

MÁQUINAS TÉRMICAS

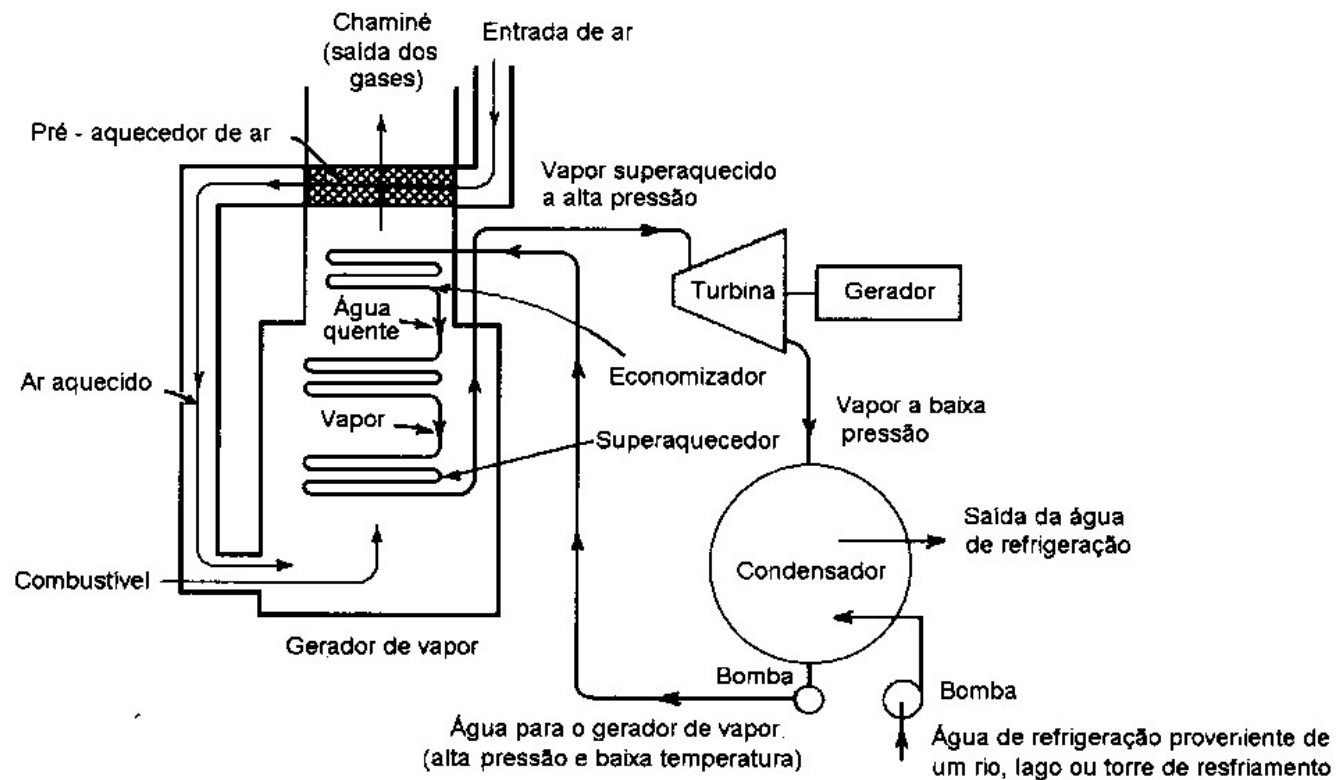
A COISA MAIS PRECIOSA

Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil — e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos.

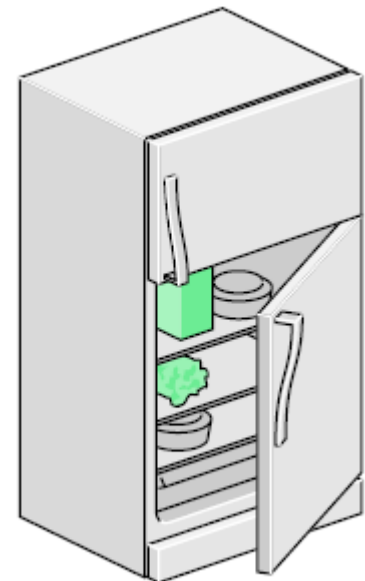
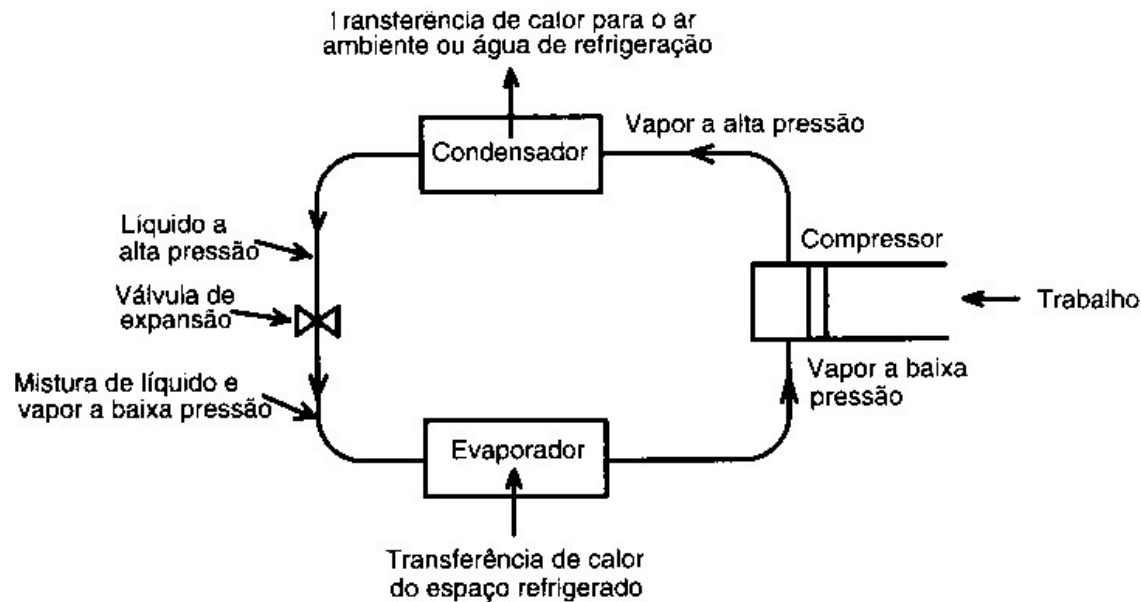
Albert Einstein (1879-1955)



Centrais Termelétricas



Sistemas de refrigeração



Refrigerator

Motores Aeronáuticos

Turbinas a Gás

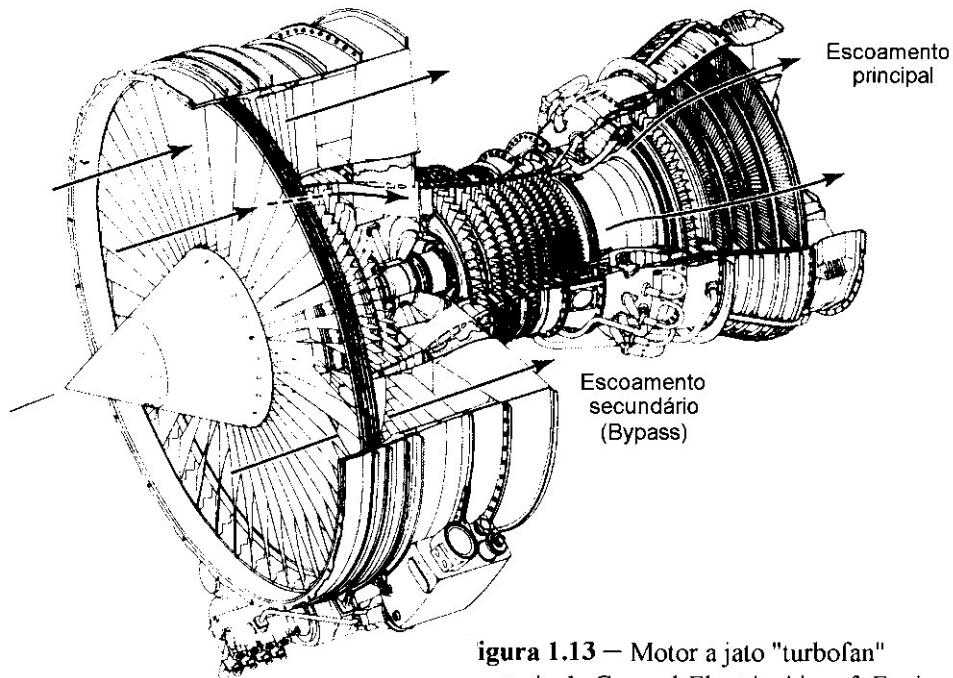
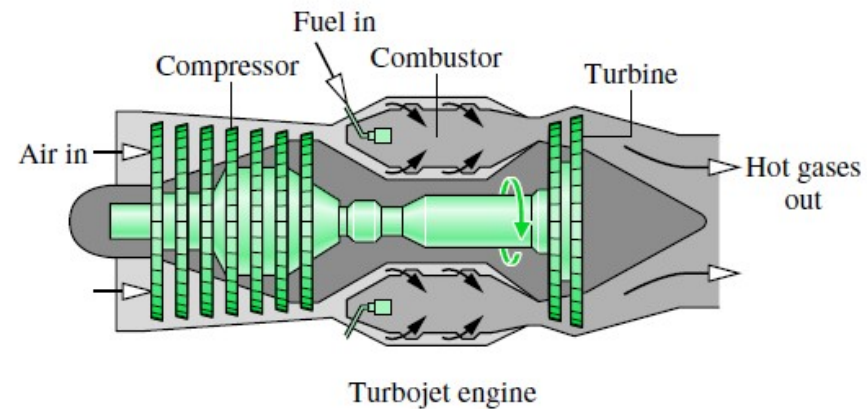
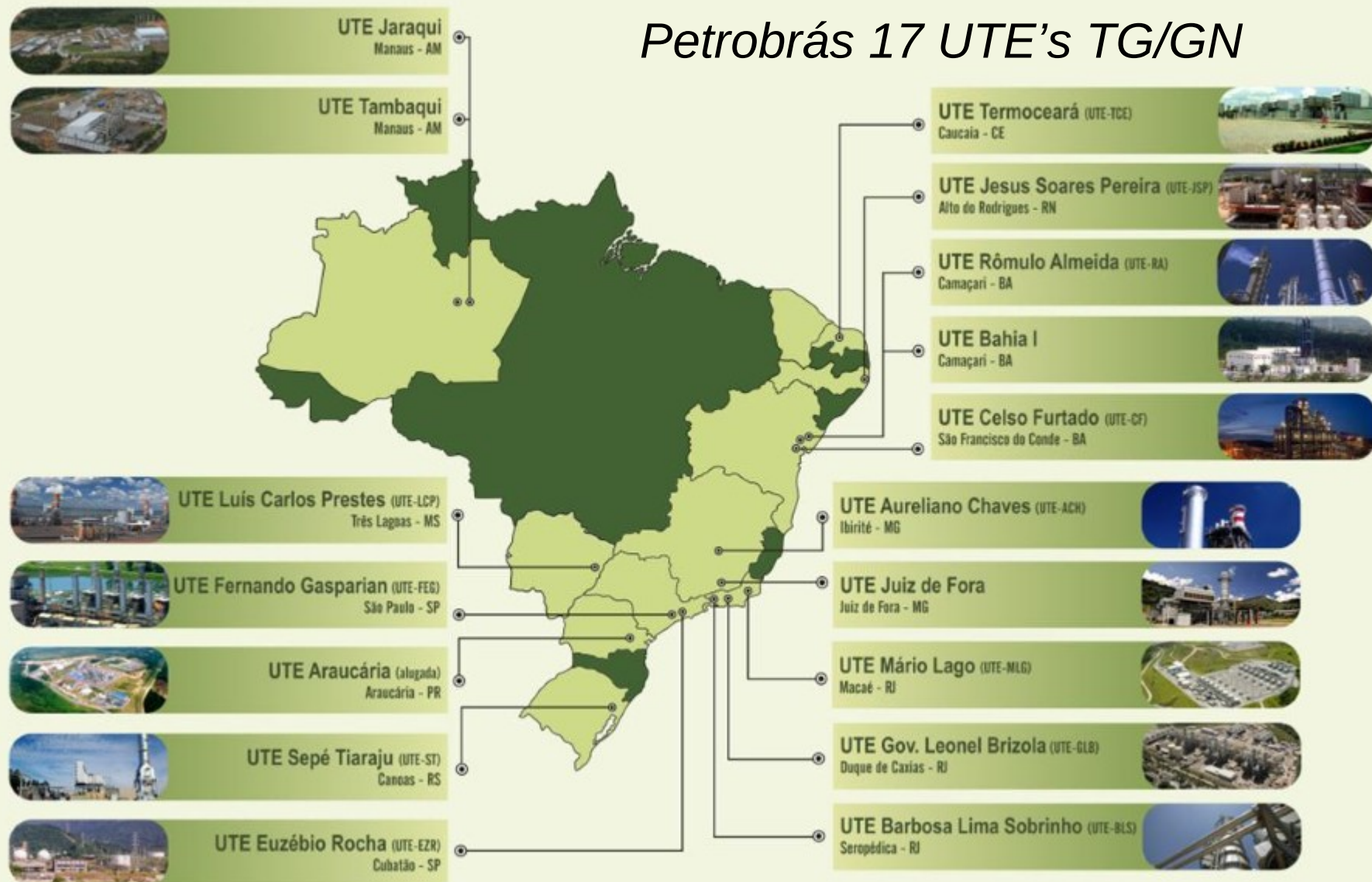


figura 1.13 — Motor a jato "turbofan"
(cortesia da General Electric Aircraft Engines)



MÁQUINAS TÉRMICAS

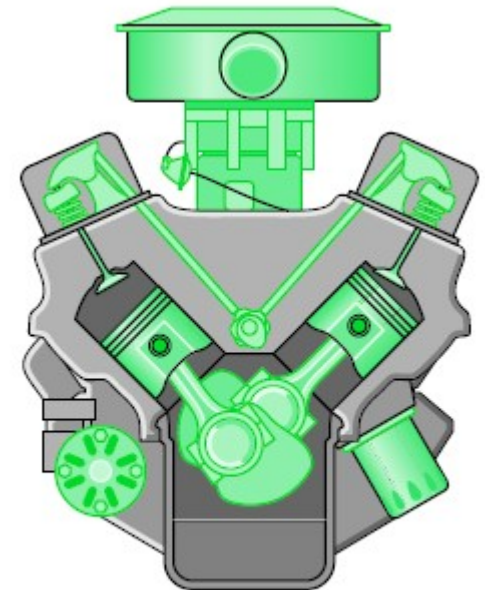
Petrobrás 17 UTE's TG/GN



Centrais Termelétricas – UTE JF



Motores de veículos terrestres



Automobile engine

Motores de veículos terrestres



MÁQUINAS TÉRMICAS

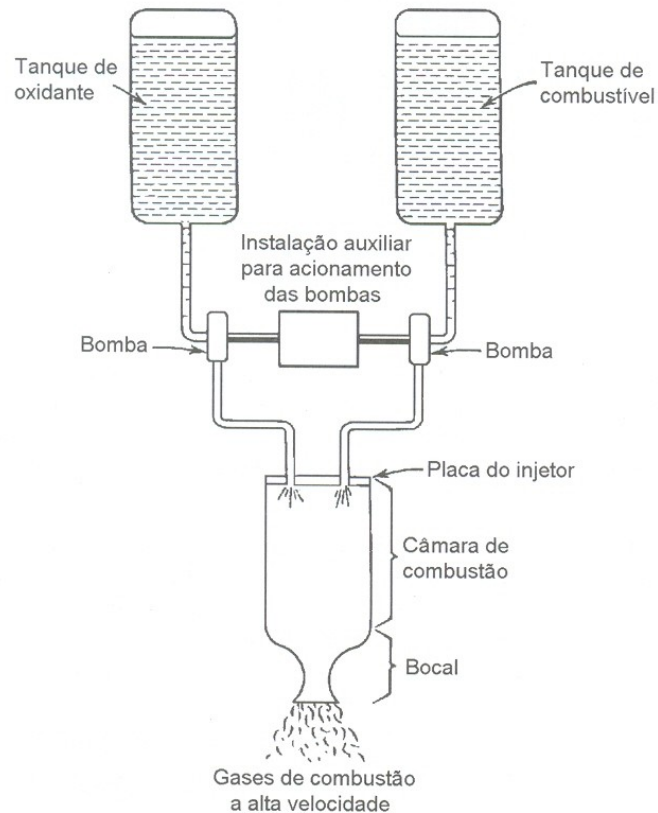
Motores de veículos terrestres



Motores de veículos aquáticos



Motores foguete



MÁQUINAS TÉRMICAS

Aspectos Ambientais

Sistemas e Equipamentos produzem bens ou propiciam comodidades à população (termelétricas, refrigeração).

Por outro lado causam impactos ambientais:

- Efeito estufa da grande emissão de CO_2 .
- Chuva ácida da emissão óxidos de enxofre.
- Poluição atmosférica de NO_x , CO, Particulados e Hidrocarbonetos não queimados.
- Destruição da camada de ozônio da emissão de flúor - clorados de carbono (refrigeração).

REVISÃO DA TERMODINÂMICA

1. Sistemas e Volume de Controle.

2. Propriedades Termodinâmicas

- Processos e Ciclos

- Pressão

- Temperatura

MÁQUINAS TÉRMICAS

SISTEMA TERMODINÂMICO E VOLUME DE CONTROLE

Sistema:

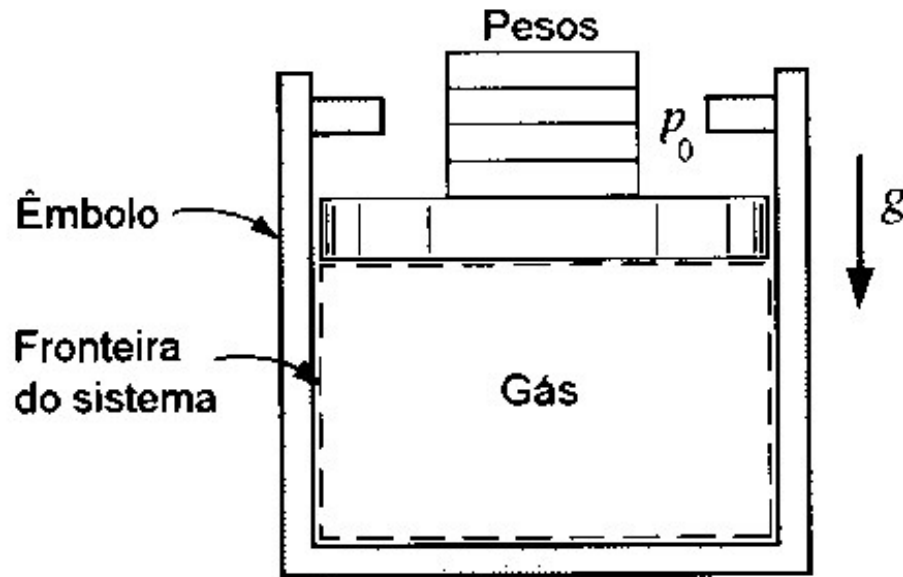
Quantidade de matéria, com massa e identidade fixas.

Tudo que é externo ao sistema é chamado meio ou vizinhança.

As fronteiras (fixas ou móveis) do sistema separa o sistema da vizinhança.

Calor e Trabalho podem cruzar a fronteira de um sistema; em um sistema isolado esse cruzamento não existe.

SISTEMA TERMODINÂMICO



VOLUME DE CONTROLE

Volume de Controle:

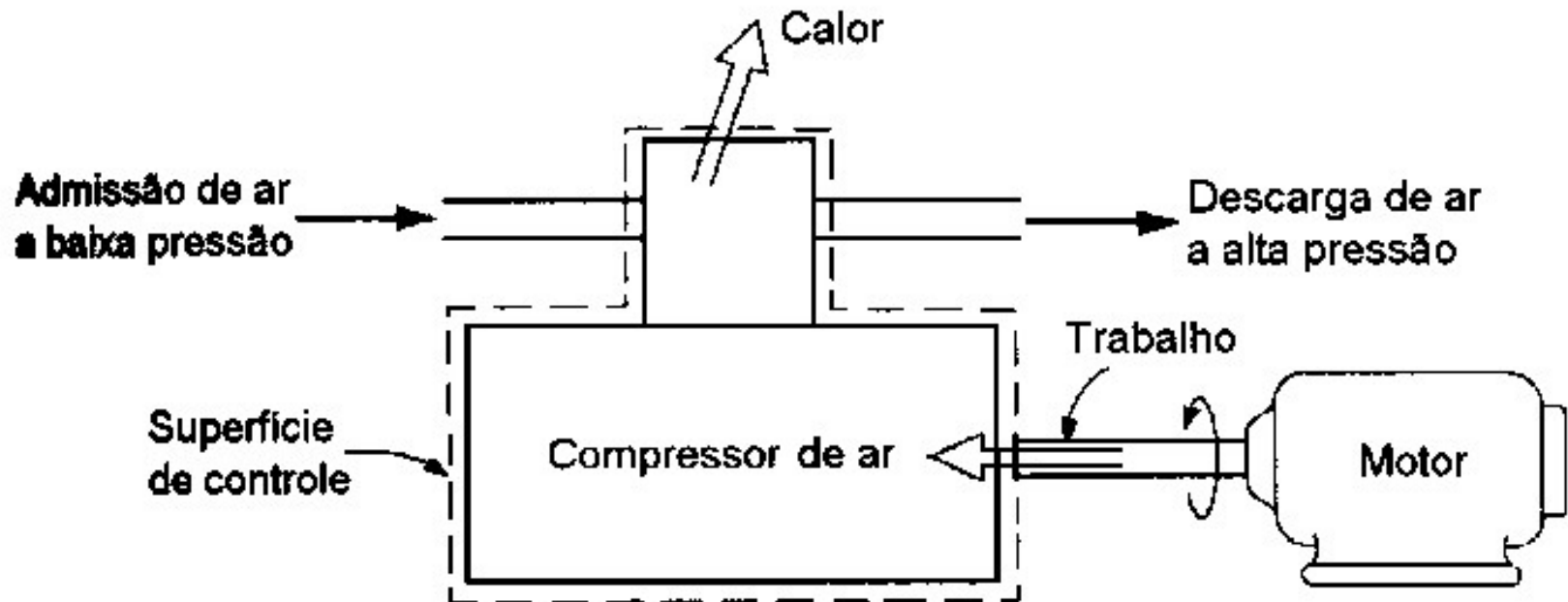
Escoamento de massa para dentro ou para fora.

A superfície do volume é chamada de superfície de controle.

Massa, calor e trabalho podem ser transportadas através da superfície de controle.



VOLUME DE CONTROLE



Pontos de Vistas de Estudo

Macroscópico X Microscópico

Considere um sistema:

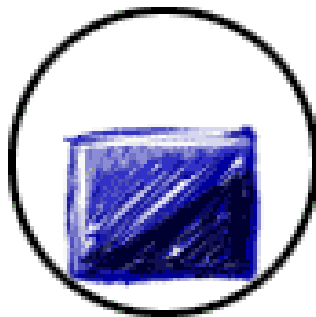
- Seja λ (chamado de caminho livre médio) a distância média que uma molécula percorre entre colisões com as outras moléculas da vizinhança.
- Se λ é muito menor que as dimensões do sistema, o sistema pode ser estudado sobre o ponto de vista macroscópico (meio contínuo).
- Se λ é igual ou maior que as dimensões do sistema, o sistema deve ser estudado sobre o ponto de vista microscópico.

Termodinâmica Clássica - ponto de vista macroscópico.

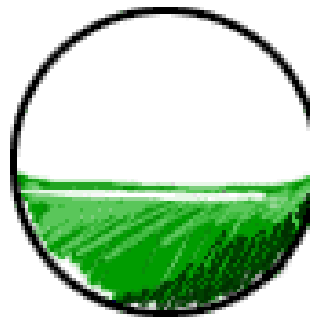
Termodinâmica Estatística - ponto de vista microscópico

MÁQUINAS TÉRMICAS

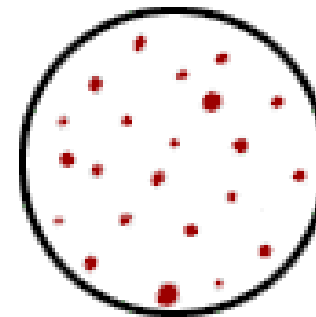
Fases da Matéria



SOLIDS



LIQUIDS



GASES





+ PLASMA

Força Inter-Molecular Forte

Força Inter-Molecular Fraca

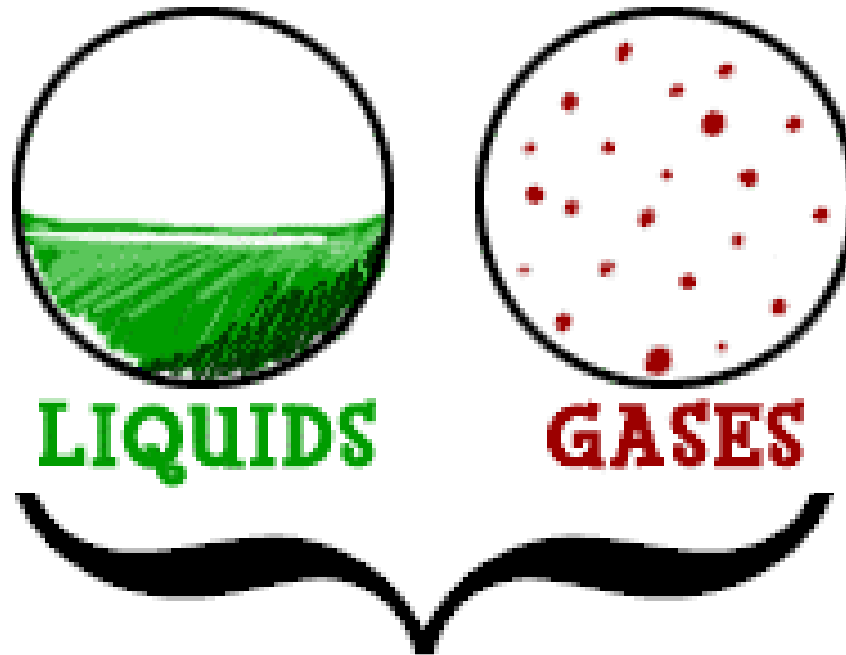
MÁQUINAS TÉRMICAS

Fases da Matéria

Solid	Liquid	Gas	Plasma
Example Ice H_2O	Example Water H_2O	Example Steam H_2O	Example Ionized Gas $H_2 \rightarrow H^+ + H^+ + 2e^-$
Cold $T < 0^\circ C$	Warm $0 < T < 100^\circ C$	Hot $T > 100^\circ C$	Hotter $T > 100,000^\circ C$ (> 10 electron Volts)
			
Molecules Fixed in Lattice	Molecules Free to Move	Molecules Free to Move, Large Spacing	Ions and Electrons Move Independently, Large Spacing



MÁQUINAS TÉRMICAS



Fluidos

MÁQUINAS TÉRMICAS

ESTADO E PROPRIEDADES DE UMA SUBSTÂNCIA*

O estado de uma substância pode ser identificado ou descrito por certas propriedades macroscópicas observáveis; algumas das mais familiares são: temperatura, pressão e massa específica.

Cada uma das propriedades de uma substância, num dado estado, apresenta somente um determinado valor e essas propriedades tem sempre o mesmo valor para um dado estado, independente da forma pela qual a substância chegou até ele – propriedade depende do estado do sistema e não do caminho que o sistema percorreu para chegar até ele.

Do mesmo modo, o estado é especificado, ou descrito, pelas propriedades.

* Qualquer espécie de matéria.

MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPRIEDADES INTENSIVAS E EXTENSIVAS

Propriedade Intensiva – independe da massa: temperatura, pressão, massa específica, etc.

Propriedade Extensiva – depende da massa: massa, volume total, etc.

As propriedades extensivas por unidade de massa (ou propriedades específicas), tal como o volume específico, são propriedades intensivas.

MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPRIEDADES DE UM SISTEMA

Um sistema está em **equilíbrio térmico** quando não houver uma tendência da temperatura, em qualquer ponto, variar com o tempo.

Se a temperatura é a mesma em todo o sistema, como em um gás em um cilindro, neste caso podemos dizer que a **temperatura é uma propriedade do sistema**.

Um sistema está em **equilíbrio mecânico** quando não houver uma tendência da pressão, em qualquer ponto, variar com o tempo.

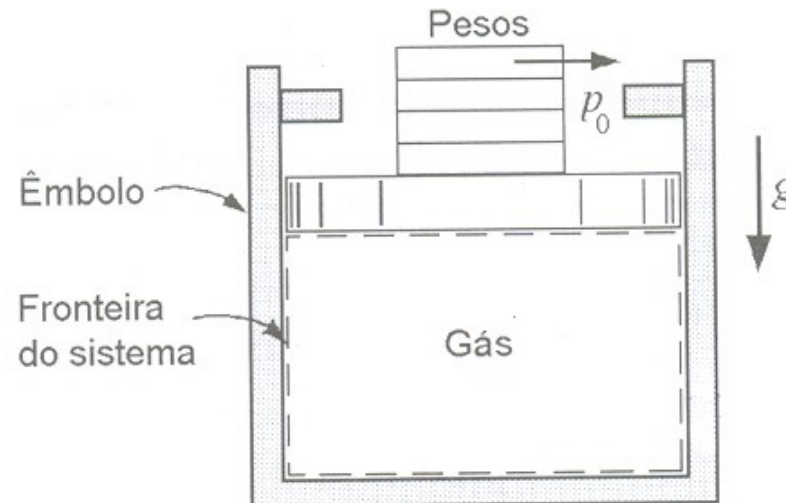
Quando um sistema está em equilíbrio, em relação a todas as possíveis mudanças de estado, dizemos que o sistema está em **equilíbrio termodinâmico**.

MÁQUINAS TÉRMICAS

PROCESSOS E CICLOS

Quando o valor de pelo menos uma propriedade de um sistema se altera, dizemos que ocorreu uma mudança de estado.

O caminho definido pela sucessão de estados através dos quais o sistema percorre é chamado processo.



MÁQUINAS TÉRMICAS

Alguns processos apresentam denominação própria pelo fato de que uma propriedade se mantém constante.

O prefixo iso é usado para tal.

Um processo isotérmico é um processo a temperatura constante;

Um processo isobárico é um processo a pressão constante;

Um processo isocórico é um processo a volume constante;

E um processo isentrópico é um processo a entropia constante.

MÁQUINAS TÉRMICAS

CICLO TERMODINÂMICO

Quando um sistema, em um dado estado inicial, passa por certo número de mudanças de estado ou processos e finalmente retoma ao estado inicial, dizemos que o sistema executa um ciclo.

Dessa forma, no final de um ciclo, todas as propriedades apresentam os mesmos valores iniciais.

A água que circula numa instalação termoelétrica a vapor executa um ciclo.

MÁQUINAS TÉRMICAS

UNIDADES DE MASSA, COMPRIMENTO, TEMPO E FORÇA

A unidade básica de tempo é o segundo (s). Em 1967, a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) adotou a seguinte definição de segundo: O segundo é o tempo requerido para a ocorrência de 9.192.631.770 ciclos do ressonador que utiliza um feixe de átomos de césio-133.

A unidade básica de comprimento é o metro (m). Em 1983, a CGPM adotou uma definição precisa do metro, em termos da velocidade da luz - o metro é o comprimento da trajetória percorrida pela luz no vácuo durante o intervalo de tempo de $1/299.792.458$ do segundo.

No sistema de unidades SI, a unidade de massa é o quilograma (kg). Conforme adotado pela primeira CGPM em 1889, e ratificado em 1901, o quilograma corresponde à massa de um determinado cilindro de platina-irídio, mantido sob condições preestabelecidas no Escritório Internacional de Pesos e Medidas.

Unidades básicas



MÁQUINAS TÉRMICAS

Prefixos das unidades do SI

Fator	Prefixo	Sí mbolo	Fator	Prefixo	Sí mbolo
10^{12}	tera	T	10^{-3}	mili	m
10^9	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	quilo	k	10^{-12}	pico	P

MÁQUINAS TÉRMICAS

1 mol de átomos de ^{12}C tem $6,02 \times 10^{23}$ átomos e pesa 12 gramas.

Uma unidade associada, freqüentemente utilizada em termodinâmica, é o mole, definido como a quantidade de substância que contém tantas partículas elementares quanto existem átomos em 0,012 kg de carbono-12.

Essas partículas elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, elétrons, íons ou outras partículas ou grupos específicos.

Por exemplo, um mole de oxigênio diatômico, que tem um peso molecular de 32 (comparado a 12 para o carbono), tem uma massa de 0,032 kg.

O mole é usualmente chamado de grama-mol, porque ele corresponde a uma quantidade da substância, em gramas, numericamente igual ao peso molecular.

O quilomole (kmol) que corresponde à quantidade da substância, em quilogramas, numericamente igual ao peso molecular.

MÁQUINAS TÉRMICAS

No SI, a unidade de força é definida a partir da segunda lei de Newton.

$$F=ma$$

A unidade de força é o newton (N) que, por definição, é a força necessária para acelerar uma massa de 1 quilograma à razão de 1 metro por segundo, por segundo.

$$1\text{N} = 1 \text{ kg m} / \text{s}^2$$

Deve-se observar que as unidades SI, que derivam de nomes próprios, são representadas por letras maiúsculas; as outras são representadas por letras minúsculas.

O termo "peso" é freqüentemente associado a um corpo, e é, às vezes, confundido com massa. A palavra peso é usada corretamente apenas quando está associada a força. Quando dizemos que um corpo pesa um certo valor, isto significa que está é a força com que o corpo é atraído pela Terra (ou por algum outro corpo), isto é, o produto de sua massa pela aceleração local da gravidade. A massa de uma substância permanece constante variando-se a sua altitude, porém o seu peso varia conforme o valor da altitude.

MÁQUINAS TÉRMICAS

PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS

MÁQUINAS TÉRMICAS

ENERGIA

Um dos conceitos muito importantes na termodinâmica é o de energia.

Energia pode ser definida, sem muita precisão, como a capacidade de produzir um efeito.

É importante notar que energia pode ser acumulada num sistema e que também pode ser transferida de um sistema para outro (por exemplo, na forma de calor).

Como a energia é armazenada em um sistema?

MÁQUINAS TÉRMICAS

Três formas de energia:

1. Energia potencial intermolecular, que é associada às forças entre moléculas.
2. Energia cinética molecular, que é associada à velocidade de translação das moléculas.
3. Energia intramolecular (relativa a cada molécula), que é associada com a estrutura molecular e atômica.

Termodinâmica clássica:

Qual a quantidade de energia transferida para o sistema.

Quais foram as mudanças de propriedades e de estado.

MÁQUINAS TÉRMICAS

VOLUME ESPECÍFICO

O volume específico de uma substância é definido como o volume ocupado pela unidade de massa e é reconhecido pelo símbolo v .

A massa específica de uma substância é definida como a massa associada à unidade de volume.

Desta forma, a massa específica é igual ao inverso do volume específico.

A massa específica é designada pelo símbolo ρ .

Observe que estas duas propriedades são intensivas.

Considere um pequeno volume δV de um sistema e a massa contida neste δV por δm . O volume específico é definido pela relação

$$v = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta m}$$

onde $\delta V'$ é o menor volume no qual o sistema pode ser considerado como um meio contínuo.

MÁQUINAS TÉRMICAS

O volume específico e a massa específica são dados em base mássica ou molar. Um traço sobre o símbolo (letra minúscula) será usado para designar a propriedade na base molar.

A unidade de volume específico, no sistema SI, é m^3/kg (m^3/mol ou m^3/kmol na base molar) e a de massa específica é kg/m^3 (mol/m^3 ou kmol/m^3 na base molar).

Embora a unidade de volume no sistema de unidades SI seja o metro cúbico, uma unidade de volume comumente usada é o litro (L), que é um nome especial dado a um volume correspondente a 0,001 metro cúbico, isto é, $1\text{L} = 10^{-3} \text{ m}^3$.

PRESSÃO

Normalmente fala-se de pressão quando lidamos com líquidos e gases e fala-se de tensão quando trata-se dos sólidos.

A pressão num ponto de um fluido em repouso (em equilíbrio) é igual em todas as direções e definimos a pressão como a componente normal da força por unidade de área.

Mais especificamente: seja δA uma área pequena e $\delta A'$ a menor área sobre a qual podemos considerar o fluido como um meio contínuo. Se δF_n é a componente normal da força sobre δA , definimos pressão, p , como

$$p = \lim_{\delta A \rightarrow \delta A'} \frac{\delta F_n}{\delta A}$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

A unidade de pressão no Sistema Internacional é o pascal (Pa) e corresponde à força de 1 Newton agindo numa área de 1 metro quadrado. Isto é,

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

Já a atmosfera padrão, dada por

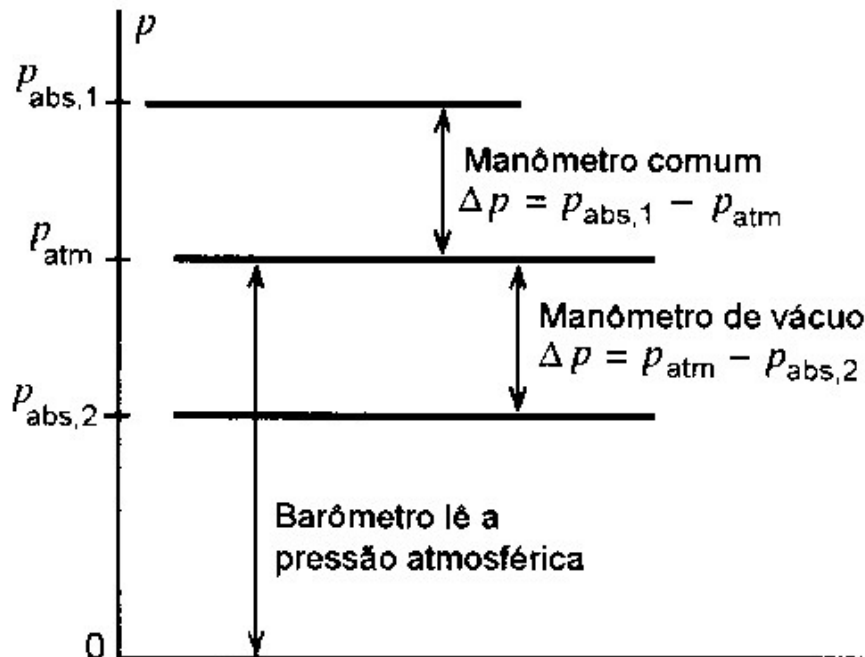
$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$$

que é ligeiramente maior que o bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}$).

MÁQUINAS TÉRMICAS

Em muitas investigações termodinâmicas preocupa-se com a pressão absoluta.

A maioria dos manômetros de pressão e de vácuo, entretanto, mostram a diferença entre a pressão absoluta e a atmosférica, diferença esta chamada de pressão manométrica ou efetiva.



MÁQUINAS TÉRMICAS



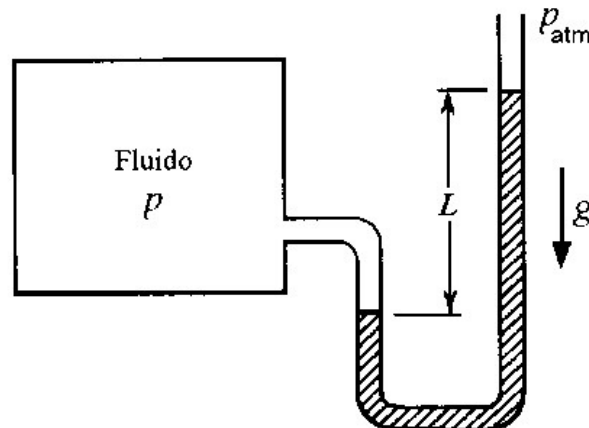
MÁQUINAS TÉRMICAS

As pressões, abaixo da atmosférica e ligeiramente acima, e as diferenças de pressão (por exemplo, através de um orifício em um tubo) são medidas freqüentemente com um manômetro que contém água, mercúrio, álcool, óleo ou outros fluidos.

Pelos princípios da hidrostática podemos concluir que, para uma diferença de nível de L metros, a diferença de pressões, em pascal, é dada pela relação:

$$\Delta p = \rho L g$$

onde ρ é a massa específica do fluido e g é a aceleração local da gravidade. O valor padrão adotado para a aceleração da gravidade é $g = 9,806\,65 \text{ m/s}^2$.



MÁQUINAS TÉRMICAS

Exemplo - Um manômetro de mercúrio é utilizado para medir a pressão no recipiente mostrado na Fig. anterior. O mercúrio apresenta massa específica igual a 13590 kg/m^3 e a diferença entre as alturas das colunas foi medida e é igual a $0,24 \text{ m}$. Determine a pressão no recipiente.

Solução - O manômetro mede a pressão relativa, ou seja, a diferença entre a pressão no recipiente e a pressão atmosférica. Deste modo,

$$\Delta P = P_{\text{manométrico}} = \rho L g = 13590 \times 0,24 \times 9,81 = 31996 \text{ Pa} = 31,996 \text{ kPa} = 0,316 \text{ atm}$$

A pressão absoluta no recipiente é dada por:

$$P_A = P_{\text{recipiente}} = \Delta P + P_{\text{atm}}$$

Assim, nós precisamos conhecer o valor da pressão atmosférica, que é medida com um barômetro, para determinar o valor da pressão absoluta no recipiente.

Se admitirmos que a pressão atmosférica é igual a 750 mm de Hg , a pressão absoluta no recipiente é:

$$P_{\text{recipiente}} = \Delta P + P_{\text{atm}} = 13590 \times 0,750 \times 9,81 + 31985 = 131984 \text{ Pa} = 1,303 \text{ atm}$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

Liberdade essa palavra, que o sonho humano alimenta, não há ninguém que explique, e não há ninguém que não entenda.

(Do "Romanceiro da Inconfidência")

Cecília Meireles

Temperatura essa propriedade, ~~que o sonho humano alimenta~~, não há ninguém que explique, e não há ninguém que não entenda.

MÁQUINAS TÉRMICAS

SENSIBILIDADE DA TEMPERATURA

Estamos acostumados a noção de "temperatura" pela sensação de calor ou frio quando tocamos um objeto.

Ao colocarmos um corpo quente em contato com um corpo frio, o corpo quente resfria e o corpo frio aquece. Se esses corpos permanecerem em contato por algum tempo, eles parecerão ter o mesmo grau de aquecimento ou resfriamento.

A nossa sensação não é bastante segura. Corpos frios podem parecer quentes e corpos de materiais diferentes, que estão a mesma temperatura, parecem estar a temperaturas diferentes.

Devido a essas dificuldades para definir temperatura, definimos igualdade de temperatura.

MÁQUINAS TÉRMICAS

IGUALDADE DE TEMPERATURA \equiv EQUILÍBRIO TÉRMICO

Consideremos dois blocos de cobre, um quente e outro frio, cada um em contato com um termômetro de mercúrio.

Se os blocos são colocados em contato térmico, a resistência elétrica do bloco quente decresce com o tempo e a do bloco frio cresce com o tempo. Após um tempo, nenhuma mudança na resistência é observada.

Quando os blocos são colocados em contato térmico, o comprimento de um dos lados do bloco quente decresce e o do bloco frio cresce com o tempo. Após um tempo, nenhuma mudança nos comprimentos é observada.

A coluna de mercúrio do termômetro no corpo quente cai e no corpo frio se eleva; após certo tempo nenhuma mudança nas alturas das colunas de mercúrio é observada.

Dizemos que os dois corpos estão em equilíbrio térmico se não apresentarem alterações em qualquer propriedade mensurável quando colocados em contato térmico.

MÁQUINAS TÉRMICAS

A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

Consideremos agora os mesmos blocos de cobre e, também, outro termômetro.

Coloquemos em contato térmico o termômetro com UM dos blocos, até que a igualdade de temperatura seja estabelecida, e então removamo-lo.

Coloquemos, então, o termômetro em contato com o SEGUNDO bloco de cobre.

Suponhamos que NÃO OCORRA MUDANÇA no nível de mercúrio do termômetro durante esta operação. Podemos então dizer que os dois blocos estão em equilíbrio térmico com o termômetro dado.

A lei zero da termodinâmica diz que, quando dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, eles terão equilíbrio térmico entre si.

MÁQUINAS TÉRMICAS

$$T_A = T_C$$

$$T_B = T_C$$

Portanto:

$$T_A = T_B$$

A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

Isso parece bastante óbvio para nós porque estamos familiarizados com essa experiência.

Entretanto, sendo este fato não deduzível de outras leis e uma vez que na apresentação da termodinâmica ela precede a primeira e a segunda leis, recebe a denominação de "lei zero da termodinâmica".

Esta lei constitui a base para a medição da temperatura, porque podemos colocar números no termômetro de mercúrio e sempre que um corpo tiver igualdade de temperatura com o termômetro poderemos dizer que o corpo apresenta a temperatura lida no termômetro.

MÁQUINAS TÉRMICAS

ESCALAS DE TEMPERATURA

A escala usada para medir temperatura no sistema de unidades SI é a Celsius, cujo símbolo é °C.

Anteriormente foi chamada de escala centígrada, mas agora tem esta denominação em honra ao astrônomo sueco Anders Celsius (1701 - 1744) que a idealizou.

Esta escala era baseada em dois pontos fixos, facilmente reproduzíveis, o ponto de fusão do gelo e o de vaporização da água.

A temperatura de fusão do gelo é definida como a temperatura de uma mistura de gelo e água, que está em equilíbrio com ar saturado à pressão de 1.0 atm (0,101325 MPa).

A temperatura de vaporização da água é a temperatura em que a água e o vapor se encontram em equilíbrio a pressão de 1 atm.

Na escala Celsius, esses dois pontos recebiam os valores 0 e 100.

MÁQUINAS TÉRMICAS

ESCALAS DE TEMPERATURA

Na Décima Conferência de Pesos e Medidas, em 1954, a escala Celsius foi redefinida em função de um único ponto fixo e da escala de temperatura do gás perfeito.

O ponto fixo é o ponto triplo da água (o estado em que as fases sólida, líquida e vapor coexistem em equilíbrio).

A magnitude do grau é definida em função da escala de temperatura do gás perfeito, que será discutida posteriormente.

Os aspectos importantes dessa nova escala são o único ponto fixo e a definição da magnitude do grau.

O ponto triplo da água recebe o valor $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nessa escala, o ponto de vaporização determinado experimentalmente é $100,00\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Assim há uma concordância essencial entre a escala velha de temperatura com a nova.

MÁQUINAS TÉRMICAS

ESCALAS DE TEMPERATURA

Deve-se observar que ainda não consideramos uma escala absoluta de temperatura.

A possibilidade de tal escala surge da segunda lei da termodinâmica.

Com base na segunda lei da termodinâmica podemos definir uma escala de temperatura que é independente da substância termométrica.

MÁQUINAS TÉRMICAS

A escala absoluta relacionada à escala Celsius é chamada de escala Kelvin (em honra a William Thompson, 1824 - 1907, que é também conhecido como Lord Kelvin) e indicada por K (sem o símbolo de grau). A relação entre essas escalas é:

$$K = ^\circ\text{C} + 273,15$$

MÁQUINAS TÉRMICAS

Os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água na escala Fahrenheit são, respectivamente, 32°F e 212°F . Um termômetro A, graduado na escala Fahrenheit, e outro B, graduado na escala Celsius, são colocados simultaneamente em um frasco contendo água quente. Verifica-se que o termômetro A apresenta uma leitura que supera em 80 unidades a leitura do termômetro B. Podemos afirmar que a temperatura da água no frasco é:

- a) 60°C
- b) 80°C
- c) 112°C
- d) 50°F
- e) 112°F



QUAL A IMPORTÂNCIA DA PRESSÃO E DA
TEMPERATURA COMO PROPRIEDADES?