

*Esqueleto
de Física*

*Segundo
Ano*

Prof. Giovani

1. HIDROSTÁTICA

1.1 PRESSÃO

a) Pressão em sólidos

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{eq.1}$$

Unidades:

No SI a unidade de pressão é o Pascal representado por Pa e equivale a 1N/m². Existem outras unidades de pressão como lb/in², bar, mmHg, Kg/cm² atm, m.c.a. etc.

Equivalências:

1Pa = 1N/m²
1KPa = 1000Pa
1atm = 100.000Pa
1atm = 760mmHg

b) Pressão em líquidos

Pressão efetiva ou hidrostática

$$p = \mu \cdot g \cdot h \quad \text{eq.2}$$

Pressão absoluta ou total

$$p = p_{atm} + \mu \cdot g \cdot h \quad \text{eq.3}$$

1.2 MASSA ESPECÍFICA E PESO ESPECÍFICO

a) Massa específica:

$$\mu = \frac{m}{V} \quad \text{eq.4}$$

Unidade: Kg/m³, g/cm³, Kg/l

Equivalência

1000Kg/m³ = 1g/cm³ = 1Kg/l

b) Peso específico:

$$\rho = \frac{P}{V} = \mu \cdot g \quad \text{eq.5}$$

Para H₂O: $\mu = 1000 \text{ Kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$
 $\rho = 10.000 \text{ N/m}^3$

1.3 DENSIDADE RELATIVA (d_{AB})

$$d_{AB} = \frac{\mu_A}{\mu_B} \quad \text{eq.6}$$

1.4 PRINCÍPIO DE PASCAL

O princípio de pascal diz que:

“ O acréscimo (ou decréscimo) de pressão (Δp) em um fluido, transmite-se INTEGRALMENTE a todos os pontos do líquido.”

A força ($F=p \cdot A$) criada pela pressão do líquido no pistão é maior no cilindro maior. Logo:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \text{eq.7}$$

A energia é conservada: $W_A = W_B$

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \quad \text{eq. 8}$$

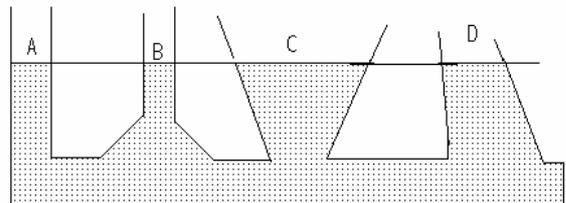
1.5 TEOREMA DE STEVIN

Simon Stevin demonstrou que “a diferença de pressão entre dois pontos no interior de um líquido depende do líquido, da gravidade e da diferença de profundidade dos pontos considerados”.

$$p_A - p_B = \mu \cdot g \cdot \Delta h \quad \text{eq.9}$$

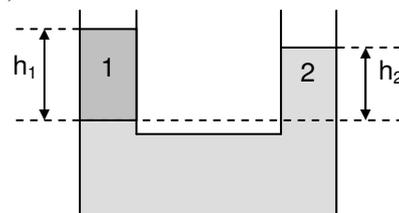
a) Vasos Comunicantes

Chamam-se vasos comunicantes o sistema de vasos interligados e com a superfície livre.



À primeira vista pode parecer que a pressão do fluido no vaso de maior secção é menor, uma vez que a eq.1 diz que pressão e área são inversamente proporcionais. Esta falácia denuncia o sistema acima pelo nome de **paradoxo hidrostático**. Entretanto é sabido que a pressão em fluidos não depende da área do recipiente que lhe contém, mas sim da profundidade, conforme a eq.2.

b) Tubo em “U”



É válida a equação:

$$\mu_1 \cdot h_1 = \mu_2 \cdot h_2 \quad \text{eq.10}$$

1.6 TEOREMA DE ARQUIMEDES

Arquimedes, estudando líquidos e corpos neles imersos, verificou que:

“*Todo corpo imerso em um fluido recebe uma força vertical, para cima, denominada EMPUXO cujo módulo é igual ao peso do volume de fluido deslocado.*”

Matematicamente:

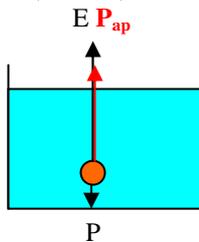
$$E = \mu_F \cdot g \cdot V_{FD} \quad \text{eq.11}$$

PESO APARENTE (P_{ap})

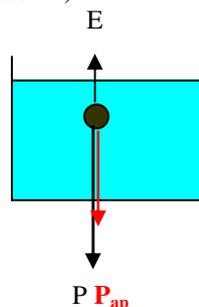
$$P_{ap} = P - E \quad \text{eq.12}$$

Observe três casos interessantes:

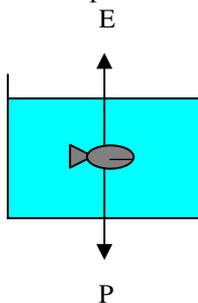
Uma bolinha de isopor solta no fundo de uma piscina. O peso é menor que o empuxo. Logo o peso aparente é negativo, ou seja, para cima. Assim a bolinha sobe aceleradamente (MRUV).



Uma pedra solta na superfície de uma piscina. O peso é maior que o empuxo. Logo o peso aparente é positivo, ou seja, para baixo. Por isso a pedra desce aceleradamente (MRUV).



Uma peixe parado no interior de um aquário. O peso é igual ao empuxo. Logo o peso aparente é nulo. Com efeito o peixe permanece parado.



RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Para a resolução de problemas deve-se considerar:
a) Corpo livre, parado (flutuando ou submerso) ou em MRU no fluido:

Nesse caso a densidade do corpo é igual a do fluido.

$$P = E$$

b) Corpo descendo em MRUV.

Nesse caso a densidade do corpo é maior que a do líquido.

$$P > E$$

c) Corpo subindo em MRUV.

Nesse caso a densidade do corpo é menor que a do líquido.

$$P < E$$

d) Corpo tocando o fundo do recipiente.

Nesse caso o peso aparente é igual, em módulo, a normal.

$$P_{ap} = N = P - E$$

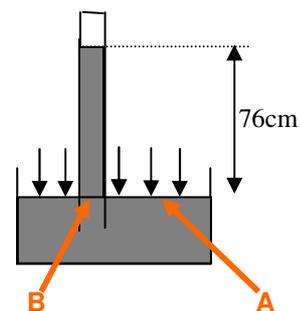
e) Corpo pendurado em um fio com dinamômetro.

Nesse caso a indicação do dinamômetro (ou a tração do fio) é igual ao peso aparente.

$$P_{ap} = T = P - E$$

1.7 MEDIDA DA PRESSÃO HIDROSTÁTICA

Esta medida foi realizada com sucesso e certa precisão na famosa experiência realizada pelo italiano Evangelista Torricelli. Ele estava no nível do mar, quando tomou um tubo de ensaio de 1m de comprimento cheio de mercúrio e vedando a extremidade aberta mergulhou esta extremidade em um recipiente também contendo mercúrio, mantendo o tubo na vertical. Ao liberar a extremidade o mercúrio do tubo de ensaio desceu até uma altura de 76cm da superfície livre do mercúrio no recipiente.



$$p_A = p_B$$

$$p_{atm} = \mu \cdot g \cdot h$$

$$p_{atm} = 13600 \cdot 9,8 \cdot 0,76$$

$$p_{atm} \cong 100\,000\text{Pa}$$

Equivalências

$$p_{atm} = 1\text{atm} = 100.000\text{Pa} = 760\text{mmHg} = 1\text{bar} = 10\text{mca}$$

2. HIDRODINÂMICA

2.1 TENSÃO SUPERFICIAL

A superfície de alguns líquidos comporta-se como uma membrana esticada. Surge uma força tensora devido a diferença de moléculas dos líquidos e gases encontrados na superfície. Esta tensão na superfície é capaz de suportar objetos mais densos que o líquido. Exemplos disso são insetos que caminham na água ou lâminas de aço colocadas com cuidado sobre a água conseguem flutuar.

2.2 VISCOSIDADE

Viscosidade é o atrito interno no escoamento de um fluido. Indica a dificuldade de escoamento do líquido. Um exemplo bom é a comparação entre o mel, que é mais viscoso, e a água. É interessante destacar que o vidro pode ser considerado um líquido muito viscoso, podendo levar séculos para pequenos escoamentos.

2.3 CAPILARIDADE

Capilaridade é o movimento de um líquido em vasos capilares ou poros. Assim a umidade que sobe na parede, alguns casos de seiva nas plantas e a umidade que sobe em um papel filtro, são casos de capilaridade. O movimento da água contrário a gravidade pode ser explicado pela pequena força peso que age em pequenas porções de água e a existência de forças de origem eletromagnéticas. São elas:

Fc: Força de coesão força em moléculas de mesma substância.

Fa: Força de adesão força em moléculas de naturezas distintas.

A capilaridade é evidenciada quando a força de adesão é maior que a força de coesão, fazendo o líquido aderir às paredes dos vasos capilares, proporcionando sua ascensão.

2.4 REGIMES DE ESCOAMENTO

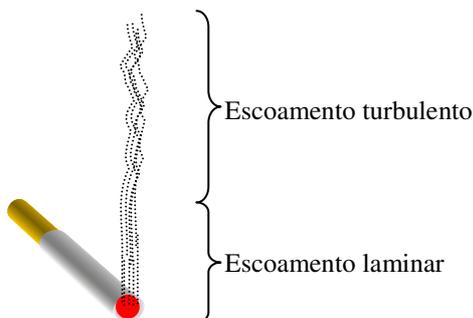
Pode-se classificar o escoamento em:

ESCOAMENTO LAMINAR

Também chamado de escoamento contínuo, é quando a velocidade das partículas, em dado ponto e constante. Ou seja, todas as n partículas do líquido que passam pelo ponto P apresentam mesma velocidade vetorial.

ESCOAMENTO TURBULENTO

Também chamado de escoamento variado, é quando a velocidade das partículas, em dado ponto é diferente.



2.5 VAZÃO ou DESCARGA (Q ou Φ)

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad \text{eq.13}$$

ou

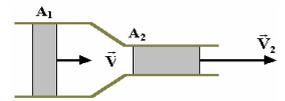
$$Q = v \cdot A \quad \text{eq.14}$$

2.6 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Em sistemas de fluxo constante (as vazões são iguais $Q_1 = Q_2$) pode ser aplicado o princípio de Castelli:

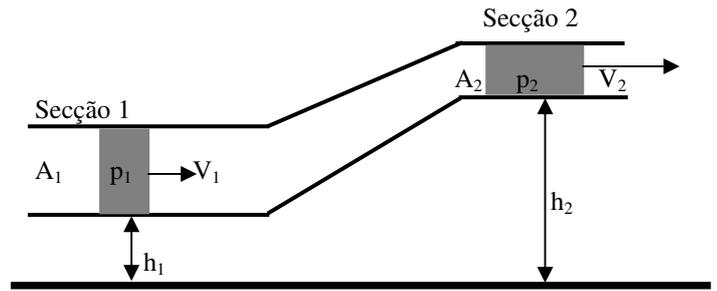
$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad \text{eq.15}$$

Em tubulações em que existe um estrangulamento, na secção de área menor, a velocidade é maior, e onde a área é maior, a velocidade é menor.



2.7 TEOREMA DE BERNOULLI

Bernoulli desenvolveu uma expressão matemática que nos permite determinar as variáveis que atuam no fluido em escoamento.



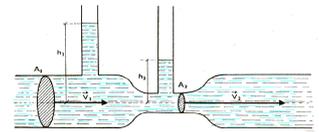
$$h_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{eq.16}$$

Ou de outra forma:

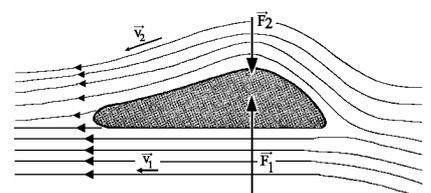
$$p_1 + \mu \cdot g h_1 + \frac{\mu \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \mu \cdot g h_2 + \frac{\mu \cdot v_2^2}{2} \quad \text{eq.17}$$

Observe que se $h_1 = h_2$, quanto maior a velocidade, menor a pressão e vice versa.

A equação do Teorema de Bernoulli explica alguns fenômenos interessantes, como o funcionamento da asa de um avião que é construída de forma que a velocidade do ar em cima seja maior que em baixo. Com efeito, a pressão em baixo é maior que em cima, gerando uma força maior em baixo, de tal forma que a asa e, portanto todo o avião seja forçado a subir. Na figura está esquematizado um corte transversal da asa de um avião.

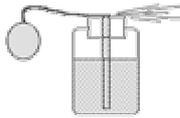


Verifica-se que a resultante das forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 atua para cima, gerando a sustentação. Na figura está esquematizado um corte transversal da asa de um avião. Verifica-se que a resultante das



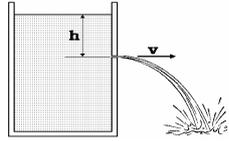
forças sobre a asa ($F = F_1 - F_2$) é para cima.

Destacam-se ainda como aplicações do Teorema de Bernoulli o efeito de uma bola de futebol quando sofre rotação, o Medidor Venturi e os sistemas de aspersões simples.



Descarga de reservatórios

Seja o reservatório da figura. Considere que o furo por onde escoar água seja suficientemente pequeno para que seja considerada desprezível a velocidade de rebaixamento da superfície livre da água.



A velocidade de escoamento do fluido pelo orifício pode ser determinada pela equação de Torricelli:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{eq.18}$$

3. TERMOLOGIA

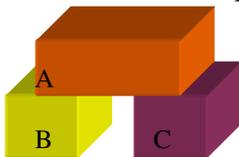
3.1 TERMOMETRIA

TEMPERATURA é a medida do grau de vibração das moléculas de um corpo.

CALOR é a transferência de energia de um objeto ou sistema para outro, devido exclusivamente à diferença de temperatura entre eles.

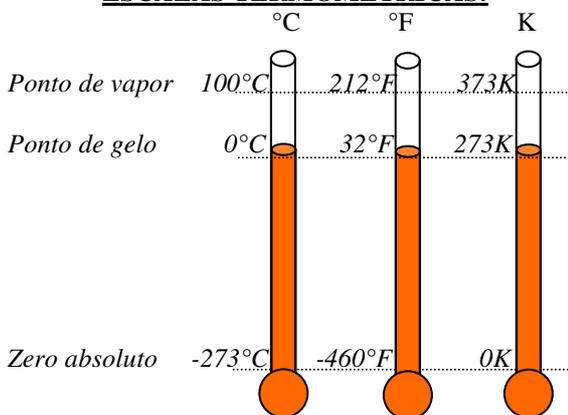
LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

A lei zero da termodinâmica ou a primeira lei da termodinâmica corresponde a simples interpretação de que se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico, ou seja, apresentam a mesma temperatura e o corpo B também está em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então o corpo A obrigatoriamente está em equilíbrio térmico com o corpo C.



Se $T_A = T_B$ e $T_B = T_C$ então $T_A = T_C$

ESCALAS TERMOMETRICAS:



As escalas Celsius e Kelvin são divididas em 100

partes e a escala Fahrenheit em 180.

- ☑ A escala Celsius era conhecida como escala centígrada por apresentar 100 divisões.
- ☑ Fahrenheit adotou como referência a temperatura do corpo humano (aproximadamente 100°F)

A equação de conversão entre as três principais escalas é:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5} \quad \text{eq.19}$$

Para calcular a relação entre variação de temperatura de uma escala e outra, adota-se a equação:

$$\frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_K}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} \quad \text{eq.20}$$

3.2 CALORIMETRIA

É o estudo do calor, ou seja, o fluxo de energia térmica que pode acontecer de duas formas, com ou sem mudança de estado.

a) SEM MUDANÇA DE ESTADO

Neste caso obrigatoriamente deve variar a temperatura. A quantidade de calor que provoca a variação da temperatura é chamada de *quantidade de calor sensível* determinado por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta \theta \quad \text{eq.34}$$

CALOR ESPECÍFICO

Calor específico é uma característica da substância. Isto quer dizer que não depende do tamanho ou da massa do corpo.

Quanto maior o calor específico (exemplo madeira e isopor) mais difícil a troca de calor; quanto menor o calor específico (exemplo ferro e cobre) mais fácil e portanto mais rápido a troca de calor.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta \theta} \quad \text{eq.35}$$

b) COM MUDANÇA DE ESTADO

Neste caso não deve haver variação de temperatura. A quantidade de calor que provoca a mudança de estado é chamada de *quantidade de calor latente* determinado por:

$$Q = m \cdot L \quad \text{eq.36}$$

POTÊNCIA

Potência térmica corresponde a energia térmica da fonte de calor absorvida pelo corpo em certo intervalo de tempo.

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \quad \text{eq.37}$$

CAPACIDADE TÉRMICA ou CAPACIDADE CALORÍFICA (C)

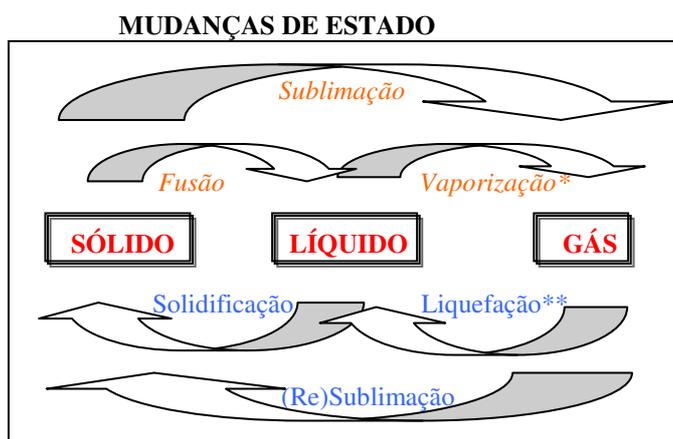
Indica a capacidade que um corpo tem de trocar calor. Observe que a capacidade térmica é uma característica do corpo e não da substância. Assim quanto maior a massa do corpo maior a capacidade calorífica:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \text{ ou } C = m \cdot c \quad \text{eq.38 e 39}$$

PRINCÍPIO DAS TROCAS DE CALOR

Se dois ou mais corpos estiverem em contato e interagirem termicamente a quantidade de calor trocada entre eles é constante. Em outras palavras o somatório das quantidades de calores cedidos é igual ao somatório das quantidades de calores recebidos.

$$\sum Q_{\text{cedido}} + \sum Q_{\text{recebido}} = 0$$



* A vaporização pode ser de três formas diferentes:

- **Ebulição:** ocorre de forma turbulenta (agitada) e para cada substância pura existe uma única temperatura de ebulição. Exemplo: água $T_e=100^\circ\text{C}$
- **Evaporação:** ocorre de forma lenta e a uma temperatura menor que a temperatura de ebulição ($T < T_e$).
- **Calefação:** ocorre muito rapidamente (mais rápido que na ebulição) e a uma temperatura maior que a temperatura de ebulição ($T > T_e$).

** A liquefação também pode ser chamada de condensação.

Formas de mudança de fase:

As mudanças de estado ou fase, entre sólido, líquido e gasoso podem acontecer de uma das três maneiras:

- variação de temperatura (t)
- variação de pressão (p)
- variação de temperatura (T) e pressão (p) simultaneamente

Existem alguns princípios básicos a estas mudanças de fase:

Primeira lei

“Se a pressão for mantida constante, durante a mudança de fase a temperatura se mantém constante”.

Segunda lei

“Mantida constante a pressão de uma substância

pura em uma mudança de estado, existe uma única temperatura de fusão (e solidificação) e uma única temperatura de ebulição (e liquefação)”.

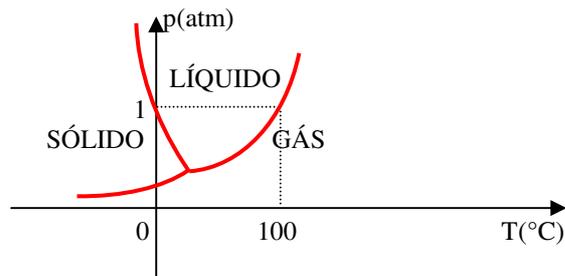
Terceira lei

“Variando a pressão, durante a mudança de estado, as temperaturas de fusão e ebulição também variam”.

Diagrama de fase:

É o diagrama (gráfico) que mostra uma substância em seus estados dependendo da temperatura e da pressão.

Exemplo: H_2O



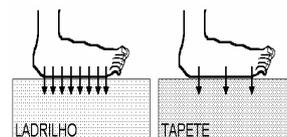
3.2 PROPAGAÇÃO DE CALOR

O calor pode se propagar de três formas básicas:

CONDUÇÃO: Acontece como um fluxo de molécula para molécula vizinha. Transmite energia de partícula para partícula sem que elas sejam deslocadas, apenas vibram. Os metais são bons condutores (que apresentam maior condutibilidade térmica). É o processo preferencial em sólidos.

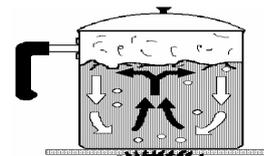
Cabo da panela e de espetos, vidros e madeiras em geral demoram a aquecer, pois apresentam baixa condutibilidade térmica, ou seja, são maus condutores térmicos.

A sensação de frio ao pisar em um ladrilho cerâmico, por exemplo, indica que o ladrilho é ótimo condutor de calor, retirando do pé energia térmica e deixando assim uma sensação de frio.



Também é o caso do frio sentido quando alguém fica molhado no vento ou passa álcool na pele. A sensação de frio é decorrente da “retirada de calor” do corpo pelo líquido para vaporizar-se.

CONVECÇÃO: É o movimento das massas de fluidos, motivado pela mudança de densidade que acontece devido a diferença de temperatura. É um fenômeno característico dos gases e líquidos. Água quando ferve circula de forma que a porção aquecida embaixo, por ficar dilatada aumenta de densidade e, portanto sobe abrindo espaço para a porção de líquido mais frio que desce. Assim esta circulação que de certa forma mistura o líquido, faz com que o calor se propague em todo líquido. Esta propagação é chamada de convecção.



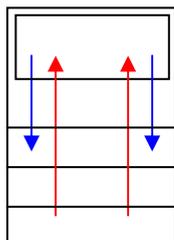
Esquema importante:

Fluido frio desce  Fluido quente sobe.

A ascensão da fumaça em chaminés, a circulação de ar dentro de uma geladeira, a brisa noturna e diurna próximo ao mar e uso e instalação correta de ar condicionado são outras aplicações de propagação por convecção.

Geladeiras:

O congelador é colocado na parte superior do compartimento interno da geladeira (ver figura ao lado) para que após esfriar o ar em seu interior, este com menor densidade, desça espontaneamente esfriando o restante do compartimento.



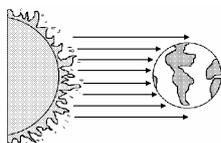
Ar Condicionado:

Como o uso principal do ar condicionado é para dias de verão (injeção de ar frio) é importante instalá-lo na parte superior da parede, assim o ar frio é injetado em cima e ao descer espontaneamente resfria todo o ambiente.

Brisa praiana:

A água do mar tem maior capacidade térmica que a orla continental (região praiana, solo, vegetação e construções próximas), pois tem maior massa e maior calor específico ($Q = m.c$). Dessa forma a ação do sol durante o dia produz no mar uma menor variação de temperatura entre dia e noite que no continente. Assim o ar que está sobre o continente é aquecido mais intensamente durante o dia, logo sobe. Ao subir abre espaço para o ar que vem do mar (brisa marítima). A noite, ocorre o contrário, o ar sobre o continente esfria mais e o ar sobre o mar esquenta subindo e abrindo espaço para que a massa de ar continental desloque-se para o oceano.

IRRADIAÇÃO ou RADIAÇÃO: Acontece mesmo no vazio (vácuo), ou melhor, quanto mais rarefeito o meio melhor a propagação por irradiação. É a propagação de ondas eletromagnéticas do tipo de **INFRAVERMELHO** que será estudado mais adiante. O calor do sol que chega a terra passando pelo vácuo interplanetário e o calor emitido por uma lareira são exemplos de propagação de calor por irradiação.



3.4 ESTUDO DOS GASES

Um gás nas condições que ele realmente existe na natureza é chamado de gás real. Nessas condições o movimento das partículas é absolutamente caótico. Para estudarmos os gases de uma forma genérica, faremos referência ao gás perfeito ou gás ideal que pode trazer boa aproximação aos gases reais, em especial quando a temperatura deste for alta e a pressão for baixa. Um gás perfeito ou gás ideal apresenta um modelo em que a força

de interação entre as partículas pode ser considerada desprezível, o gás é constituído por grande número de moléculas de dimensões desconsideráveis quando comparadas com a distância média entre elas e estas partículas colidem elasticamente umas com as outras e com as paredes do vaso que as contém.

É importante destacar aqui, que a colisão das partículas com as paredes do recipiente que contém o gás é a pressão que o gás exerce sobre o mesmo.

Quando um gás está em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) apresenta-se a 1atm e 0°C ou 273k.

EQUAÇÃO DE CLAPEYRON

$$p.V = n.R.T$$

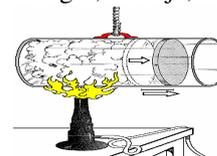
eq.29

Onde $R=0,082\text{atm.}\ell/\text{mol.K}$.

Nas CNTP é possível verificar através da eq.29 que o volume de um mol (1mol) de um gás é de 22,4ℓ.

EQUAÇÃO GERAL DOS GASES

Para uma quantidade constante de gás, ou seja, não havendo entrada ou escapamento de um gás é possível relacionar as três variáveis de estado pela lei dos gases ideais através da equação geral dos gases:



$$\frac{p_1.V_1}{T_1} = \frac{p_2.V_2}{T_2}$$

eq.30

TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA

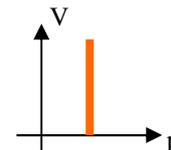
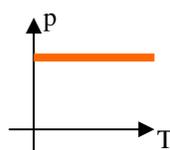
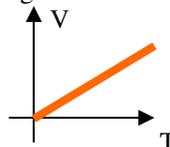
São as transformações gasosas em que a pressão permanece constante (Lei de Gay-Lussac).

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

eq.31

São exemplos desta transformação sistemas livres a pressão atmosférica, rodoar de ônibus e caminhões etc.

Os gráficos de uma transformação isobárica são:



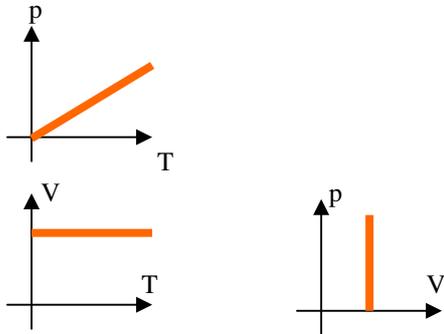
TRANSFORMAÇÃO ISOVOLUMÉTRICA ou ISOCÓRICA ou ISOMÉTRICA

São as transformações gasosas em que o volume permanece constante (Lei de Charles).

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{eq.32}$$

São exemplos de transformações isométricas as que o volume mantém-se inalterado, como panela de pressão, os refrigeradores, ar condicionado etc.

Os gráficos de uma transformação isocórica são:



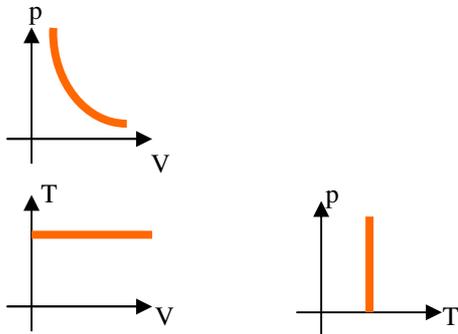
TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

São as transformações gasosas em que a temperatura permanece constante (Lei de Boyle Marote).

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad \text{eq.33}$$

São exemplos de transformação isotérmica as que acontecem a temperatura constante como alguns casos no corpo humano ($T=37^\circ\text{C}$), em alguns processos no ciclo do motor de automóvel, expansões e compressões lentas etc.

Os gráficos de uma transformação isotérmica são:



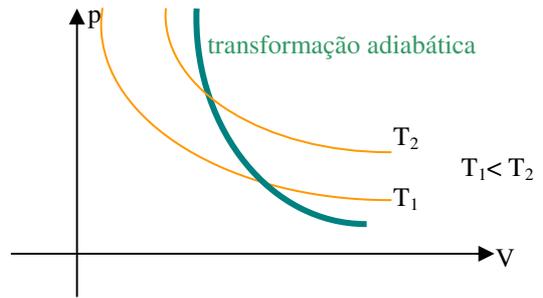
No diagrama de Clapeyron ($p \times V$) na transformação isotérmica é o único que apresenta uma curva (hipérbole). Esta curva é chamada de isoterma.

TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

Uma transformação é dita adiabática quando a quantidade de calor trocado com o meio é zero.

São transformações adiabáticas as compressões e expansões que ocorrem rapidamente por não dar tempo de ocorrer troca de calor. Assim alguns processos no ciclo do motor de combustão interna (motor de automóvel) e as transformações que ocorrem dentro de ambientes termicamente isolados são exemplos de transformações adiabáticas.

O gráfico de uma transformação adiabática pode ser representado por:

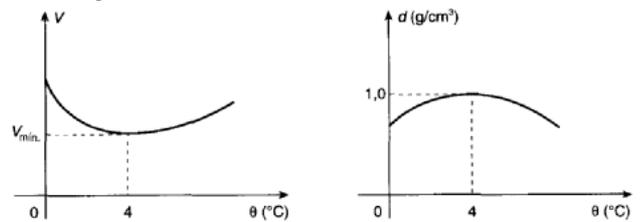


Observe que a transformação adiabática “corta” duas isotermas de temperaturas T_1 e T_2 .

3.5 DILATAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS

Foi estudada a dilatação de gases levando em consideração a pressão exercida por esse sobre as paredes do recipiente que o contem. Já nos sólidos e líquidos sujeitos a pressão atmosférica essa preocupação é irrelevante.

Em geral para sólidos e líquidos quando um corpo é aquecido dilata, quando é resfriado contrai. Uma situação anômala é a água que tem o seu menor volume a 4°C . Logo a 4°C a água tem maior densidade.

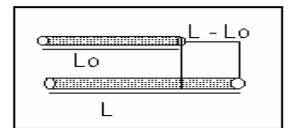


DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS

A dilatação de corpos sólidos depende do tamanho inicial do corpo, do material do corpo (coeficiente de dilatação α , β e γ) e da variação de temperatura ΔT ou $\Delta \theta$ sofrida pelo corpo.

LINEAR

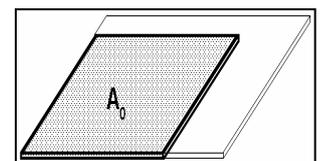
São os casos em que as dilatações da espessura e da largura do corpo são desprezíveis. Para essas situações a dilatação (variação de comprimento) ΔL ou Δl deve ser calculado por:



$$\Delta l = l_o \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{eq.21}$$

SUPERFICIAL:

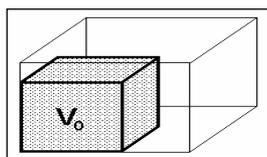
São os casos em que a dilatação da espessura do corpo é desprezível. Para essas situações a dilatação (variação de área da superfície) ΔA ou ΔS deve ser calculado por:



$$\Delta S = S_o \cdot \beta \cdot \Delta T \quad \text{eq.22}$$

VOLUMÉTRICA:

Uma dilatação é dita volumétrica quando devemos considerar todas as variações de dimensões do corpo, como em blocos maciços, líquidos etc.



$$\Delta V = V_o \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad \text{eq.23}$$

A relação entre os coeficientes de dilatação α , β e γ é:

$$\frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3} \quad \text{eq.24}$$

DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

Na dilatação de líquidos devemos considerar que todo líquido está dentro de um recipiente que também dilata e, portanto deve ser considerado.

A figura mostra inicialmente a situação de um recipiente com um líquido a certa temperatura inicial θ_0 (esquerda) e posteriormente sofreu um aquecimento (direita). Observe que o líquido dilatou mais que o frasco e transbordou. Como o frasco também dilatou o que se observa como “líquido transbordado” na verdade é apenas uma dilatação aparente do líquido. A dilatação real do líquido deve contemplar além da dilatação aparente a dilatação do recipiente. Assim:



$$\Delta V_{real} = \Delta V_{rec} + \Delta V_{ap} \quad \text{eq.25}$$

Onde:

$$\Delta V_{real} = V_o \cdot \gamma_{real} \cdot \Delta T \quad \text{eq.26}$$

$$\Delta V_{rec} = V_o \cdot \gamma_{rec} \cdot \Delta T \quad \text{eq.27}$$

$$\Delta V_{ap} = V_o \cdot \gamma_{ap} \cdot \Delta T \quad \text{eq.28}$$

Decorrente deste estudo é interessante destacar a relação entre os coeficientes de dilatação volumétricos:

$$\gamma_{real} = \gamma_{ap} + \gamma_{rec}$$

4. TERMODINÂMICA

4.1 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Este princípio foi evidenciado por James Prescott Joule (1818-1889) e é também conhecido como **Princípio da Conservação da Energia**.

Assim se um sistema qualquer receber certa quantidade de calor Q , transformará esta energia recebida em outra(s) como trabalho W e variação da energia interna ΔU .

$$Q = W + \Delta U \quad \text{eq.40}$$

QUANTIDADE DE CALOR (Q)

$Q+ \Rightarrow$ gás recebe calor

$Q- \Rightarrow$ gás cede calor

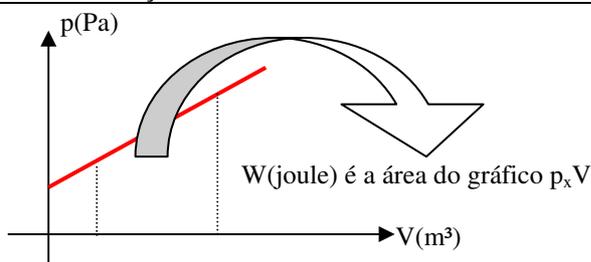
$Q=0 \Rightarrow$ transformação adiabática (que ocorre quando o sistema não troca calor com o meio).

4.2 TRABALHO

O trabalho mecânico nestes casos corresponde a energia capaz de produzir variações de volume no recipiente que contem o gás, seja por força do próprio gás que se expande e nesse caso o trabalho é chamado de **TRABALHO REALIZADO** pelo gás ou sistema, seja externo causando contração (compressão) chamado **TRABALHO RECEBIDO** pelo gás ou sistema.

$$W = p \cdot \Delta V \quad \text{eq.41}$$

Observação:



Observe que se o volume aumenta o trabalho é positivo e se o volume diminui o trabalho é negativo.

Nas transformações Cíclicas:

$W+ =$ ciclo horário

$W- =$ ciclo anti-horário

Esquema importante:

$W+ \Rightarrow \Delta V+ \Rightarrow V$ aumenta \Rightarrow expansão

$W- \Rightarrow \Delta V- \Rightarrow V$ diminui \Rightarrow compressão

$W=0 \Rightarrow \Delta V=0 \Rightarrow V$ permanece constante (transformação isocórica).

4.3 ENERGIA INTERNA (U)

A energia interna do sistema corresponde a energia de agitação das moléculas do mesmo. Portanto está relacionada com a temperatura do sistema.

$$U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T \quad \text{ou} \quad U = \frac{3}{2} p \cdot V \quad \text{eq.42 e 43}$$

Embora $U=3p \cdot V/2$ a energia interna não depende da pressão p e do volume V . Depende somente da temperatura do gás.

Esquema importante:

$\Delta U+ \Rightarrow$ aumenta $U \Rightarrow$ aumenta T

$\Delta U- \Rightarrow$ diminui $U \Rightarrow$ diminui T

$\Delta U=0 \Rightarrow U$ é constante $\Rightarrow T$ não varia, ou seja, a transformação é isotérmica.

4.4 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

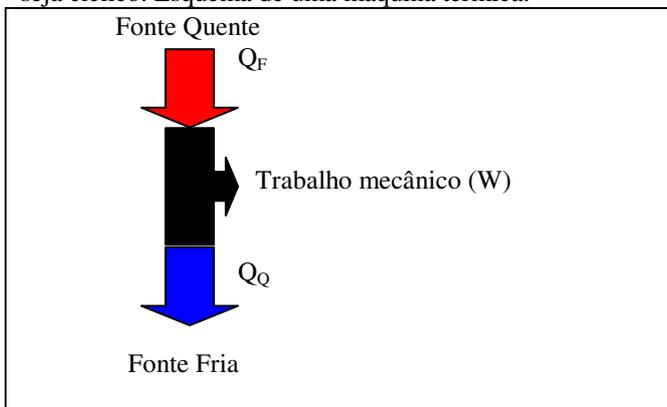
É perfeitamente possível transformar trabalho mecânico integralmente em calor, quando se atrita um objeto sobre uma mesa. Observa-se que esta transformação

é espontânea. Já o processo inverso, além de não ser espontâneo, o objeto e a mesa aquecida não transformam a energia térmica em movimento. A transformação de energia térmica (calor) em mecânica só ocorre com alterações significativas do sistema. Esta observação é um das muitas formas de enunciar a segunda lei da termodinâmica, proposta por Kelvin:

“É impossível remover energia térmica de um sistema a uma certa temperatura e converter a energia removida em trabalho mecânico sem modificar, de alguma maneira, o sistema ou as vizinhanças do sistema.” (KELVIN)

O equipamento capaz de realizar a troca de calor em movimento (trabalho) é chamado de máquina térmica.

Para seu funcionamento é necessário duas fontes ou reservatórios, um quente e outro frio e que o processo seja cíclico. Esquema de uma máquina térmica:



É perfeitamente notável pela experiência de anos com máquinas térmicas, que o trabalho mecânico assim produzido é o saldo entre as fontes quente Q_Q e fonte fria Q_F :

$$W = Q_Q - Q_F \quad \text{eq.44}$$

Outra forma de ditar a segunda lei da termodinâmica é o conhecido enunciado de Kelvin - Planck:

“É impossível que uma máquina térmica, operando em ciclos, tenha como único efeito retirada de calor de um reservatório (fonte) e execução de quantidade equivalente de trabalho.” (KELVIN - PLANCK)

Ou de outra forma:

“É impossível uma máquina térmica que, operando em ciclos, transforme em trabalho todo calor a ela fornecido.” (KELVIN - PLANCK).

Outra observação interessante foi realizada por Clausius e diz respeito à irreversibilidade do processo de transformação de energia. Se for colocado um corpo quente em contato com um corpo frio o fluxo de energia térmica (calor) acontecerá espontaneamente num único sentido: do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, até que eles atinjam o equilíbrio térmico (mesma temperatura). Já em dois corpos a mesma temperatura não haverá fluxo espontâneo de calor que faça um deles mais quente e outro mais frio. Tal constatação

levou Rudolf Clausius enunciar a segunda lei da termodinâmica de outra forma:

“O calor passa espontaneamente dos corpos de maior temperatura para os corpos com menor temperatura.” (CLAUSIUS)

Ou de outra forma:

“Não há nenhum processo cujo único efeito seja a da transferência de energia de um corpo frio para outro quente.” (CLAUSIUS).

Embora a segunda lei da termodinâmica trate da irreversibilidade dos processos, os enunciados de Clausius e Kelvin não dão conta de todos os processos, como o caso de um copo de vidro que se estilhaça ao cair no chão. Neste caso e de todos os processos irreversíveis é notável que o sistema e suas vizinhanças passem para um estado mais desordenado (desorganizado).

Chama-se **entropia** S a medida da desordem de um sistema. Assim pode-se associar o conceito de entropia a segunda lei da termodinâmica:

“Num processo reversível a entropia permanece constante.”

“Num processo irreversível, a entropia aumenta.”

“Em qualquer processo a entropia nunca diminui.”

A segunda lei da termodinâmica pode ser dita ainda como:

“Existe uma tendência espontânea para que todas as transformações se realizem num sentido de aumento da entropia”

Logo os processos irreversíveis são espontâneos.

Rendimento da máquina térmica (η)

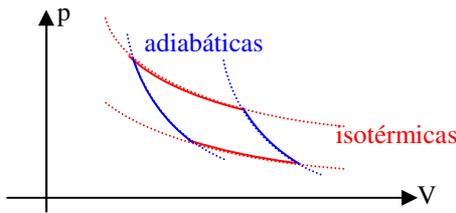
Como já sabemos rendimento, eficiência ou aproveitamento η é determinado pela razão entre a energia útil e a energia total do sistema. No caso das máquinas térmicas a energia utilizada é o trabalho mecânico e a energia total e a quantidade de calor retirada da fonte quente Q_Q .

$$\eta = \frac{W}{Q_Q} \quad \text{ou} \quad \eta_{\%} = \frac{W}{Q_Q} \cdot 100 \quad \text{eq.45}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q} \quad \text{ou} \quad \eta_{\%} = \left(1 - \frac{Q_F}{Q_Q}\right) \cdot 100 \quad \text{eq.46}$$

A máquina de Carnot e o Ciclo de Carnot

Como já foi visto, é impossível converter todo calor em trabalho. O jovem engenheiro francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832) se questionou qual o máximo rendimento que pode se obter e como produzi-lo. A resposta ficou delineada no que foi chamado de ciclo de Carnot, ou melhor, o ciclo realizado pela máquina de Carnot, uma máquina que opere em ciclos (máquina reversível). A máquina de Carnot possui o máximo rendimento possível e opera em ciclos entre uma fonte quente, da onde retira calor e uma fonte fria, para onde rejeita o calor restante. O Ciclo de Carnot compreende duas transformações adiabáticas e duas transformações isotérmicas.

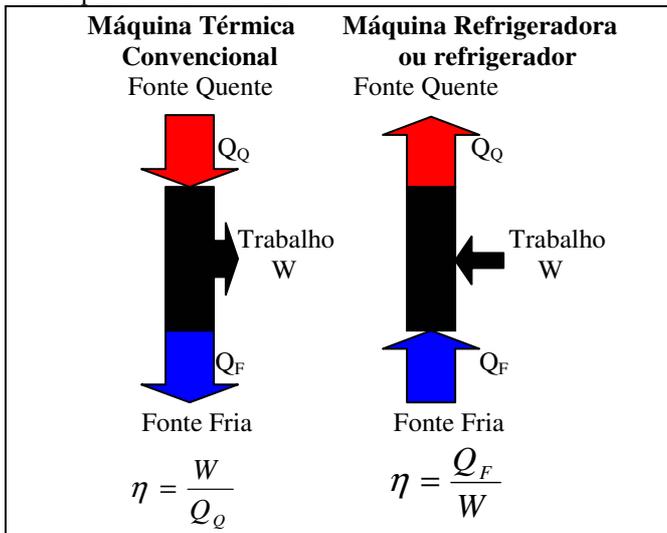


Como existe uma proporcionalidade entre temperatura e quantidade de calor tocado nas fontes quente e fria, pode-se calcular o rendimento η da máquina de Carnot por:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \text{ ou } \eta_{\%} = \left(1 - \frac{T_F}{T_Q}\right) \cdot 100 \quad \text{eq.47}$$

Refrigeradores:

Os refrigeradores (geladeira, freezer, ar condicionado etc.) são máquinas térmicas ao revés, ou seja, tem o princípio inverso ao das máquinas térmicas convencionais como motor de carro e a vapor. Basicamente em uma máquina refrigeradora com a geladeira existem dois reservatórios, um quente (condensador – atrás da geladeira) e uma fria (congelador). O motor aciona um compressor que realiza um trabalho sobre o fluido refrigerador (freon), este por sua vez circula entre as fontes retirando calor do congelador e levando calor para o condensador.



5. OSCILAÇÕES

5.1 MHS

O Movimento harmônico simples (MHS) consiste em um movimento periódico que se repete em tempos iguais.

Chama-se elongação (e ou x) a distância que o corpo ou ponto material representativo deste corpo está do ponto de equilíbrio em dado instante do movimento.

Chama-se amplitude (A) a distância do ponto material a qualquer um dos extremos. A amplitude é a maior elongação possível.

Chama-se período (T) o tempo necessário para que o ponto material cumpra uma oscilação completa. Podendo por exemplo sair de um extremo, ir até o outro e retornar ao extremo inicial.

$$T = \frac{\Delta t}{n} \quad \text{eq.48}$$

Chama-se frequência (f) o número de oscilações realizadas pelo ponto material em certo intervalo de tempo.

$$f = \frac{n}{\Delta t} \quad \text{eq.49}$$

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{eq.50}$$

Chama-se fase (φ) o ângulo da linha horizontal no círculo do MCU e a radial que passa pelo ponto material em certo instante.

$$\varphi = \varphi_o + \omega t \quad \text{eq.51}$$

Chama-se pulsção ou frequência angular (ω) o equivalente a velocidade angular do MCU. Ou seja a variação de fase (ângulo) no tempo:

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad \text{eq.51}$$

Cinemática do MHS:

Elongação:

$$e = A \cdot \cos \varphi \quad \text{eq.52}$$

Velocidade:

$$v = -A \cdot \omega \cdot \sin \varphi \quad \text{eq.53}$$

Aceleração:

$$a = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi \quad \text{eq.54}$$

Importante:

Como o máximo valor das funções seno e co-seno é 1, os máximos valores dos módulos da velocidade e da aceleração no Movimento Harmônico Simples são respectivamente:

$$v = A \cdot \omega \quad \text{eq.55}$$

$$a = A \cdot \omega^2 \quad \text{eq.56}$$

PERÍODO DE OSCILAÇÃO DE UM PÊNDULO SIMPLES E UM SISTEMA MASSA-MOLA

No pêndulo simples :

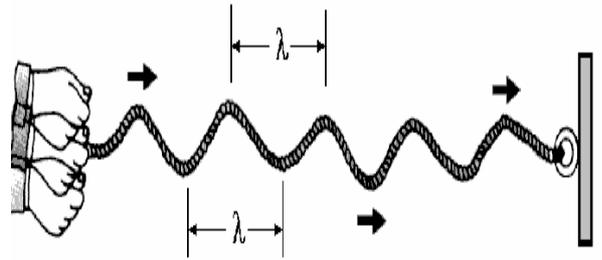
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \text{eq.57}$$

No sistema massa mola :

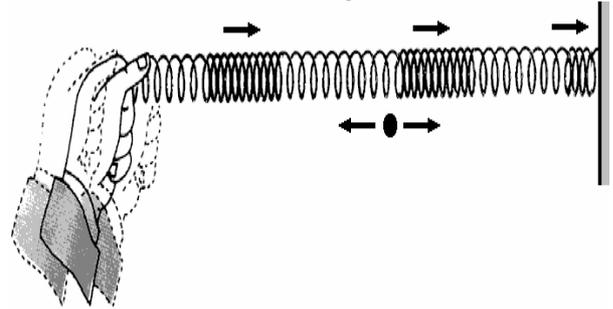
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{eq.58}$$

ou

$$k = m\omega^2 \quad \text{eq.59}$$



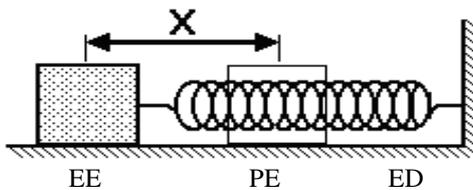
Longitudinais: são as ondas que vibram ao longo da direção de propagação. Ex: som nos fluidos, uma mola tencionada e liberada, conforme a figura.



Mistas: são ondas que vibram simultaneamente de forma transversal e longitudinal. Ex: ondas na água.

Dinâmica do MHS

Para determinação de força, e energias considere o esquema abaixo:



	EE	PE	ED
Elongação (e ou x)	A (máx.)	0 (nula)	A (máx.)
Velocidade (v)	0 (nula)	w.A (máx.)	0 (nula)
Aceleração (a)	a=w ² .A (máx.)	0 (nula)	a=w ² .A (máx.)
Força (F)	F=K.A F=m.w ² .A	0 (nula)	F=K.A F=m.w ² .A
Eng.Pot. (Ep ou U)	K.A ² /2 (máx.)	0 (nula)	K.A ² /2 (máx.)
Eng.Cinét. (Ec ou K)	0 (nula)	mw ² A ² /2 (max.)	0 (nula)
Eng.Mec. Total (E)	K.A ² /2	mw ² A ² /2	K.A ² /2

Som e Luz

O que é "som" e o que é "luz"?

A definição de som e luz estabelecida pelos cientistas está ligada aos órgãos do sentido do homem.

Luz:

Da mesma forma que o som, a luz está relacionada com a capacidade de percepção do homem. O esquema do espectro eletromagnético a seguir mostra a luz inserida no contexto de outras ondas (radiações) de mesma natureza.

5.2 ONDAS

Por definição, onda é uma propagação da energia. Pode ser considerada uma perturbação que se propaga em um meio. Este meio pode ser material ou não (vácuo). O transporte de energia descrito como onda não considera o movimento de matéria que por ventura ocorrer.

Classificação

As ondas podem ser classificadas:

Quanto a natureza:

Eletromagnéticas: são as ondas formadas por perturbações no campo elétrico e magnético. Caracterizam-se por não necessitarem de meio material. Ou melhor, propagam-se no vácuo.

Ex: luz, calor, ondas de rádio.

Mecânicas: são as ondas formadas por perturbações num meio material, portanto necessitam de meio material para propagarem-se.

Ex: som, água, corda etc.

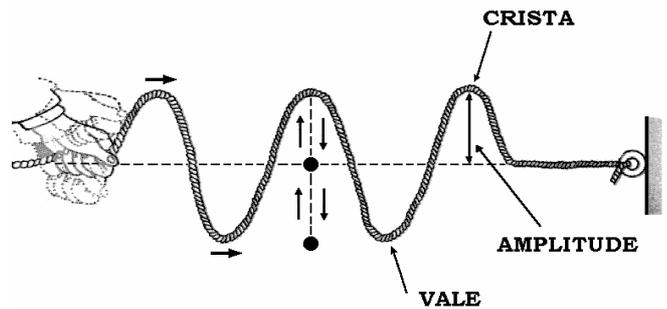
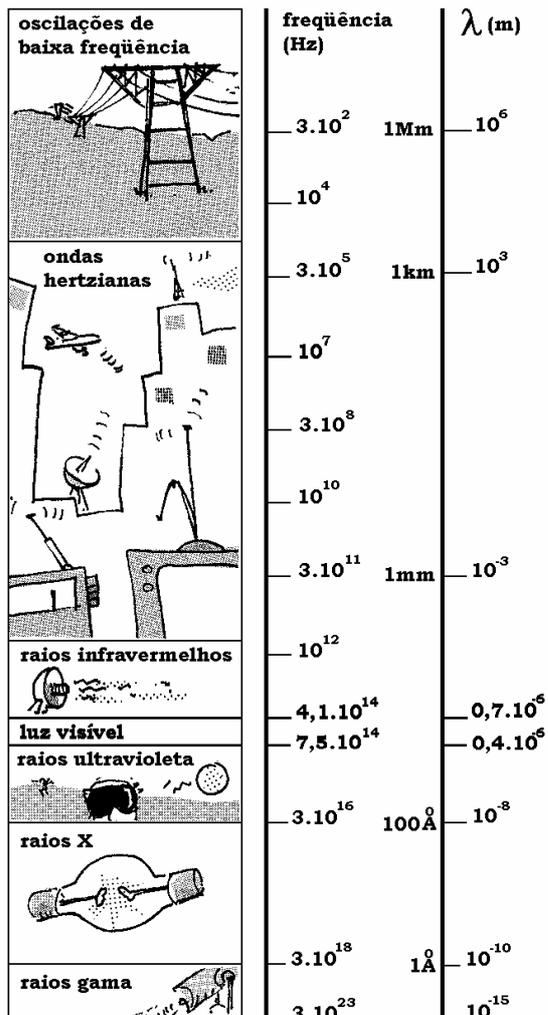
Quanto a direção de vibração:

Transversais: são ondas que vibram perpendicularmente a direção de propagação. Ex: ondas eletromagnéticas, ondas em cordas etc.

Esquema do espectro eletromagnético:

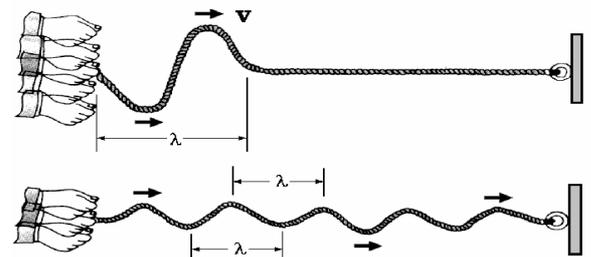
Compreendem as ondas do espectro eletromagnético, na ordem crescente de frequência, as ondas de rádio AM(10⁶), FM(10⁸); ondas de TV(10⁸); as microondas(10⁸ a 10¹¹) utilizados em telecomunicações (como telefone celular canais fechados etc.), radar, forno de microondas entre outros; as ondas de infra-vermelho(10¹² a 10¹⁴) utilizadas em controle remoto e as próprias radiações de calor, já citadas anteriormente; a luz, ou melhor, luz visível(10¹⁴); os raios ultravioletas – UV(10¹⁵), usados em bronzamentos; os raios X(10¹⁶) usados em radioterapias, tomografias e radiografias; os raios gama (10¹⁶) como os emitidos pela bomba atômica e os raios cósmicos (acima de 10¹⁷). Estes quatro últimos, dependendo da intensidade, são altamente cancerígenos.

A luz é a radiação capaz de sensibilizar a retina do olho humano. Alguns animais são sensíveis a outras radiações como o infravermelho (radiação de calor). Esse é o caso de cobras. Já a radiação ultravioleta é capaz de sensibilizar a retina de gatos e cachorros entre outros animais.



Período (T): é o tempo para uma oscilação completa da onda.

Comprimento de onda (λ): é distância entre duas cristas ou dois vales. Mede-se o comprimento de onda a partir do local onde a onda se repete. Veja as figuras



Observação:

O tempo correspondente a um comprimento de onda é o período.

Frequência (f): número de oscilações realizadas pelo pulso da onda em certo intervalo de tempo. É o inverso do período.

Amplitude (A): distância do eixo de equilíbrio até uma crista ou vale.

Pulso: é a região de “acumulo” de energia em propagação. Pode ser chamado de frente de onda. Vários pulsos são chamados de trem de ondas.

Concordância de fase: Duas ondas estão em concordância de fase se em dado instante os pontos correspondentes delas encontram-se crista com crista e vale com vale. São ondas coerentes, geradas por fontes coerentes. Dois pontos de uma mesma onda também poderão estar em concordância de fase se dois pontos desta onda estão em posições análogas, ou seja, crista e crista; vale e vale.

Oposição de fase: Duas ondas estão em oposição de fase se em dado instante os pontos correspondentes delas encontram-se em crista e em vale.

Velocidade da onda (v): A velocidade da onda é uma característica que depende do meio. Observe no quadro a seguir a diferença entre valores aproximados de velocidade de ondas sonora e luminosa, a primeira uma onda mecânica a segunda uma onda eletromagnética.

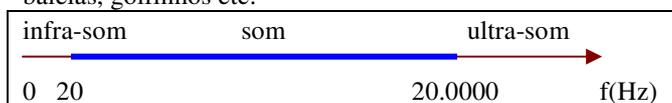
Velocidade(m/s)	SOM	LUZ
Vácuo	0	300.000.000
Ar	340	299.000.000
Água	1.500	225.000.000
aço	5.000	0

Verifique que uma onda mecânica, exemplificada neste caso pelo som, necessita de meio material para propagar-se e quanto mais compacto o meio (moléculas mais próximas), maior a velocidade da onda. Já as ondas eletromagnéticas,

Som:

Se um a corda esticada for tocada poderá produzir um “barulho” para o ouvido humano. Se ela produzir menos de 20 oscilações por segundo (20Hz) não será percebida pela maioria das pessoas. Entretanto se percutada de tal forma que produza oscilações entre 20Hz até 20.000Hz será percebida por qualquer pessoa de audição normal. Acima de vinte mil oscilações por segundo (20.000Hz ou 20KHz) já não será mais ouvida pelo homem, apenas por alguns outros animais.

Chama-se **som** as vibrações de ondas mecânicas audíveis ou homem. Para maioria da população são audíveis as perturbações mecânicas entre 20Hz e 20KHz. As perturbações menores que 20Hz são chamadas de infra-som, como os produzidos por abalos sísmicos. As perturbações maiores que 20KHz são chamadas de ultra-som como os utilizados em exames para gestantes, eco-cardiografia e os “sons” emitidos e ouvidos por morcegos e baleias, golfinhos etc.



Elementos de uma onda

Seja a figura:

exemplificado pela luz, não necessitam de meio material, pelo contrário, a matéria parece atrapalhar sua propagação.

Velocidade de uma corda:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad \text{eq.60}$$

Equação fundamental da onda:

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{eq.61}$$

Equação de onda:

$$y = A \cdot \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) + \varphi_0 \right] \quad \text{eq.62}$$

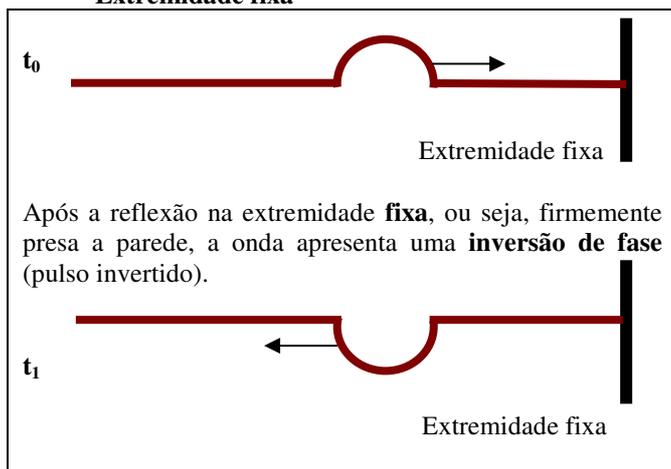
FENÔMENOS ONDULÁTORIOS

Reflexão:

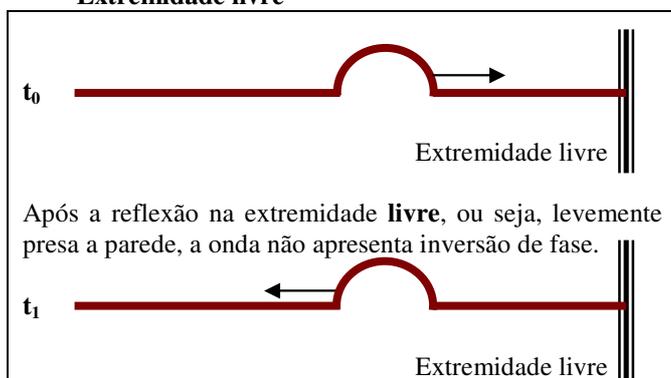
É interessante observar que na refração a frequência f , o período T , a velocidade v e o comprimento de onda λ não sofrem alterações

Em cordas:

Extremidade fixa



Extremidade livre



Som:

O som ao se propagar pode encontrar um obstáculo. A sensação audível da repetição do som emitido quando o som refletido chega ao ouvido poderá ser chamado de eco ou reverberação conforme o caso.

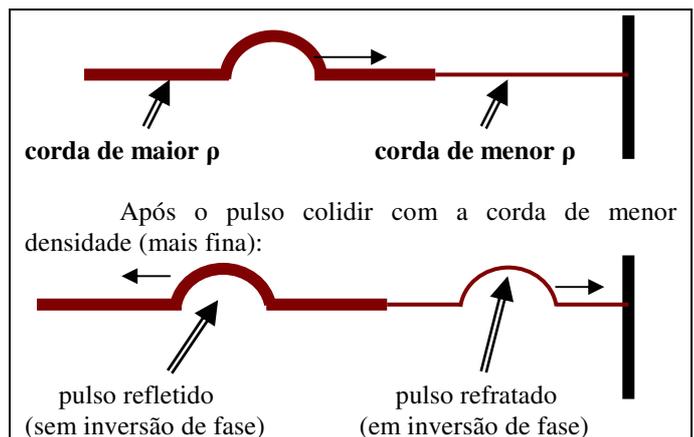
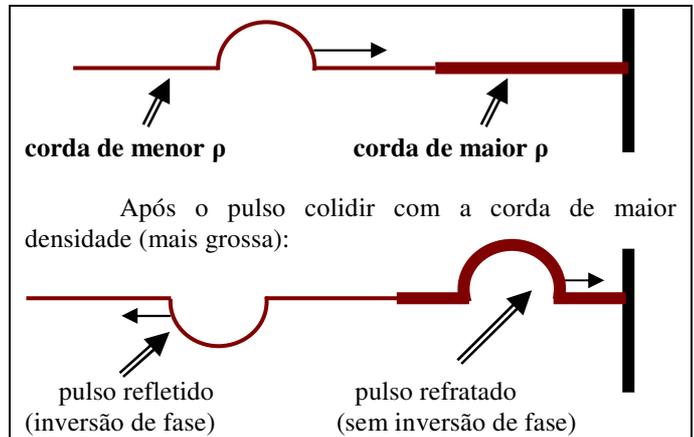
- **Eco:** $d < 17\text{m}$

- **Reverberação:** $d > 17\text{m}$

Refração:

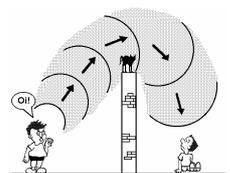
Refração é o fenômeno no qual uma onda muda sua velocidade, ao trocar de meio.

É interessante observar que na refração a frequência f e o período T não sofrem alterações, apenas a velocidade v e o comprimento de onda λ . Também não ocorrerá inversão de fase como acontece na reflexão.

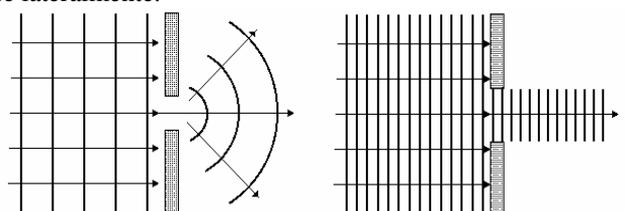


Difração:

É a mudança de direção do vetor velocidade da onda, ou seja, é o fenômeno que caracteriza a onda por sua capacidade de contornar obstáculos. A onda difrata mais para maiores comprimentos de onda λ e menores aberturas de fendas.



A figura que segue mostre duas situações em que uma onda plana (superfície da água vista de cima, por exemplo) propaga-se até um obstáculo com uma fenda de abertura razoável. Ao passar pela fenda, a onda de maior comprimento de onda apresentou maior difração, desviando-se lateralmente.



Observação:

Para que seja possível verificar a difração é necessário que o comprimento de onda seja da mesma ordem de grandeza da abertura da fenda.

Interferência:

A interferência é o fenômeno em que dois ou mais pulsos se superpõem dando origem, naquele instante, a uma nova configuração de onda. A interferência poderá ser destrutiva ou construtiva.

Interferência construtiva:

Seja uma corda com pulsos propagando-se um ao encontro do outro:



No momento do encontro dos pulsos (superposição) o formato da onda é:



Observe que os pulsos (amplitudes) se adicionaram causando o que é chamado de interferência construtiva de onda.

Interferência destrutiva:

Seja uma corda com pulsos propagando-se um ao encontro do outro:



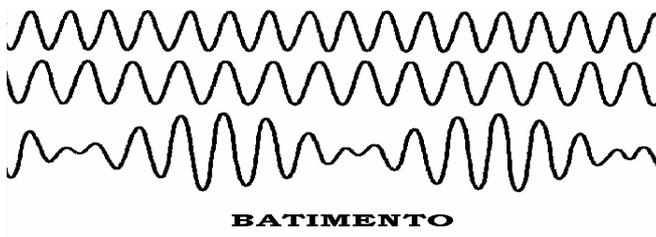
No momento do encontro dos pulsos (superposição) o formato da onda é:



Observe que os pulsos (amplitudes) se subtraíram causando o que é chamado de interferência destrutiva de onda.

Batimento

É a superposição de ondas de mesma amplitude e frequências próximas. Na figura que segue observe que nas duas primeiras configurações de ondas os comprimentos de ondas não são os mesmos, porém próximos. Se essas ondas superpuser-se o resultado será a terceira configuração e o fenômeno é chamado de batimento.



A onda resultado do batimento terá frequência resultante determinado pela média das frequências das ondas originais, logo:

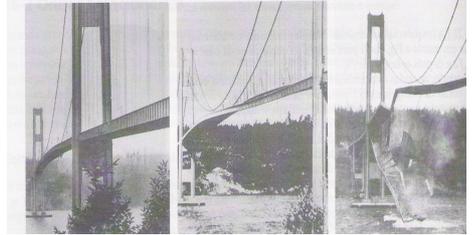
$$f_R = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad \text{eq.63}$$

A frequência com que se repete o batimento, ou seja, a repetição de máximas e mínimas vibrações será determinada pela frequência de batimento, expressa por:

$$f = |f_1 - f_2| \quad \text{eq.64}$$

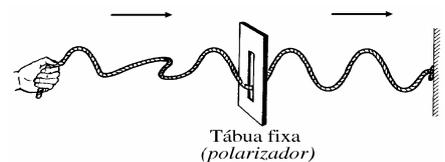
Ressonância

Ressonância consiste no fenômeno físico ocorrido por um sistema físico que recebe energia periódica (onda) com frequência igual a uma das frequências preferenciais do sistema. Neste caso o sistema vibra junto com o agente excitador com máxima absorção de energia, aumentando a amplitude resultante.



Polarização

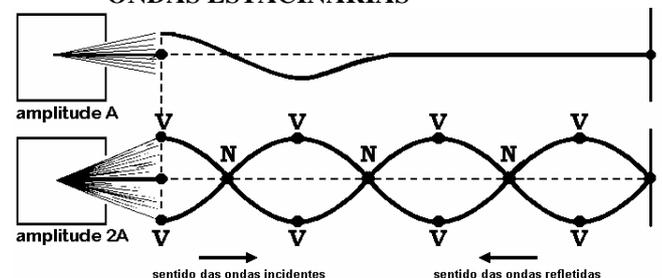
A figura que segue mostra uma analogia a polarização de ondas eletromagnéticas. Um operador segura com a mão uma corda e faz esta vibrar em todas as direções possíveis. Ao passar pela tábua fixa dotada de uma fenda da espessura da corda verifica-se que a corda passa a vibrar apenas na direção da fenda. A tábua dotada de fenda esta funcionando como um polarizador, ou seja, permitindo a oscilação apenas em uma direção, a do polarizador.



Para verificar a polarização da luz utilizam-se cristais naturais cortados apropriadamente como polarizadores. Em 1838 Lond inventou uma película polarizadora da luz que levou o nome comercial de Polaroid.

Somente podem ser polarizadas ondas transversais. Ondas longitudinais, como o som, não são polarizadas.

ONDAS ESTACIONÁRIAS



Observe que nos ventres, como a interferência é construtiva, soma-se a amplitude A da onda que sai da fonte à esquerda com a amplitude A da onda refletida na extremidade da direita, logo a amplitude da onda estacionária resultante é $2A$.

Na onda estacionária:

A distância entre dois nós consecutivos é $\lambda/2$ (meio comprimento de onda).

A distância entre dois ventres consecutivos é $\lambda/2$ (meio comprimento de onda).

A distância entre um nó e um ventre consecutivos é $\lambda/4$ (um quarto do comprimento de onda).

5.3 ACÚSTICA

A acústica estuda o som e suas manifestações. Como já vimos som são vibrações mecânicas situadas entre 20Hz – 20KHz. São ondas longitudinais nos fluidos e mistas nos sólidos.

O som sofre reflexão podendo produzir eco e reverberação, refração, interferência, difração, batimento, ressonância e não pode sofrer polarização.

EFEITO DOPPLER:

Christian Andreas Doppler (1803-1853) estudou o efeito que ocorre com as ondas como o som, quando há aproximação ou afastamento entre observador (ouvinte) e fonte de onda. Doppler concluiu que o observador percebe ondas com frequência diferente da frequência emitida pela fonte.

Esquema:

Aproximação \Rightarrow frequência observada maior

Afastamento \Rightarrow frequência observada menor

Do ponto de vista físico, frequência alta (ou som alto) é um som agudo e frequência baixa (ou som baixo) é som grave.

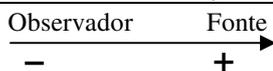
Aproximação: o som ouvido é mais agudo ou mais alto que o emitido.

Afastamento: o som ouvido é mais grave ou mais baixo que o emitido.

Para calcular a frequência aparente f_o observada pelo ouvinte, deve-se inicialmente estabelecer um referencial adequado a equação.

REFERENCIAL:

Adota-se a seguinte convenção de sinais para os vetores velocidade do ouvinte v_o e velocidade da fonte v_F .



$$\frac{f_o}{v \pm v_o} = \frac{f_F}{v \pm v_F} \quad \text{eq.65}$$

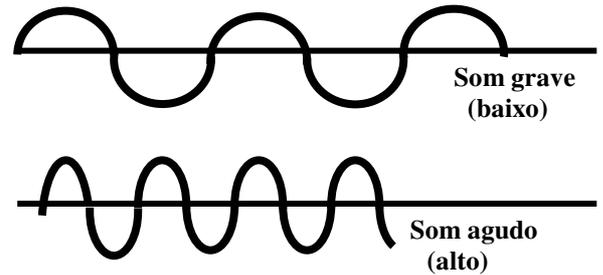
QUALIDADES FISIOLÓGICAS DO SOM

São três as qualidades fisiológicas do som: altura ou tom, intensidade e timbre.

Altura ou tom:

Essa qualidade fisiológica do som está ligada exclusivamente à frequência do som.

É sabido que a onda sonora no ar é longitudinal, entretanto para melhor compreensão será representado como transversal, como indicado em um equalizador digital.



O som grave é o de baixa frequência, como a voz masculina ou a nota musical dó de uma escala.

O som agudo é o de alta frequência, como a voz feminina ou a nota musical si de uma escala.

Intensidade:

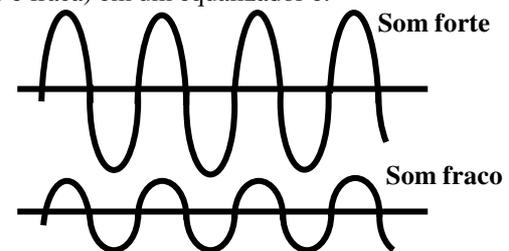
É comumente chamado de volume do som. A intensidade é caracterizada por som forte (um grito) e som fraco (um sussurro). Entretanto é importante perceber que a frequência também influencia a intensidade:

$$I = K \cdot f^2 \cdot A^2 \quad \text{eq.66}$$

Sonoridade ou **nível sonoro** S é a verificação da intensidade em uma escala logarítmica, mais adequada as condições de audição humana. É definido por:

$$S = S_0 + K \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad \text{eq.67}$$

A configuração esquemática de ondas sonoras (forte e fraca) em um equalizador é:



Observe nas duas configurações que a frequência é a mesma (mesmo comprimento de onda).

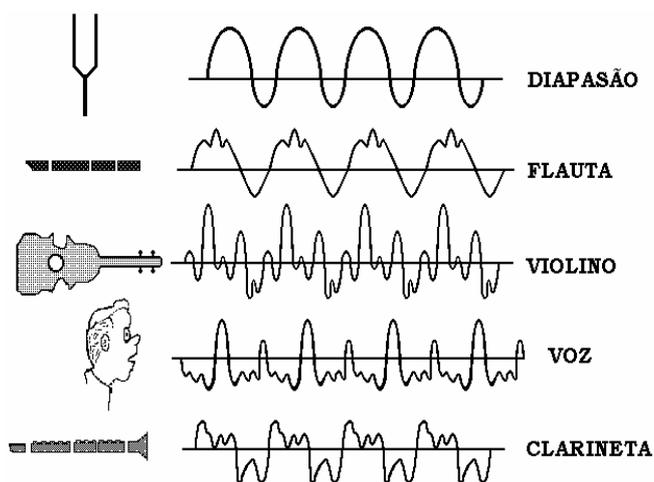
O som forte é um som muito intenso, de grande amplitude, como o produzido por um grito.

O som fraco é um som pouco intenso, de pequena amplitude, como o produzido por um sussurro.

Timbre:

Sons de mesma altura e intensidade emitidos por fontes diferentes são distinguidos pelo timbre. O timbre está relacionado com o formato da onda. Resulta de combinação de harmônicas e depende da fonte.

A figura que segue mostra várias ondas de fontes diferentes com frequências iguais e amplitudes também iguais.



Observe que é razoavelmente fácil distinguir um violino de uma flauta mesmo que tocando a mesma música (mesmas notas musicais) com mesmos “volumes” produzidos pela mesma caixa de som. Esta diferença nos sons referentes à fonte é o timbre.

Amigo estudante

Desejo que este material tenha lhe ajudado na aprendizagem das ciências naturais. No entanto é razoável considerar que os conhecimentos de Física não são os principais atributos de um homem. Mas os valores por este formado sim constituem a essência da existência humana. Tal reflexão remete a experiência vivida por Oppenheimer que presenciou, estarrecido, as conseqüências de seus estudos e pesquisas explodindo em Hiroshima e Nagasaki. Após quase enlouquecer, estudou profundamente as ciências sociais e foi o autor de uma frase fantástica: "O pior perigo da humanidade é o cientista alienado".

Desejo que teus esforços tenham retorno rápido, que teus estudos sejam enriquecidos por uma formação humanista alicerçados em um compromisso de justiça, solidariedade, paz e bons relacionamentos.

Que Deus lhe acompanhe sempre.

Giovani Soares

Envie suas sugestões para taoluz@bol.com.br ou fale diretamente com o professor (3226-4275 ou 9152-8639).