de matéria num corpo. A massa não varia, mesmo que o estado se modifique.

**c. Atração** - é uma força agindo mutuamente entre partículas de matéria, tendendo a agrupá-las. Isaac Newton chamou-a de "Lei de Gravidade Universal". Ele demonstrou como cada partícula de matéria atrai todas as outras, como as pessoas se mantêm sobre a terra e como os planetas são atraídos no sistema solar.



Fonte: [www.portalsaofrancisco.com.br](http://www.portalsaofrancisco.com.br)

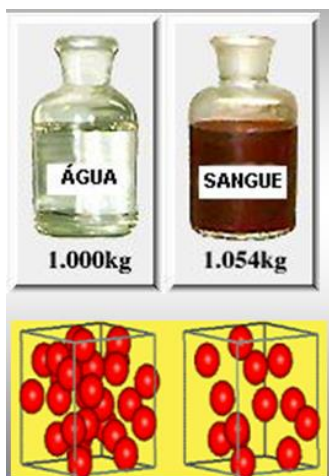
**d. Peso** - a medida de gravidade universal. A força de gravidade sobre um corpo é chamada de peso do corpo e indica quão pesado o corpo está.



Fonte: [emporto.com.br](http://emporto.com.br)



**e. Densidade** - a massa (peso) de uma substância por unidade de volume. A densidade pode ser empregada para distinguir vários tipos de matéria. Se uma substância é muito densa, uma grande quantidade desta matéria irá ocupar um pequeno volume.



Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/densidade/densidade-2.php>

**f. Inércia** - é a oposição que um corpo oferece a qualquer mudança de movimento. A propriedade de inércia é comum a todas as matérias. É mais bem conceituada através da primeira lei de Newton: "Um corpo em repouso permanece parado e um corpo em movimento continua a se mover em velocidade constante em linha reta, a menos que o corpo seja afetado, em ambos os casos, por uma força externa".

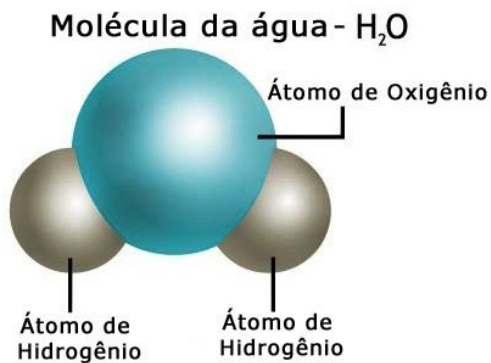
**g. Porosidade** - existência de poros ou espaços vazios, onde partículas menores possam se ajustar quando ocorre mistura.

**h. Impenetrabilidade** - significa que dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo. Então, duas porções de matéria não podem ao mesmo tempo, ocupar o mesmo lugar no espaço.

A matéria pode ser classificada como simples ou composta, dependendo da complexidade de sua estrutura. Matéria simples (ou elemento) não pode ser reduzida quimicamente a uma substância mais simples. Matéria composta é aquela formada por alguma combinação de elementos.

Duas partículas básicas, o átomo e a molécula, formam toda e qualquer matéria. A molécula é a menor partícula de uma substância, que ainda conserva todas as propriedades da substância original.

Em física, a molécula é a unidade de matéria. O átomo é a menor partícula de um elemento, que pode combinar com outros átomos para formar moléculas. Em química, o átomo é a unidade de matéria.



Fonte: [www.flickr.com](http://www.flickr.com)

Molécula de água

Embora o assunto possa parecer complexo, é difícil conceber qualquer coisa mais simples do que a matéria. Ela pode ser referida como "tudo que ocupa lugar no espaço".

### **Sistema de Medida**

Os dois sistemas de medição mais comumente usados são: o Sistema Inglês, que ainda é, geralmente, usado nos Estados Unidos e o Sistema Métrico, usado na maioria dos países europeus e, então, adotado pelas Forças Armadas dos Estados Unidos. O Sistema Métrico é normalmente usado em todas as aplicações científicas.

As três unidades básicas que requerem unidades de medição são: massa (peso), comprimento (distância) e tempo.

O sistema métrico é às vezes, chamado de Sistema CGS, porque utiliza, como unidades básicas de medição, o centímetro (C) para medir comprimento; o grama (G) para medir massa; e o segundo (S) para medir tempo.

O sistema inglês usa medidas diferentes para medir massa e comprimento. A "libra" é a unidade de peso; o "pé" é a unidade para medir comprimento; e o "segundo" é usado para medir tempo, como no sistema métrico.

As medidas de um sistema podem ser convertidas em unidades do outro, usando-se um fator de conversão, ou por referência a uma tabela semelhante à mostrada na figura 7-1.

Nesta figura os sistemas, inglês e métrico, são comparados. Adicionalmente é incluída uma coluna de equivalência, que pode ser usada para converter unidades de um sistema para o outro.

	Sistema métrico	Sistema inglês	Equivalentes
Comprimento (Distância)	CENTÍMETRO		
	1 centímetro = 10 milímetros	1 pé = 12 polegadas	1 pol. = 2,54 cm
	1 decímetro = 10 centímetros	1 jarda = 3 pés	1 pé = 30,5 cm
	1 metro = 100 centímetros	1 milha = 5.280 pés	1 metro = 39,37 polegadas
	1 quilômetro = 1000 metros		1 quilômetro = 0,62 milhas
Peso (Massa)	GRAMA		LIBRA
	1 grama = 1000 miligramas	1 libra = 16 onças	1 lb = 453,6 gramas
	1 quilograma = 1000 gramas	1 ton = 2000 libras	1 kg = 2,2 lb.
Tempo	SEGUNDO		
	O mesmo que o sist. inglês	1 segundo = $\frac{1}{86400}$ de um dia solar médio.	O mesmo tempo para os dois sistemas

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-1 Comparação entre os Sistemas de medida métrico e inglês.

## 1.2 FLUIDOS

### Generalidades

Líquidos e gases são chamados de fluidos, porque ambos fluem livremente. Um fluido é definido como uma substância que modifica sua forma facilmente e toma o espaço do recipiente em que é contido. Isto se aplica tanto aos líquidos quanto aos gases. As suas características podem ser agrupadas sob similaridades e diferenças. As características similares são as seguintes:

1. Ambos não têm forma definida e acomodam-se na forma dos recipientes em que se encontram.
2. Ambos prontamente transmitem pressões.

As características distintas são as seguintes:

1. Os gases ocupam seus recipientes completamente;
2. Os gases são mais leves do que os líquidos em iguais volumes;
3. Os gases são altamente compressíveis, mas os líquidos apenas um pouco.

Estas diferenças serão descritas adiante, na discussão concernente às propriedades e características dos fluidos em repouso. Também serão abordados alguns dos fatores que afetam os fluidos em diferentes situações.

## Densidade e Gravidade Específica

A densidade de uma substância é o seu peso por unidade de volume. A unidade de volume selecionada para uso no sistema inglês para medição é 1 pé cúbico. No sistema métrico a unidade é 1 centímetro cúbico. Portanto, a densidade é expressa em  $\text{lb}/\text{ft}^3$  (libras por pé cúbico) ou  $\text{g}/\text{cm}^3$  (gramas por centímetro cúbico).

Para encontrar a densidade de uma substância, seu peso e volume precisam ser conhecidos.

Seu peso é então dividido por seu volume, para encontrar o peso por unidade de volume.

Por exemplo, o líquido que completa certo recipiente pesa 1.497,6 libras.

Liquid	Specific Gravity	Solid	Specific Gravity	Gas	Specific Gravity
Gasoline	0.72	Ice	0.917	Hydrogen	0.0695
Jet Fuel Jp-4	0.785	Aluminum	2.7	Helium	0.138
Ethyl Alcohol	0.789	Titanium	4.4	Acetylene	0.898
Jet Fuel Jp-5	0.82	Zinc	7.1	Nitrogen	0.967
Kerosene	0.82	Iron	7.9	Air	1.000
Lube Oil	0.89	Brass	8.4	Oxygen	1.105
Synthetic Oil	0.928	Copper	8.9	Carbon Dioxide	1.528
Water	1.000	Lead	11.4		
Sulfuric Acid	1.84	Gold	19.3		
Mercury	13.6	Platinum	21.5		

Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Tabela com a gravidade específica de alguns tipos de materiais

O recipiente tem 4 pés de comprimento, 3 pés de largura e 2 pés de altura. Seu volume é de 24 pés cúbicos ( $4 \times 3 \times 2$ ). Se 24 pés cúbicos de um líquido pesa 1.497,6 libras, então 1 pé cúbico pesa  $1.497,6/24$  ou 62,4 libras. Portanto a densidade do líquido é  $62,4 \text{ lb}/\text{ft}^3$ .

Esta é a densidade da água a  $4^\circ\text{C}$  e é normalmente usada para comparação de densidades de outras substâncias. (No sistema métrico, a densidade da água é de  $1\text{g}/\text{cm}^3$ ).

A temperatura padrão de  $4^\circ\text{C}$  é usada para medir-se a densidade de líquidos e sólidos. Mudanças na temperatura não modificarão o peso de uma substância, mas modificarão seu volume por expansão e contração, modificando, então, seu peso por unidade de volume.

O procedimento para achar a densidade aplica-se a todas as substâncias. Todavia é necessário considerar a pressão, quando procurando a densidade de gases.

A temperatura é mais crítica quando se mede a densidade dos gases do que as de outras substâncias. A densidade de um gás aumenta na proporção direta da pressão exercida sobre ele. As condições padrão para medição da densidade foram estabelecidas em 0°C de temperatura a uma pressão de 76 cm de mercúrio (esta é a pressão média da atmosfera ao nível do mar).

A densidade para todos os gases é calculada com base nestas condições. Frequentemente é necessário comparar a densidade de substâncias diferentes. Por este motivo, o padrão é necessário.

A água é o padrão que os físicos escolheram na comparação da densidade de todos os líquidos e sólidos. Para os gases, o padrão mais comumente usado é o ar. Entretanto o hidrogênio é às vezes usado como padrão para os gases.

Em física a palavra "específico" denota uma proporção.

Então, a gravidade específica é calculada, por comparação do peso de um volume definido, de uma dada substância, com o peso de igual volume de água.

Os termos "peso específico" ou "densidade específica" são às vezes usados para expressar essa proporção.

As seguintes fórmulas são empregadas para encontrar a gravidade específica de líquidos e sólidos:

$$\text{gr. esp.} = \frac{\text{peso da substancia}}{\text{peso de igual volume d'agua}} \quad \text{ou,}$$
$$\text{gr. esp.} = \frac{\text{densidade da substancia}}{\text{densidade de agua}}$$

As mesmas fórmulas são usadas para achar a densidade dos gases, substituindo água por ar ou hidrogênio.

A gravidade específica não é expressa em unidades, mas por números puros.

Por exemplo, se certo líquido hidráulico tem uma gravidade específica de 0,8, 1 pé cúbico do líquido pesa 0,8 vezes o que pesa 1 pé cúbico de água: 62,4 vezes 0,8 ou 49,92 libras.

No sistema métrico, 1 cm cúbico de uma substância com gravidade específica de 0,8 pesa 1 vez 0,8 ou 0,8 gr. (observe que no sistema métrico a gravidade específica de um líquido ou sólido tem o mesmo valor numérico que sua densidade).

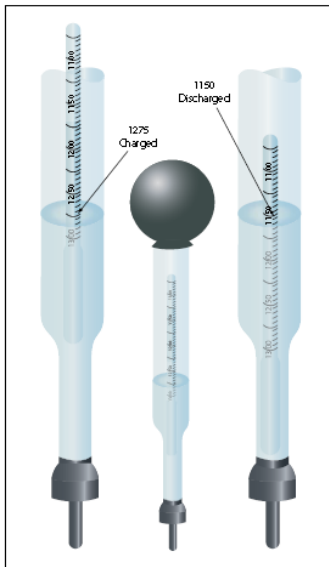
Como o ar pesa 1,293 gramas por litro, a gravidade específica de gases não é igual às densidades métricas).

Gravidade específica e densidade são independentes do tamanho da amostra sob consideração e, depende apenas da substância de que ela seja feita. Ver na figura 7-2, os valores de gravidade específica relativos a várias substâncias.

Um dispositivo chamado densímetro é utilizado para medir a gravidade específica de líquidos. Tal medidor consiste de uma boia de vidro com forma tubular, contida num tubo de vidro maior (ver figura 7-3).

O tubo de vidro é o recipiente para o líquido, tendo na parte superior um bulbo de borracha para succionar o líquido para o interior do recipiente.

É preciso haver líquido bastante para erguer a boia de vidro, mantendo-a afastada do fundo do recipiente. A boia tem um determinado peso e possui uma escala graduada verticalmente.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 7-3 Densímetro.

Para determinar a gravidade específica, a escala deve ser lida na superfície do líquido em que está imersa.

A indicação 1000 é lida quando se tratar de água pura. Quando imersa em líquido de maior densidade, a boia eleva-se, indicando maior gravidade específica.

No caso de líquidos de densidade mais baixa, a boia afunda, indicando uma menor gravidade específica.

Um exemplo de uso do densímetro é a medição da densidade específica do eletrólito (solução de bateria) em baterias de aeronaves.





Fonte [jet.com.br](http://jet.com.br)

Quando a bateria está descarregada a boia indicadora imersa na solução ácida indicará aproximadamente 1150. A indicação da bateria carregada fica entre 1275 e 1310.

### Flutuabilidade

Um corpo sólido pesa menos submerso num líquido ou num gás do que em espaço livre, por causa da força para cima que qualquer fluido exerce sobre um corpo nele submerso. Um objeto flutuará, caso a força para cima (chamada flutuação) do fluido seja maior do que o peso do objeto.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Objetos mais densos do que o fluido afundarão prontamente, ainda que pareçam perder parte do seu peso quando submersos. Uma pessoa pode erguer maior peso dentro d'água do que fora dela.

A experiência seguinte está ilustrada na figura 7-4. Um recipiente para transferência de líquido é completado com água até o nível da torneira.

Um cilindro de metal maciço é primeiro pesado fora d'água e depois, quando completamente submerso, dentro dela.

A diferença entre os dois pesos é a força de flutuação da água. O cilindro é mergulhado no recipiente de transferência, e a água que se esgota através da torneira é colhida no outro recipiente.

O volume da água transferida é igual ao volume do cilindro mergulhado.

O volume de objetos de forma irregular pode ser medido por este método.

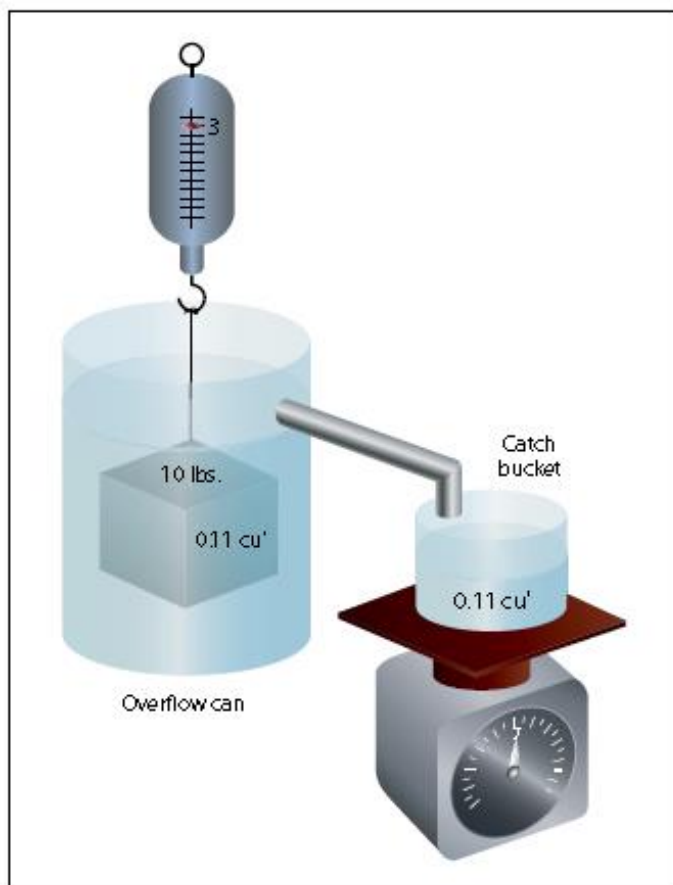
Se esta experiência for feita cuidadosamente, o peso da água deslocada pelo cilindro metálico será exatamente igual à força de flutuação da água.

Experiências similares foram realizadas por Arquimedes (287-212 A.C.). Ele descobriu que a força de flutuação que um fluido exerce sobre um corpo submerso é igual ao peso do fluido que o corpo desloca.

Esta afirmação é referida como "princípio de Arquimedes".

Este princípio aplica-se a todos os fluidos, gases e líquidos.

Assim como a água exerce uma força de flutuação em objetos, o ar também a exerce em objetos nele mergulhados.



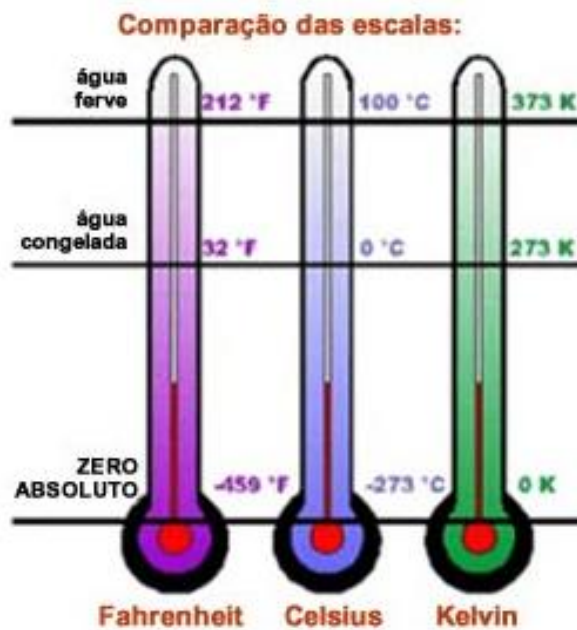
Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 7-4 Medição da força de flutuação.

### 1.3 TEMPERATURA

A temperatura é um fator predominante que afeta as propriedades de fluidos. Particularmente quando calculando mudança no estado físico dos gases.

As três escalas de temperaturas largamente usadas são: a centrígrada, a Fahrenheit e a absoluta ou Kelvin. A escala centrígrada é feita usando-se os pontos de congelamento e de fervura da água, sob condições padrão, com pontos fixos de 0 a 100, com 100 divisões iguais intermediárias. A escala Fahrenheit usa 32° como o ponto de congelamento da água e 212° como ponto de fervura e, tem 180 divisões intermediárias iguais. A escala absoluta ou Kelvin é montada com o seu ponto zero estabelecido como -273°C ou -459,4°F. abaixo do ponto de congelamento de água.

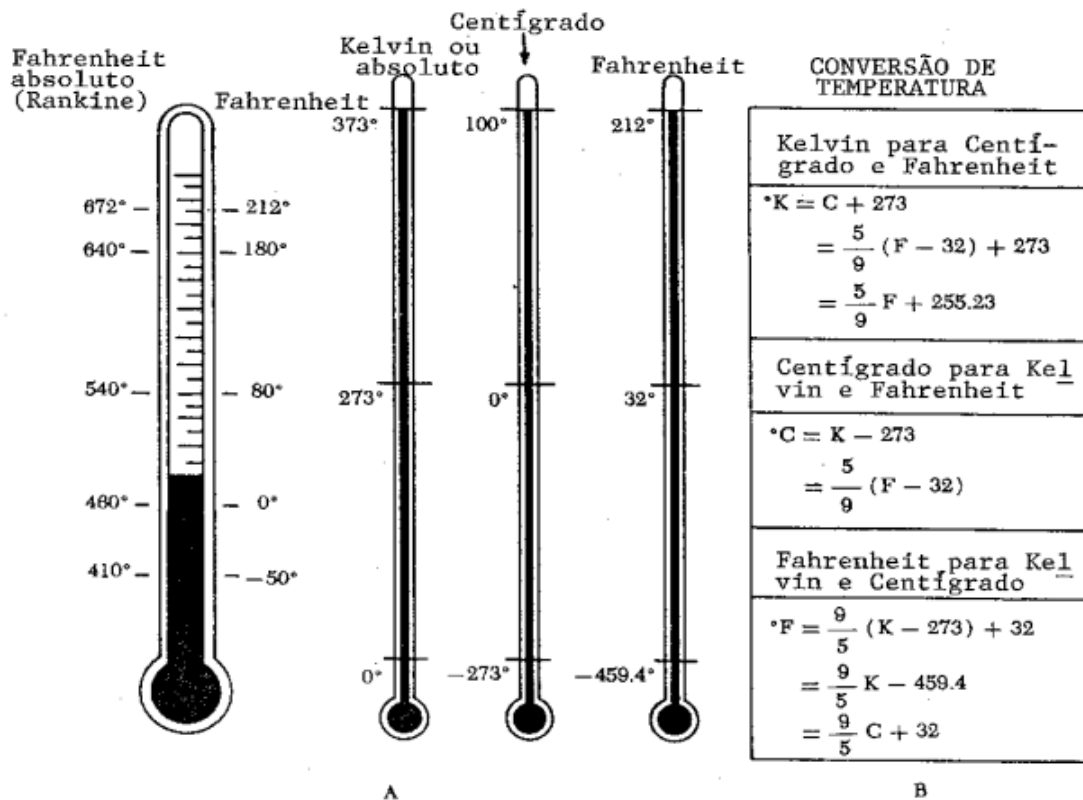


Fonte: [www.mundoeducacao.com.br](http://www.mundoeducacao.com.br)

**O zero absoluto**, uma das constantes fundamentais da física, é comumente usado no estudo dos gases.

É expresso normalmente na escala centígrada. Se a energia calorífica de um determinado gás pudesse ser progressivamente reduzida, seria atingida uma temperatura na qual o movimento das moléculas cessaria completamente. Se cuidadosamente determinada, esta temperatura poderia então ser tomada como uma referência natural ou como um verdadeiro valor do "zero absoluto". Experiências com hidrogênio indicaram que em um gás resfriado a  $-273,16^{\circ}\text{C}$  ( $-273^{\circ}$ , na maior parte dos cálculos), todo o movimento molecular cessaria e nenhum calor adicional poderia ser extraído da substância.

Quando temperaturas são medidas considerando a referência de zero absoluto, elas são expressas como zero na escala absoluta ou Kelvin. Então, o zero absoluto pode ser expresso como  $0^{\circ}\text{K}$ , como  $-273^{\circ}\text{C}$  ou como  $-459,4^{\circ}\text{F}$  (na prática,  $-460^{\circ}$  na maioria dos cálculos).



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-5 (A) Escala Rankine, usada para converter Fahrenheit para absoluto.

(B) Comparação das temperaturas Fahrenheit, Centígrado e Kelvin.

Ao trabalhar com temperaturas, certifique-se, sempre, quanto ao sistema de medição que está sendo usado e, saiba como converter as temperaturas.

As fórmulas de conversão são mostradas na letra B da figura 7-5. Para fins de cálculos, a escala Rankine, ilustrada na figura 7-5 é comumente usada para converter Fahrenheit em absoluta. Para leituras Fahrenheit acima de zero, adicionar 460°.

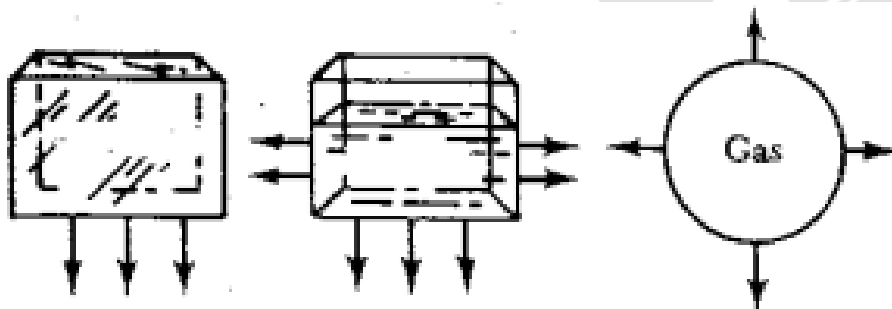
Desta forma 72°F é igual a 460° mais 72° ou 532° absolutos. Se a leitura Fahrenheit for abaixo de zero, subtrair de 460°. Assim, 40°F é igual a 460° menos 40°, ou 420° absolutos. É necessário destacar que a escala Rankine não indica leitura de temperatura absoluta de acordo com a escala Kelvin, mas estas conversões podem ser usadas para cálculos de modificações no estado físico dos gases.

As escalas Kelvin e Centígrada são usadas mais efetivamente em trabalhos científicos, portanto muitos manuais técnicos usam estas escalas quando tratando de orientações e instruções de operação.

A escala Fahrenheit é comumente usada nos Estados Unidos e a maioria das pessoas está familiarizada com ela. Portanto a escala Fahrenheit é usada em muitas partes deste texto.

## 1.4 PRESSÃO

O termo "pressão", conforme é usado em todo este capítulo, é definido como uma força por unidade de área. A pressão é, normalmente, medida em p.s.i. (pounds per square inch, ou libras por polegada quadrada). Às vezes a pressão é medida em polegadas de mercúrio ou, para pressões muito baixas, em polegadas de água.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-6 Pressão exercida.

A pressão pode estar em uma direção, várias direções ou em todas as direções (Veja a figura 7-6). Gelo (um sólido) exerce pressão apenas para baixo. Água (um fluido) exerce pressão em todas as superfícies com as quais entra em contato. Gás (um fluido) exerce pressão em todas as direções, porque ele ocupa completamente o recipiente que o contém.

## 1.5 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

A atmosfera é a massa total de ar que circunda a terra. Embora ela se estenda acima de 900Km (500 milhas), a seção de interesse principal é a porção do ar que fica sobre a superfície da terra e se estende em torno de 14 Km (7,5 milhas). Esta camada é chamada de troposfera e quanto maior for a altura, menor será a pressão. Isto é devido ao peso do ar. Se uma coluna de ar de uma polegada quadrada que se estenda por todo o caminho até o topo da camada atmosférica fosse pesada, ela teria aproximadamente 14,7 libras ao nível do mar. Deste modo, a pressão atmosférica ao nível do mar é de aproximadamente 14,7 p.s.i. Quando a altitude aumenta, a pressão atmosférica diminui aproximadamente 1,0 p.s.i. a cada 2.343 pés. No entanto, abaixo do nível do mar, a pressão atmosférica aumenta. As pressões sob a água diferem daquelas somente sob o ar, porque o peso da água deve ser adicionado ao peso do ar. A pressão atmosférica, os efeitos da temperatura sobre ela e os



meios utilizados para medi-la serão discutidos com maiores detalhes em outra seção deste capítulo.

### **Pressão Absoluta**

Como afirmado anteriormente, a temperatura absoluta é usada nos cálculos de mudanças no estado dos gases. Também é necessário o uso da pressão absoluta para esses cálculos.

A pressão absoluta é medida da pressão zero absoluta, preferivelmente, do que da normal ou da pressão atmosférica (aproximadamente 14,7 p.s.i.).

A escala de pressão é usada normalmente em todos os medidores e indica a pressão que excede a atmosférica.

Por esta razão, a pressão absoluta é igual a pressão atmosférica mais a pressão do indicador. Por exemplo, 100 p.s.i.g. (libras por polegada quadrada indicada) é igual a 100 p.s.i. mais 14,7 p.s.i. ou 114,7 p.s.i.a. (libras por polegada quadrada absoluta).

### **Incompressibilidade e Expansão dos Líquidos**

A compressão dos líquidos, que é a redução do volume que eles ocupam, mesmo sob extrema pressão, é tão pequena, que pode ser considerada desprezível.

Se uma pressão de 100 p.s.i. for aplicada a uma quantidade substancial de água, o seu volume decrescerá somente 3/10.000 do seu volume original. Seria necessária uma força de 64.000 p.s.i. para reduzir o seu volume em 10%. Como os outros líquidos se comportam da mesma maneira, os líquidos são, usualmente, considerados incompressíveis.

Os líquidos geralmente se expandem quando aquecidos. Esta ação é normalmente conhecida como expansão térmica. Todos os líquidos não se expandem na mesma quantidade para certo aumento de temperatura.

Se dois frascos forem colocados em um recipiente aquecido e se um deles estiver cheio de água e o outro de álcool, a expansão do álcool será maior do que a da água pela mesma razão de temperatura.

A maioria dos óleos se expande mais do que a água. Os sistemas hidráulicos das aeronaves contêm meios de compensar esse aumento de volume, de modo a evitar danos ao equipamento.

## **1.6 COMPRESSIBILIDADE E EXPANSÃO DE GASES**

As duas maiores diferenças entre gases e líquidos são suas características de compressibilidade e expansão. Embora os líquidos sejam praticamente não compressíveis, os gases são altamente compressíveis. Os gases preenchem totalmente qualquer recipiente fechado que os contenham, mas os líquidos enchem um recipiente somente na extensão de seu volume normal.

## **1.7 TEORIA CINÉTICA DOS GASES**

A estrutura dos gases os torna rapidamente adaptáveis a análise matemática, da qual surgiu a teoria detalhada do comportamento dos gases, chamada teoria cinética dos gases. A teoria pressupõe que a massa do gás é composta de moléculas idênticas que se comportam como esferas elásticas pequenas, separadas relativamente longe entre si e continuamente em movimento.

O grau do movimento molecular depende da temperatura do gás, uma vez que as moléculas estão frequentemente batendo umas nas outras e contra as paredes do recipiente; um aumento na temperatura, com o conseqüente aumento no movimento molecular, causa um aumento correspondente no número de colisões entre as moléculas. O número aumentado de colisões resulta num número maior de moléculas que colidem nas paredes do recipiente numa certa unidade de tempo.

Se o recipiente fosse um vaso aberto, o gás se expandiria e transbordaria. Contudo, se o recipiente é selado e possui elasticidade (tal qual uma bola de borracha), a pressão aumentada determinaria a expansão do recipiente.

Por exemplo, ao fazer uma longa viagem num dia quente, a pressão nos pneus de um automóvel aumenta e o pneu, que parecia ser algo macio numa manhã fresca, pode parecer normal numa temperatura maior ao meio dia.

Tais fenômenos como esses são explicados por leis concernentes a gases e tendem a corroborar a teoria cinética.

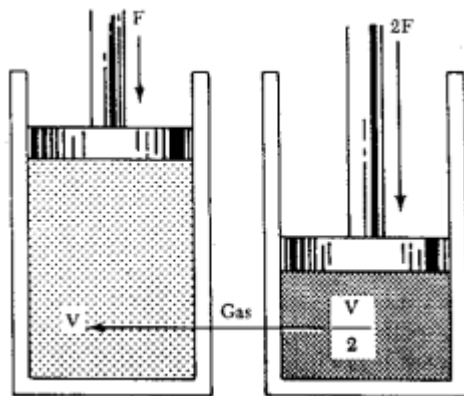
A qualquer momento, algumas das moléculas do gás se movem numa dada direção, algumas em outra direção. Algumas viajam rapidamente, outras lentamente. Algumas não se movem. O efeito combinado dessas velocidades corresponde à temperatura do gás. Em qualquer quantidade considerável de gás, existem tantas moléculas presentes que, de acordo com "as leis da probabilidade" uma velocidade média pode ser encontrada. Se essa

velocidade média existisse em todas as moléculas do gás, produziria o mesmo efeito numa dada temperatura como resultante das várias velocidades.

## Lei de Boyle

Como afirmado anteriormente, a compressibilidade é uma característica marcante dos gases. O cientista inglês Robert Boyle estava entre os primeiros a estudar essa característica que ele chamou "espalhamento do ar". Pela medição direta ele descobriu que, quando a temperatura de uma amostra combinada de gás era mantida constante e a pressão dobrava, o volume era reduzido a metade do valor anterior, à medida que a pressão aplicada diminuía, o volume aumentava. Dessas observações, ele concluiu que para uma temperatura constante, o produto do volume e a pressão para um gás preso permanece constantes. A lei de Boyle é estabelecida: "o volume de um gás seco enclausurado varia inversamente com sua pressão, permanecendo constante a temperatura".

Essa lei pode ser demonstrada aprisionando uma quantidade de gás num cilindro, que tem um pistão firmemente posicionado. Uma força é então aplicada ao pistão, de modo a comprimir o gás no cilindro de algum volume específico. Quando a força aplicada no pistão é dobrada, o gás é comprimido à metade do seu volume original, como indicado na Figura 7-7.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-7 Metade do volume pelo dobro da força.

Na equação, a relação pode ser expressa por:

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \text{ ou } \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

Onde,  $V_1$  e  $P_1$  são volume e pressão iniciais, e  $V_2$  e  $P_2$  são volume e pressão posteriores.

Exemplo da Lei de Boyle: 4 pés cúbicos de nitrogênio estão sob uma pressão de 100 p.s.i.g. Ao nitrogênio é permitida uma expansão para um volume de 6 pés cúbicos.

Qual é a nova pressão indicada?

Fórmula ou equação:

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \quad \text{Substituindo: } 4 \times (100) = 6 \times P_2$$
$$\Rightarrow P_2 = \frac{4 \times 100}{6} \Rightarrow P_2 = 66,6 \text{ p.s.i.g.}$$

Um gás que se comporta de acordo com a lei de Boyle, é considerado um gás ideal. Quando a pressão aumenta sobre o gás, seu volume diminui proporcionalmente e sua densidade aumenta. Dessa forma, a densidade do gás varia diretamente com a pressão, se a temperatura permanecer constante como no caso de um gás ideal. A densidade também varia com a temperatura, uma vez que os gases se expandem quando aquecidos e se contraem quando esfriados.

As aplicações úteis da lei de Boyle são muitas e variadas. Algumas aplicações mais comuns na aviação são:

1. Garrafas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) usadas para inflar botes e coletes salva-vidas;
2. Garrafas de oxigênio sob pressão e de acetileno usados em soldagem;
3. Freios e amortecedores de choque a ar comprimido;
4. Garrafa de oxigênio para voos a grandes altitudes e para uso em emergência.

### Lei de Charles

O cientista francês Jacques Charles colaborou muito na fundação da teoria cinética moderna dos gases.

Ele descobriu que todos os gases se expandem e contraem numa proporção direta à mudança na temperatura absoluta, permanecendo a pressão constante. Na forma de equação, essa parte da lei pode ser expressa.

$$V_1 T_2 = V_2 T_1 \quad \text{ou} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

A equação significa que, com um volume constante, a pressão absoluta do gás varia diretamente com a temperatura absoluta.

### Exemplos da lei de Charles:

Um cilindro de gás sob uma pressão de 1.800 p.s.i.g. a 70°F é mantido sob o sol tropical e a temperatura sobe para 130°F. Qual a nova pressão dentro do cilindro? A pressão e a temperatura devem ser convertidas para absolutas.

Fórmula ou equação:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

$$70^\circ\text{F} = 530^\circ \text{ absolutos}$$

$$130^\circ\text{F} = 590^\circ \text{ absolutos}$$

Substituindo:

$$\frac{1800 + 14,7}{P_2} = \frac{530}{590} \quad \text{Então: } P_2 = \frac{(590)(1814,7)}{530}$$

$$P_2 = 2.020 \text{ p.s.i.a.}$$

Convertendo a pressão absoluta para a pressão indicada:

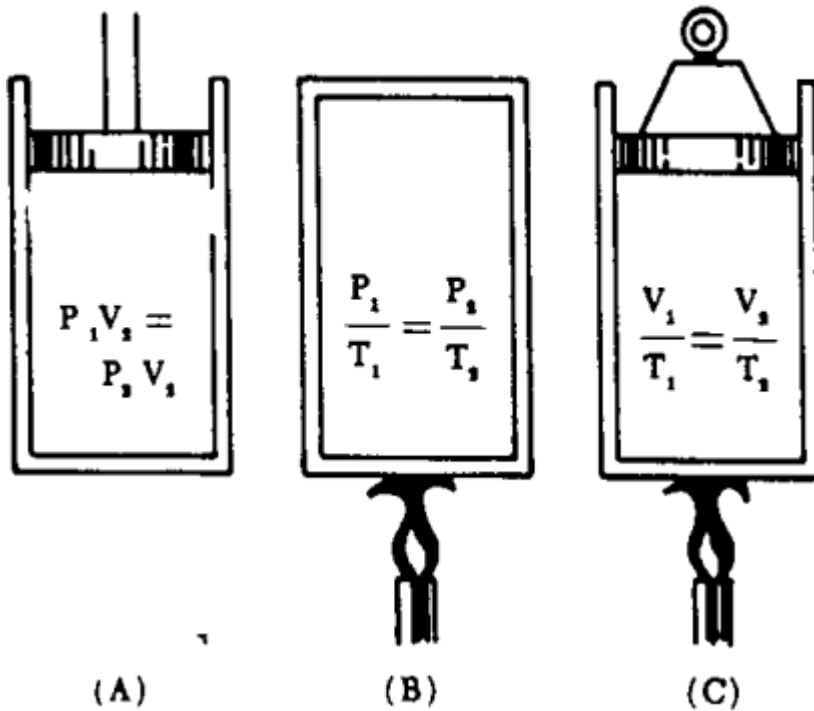
$$\begin{array}{r} 2.020,0 \\ - \quad 14,7 \\ \hline 2.005,3 \text{ p.s.i.g.} \end{array}$$

Balões livres voando na estratosfera, os gases de aeronaves a jato e os efeitos das nuvens e do tempo nos instrumentos de registro, podem ser explicados pelo uso da lei de Charles. Aqui estão aplicações práticas da lei de física que ajuda o piloto, o controlador de ar e o aerógrafo nos seus serviços. Voar se torna mais seguro quando os humanos são capazes de aplicar essa lei no manuseio dos dados de tempo, tão vital para a aviação.

### Lei Geral dos Gases

Os fatos referentes aos gases discutidos nas seções anteriores são resumidos e ilustrados na figura 7-8. A lei de Boyle é expressa em "A" da figura, e os efeitos das mudanças de temperatura na pressão e volume (lei de Charles) são ilustradas em "B" e "C", respectivamente. Ao combinar as leis de Boyle e Charles, uma expressão única pode ser encontrada, estabelecendo todas as informações contidas em ambas. Essa expressão é chamada "a lei geral dos gases", uma fórmula muito útil a partir da qual é dada a equação que se segue. (Nota: o P e T maiúsculos significam pressão absoluta e temperatura absoluta, respectivamente).

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-8 Lei geral dos gases.

Um exame da figura 7-8 revela que as três equações são casos especiais da equação geral. Portanto, se a temperatura permanecer constante,  $T_1$  igual a  $T_2$ , ambas podem ser eliminadas da fórmula geral, que então se reduz para a forma mostrada em "A". Quando o volume permanecer constante,  $V_1$  igual a  $V_2$ , reduzindo a equação geral para a forma dada em "B". Similarmente  $P_1$  é igual a  $P_2$  pela constante pressão e a equação toma a forma dada em "C".

A lei geral dos gases aplica-se com exatidão somente para gases perfeitos ou "ideais", em que as moléculas são assumidas para serem perfeitamente elásticas. Ainda que a lei descreva o comportamento atual dos gases, com exatidão suficiente para a maioria dos propósitos práticos.

A seguir, dois exemplos da equação geral:

1 - Dois pés cúbicos de um gás a 75 libras por polegada quadrada e a 80°F. São comprimidos para um volume de 1 pé cúbico e, então, aquecido a uma temperatura de 300°F. Qual a nova pressão indicada?



Formula ou equação:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

$$80^\circ\text{F} = 540^\circ \text{ABSOLUTO}$$

$$300^\circ\text{F} = 760^\circ \text{ABSOLUTO}$$

Substituindo

$$\frac{(75 + 14,7)(2)}{540} = \frac{P_2(1)}{760} \text{Então:}$$

$$\frac{179,4}{540} = \frac{P_2}{760} \Rightarrow P_2 = \frac{(179,4)(760)}{540}$$

$$P_2 = 252,5 \text{ p.s.i.a.}$$

Convertendo pressão absoluta para pressão indicada:

$$\begin{array}{r} 252,5 \\ - 14,7 \\ \hline 237,8 \text{ p.s.i.g.} \end{array}$$

2 - Quatro pés cúbicos de um gás a 75 p.s.i.g. e 80°F. são comprimidos a 237,8 p.s.i.g. e aquecidos para uma temperatura de 300°F. Qual é o volume de gás resultante desta operação?

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

$$80^\circ\text{F} = 540^\circ \text{absoluto}$$

$$300^\circ\text{F} = 760^\circ \text{absoluto}$$

Substituindo:

$$\frac{(75 + 14,7)(4)}{540} = \frac{(237,8 + 14,7)V_2}{760}$$

$$V_2 = \frac{358,8 \times 760}{540 \times 252,2} \Rightarrow V_2 = 2 \text{ pés cúbicos}$$

## **Lei de Avogadro**

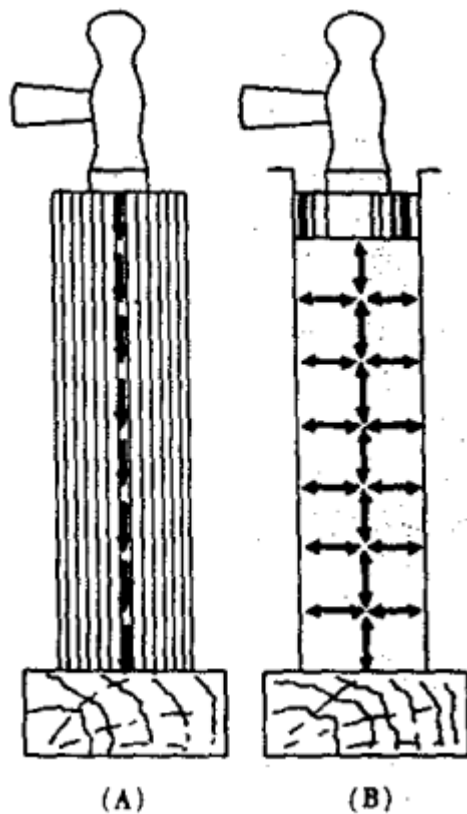
Avogadro, um físico italiano, conceituou a teoria que "na mesma temperatura e pressão, volumes iguais de diferentes gases, contêm iguais números de moléculas". Esta teoria foi provada por experiências e, comprovada com a teoria cinética, tanto que ela foi mostrada como "a lei Avogadro".

## **Lei de Dalton**

Se a mistura de dois ou mais gases que não combinam quimicamente é colocada em um recipiente, cada gás se expande através do espaço total e a pressão absoluta de cada gás é reduzida para um pequeno valor, chamado de pressão parcial. Esta redução está de acordo com a lei de Boyle. A pressão dos gases misturados é igual à soma das pressões parciais. Este fato foi descoberto por Dalton, um físico inglês e é determinada como a quarta lei de Dalton: "a mistura de vários gases que não reagem quimicamente, exerce uma pressão igual à soma das pressões que os vários gases exercerão separadamente se, a cada um, for permitido ocupar o espaço interior sozinho a uma dada temperatura".

## **Transmissão de Forças Através de Flúidos**

Quando a extremidade de uma barra é forçada, a força principal da pancada é transportada diretamente através da barra para o outro extremo (veja "A" da figura 7-9). Isto acontece porque a barra é rígida. A direção da pancada determina quase inteiramente a direção da força transmitida.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-9 Transmissão de força: (A) Sólido; (B) Fluido.

Quanto mais rígida a barra, menor é a força perdida dentro da barra, ou transmitida para fora, em ângulos retos na direção da pancada.

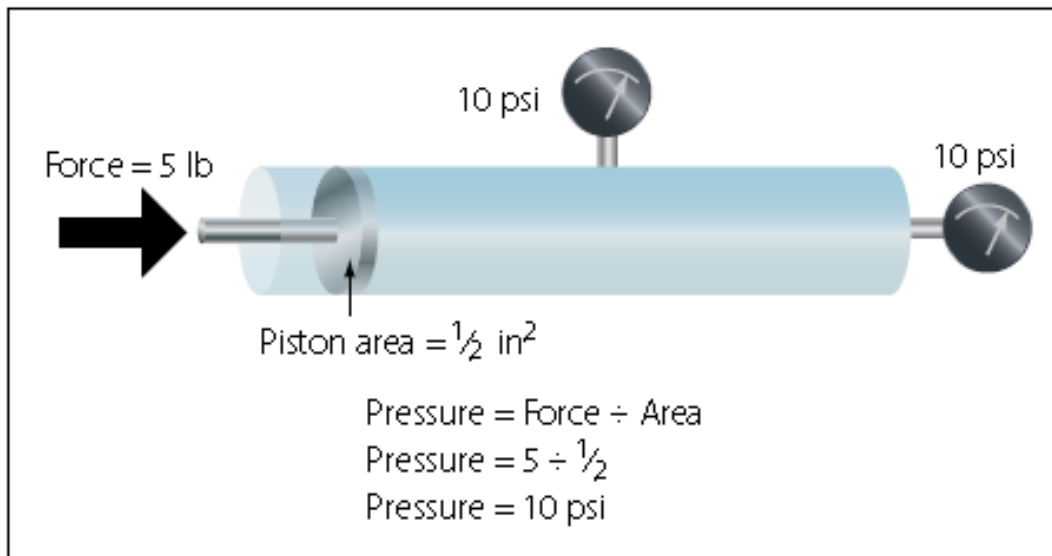
Quando uma força é aplicada na extremidade da coluna de um líquido confinado ("B" da figura 7-9), esta é transmitida diretamente através do outro final e, também, igualmente sem diminuir em todas as direções através da coluna, para frente, para trás e para os lados, de tal modo que o recipiente seja literalmente ocupado com a pressão.

Se um gás for usado em lugar de um líquido, a força será transmitida da mesma maneira.

A única diferença é que, o gás sendo compressível, fornece uma força rígida muito menor do que o líquido, que é incompressível. (Esta é a principal diferença na ação de líquidos e gases nos sistemas de força de fluidos).

### Lei de Pascal

Os fundamentos da hidráulica e pneumática moderna foram estabelecidos em 1653, quando Pascal descobriu que a pressão em cima de um fluido, atua igualmente em todas as direções.

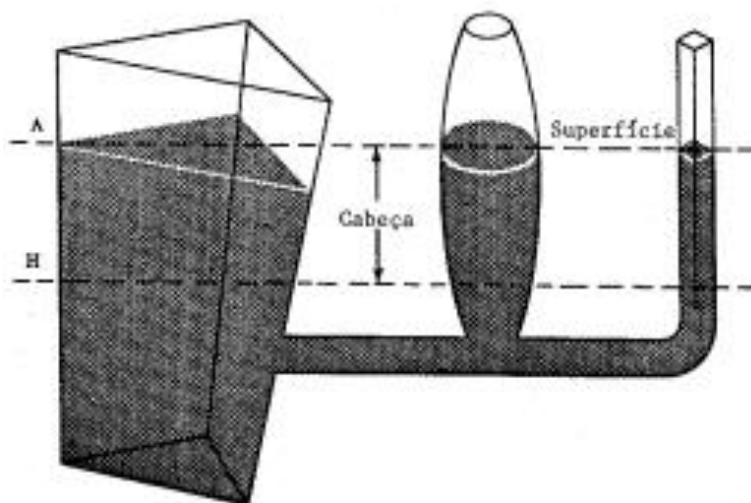


Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Esta pressão atua em ângulos retos para as superfícies do recipiente.

Uma das consequências da lei de Pascal é que a forma interior do recipiente altera a relação de pressão. Portanto na figura 7-11, se a pressão devida para o peso do líquido em um ponto na linha horizontal "H" é de 8 p.s.i., a pressão será de 8p.s.i., em qualquer lugar do nível "H" no sistema.

A pressão, devido ao peso de um fluido, depende em qualquer nível, da altura do fluido a partir da superfície. A distância vertical entre dois níveis horizontais em um fluido é conhecida como a **cabeça do fluido**.



Fonte: *LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional*

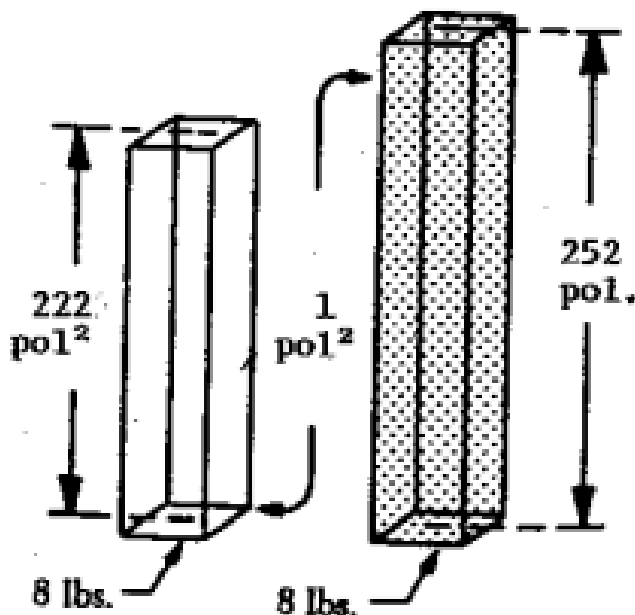
Figura 7-11 Relacionamento da pressão com o formato do reservatório.

Na figura 7-11 está indicada a cabeça do líquido de todos os pontos no nível "H" com relação à superfície.

A pressão devida para a cabeça do fluido também depende da densidade desse mesmo fluido. A água, por exemplo, pesa 62,4 libras/pé cúbico ou 0,036 libras/polegada cúbica, mas certos óleos fortes pesam 55 libras/pé cúbico, ou 0,32 libras/polegada cúbica. Para produzir uma pressão de 8 p.s.i., ele tomaria 222 polegadas de altura usando água, e 252 polegadas de altura usando o óleo (veja figura 7-12).

### Força e Pressão

Para que possamos entender como a lei de Pascal é aplicada para força de um fluido, uma distinção deve ser feita entre os termos "força" e "pressão". Força pode ser definida como um "empurrar" ou "puxar", exercido contra a área total de uma determinada superfície, que é expressa em libras. Como colocado anteriormente, pressão é uma quantidade de força em uma unidade de área da superfície representada acima. Em hidráulica e pneumática, a pressão é expressa em libras por polegada quadrada. Portanto **pressão** é a quantidade de força atuando sobre a área de uma polegada quadrada.



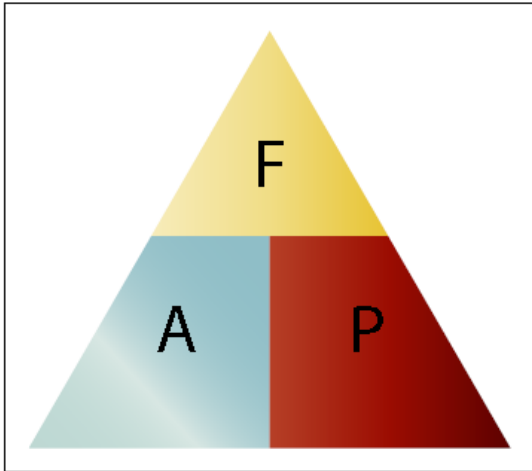
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-12 Relação entre pressão e densidade.

## Calculando Força, Pressão e Área

Uma fórmula, semelhante às usadas com a lei do gás, é usada calculando força, pressão e área no sistema de força do fluido. Embora pareçam ser três fórmulas, ela é somente uma, escrita em três variações, onde "P" refere-se a pressão, "F" indica força e "A" representa área.

Força é igual à pressão vezes a área. Assim, a fórmula será escrita:  $F = P \times A$



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 7-13 Dispositivo para determinar a relação entre Força, Pressão e Área.

Pressão é igual à força dividida pela área. Reacompondo a fórmula, esta afirmação é considerada em:

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

Como a área é igual à força dividida pela pressão, a fórmula será escrita:  $A = \frac{F}{P}$

A figura 7-13 ilustra um artifício para lembrar estas fórmulas. Qualquer letra no triângulo pode ser expressa como o produto ou quociente das outras duas, dependendo da posição dela dentro do triângulo.

Por exemplo, para acharmos a área, consideramos a letra "A" como destaque, seguida por um sinal de igual. Agora, olhamos para as outras duas letras.

A letra "F" está sobre a letra

"P"; logo,  $A = \frac{F}{P}$

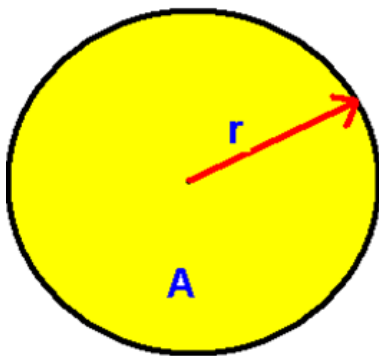
De maneira similar, para achar a força, consideramos a letra "F" como sendo destaque. As letras "P" e "A" estão lado a lado, logo,  $F = P \times A$ .



Às vezes a área não pode ser expressa em polegadas quadradas. Se ela é uma superfície retangular, a área pode ser achada multiplicando-se o comprimento (em metros ou polegadas) pela largura (em metros ou polegadas). A maioria das áreas consideradas nestes cálculos é circular.

Tanto o diâmetro como o raio (metade do diâmetro) pode ser dado. O raio em polegadas deve ser conhecido para achar a área. Então, a fórmula para achar a área de um círculo é usada.

Ela é escrita  $A = \pi r^2$ , onde  $A$  é a área,  $\pi$  é 3,1416 (3,14 ou  $3 \frac{1}{7}$  para a maioria dos cálculos), e  $r^2$  indica raio ao quadrado.



Fonte: Prof. Evandro Ferreira

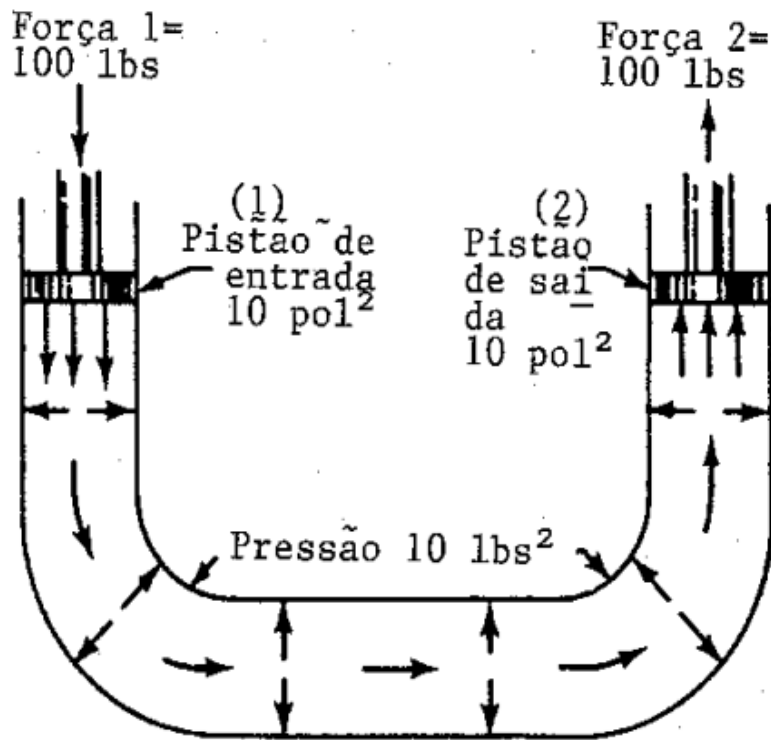
### **Pressão e Força em um Fluido num Sistema de Potência**

De acordo com a lei de Pascal, alguma força aplicada para um fluido preso é transmitida, igualmente, em todas as direções e, por todas as partes através do fluido independente da forma do recipiente. O efeito disto está no sistema mostrado na figura 7-14, que é uma modificação de "B" da figura 7-9. A coluna do fluido é curvada para cima para o seu nível original, com um segundo pistão neste ponto.

Está claro que quando o pistão entra (1) empurrado para baixo, a pressão é gerada através do fluido, o qual age igualmente em ângulos retos para as superfícies em todas as partes do recipiente.

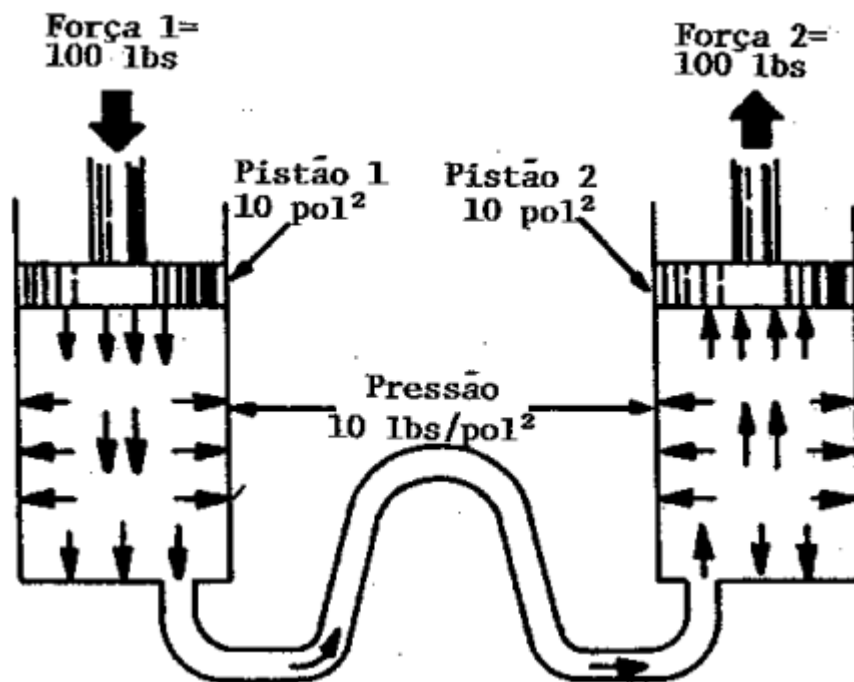
Referente à figura 7-14, se a força (1) é 100 libras e a área do pistão é de 10 polegadas quadradas, então a pressão no fluido é 10 p.s.i. (100/10). Esta pressão age no pistão (2), para que cada polegada quadrada da sua área seja empurrada para cima, com a força de 10 libras. Neste caso, uma coluna de fluido de seção uniforme é considerada, de modo que a área do pistão de saída (2) é a mesma que a do pistão de entrada (1), ou 10 polegadas quadradas. Então, a força para cima, no pistão de saída (2) é de 100 libras, a mesma que é

aplicada no pistão de entrada (1). Tudo que se executou neste sistema foi para transmitir a força de 100 libras ao redor de uma curva.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-14 Força transmitida através dos fluidos.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-15 Transmitindo força através de um pequeno tubo.

Entretanto, este princípio fundamenta praticamente toda aplicação mecânica da potência do fluido.

Este detalhe deve ser observado, pois a lei de Pascal é independente da forma do recipiente, não sendo necessário que o tubo que conecta os dois pistões tenha a mesma área dos pistões.

Uma conexão de qualquer tamanho, forma ou comprimento, fará o controle se a passagem não estiver obstruída. Daí, o sistema mostrado na figura 7-15, no qual um pequeno tubo em curva conecta os dois cilindros, que agirão exatamente da mesma maneira, como mostrado na figura 7-14.

### **Multiplicação de Forças**

Nas figuras 7-14 e 7-15, os sistemas contêm pistões de área iguais, os quais a força de saída é igual à força de entrada.

Considerando-se a situação na figura 7-16, onde o pistão de entrada é muito menor que o pistão de saída.

Suponhamos que a área do pistão (1) de entrada seja de 2 polegadas quadradas. Empurrando o pistão (1) com uma força de 20 libras, produziremos 10 p.s.i. ( $20/2$ ) no fluido.

Embora esta força seja muito menor do que a força aplicada nas figuras 7-14 e 7-15, a pressão é a mesma. Isto é porque a força está concentrada numa área relativamente pequena.

Esta pressão de 10 p.s.i. age em todas as partes do fluido no recipiente, incluindo a base do pistão (2) de saída.

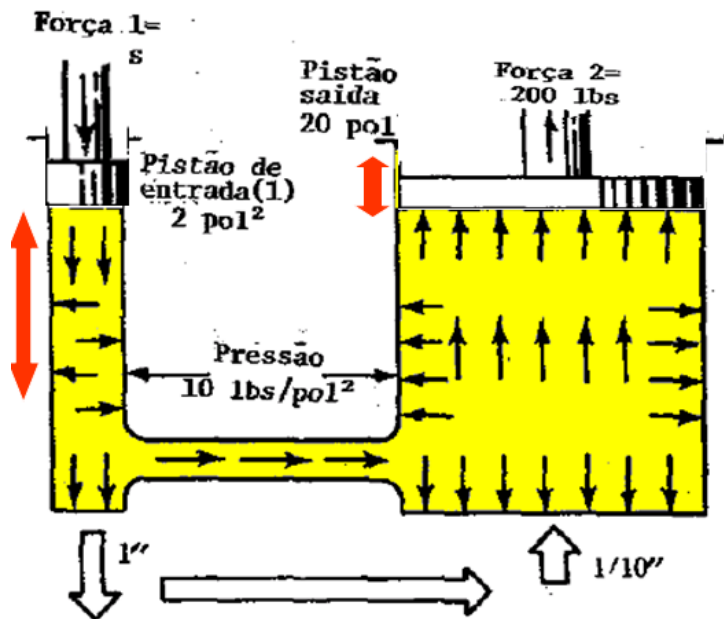
A força para cima, no pistão (2) de saída é, portanto, 10 libras para cada 20 polegadas quadradas de área, ou 200 libras ( $10 \times 20$ ).

Neste caso, a força original foi multiplicada por dez, enquanto a mesma pressão é usada no fluido anterior.

Obviamente, o sistema trabalhará da mesma maneira para outras forças e pressões. Assim, a razão da força de saída para a força de entrada é sempre a mesma.

O sistema trabalha da mesma forma, na situação contrária.

Considerando o pistão (2) na figura 7-16 como de entrada, e o pistão (1) como o de saída, vemos que a força de saída será sempre  $1/10$  da força de entrada. Às vezes tais resultados são desejados.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-16 Multiplicação de forças.

Então, se dois pistões são usados em um fluido num sistema de potência, a força que atua em cada um é diretamente proporcional a sua área e a magnitude de cada força é o produto da pressão pela sua área.

### Áreas Diferenciais

Eis a situação especial mostrada na figura 7-17. Aqui, um pistão individual em um cilindro tem uma haste ligada a um dos lados do pistão, ela se estende para fora do cilindro em uma extremidade. O fluido sob pressão entra para ambas as extremidades do cilindro, através de tubos. As duas faces do pistão permanecem como se dois pistões estivessem agindo um contra o outro.

A área de uma das faces é a área completa do cilindro, por exemplo, 6 polegadas quadradas. A área da outra face é a área do cilindro menos a área da haste do pistão a qual é de 2 polegadas na face direita do pistão. A pressão em ambas as faces é a mesma, neste caso, 20 p.s.i. Aplicando a regra já estabelecida, a força empurrando o pistão para a direita, é a sua área vezes a pressão, ou 120 libras (20 x 6). Similarmente, a força empurrando-o para a esquerda, é a sua área vezes a pressão, ou 80 libras.

Então existe uma força desequilibrada de 40 libras agindo para a direita e o pistão se moverá naquela direção. O efeito resultante é o mesmo como se o pistão e o cilindro

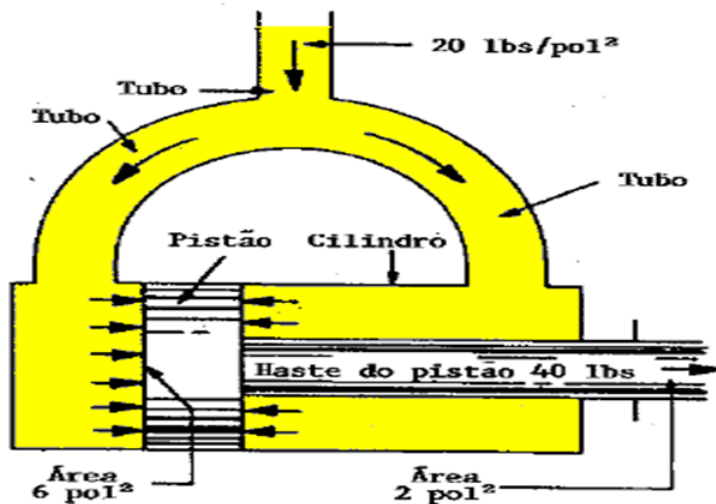
fossem do mesmo tamanho da haste do pistão, desde que todas as outras forças estejam em equilíbrio.

### Fatores de Volume e Distância

No sistema ilustrado nas figuras 7-14 e 7-15, os pistões têm áreas de 10 polegadas quadradas cada. Então, se um destes pistões é empurrado 1 polegada, 10 cu. in. de fluido serão deslocadas.

Desde que o líquido seja realmente incompressível, este volume deve ir para algum lugar. No caso de um gás, ele se comprimirá momentaneamente, mas se expandirá eventualmente para seu volume original.

Assim, este volume se move para o outro pistão. Visto que a área deste pistão é também de 10 polegadas quadradas, ele se moverá 1 polegada com o fim de acomodar as 10 cu. in. do fluido.



Fonte: IAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

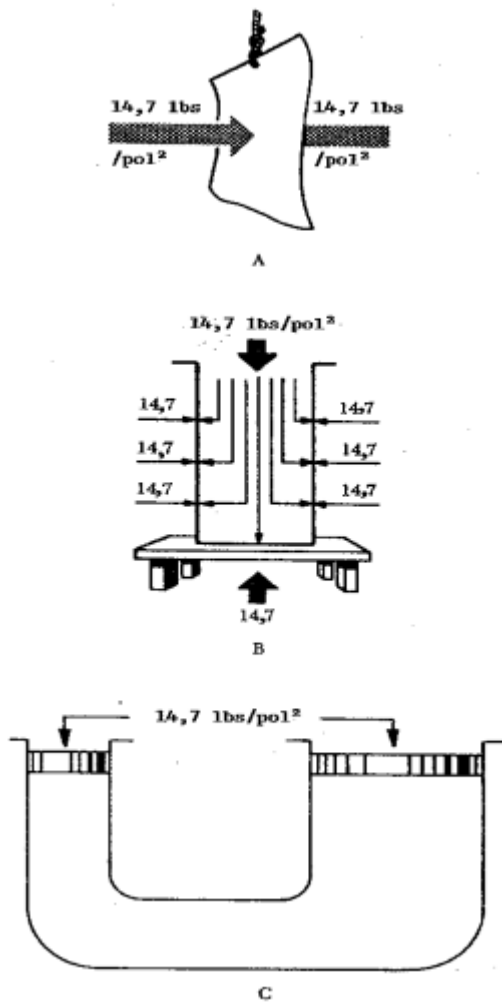
Figura 7-17 Áreas diferenciais em um pistão.

Os pistões são de áreas iguais e, portanto, se moverão distâncias iguais, embora em direções opostas.

Aplicando-se esse raciocínio para o sistema na figura 7-16, é óbvio que se o pistão (1) de entrada é empurrado 1 polegada, somente 2 cu. in. do fluido serão deslocadas.

Com o propósito de acomodar estas 2 cu. in. do fluido, o pistão (2) de saída terá que se mover somente 1/10 de uma polegada porque sua área é 10 vezes daquela do pistão (1) de entrada.

Isto nos leva para a segunda regra básica para dois pistões no mesmo sistema de potência de fluido, de que, as distancias percorridas são inversamente proporcionais as suas áreas.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-18 Efeitos da pressão atmosférica.

### Efeitos da Pressão Atmosférica

A pressão atmosférica, descrita anteriormente obedece, a lei de Pascal, igual ao estabelecido para pressão nos fluidos. Como ilustrado na figura 7-14, pressões devidas para uma cabeça de líquido são distribuídas igualmente em todas as direções. Isto também é verdadeiro para a pressão atmosférica. A situação é a mesma se essas pressões agirem de lados opostos de alguma superfície, ou através de fluidos. Em "A" na figura 7-18 uma folha de papel suspensa não é puxada pela pressão atmosférica, como ela seria por uma força desequilibrada, devido à pressão atmosférica atuar igualmente em ambos os lados do papel. Em "B" da figura 7-18, a pressão atmosférica atuando na superfície de um líquido é transmitida igualmente através do líquido para as paredes do recipiente, mas é equilibrada



pela mesma pressão, atuando diretamente no exterior das paredes do recipiente. Em "C" da figura 7-18, pressão atmosférica atuando na superfície de um pistão é equilibrada pela mesma pressão atuando na superfície do outro. As diferenças de áreas de duas superfícies não fazem diferença, desde que para uma unidade de área, as pressões estejam equilibradas.

### Princípio de Bernoulli

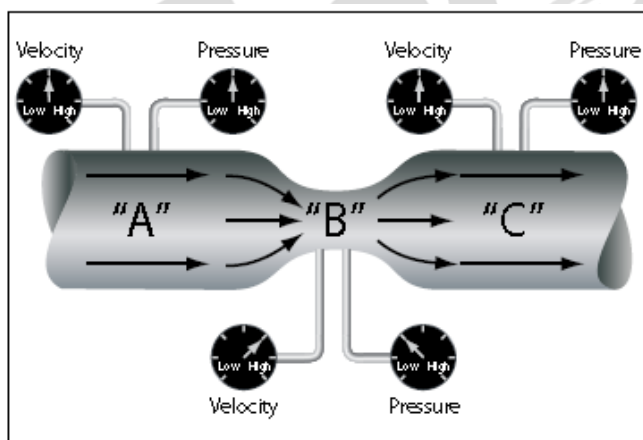
O princípio de Bernoulli foi originalmente estabelecido para explicar a ação de um líquido fluindo através de tubos de áreas de corte seccional diferentes.

Na figura 7-19 um tubo é mostrado com o corte seccional diminuindo gradualmente a área para um diâmetro mínimo na sua seção central. Um tubo construído desta forma é chamado um "Venturi" ou "Tubo de Venturi".

Quando um líquido (fluido) flui através do tubo de Venturi, os três tubos verticais agem como indicadores de pressão, enchendo com líquido até que a pressão deste em cada tubo se iguale à pressão do líquido movendo-se no Venturi.

O Venturi na figura 7-19 pode ser usado para ilustrar o princípio de Bernoulli, o qual estabelece que a pressão de um fluido (líquido ou gás) diminui no ponto onde a velocidade do fluido aumenta. Na seção larga do Venturi (pontos "A" e "C" da figura 7-19), o líquido se move a baixa velocidade, produzindo uma alta pressão, como indicado pela altura do líquido nos tubos verticais nestes dois pontos. A parte central do tubo, mais estreita, deve conter o mesmo volume de fluido das duas áreas extremas.

Nesta seção estreita, o líquido se move em alta velocidade, produzindo uma pressão menor que nos pontos "A" e "C", como indicado pela altura da coluna do líquido no tubo vertical acima do ponto "B" da figura 7-19.



Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 7-19 Pressões e velocidades em um tubo de Venturi.

O princípio de Venturi, em diversas formas e medidas, é usado em sistemas de aeronaves. Eles podem ser aplicados como restrições ou orifícios. Por exemplo, como orifício é geralmente instalado em uma linha hidráulica para limitar a velocidade do fluxo do fluido. O trem de pouso de uma aeronave operado hidraulicamente, quando comandado para baixar, tenderá a descer com uma boa velocidade devido ao peso dos mecanismos. Se uma restrição for instalada na linha de retorno hidráulico a extensão do trem será mais lenta, evitando desta forma, um possível dano estrutural.

## **1.8 ATMOSFERA**

### **Geral**

A aviação é quase tão dependente dessa categoria de fluidos chamada gases e do efeito de forças e pressão agindo sobre esses gases, que uma discussão sobre o tema atmosfera é importante para as pessoas da manutenção e reparo de aeronaves.

Dados disponíveis sobre a atmosfera podem determinar se um voo terá êxito ou se ele ficará no solo. Os vários componentes do ar em volta da terra, as mudanças na temperatura e pressão em diferentes níveis acima da terra, as peculiaridades do tempo encontradas pela aeronave no voo e muitos outros dados detalhados são considerados pela aeronave no voo e muitos outros dados detalhados são considerados na preparação do plano de voo.

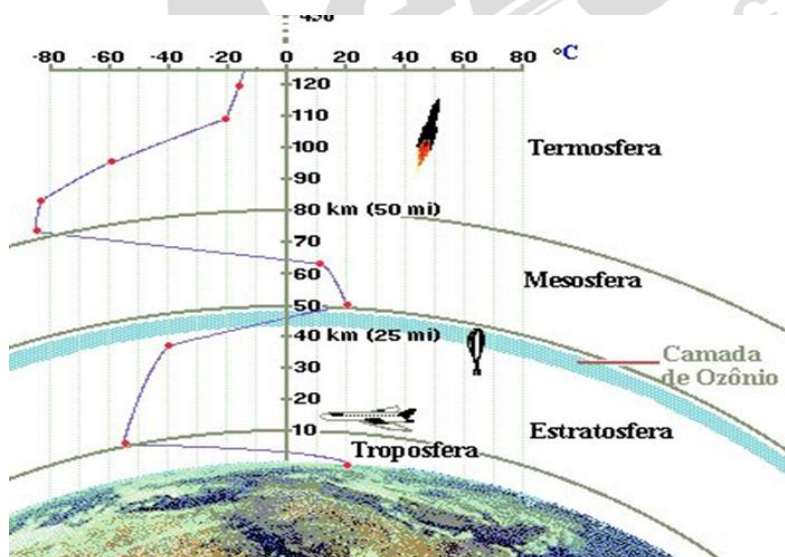
Pascall e Torricelli pesquisaram com desenvolvimento o barômetro e os instrumentos para medir a pressão atmosférica. Os resultados de seus experimentos continuam sendo usados hoje com poucas melhorias no projeto ou no conhecimento. Eles determinam que o ar tem peso, o qual varia quando a altitude é mudada com relação ao nível do mar. Cientistas atuais também estão interessados em como a atmosfera afeta a performance da aeronave e seus equipamentos.

### **Composição da Atmosfera**

A atmosfera é uma mistura complexa e em constante mudança. Seus ingredientes variam de local para local e de dia para dia. Além dos inúmeros gases, ela contém matérias estranhas como pólen, poeira, bactérias, fuligem, cinza de vulcão, esporos e poeira do espaço exterior.

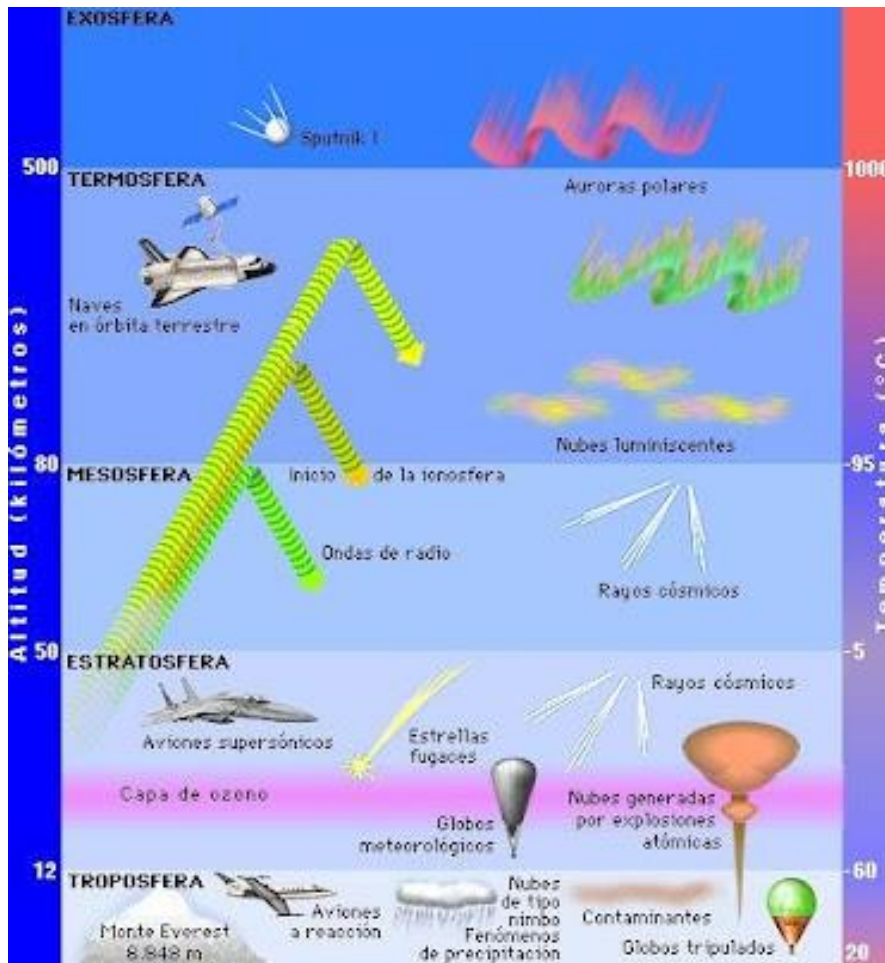
A composição do ar permanece quase constante desde o nível do mar até seu mais alto nível, mas sua densidade diminui rapidamente com a altitude. A seis milhas acima, por exemplo, ele é muito rarefeito para se manter a respiração e 12 milhas acima não existe oxigênio bastante para suportar a combustão.

O ozônio filtra uma porção dos raios letais ultravioleta, permitindo somente a passagem bastante para dar um bronzeado ao homem, matando bactérias e prevenindo o raquitismo. Estudos de atmosfera têm revelado que a temperatura não diminui uniformemente com o aumento da altitude, ao contrário, ela obtém um frio constante em alturas de 7 milhas, onde a razão de mudança da temperatura diminui abruptamente e fica quase constante em  $-55^{\circ}\text{C}$  ( $218^{\circ}\text{K}$ ) a cerca de 20 milhas. Abaixo segue um gráfico que demonstra a variação da temperatura x altitude.



Fonte: [www.portalsaofrancisco.com.br](http://www.portalsaofrancisco.com.br)

A atmosfera está dividida em cinco concêntricas camadas ou níveis. A transição entre estes níveis é gradual e sem definição de limites severos.



Fonte: professor buriti.blogspot.com

Para melhor explicação, as cinco camadas são: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera.

**Troposfera** - é a camada mais baixa da atmosfera, estende-se até cerca de 15 km de altitude. É nessa camada que ocorre a maioria dos fenômenos atmosféricos.

**Estratosfera** - vai da troposfera até cerca de 50 km de altitude. Nela, aproximadamente a 22 km de altitude, encontra-se a camada de gás ozônio ( $O_3$ ), responsável pela filtração dos raios ultravioleta emitidos pelo Sol.

**Mesosfera** - se estende da estratosfera até aproximadamente 80 km. É a camada da atmosfera com as temperaturas mais baixas (pode chegar a  $-90^\circ C$ ).

**Termosfera** - vai da mesosfera até cerca de 500 km de altitude. É uma camada muito importante para a comunicação humana, porque contém grande quantidade de gases ionizados que refletem alguns tipos de ondas de rádio.

**Exosfera** - última das camadas atmosféricas, a exosfera se estende da termosfera até o espaço exterior. É a camada na qual, em geral, posicionam-se os satélites artificiais.

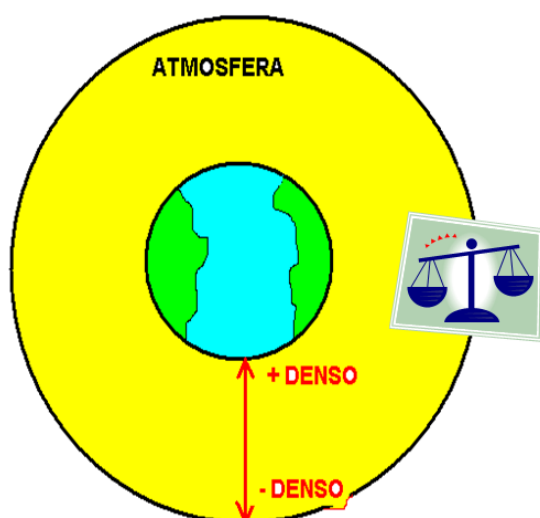
A troposfera vai desde a superfície da terra até 35.000 pés nas médias latitudes, mas varia de 28.000 pés nos polos até 54.000 pés no equador. A troposfera é caracterizada por uma grande mudança de temperatura e umidade e, geralmente, por condições de turbulência. Quase todas as formações de nuvens estão dentro da troposfera e é no limiar desta camada que voam normalmente os aviões comerciais a reação.

Aproximadamente 3/4 do total de peso da atmosfera está dentro da troposfera.

### Pressão Atmosférica

O corpo humano está sob pressão devido à massa de ar que o engloba. Esta pressão se deve ao peso da atmosfera. A pressão que a atmosfera aplica em uma polegada quadrada de área, é igual ao peso de uma coluna de ar de uma polegada quadrada no corte seccional, o qual se estende desde essa área até a área superior da atmosfera.

Desde que a pressão atmosférica, em alguma altitude, é devido ao peso do ar sobre ela, a pressão diminui com o aumento da altitude.



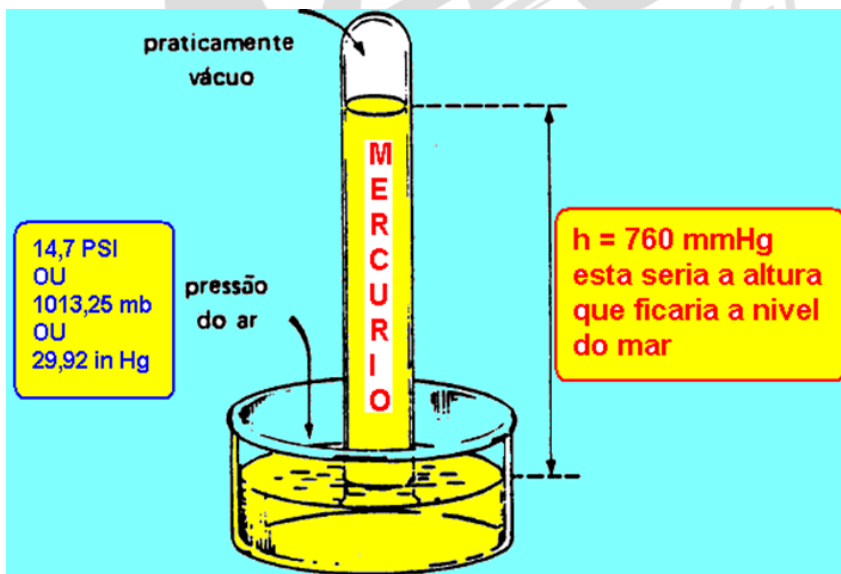
Fonte: Prof. Evandro Ferreira

A pressão atmosférica é, frequentemente, medida por um barômetro de mercúrio, que é um tubo de vidro com cerca de 30 polegadas de comprimento, selado em uma das extremidades e enchido com mercúrio (Hg.). Ele é então invertido e a abertura da extremidade é colocada em um prato de mercúrio. Imediatamente, o nível de mercúrio no tubo invertido diminui uma pequena distância, deixando um pequeno volume de vapor de mercúrio, próximo do zero absoluto de pressão no tubo, acima do nível máximo do líquido da coluna de mercúrio.

A pressão atuando por cima da extremidade do tubo, sobre o nível de mercúrio no prato é a pressão atmosférica. A pressão, atuando embaixo, no mesmo ponto, é o peso da coluna de mercúrio. Então, a altura da coluna de mercúrio indica a pressão exercida pela atmosfera.

Este meio de medição da pressão atmosférica, dá lugar à prática de expressar a pressão atmosférica em polegadas de mercúrio (in. Hg), melhor do que em libras por polegada quadrada (p.s.i.). Pode ser visto, entretanto, que um simples relacionamento existe entre a pressão medida em P.S.I. e em polegadas Hg. Uma polegada cúbica de mercúrio pesa 0,491 libras. Portanto, a pressão de 30 polegadas de mercúrio será equivalente a:

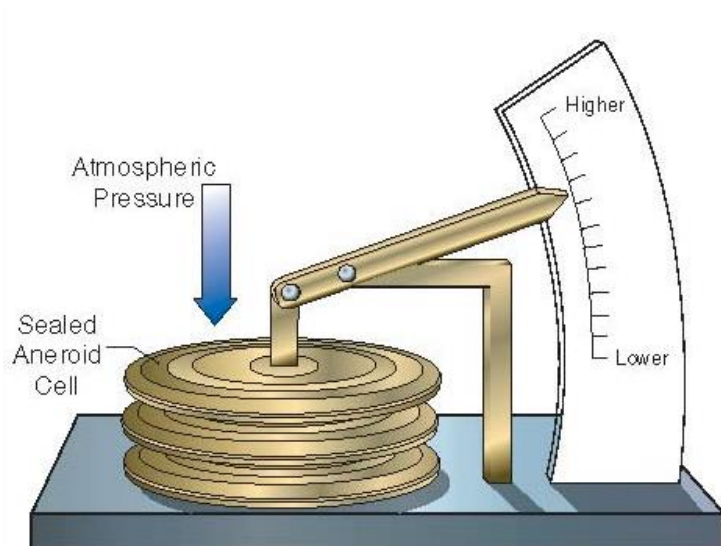
$$0,491 \times 30 = 14,73 \text{ p.s.i.}$$



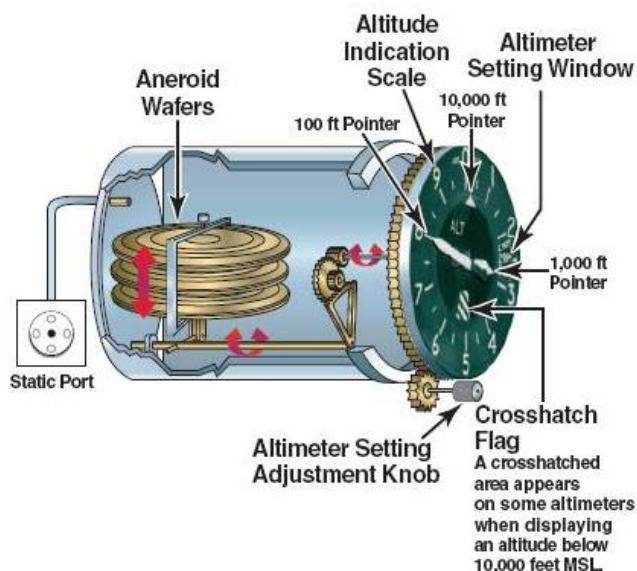
Fonte: Prof. Evandro Ferreira

Uma segunda maneira de medir a pressão atmosférica é com um barômetro aneróide. Este instrumento mecânico pode ser usado em aviões muito mais adequadamente do que o barômetro de mercúrio. Barômetros aneróides (altímetros) são usados para indicar a altitude do voo.





Fonte: [www.free-online-private-pilot-ground-school.com](http://www.free-online-private-pilot-ground-school.com)



Fonte: [www.free-online-private-pilot-ground-school.com](http://www.free-online-private-pilot-ground-school.com)

As calibrações são feitas em milhares de pés, melhor do que em p.s.i. Por exemplo, a pressão padrão ao nível do mar é 29,92 polegadas de mercúrio, ou 14,69 p.s.i. A 10.000 pés acima do nível do mar, a pressão padrão é de 20,58 polegadas de mercúrio ou 10,10 p.s.i. Os altímetros são calibrados, de tal modo, que a pressão de 20,58 in. Hg. exercida pela atmosfera, causará a indicação de 10.000 pés.

Em outras palavras, o altímetro é calibrado para indicar a altitude na qual a pressão atmosférica predominante é considerada pressão padrão. Assim, a altitude lida no altímetro, sendo dependente da pressão atmosférica superior, é chamada pressão de altitude (Hp). Realmente, um altímetro indicará a pressão de altitude somente quando o ajuste do altímetro estiver selecionado para 29,92 polegadas Hg.

Uma terceira expressão é, ocasionalmente, usada para indicar a pressão atmosférica. A pressão atmosférica pode ser expressa em atmosferas. Por exemplo, um teste pode ser conduzido em um compartimento pressurizado abaixo da pressão de seis atmosferas. Isto simplesmente significa que a pressão é seis vezes maior do que a pressão padrão ao nível do mar.

### **Densidade Atmosférica**

Desde que, tanto a temperatura como a pressão diminuem com a altitude, pode parecer que a densidade da atmosfera permanecerá mais ou menos constante com o aumento da altitude. Isto não é verdade para a pressão que diminui mais rapidamente com o aumento da altitude do que com o da temperatura. O resultado é que a densidade diminui com o aumento da altitude. No uso da lei geral dos gases, estudado anteriormente, pode-se mostrar que para um gás em particular, pressão e temperatura determinam a densidade.

Desde que o padrão de pressão e temperatura tem sido associado com cada altitude, a densidade do ar deve também ser considerada padrão. Então, uma densidade atmosférica particular está associada com cada altitude. Isto dá lugar à expressão "densidade de altitudes", simbolizada por  $H_d$ .

A densidade de altitude de 15.000 pés é a altitude na qual a densidade é a mesma que a considerada padrão para 15.000 pés. Relembre, entretanto, que a densidade de altitude não é necessariamente a altitude verdadeira. Por exemplo, em um dia onde a pressão atmosférica é mais elevada do que a padrão e a temperatura é mais baixa que a padrão, a densidade, a qual é padrão a 10.000 pés, pode ocorrer a 12.000 pés. Neste caso, em uma altitude real de 12.000 pés, nós temos ar, que tem a mesma densidade do ar padrão em 10.000 pés. Densidade de altitude é uma altitude calculada, obtida pela correção da pressão de altitude pela temperatura.

A água contida no ar tem um pequeno efeito na densidade dele. Deve ser lembrado que o ar úmido, a uma determinada temperatura e pressão, é mais leve do que o ar seco, na mesma temperatura e pressão.

### **Água Contida na Atmosfera**

Na troposfera, raramente o ar é completamente seco, nela o vapor de água tem duas formas: (1) neblina ou (2) vapor de água. A neblina consiste de diminutos pingos de água

em suspensão no ar. As nuvens são compostas de neblina. A altura para a qual algumas nuvens se estendem, é uma boa indicação da presença de água na atmosfera, aproximadamente acima da estratosfera.

Como resultado da evaporação, a atmosfera às vezes contém algumas misturas em forma de vapor de água. A mistura é chamada de umidade do ar. A mistura não consiste de minúsculas partículas de líquidos mantidos em suspensão no ar, como no caso da neblina, mas é um vapor verdadeiramente invisível como o gás no ar.

Tanto a neblina como a umidade afeta o desempenho de uma aeronave. Em voo, durante a potência de cruzeiro, os efeitos são pequenos, não merecendo consideração. No entanto, durante a decolagem, a umidade tem um importante efeito, que pode ser compensado de duas maneiras. Como o ar úmido é menos denso do que o ar seco, o peso de decolagem previsto para uma aeronave, deve ser reduzido para a operação em áreas de umidade constante.

Como a saída de potência dos motores convencionais é diminuída pela umidade, a pressão de admissão terá que ser aumentada para um valor acima do que é recomendado, para se obter a mesma potência de saída, em uma decolagem sob condições de umidade, porque a potência fornecida por um motor é calculada para condições de ar seco.

Uma vez que o vapor de água é incombustível, sua pressão na atmosfera em nada contribui para a potência de saída. A mistura do vapor de água e ar é sugada pelo carburador e o combustível é medido por ele, como se aquela mistura fosse somente de ar.

A mistura saída do carburador composta de vapor de água, ar e combustível entra na câmara de combustão onde é queimada. Como o vapor de água não será queimado, a relação efetiva combustível/ar estará enriquecida e o motor irá operar como se ele estivesse com uma mistura excessivamente rica.

A perda de potência resultante, sob condições de umidade, pode ser atribuída à perda de eficiência volumétrica devido ao ar deslocado e a combustão incompleta, devido a mistura combustível/ar excessivamente rica.

A redução na potência, que pode ser esperada da umidade, é usualmente fornecida em tabelas contidas no Manual de voo. Existem vários tipos de cartas em uso, sendo que algumas apenas apresentam a esperada redução da potência devido à umidade. Outras mostram o reforço necessário na pressão de admissão, para restabelecer a potência de decolagem.

O efeito da neblina no desempenho de um motor é muito perceptível, particularmente em motores de alta razão de compressão. Normalmente alguma detonação ocorrerá durante a

aceleração, devido à alta BMEP (Pressão Média Efetiva no Freio) desenvolvida. No entanto, em um dia de muita neblina, é muito difícil a ocorrência da detonação.

A explicação deste fato é que, sendo a neblina composta por partículas de água não vaporizadas, quando essas partículas entram nos cilindros elas absorvem uma tremenda quantidade de energia calorífica no processo de evaporação. A temperatura é, então, reduzida o suficiente para evitar a detonação.

A neblina geralmente causará uma diminuição na potência de saída. Entretanto, nos motores com super compressão, será possível usar alta pressão de admissão sem o perigo da detonação.

### **Umidade Absoluta**

Umidade absoluta é a quantidade real de vapor de água em uma mistura de ar e água. Ela é, algumas vezes, expressa em gramas por metro cúbico (g./cu.m.) e outras vezes em libras por pé cúbico (lbs/cu.ft.).

A quantidade de vapor de água que pode estar presente no ar, depende da temperatura e da pressão.

A mais alta temperatura e a maior quantidade de vapor de água que o ar é capaz de manter, assumindo uma pressão constante. Quando o ar tem todo o vapor de água que ele pode manter a uma determinada temperatura e pressão, ele é considerado ar saturado.

### **Umidade Relativa**

Umidade relativa é a razão da quantidade de vapor de água realmente presente na atmosfera, para a quantidade que deveria apresentar se o ar estivesse saturado, a uma determinada temperatura e pressão. Essa razão é, normalmente, multiplicada por 100 e expressa como uma porcentagem. Suponhamos, por exemplo, que uma previsão do tempo informe que a temperatura é de 75°F e a umidade relativa do ar é de 56%. Isto indica que o ar mantém 56% de vapor de água necessários para saturá-lo a 75°F. Se a temperatura baixar e a umidade absoluta permanecer constante, a umidade relativa aumentará. Isto acontece, porque menos vapor de água é necessário para saturar o ar na temperatura mais baixa.



Fonte: [www.grx.com.br](http://www.grx.com.br)

Figura 7-20 Termômetro de bulbo molhado.

### **1.9 PONTO DE ORVALHO**

O ponto de orvalho é a temperatura para a qual o ar úmido deve ser resfriado, a uma constante pressão, para tornar-se saturado. Se a temperatura cai abaixo do ponto de orvalho acontece a condensação.

Pessoas que usam óculos já tiveram a experiência, ao saírem do frio para uma sala aquecida, de terem umidade coletada rapidamente nos seus óculos. Isto aconteceu, porque os óculos estavam abaixo do ponto de orvalho para a temperatura de ar dentro da sala. O ar em contato com os óculos foi imediatamente resfriado para uma temperatura abaixo do ponto de orvalho e algum vapor de água foi condensado por fora. Este princípio é aplicado na determinação do ponto de orvalho. Um recipiente é resfriado até que o vapor da água comece a condensar na sua superfície.

A temperatura na qual isto ocorre, é o ponto de orvalho.

### **Pressão de Vapor**

A pressão de vapor é a porção da pressão atmosférica que é exercida pela umidade do ar (expressa em décimos de uma polegada de mercúrio). O ponto de orvalho para uma determinada condição depende da quantidade de pressão de água presente. Por

consequente, existe um relacionamento direto entre a pressão de vapor e o ponto de orvalho.

### **Temperatura de Bulbo Seco e de Bulbo Molhado**

A pressão de vapor e a umidade podem ser determinadas por tabelas baseadas na temperatura de bulbo seco e na de bulbo molhado (fig 7-20). A temperatura de bulbo seco é obtida por meio de um termômetro comum. A temperatura de bulbo molhado é obtida de um termômetro que tem o seu bulbo coberto com uma fina peça de tecido molhado.

Devido à evaporação da umidade, o bulbo molhado indicará uma temperatura mais baixa do que a do bulbo seco. Quanto mais rápida for a evaporação, maior será a diferença na leitura. A razão de evaporação depende do grau de saturação do ar. Ao usar o termômetro de bulbo molhado, ele deverá ser movimentado através do ar a uma razão de aproximadamente 1.200 pés por minuto para uma leitura correta. Isto pode ser executado, montando-se ambos os termômetros, o de bulbo molhado e o de bulbo seco, em uma moldura, a qual deverá ser girada com a mão em torno de um eixo, até que a desejável velocidade de 1.200 pés por minuto seja alcançada.

Se o ar estiver saturado, nenhuma evaporação acontecerá e as temperaturas dos bulbos secos e molhados serão as mesmas. Assim, essas duas temperaturas coincidirão com o ponto de orvalho.

### **Leis Físicas Relativas à Atmosfera**

Apesar de o ar ser um composto de vários gases e ter que ser considerado como uma mistura para certas finalidades, para os cálculos de aerodinâmica ele é considerado como um gás uniforme.

O ar é um fluido, uma vez que ele tem a propriedade de fluir e é também um gás, porque sua densidade é rapidamente variável.

Como é usual em trabalhos de engenharia, são feitas certas suposições simplificadas. Uma suposição considerada padrão é a que no ar seco não existe vapor de água presente.

As tabelas de voo e decolagem podem ser corrigidas para a pressão de vapor, mas o voo subsônico não considera a pressão de vapor como um fator importante. Outra suposição padrão é que o atrito ou "efeito da viscosidade" pode ser negligenciado quando se trata de fluxo de ar.



O ar é então, considerado como sendo um fluido perfeito. No entanto, algumas excessões podem ser feitas, particularmente, no caso da fina camada limite, do lento movimento do ar próximo a um corpo em movimento.

### **Teoria Cinética dos Gases Aplicada ao Ar**

A teoria cinética estabelece que um gás é composto de pequenas e diferentes partículas chamadas moléculas. O tamanho das moléculas é pequeno, comparado com a distância média entre elas.

Além disso, as moléculas estão se movendo a uma alta razão de velocidade, sem direção definida e, devido a isso, elas estão constantemente colidindo umas com as outras e com as paredes do recipiente em que estão contidas.

A pressão produzida por um gás é o resultado desses contínuos impactos de encontro à superfície e, como os impactos são essencialmente em número infinito, uma constante pressão é efetuada.

Logo que a pressão é produzida pelo impacto das moléculas contra a superfície, ela também é transmitida pelo impacto molecular. Supondo que as moléculas são perfeitamente elásticas (que nenhum atrito existe entre elas), uma onda de pressão, uma vez iniciada, continuará indefinidamente.

Para a maioria das finalidades, essa teoria é adequada. Entretanto ela não é completamente correta.

Por exemplo, o som representa uma série de fracas ondas de pressão, para as quais o ouvido é sensível. Se a energia que o som representa não for perdida, o som continuará indefinidamente.

Desse modo então, a elasticidade imperfeita pode ser, de algum modo, associada com o atrito dos fluidos ou viscosidade, uma vez que a presença da viscosidade é também uma fonte de perda de energia.

Com base na teoria cinética, a pressão pode ser aumentada de duas maneiras: a primeira, aumentando o número de moléculas em um determinado espaço, o que é o mesmo que aumentar a densidade. A segunda, pelo aumento da velocidade das moléculas, que pode ser feito pelo aumento da temperatura, pois o aumento da temperatura produz um aumento na velocidade molecular.

Uma análise da teoria cinética nos leva a um relacionamento definido entre a temperatura, pressão e densidade de um gás, quando este gás está sujeito a um determinado conjunto de condições.

Este relacionamento é conhecido como equação de estado.

### **Equação de Estado**

Com a condição de que a temperatura e a pressão de um gás não são excessivamente diferentes daquelas normalmente experimentadas na superfície da terra, a seguinte equação é verdadeira:

$$PV = RT$$

Onde: P = pressão em lbs./sq.ft.

V = volume específico

R = uma constante para um determinado gás (para o ar R = 53,345).

T = temperatura absoluta (Rankine = ° F. + 459,4)

Se a temperatura e a pressão são aquelas em que o gás se torna um líquido ou se a pressão cai para aquele valor em que não exista igualdade de pressão, a equação perderá a validade.

Na prática de trabalhos aeronáuticos, esses extremos são encontrados somente em um supersônico túnel de vento ou em camadas externas da atmosfera. Esta fórmula deve ser, além disso, melhorada para a engenharia prática, pela introdução da densidade do ar.

### **Atmosfera Padrão**

Se o desempenho de uma aeronave for computado ou através de testes de voo ou testes no túnel de vento, alguns padrões de referência devem ser determinados em primeiro lugar, para que possam ser comparados os resultados com aqueles de testes semelhantes.

As condições atmosféricas variam continuamente e, geralmente, não é possível obter-se exatamente as mesmas condições em dois dias diferentes, ou semelhança em dois voos sucessivos.

Consequentemente, deve ser estabelecido um grupo de condições padrão, que pode ser usado arbitrariamente como referência.

O conjunto de condições padrão atualmente usado nos Estados Unidos da América é conhecido como "U.S. Standard Atmosphere".

A atmosfera padrão aproxima-se das condições médias existentes a 40° de latitude e é determinado baseado nos seguintes dados.

As condições padrão ao nível do mar são:

Pressão na altitude zero ( $P_0$ ) = 29,92 polegadas de mercúrio.

Temperatura na altitude zero ( $T_0$ ) = 15°C. = 59° F.

Gravidade na altitude zero ( $G_0$ ) = 32,174 pés/segundo quadrado.

O U.S. Standard Atmosphere tem um acordo com a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) divisão de Standard Atmosphere, sobre os seus comuns limites de altitude. A atmosfera padrão da ICAO foi adotada como padrão pela maioria das principais nações do mundo.

### **Variações do Dia Padrão**

Como pode ser esperado, a temperatura, pressão, densidade e conteúdo de vapor de água do ar, varia consideravelmente na troposfera. A temperatura a 40° de latitude pode alcançar de 50°C em baixas altitudes, durante o verão, a 70°C a grandes altitudes, durante o inverno. Conforme estabelecido anteriormente, a temperatura usualmente diminui com o aumento da altitude. As exceções dessa regra ocorrem quando o ar frio fica preso próximo da terra, por uma camada aquecida. Isso é chamado de inversão da temperatura, comumente associada com um movimento frontal das massas de ar.

A pressão também varia em um determinado ponto da atmosfera.

Em um dia padrão, ao nível do mar, a pressão será 29,92 polegadas de mercúrio (in Hg). Nos dias fora das condições padrão, a pressão ao nível do mar variará consideravelmente, acima ou abaixo desse valor.

A densidade do ar é determinada pela pressão e temperatura atuando sobre ela. Uma vez que a atmosfera nunca pode ser considerada "padrão", um método conveniente de calcular a densidade foi idealizado.

Uma vez que a pressão é medida em termos inconvenientes, como recurso deve-se utilizar o altímetro à aneróide como um indicador e referência para o termo "pressão de altitude" no lugar de pressão atmosférica.

## Pressão de Altitude

Pressão de altitude é a altitude na atmosfera padrão correspondente a um particular valor de pressão do ar.

O altímetro da aeronave é, essencialmente, um barômetro sensível, calibrado para indicar a altitude em uma atmosfera padrão.

Com o altímetro da aeronave selecionado para 29,92 in, Hg, o mostrador indicará o número de pés acima ou abaixo do nível, onde existe 29,92 in. Hg, não sendo necessariamente acima ou abaixo do nível do mar, a menos que existam as condições de um dia padrão. Em geral, o altímetro indicará a altitude na qual a pressão existente será considerada pressão padrão. O símbolo Hp é usado para indicar pressão de altitude.

### 1.10 PRINCÍPIO DE BERNOULLI

#### Geral

Em uma discussão anterior sobre fluidos, o princípio de Bernoulli foi introduzido para explicar o relacionamento entre a velocidade e a pressão de um líquido fluindo através de um venturi.

Desde que o princípio de Bernoulli se aplica aos fluidos, que pela definição inclui gases e líquidos, sua aplicação aos gases (ar) está incluída neste ponto da explanação sobre o relacionamento entre a velocidade do ar e a pressão na superfície de um aerofólio.

#### Como Uma Asa de Aeronave Reage com a Atmosfera

Um aerofólio é qualquer superfície projetada para obter reação do ar, através do qual ele se movimenta. Asas, ailerons, profundores, estabilizadores, pás de hélice e rotores de helicópteros, todos são aerofólios.

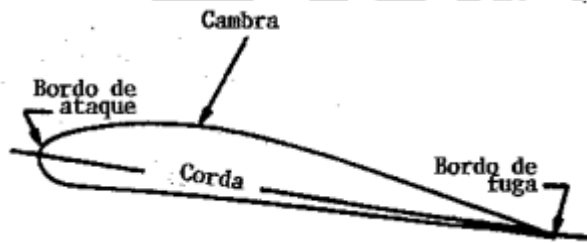
A reação para a qual as asas são projetadas é chamada de sustentação. A asa produz sustentação por causa de uma diferença de pressão e com o aumento desta diferença, maior sustentação será desenvolvida.

Se a pressão de ar sobre a asa for a mesma que a sob a asa, não haverá sustentação. Mas se a pressão sobre a asa é reduzida e a sob a asa for aumentada, então a sustentação será produzida.

A forte pressão de ar sob a asa a move para cima de encontro à fraca pressão sobre a asa. Portanto, o que causa essas pressões desiguais?

Um exame do formato de uma asa de aeronave revela que ela foi projetada para criar uma diferença de pressão. Se uma asa for cortada, do bordo de ataque para o bordo de fuga, a visão final do corte será um perfil com a seção semelhante ao mostrado na figura 7-21. A parte dianteira do perfil do aerofólio é arredondada e é chamada de bordo de ataque. A parte traseira, estreita e afilada, é chamada de bordo de fuga.

Uma linha de referência, frequentemente usada em discussões sobre aerofólio, é a corda, uma linha reta imaginária unindo as extremidades do bordo de ataque ao de fuga. A superfície curva da parte superior do aerofólio é chamada de "cambra". A superfície inferior é normalmente reta ou ligeiramente curvada.

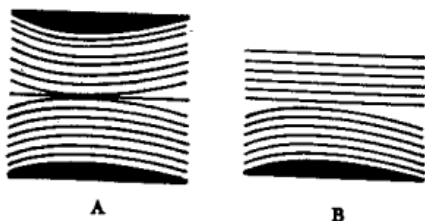


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-21 Seção de um aerofólio.

Um aerofólio é muito semelhante ao formato da metade de uma seção de venturi. Em "A" da figura 7-22, a garganta ou porção restrita de um venturi está ilustrada.

O fluxo do ar através do venturi é indicado pelas linhas de fluxo. Em "B" da figura 7-22, a metade de uma restrição do venturi é mostrada, junto com o fluxo de ar sobre a sua superfície curva. Observamos que esta porção de um venturi tem o mesmo perfil de um aerofólio.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-22 Fluxo de ar nas seções de um Venturi.

Para entender como a sustentação é produzida pelas asas de uma aeronave, o princípio de Bernoulli é aplicado para um aerofólio. Esse princípio revela que a pressão do fluido (líquido ou gás), diminui nos pontos onde a velocidade do fluido aumenta. Em outras palavras, a alta velocidade está associada com a baixa pressão e a baixa velocidade com a alta pressão. A asa ou aerofólio de uma aeronave é projetada para aumentar a velocidade do fluxo de ar sobre a sua superfície, diminuindo por isso, a pressão sobre o aerofólio. Simultaneamente, o impacto do ar na superfície inferior do aerofólio, aumenta a pressão por baixo dele. Esta combinação da diminuição da pressão sobre o aerofólio e aumento por baixo dele, produz a sustentação.

## 1.11 MÁQUINAS

### Geral

Vulgarmente, uma máquina é imaginada como um dispositivo complexo, tal como um motor de combustão interna ou uma máquina de escrever.

Estas são máquinas, mas o são também, o martelo, a chave de fenda ou uma roda.

Uma máquina é qualquer dispositivo com o qual pode ser realizado um trabalho. Máquinas são usadas para transformar energia, como no caso de um gerador, transformando energia mecânica em energia elétrica.



Fonte: [www.corsateam.com.br](http://www.corsateam.com.br)

Gerador elétrico

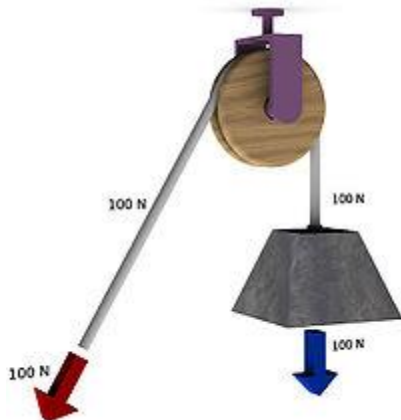
Máquinas são usadas para transferir energia de um lugar para outro, como, por exemplo, as hastes de ligação, eixos, e engrenagens de redução, transferindo energia do motor da aeronave para a sua hélice.



Fonte: [www.victorinfo.com.br](http://www.victorinfo.com.br)

### Engrenagens

Outro uso das máquinas é na multiplicação de força, por exemplo, um sistema de polias pode ser usado para erguer uma carga pesada. O sistema de polias permite a elevação de uma carga, exercendo uma força bem menor do que o peso da carga.



Fonte: [pt.wikipedia.org](http://pt.wikipedia.org)

### Polias

Máquinas são também usadas para a multiplicação de velocidades. Um bom exemplo é a bicicleta, pela qual pode se ganhar velocidade, exercendo uma grande quantidade de força.

Finalmente, as máquinas podem ser usadas para mudar a direção de uma força.

Um exemplo deste uso é o hasteamento de uma bandeira. Uma força descendente de um lado da corda exerce uma força ascendente do outro lado, levando a bandeira na direção do topo do mastro.

Existem somente seis máquinas simples. São elas: a alavanca, a polia, a roda e o eixo, o plano inclinado, o parafuso e a engrenagem. Porém, os físicos reconhecem somente dois princípios básicos em máquinas: a alavanca e o plano inclinado.



A roda e o eixo, a talha e o conjunto de polias e a engrenagem podem ser considerados como alavancas.

A cunha e o parafuso usam o princípio do plano inclinado.

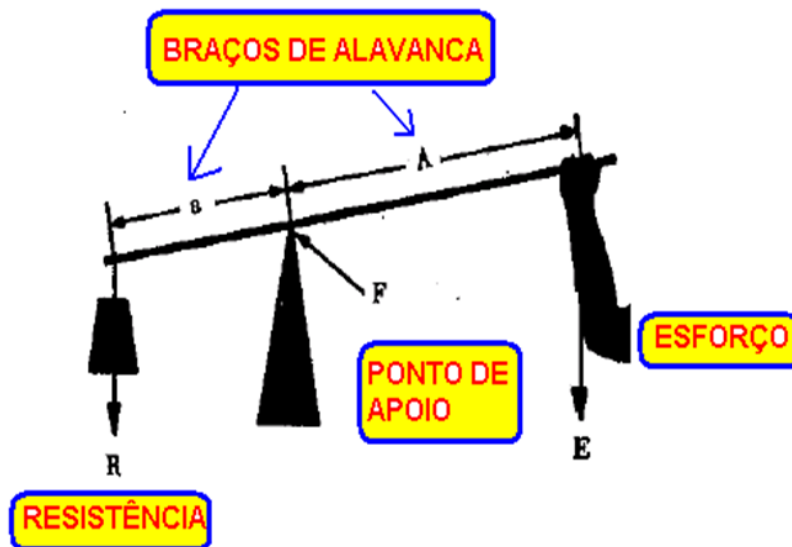
Um entendimento dos princípios das máquinas simples proporciona um fundamento necessário para o estudo das máquinas compostas, as quais são combinações de duas ou mais máquinas simples.

## A Alavanca

A máquina mais simples e talvez a mais familiar, é a alavanca. A gangorra é um familiar exemplo de alavanca, na qual um peso equilibra o outro.

Existem três partes básicas em todas as alavancas são elas: o apoio "F", a força ou esforço "E" e a resistência "R".

Na figura 7-23, estão mostrados o ponto de pivotamento "F"(apoio), o esforço "E", o qual está aplicado a uma distância "A" do apoio e uma resistência "R", que atua a uma distância "a" do apoio. As distâncias "A" e "a" são os braços da alavanca.



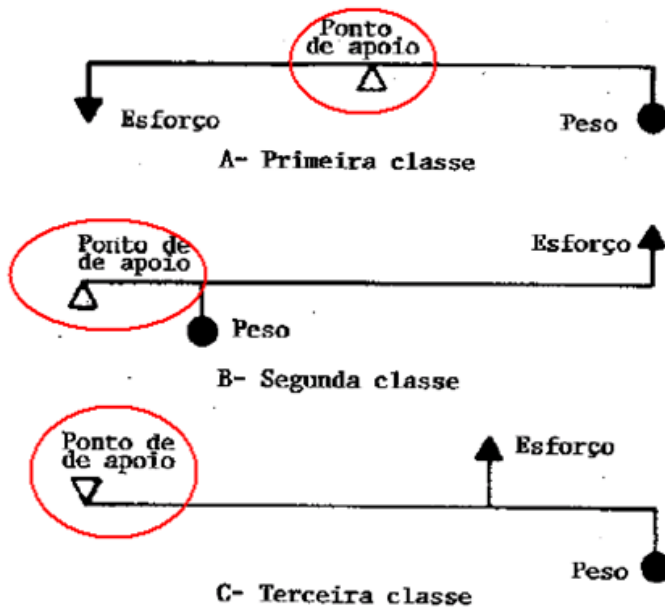
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-23 Uma alavanca simples.

## Classes de Alavancas

As três classes de alavancas estão ilustradas na figura 7-24.

A localização do apoio (o ponto fixo ou eixo) com relação à resistência (ou peso) e o esforço determinam a classe da alavanca.

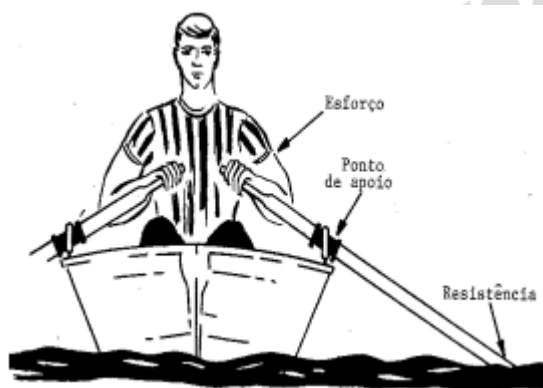


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-24 Três classes de alavancas.

### Alavancas de Primeira Classe

Nas alavancas de primeira classe ("A" da figura 7-24), o apoio está localizado entre o esforço e a resistência. Como mencionado anteriormente, a gangorra é um bom exemplo de alavanca de primeira classe. A quantidade de peso e a distância do apoio podem ser variadas para uma adaptação às necessidades. Outro bom exemplo são os remos de um bote. O pescador na figura 7-25 aplica o seu esforço nos punhos dos remos. O apoio de remo funciona como o apoio da alavanca e a água atua como a resistência a ser superada.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-25 Os remos são alavancas.

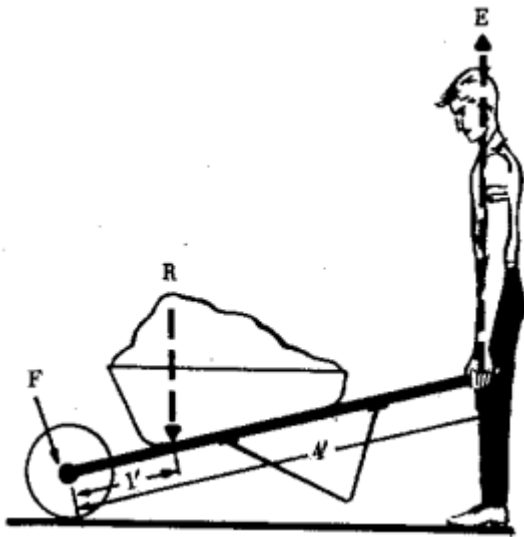
Nesse caso, como em "A" da figura 7-24, a força está aplicada em um lado do apoio e a resistência a ser superada está aplicada no lado oposto. Portanto esta é uma alavanca de primeira classe.

Alavancas, tesouras e alicates, são exemplos comuns dessa classe de alavancas.

### **Alavancas de Segunda Classe**

A alavanca de segunda classe ("B" da figura 7-24) tem o apoio em uma das extremidades, na outra, o esforço.

A resistência, algumas vezes está entre esses pontos. O carrinho de mão, na figura 7-26, é um bom exemplo de uma alavanca de segunda classe.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-26 Alavanca de segunda classe.

Tanto as alavancas de primeira como as de segunda classe são comumente usadas para auxiliar e vencer grandes resistências, com um esforço relativamente pequeno.

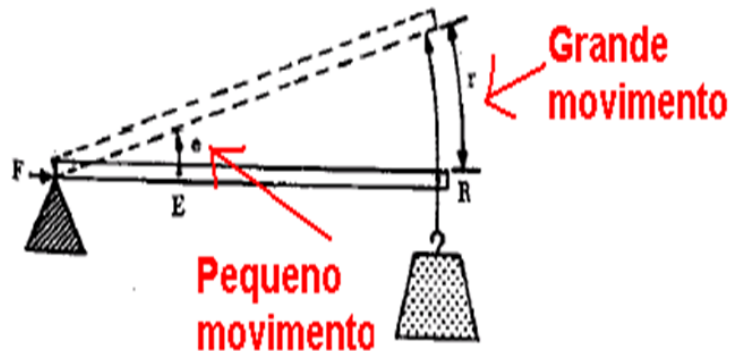
### **Alavancas de Terceira Classe**

Existem ocasiões em que é desejável acelerar o movimento da resistência, mesmo quando uma grande quantidade de esforço tenha que ser usada.

As alavancas que auxiliam na execução disso são as de terceira classe.

Conforme é mostrado em "C" da figura 7-24, o apoio está em uma das extremidades e o peso ou resistência a ser superado, na outra extremidade, com o esforço sendo aplicado em algum ponto entre os dois.

As alavancas de terceira classe são facilmente reconhecidas, porque o esforço é aplicado entre o apoio e a resistência. Isto está ilustrado pelo diagrama da figura 7-27.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

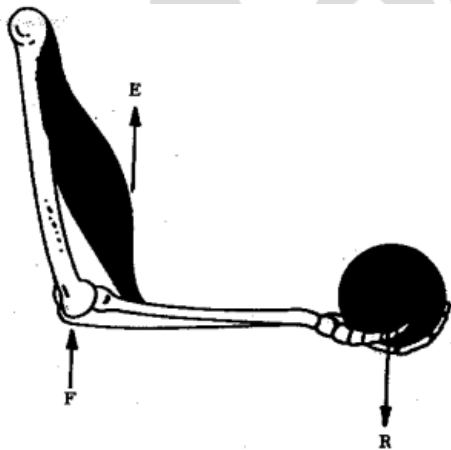
Figura 7-27 Alavanca de terceira classe.

Enquanto o ponto "E" está se movimentando a uma pequena distância "e", a resistência "R" movimentada uma grande distância "r". A velocidade de "R" deve ser maior do que "E", uma vez que "R" cobre uma distância maior, no mesmo espaço de tempo.

O braço humano (Figura 7-28) é uma alavanca de 3ª classe. A ação desta alavanca torna possível a rápida flexão dos braços.

Observamos que o cotovelo é o ponto de apoio. Os bíceps, os quais estão no antebraço, abaixo do cotovelo, aplicam o esforço, enquanto a mão é a resistência.

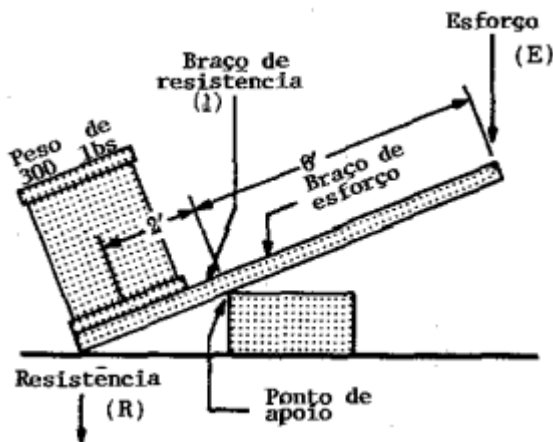
As alavancas de 3ª classe devem ser usadas para dar velocidade, ao invés de mover cargas pesadas.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-28 O braço é uma alavanca de terceira classe.

As forças requeridas para operarem as máquinas, bem como as forças que elas exercem, podem ser facilmente determinadas. Uma barra de ferro utilizada como alavanca de 1ª classe na figura 7-29. A barra tem 9 (nove) pés de comprimento e está sendo usada para levantar um peso de 300 (trezentas) libras. Um máximo de 100 libras está disponível para levantar o peso.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-29 Calculando as forças em uma alavanca de primeira classe.

Se um ponto de apoio "F", está colocado a 2 (dois) pés do centro do peso, um comprimento de 6 (seis) pés da barra, fica sendo o braço de força. O comprimento de 6 (seis) pés é 3 vezes mais longo que a distância do ponto de apoio ao centro do peso. Com um esforço de 100 libras de "E" o peso de 300 libras pode ser levantado, uma vez que o comprimento do braço de esforço foi multiplicado 3 (três) vezes. Este é um exemplo do relacionamento direto entre os comprimentos do braço da alavanca e a força atuando neste braço.

Esse relacionamento deve ser enunciado em termos gerais:

O comprimento do braço de esforço é o mesmo número de vezes maior que o comprimento do braço da resistência, uma vez que a resistência que foi vencida é maior que o esforço que deve ser aplicado.

A equação matemática para este relacionamento é:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Onde: L = Comprimento do braço da alavanca

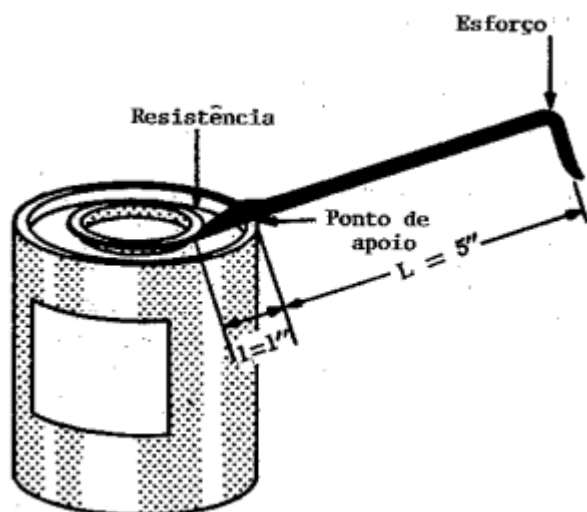
l = distância do braço da resistência

R = Resistência do peso ou força

E = Força de esforço

Devemos lembrar que todas as distâncias devem estar na mesma unidade e todas as forças também têm que ter as mesmas unidades.

Na figura 7-30 outro problema de alavanca de 1º classe é ilustrado: levantar a tampa de uma lata de tinta com uma barra de 6 (seis) polegadas, quando a força média que segura a tampa, possa ser de 50 libras.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-30 Um problema de alavanca de primeira classe.

Se a distância da borda da lata até a borda da tampa é 1 (uma) polegada, que força deve ser aplicada à extremidade da barra ?

De acordo com a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Aqui, L = 5 polegadas, l = 1 polegada;

R = 50 libras e E é desconhecida.

Substituindo os números nos seus devidos lugares, então

$$\frac{5}{1} = \frac{50}{E} \text{ e } E = \frac{50 \times 1}{5} = 10 \text{ libras}$$

A força requerida é de 10 libras.

A mesma fórmula geral aplica-se para alavancas de 2ª classe, mas é importante medir os comprimentos adequados do braço de esforço e do braço de resistência. Referindo-se a figura 7-26, os comprimentos das hastes do carrinho de mão, medidos a partir do eixo da roda (que é o ponto de apoio), até onde estão segurando (até o punho) é de 4 pés. Este braço de esforço é de 4 (quatro) pés de comprimento. O centro da carga de areia está a 1 (um) pé do eixo. Assim, o comprimento do braço da resistência é de 1 (um) pé.

Substituindo na fórmula:

$$\frac{L}{1} = \frac{R}{E} \therefore \frac{4}{1} = \frac{200}{E} \therefore E = 50 \text{ libras}$$

Um problema de alavanca de 3ª classe é ilustrado na figura 7-28. Com uma das mãos, um peso de 10 libras deve ser levantado. Se o bíceps está fixo ao braço, uma polegada abaixo do cotovelo e a distância do cotovelo até a palma da mão é de 18 polegadas, que esforço deve o músculo exercer para que segure o peso e flexione o braço até o cotovelo?

Substituindo a fórmula:

$$\frac{L}{1} = \frac{R}{E} \text{ obtemos } \frac{1}{18} = \frac{10}{E} \text{ e } E = 18 \times 10 = 180 \text{ libras}$$

O músculo deve exercer um esforço de 180 libras para segurar o peso de 10 libras. Isto ilustra que o músculo, bíceps, não foi projetado para levantamento ou puxão e também ilustra que as alavancas de 3ª classe devem ser usadas primariamente para elevar a velocidade de movimento de uma resistência.

### **Vantagem Mecânica das Alavancas**

As alavancas podem prover vantagem mecânica, uma vez que elas possam ser aplicáveis, de tal maneira, que aumentem uma força aplicada. Isto é verdade para alavancas de 1ª e 2ª classes. As alavancas de 3ª classe formam o que é chamado de desvantagem fracional, isto é, uma força maior que a força para levantar a carga é requerida.

Em geral um problema envolvendo um carrinho de mão (Figura 7-26), um esforço de 50 libras sobrepõe o peso de 200 libras de areia. Neste caso, o esforço foi aumentado 4 (quatro) vezes.

Então a vantagem mecânica conseguida, usando-se o carrinho de mão, é igual a 4.

Expressando a mesma ideia em termos matemáticos: Resistência a vantagem mecânica é igual

$$a = \frac{\text{Resistencia}}{\text{esforço}}$$

$$\text{ou } MA = \frac{R}{E}$$

Então, no caso do carrinho de mão:

$$MA = \frac{200}{50} = 4$$



Esta regra aplica-se a todas as máquinas.

A vantagem mecânica das alavancas pode também ser encontrada dividindo-se o comprimento do braço de esforço "A", pelo comprimento do braço de resistência "a".

Colocado como a fórmula, lemos:

$$\text{Vantagem Mecânica} = \frac{\text{Braço de esforço}}{\text{Braço de resistência}}$$

$$\text{ou } MA = \frac{A}{a}$$

Como isto se aplica às alavancas de 3ª classe? Se um músculo em X puxa com uma força de 1.800 libras, para que se levante 100 libras, a vantagem mecânica de 100/1800 ou 1/18 é obtida. Isto é uma desvantagem fracional, desde que menor que 1 (um).

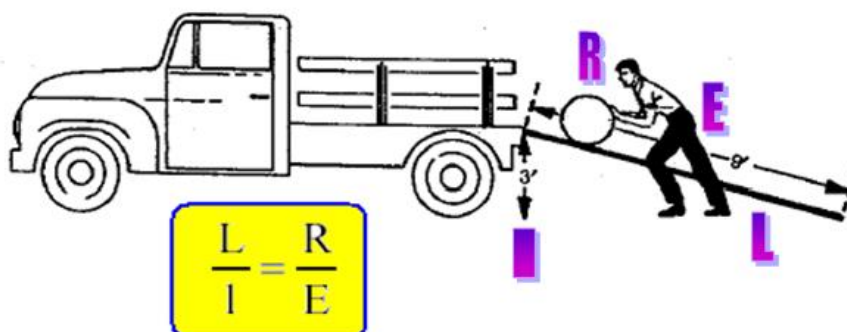
### O Plano Inclinado

O plano inclinado é uma máquina simples que facilita o levantamento ou abaixamento de objetos pesados pela aplicação de uma pequena força, sobre uma distância relativamente longa. Alguns exemplos, bastante familiares dos planos inclinados são as estradas sobre montanhas e as rampas de carregamento de gado.

O plano inclinado permite que uma grande resistência seja sobrepujada pela aplicação de uma pequena força, através de uma distância longa, na qual a carga deva ser levantada.

Na figura 7-31, um barril de 300 libras está sendo rolado para cima de uma rampa para a carroceria de um caminhão, 3 (três) pés acima da calçada. A rampa tem 9 (nove) pés de comprimento.

Sem a rampa, a força de 300 libras aplicada no sentido vertical, através da distância de 3 pés, seria requerida para que se carregasse o barril.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-31 Plano inclinado.

Com a rampa, a força pode ser aplicada pelo comprimento inteiro de 9 pés, assim como o barril também é rolado vagarosamente até a altura de 3 pés. Isto pode ser determinado pela

observação de que a força, de somente 3/9 de 300, ou 100 libras, será requerida para levantar o barril, utilizando um plano inclinado. Isto pode também ser determinado matematicamente, usando a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Onde: L = comprimento da rampa medida ao longo da inclinação.

l = altura da rampa

R = peso do objeto a ser erguido ou baixado

E = força requerida para levantar ou baixar o objeto.

Neste caso, L = 9 pés, l = 3 pés; e R = 300 libras.

Substituindo estes valores na fórmula:

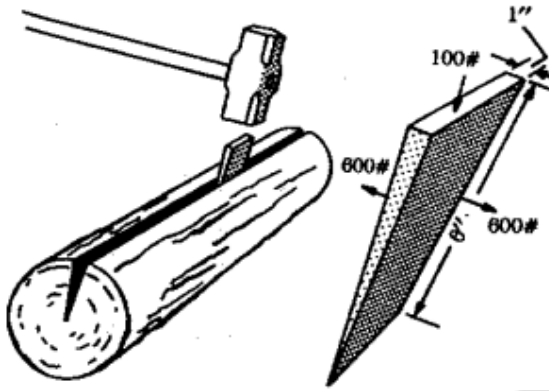
$$\frac{9}{3} = \frac{300}{E} \Rightarrow 9E = 900 \quad E = 100 \text{ libras}$$

Uma vez que a rampa tem 3 vezes mais comprimento do que sua altura, a vantagem mecânica é de 3. A vantagem mecânica teórica é encontrada dividindo-se a distância total através da qual o esforço é exercido pela distância vertical, pela qual a carga é levantada ou abaixada.

### **A Cunha**

A cunha é uma aplicação especial do plano inclinado. As lâminas das facas, machados, machadinhas e formões atuam como cunha, quando são forçados para dentro de um pedaço de madeira. A cunha, na verdade, são dois planos inclinados colocados base a base. Direcionando o comprimento total da cunha no material a ser cortado ou separado, ele é forçado a se dividir numa distância igual ao comprimento do lado maior da cunha (ver figura 7-32).

Cunhas longas e finas têm alta vantagem mecânica. Por exemplo, na figura 7-32 a cunha tem uma vantagem mecânica de 6. A grande vantagem das cunhas encontra-se em situações onde as máquinas simples não podem ser usadas. Por exemplo, basta imaginar-se tentando separar-se uma tora de madeira com um sistema de polias.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-32 Uma cunha.

## A Polia

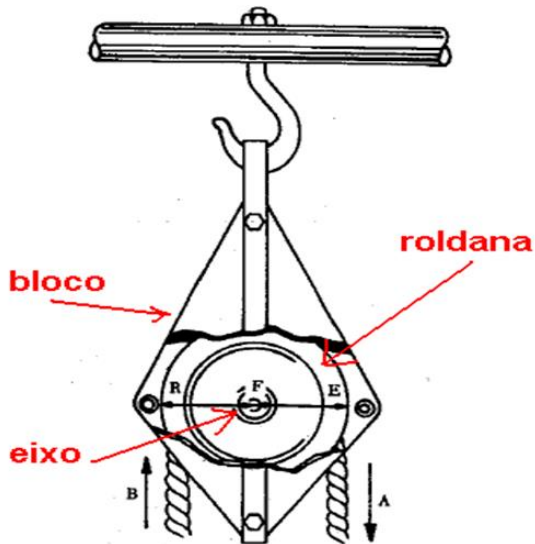
As polias são máquinas simples na forma de uma roda, montada sobre um eixo fixo e apoiada por uma cobertura.

A roda, ou disco, tem normalmente um sulco para acomodar uma corda. A roda é algumas vezes conhecida como uma "roldana". A cobertura que suporta a roda é chamada de bloco. O bloco e os eixos formam um par de blocos. Cada bloco contém uma ou mais polias e a corda conectando as polias de cada bloco.

## Polias Fixas Simples

Uma polia fixa simples é realmente uma alavanca de 1ª classe com braços iguais. Os braços "EF e FR" na figura 7-33 são iguais, por isso, a vantagem mecânica é 1. Logo, a força para puxar a corda, deve ser igual ao peso do objeto que está sendo levantado.

A única vantagem de uma polia fixa simples é mudar a direção do esforço ou do puxão da corda.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-33 Polia fixa, simples.

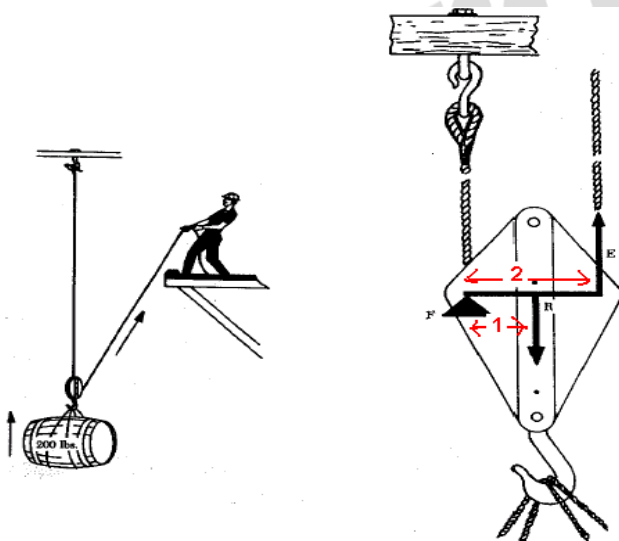
A polia simples pode ser usada para aumentar a força exercida. Na figura 7-34 a polia não está fixa e a corda é dobrada, porque suporta o peso de 200 libras.

Usando desta maneira, um simples bloco pode levantar 200 libras de peso com um puxão de 100 libras, uma vez que cada metade da corda carrega a metade do total da carga.

A vantagem mecânica é de 2 (dois), que pode ser verificada usando a fórmula:

$$MA = \frac{R}{E} = \frac{200}{100} = 2$$

Uma polia móvel simples, usada na maneira mostrada na figura 7-34 é uma alavanca de 2ª classe.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-35 Uma polia móvel, simples como alavanca de segunda classe.

Como referência, temos a figura 7-35. O esforço "E" atua para cima no braço "EF", com o diâmetro da polia. A resistência "R" atua para baixo no braço "FR" que é o raio da polia. Uma vez que o diâmetro é duas vezes o raio, a vantagem mecânica é de 2 (dois).

Entretanto, quando o esforço em "E" move 2 (dois) pés para cima, a carga em "R" é elevada apenas 1 (um) pé. Isto é verdade para todos os sistemas de bloco e guincho, para que uma vantagem mecânica seja obtida, o comprimento da corda passado através das mãos é maior que a distância em que a carga é elevada. A vantagem mecânica de um sistema de polia é encontrada através da medição da resistência e do esforço e dividindo a quantidade de resistência por este esforço. O método mais fácil na maioria das vezes utilizado é simplesmente cortar o número de voltas da corda que move ou suporta o bloco móvel.

## 1.12 TRABALHO, POTÊNCIA E ENERGIA

### Trabalho

O estudo das máquinas tanto as simples como as complexas é o estudo da energia do trabalho mecânico.

Todas as máquinas transferem a energia recebida ou o trabalho feito na máquina, para a energia de saída ou o trabalho feito pela máquina.

O significado de trabalho, dentro da mecânica, é feito quando uma resistência é sobrepujada por uma força atuando através de uma distância mensurável. Dois fatores são envolvidos: (1) força e (2) movimento através de uma distância. Como exemplo, suponha que uma aeronave pequena esteja atolada na neve. Dois homens empurram-na por um período de tempo, mas a aeronave não se move. De acordo com a definição técnica, nenhum trabalho foi feito quando se empurrou a aeronave. Por definição, o trabalho só é feito quando um objeto é movido a alguma distância contra uma força resistiva.

Na forma de equação, este relacionamento é:

Trabalho = Força (F) x distância (d).

Os físicos definem trabalho desta forma: "Trabalho é força vezes distância. O trabalho feito por uma força atuando em um corpo é igual à grandeza da força multiplicada pela distância, através do qual a força atua".

No sistema métrico, a unidade de trabalho é o Joule, onde 1 (um) Joule é a quantidade de trabalho feito por uma força de 1 (um) Newton, quando ele age através de uma distância de 1 (um) metro.

Ou seja: 1 Joule = 1 Newton .m .

Ainda podemos escrever a definição na forma:

$$W \text{ (Joules)} = F \text{ (Newtons)} \times d \text{ (metros)}$$

Se empurrarmos uma caixa por 8 (oito) metros, através do chão com uma força de 100 Newtons, o trabalho que faremos será:  $W = Fd = 100 \text{ Newtons} \times 8\text{m} = 800 \text{ Joules}$ .

Muito trabalho é feito na subida de um elevador de 500 Kg, desde o térreo de um prédio até o seu 10º andar, 30 metros mais alto. Nós notamos que a força necessária, é igual ao peso do elevador que é "MG" (massa vezes gravidade).

No sistema métrico, massa ao invés de peso é normalmente especificado. Para descobrir o peso em Newton (unidade métrica de força), de alguma coisa cuja massa em Kg é conhecido, nós simplesmente utilizamos  $F = MG$  e colocamos  $G = 9,8\text{m}/\text{seg}^2$ .

$$F \text{ (Newtons)} = M \text{ (Kilogramas)} \times G \text{ (} 9,8 \text{ m}/\text{seg}^2 \text{)} \quad \text{FÓRMULA}$$

$$W \text{ (Joules)} = M \text{ (Kilogramas)} \times G \text{ (} 9,8 \text{ m}/\text{seg}^2 \text{)} \times d \text{ (Metros)}$$

$$W = Fd = Mgd = 500 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ seg}^2 \times 30 \text{ m} = 147.000 \text{ Joules} = 1,47 \times 10^5 \text{ Joules}$$

### **Força Paralela ao Deslocamento**

Se uma força for expressa em libras e as distâncias em pés, o trabalho será expresso em pés vezes libras. Exemplo: quanto trabalho é feito, levantando um peso de 40 libras na altura vertical de 25 pés?

$$W = Fd = 40 \times 25 = 1000 \text{ libras/pés}$$

Exemplo: Quanto trabalho é feito empurrando uma pequena aeronave para dentro de um hangar, a uma distância de 115 pés, se uma força de 75 milhas é requerida para mantê-la em movimento?

$$W = Fd = 75 \times 115 = 8.625 \text{ libras/pés}$$

### **Força não Paralela ao Deslocamento**

Nesta equação consideramos "F" na mesma direção de "d".

Se isto não for verdade, por exemplo, no caso de um corpo puxando um vagão com uma corda que não é paralela ao chão, devemos utilizar "F" para a componente da força aplicada que atua na direção do movimento, conforme a figura 7-36(B).

A componente de uma força na direção de um deslocamento "d" é:  $F \cos \theta$ . Sendo o  $\theta$  o ângulo entre "F" e "d". Ainda que a equação mais comum para o trabalho seja:

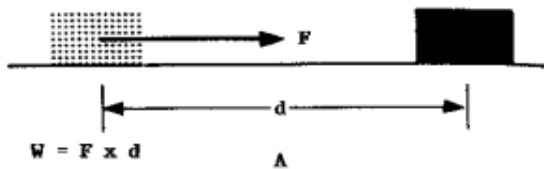
$$W = Fd \cos \theta$$

Quando "F" e "d" são paralelos,  $\theta = \text{zero}$  e  $\cos \theta = 1$ , de tal maneira que  $Fd \cos \theta$  reduz-se a somente  $Fd$ .

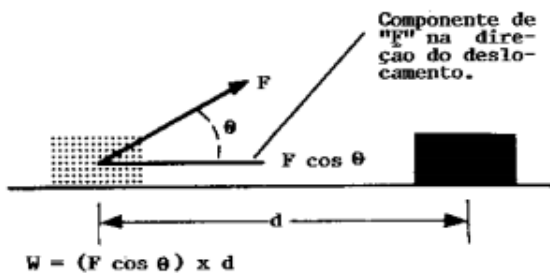
Quando F e d são perpendiculares,  $\theta = 90^\circ$  e  $\cos \theta = 0$ , e nenhum trabalho é feito. Uma força que é perpendicular ao movimento de um objeto não pode realizar nenhum trabalho nele. Dessa forma a gravidade, que resulta em uma força para baixo em qualquer coisa perto da terra, não realiza o trabalho em objetos, em movimento horizontal através da superfície da terra. Entretanto, se jogarmos um objeto de forma que ele caia no chão, o trabalho definitivamente é feito nele.

Quando uma força e a distância, através da qual é aplicada, estão paralelas o trabalho feito é igual ao produto de F x d.

Quando uma força e a distância através da qual ela atua são paralelas, o trabalho executado é igual ao produto de "F" e "d".



Quando não têm a mesma direção, o trabalho feito é igual ao produto de "d" e o componente de "F" na direção de "d" chamada de  $(F \times \cos \theta) \times d$ .



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

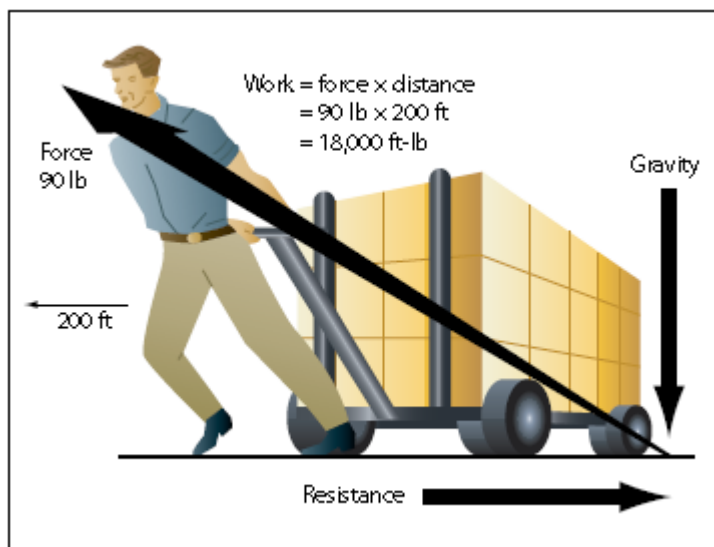
Figura 7-36 Direção do trabalho.



Quando elas não estão na mesma direção, o trabalho feito é igual ao produto de "d" e da componente de "F" na direção de "d". ( $F \cos \theta$ ) x d.

### Atrito

Calculando o trabalho feito, é medida à resistência real a ser sobrepujada. Isto não é necessariamente o peso do objeto a ser movido. Este ponto pode ser ilustrado pela figura 7-37.



Fonte: Fonte: *Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA*

Figura 7-37 Trabalhando contra o atrito.

Uma carga de 900 libras está sendo puxada numa distância de 200 pés. O que não significa que o trabalho feito (força x distância) seja 180.000 libras/pés (900 libras x 200 pés). Isto porque o homem que está puxando a carga não está trabalhando contra o peso total da carga, e sim, **contra o atrito do rolamento do carro**, o qual não é mais do que 90 libras.

O atrito é um dos mais importantes aspectos da vida. Sem o atrito seria impossível andar. Uma pessoa teria que deslizar de um lugar para o outro e teria que bater contra algum obstáculo para parar no seu destino. Ainda assim o atrito é uma responsabilidade como um crédito e requer considerações quando se analisa os mecanismos que têm movimento. Nos experimentos relacionados ao atrito, as medidas das forças aplicadas revelam que existem 3 tipos de atrito. Uma força é requerida para iniciar o movimento de um corpo, enquanto outra é requerida para manter o corpo em uma velocidade constante. Ainda, após o corpo estar em movimento, uma força definitivamente maior é requerida para manter o corpo deslizando, do que mantê-lo rolando.

Assim, existem 3 (três) tipos de atrito que podem ser classificados como:

- (1) Atrito de partida (estático)
- (2) Atrito de deslizamento e
- (3) Atrito de rolamento.

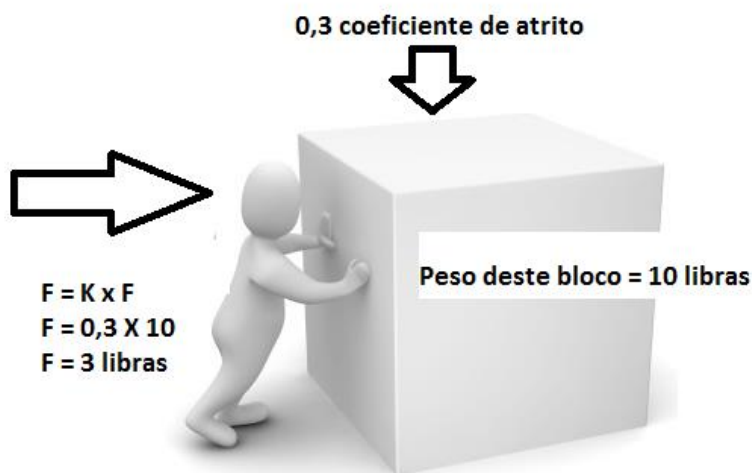
### Atrito Estático

Quando é feita uma tentativa para deslizar um objeto pesado ao longo de uma superfície, o objeto deve ser em primeiro lugar, forçado a romper a inércia. Uma vez em movimento, ele deslizará mais facilmente.

A força que rompe a inércia é proporcional ao peso do corpo. A força necessária para deslocar o corpo, movendo-o lentamente, é designada "F" e a força normal que pressiona o corpo contra a superfície (usualmente o seu peso) é "F'." É considerada importante a natureza da superfície em atrito com outra.

A natureza da superfície é indicada pelo coeficiente de atrito inicial designado pela letra "K". Esse coeficiente pode ser estabelecido por vários materiais e, é muitas vezes, divulgado em forma tabular. Deste modo, quando a carga é conhecida (peso do objeto), o início do atrito pode ser calculado pelo uso da equação,  $F = KF'$ .

Por exemplo, se o coeficiente de atrito de um bloco liso de ferro em uma superfície horizontal lisa é 0.3, a força requerida para movimentar um bloco de 10 libras, será de 3 libras, um bloco de 40 libras, será de 12 libras.



Fonte: Prof. Evandro Ferreira

O atrito inicial, para os objetos equipados com rodas e rolamentos, é muito menor do que para os objetos deslizantes. No entanto, uma locomotiva teria dificuldade de pôr em movimento um longo trem, com vários carros, todos ao mesmo tempo. Portanto, os acoplamentos entre os carros são propositadamente feitos para que tenham algumas polegadas de folga. Quando o maquinista está pronto para dar partida no trem, ele recua com o carro motor, até que todos os vagões sejam empurrados juntos. Então, com um impulso rápido para frente, o primeiro vagão entra em movimento. Esta técnica é empregada para superar o atrito estático de cada roda (tão bem como a inércia de cada vagão). Seria impossível para a máquina deslocar todos os carros no mesmo momento, devido ao atrito estático, o qual é a resistência do que está sendo movimentado, sendo bem maior do que a força exercida pela máquina. Uma vez que os carros estejam em movimento, o atrito estático será grandemente reduzido e uma força bem menor será necessária para manter o trem em movimento do que a requerida para a partida.

### **Atrito Deslizante**

Atrito deslizante é a resistência ao movimento oferecida por um objeto que desliza sobre uma superfície. Ele relaciona-se com o atrito produzido após o objeto ter sido posto em movimento e é sempre menor do que o atrito inicial.

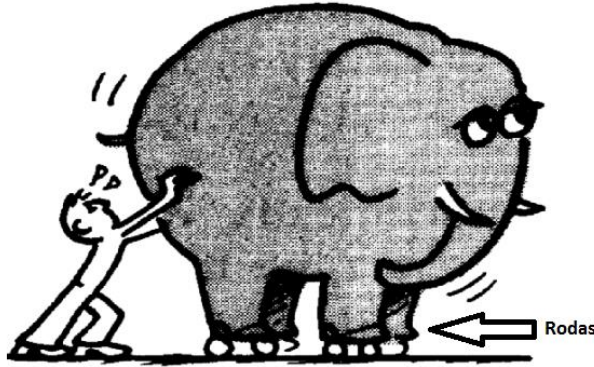
A quantidade de resistência ao deslizamento depende da natureza da superfície do objeto, da superfície sobre a qual ele desliza e a força normal entre o objeto e a superfície. Esta força resistiva pode ser calculada pela fórmula:  $F = \mu N$  onde: "F" é a força resistiva, devido ao atrito e expressa em libras. "N" é a força perpendicular (normal) exercida pelo objeto sobre a superfície na qual desliza, e " $\mu$ " (mu) é o coeficiente de atrito deslizante (em uma superfície horizontal, "N" é igual ao peso do objeto, em libras).

A área do objeto deslizante, exposta à superfície onde deslizará, não tem efeito nos resultados.

Um bloco de madeira, por exemplo, não deslizará tão facilmente no lado largo, quanto deslizará no lado estreito (supondo que todos os lados estejam igualmente muito lisos). Portanto, a área não entra na equação acima.

## Atrito de Rolamento

A resistência ao movimento é grandemente reduzida, se um objeto for montado sobre rodas ou roletes. A força do atrito para um objeto montado sobre rodas é chamada de atrito de rolamento.



Fonte: [cellabellaella.blogspot.com](http://cellabellaella.blogspot.com)

Essa força pode ser calculada pela mesma equação usada no cálculo do atrito deslizante, mas os valores de " $\mu$ " para pneus no concreto ou asfalto, é cerca de .02.

O valor de " $\mu$ " para rolamento de esferas é muito menor, variando de .001 a .003, sendo muitas vezes desprezado.

Exemplo:

Uma aeronave, com um peso total de 79.600 libras, é rebocada sobre uma pista de concreto. Qual a força que deve ser exercida pelo veículo rebocador, para manter a aeronave rolando, após iniciar o movimento?

$$F = \mu N$$

$$F = .02 \times 79.600 = 1.592 \text{ lb}$$

## Potência

Potência é um termo muitas vezes usado impropriamente. Quando falando sobre a potência de acionamento de um equipamento, as pessoas frequentemente confundem o termo "potência" com a capacidade de mover cargas pesadas.

Este não é o significado de potência. Um motor de máquina de costura tem potência suficiente para girar a hélice de um motor de aeronave, desde que esteja conectado ao eixo de manivelas, através de um mecanismo adequado. Ele porém, não poderá girar a hélice a

2.000 r.p.m., por não ter potência suficiente para movimentar uma grande carga em alta velocidade.

Potência, então, é um meio de produzir trabalho. Ele é medido em termos de trabalho, executado por unidade de tempo. É escrito na seguinte forma de equação:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Força} \times \text{distância}}{\text{Tempo}}$$

$$\text{ou } P = \frac{Fd}{t}$$

Se a força for expressa em libras, a distância em pés e o tempo em segundos, a potência, então, será dada em libra-pé por segundo (ftlbs/sec).

O tempo pode também ser dado em minutos. Se o tempo for considerado em minutos nesta equação, a potência então será expressa em ft-lbs/min. ou,  $P =$

$$\text{Potência} = \frac{\text{libras} \times \text{pes}}{\text{segundos}} = \text{ft} - \text{lbs} / \text{seg}$$

$$\text{ou, Potencia} = \frac{\text{libras} \times \text{pes}}{\text{minutos}} = \text{ft} - \text{lbs} / \text{min}$$

Exemplo:

Um motor de aeronave, pesando 3.500 libras, foi erguido em uma altura vertical de 7 pés, para ser instalado em uma aeronave. A talha foi acionada manualmente e exigiu 3 minutos de manivela para erguer o motor. Qual a potência que foi desenvolvida pelo operador da manivela da talha? Não considerar o atrito da talha.

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= \frac{Fd}{t} \\ &= \frac{3500 \text{ libras} \times 7 \text{ feet}}{3 \text{ minutos}} = 8167 \text{ ft} - \text{lbs} / \text{min} \end{aligned}$$

A potência é muitas vezes expressa em unidades de cavalo vapor. Um cavalo vapor é igual a 550 ft-lbs/seg, ou 33.000ft-lbs/min.

Exemplo:

Na talha exemplificada anteriormente, calcular os cavalos vapor desenvolvidos pelo operador da manivela.

$$\text{Cavalo vapor} = \frac{\text{Potencia em ft - lbs / min}}{33000}$$

$$\text{hp} = \frac{\frac{Fd}{t}}{33000} =$$

$$\frac{8167}{33000} = 0,247, \text{ ou cerca de } 1 / 4 \text{ hp}$$

Potência é a razão do trabalho executado:

$$P = \frac{W}{t}$$

No sistema métrico, a unidade de potência é o "Watt", onde:

$$P = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/segundo}$$

O Watt é a unidade medidora de potência, então, um motor com uma potência de saída de 5.000 Watts é capaz de fornecer 5.000 joules de trabalho por segundo.

Um Kilowatt (Kw) é igual a 1,000 watts. Portanto, o motor tem uma potência de saída de 5 Kw.

Quanto tempo é necessário para o elevador, do exemplo previsto anteriormente, para ascender 30 metros, se ele é elevado por um motor de 5 Kw. Reescrevendo  $P = w/t$  na disposição

$$T = \frac{W}{P}, \text{ então, substituindo } W = 1,47 \times 10^5 \text{ joules, e } P = 5 \times 10^3 \text{ concluímos que}$$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{1,47 \times 10^5 \text{ joules}}{5 \times 10^3 \text{ Watts}} = 29,4 \text{ segundos}$$

## Energia

Em muitos casos, quando um trabalho é executado em um objeto, muitas vezes são dadas condições de retenção e habilidade para posteriormente executar o trabalho. Quando um peso é levantado a certa altura, como o levantamento de um martelo ou quando do retorno da mola de um relógio, ainda que haja trabalho, o objeto adquire condições de produzir trabalho por ele próprio.

Em estocagem de bateria ou gasolina, a energia fica estocada, podendo ser usada mais tarde, para produzir trabalho. Energia estocada em carvão ou alimento pode ser usada para

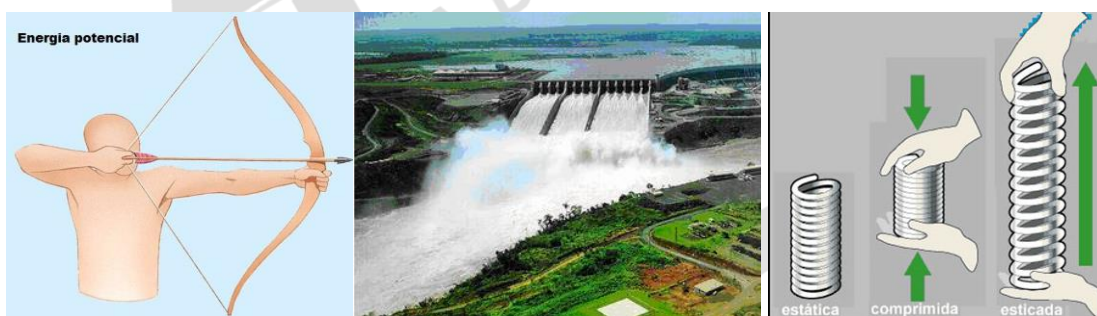


produzir trabalho. Estes estoques de energia dão ao objeto habilidade para produzir trabalho.

Em geral, a troca de energia é igual ao trabalho fornecido. A perda de energia de um corpo pode ser medida pelo trabalho fornecido, ou o ganho de energia de um corpo, deve ser medido pela quantidade do trabalho fornecido. Por conveniência, a energia que os corpos possuem é classificada em duas categorias: (1) potencial e (2) cinética.

**A energia potencial** pode ser classificada em três grupos: (1) aquele devido à posição, (2) aquele devido a distorções de um corpo elástico e (3) aquele que produz trabalho por ação química. Água em um reservatório elevado é do primeiro grupo. O estiramento de uma tira de borracha ou a compressão de uma mola, são exemplos do segundo grupo e a energia em carvão, alimentos e baterias estocados, são exemplos do terceiro grupo.

Segue abaixo alguns exemplos:

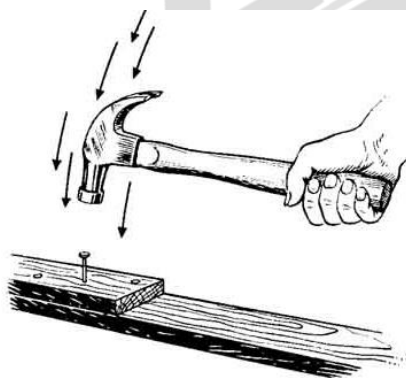


Fontes: [manutencaoesuprimentos.com.br](http://manutencaoesuprimentos.com.br) - [mundoeducacao.com.br](http://mundoeducacao.com.br)

Corpos em movimento requerem trabalho para ficarem em movimento. Assim, eles possuem energia de movimento.

Energia devido ao movimento é conhecida **como energia cinética**.

Um veículo em movimento, um volante em rotação e um martelo em movimento, são exemplos de energia cinética.



Fonte: [portalsaofrancisco.com.br](http://portalsaofrancisco.com.br)



Energia é expressa nas mesmas unidades, tais como aquelas usadas para expressar trabalho. A quantidade de energia potencial que possui um peso levantado deve ser calculada pela equação:

Energia Potencial = peso x altura

Se o peso é dado em libras e a altura em pés, a unidade final de energia será ft.-lbs (péslibras).

Exemplo: Uma aeronave com um peso total de 110.000 libras está voando em uma altitude de 15.000 pés sobre a superfície da terra. Qual a energia potencial que o avião possui com relação à terra ?

Energia Potencial = peso x altura

PE = 110.000 x 15.000 = 1.650.000.000 ft.-lbs.

## **Formas de Energia**

As mais comuns formas de energia são: calorífica, mecânica, elétrica e química. As várias formas de energia podem ser trocadas ou transformadas em outras formas de energia, por muitas maneiras diferentes. Por exemplo, no caso de energia mecânica, a energia que produz trabalho durante atrito, é convertida em energia calorífica e a energia mecânica, a qual movimentava um gerador elétrico, desenvolve energia elétrica na saída do gerador.

## **1.13 MOVIMENTO DOS CORPOS**

### **Geral**

O estudo do relacionamento entre o movimento dos corpos ou objetos e a força que os aciona, é frequentemente chamada de estudo da "força e movimento". Em um maior sentido específico, o relacionamento entre velocidade, aceleração e distância, é conhecido como cinemática.

### **Movimento Uniforme**

Movimento deve ser definido como uma troca contínua de posição ou lugar ou o processo em que um corpo suporta o deslocamento. Quando um objeto está em diferentes pontos no espaço em momentos diferentes, aquele objeto é dito estar em movimento e, se a

distância em que o objeto se move permanecer igual, por um dado período de tempo, o movimento deve ser descrito como uniforme. Então, um objeto em movimento uniforme, tem uma velocidade constante.

### **Velocidade e Aceleração**

No emprego diário, a aceleração e velocidade são frequentemente a mesma coisa. Em física elas têm definições e significados distintos.

Velocidade é atribuída à rapidez com que o objeto se move ou com a distância por ele percorrida em um tempo específico. A velocidade de um objeto não menciona sobre a direção em que o mesmo se move. Por exemplo, se a informação é fornecida que uma aeronave deixa a cidade de Nova York e viaja 8 horas a uma velocidade de 150 m.p.h., esta informação não diz nada sobre a direção em que a aeronave está se movimentando. No fim de 8 horas ela pode estar na cidade de Kansas ou navegando numa rota circular, voltando à cidade de Nova York.

Velocidade é uma quantidade em física que indica a velocidade de um objeto e a direção em que o mesmo se movimenta. Velocidade também pode ser definida como a razão do movimento em uma determinada direção.

A velocidade média de um objeto pode ser calculada usando a seguinte fórmula:

$$V_a = \frac{S}{t}$$

onde:

$V_a$  = velocidade média

$S$  = distância percorrida

$t$  = tempo gasto

### **Aceleração**

A aceleração é definida pela física como a razão da variação da velocidade. Se a velocidade de um objeto é aumentada de 20 m.p.h. para 30 m.p.h., o objeto foi acelerado. Se o acréscimo na velocidade é de 10 m.p.h. em 5 segundos, a razão de variação na velocidade é de 10 m.p.h., em 5 segundos ou 2m. p. h.

$\frac{2\text{m.p.h.}}{\text{seg}}$  Expresso pela equação:

$$A = \frac{V_f - V_i}{t}$$

ONDE:

A = aceleração

V<sub>f</sub> = velocidade final (30 m.p.h.)

V<sub>i</sub> = velocidade inicial (20 m.p.h.)

t = tempo gasto

O exemplo usado pode ser expresso da seguinte forma:

$$A = \frac{30\text{m.p.h.} - 20\text{m.p.h.}}{5\text{seg}}$$

$$A = \frac{2\text{m.p.h.}}{\text{seg}}$$

Se o objeto foi acelerado para 22 m.p.h. no primeiro segundo, 24 m.p.h. no próximo segundo e 26 m.p.h. no terceiro segundo, a variação de velocidade em cada segundo é de 2 m.p.h. A aceleração é dita como constante e o movimento é descrito como movimento uniformemente acelerado.

Se um corpo tem uma velocidade de 3 m.p.h. no final do primeiro segundo, 5 m.p.h. no final do próximo segundo e 8 m.p.h. no final do terceiro segundo, este movimento é descrito como uma aceleração, porém é um movimento variável acelerado.

### **Lei de Newton para o Movimento**

Quando um mágico retira rapidamente a toalha de uma mesa, deixando o local cheio de louça sem abalar as peças, ele não está fazendo nada místico, ele está demonstrando o princípio da inércia.

A inércia é responsável pelo sentimento de desconforto, quando uma aeronave para repentinamente na área de estacionamento e os passageiros são atirados para frente de seus assentos. Inércia é uma propriedade da matéria.

Esta propriedade da matéria é descrita **pela primeira lei de Newton** para o movimento, que diz:

Objetos em repouso tendem a permanecer em repouso. Objetos em movimento tendem a permanecer em movimento, com igual velocidade e igual direção.

Corpos em movimento tem a propriedade chamada momento. Um corpo que tem grande momento tem a grande tendência de permanecer em movimento e, por isso, difícil de parar. Por exemplo, um trem movimentando-se, até mesmo em baixa velocidade é difícil de parar, devido a sua grande massa.

**A segunda lei de Newton** aplica-se a esta propriedade e diz:

Quando uma força atua sobre um corpo, o momento daquele corpo é alterado. A razão da alteração do momento é proporcional à força aplicada.

O movimento de um corpo é definido como o produto de sua massa e de sua velocidade.

Então:

Momento = massa x velocidade ou,

$$M = mV$$

Agora, se uma força é aplicada, o movimento é alterado a uma razão igual a força ou,

F = razão de alteração do momento

$$= \frac{M_f - M_i}{t}$$

Substituindo mV por M:

$$F = \frac{m_f V_f - m_i V_i}{t}$$

Desde que a massa não esteja constantemente em transformação;  $m_f = m_i = m$ .

Então:

$$F = \frac{mV_f - m_i}{t} = \frac{m(V_f - V_i)}{t}$$

O segundo termo da seção anterior é reconhecido como aceleração.

$$F = m a$$

Na terra, a gravidade exerce uma força em cada corpo, causando uma aceleração de 32t./seg<sup>2</sup>, que é usualmente designado como "g". A força é comumente chamada peso "W".

Usando a fórmula abaixo:

$$W = m g$$
$$\text{ou; } m = \frac{W}{g}$$

Então na terra, a segunda lei torna-se:

$$F = ma = \frac{W}{g} (a)$$

Os seguintes exemplos ilustram o uso desta fórmula.

Exemplo:

Um trem pesando 32.000 lbs e viajando a 10t./seg. Qual força é requerida para conduzi-lo ao repouso em 10 segundos ?

$$F = \frac{W}{g} (a) \therefore \frac{W (V_f - V_i)}{g t} \therefore \frac{32000 (0 - 10)}{32 \cdot 10} \Rightarrow$$
$$\frac{32000x(-10)}{32x10} = -1000lbs$$

O sinal negativo significa que aquela força deve ser aplicada contra o movimento do trem.

Exemplo:

Uma aeronave pesa 6.400 libras. Qual a força necessária para dar uma aceleração de 6 ft/seg<sup>2</sup> ?

$$F = \frac{W(a)}{g} = \frac{6.400x6}{32} = 1.200 \text{ lb}$$

**A terceira lei de Newton** para o movimento é frequentemente chamada de lei da ação e reação. Ela estabelece que, para toda ação há uma reação igual e oposta. Isto quer dizer que, se uma força for aplicada em um objeto, este objeto suprirá uma força resistiva aplicada. É fácil entender como esta força se aplica nos objetos em repouso. Por exemplo, um homem parado sobre um piso qualquer, este piso exerce uma força contra os seus pés, exatamente igual ao seu peso. Mas, esta lei é também aplicável a um objeto em movimento. Quando uma força aplicada em um objeto, for mais do que suficiente para produzir e sustentar um movimento uniforme, a inércia do objeto causará uma força resistiva semelhante, contrariando o movimento do objeto, e igual à força que produziu o

movimento. Esta resistência à mudança de velocidade, devido à inércia é normalmente chamada de força interna.

Quando várias forças atuam sobre um objeto para produzir movimento acelerado, a soma das forças externas está em um estado de desequilíbrio, porém as forças externas e internas, somadas, estão sempre em um estado de equilíbrio, estando o movimento produzido ou sustentado.

As forças sempre ocorrem aos pares. O termo "força atuando" significa a força que o segundo corpo exerce sobre o primeiro.

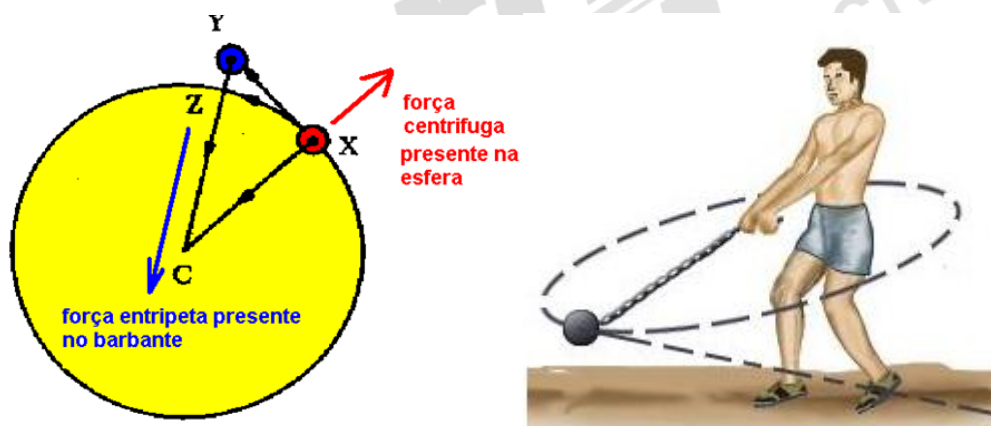
Quando a hélice de uma aeronave empurra para trás um fluxo de ar com a força de 500 libras, o ar empurra as pás da hélice para frente com a força de 500 libras. Essa força para frente ocasiona o movimento da aeronave neste sentido. Da mesma maneira, o fluxo de ar internamente e a descarga dos gases de escape de um motor à turbina, compõem as forças de ação que causam o movimento da aeronave para frente.

As três leis para o movimento que foram discutidas aqui, estão intimamente relacionadas. Em muitos casos, todas as três leis podem estar atuando em um corpo ao mesmo tempo.

### Movimento Circular

Movimento circular é o movimento de um objeto ao longo de um curso curvo, o qual tem um raio constante.

Por exemplo, se o final de um barbante é preso a um objeto e o outro final é mantido na mão, o objeto pode ser girado em círculos. O objeto é constantemente desviado de um curso reto (linear) pelo impulso exercido no barbante, como mostra a figura 7-38.



Fonte: [tutorvista.com](http://tutorvista.com)

Figura 7-38 Movimento circular.

Quando um objeto como o da figura 7-38 é conduzido ao longo da circunferência de "x" para "y", o impulso ou força do barbante leva-o de "y" para "z". Este impulso no barbante é chamado de força centrípeta, que desvia um objeto de um curso reto, forçando-o para um curso curvado. Assim, o barbante exerce uma força centrípeta no objeto e o objeto exerce igual força, porém oposta no barbante, obedecendo à terceira lei de Newton para o movimento.

Aquela força igual à força centrípeta, mas acionada em direção oposta, é chamada de força centrífuga.

No exemplo da figura 7-38, ela é a força exercida pelo objeto no barbante. Sem uma força centrípeta, não existe uma força centrífuga.

A força centrípeta é sempre diretamente proporcional à massa do objeto em um movimento circular. Assim, se a massa do objeto na figura 7-38 é dobrada, o impulso no barbante deve ser dobrado, mantendo o objeto em seu curso circular desde que a velocidade do objeto, permaneça constante.

A força centrípeta é inversamente proporcional ao raio do círculo, no qual o objeto se movimenta.

Se o barbante na figura 7-38 for encurtado e a velocidade for mantida constante, o impulso no barbante deverá aumentar desde que o raio seja diminuído e o barbante puxe o objeto no seu curso linear, mais rapidamente.

Usando o mesmo raciocínio, o impulso no barbante deve ser aumentado se o objeto for balançado mais rapidamente na sua órbita.

A força centrípeta é assim, diretamente proporcional ao quadrado da velocidade do objeto.

A fórmula para a força centrípeta é:

$$C.P. = \frac{MV^2}{R}$$

Onde:

M = a massa do objeto

V = velocidade

R = raio do curso do objeto



## Movimento de Rotação

O movimento de um corpo em torno de um eixo é chamado de movimento de rotação. Este é o movimento familiar, que ocorre quando o eixo de manivelas de um motor estiver girando.

A diferença entre rotação e movimento circular é que no caso do movimento de rotação, o corpo ou objeto rodopia, enquanto em movimento circular, o objeto se desloca ao longo de um curso curvado.

Quando um objeto rodopia em velocidade constante em torno de um eixo fixo, ele tem movimento de rotação uniforme.

Quando a sua direção ou razão de rotação muda, ele tem movimento de rotação variável.

## Momento

Momento é definido como o produto da massa de um objeto e sua velocidade. A força requerida para acelerar um objeto, é proporcional à massa do objeto e a aceleração dada. A aceleração tem como definição, a mudança da velocidade de um objeto. Isto é expresso como na fórmula:

$$A = \frac{V_f - V_i}{t}$$

Onde:

A = Aceleração

V<sub>f</sub> = Velocidade Final

V<sub>i</sub> = Velocidade Inicial

t = Tempo decorrido

A segunda lei de Newton para o movimento, F = MA, implica aceleração.

Se a expressão original para aceleração for substituída na segunda lei de Newton, segue-se:

$$F = \frac{MV_f - MV_i}{t}$$

Esta fórmula pode ser resolvida mais adiante, para ilustrar o momento pela multiplicação, em ambos os lados para "t".

$$Ft = MV_f - MV_i$$

Esta fórmula ilustra que o momento de um objeto é o produto de sua massa e sua velocidade.

## 1.14 CALOR

O calor é uma forma de energia. Ele é produzido somente pela conversão de uma das outras formas de energia.

O calor pode, também, ser definido como energia cinética total das moléculas de qualquer substância.

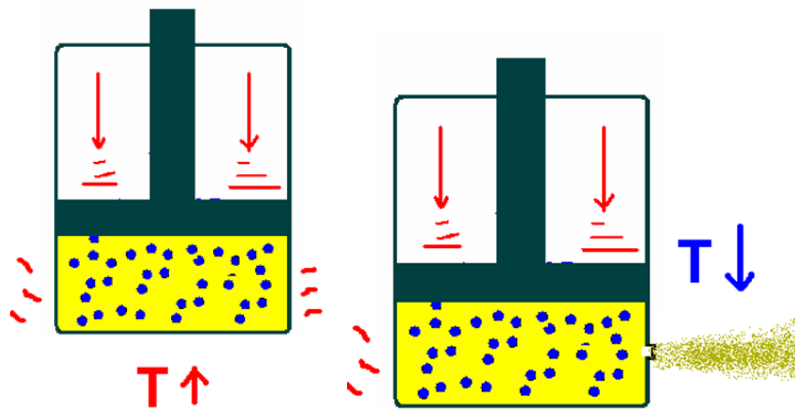
Algumas formas de energia, as quais podem ser convertidas em energia calorífica são as seguintes:

- (1) Energia mecânica - esta inclui todos os métodos de produção do aumento de movimento das moléculas, como a fricção, o impacto de corpos ou a compressão de gases.
- (2) Energia elétrica - é convertida em energia calorífica quando uma corrente elétrica flui através de qualquer forma de resistência. Isto pode ser um ferro elétrico, uma lâmpada elétrica ou um aquecedor elétrico.
- (3) Energia química - a maioria das formas de reação química converte energia potencial armazenada em calor. Alguns exemplos são o efeito explosivo da pólvora, a queima de óleo ou madeira e a combinação de oxigênio e graxa.
- (4) Energia radiante - ondas eletromagnéticas de certas frequências produzem calor quando são absorvidas pelos corpos no momento que se chocam. Incluindo estão raio X, raios de luz e raios infra vermelhos.
- (5) Energia nuclear - energia estocada dentro dos núcleos dos átomos é liberada durante o processo de divisão nuclear em um reator nuclear ou explosão atômica.
- (6) O sol - toda energia calorífica pode ser diretamente ou indiretamente direcionada em reações nucleares ocorridas no sol.

### Equivalência Mecânica do Calor

Quando um gás é comprimido, trabalho é feito e o gás torna-se morno ou quente. Inversamente, quando o gás sob alta tensão torna-se frio.

No primeiro caso, o trabalho foi convertido em energia na forma de calor. No segundo, a energia calorífica foi expandida.



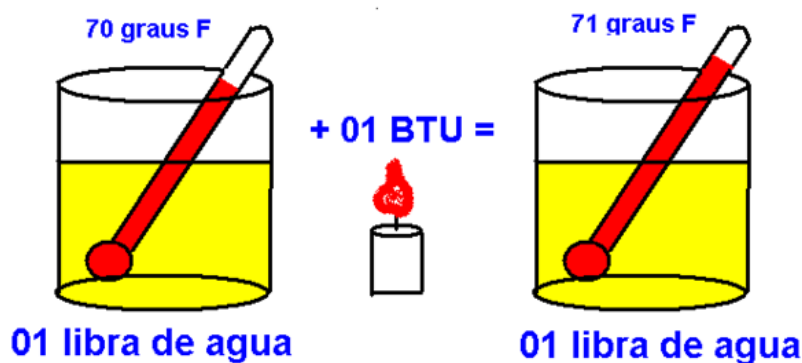
Fonte: Prof. Evandro Ferreira

Desde que o calor seja despreendido ou absorvido, então deverá haver um relacionamento entre a energia calorífica e o trabalho. Do mesmo modo, quando duas superfícies são esfregadas juntas, a fricção produz calor. Entretanto um trabalho foi requerido para causar o calor e pela experimentação foi mostrado que o trabalho requerido e a quantidade de calor produzida pela fricção, estavam proporcionais. Assim, o calor pode ser considerado como uma forma de energia.

De acordo com esta teoria de calor como uma forma de energia, as moléculas, átomos e elétrons em todos os corpos, estão em um constante estado de movimento. Num corpo quente, estas pequenas partículas possuem relativamente, grande quantidade de energia cinética, mas as pequenas partículas são fornecedoras de movimento e, portanto, energia cinética. Trabalho deverá ser feito para deslizar um corpo sobre o outro.

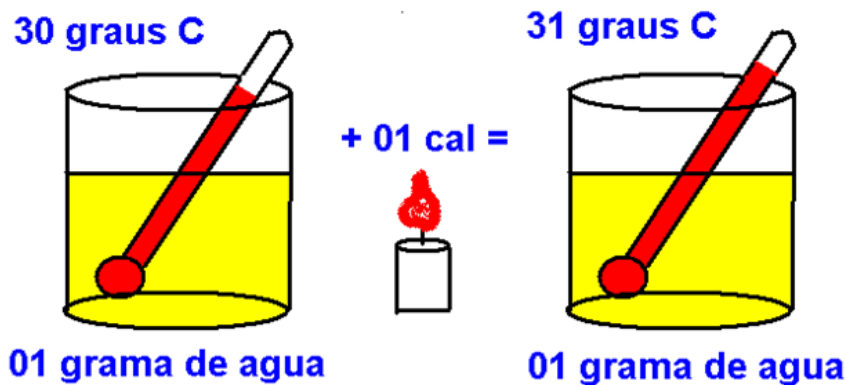
Energia mecânica aparentemente é transformada e o que nós conhecemos como calor, é realmente energia cinética de pequenas subdivisões moleculares da matéria.

Duas diferentes unidades são usadas para expressar quantidades de energia calorífica. Elas são a caloria e a unidade termal britânica. Uma caloria é igual à quantidade de calor necessária para trocar a temperatura de 1 grama de água em 1 grau centígrado.



Fonte: Prof. Evandro Ferreira

Este termo "**caloria**" (escreve-se com um c minúsculo) é 1/1.000 de Caloria (escrito com um C maiúsculo), usado para a medição do valor do calor produzido ou energia produzida em alimentos. Um B.t.u. (unidade térmica britânica) é definida como quantidade de calor necessário para mudar a temperatura de 1 libra de água em 1 grau Fahrenheit. A caloria e a grama são raramente usadas em discussões sobre manutenção de aeronaves. O B.t.u., entretanto, é comumente referido em debates de eficiência térmica do motor e o calor contido no combustível de aviação.



Fonte: Prof. Evandro ferreira

Um dispositivo conhecido como calorímetro é usado para medir quantidades de energia calorífica.

Por exemplo, ele pode ser usado para determinar a quantidade de energia calorífica disponível em 1 libra de gasolina de aviação.

Um determinado peso de combustível é queimado no calorímetro e a energia calorífica é absorvida por uma grande quantidade de água. Pelo peso da água e o aumento em sua temperatura, é possível calcular o calor produzido pelo combustível.

Um relacionamento definido existe entre o calor e a energia mecânica. Este relacionamento tem sido estabelecido e verificado por muitas experiências como as abaixo:

1 B.t.u. = 778 pés-libras

Assim, se a amostra de combustível de 1 libra mencionada acima, foi achada para produzir 20.000 B.t.u., poderá ser o equivalente a 20.000 B.t.u. x 778 pés. lbs/B.t.u. ou 15.560.000 pés.lbs de energia mecânica.

Infelizmente, o calor do motor não é capaz de transformar toda a energia calorífica disponível no combustível queimado, em energia mecânica. Uma grande porção de energia é perdida através de perda de calor e fricção operacional.

## Método de Transferência de Calor

Existem três métodos pelo qual o calor é transferido de um local para outro ou de uma substância para outra.

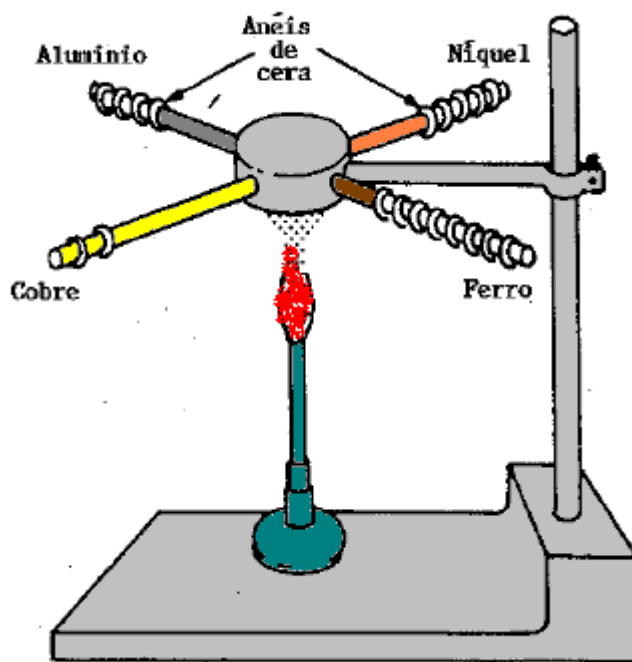
Estes três métodos são condução, convecção e radiação.

### Condução

Todos conhecem por experiência que o metal de uma panela aquecida pode queimar a mão. Um cabo de plástico ou madeira, entretanto, permanece relativamente frio, ainda que esteja diretamente em contato com a panela.

O metal transmite o calor mais facilmente do que a madeira, porque é um melhor condutor de calor.

Diferentes materiais conduzem o calor em diferentes proporções.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-39 Vários metais conduzem calor em diferentes razões.

Alguns metais são melhores condutores de calor do que outros. Alumínio e cobre são usados em potes e panelas porque eles conduzem o calor muito rapidamente. Madeiras e plásticos são usados para punhos, porque eles conduzem o calor bem vagarosamente.

A figura 7-39 ilustra as diferentes razões de condução de vários metais. Quatro varetas de diferentes metais têm diversos anéis de cera pendurados nelas. Uma chama é usada para aquecer um terminal de cada vareta simultaneamente.

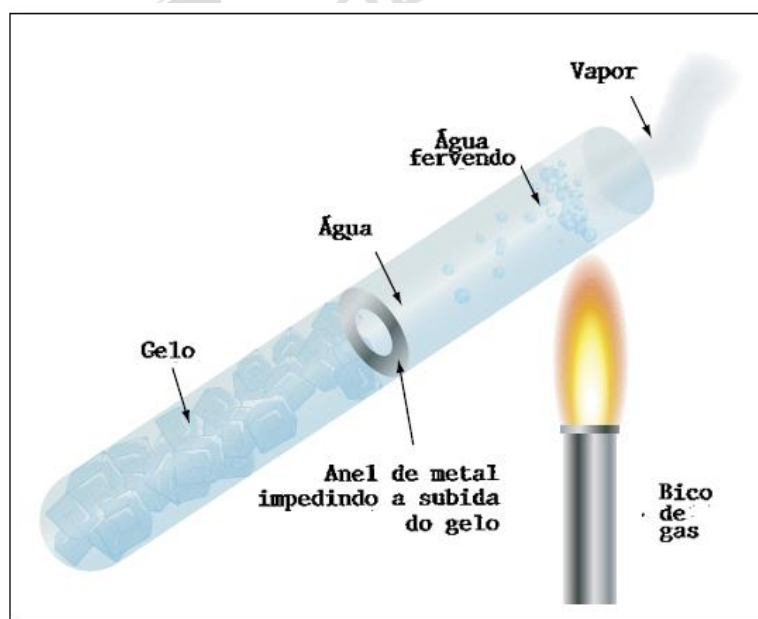
Os anéis derretem e pingam da vareta de cobre primeiro, então da vareta de alumínio, após vem a vareta de níquel e por último vem a vareta de ferro.

Este exemplo mostra que entre os quatro tipos de metais usados, o cobre é o melhor condutor de calor e o ferro é o pior.

Líquidos são piores condutores de calor que os metais. Note que o gelo no tubo de teste mostrado na figura 7-40 não é fundido rapidamente, ainda que a água no topo esteja fervendo.

A água conduz o calor tão pobremente que não há bastante calor para atingir o gelo e derretê-lo.

Os gases são constantemente piores condutores de calor que os líquidos. É possível permanecer-se próximo a um fogão sem ser queimado, porque o ar é semelhante a um pobre condutor.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Figura 7-40 A água é um mau condutor de calor.

Visto que a condução é um processo pelo qual o aumento na energia molecular é transformado ao longo do contato, os gases são pobres condutores.

No ponto de aplicação da fonte de calor, as moléculas tornam-se violentamente agitadas.

Estas moléculas batem nas moléculas adjacentes, fazendo com que elas se tornem agitadas.

Este processo continua até que a energia calorífica seja distribuída igualmente por todas as partes da substância.

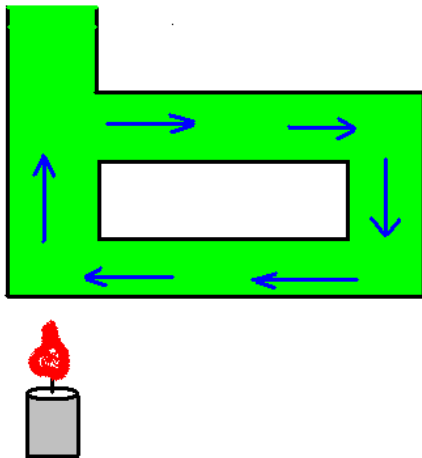
As moléculas estão mais distantes nos gases que nos sólidos. Os gases são piores condutores de calor.

Os materiais que são pobres condutores são usados para evitar a transferência de calor e são chamados de isoladores de calor. Um punho de madeira numa panela ou um ferro de soldar serve como isolantes de calor. Certos materiais como fibra de vidro ou amianto, são particularmente pobres condutores de calor.

Estes materiais são, portanto, usados para muitos tipos de isolantes.

### Convecção

É um processo pelo qual o calor é transferido pelo movimento de um fluido aquecido (gás ou líquido).



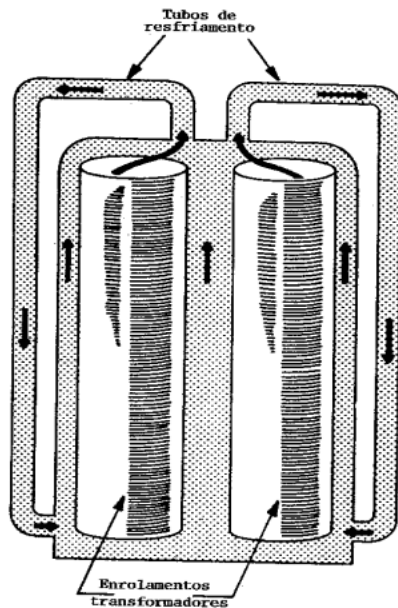
Fonte: Prof. Evandro Ferreira

Por exemplo, uma válvula eletrônica, quando aquecida, torna-se um aquecedor, aumentando o calor, até o ar ao redor começar a mover-se. O movimento do ar é ascendente. Este movimento para cima do ar aquecido carrega o calor da válvula quente, pela convecção. Transferir o calor pela convecção pode ser apressado pelo uso de um ventilador para mover o ar ao redor do objeto quente. A razão de refrigeração de uma válvula quente a vácuo pode ser aumentada se estiver provido com tiras de cobre para reduzir o calor da válvula aquecida. As tiras aumentam a superfície, permitindo que o ar frio possa circular para a refrigeração. Um processo de convecção pode acontecer tanto em um líquido como em um gás. A figura 7-41 mostra um transformador em um banho de



óleo. O óleo aquecido é menos denso (tem menos peso por unidade de volume) e sobe, enquanto o óleo frio desce, é aquecido subindo em seguida.

Quando a circulação de um gás ou líquido não é rápida o suficiente para remover o calor, ventiladores ou bombas são usados para acelerar o movimento do material refrigerante. Em algumas instalações, são usadas bombas para circular água ou óleo, com a finalidade de refrigerar grandes equipamentos. Em instalações a bordo de aeronaves, ventiladores e circuladores de ar elétricos são usados para auxiliar a convecção.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-41 Resfriamento de transformador por convecção, com circulação de óleo.



Fonte: *Matérias Básicas*, tradução do AC 65-9A do FAA

Exemplo de um motor a pistão com refrigeração através da convecção

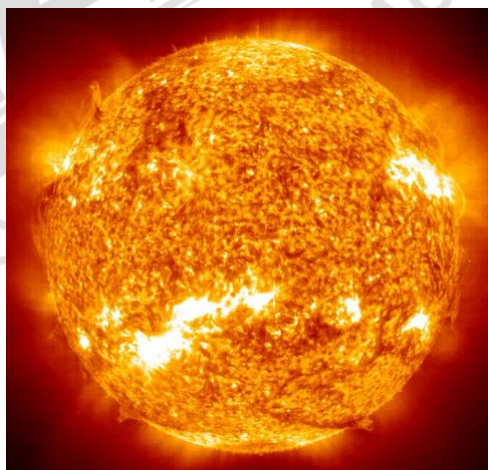
## Radiação

Condução e convecção não podem ser consideradas inteiramente para alguns dos fenômenos associados com a transferência de calor. Por exemplo, o calor que uma pessoa sente quando sentada diante de um fogo aceso, não pode ser transferido por convecção, porque a corrente de ar está se movendo em direção ao fogo.

Ele não pode ser transferido por condução, porque a condutividade do ar é muito pequena e a corrente de ar frio, movendo-se em direção ao fogo em maior quantidade, superará a transferência de calor. Portanto, deve haver outro meio para o calor viajar pelo espaço diferente da condução e da convecção.

A existência de outro processo de transferência de calor é mais evidente quando o calor do sol é considerado. Uma vez que a condução e a convecção só podem transferir calor através de um meio, como um gás ou um líquido, o calor do sol deve atingir a terra por outro método, uma vez que o espaço é quase um vácuo perfeito. Radiação é o nome deste terceiro método de transferência de calor.

O termo "radiação" refere-se à emissão contínua de energia, da superfície de todos os corpos. Esta energia é conhecida como energia radiante. Ela está na forma de ondas eletromagnéticas, ondas de rádio ou de raios "X", as quais são todas semelhantes, exceto pela diferença do comprimento das ondas. Estas ondas viajam na velocidade da luz e são transmitidas através do vácuo, mais facilmente do que através do ar, porque o ar absorve algumas delas. A maior parte das formas de energia pode ser pesquisada pela energia da luz solar. A luz do sol é uma forma de energia calorífica radiante que viaja através do espaço para atingir a terra. Estas ondas eletromagnéticas de calor são absorvidas quando entram em contato com corpos não transparentes. O resultado é que o movimento das moléculas do corpo é aumentado, sendo indicado pelo aumento da temperatura do corpo.



Fonte: [nautilus.fis.uc.pt](http://nautilus.fis.uc.pt)

As diferenças entre condução, convecção e radiação podem agora ser consideradas. Em primeiro lugar, embora a condução e a convecção sejam extremamente lentas, a radiação é feita com a velocidade da luz.

Este fato é evidente durante um eclipse do sol, quando a obstrução do calor do sol tem lugar ao mesmo tempo da obstrução da luz. Em segundo lugar, o aquecimento por radiação pode passar através de um meio sem aquecê-lo. Por exemplo, o ar dentro de uma estufa pode ser mais quente do que o vidro através do qual passam os raios do sol. Em terceiro lugar, embora o calor conduzido e o convectado possam percorrer caminhos curvos ou irregulares, o calor por radiação sempre é conduzido em linha reta. Por exemplo, o efeito da radiação pode ser cortado com a colocação de uma tela entre a fonte de calor e o corpo a ser protegido.

O sol, o fogo e uma lâmpada elétrica, todos irradiam energia, mas um corpo não precisa brilhar para irradiar calor. Um caldeirão de água quente ou um aquecido ferro de soldar irradiam calor. Se a superfície for polida ou de cor clara, menos calor será irradiado.

Corpos que não refletem, são bons irradiadores e bons absorventes de calor e os corpos que refletem são maus irradiadores e maus absorventes. Por esta razão, são usadas roupas claras no verão.

Um exemplo prático do controle da perda de calor é a garrafa térmica. O frasco é feito de duas paredes de vidro separadas por vácuo. O vácuo evita a perda do calor por condução e convecção e uma camada de prata nas paredes evita a perda de calor por radiação.

### **Calor Específico**

Um aspecto importante no qual as substâncias diferem, é na necessidade de diferentes quantidades de calor para produzir a mesma mudança de temperatura em uma determinada massa da substância.

Cada substância requer uma quantidade de calor, chamada capacidade específica de calor, para aumentar a temperatura de uma unidade de sua massa em 1 grau.

O calor específico de uma substância é a relação da sua capacidade específica de calor para a capacidade específica de calor da água. O calor específico é expresso por um número, o qual pode ser uma razão, não possui unidade e se aplica tanto ao sistema inglês como ao sistema métrico.

É uma felicidade que a água tenha uma grande capacidade específica de calor. As grandes porções de água na terra mantêm o ar e a matéria sólida em sua superfície ou próxima a ela, em uma temperatura constantemente moderada.

Uma grande quantidade de calor é necessária para mudar a temperatura de um grande lago ou rio.

<b>MATERIAL</b>	<b>CALOR ESPECÍFICO</b>
Mercúrio	0,033
Cobre	0,095
Ferro e aço	0,113
Vidro	0,200
Álcool	0,500
Água	1,000

*Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional*

Figura 7-42 Valores do calor específico de alguns materiais comuns.

Entretanto, quando a temperatura cai, abaixo daquela das porções de água, elas desprendem grandes quantidades de calor. Este processo preserva a temperatura atmosférica na superfície da terra, das rápidas variações.

O valor do calor específico de alguns materiais comuns está relacionado na figura 7-42.

### **Expansão Térmica**

A expansão térmica acontece nos sólidos, líquidos e gases quando eles estão aquecidos. Com algumas exceções, os sólidos se expandem quando aquecidos e se contraem quando esfriados. Devido às moléculas dos sólidos estarem muito juntas e serem fortemente atraídas umas com as outras, a expansão dos sólidos é muito insignificante em comparação com a expansão dos líquidos e dos gases. A expansão dos fluidos foi discutida no estudo da lei de Boyle. A expansão térmica nos sólidos deve ser explanada em alguns detalhes devido ao seu relacionamento com os metais e materiais das aeronaves.

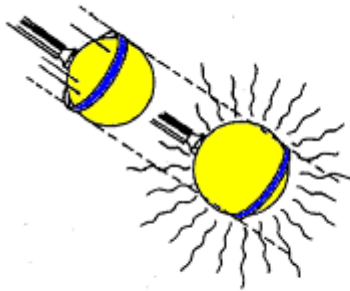
## Expansão nos Sólidos

Os materiais sólidos se expandem no comprimento, largura e espessura, quando são aquecidos. Um exemplo da expansão e contração das substâncias é o aparelho bola e o anel, ilustrado na figura 7-43. A bola e o anel são feitos de ferro.

Quando ambos estão na mesma temperatura, a bola desliza através do anel. Quando a bola é aquecida ou o anel resfriado, a bola não passa no anel.

Experiências mostram que, para uma determinada mudança de temperatura, a variação do comprimento ou volume é diferente para cada substância.

Por exemplo, uma determinada mudança na temperatura, causa a dilatação de uma peça de cobre, aproximadamente o dobro da expansão de uma peça de vidro do mesmo tamanho e formato.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-43 Bola e anel.

Por esta razão, o fio condutor do interior de uma válvula eletrônica não pode ser feito de cobre, mas deve ser feito de um metal que tenha a mesma razão de expansão do vidro. Se o metal não tiver a mesma razão de expansão, haverá uma perda do vácuo devido à entrada de ar pelo espaço entre o fio e o vidro.

Em virtude de algumas substâncias se expandirem mais do que outras é necessária a medição experimental da exata razão de expansão de cada uma. A quantidade de unidades de comprimento de uma substância, ao se expandir com o aumento de 1 grau na temperatura, é conhecida como coeficiente linear de expansão, para aquela substância.



## Coefficientes de Expansão

Para calcular a expansão de qualquer objeto, tal como um trilho de aço, é necessário conhecer três coisas sobre ele, isto é, seu comprimento, a elevação de temperatura a que ele está sujeito e seu coeficiente de expansão. Este relacionamento é expresso pela equação:

Expansão = coeficiente x comprimento x elevação da temperatura

$$e = KL (t_2 - t_1)$$

Nesta equação, a letra "K" representa o coeficiente de expansão para a determinada substância. Em alguns casos a letra Grega "α" (alfa) é usada para indicar o coeficiente de expansão linear.

Se uma haste de metal mede exatamente 9 pés a 21°C, qual é o seu comprimento a 55°C ?

O valor de "K" para metal é  $10 \times 10^{-6}$ . Se a equação  $e = KL (t_2 - t_1)$  for usada, então:

$$\text{então: } e = (10 \times 10^{-6}) \times 9 \times (55-21)$$

$$e = 0,000010 \times 9 \times 34$$

$$e = 0,00306$$

Esta quantidade, quando adicionada ao comprimento original da haste, faz com que a haste tenha 9,00306 pés.

O aumento no comprimento da haste é relativamente pequeno, mas se a haste fosse colocada onde não pudesse expandir-se livremente, existiria uma tremenda força exercida, devido à expansão térmica. Desta maneira, a expansão térmica deve ser levada em consideração quando projetar células, grupos motopropulsores ou equipamentos relacionados.

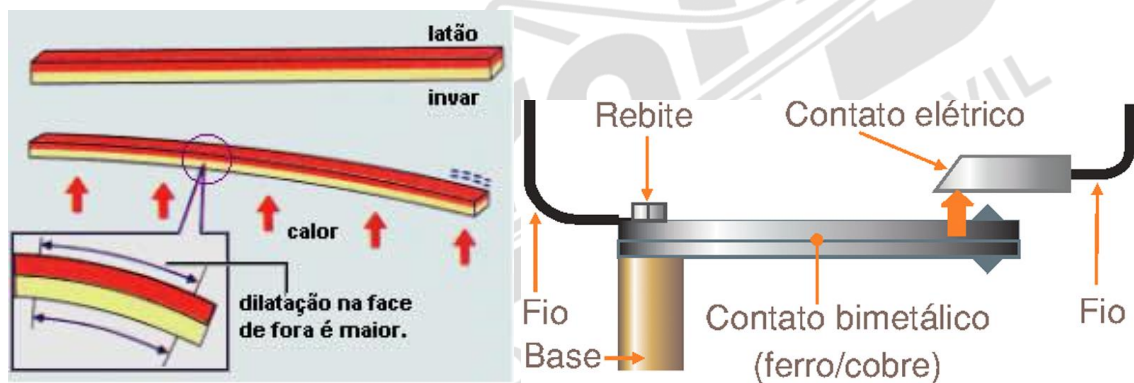
A figura 7-44 contém a lista dos coeficientes de expansão linear para algumas substâncias comuns.

Substance	Coefficient of Expansion Per Degree Centigrade
Aluminum	$25 \times 10^{-6}$
Brass or Bronze	$19 \times 10^{-6}$
Brick	$9 \times 10^{-6}$
Copper	$17 \times 10^{-6}$
Glass (Plate)	$9 \times 10^{-6}$
Glass (Pyrex)	$3 \times 10^{-6}$
Ice	$51 \times 10^{-6}$
Iron or Steel	$11 \times 10^{-6}$
Lead	$29 \times 10^{-6}$
Quartz	$0.4 \times 10^{-6}$
Silver	$19 \times 10^{-6}$

Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant

Figura 7-44 Coeficiente de expansão de alguns materiais comuns.

Uma aplicação prática que emprega a diferença dos coeficientes de expansão linear dos metais é o termostato. Este instrumento consiste de um arranjo de duas barras de metais diferentes fixadas juntas. Quando a temperatura muda, ocorre um arco por causa da expansão desigual dos metais. A figura 7-45 mostra um semelhante instrumento. Os termostatos são usados nos reles de sobrecarga dos motores, em chaves sensitivas de temperatura e em sistemas de aquecimento.



Fonte: [brasilecola.com](http://brasilecola.com) e [meatronicatual.com.br](http://meatronicatual.com.br)

Figura 7-45 Barra composta.

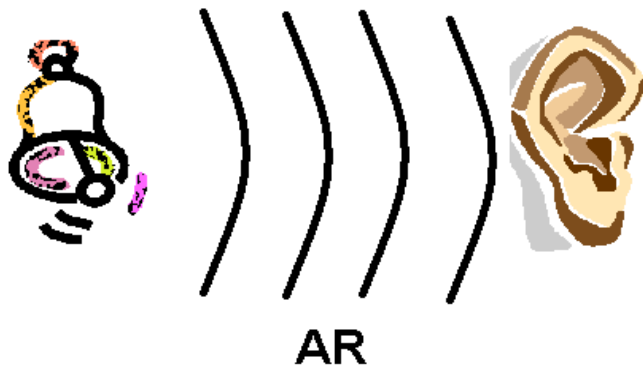
### 1.15 SOM

O som tem sido definido como uma série de perturbações na matéria que o ouvido humano pode detectar. Esta definição pode também ser aplicada a perturbações que estão além do alcance da audição humana.

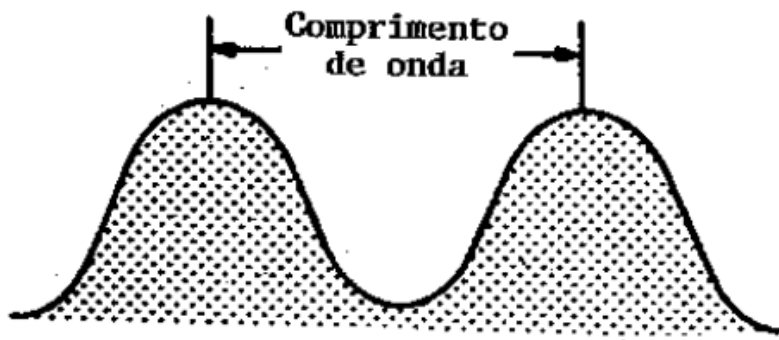
Existem três elementos que são necessários para a transmissão e recepção do som. Estes são a fonte, um meio para transportar o som e o detector. Alguma coisa que move de cá para lá (vibre) e perturbe o meio em volta dele, pode ser considerada uma fonte de força.

Um exemplo da produção e transmissão do som é a badalada de um sino. Quando o sino é golpeado e começa a vibrar, as partículas do meio (o ar nos arredores) em contato com o sino também vibram. A perturbação vibracional é transmitida de uma partícula do meio para a próxima e as vibrações viajam em uma onda através do meio, até encontrarem o ouvido. O tímpano, atuando como detector, é posto em movimento pelas partículas do ar e o cérebro interpreta as vibrações do tímpano como a característica do som associada com o sino.





Fonte: Prof. Evandro Ferreira

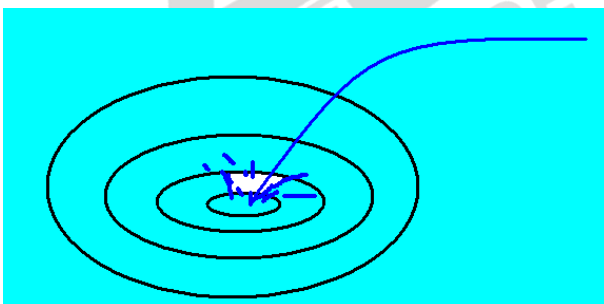


Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-46 Onda transversa.

### Movimento da Onda

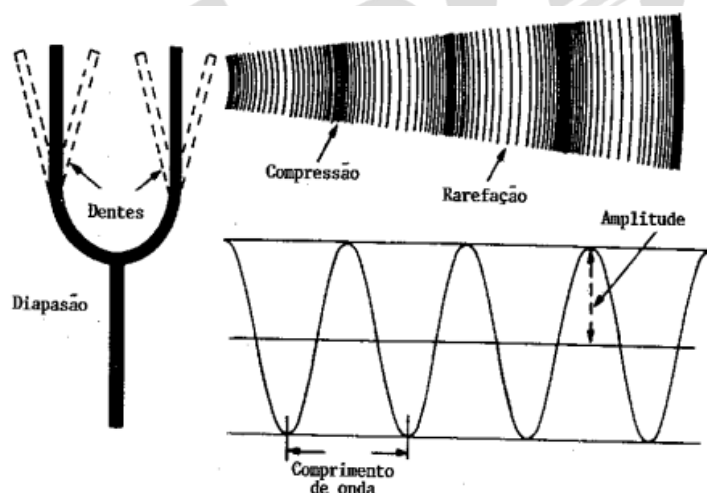
Visto que o som é um movimento de onda em questão, ele pode ser mais bem entendido, primeiramente, considerando as ondas de água. Quando uma pedra é atirada dentro de uma piscina, uma série de ondas circulares viajam fora da perturbação.



Fonte: Prof. Evandro Ferreira

Na figura 7-46 tais ondas são diagramadas como vistas na seção transversal, de lado. Observe que as ondas de água são uma sucessão de cristas e cavados. O comprimento de onda é a distância da crista de uma onda à crista da próxima. As ondas de água são conhecidas como ondas transversais, por causa do movimento das moléculas da água para cima e para baixo, ou em ângulos retos para a direção na qual as ondas estão viajando. Isto pode ser visto observando uma rolha na água, boiando para cima e para baixo, quando as ondas passam por ela, as rolhas movem-se muito pouco para o lado.

O som viaja através da matéria na forma de movimentos longitudinais de onda. Essas ondas são chamadas de ondas longitudinais, porque as partículas do meio vibram de lá para cá, longitudinalmente na direção da propagação, como mostrado na figura 7-47.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-47 Propagação do som por um diapasão.

Quando o dente do diapasão (figura 7-47) se move para fora, o ar imediatamente na frente do dente é então comprimido e sua pressão momentânea é aumentada acima dos outros pontos do meio em volta. Por causa da elasticidade, esta perturbação é transmitida progressivamente para fora do dente na forma de uma onda de compressão.

Quando o dente retorna e se move para dentro, o ar na frente do dente fica rarefeito, então sua pressão momentânea é reduzida abaixo dos outros pontos do meio em volta. Esta perturbação é transmitida na forma de uma onda de rarefação (expansão) e segue a onda de compressão através do meio.

O desenvolvimento de alguma onda envolve dois movimentos distintos: (1) A onda se move para frente com velocidade constante e, (2) simultaneamente, as partículas do meio que levam a onda vibram harmonicamente. (Exemplos de movimento harmônico são o

movimento de um pêndulo de um relógio, a roda do balanço em um relógio e o pistão de um motor convencional).

O período de uma partícula vibrando é o tempo "t" (em segundos), requerido para a partícula completar uma vibração.

A frequência "f" é o número de vibrações completas por segundo e pode ser expressa em c.p.s. Quando expressa nesta unidade, a palavra "ciclos" significa vibrações. O período é o recíproco da frequência:

$$t = 1/f$$

A velocidade de uma onda é igual ao comprimento da onda, ( $\lambda$ ) dividido pelo período. Visto que, o período é o recíproco da frequência, a velocidade é

$$v = f\lambda$$

Onde: v = velocidade em pés/segundo

f = frequência em c.p.s.

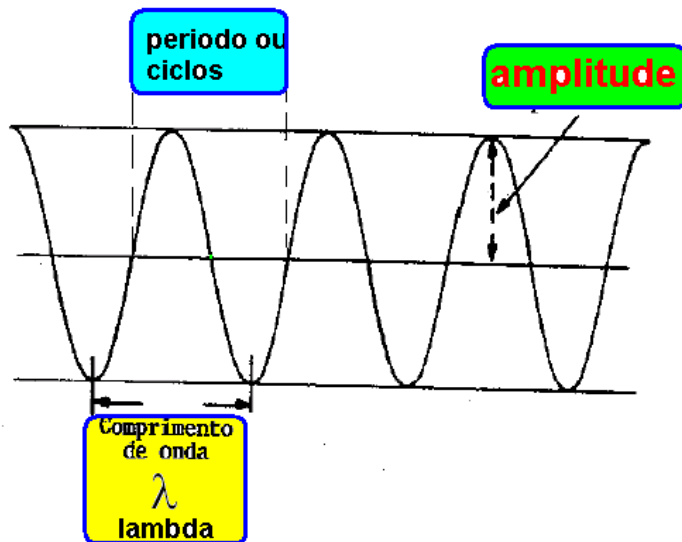
$\lambda$  = comprimento de onda em pés.

A amplitude de vibração é o deslocamento máximo da partícula do seu ponto de equilíbrio. Duas partículas estão em fase, quando elas estão vibrando com a mesma frequência e continuamente passam através dos correspondentes pontos de seus caminhos ao mesmo tempo. Em qualquer outra condição, as partículas estarão fora de fase. Duas partículas estão em fase oposta, quando elas encontram seu deslocamento máximo em direções opostas ao mesmo tempo.

O comprimento de onda é a distância medida ao longo da direção de propagação entre dois pontos correspondentes e de igual intensidade que estão na fase adjacente às ondas. Este comprimento pode ser representado pela distância entre o ponto de rarefação máxima no curso completo da onda (fig 7-47).

Quando a figura 7-47 é referida, tenha em mente que a onda transversal desenhada abaixo da onda de compressão é simplesmente um meio de simplificar o conceito e a relação com o tipo de onda da ilustração, comumente usada em discussões sobre ondas eletromagnéticas.

Quando uma onda avança e encontra um meio de natureza diferente, parte dessa energia é refletida de volta ao meio inicial e parte é transmitida para dentro do segundo meio.



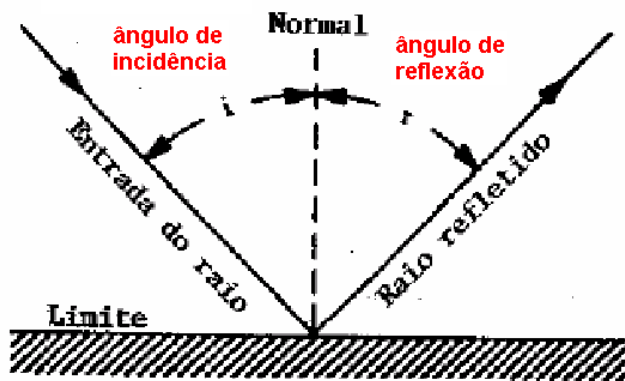
Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

### Reflexão das Ondas Sonoras

Para entender a reflexão das ondas sonoras, ajuda muito pensar na onda como um raio. Um raio é uma linha que indica a direção que a onda está se propagando. Num ambiente uniforme, um raio percorrerá uma linha reta. Apenas no limite entre dois ambientes ou em uma área onde o meio está em mudança, os raios mudam a sua direção.

Se uma linha, chamada "normal", é desenhada perpendicular ao limite, o ângulo entre a entrada do raio e a linha normal é chamado de ângulo de incidência "i" como mostrado na figura 7-48. O ângulo que o raio refletido faz com a linha normal é chamado de ângulo de reflexão "r". Algumas ondas são refletidas de tal maneira que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Frequentemente pensa-se primeiro na luz quando o assunto discutido é reflexão, embora a reflexão seja igualmente comum em outros tipos de onda. Como exemplo, os ecos são causados pela reflexão das ondas sonoras. Quando uma superfície dura é posicionada de modo a permitir uma boa reflexão de som, ele retorna como um eco e é ouvido com certo atraso em relação ao momento no qual o som foi emitido. Se a superfície for côncava, ele pode ter um efeito de foco e concentrar a energia do som refletido em uma localidade.



Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

Figura 7-48 Reflexão de um raio.

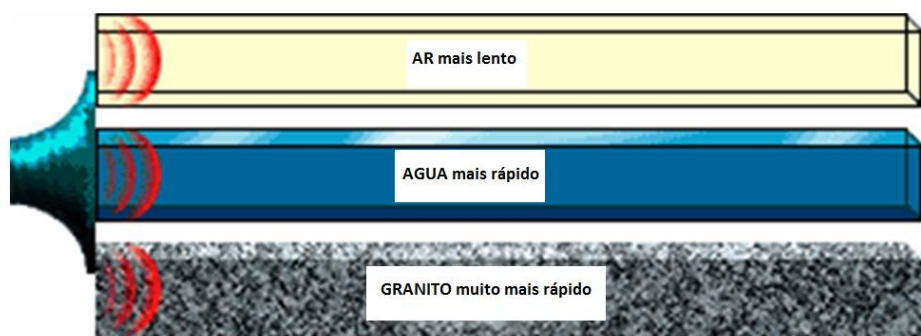
Essa reflexão pode ser de nível variado em intensidade maior que o som direto e a sua chegada em um momento mais tarde, pode ter particular importância na sua aplicação, como o sonar.

### **Velocidade do Som**

Em um meio uniforme, sob determinada condição física, o som se propaga com uma velocidade definida.

Em algumas substâncias, a velocidade do som é maior do que em outras. Mesmo em meios iguais, mas sob diferentes condições de temperatura, pressão, etc., a velocidade do som varia. A densidade e a elasticidade são duas propriedades físicas básicas que governam a velocidade do som.

Em geral, uma diferença de densidade entre duas substâncias é suficiente para indicar que uma será um meio de transmissão mais lento para o som. Por exemplo, o som se propaga mais rapidamente na água do que no ar, ambos na mesma temperatura. Embora existam algumas inesperadas exceções para esta regra. Um notável exemplo entre estas exceções envolvem a comparação da velocidade do som no chumbo e no alumínio, na mesma temperatura. O som se propaga a 16.700 f.p.s. no alumínio a 20°C, e apenas a 4.030 f.p.s. no chumbo a 20°C, apesar do fato do chumbo ser muito mais denso que o alumínio.



Fonte: [www.sitedecuriosidades.com](http://www.sitedecuriosidades.com)

A razão para tais exceções é encontrada no fato, mencionado acima, que a velocidade do som depende tanto da elasticidade quanto da densidade.

Usando a densidade como indicação grosseira da velocidade do som em dada substância, podemos afirmar como regra geral, que o som se propaga com velocidade maior nos materiais sólidos, menor nos líquidos e ainda menor nos gases.

Para uma temperatura fixa, a velocidade do som é constante para qualquer meio e é independente do período, frequência, ou amplitude da manifestação. Desta maneira, a velocidade do som no ar a 0°C.(32°F) é 1.087 f.p.s. e aumenta de 2 f.p.s. para cada grau centígrado de temperatura e aumenta (1,1 f.p.s. para cada grau Fahrenheit). Na prática a velocidade do som no ar pode ser considerada 1.100 f.p.s.

### Número Mach

No estudo de aeronaves que voam em velocidades supersônicas é costumeiro discutir a velocidade da aeronave em relação à velocidade do som (aproximadamente 750 milhas por hora). O termo "Número Mach" foi dado para a razão da velocidade da aeronave com a velocidade do som, em homenagem a Ernst Mach, um cientista austríaco.

Assim, se a velocidade do som ao nível do mar é 750 milhas por hora, uma aeronave voando em um número Mach de 2,2 estaria viajando em uma velocidade de 750 m.p.h. x 2.2 = 1.650 milhas por hora.



Fonte: <http://globpt.com/wp-content/uploads/2008/03/velocidade-do-som.jpg>

### **Frequência do Som**

O termo "pitch" é usado para descrever a frequência de um som. É importante reconhecer que a diferença entre os tons produzidos por duas diferentes teclas de um piano é uma diferença de "pitch". O "pitch" de um tom é proporcional ao número de compressões e rarefações recebidas por segundo, que em geral, é determinado pela frequência da vibração, da origem do som.

Frequência, ou "pitch", é normalmente medida por comparação com um padrão. O tom padrão pode ser produzido por um diapasão de frequência conhecida ou uma sirene cuja frequência é computada por uma particular velocidade de rotação. Através da regulagem da velocidade, o "pitch" da sirene é igualado ao tom que está sendo medido.

### **Intensidade do Som**

Quando um sino toca, as ondas sonoras se propagam em todas as direções e o som é ouvido também em todas as direções. Quando um é tocado lentamente, as vibrações são de pequena amplitude e o som é baixo. Um golpe forte produz vibrações de maior amplitude no sino, e o som é mais alto.

É evidente que a amplitude das vibrações do ar será maior quando a amplitude das vibrações da fonte for aumentada. Daí, a altura do som depender da amplitude das vibrações das ondas sonoras. Quando a distância da fonte aumenta, a energia em cada onda espalha-se e o som torna-se mais baixo.



A intensidade do som é a energia por unidade de área, por segundo. Em uma onda sonora de movimento harmônico simples, a energia é metade cinética e metade potencial. Uma é devido à velocidade das partículas, outra devido à compressão e rarefação do meio. Estas duas energias em alguns instantes ficam defasadas 90 graus. Isto é, quando a velocidade de movimento da partícula está no máximo, a pressão está normal e quando a pressão está no máximo ou mínimo, a velocidade das partículas é zero.

A altura do som depende tanto da intensidade quanto da frequência. A intensidade de uma onda sonora em um meio é proporcional às seguintes quantidades:

- (1) Quadrado da frequência de vibração;
- (2) Quadrado da amplitude;
- (3) Densidade do meio;
- (4) Velocidade de propagação.

Em determinada distância da fonte do som (ponto), a intensidade da onda varia inversamente com o quadrado da distância da fonte.

Quando a onda sonora avança, as variações da pressão ocorrem em todos os pontos do meio de transmissão.

Quanto maior a variação da pressão, mais intensa será a onda sonora. Pode ser demonstrado que a intensidade é proporcional ao quadrado da variação de pressão, para qualquer que seja a frequência. Desta maneira, pela variação da pressão, a intensidade dos sons com frequências diferentes pode ser comparada diretamente.

### **Medida da Intensidade do Som**

A altura (intensidade) do som não é medida pelo mesmo tipo de escala usada para medir comprimento. O ouvido humano tem um padrão de resposta não linear e as unidades de medida do som usadas, variam logaritmicamente com a amplitude da variação do som. Estas unidades são o "BEL" e "DECIBEL", que se referem às diferenças entre sons de intensidade e níveis diferentes.

O decibel, que é um décimo de um bel, é a mudança mínima de nível do som perceptível pelo ouvido humano.

Daí, o decibel simplesmente descrever o índice entre dois níveis. Por exemplo, 5 decibéis podem representar qualquer volume de som, dependendo da intensidade do nível de referência ou o nível do som em que o índice é baseado.



## Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.

FAA - Mechanic Training Handbook – phisic



## Encerrando a Disciplina

Caro aluno,

Foi um prazer estar com você nessa disciplina.

Espero que tenha compreendido os conceitos aqui apresentados, você os aplicará na maior parte dos trabalhos que irá executar na aviação.

Sucesso e até a próxima disciplina!

Saudações,

*Prof. Evandro Carlos Ferreira*