



Módulo 3

TERMODINÂMICA BÁSICA

TREINATEC-BH
CURSOS

Sumário

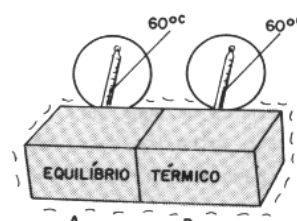
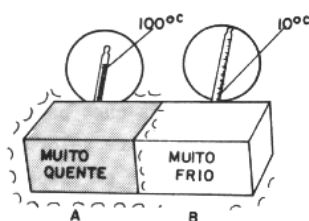
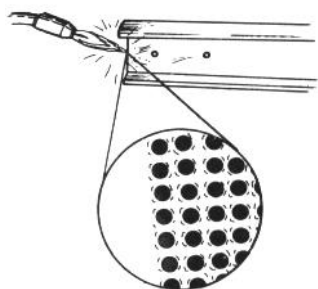
1. CALOR, TRANSMISSÃO DE CALOR	3
2. UNIDADES DE CALOR	5
3. CALOR ESPECÍFICO	6
4. CALORIMETRIA	8
5. CAPACIDADE TÉRMICA, TEMPERATURA, TERMOMETRIA	11
6. ESCALAS TERMOMÉTRICAS	12
7. CONVERSÃO DE UNIDADES	13
8. SUBSTÂNCIAS TERMOMÉTRICAS	14
9. TERMÔMETRO	14
10. PRESSÃO	16
11. UNIDADES DE PRESSÃO	19
12. MANÔMETRO E VACUÔMETRO	20
13. MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO	22
14. RELAÇÃO ENTRE PRESSÃO E TEMPERATURA	25
15. TABELA DE CONVERSÃO DE TEMPERATURA	26
16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	28

TREINATEC-BH
CURSOS

1. Calor

Calor é a energia térmica que se transfere de um corpo para outro devido uma diferença de temperatura entre eles.

O calor só passa espontaneamente do corpo mais quente para o mais frio.



2. Transmissão de calor

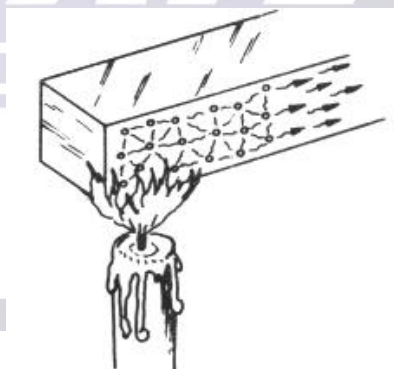
A literatura geralmente reconhece três meios distintos de transmissão de calor: condução, irradiação e convecção.

a) Condução

A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa através do contato físico direto, dentro de um meio sólido, líquido ou gasoso ou entre meios diferentes.

A energia térmica passa de um local para outro através das partículas existentes entre eles.

Como se dá esse processo? Observe a figura.



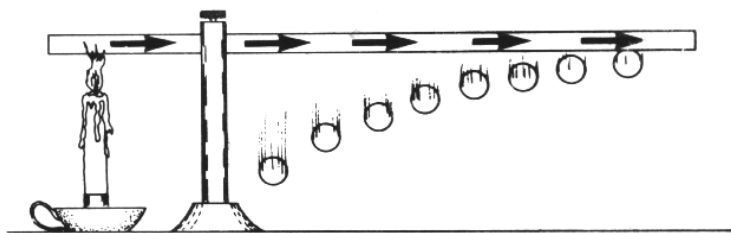
Na região mais quente, as partículas têm mais energia e vibram com maior intensidade; essa vibração se transmite de molécula para molécula até o extremo oposto, espalhando calor para a barra inteira.

Pela experiência representada na figura seguinte, podemos constatar a condução do calor através de uma barra metálica.



TREINATEC-BH
CURSOS

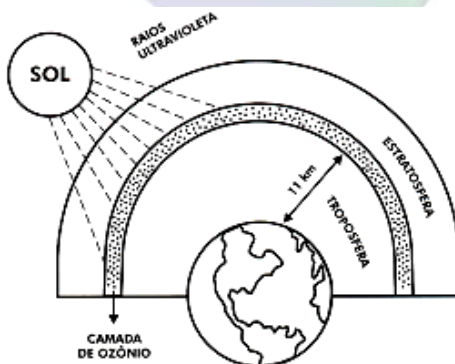
Esta barra é recoberta com cera e ao longo dela são grudadas pequenas esferas de aço vão caindo à medida que o calor vai se propagando pela barra.



b) Irradiação

É o processo de transmissão de calor através de ondas eletromagnéticas (ondas de calor). A energia emitida por um corpo (energia radiante) se propaga até o outro, através do espaço que os separa.

A radiação não exige a presença do meio material para ocorrer, isto é, a radiação ocorre no vácuo e também em meios materiais. Entretanto, não são todos os meios materiais que permitem a propagação das ondas de calor através deles.

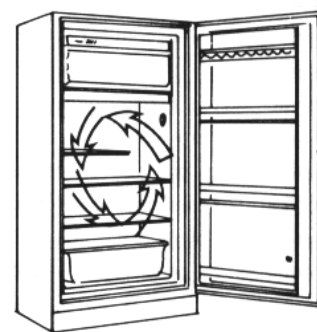
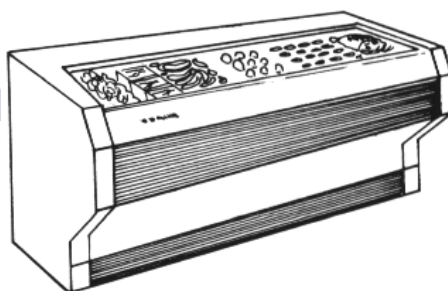
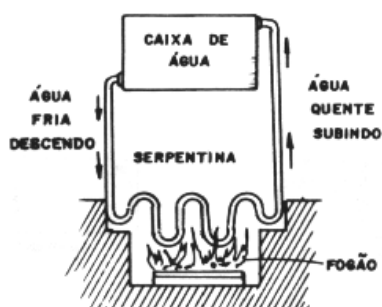


Toda energia radiante, transportada por onda de rádio, infravermelha, ultravioleta, luz visível, raios-X, raio gama, etc., pode converter-se em energia térmica por absorção. Porém, só as radiações infravermelhas são chamadas de ondas de calor.

c) Convecção

Convecção é um movimento de massas de fluido, trocando de posição entre si. Consideremos uma sala na qual se liga um aquecedor elétrico em sua parte inferior. O ar em torno do aquecedor se aquece, tornando-se menos denso que o restante. Com isto ele sobe e o ar frio desce, havendo uma troca de posição do ar quente que sobe e o ar frio que desce. A esse movimento de massas de fluido chamamos convecção e as correntes de ar formadas são correntes de convecção. Outros exemplos de convecção são os fluxos das chaminés, funcionamento dos radiadores e correntes atmosféricas.

A convecção só ocorre nos fluidos.



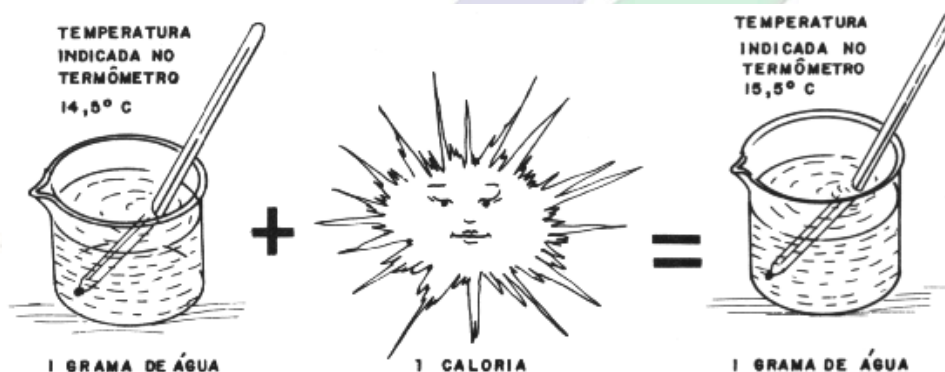
3. Unidades de calor

Sendo o calor uma forma de energia (energia térmica em trânsito), sua quantidade pode ser medida com a mesma unidade com que se medem energia mecânica, elétrica e outras.

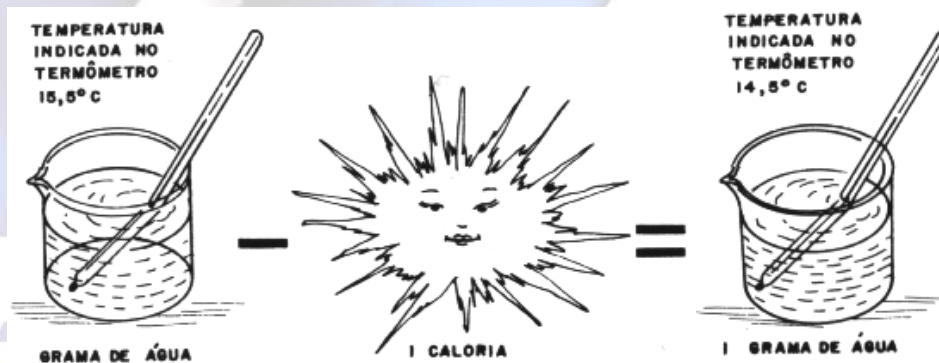
No Sistema Internacional (SI) de unidades e quantidade de calor é medida em Joule (J). Entretanto, no campo da refrigeração, são usadas outras unidades, como a Caloria (cal) e a Quilocaloria (kcal). Nos países de língua inglesa usa-se o BTU (British Thermal Unit) como unidade.

a) Caloria

É a quantidade de calor necessária para elevar de $14,5^{\circ}\text{C}$ a $15,5^{\circ}\text{C}$ a temperatura de um grama de água pura a pressão normal.

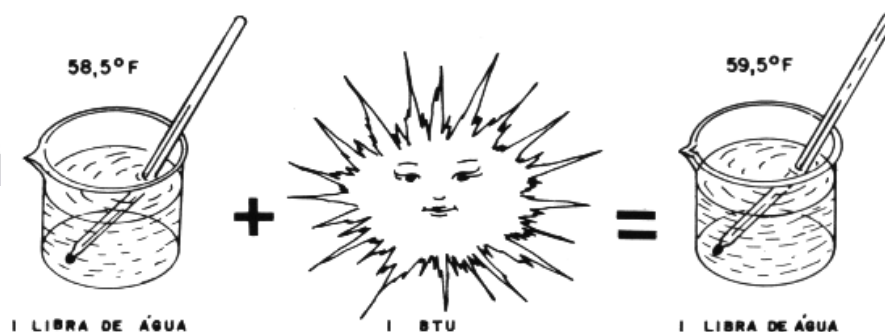


Inversamente, se de um grama de água com temperatura de $15,5^{\circ}\text{C}$ a pressão normal, retirarmos uma caloria, obteremos $14,5^{\circ}\text{C}$.



b) BTU (British Thermal Unit – Unidade Térmica Britânica)

É a quantidade de calor necessária para aquecer 1 lb (1 libra-massa = 453,6g) de água pura, de $58,5^{\circ}\text{F}$ a $59,5^{\circ}\text{F}$, sob pressão normal.



O mesmo fenômeno ocorrerá se invertermos o processo.

d) Relações entre as unidades de calor

É bastante comum aparecer nos manuais técnicos de refrigeração as mais variadas unidades de calor, com seus múltiplos e submúltiplos. Um manual pode trabalhar com Joule, outro com BTU, outro com Caloria e assim por diante.

É importante, conhecer as relações equivalências entre. Na tabela abaixo você encontrará as principais unidades utilizadas em refrigeração e suas equivalências.

Nome		Equivalência		
Unidade	Símbolo	Multiplique por	Unidade obtida	Símbolo
Joule	J	0,2389	Caloria	cal
Joule	J	$2,389 \times 10^{-4}$ (0,0002389)	Quilocaloria	kcal
Joule	J	$9,48 \times 10^{-4}$ (0,000948)	Unid. térm.brit.	BTU
Caloria	Cal	4,1858	Joule	j
Caloria	Cal	$4,19 \times 10^{-3}$ (0,00419)	Quilojoule	kj
Caloria	Cal	$3,968 \times 10^{-3}$ (0,003968)	Unid. térm. brit.	BTU
Caloria	Cal	0,001	Quilocaloria	kcal
Quilocaloria	Kcal	1000	Caloria	Cal
Quilocaloria	Kcal	3,968	Unid. térm. brit.	BTU
Unid. térm. brit.	BTU	$2,51996 \times 10^{-1}$ (0,251996)	Quilocaloria	kcal
Unid. térm. brit.	BTU	251,996	Caloria	cal
Unid. térm. brit.	BTU	1 055	Joule	j
Unid. térm.brit.	BTU	1,055	Quilojoule	Kj
Tonelada de Refrig	TR	3023,295	Quilocaloria	kcal
Tonelada de Refrig.	TR	12000	Unid. térm. brit.	BTU

4. Calor específico

É a quantidade de calor que cada unidade de massa do corpo precisa receber ou ceder para que sua temperatura possa variar de 1 grau.

Observações importantes:

- O calor específico é uma característica da natureza da substância, isto é, cada substância tem seu próprio calor específico.
- Os metais são substâncias de baixo calor específico. Por isso, quando cedem ou recebem pequenas quantidades de calor, os metais sofrem grandes variações de temperatura.
- Para os gases, o calor específico varia com a pressão e o volume.

Treinatec BH Cursos

www.treinatecbh.com.br/cursosonline

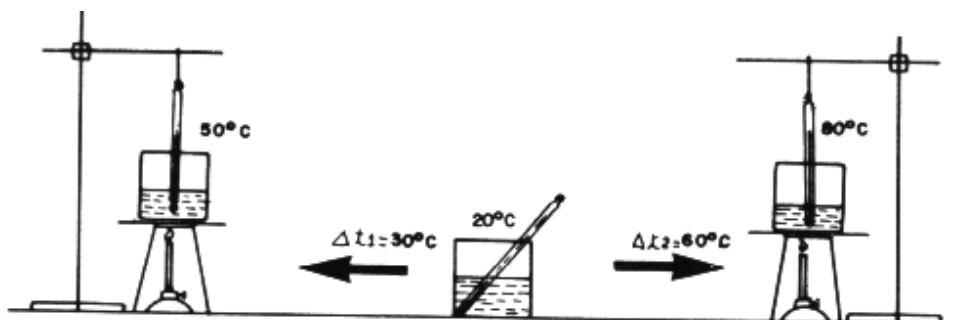
- d) O calor específico depende do estado físico do sistema, sendo maior no estado líquido do que no estado sólido.
- e) O calor específico dos sólidos e líquidos variará consideravelmente se o intervalo de variação da temperatura for muito grande.

A tabela da página seguinte mostra os valores médios dos calores específicos de algumas substâncias.

Substância	Calor específico (Cal/g°C)	Calor específico (J/kgK)
Alumínio	0,226	919,6
Chumbo	0,030	129,6
Cobre	0,093	396,6
Enxofre	0,137	868,5
Estanho	0,0556	230,0
Ferro	0,115 a 0,119	476,5
Níquel	0,109	455,6
Ouro	0,031	133,7
Prata	0,056	238,2
Vidro	0,180	827,6
Zinco	0,095	384,5
Água	1,000	4 186,0
Álcool etílico (300°C)	0,615	2 414,4
Éter	0,560	2 340,8
Mercúrio	0,033	137,9
Querosene	0,510	2 131,8
Azeite	0,310	1295,8
Gelo (-20 a 0°C)	0,505	2093,0
Vapor d água (100 a 200°C)	0,480	2000,0

5. Calorimetria

Conjunto de métodos experimentais que objetivam medir a quantidade de calor recebida ou despreendida por um sistema quando este sofre uma transformação física ou química.

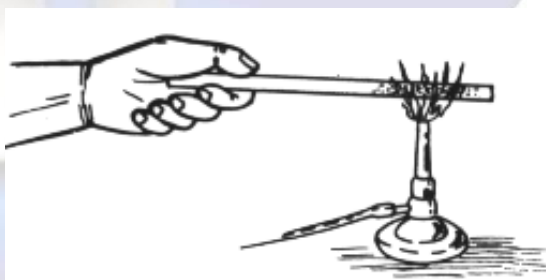


O corpo que recebe ou cede calor pode sofrer aquecimento, resfriamento ou mudança de estado. De acordo com estas mudanças provocadas temos dois tipos de calor: calor sensível e calor latente

a) Calor sensível

É a quantidade de calor necessária para provocar mudança de temperatura sem provocar mudança de estado em uma substância.

Exemplo:



Colocando-se uma vareta de latão na chama de um bico de bunsen, observa-se que o calor fornecido pela chama provoca uma variação de temperatura (aquecimento) no latão.

A quantidade de calor sensível que um corpo cede ou recebe pode ser calculada pela equação fundamental da calorimetria:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Onde:

Q = quantidade de calor, em cal

m = massa, em g

C = calor específico, em cal/g°C

Δt = variação de temperatura, em °C

Exemplo:

Podemos calcular a quantidade de calor a ser retirada de uma porção de água com 100g de massa a uma temperatura de 25°C para que ela atinja uma temperatura de 5°C, aplicando-se a formulação citada acima.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$Q = 100g \cdot c \cdot \Delta t$$

Treinatec BH Cursos

www.treinatecbh.com.br/cursosonline

Com auxílio da tabela, item 4 desta apostila, encontramos o calor específico da água, $c = 1 \text{ cal/}^\circ\text{C g}$.

A variação de temperatura é dada pela subtração da temperatura final e a temperatura inicial da substância em questão.

$$\Delta t = T_f - T_i$$

$$\Delta t = 5^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = -20^\circ\text{C}$$

Concluimos então,

$$Q = 100\text{g} \cdot 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \cdot -20^\circ\text{C}$$

$$Q = -2000 \text{ cal}$$

Para baixar a temperatura de 100g de água a uma temperatura de 25°C até 5°C é necessário retirar desta porção de água 2000 cal ou 2 Kcal.

b) Calor latente

Enquanto uma substância que constitui um objeto não muda de estado, é correto dizer que sua temperatura aumenta quando recebe energia, na forma de calor. Durante a mudança de estado, entretanto, apesar de receber ou ceder energia, a temperatura da substância continua constante.

A quantidade de calor necessária para provocar mudança de estado sem provocar variação de temperatura, desde que a pressão se mantenha constante, é denominada **calor latente**.

A quantidade de energia liberada por uma determinada massa de uma substância qualquer quando esta passa do estado líquido para o estado sólido é chamada de **calor latente de solidificação**. Já a quantidade de calor recebida por uma determinada massa de uma substância qualquer quando esta para do estado sólido para o estado líquido é denominada **calor latente de fusão**.

Na tabela seguinte apresentamos o calor latente e a temperatura de fusão para algumas substâncias puras submetidas à pressão atmosférica.

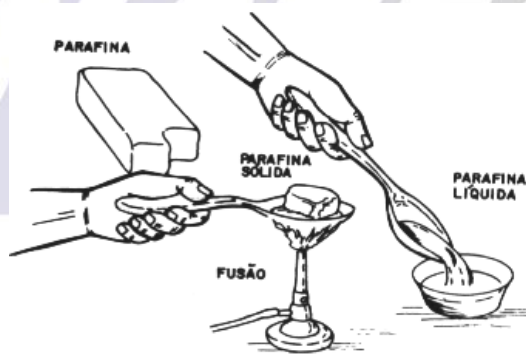
Substância	Ponto de fusão ($^\circ\text{C}$)	Calor latente de fusão (cal/g)
Água	0	80
Álcool	-114	25
Alumínio	659	95
Cobre	1 083	49
Enxofre	119	9,2
Estanho	232	14
Ferro	1 535	64
Mercúrio	-39	2,7
Nitrogênio	-210	6,1
Oxigênio	-219	3,3
Prata	961	21

A quantidade de calor cedida por uma determinada massa de uma substância qualquer quando esta passa do estado gasoso para o estado líquido chama-se **calor latente de condensação (ou liquidificação)**. Já a quantidade de calor acrescentada a uma determinada massa de uma substância para provocar mudança do estado líquido para o estado gasoso nesta substância é denominada calor **latente de vaporização (ou de ebulição)**.

Na tabela seguinte apresentamos o calor latente e a temperatura de vaporização para algumas substâncias puras submetidas à pressão atmosférica.

Substância	Ponto de ebulição (°C)	Calor latente de vaporização (cal/g)
Acetona	56	125
Água	100	540
Álcool	78	204
Clorofórmio	61	61
Cobre	2 595	1 288
Enxofre	445	78
Éter	35	88
Ferro	3 000	1 508
Mercúrio	357	70
Oxigênio	-183	51
Fluido R 12	-29	38
Prata	2 212	559
Nitrogênio	-196	48

Colocando-se um pedaço de parafina na chama de um bico de bunsen, observa-se que o calor fornecido pela chama provoca uma mudança de estado ou de fase(fusão) na parafina.



A quantidade de calor latente de um corpo que sofre mudança de estado ou de fase pode ser calculada pela fórmula:

$$Q = m.L$$

Onde:

Q = quantidade de calor, em cal

m = massa, em g

L = calor latente, em cal/g

Treinatec BH Cursos

www.treinatecbh.com.br/cursosonline

Exemplo:

Sabe-se que o ponto de congelamento da água é 0°C. Calcularemos agora a quantidade de calor necessária para transformar 100g de água em gelo a uma temperatura de 0°C.

Sabendo-se que o calor latente de solidificação da água é 80 cal/g conforme a tabela anterior, aplicamos diretamente a formulação.

$$Q = m \cdot L$$

$$Q = 100g \cdot 80\text{cal/g}$$

$$Q = 8000 \text{ cal}$$

A quantidade de calor a ser retirada de 100g de água a 0°C na fase líquida para transformá-la em gelo a 0°C é 8000 cal ou 8 Kcal

6. Capacidade térmica

Para o estudo da refrigeração, podemos definir capacidade térmica como à quantidade máxima de calor que um refrigerador consegue extrair, por hora, dos produtos nele contidos.

As unidades de medidas mais utilizadas para medir a capacidade térmica de um equipamento são:

Kcal/h (Quilocaloria por hora)

BTU/h (Unidade Térmica Britânica por hora)

TR (Tonelada de refrigeração)

É a quantidade de calor necessária para fundir em um dia, 1000Kg de gelo.

7. Temperatura

Entende-se por temperatura a medida do grau de agitação térmica das moléculas de um corpo.

Todas as substâncias são constituídas de pequenas partículas, as moléculas que se encontram em contínuo movimento. A temperatura de uma substância não depende do número de moléculas em movimento, mas sim da intensidade deste movimento. Quanto mais rápido o movimento das moléculas mais “quente” se apresenta o corpo e quanto mais lento o movimento das moléculas, mais “frio” se apresenta o corpo.

8. Termometria

Objetiva medir ao grau de agitação das moléculas de uma determinada substância de acordo com a quantidade de calor recebida ou desprendida quando este sofre uma transformação física ou química.

A medição do grau de agitação térmica das moléculas de uma substância não é obtida de forma direta e sim de forma relativa, comparando através de escalas o

comportamento físico da substância a que se deseja medir a temperatura com uma segunda substância.

9. Escalas Termométricas

As escalas termométricas baseiam-se na fixação de dois estados térmicos de uma substância comparativa (termométrica) aos denominamos pontos fixos:

1º ponto fixo – Temperatura de fusão do gelo, sob pressão normal (1 atm)

2º ponto fixo – Temperatura de ebulição da água, sob pressão normal (1atn).

A partir destes pontos fixos foram estabelecidas as escalas termométricas, que variam com a divisão que se faz do espaço entre eles, escala numérica, onde, quanto maior o seu valor, maior é a agitação das moléculas do corpo em questão.

As escalas mais usadas são:

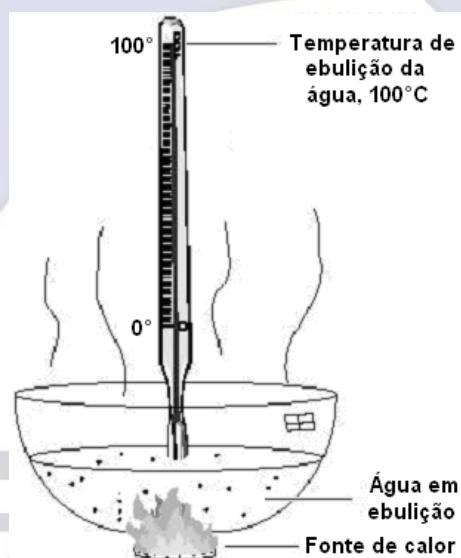
- Escala Celsius
- Escala Fahrenheit
- Escala kelvin
- Escala Rankine

As duas primeiras são chamadas escalas relativas, as duas últimas escalas absolutas.

a) Escala Celsius

É definida atualmente com o valor 0 (zero) no ponto de fusão do gelo e 100 no ponto de ebulição da água. O intervalo entre os dois pontos está dividido em 100 partes iguais, e cada parte equivale a um grau Celsius.

A denominação "grau centígrado" utilizada anteriormente no lugar de "Grau Celsius", não é mais recomendada, devendo ser evitado o seu uso.



b) Escala Fahrenheit

Esta escala foi estabelecida pelo físico alemão Daniel Gabriel Fahrenheit e é muito utilizada nos países de língua inglesa.

Na escala Fahrenheit, o ponto de fusão do gelo é o número 32 e o ponto de ebulição da água, ao nível do mar, ao número 212. O intervalo entre esses pontos fixos está dividido em 180 partes iguais e cada uma dessas partes corresponde à variação de um grau fahrenheit.

c) Escala kelvin

Com base na teoria dos gases, o físico inglês Lord Kelvin estabeleceu a escala absoluta, conhecida por escala kelvin ou termodinâmica.

Na escala kelvin, o ponto de fusão do gelo corresponde ao número 273 e o ponto de ebulição da água, ao nível do mar, ao número 373. Entre esses dois pontos existem 100 divisões.

O zero da escala kelvin é chamado zero absoluto e ainda não foi atingido na prática. O zero absoluto corresponde à temperatura de $-273,15^{\circ}\text{C}$

A partir de 1967, a unidade de temperatura grau kelvin ($^{\circ}\text{K}$) passou a ser chamada simplesmente kelvin (K).



d) Escala Rankine

Possui o mesmo zero da escala Kelvin, porém sua divisão é idêntica à da Escala Fahrenheit. A representação das escalas absolutas é análoga às escalas relativas: Kelvin $\Rightarrow 400\text{K}$ (sem o símbolo de grau "°"). Rankine $\Rightarrow 785\text{R}$.

Existe uma outra escala relativa a Reamur, hoje já praticamente em desuso. Esta escala adota como zero o ponto de fusão do gelo e 80, o ponto de ebulição da água. O intervalo é dividido em oitenta partes iguais. (Representação - $^{\circ}\text{Re}$).

10. Conversão de Unidades

A figura abaixo compara as principais escalas de temperaturas existentes.

	escalas absolutas		escalas relativas		
	$^{\circ}\text{R}$	K	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	
Ponto de ebulição da água	671,67	373,15	100	212	
Ponto de fusão do gelo	491,67	273,15	0	32	
Zero absoluto	0	0	-273,15	-459,67	

Relações entre as principais escalas termométricas

a) Para Transformar $^{\circ}\text{F}$ em graus Celsius ou $^{\circ}\text{C}$ em graus Fahrenheit

$$\frac{F - 32}{9} = \frac{C}{5} \quad \frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

11. Substâncias Termométricas

Como você já deve ter percebido, o nosso sentido do tato não é adequado para se medir a temperatura dos corpos.

Também não podemos medir a temperatura dos corpos de maneira direta, como fazemos ao medir a área de um terreno ou o volume de água de um tanque; isto porque não podemos observar diretamente os átomos e moléculas dos corpos e muito menos seus níveis de vibração.

Logo, as medidas de temperatura são obtidas de maneira indireta, por comparação. E como isto é possível? É possível porque há muitas propriedades físicas dos corpos que variam com a temperatura. Eis algumas:

- volume de um líquido
- comprimento de uma barra
- resistência elétrica de um fio
- volume de um gás sobre pressão constante
- cor de determinada substância

Qualquer uma dessas propriedades pode ser utilizada na construção de termômetros.

12. Termômetro

É um instrumento capaz de medir a temperatura dos corpos. Para caracterizar um termômetro é preciso escolher uma determinada substância termométrica, por exemplo, o mercúrio, e uma propriedade termométrica dessa substância, como o comprimento da coluna do líquido.

Os medidores de temperatura podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Os que se baseiam nas alterações físicas dos materiais, tais como volume, pressão etc. Exemplos: termômetros de líquido, termômetros bimetálicos, termômetros a pressão de vapor ou de gás.
- Os que se baseiam nas propriedades termoeletrônicas, como diferença de potencial, resistividade, etc. Exemplos: termopares, termômetros de resistência.

13. Tipos de termômetro

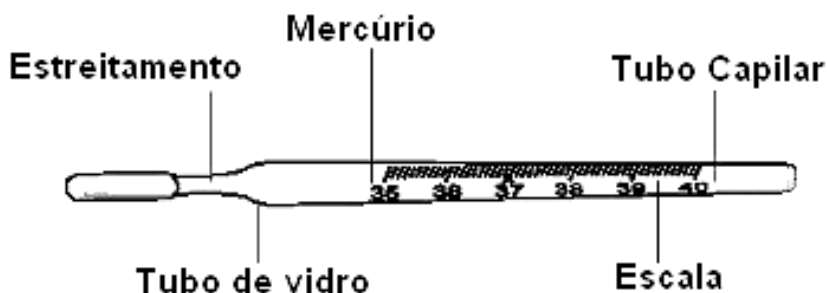
a) Termômetro de líquido em vidro

O termômetro de líquido baseia-se na propriedade que têm os líquidos de se dilatarem muito mais que os sólidos. O termômetro mais comum desse tipo é o de mercúrio.

Por que se dá preferência ao mercúrio? Eis as razões:

- O mercúrio pode ser obtido em ótimo estado de pureza.
- O mercúrio é opaco e tem cor contrastante com a do vidro, o que facilita a leitura.
- O mercúrio se dilata uniformemente com a temperatura e se apresenta no estado líquido num amplo intervalo térmico, cujos extremos são -38°C e 360°C .
- O mercúrio não deixa resíduos no vidro, de modo que a massa de mercúrio usada nas medições é sempre constante.

O termômetro clínico, usado para medir a temperatura do corpo humano, possui um estreitamento no capilar, acima do bulbo, que é para impedir o retorno rápido do mercúrio. Esse termômetro permite que se leia a temperatura máxima atingida mesmo que tenha decorrido algum tempo após a medição.



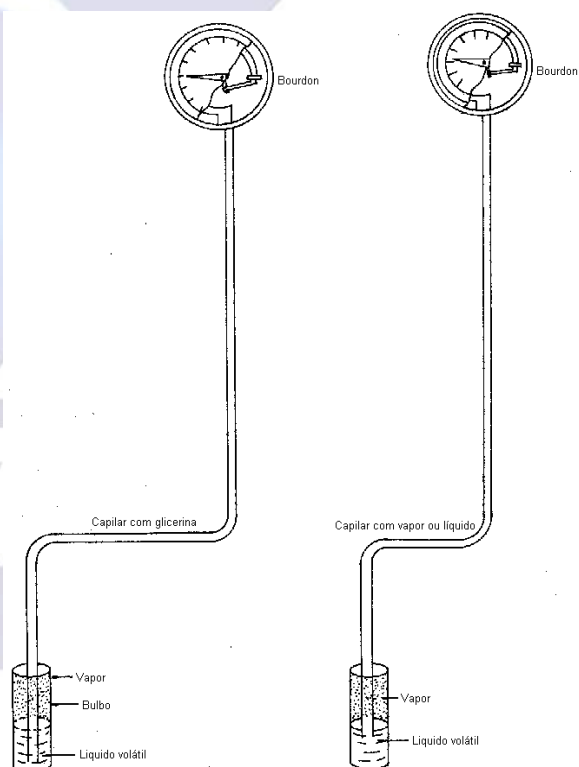
Entre os termômetros de líquido, há os de álcool. Neste caso, utiliza-se uma substância corante para colorir o álcool e criar contraste entre o álcool e o vidro. Em geral, o corante vai aderindo progressivamente às paredes do capilar, inutilizando o instrumento.

b) Termômetro a pressão de vapor

Sua construção é bastante semelhante ao de dilatação de líquidos, baseando o seu funcionamento na Lei de Dalton:

"A pressão de vapor saturado depende somente de sua temperatura e não de seu volume"

Portanto para qualquer variação de temperatura haverá uma variação na tensão de vapor do gás liqüefeito colocado no bulbo do termômetro e, em consequência disto, uma variação na pressão dentro do capilar.



c) Termômetros eletrônicos

Os termômetros eletrônicos baseiam seus sistemas de leitura e indicação das temperaturas nas variações de algumas propriedades termoelétricas dos materiais utilizados como sensores.

Estas propriedades, características, sofrem alterações conforme ocorrem mudanças de temperatura na substância a qual se deseja obter o valor desta

temperatura. Esta alteração é convertida através de sinais elétricos em lógica digital e indicada através de displays.



14. Pressão

É definida como uma força atuando em uma unidade de área.

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

Onde:

P = Pressão

F = Força

A = Área

Exemplo:

Tomemos dois paralelepípedos de aço de idênticas dimensões e de mesmo peso e os chamaremos de blocos (1) e (2):



Agora, apoiemos o bloco (1) pela face A sobre uma superfície de areia úmida e façamos a mesma coisa com o bloco (2), porém, apoiando-o pela face C:



Observando-se a impressão causada pelos blocos na areia, notaremos que o bloco (1) penetrou mais na areia.

Contudo, eles não são idênticos e de mesmo peso?

Sim, só que o peso do bloco (1) distribuiu-se por uma superfície menor (A) ao passo que o peso do bloco (2) distribuiu-se por uma superfície maior (C). Desta forma, chega-se ao conceito de pressão.

Treinatec BH Cursos

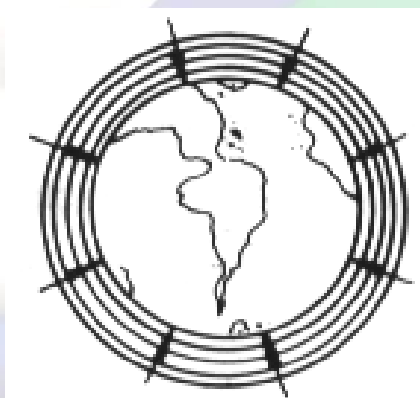
www.treinatecbh.com.br/cursosonline

Conclui-se então que a pressão é quantidade ou ainda a intensidade de força que atua sobre uma determinada área.

a) Pressão atmosférica

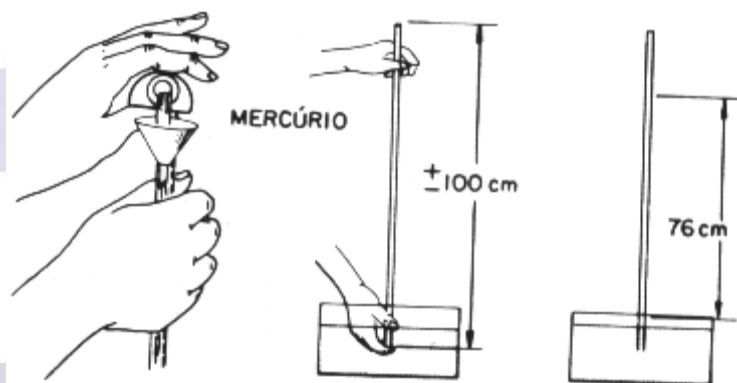
É a força que camada de gases que formam a atmosfera exerce sobre a área da superfície terrestre.

É fato conhecido que a terra está envolvida por uma camada gasosa denominada atmosfera.

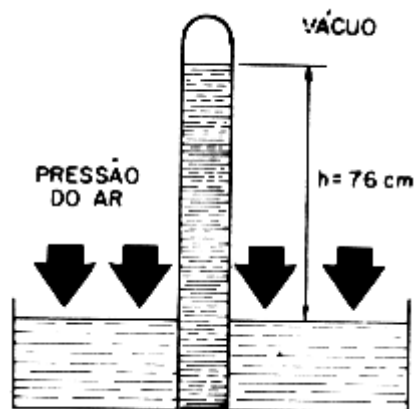


A pressão atmosférica pode variar de um lugar para o outro, em função da altitude e das condições meteorológicas (como a umidade e a densidade do ar). Quanto mais alto o local, mais rarefeito é o ar e, portanto, menor a pressão atmosférica.

O primeiro a medi-la foi o físico italiano Evangelista Torricelli, a partir de uma experiência realizada ao nível do mar. Torricelli usou um tubo de vidro, com cerca de um metro de comprimento, fechado em um dos extremos. Encheu o tubo com mercúrio e tampou a extremidade aberta com o dedo.



Em seguida, inverteu o tubo e mergulhou-o em um recipiente também contendo mercúrio. Só então retirou o dedo do tubo.



Torricelli verificou que o mercúrio contido no tubo desceu até parar na altura de 76cm acima do nível do mercúrio contido no recipiente aberto.

Por que todo o mercúrio do tubo não desceu para o recipiente? Simplesmente porque a pressão atmosférica, agindo sobre a superfície livre do mercúrio contido no recipiente, equilibrou a pressão exercida pela coluna de mercúrio contida no tubo.

Torricelli concluiu que a pressão atmosférica equivale à pressão exercida por uma coluna de mercúrio de 76cm de altura ao nível do mar; para esse valor deu o nome de atmosfera, cujo símbolo é atm.

$$\text{Assim, } 1\text{atm} = 76\text{cm de hg} = 760\text{mm de hg}$$

O aparelho inventado por Torricelli foi denominado barômetro.

Posteriormente, foram realizadas várias experiências para medir a pressão atmosférica em diferentes altitudes e chegou-se à conclusão de que esta varia com a altitude. De fato, a cada 100m de variação na altitude, a pressão atmosférica varia 1cm de coluna de mercúrio. Nos lugares elevados, a pressão diminui; nos lugares mais baixos, aumenta.

A unidade mm de Hg é chamada Torricelli (Torr):

$$1\text{mm de Hg} = 1\text{Torr} \quad \text{logo, } 1\text{atm} = 760\text{mm de Hg} = 760\text{Torr}$$

Pascal repetiu a experiência de Torricelli usando água em lugar de mercúrio e verificou que a pressão atmosférica equilibra uma coluna de água de 10,33m de altura. Assim, $1\text{atm} = 10,33\text{m de coluna de água}$

b) Pressão absoluta

É a soma da pressão relativa e atmosférica. No vácuo absoluto, a pressão absoluta é zero e, a partir daí, será sempre positiva.

Importante: Ao se exprimir um valor de pressão, deve-se determinar se a pressão é relativa ou absoluta.

Exemplo :	$4 \text{ Kg/cm}^2 \text{ ABS}$	→	Pressão Absoluta
	3 Kg/cm^2	→	Pressão Relativa

O fato de se omitir esta informação na indústria significa que a maior parte dos instrumentos mede pressão relativa.

c) Pressão relativa

É determinada tomando-se como referência a pressão atmosférica local. Para medi-la, usam-se instrumentos denominados manômetros; por essa razão, a pressão relativa é também chamada de pressão manométrica.

A maioria dos manômetros é calibrada em zero para a pressão atmosférica local. Assim, a leitura do manômetro pode ser positiva (quando indica o valor da pressão acima da pressão atmosférica local) ou negativa (quando se tem um vácuo).

Quando se fala em pressão de uma tubulação de gás, refere-se à pressão relativa ou manométrica.

d) Pressão negativa ou vácuo

É quando um sistema tem pressão relativa menor que a pressão atmosférica.

e) Pressão diferencial

É a diferença entre 2 pressões, sendo representada pelo símbolo ΔP (delta P). Essa diferença de pressão normalmente é utilizada para medir vazão, nível, pressão, etc.

f) Pressão estática

É o peso exercido por um líquido em repouso ou que esteja fluindo perpendicularmente a tomada de impulso, por unidade de área exercida.

g) Pressão dinâmica ou cinética

É a pressão exercida por um fluido em movimento. É medida fazendo a tomada de impulso de tal forma que recebe o impacto do fluxo.

15. Unidades de pressão

As unidades de pressão mais usadas na área de mecânica de refrigeração são:

- Libras-força por polegada quadrada (psi ou lbf/pol²)
- Polegada de mercúrio (InHg ou "Hg)
- Bar (bar)
- Quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm²)
- Atmosfera (atm)
- Pascal (Pa)
- Milímetro de coluna de água (mm H₂O ou mm ca)
- Micra ou Micron de Mercúrio (μHg)

Como existem muitas unidades de Pressão, é necessário saber a correspondência entre elas, pois nem sempre na indústria temos instrumentos padrões com todas as unidades e para isto é necessário saber fazer a conversão.

A tabela a seguir apresenta as conversões entre várias unidades de pressão:

Converter de ↓	Para as unidades abaixo, multiplique por ↓						
	kgf/cm ²	atm	psi	"ca	kPa	mm ca	bar
kgf/cm ²	1	0,9678	14,223	394,70	98,0665	9996,59	0,9806
atm	1,0332	1	14,696	406,78	101,325	10328,75	1,0133
psi	0,0703	0,0680	1	27,68	6,8948	702,83	0,0689
kPa	0,0102	0,0099	0,145	4,02	1	101,94	0,0100
mm ca	0,0001	0,0001	0,0014	0,04	0,0098	1	0,0001
Bar	1,0797	0,9869	14,503	402,46	100,000	10193,68	1

16. Manômetro e Vacuômetro

a) Manômetro

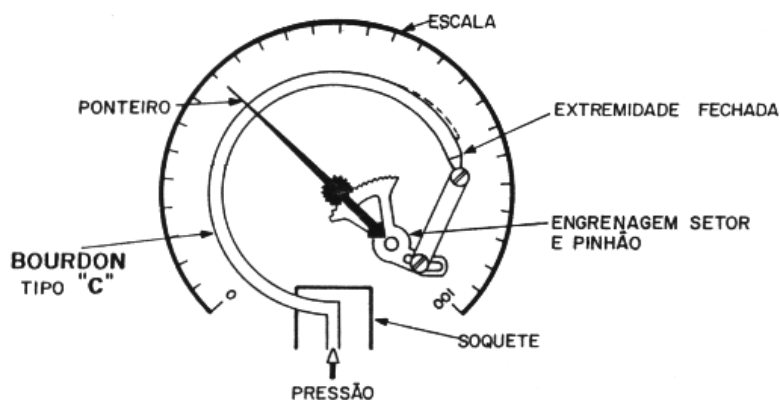
É um aparelho utilizado para medir pressões manométricas (relativas). Por isso, a pressão registrada por esse instrumento é conhecida como pressão manométrica.

O manômetro usado em refrigeração é do tipo bourdon. Esse instrumento tem um tubo de cobre, com propriedade elástica, ligado a uma haste. O fluido, cuja pressão deve ser medida, entra no tubo de Bourdon por um orifício na haste de conexão; com elevação de pressão, o tubo altera seu formato e se expande, movimentando consigo, através de uma mola, a engrenagem rotativa; o movimento da engrenagem é, então, transferido para um ponteiro que fornece a leitura numa escala.

O princípio de funcionamento de um dispositivo de medição baseado neste elemento sensível é bastante simples e idêntico a um brinquedo muito conhecido: a "língua de sogra", que se vê na figura abaixo. Quando soprada, a "língua de sogra" se enche de ar e se desenrola, por causa da pressão exercida pelo ar. No caso do manômetro, esse desenrolar gera um movimento que é transmitido ao ponteiro, que vai indicar a medida de pressão.



"Língua de sogra"



Conhecendo-se a pressão manométrica, é necessário adicionar a ela a pressão atmosférica, determinada pelo barômetro, para se obter a pressão absoluta ou verdadeira.

Por exemplo, uma pressão manométrica de 10 lbf/pol² mais a pressão atmosférica, que equivale a 14,7lbf/pol² é igual à pressão absoluta de 24,7 lbf/pol².

Alguns manômetros indicam pressões acima da pressão atmosférica. A leitura nesses instrumentos é feita em libras-força por polegada quadrada (lbf/pol²) ou psig (“pounds per square inch gauge”). Na prática, contudo, são usadas as expressões “libras de pressão” ou “libras por polegada quadrada”.

Na refrigeração para operações de manutenção em sistemas utiliza-se um equipamento chamado de conjunto manifold, este conjunto é formado por dois manômetros que apresentam ranges diferentes correspondentes a um manômetro para baixa pressão e um manômetro para alta pressão.

O manômetro de baixa apresenta em sua escala uma graduação de pressão negativa, vácuo, por isso também é bastante conhecido como manovacuômetro, em sua maioria esta graduação é dada em polegada de vácuo (inHg).

A pressão atmosférica é indicada pelo valor 0 (zero) do manômetro pode ser lida como 0 psig ou 0 inHg, pois a escala de medição de vácuo se dá de maneira crescente neste instrumento, ou seja, quanto maior o nível de vácuo maior a indicação numérica da escala, desta forma o mesmo indicará valores numéricos em vácuo até aproximadamente 30 inHg.

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mmHg} = - 29,92126 \text{ inHg}$$

b) Vacuômetro

É um instrumento utilizado para medir vácuo. Entende-se como vácuo pressões abaixo da pressão atmosférica (1atm).

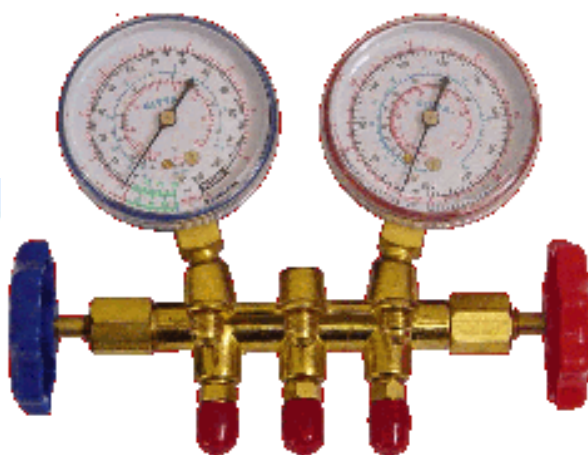
Esse valor não pode ser medido com manômetros comuns. Nas pressões com valores abaixo de 1Torr (1 mmHg) usam-se medidores eletrônicos de vácuo, que indicam pressões abaixo de 50mTorr.

Estes medidores eletrônicos são bastante sensíveis a variações de pressão, em função disto, deve-se evitar submete-los a pressões positivas, ou seja, realizar medições de pressões acima de 1 atm (0 psig).



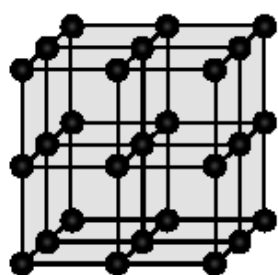
c) Conjunto Manifold

O conjunto manifold é uma das ferramentas mais utilizadas quando nos referimos a área de refrigeração, trata-se de dois manômetros instalados em um barrilete no qual existem duas válvulas manuais que servem para controlar o acesso interno aos diversos sistemas.



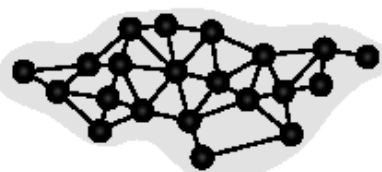
17. Mudança de Estado Físico ou de Fase

De acordo com as condições de pressão e temperatura a que estão submetidas, uma substância pode se encontrar na natureza em três estados físicos:

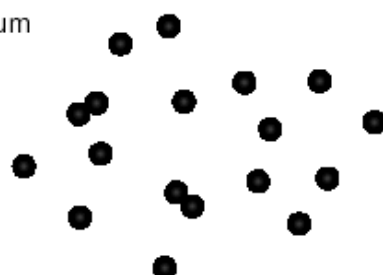


sólido

Modelos da estrutura interna de um sólido, um líquido e um gás.



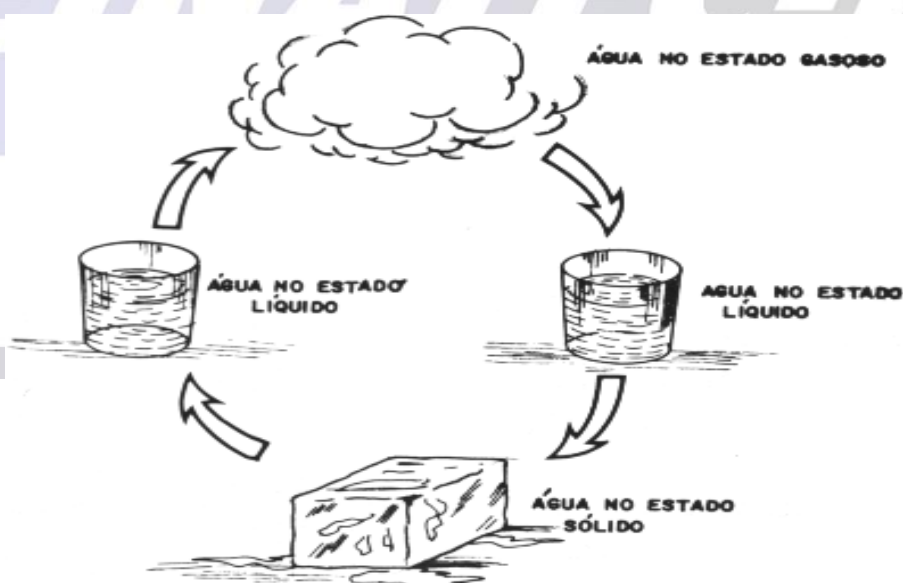
líquido



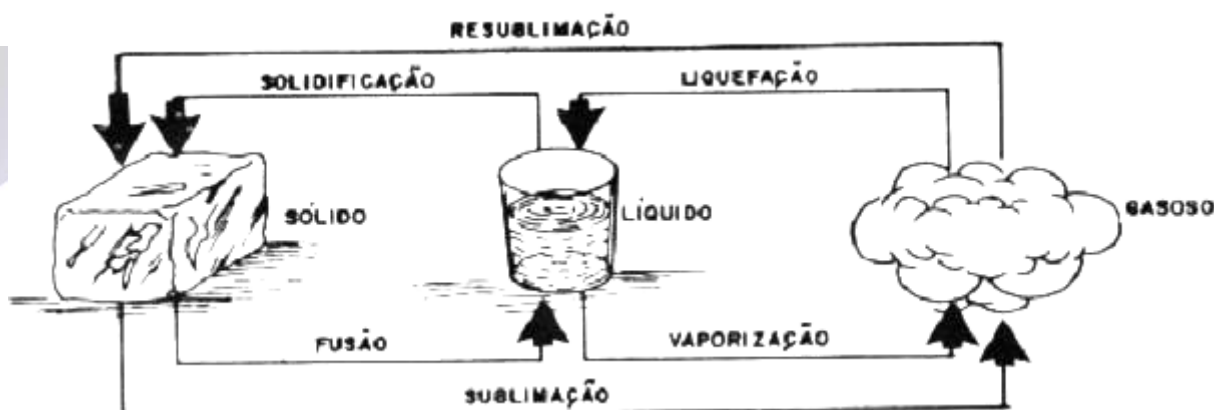
gás

Uma mesma substância pode apresentar-se em qualquer destes estados físicos. Por exemplo, a água pode ser encontrada no estado sólido (gelo), no estado líquido (rios, mares e lagos) e no estado gasoso (vapor d'água existente na atmosfera, umidade).

Em resumo, fazer uma substância mudar de estado físico é simplesmente vencer as forças de atração e de repulsão existente entre as partículas (átomos, moléculas) que a constituem. Esta mudança de fase ocorre sob temperatura e pressão constante.



De acordo com o modo como são processadas, as mudanças de estado físico ou mudanças de fase recebem nomes diferentes.



A fusão e a vaporização são transformações que absorvem calor por esta razão são chamadas transformações *endotérmicas*, já a solidificação e a liquefação se processa através do desprendimento de calor. Assim, são denominadas transformações *exotérmicas*.

Exemplo: *Para fundir o gelo é necessário aumentar a energia cinética média das moléculas (conjunto de átomos). Mas, quando chegamos à temperatura de mudança de fase, precisamos de energia para quebrar a ligação entre as moléculas. Isso significa que a energia que está sendo fornecida (calor latente) ao gelo é, em sua maior parte, usada para quebrar as ligações químicas entre as moléculas, e não para aumentar a energia cinética média delas.*

a) Vaporização

É a passagem de uma substância do estado líquido para o estado gasoso mediante a absorção de calor ou queda da pressão a que esta substância está submetida.

Conforme a maneira de se processar, a vaporização recebe nomes diferentes: Evaporação, Ebulição e Calefação.

I - Evaporação

É a passagem de uma substância do estado líquido para o estado gasoso mediante um processo lento que se verifica apenas na superfície do líquido. A evaporação pode ocorrer a *qualquer temperatura* em que esteja o líquido.

Exemplo: *Um recipiente com água exposta ao ambiente.*

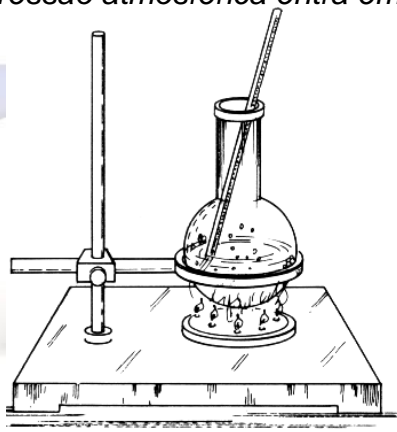


II - Ebulição

É a passagem de uma substância do estado líquido para o estado gasoso mediante um processo tumultuoso, que se verifica em toda a massa líquida.

A ebulição ocorre a uma *determinada temperatura*, chamada temperatura de ebulição. Esta varia de acordo com a pressão.

Exemplo: *Água aquecida sob pressão atmosférica entra em ebulição á 100°C.*



III - Calefação

É a passagem de uma substância do estado líquido para o gasoso mediante um processo rápido, numa *temperatura superior à sua temperatura de ebulição*. É o que acontece, por exemplo, quando se joga água numa chapa de fogão bem aquecida.

b) Condensação ou liquefação

É o processo de mudança de uma substância da fase gasosa para a fase líquida mediante ao aumento de sua pressão ou liberação de calor.

Nesta passagem, o vapor cede calor para outro corpo, que pode ser líquido, sólido ou gasoso, transformando-se em líquido por condensação.

Exemplo:

Ao aproximarmos uma tampa fria do bico de uma chaleira com água fervente (em estado de ebulição), observa-se que o vapor d'água ao tocar a tampa, se transforma em gotículas de água, aquecendo a superfície da tampa, demonstrando assim a ocorrência de transferência de calor do vapor d'água "quente" para a tampa "fria".

Um outro exemplo que podemos citar é a condensação da umidade do ar ao tocar a superfície externa de um balde, com gelo fundindo, bastante utilizado para refrigerar vinhos e outras bebidas, formando também gotículas de água.



18. Relação entre Pressão e Temperatura

Por que sob pressões diferentes a água ferve a temperaturas diferentes?

Na ebulição, as moléculas de água possuem energia cinética suficiente para escapar pela superfície do líquido passando para o estado gasoso, na forma de vapor d'água. Por outro lado, a pressão atmosférica exercida na superfície deste líquido é devida a grande quantidade de moléculas do ar que se chocam contra elas.

A temperatura de ebulição da água sob pressão atmosférica é 100°C, isto quer dizer que a energia cinética das moléculas de água é suficiente para vencer a força exercida pela camada de moléculas de ar que estão sobre a superfície da água na fase líquida.

Quando aumentamos a pressão sobre esta superfície, as moléculas de água necessitarão de uma maior quantidade de energia cinética para vencer esta pressão, conseqüentemente sua temperatura de mudança da fase líquida para a fase gasosa será maior.

Ao invertemos esta situação, diminuindo a pressão sobre a superfície da água, a energia cinética necessária às moléculas para que elas vençam esta pressão será menor.

Conclui-se então que de acordo com o valor da pressão a que submetemos um fluido ele vaporiza-se a uma temperatura equivalente a esta pressão. Esta relação comporta-se de maneira proporcional: Quanto maior for a pressão, maior será a temperatura em o fluido mudará de fase; Quanto menor for a pressão menor será a temperatura da mudança de fase.

Esta relação é bastante utilizada no campo da Refrigeração, pois os mais variados sistemas, trabalham em função da temperatura e pressão de mudança de fase dos diversos fluidos refrigerantes existentes.

Tabela de Conversão de Temperatura

Fórmula: °C = 5/9 (°F - 32°) e °F = (9/5 °C) + 32°					
°C	°F	°C	°F	°C	°F
.6	-14	-83	17	8.9	48
-25.0	-13	-7.8	18	9.4	49
-24.4	-12	-7.2	17	10.0	50
-23.9	-11	-6.7	20	10.6	51
-23.3	-10	-6.1	21	11.1	52
-22.8	-09	-5.6	22	11.7	53
-22.2	-08	-5.0	23	12.2	54
-21.7	-07	-4.4	24	12.8	55
-21.1	-06	-3.9	25	13.3	56
-20.6	-05	-3.3	26	13.9	57
-20.0	-04	-2.8	27	14.4	58
-19.4	-03	-2.2	28	15.0	59
-18.9	-02	-1.7	29	15.6	60
-18.3	-01	-1.1	30	16.1	61
-17.8	-00	-06	31	16.7	62
-17.2	01	0.0	32	17.2	63
-16.7	02	0.6	33	17.8	64
-16.1	03	1.1	34	18.3	65
-15.6	04	1.7	35	18.9	66
-15.0	05	2.2	36	19.4	67
-14.4	06	2.8	37	20.0	68
-13.9	07	3.3	38	20.6	69
-13.3	08	3.9	39	21.1	70
-12.8	09	4.4	40	21.7	71
-12.2	10	5.0	41	22.2	72
-11.7	11	5.6	42	22.8	73
-11.1	12	6.1	43	23.3	74
-10.6	13	6.7	44	23.9	75
-10.0	14	7.2	45	24.4	76
-9.4	15	7.8	46	25.0	77
-8.9	16	8.3	47		

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOSSAT, Roy J. – PRINCÍPIOS DE REFRIGERAÇÃO Ed. Hemus - Impressão Gráfica Editora Bisordi Ltda. Brás- São Paulo

MANUAL DE SERVIÇO – CONDICIONADORES DE AR , Eletrolux

TOP 2000 – PROGRAMA DE RECONHECIMENTO PROFISSIONAL Empresa Brasileira de Compressores S.A. - EMBRACO 2º EDIÇÃO

Apostila REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO SENAI/RN CENTRO DE UNIDADES MÓVEIS UNIDADE MÓVEL DE REFRIGERAÇÃO

DuPont SUVA®–FLUIDOS REFRIGERANTES TABELA PRESSÃO x TEMPERATURA
www.dupont.com/suva

BOLETIM TÉCNICO N° 6 – COMPONENTES ELÉTRICOS FIC FRIO - Tecumseh do Brasil LTDA www.tecumseh.com.br

Apostilas do curso MECÂNICA DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO REFRIGERADOR CONVENCIONAL – MODULO 2 UNIDADE 2 1996 – SÃO PAULO SENAI DR SÃO PAULO

COMO PROCEDER NA SUBSTITUIÇÃO DE COMPRESSORES FIC FRIO – TECUMSEH DO BRASIL LTDA www.tecumseh.com.br

COMPRESSORES TECUMSEH E APLICAÇÃO DE REFRIGERANTES ALTERNATIVOS FIC FRIO – TECUMSEH DO BRASIL LTDA www.tecumseh.com.br

INFORMATIVO TÉCNICO – REOPERAÇÃO DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA EMBRACO, Cód. 97041 – SET/97 – REVISÃO N°00 09/97

INFORMATIVO TÉCNICO – EXCESSIVA PRESENÇA DE ÓLEO DO COMPRESSOR EM COMPONENTES DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO EMBRACO, Cód. 97010 – DEZ/94 – REVISÃO N°00 12/94

GONÇALVES Filho, Aurélio e TOSCANO, Carlos - FÍSICA E REALIDADE – FÍSICA TÉRMICA E ÓPTICA, Editora Scipione, volume 2, 1997.

Apostila REFRIGERAÇÃO BÁSICA, SENAI/RN – CTGÁS – 2002

Full Gauge Controls – em: www.fullgauge.com.br