

# SISTEMAS DE UNIDADES

## 12 aula

### **META**

Introduzir as escalas das grandezas físicas fundamentais e derivadas.

### **OBJETIVOS**

Ao final da aula, o aluno deverá: identificar os principais sistemas de unidades;

aplicar o Sistema Internacional de Unidades;

realizar conversão de unidades; e realizar análises dimensionais em algumas equações físicas.

### **PRÉ-REQUISITOS**

O aluno deverá pegar uma caneta, ou um lápis, e medir a largura de uma mesa da sua casa com ela. Ver quantas canetas seria preciso para alinhar e conseguir medi-la. Deverá anotar esse valor da maneira que achar correto.

Você sabe seu peso? Anote-o em um papel junto da medida anterior (sempre use o valor mais a unidade que você achar conveniente).

Consiga uma conta de luz e observe as unidades pelas quais você (ou sua família) paga essa conta.



Sistema de unidades (Fonte: <http://www.kalipedia.com>).

Que horas são? Quanto você pesa? Qual a distância de sua casa até a UFS? necessidade de medir é muito antiga e remonta à origem das civilizações. Por longo tempo cada país, cada região, teve o seu próprio sistema de medidas, baseado em unidades arbitrárias e imprecisas, como por exemplo, aquelas baseadas no corpo humano: palmo, pé, polegada, braça, côvado.

## INTRODUÇÃO

A física estuda a natureza, mas de que forma?

A física é baseada no estudo da medida de quantidades como estas: tempo, massa, comprimento, etc. - as quantidades físicas. Conseqüentemente, saber examinar as medidas e as quantidades envolvidas é uma habilidade importante para o estudo da física.

Algumas medidas que você vai estudar incluem essas e outras quantidades. Embora palavras como estas tenham usos fora da física, elas têm definições muito precisas e importantes dentro dela.

É importante que você saiba que a base do estudo científico é o registro e a apresentação dos dados científicos. Afinal, a observação de um fenômeno fica incompleta quando dela não resulta uma informação quantitativa. Sabemos hoje dados científicos de 500 anos atrás, como observações astronômicas, pois neles estão registradas quantidades de coisas que podemos compreender, como distâncias e tempo.

Para obter informação quantitativa é necessário medir uma propriedade física. E é claro que para um cientista entender os resultados das experiências de um outro cientista, deve haver um sistema unificado pelo qual os dados possam ser compartilhados e compreendidos.

A representação de uma propriedade física na forma numérica exige o uso da matemática para estabelecer as relações entre as diferentes grandezas e a manipulação de tais relações. Lembre-se sempre que a matemática é a linguagem da física.

Nessa aula, vamos discutir vários conceitos importantes, mais especificamente as unidades padrão e notação científica.

Já sabemos que uma hipótese nada mais é do que uma crença que se desconfia que seja verdadeira. Também sabemos que as hipóteses e previsões das teorias da física podem ser convertidas em expressões matemáticas.

Por exemplo: ( F ) ( M )

Hipótese: A força é igual a massa vezes a aceleração. ( a ) Em expressão matemática:

$$F = m \cdot a$$

Será que é mesmo? Como testar essa hipótese?

## POR QUE MEDIR?

Ela só pode ser testada com experimentos nos quais as grandezas físicas devem ser medidas. Nesse caso, tomaremos várias massas aceleradas e mediremos a força correspondente, por exemplo. Precisamos então, quantificar essas massas, as acelerações e finalmente as forças resultantes.

Então o que significa medir?

Medir é um processo que nos permite *atribuir um número a uma propriedade física*. Mas esse não é um número qualquer. Ele é resultado de comparações entre quantidades semelhantes, ou seja, é baseado em um padrão que define a unidade da grandeza física. Então, medir é fazer uma comparação.

## PRINCÍPIO DE INCERTEZA

Entretanto, para medirmos algo precisamos normalmente de um instrumento de medição. Toda medida tem certo grau de precisão que depende desse instrumento de medida usado e do processo ou do método de medida usado. A precisão descreve até que ponto um resultado experimental está correto, ou seja, até que ponto uma experiência pode ser repetida com o mesmo resultado.



*Princípio da incerteza*, tela de René Magritte 1994. (Fonte: <http://www.fflch.usp.br>).



Pardal sensores (Fonte: <http://www.senado.gov.br>).

Para medir a velocidade de um carro, você pode usar seus olhos ao observar quando o carro passa por determinado ponto e, então, acionar um cronômetro para contar o tempo até que o carro passe por outro ponto. Você mede a distância com uma trena e pode assim dividir o tempo pela distância percorrida e finalmente obter a velocidade do carro. Ou você pode medir essa velocidade com um sensor do Detran. Foram utilizados dois métodos de medida e instrumentos distintos para averiguar a mesma quantidade: velocidade.

Seus resultados com certeza serão diferentes. Qual dos dois será mais preciso? O sensor do Detran? A resposta pode não ser tão óbvia quanto você imagina, pois o equipamento pode estar descalibrado e apresentar uma medida não tão precisa.

Outro ponto importante é a interferência do experimentador. O processo de medida deve ser feito com o máximo cuidado para não interferir no processo. Porém durante uma medida você certamente irá perturbar o sistema que está sendo observado. Por exemplo, ao medir a temperatura de um corpo, o termômetro irá interferir na temperatura medida, pois parte de seu “calor” será transferido para o corpo também.

Veja outro exemplo: Quanto mede sua cintura? Você pode usar um barbante para colocar em volta da cintura e medir sua extensão com uma régua; ou poderá medir diretamente com uma fita métrica de costureira. Perceba que neste caso, além dos métodos e dos instrumentos de medida serem diferentes, claramente você poderá interferir na medida de forma a apertar mais o barbante ou a fita para parecer mais magro, por exemplo. Isso pode ser intencional. Mas se duas costureiras medirem a mesma cintura irão também fazer medidas distintas; mais ou menos justo, mais pra cima ou pra baixo: afinal não há uma definição exata de onde colocar a fita para a

medida. Os efeitos da interferência na medida serão sobrepostos à sua precisão.

O ideal é que sua interferência na medida seja menor do que a precisão da medida em si. Para objetos macroscópicos esta situação pode ser conseguida aprimorando os métodos e equipamentos, o que explica o contínuo desenvolvimento de equipamentos cada vez mais sofisticados. Entretanto, no mundo atômico ou sub-atômico isso é impossível, já que nada pode ser menor do que as próprias partículas que compõe toda matéria.

Portanto, medir significa necessariamente interferir fortemente no sistema em estudo. O que nos conduz àquela idéia discutida na mecânica quântica de que existe um limite de certeza de qualquer medida, chamado de *princípio de incerteza*. Esse princípio afirma, por exemplo, que se você medir a velocidade de um elétron irá obrigatoriamente interferir na posição dele, que não poderá mais ser medida exatamente e vice-versa.

## DEFININDO UNIDADES

Quando eu almoço em um restaurante “a quilo” tenho uma idéia de quanto irei pagar pela comida, já que costumo comer cerca de 500 g em cada refeição. Quer dizer, se eu comer meio quilograma de comida diariamente e o custo do quilograma no restaurante é dez reais, sei que pagarei por volta de 5 reais em meu prato. Certo?

Imagine só se o padrão oficial do restaurante fosse o sistema britânico, e uma libra custasse os mesmos 5 reais. Você saberia dizer quanto vou pagar em meu prato? Quanto vale uma libra? Felizmente nesse caso, eu iria comer meus 500 g de comida somente um pouquinho mais caro, visto que 1 libra corresponde a 0,4536 quilogramas, ou seja, quase meio quilograma.

Agora imagine um caso pior: se a unidade usada pelo restaurante não fosse de nenhum padrão conhecido. O dono do restau-

rante inventou sua própria quantidade de medida padronizada por ele. Ih, agora não tenho mais idéia das medidas!

Você agora pode perceber a importância da padronização das medidas?

As unidades permitem aos cientistas unificar medidas de dados científicos, enquanto as regras para expressar figuras asseguram que aquele dado é apresentado honestamente e com precisão.

Ao tentar descrever a quantidade de algo, seja uma substância química ou fenômeno físico, é muito útil ter alguma medida padrão para se referir. Uma unidade não é nada mais que um padrão pelo qual um valor medido pode ser descrito.

Para descrever um sistema de medida, nós primeiramente devemos escolher uma unidade e sua medida que seja definida como exatamente 1,0. Em seguida, nós devemos definir um padrão, uma referência a que outros exemplos serão comparados.

Pegue uma caneta e meça a largura de sua mesa. O comprimento da caneta é seu padrão para um comprimento (ou seja, tem a medida 1,0) e a unidade pode se chamar caneta. Então, por exemplo, a largura da mesa corresponde a 4,5 canetas. Pronto, esse é o mais novo sistema de medidas criado por você! Unidade caneta, padrão o comprimento de sua caneta.

Ainda tomando como exemplo o comprimento, a unidade atual mais usada de medida é o metro. O padrão do metro passou por várias modificações na história, mas hoje 1 metro é definido como “a distância linear percorrida pela luz no vácuo, durante um intervalo de  $3,335640952 \times 10^{-9}$  segundos”. Sofisticado, né?

Como você pode imaginar, no passado, a variedade de medidas criava muitos problemas, principalmente para o comércio, porque as pessoas de uma região não estavam familiarizadas com o sistema de medida das outras regiões. Imagine a dificuldade em comprar ou vender produtos cujas quantidades eram expressas em unidades de medida diferentes, e que não tinham correspondência entre si.

No sistema britânico antigo, eles usavam como unidade para comprimento a medida pé, que era o comprimento do pé de um

homem. Isto era muito útil na época, pois caso você quisesse explicar para alguém qual era a distância da sua casa para o poço de água, você dizia há quantos pés de distância sua casa ficava do poço, e mesmo que a pessoa nunca tivesse ido a sua casa, ela teria uma boa noção dessa distância, baseada apenas numa descrição verbal. Mas hoje esse tipo de medida iria parecer ridículo para medir algumas das enormes distâncias a que estamos acostumados, como a distância entre o Aracaju e Salvador (350 km).

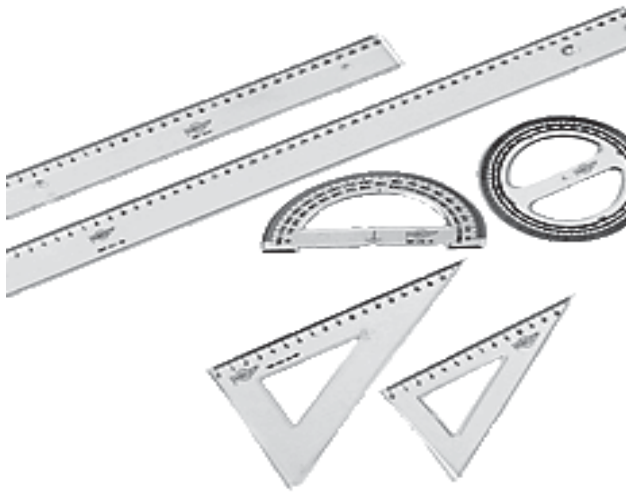


Mapa Aracaju Salvador (Fonte: <http://www.aondefica.com>).

Há tipos diferentes de unidades usados em medidas, como as unidades britânicas e o Sistema Internacional (SI). Ambas são baseadas em padrões, entretanto sempre que trabalharmos com dados científicos, usaremos o SI, a menos que o problema ou experiência peça o contrário.

Por exemplo, a temperatura pode ser expressa em Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), que é a mais utilizada, ou em kelvin (K), mais empregada em trabalhos científicos, ambas pertencentes ao SI. Contudo, existe ainda um terceiro tipo de unidade encontrada em muitos problemas, o Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), usada nos países anglo-saxões e que não faz parte do SI. A grande maioria dos demais países usa o SI, que também é o padrão utilizado em ciência.

Imagine agora que você devesse usar a temperatura em kelvin. Qual a temperatura média da sua cidade? Difícil dar uma resposta rápida? Tem que fazer uma conta primeiro?



Geralmente, as pessoas tendem a usar o sistema com que estão mais familiarizados, por isso, ainda nos Estados Unidos a temperatura irá aparecer no sistema britânico, ou seja, em Fahrenheit, e as medidas de comprimento surgirão em jardas, milhas, etc. Porém, o sistema métrico é baseado no sistema decimal, e, por isso, é mais racional, inteligente, e mais fácil usar.

Sistema métrico decimal (Fonte: <http://www.cartabon.com>).

Como já foi contado em aulas anteriores, em 1789, numa tentativa de resolver o problema das unidades variadas, o Governo Republicano Francês pediu à Academia de Ciências da França que criasse um sistema de medidas baseado numa “constante natural”. Assim foi criado o **Sistema Métrico Decimal**. O sistema métrico trouxe algo de muito bom com relação aos múltiplos e submúltiplos: uma escala decimal de grandezas, afinal raciocinar de 10 em 10 é muito mais fácil para o ser humano. Posteriormente, muitos outros países adotaram esse sistema, inclusive o Brasil, aderindo à “Convenção do Metro”. O Sistema Métrico Decimal adotou, inicialmente, três unidades básicas de medida: o metro, o litro e o quilograma.

Entretanto, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais precisas e diversificadas. Por isso, em 1960, o sistema métrico decimal foi substituído pelo **Sistema Internacional de Unidades - SI**, mais complexo e sofisticado, adotado também pelo Brasil desde 1962, hoje sendo de uso obrigatório em todo o Território Nacional. Ele inclui várias unidades fundamentais e derivadas



## GRANDEZAS FUNDAMENTAIS E DERIVADAS

Pense bem, será que precisamos do litro como definição do volume?

Se o metro é tomado como uma unidade fundamental, a unidade de área ( $m^2$ ) é uma unidade derivada, assim como a de volume ( $m^3$ ). Portanto, a rigor não seria necessário definir o litro como uma unidade padrão porque ele pode ser colocado como uma unidade derivada do metro ( $= 0,001 m^3$ ).

Outras unidades também são derivadas das unidades fundamentais. Por exemplo, se o metro e o segundo são tomados como unidades fundamentais, a velocidade ( $m/s$ ) e a aceleração ( $m/s^2$ ) são derivadas. A idéia é estabelecer o menor número de unidades, ditas fundamentais, a partir das quais qualquer outra unidade pode ser obtida através de relações algébricas.

A escolha é arbitrária, mas o bom senso estabeleceu algumas como fundamentais. Para a mecânica qualquer grandeza pode ter a sua unidade dada pela combinação da unidade de comprimento, massa e tempo. Então escolhendo o metro, o quilograma e o segundo têm-se:

velocidade ( $m/s$ ), aceleração ( $m/s^2$ ), força ( $kg.m/s^2$ ), energia ( $kg.m^2/s^2$ ), quantidade de movimento ( $kg.m/s$ ), pressão ( $kg/(s^2.m)$ ), etc.

Este sistema foi consagrado na mecânica e recebe o nome de “Sistema MKS” (metro, quilograma, segundo). Neste sistema algumas unidades derivadas recebem nomes especiais: para a força newton, para a pressão pascal e para a energia o joule.

Mas quais são as grandezas fundamentais? Quais as unidades usadas no SI? Vamos ver?

### COMPRIMENTO

A unidade de comprimento sempre existiu em todas as civilizações, pois havia a necessidade, por exemplo, de dominar o espaço

para cultivo e para as construções. Mas como já contamos pra você, havia uma enorme quantidade de padrões diversos.

Inicialmente, o homem era a medida de tudo. Foi quando surgiu a polegada, os pés, a jarda, etc. Só que o mundo foi crescendo, novas terras foram sendo conhecidas e houve a necessidade de medidas para distâncias maiores. Então, a própria Terra - e não mais o corpo humano - passou a ser referência. Surgiram a légua, a milha e o metro.

Na primeira definição do metro, em 1793, decidiu-se que ele corresponderia a décima milionésima parte do quarto do meridiano terrestre que passa por Paris (lembra-se? São aquelas circunferências imaginárias traçadas na superfície do globo, passando pelos dois pólos). Mas o desenvolvimento de técnicas de medição originou posteriores correções, o que levou a redefinição do metro em 1799. Por ela, um metro seria a distância entre os topos de uma barra de platina a 0°C.

A exatidão deste padrão passou a ser inadequada para as tecnologias que vieram nas ciências, levando assim a novas definições. Em 1983, chegou-se a atual definição: “o metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de  $\frac{1}{299792458}$  de segundo”. Lembre-se que a velocidade da luz é  $2,9979258 \times 10^8$  m/s, que é uma constante universal.

Portanto, atualmente, nenhum país tem necessidade de manter o padrão do metro num determinado local, basta dispor de um bom laboratório de física para reproduzir precisamente a sua dimensão.

### UMA PIADINHA PRA VOCÊ:

Um pedreiro estava pelejando para medir a altura de uma escada, mas a dificuldade é que ela era realmente muito alta e ele sofria de vertigem. Aí veio um amigo e lhe disse: “Por que você não deita a escada no chão e a mede aí?” Como ficou muito sem graça, respondeu rápido: “Você é muito burro mesmo! Estou tentando medir a altura e não o comprimento!”

## MASSA

Geralmente, massa é definida como a quantidade de matéria contida em um objeto ou corpo, o número total de partículas subatômicas (elétrons, prótons e nêutrons) de um objeto. Se você multiplicar sua massa pela força da gravidade da Terra, vai obter seu peso. Assim, se seu peso corporal está variando por causa de sua alimentação ou prática de exercícios, na verdade, é o número de átomos que está mudando.

É importante entender que a massa é independente de sua posição no espaço. Sua massa corporal é a mesma tanto na Lua como na Terra porque o número de átomos é o mesmo. Por outro lado, a força da gravidade da Terra diminui à medida que você se afasta dela. Portanto, você pode perder peso mudando de altitude, mas sua massa permanece constante.

É interessante observar que a unidade de “quantidade de matéria” é o mol. A quantidade de matéria fornece o número de partículas de matéria, mas não leva em conta as diferentes massas das partículas. Isso mostra que “massa” e “quantidade de matéria” são grandezas distintas.

O mesmo sistema de padronização francês que escolheu e definiu o metro como unidade de comprimento, também definiu o grama como unidade padrão para medir a massa de um corpo: teria a massa de 1 cm cúbico de água destilada a 4°C. Em 1879, estabeleceu-se um padrão constituído por um cilindro de platina iridiada com massa de 1.000 gramas, chamado de quilograma padrão, conservado em Sèvres no Escritório Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) na França.

A conferência de 1889 observou que esse padrão do quilograma não correspondia a 1000 gramas originais. A partir de então



Massa corporal (Fonte: <http://www.jaycutler.com>).



Kilograma (Fonte: <http://www.ipem.rj.gov.br>).

abandonou a definição inicial de grama e adotou a massa do quilograma padrão, chamado simplesmente de quilograma. A unidade quilograma ainda possui como definição a massa daquele protótipo.

Existe, e ainda é bastante aplicado em engenharia, um sistema no qual em vez da massa ser uma grandeza fundamental, a força é escolhida como fundamental. Neste sistema a grandeza fundamental é o quilograma-força. O quilograma-força é uma unidade definida como sendo a força exercida por uma massa de um quilograma sujeita à gravidade terrestre. É abreviada como kgf, por vezes apenas kg.

Ainda que a força da gravidade varie de ponto para ponto do globo, é considerado o valor padrão de  $9,80665 \text{ m/s}^2$ . Assim, um quilograma-força é por definição igual a 9,80665 newtons. Lembre-se que 1 newton (N) é a força que faz um objeto de 1 kg ser acelerado a  $1 \text{ m/s}^2$ .

## QUANTIDADE DE MATÉRIA

O termo *molar* (do latim *moles*, que significa “grande massa”) foi inicialmente introduzido na química por volta de 1865. O termo era usado para indicar uma grande massa macroscópica, contrariando assim a palavra “molecular” (palavra também derivada de *moles*, mas de significando “pequeno”). Esse uso particular do termo molar foi se tornando comum na literatura física por volta do ano de 1940.

Atualmente o termo mol é usado para medir a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos que existem em 0,012 quilograma de carbono 12 ( $^{12}\text{C}$ ).

## TEMPO

O *relógio*, em vários formatos, tem sido utilizado como medidor do tempo desde a Antiguidade, pela necessidade do homem em dividir o tempo para organizar suas tarefas. Para medir o tempo, podemos usar qualquer fenômeno periódico como um relógio. Por exemplo, o nascer e o pôr do Sol.

O relógio de Sol foi a primeira idéia encontrada para realizar esta divisão do tempo. Ele consistia em um mastro fixado no solo que projetava a sombra do Sol em uma escala semi-circular desenhada no chão. Não marcava horas, mas apenas dividia o dia.

Como a constante procura por divisões de tempo mais ágeis, a história registra que, mais ou menos em 600 a.C., na Judéia, apareceram os relógios de água (clepsidras) e os relógios de areia (ampulhetas). Em 850 d.C., Pacífico, o Arcebispo de Verona, construiu um relógio mecânico baseado em engrenagens e pesos. A grande conquista na precisão da divisão do dia em horas foi conseguida por volta de 1600, com a descoberta das leis que regem as oscilações pendulares por Galileu Galilei.

Entretanto, com o início das navegações, o pêndulo, de movimentos regulares em terra, ficava instável ao balanço do mar e deixava perdidos os aventureiros, sem que soubessem a quanto se encontravam do porto de partida. Em meados do século 18, John Harrison construiu um relógio que permitiu a determinação precisa da longitude dos barcos, evitando muitos naufrágios.

**Em 1789, a academia francesa surteu o segundo com padrão de tempo. Porém a idéia era revolucionária: estabelecia um dia de 10 horas que possibilitaria trabalhar com valores decimais nas medidas de tempo. A idéia era boa, mas o hábito foi mais forte e ela não vingou. Logo o dia voltou a ter a sua duração de 24 horas, divididas em 60 minutos, divididos em 60 segundos. Assim, o segundo foi definido como sendo a fração  $1/86400$  da duração do dia médio.**

No início do século 20 surgiu o relógio de quartzo. Se no antigo relógio de parede o objeto que oscilava em movimentos regulares era o pêndulo, o oscilador passou a ser o cristal de quartzo: submetido a uma voltagem, o cristal oscila com uma frequência bem definida. Contando-se o número de oscilações, marca-se o tempo.

Todas as medidas de tempo até então eram baseadas no período de rotação da Terra que, no entanto, varia e os dias não são todos exatamente iguais. Uma correção pode ser feita na década de 1950, quando surgiu o relógio atômico, muito mais preciso que o método astronômico. Como um pêndulo de relógio, o átomo pode ser estimulado externamente (no caso, por ondas eletromagnéticas) para que oscile de forma regular. Um dispositivo contador registra o número de oscilações, ou seja, um segundo é o período em que ocorrem tantas oscilações. Por exemplo: a cada 9.192.631.770 oscilações do átomo de césio-133 o relógio entende que se passou um segundo. A transição do césio é imutável, igual em qualquer parte do planeta.

Portanto, desde 1967, o segundo, que é a unidade para o tempo

definida pelo SI, passou a ter a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do césio 133 ( $^{133}\text{Cs}$ ).

Os relógios mais precisos têm forte impacto na área tecnológica. Por exemplo: as telecomunicações ópticas, na qual a taxa de transferência de dados é altíssima, exige equipamentos precisos para direcionamento de fluxos e sincronização de redes. Os relógios atômicos também são utilizados no gerenciamento da energia elétrica para medir oscilações e detectar falhas na transmissão de uma estação a outra.



Relógio atômico - O Brasil possui, no Observatório Nacional, no Rio de Janeiro, dois relógios de átomos de Césio 133. (Fonte: <http://galeria.blog.sapo.pt>).

## TEMPERATURA

A temperatura é uma grandeza cuja unidade não pode ser obtida por relações algébricas a partir do comprimento, massa e tempo.

É desconhecida sua origem, mas de qualquer forma, em meados de 1600, o termômetro já era amplamente conhecido na Europa, e cada fabricante tinha a sua própria escala de medida.

Era comum termômetros terem no meio uma marca “1” para mostrar a situação de temperatura confortável, acima desta marca havia 8 graus de calor e abaixo, oito graus de frio e cada grau por sua vez era subdividido em 60 minutos.

Como toda medida teve um começo caótico, porém Newton já intuiu que deveria acontecer uma racionalização propondo uma escala de temperatura, na qual o ponto de congelamento da água fosse tomado como zero e a temperatura do corpo humano como  $12^{\circ}$ . Mesmo assim, em 1800, podia-se comprar termômetros com 18 escalas diferentes!

O desenvolvimento de um termômetro com uma escala padronizada começou com Daniel Gabriel Fahrenheit. Inicialmente Fahrenheit adotou como temperaturas de referência  $32^{\circ}$  para a temperatura de congelamento da água e  $96^{\circ}$  para a temperatura do corpo humano. Como o corpo humano é pouco confiável a marca de  $96^{\circ}$  não foi uma boa referência e por isso ele passou a usar a temperatura de ebulição da água como sendo  $212^{\circ}$ . Como o termômetro de Fahrenheit vendeu bem, sua escala tornou-se largamente aceita.

Já na França a escala de Fahrenheit não foi aceita inicialmente. Lá, Réaumur construiu um termômetro apropriado para os fabricantes de vinho. Sua escala ia de  $0^{\circ}$  para o gelo fundente e  $80^{\circ}$  para a água em ebulição. Semelhante foi o caso do sueco Anders Celsius que propôs uma escala dividida em 100 divisões (centígrados) adotando uma escala em que a água congele a  $100^{\circ}$  e entre em ebulição a  $0^{\circ}$ . Por coincidência, Lineu, amigo de Celsius, utilizou o

termômetro de cabeça para baixo, assinalando 0° para o congelamento da água e 100° para a ebulição e, então, sem perceber o erro recomendou o uso desta escala. Acho que funcionou bem, afinal usamos até hoje.

Mais tarde William Thomson, posteriormente lorde Kelvin, imaginou uma escala de temperaturas baseado no conceito da máquina de calor ideal reversível de Carnot. O “kelvin” teve a sua definição estabelecida quando se fixou convencionalmente a temperatura do ponto tríplice da água (o ponto em que coexiste água na forma líquida, sólida e gasosa) em 273,16 graus kelvin. Esta escala de temperatura fornece a unidade de temperatura termodinâmica.

Hoje, o kelvin é definido pela fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. Note que a escala proposta por lorde Kelvin é uma escala absoluta, esta unidade não leva o símbolo de graus como as outras unidades, assim escreve-se 273,16 K e não 273,16°K. Além disso a variação de 1 K é igual à variação de temperatura de 1°C.

Assim a conversão de graus Kelvin (T) para graus Celsius (t) obedece a relação:

$$t = T - 273,15$$

Atualmente, o kelvin é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água

Veja como você deve proceder para transformar:

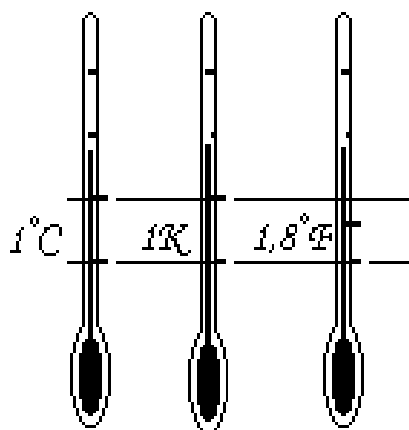
kelvin para celsius

$$t = T - 273,15$$

celsius para fahrenheit

$$F = 1,8 t + 32$$

(Grau fahrenheit ( f ))



## ELETRICIDADE E LUZ

Completando o leque de unidades fundamentais, é preciso dizer algo sobre eletricidade e luz. Para unidades na eletricidade basta a definição de corrente elétrica.



Com a descoberta da eletricidade, diversas unidades elétricas para a intensidade de corrente elétrica haviam sido introduzidas. Mas a definição internacional do ampère foi confirmada pela Conferência Internacional de Londres de 1908.

O ampère passou a ser utilizado como uma unidade de medida para medir a intensidade de uma corrente elétrica. Sua definição é: intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de secção circular desprezível e situadas à distância de 1 m entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a  $2 \times 10^{-7}$  newton por metro de comprimento. Ufa! Lembre-se: você não precisa decorar essas definições agora! Que bom, né?.

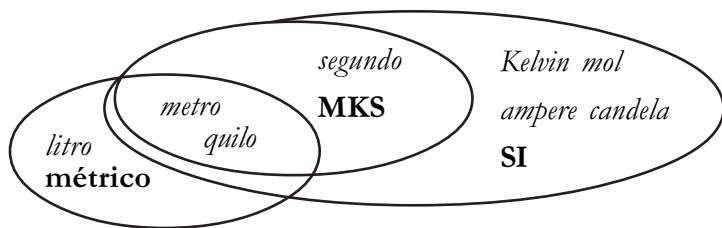
Muitas vezes pensa-se que a carga elétrica, cuja unidade no SI é o coulomb (C), seria uma unidade básica do SI. Na verdade ela é uma unidade derivada do ampère. *Um coulomb é a quantidade de carga elétrica carregada pela corrente de um ampère durante um segundo.*

Para a intensidade luminosa foi definida a “candela”: intensidade luminosa, numa dada direção de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência  $540 \times 10^{12}$  hertz, cuja intensidade energética nesta direção é  $1/638$  watt por esterorradiano”.

Não se preocupe com estas definições complicadas. No futuro, quando for preciso, iremos voltar ao assunto para que você possa entendê-las melhor.

## O SISTEMA INTERNACIONAL

Juntando as unidades: metro, quilograma, segundo, graus kelvin, mol, ampère e candela, podemos compor qualquer outra unidade de grandeza da física. Este grupo, que é aceito universalmente é chamado de Sistema de Unidades Internacionais ou SI. Devemos procurar sempre usar a unidade de qualquer grandeza neste sistema.



As unidades SI podem ser escritas por seus nomes ou representadas por meio de símbolos. Por exemplo, a unidade de comprimento, cujo nome é metro

pode ser representada pelo símbolo m. Os nomes das unidades SI são escritos sempre em letra minúscula, exceto se estiverem no início da frase ou a unidade “grau Celsius”.

Resumindo as unidades básicas do SI em uma tabela temos:

### PRINCIPAIS UNIDADES SI

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo
comprimento	metro	metros	m
tempo	segundo	segundos	s
massa	quilograma	quilogramas	kg
quantidade de matéria	mol	moles	mol
corrente elétrica	ampère	ampères	A
temperatura Celsius	grau Celsius	graus Celsius	°C
temp. termodinâmica	kelvin	kelvins	K
intensidade luminosa	candela	candelas	cd

Como existem muitas outras grandezas que utilizamos no dia a dia, surgem as **unidades derivadas** baseadas nas grandezas fundamentais. Como exemplo, a velocidade que tem unidade de metros por segundo (m/s).

Algumas unidades vão aparecer cotidianamente, mas não são baseadas nas grandezas fundamentais. Algumas delas estão em uso com o SI, sem restrição de prazo para que deixem de ser utilizadas.

### EXEMPLOS DE UNIDADES EM USO COM O SI

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo	Equivalência
Volume	litro	litros	l ou L	0,001 m <sup>3</sup>
Massa	tonelada	toneladas	t	1 000 kg
Tempo	minuto	minutos	min	60 s

Existem também algumas unidades obtidas experimentalmente em uso com o SI

### UNIDADES OBTIDAS EXPERIMENTALMENTE EM USO COM O SI

Unidade	Símbolo	Conversão
elétronvolt(a)	eV	$1 \text{ eV} = 1,602\ 177\ 33(49) \times 10^{-19} \text{ J}$
unidade unificada de massa atômica(b)	u	$1 \text{ u} = 1,660\ 540\ 2(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$

(a) O elétronvolt é a energia cinética adquirida por um elétron ao passar através de um potencial de 1 volt, no vácuo. (b) A unidade unificada de massa atômica é igual a (1/12) da massa de um átomo do nuclídeo( $^{12}\text{C}$ ).

Outras unidades que estão fora do SI são admitidas somente temporariamente.

### EXEMPLOS DE UNIDADES FORA DO SI, ADMITIDAS TEMPORARIAMENTE

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo	Equivalência
pressão	atmosfera	atmosferas	atm	101 325 Pa
quantidade de calor	caloria	calorias	cal	4,186 8 J

### OUTROS SISTEMAS

Ao lado do sistema de unidades MKS ( metro, quilograma, segundo) ainda se usa o sistema CGS, em que as unidades fundamentais são o centímetro, o grama e o segundo. É um sistema no qual a força é uma unidade derivada denominada dina e definida como:

$$1 \text{ dina} = 1 \text{ unidade de força no CGS} = 1 \text{ g} \times 1 \text{ cm/s}^2$$

Portanto, no CGS temos:

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} \quad 1 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ cm/s}^2 \quad \text{então}$$

$$1 \text{ N} = 100000 \text{ g.cm/s}^2 = 10^5 \text{ dina}$$

Outro sistema famoso é o de unidades inglesas, com unidades fundamentais:

Comprimento: pé, cuja abreviatura é ft (do Inglês feet)

Massa: libra, cuja abreviatura é lb<sub>m</sub> (em Inglês abrevia-se lb mas chama-se pound)

Tempo: é o nosso conhecido segundo (s).

OBS: Para nós, há também mais uma fonte de confusão, pois existem 3 tipos de libra:

“pound avoirdupois,” para grandezas comerciais, equivalente a 0,435 kg e dividida em 16 onças (oz). Normalmente usada em engenharia.

“pound troy”, para metais preciosos, equivalente a 0,373 kg subdividida em 12 onças.

“pound apothecaries” (libra apotecária), para pesagem de drogas e produtos farmacêuticos, também equivalente a 0,373 kg.

Embora atualmente não sejam usadas com muita frequência, você pode se deparar com medidas de comprimentos expressas no Sistema Britânico. Então, aqui seguem dados para você convertê-los:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ in (polegada)} = 2,54 \text{ cm} & 1 \text{ ft (pé)} = 0,3048 \text{ m} \\ 1 \text{ yd (jarda)} = 0,9144 \text{ m} & 1 \text{ mile (milha)} = 1,6093 \text{ km} \end{array}$$

## UNIDADES DE ENERGIA

Em todos os sistemas vistos anteriormente a energia é uma grandeza derivada. Partindo da definição de trabalho, força x deslocamento, pode-se escrever a unidade para energia:

$$\begin{array}{lll} \text{Sistema CGS} & \text{—} & \text{dina.cm} = \text{erg} \\ \text{Sistema MKS} & \text{—} & \text{N.m} = \text{joule} \end{array}$$

**Um erg é mais ou menos a energia que você gasta para dar uma piscada.**

E a caloria?

A caloria é uma unidade de energia, cujo uso não é recomendado, mas é ainda muito utilizada. A uma caloria equivale a 4,186 J.

Novamente os ingleses criaram sua unidade própria de energia: o BTU (british thermal unit), aquela em que normalmente são descritos os condicionadores de ar.

$$1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J} \quad 1 \text{ BTU} = 252 \text{ calorias} \quad 1 \text{ BTU} = 0,0002931 \text{ kWh}$$

## O CERTO E O ERRADO PARA REPRESENTAR AS UNIDADES

Há diversas regras que devem ser respeitadas todas às vezes que você for apresentar uma medida. Cuidado, pois o símbolo não é uma abreviatura. Ele é um sinal convencional e invariável utilizado para facilitar e universalizar a escrita e a leitura das unidades SI. Por isso mesmo não é seguido de ponto.

	Certo	Errado
segundo	s	s ;seg
metro	m	m ;mr.
quilograma	kg	kg ;kgr.
hora	h	h ;hr.

Além disso, o símbolo não tem plural

	Certo	Errado
cinco metros	5m	5ms
dois quilogramas	2kg	2kgs
oito horas	8h	8hs

Toda vez que você se refere a um valor ligado a uma unidade de medir, significa que, de algum modo, você realizou uma medição. O que você expressa é, portanto, o resultado da medição, que apresenta as seguintes características básicas:



Se a unidade for composta, ao escrevê-la não misture nome com símbolo.

Certo	Errado
quilômetro por hora km/h	quilômetro oh km/ohora
metro por segundo m/s	metro/s m/segundo

Cuidado: o grama pertence ao gênero masculino! Que é diferente daquele matinho lá do jardim, a grama!! Por isso, ao escrever e pronunciar essa unidade, seus múltiplos e submúltiplos, faça a concordância corretamente. Por exemplo: dois quilogramas ou quinhentos miligramas.

O prefixo quilo (símbolo k) indica que a unidade está multiplicada por mil. Portanto, não pode ser usado sozinho. Use o prefixo quilo da maneira correta!

Certo	Errado
quilograma; kg	quilo; k
quilômetro ; km	kilômetro

Ao escrever as medidas de tempo, observe o uso correto dos símbolos para hora, minuto e segundo.

Obs: Os símbolos ´ e ´´ representam minuto e segundo em unidades de ângulo plano e não de tempo.

Certo	Errado
9h25min6s	925h ou 9h25'6"

## NOTAÇÃO CIENTÍFICA

Além das unidades métricas básicas descritas acima, há prefixos para indicar quantidades maiores ou menores. Por exemplo, um metro recorre a uma medida métrica padrão de comprimento. Já um milímetro recorre a uma medida que é um milésimo do tamanho de um metro (mil milímetros correspondem a um metro) e um quilômetro é mil vezes a distância de um metro (mil metros são um quilômetro).

Para formar o múltiplo ou submúltiplo de uma unidade, basta colocar o nome do prefixo desejado na frente do nome desta unidade. O mesmo se dá com o símbolo.

Por exemplo:

Para multiplicar e dividir a unidade volt por mil

quilo + volt = quilovolt ou  $k + V = kV$

mili + volt = milivolt ou  $m + V = mV$

Os prefixos SI também podem ser empregados com unidades fora do SI.

Por exemplo: milibar; quilocaloria; megatonelada; hectolitro

Por motivos históricos, o nome da unidade SI de massa contém um prefixo: quilograma. Por isso, os múltiplos e submúltiplos dessa unidade são formados a partir do grama.

Usando estes prefixos sabiamente, você pode evitar ter que usar números enormes ou ter que recorrer à notação científica.

Notação científica, o que é isso?

A notação científica provê um método mais conveniente de escrever números grandes ou pequenos.

Por exemplo, um número muito grande (100000000000) ou muito pequeno (0,00000000001). Seria péssimo escrevê-los assim, não é mesmo? Teríamos que ficar contando os zeros todas as vezes que quiséssemos dizê-los.

Com a notação científica a representação desses números fica concisa, pois é baseada no uso de potências de 10. Ou seja, nos casos acima, em notação científica, os números seriam escritos como:

$$(100000000000) = (1 \cdot 10^{11}) \quad \text{e} \quad (0,00000000001) = (1 \cdot 10^{-11})$$

A tabela abaixo mostra os prefixos e a notação científica usados:

## PREFIXOS E A NOTAÇÃO CIENTÍFICA CORRESPONDENTE

Nome	Símbolo	Fator de multiplicação da unidade
Yotta	Y	$10^{24} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
Zeta	Z	$10^{21} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
Exa	E	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
Peta	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
Terá	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
Giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
Mega	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$
Quilo	k	$10^3 = 1\ 000$
Hecto	h	$10^2 = 100$
Deca	da	10
Deci	d	$10^{-1} = 0,1$
Centi	c	$10^{-2} = 0,01$
Mili	m	$10^{-3} = 0,001$
Micro	$\mu$	$10^{-6} = 0,000\ 001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
Pico	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$
Femto	f	$10^{-15} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001$
Atto	a	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
Zepto	z	$10^{-21} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
Yocto	y	$10^{-24} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$





## ATIVIDADES

1. Por que as pessoas que vivem nos Andes podem receber muito mais peixe do que aqueles que vivem em Santos quando compram 1 kg de peixe, desde que a balança tenha sido calibrada em Santos?

### COMENTÁRIOS SOBRE AS ATIVIDADES

Se medir é comparar então, quando medimos a massa de um determinado objeto utilizando uma balança de dois pratos, fica evidente que medir é comparar o peso do objeto com o peso de um corpo tomado como padrão.

Mas, por acaso não estamos querendo medir a massa de um objeto? Como estamos comparando pesos? Na verdade, neste tipo de balança comparamos pesos: *peso do objeto com peso padrão*. Como o peso é igual ao produto da massa pela aceleração da gravidade no local ( $g$ ), podemos escrever:

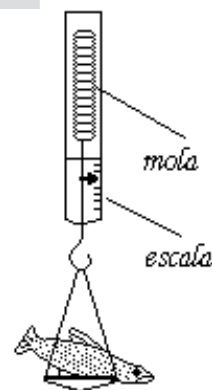


$massa \text{ do peso padrão} \cdot g = massa \text{ do objeto} \cdot g$   
cortando  $g$  obtemos

$massa \text{ do peso padrão} = massa \text{ do objeto}$

Assim comparamos as duas massas. A vantagem deste tipo de balança está no fato de que a medida é a mesma em qualquer ponto da Terra, no litoral ou no topo do Evereste, onde a aceleração da gravidade da Terra é menor.

Por outro lado, as balanças que medem diretamente o peso, por meio da distensão de uma mola ou outro dispositivo eletrônico, não apresentam a mesma medida em pontos



Balança de mola

diferentes da Terra. Nesse caso, se a balança for calibrada em Santos a aceleração da gravidade será maior que nos Andes e, portanto, para atingir o mesmo ponto (1 kg), os andinos irão receber mais peixe.

2. Sabendo que no SI a potência é dada em joule por segundo (J/s) e recebe o nome de watt, a unidade quilowatt-hora (kwh) que você recebe na sua conta de luz corresponde também a uma unidade de medida de potência?

## COMENTÁRIO SOBRE AS TIVIDADES

Não. A unidade muito usada na comercialização de energia elétrica, kWh, não corresponde a uma unidade de potência.

Vamos entender: essa unidade corresponde ao o trabalho executado por um sistema que fornece 1 quilowatt de potência durante uma hora, o que equivale a  $1000 \text{ watts} \times 1 \text{ hora}$  ou  $1000 \text{ joules/segundo} \times 3600 \text{ segundos}$  que dá  $3.600.000 \text{ joules}$  ou  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$

Isso é muita energia!

Por exemplo, um chuveiro tem uma potência de 6 kW. Se você gasta 20 minutos (1/3 de hora) para tomar um banho e admitindo que o 1 kWh custe R\$ 0,30 então você vai pagar:

$$6 \times 1/3 \times 0,30 = \text{R\$ } 0,60 \quad (\text{sessenta centavos})$$

Assim, você paga por energia e não por potência.

Penso que dá para tomar um bom banho em até 5 minutos e pagar uma conta menor!

Para apresentar os dados científicos corretamente devemos aprender e respeitar as regras existentes. A metrologia é também uma ciência, e faz com que qualquer pessoa possa compreender nossos resultados sem que precisemos demonstrá-los ao vivo. Hoje, basta escrevê-los corretamente!

**CONCLUSÃO****RESUMO**

Medir é necessário para que possamos quantificar o mundo ao nosso redor, para melhor compreendê-lo e usufruir de seus recursos. Medir é comparar quantidades semelhantes.

Essa medida é feita através de um padrão que define a unidade da grandeza física.

Sempre que medimos algo interferimos nele. Os efeitos da interferência na medida serão sobrepostos à sua precisão, que depende do instrumento de medida e do método de medida usados.

As unidades permitem aos cientistas unificar as medidas de dados científicos. Existem regras para expressar corretamente as medidas, de forma a assegurar que aquele dado seja apresentado honestamente e com precisão.

Depois de um início tumultuado, as medidas passaram por sistemas unificados. O sistema MKS é baseado no metro, no quilograma e no segundo. O Sistema Métrico Decimal adotou, inicialmente, três unidades básicas de medida: o metro, o litro e o quilograma. Depois esse sistema foi substituído pelo Sistema Internacional de Unidades - SI, que é sempre usado em ciência.

São consideradas sete grandezas fundamentais. No SI elas têm as seguintes unidades e símbolos:

Grandeza	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
intensidade de corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd

Atualmente as definições dessas unidades padrão são:

Metro: é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de  $\frac{1}{299792458}$

Quilograma: é a massa igual a  $5,0188 \cdot 10^{25}$  átomos de carbono 12 ( $^{12}\text{C}$ ). que é a massa do protótipo internacional do quilograma.

Segundo: o segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do césio 133 ( $^{133}\text{Cs}$ ).

Ampère: é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a  $2 \cdot 10^{-7}$  newton por metro de comprimento.

Kelvin: é a fração  $1/273,16$  da temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água.

Mol: é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12 ( $^{12}\text{C}$ ).

Candela: é a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície de  $1/600000$  metro quadrado de um corpo negro à temperatura de solidificação da platina sob pressão de 101325 newtons por metro quadrado.

Existem prefixos e potências que exprimem seus múltiplos e submúltiplos de forma a facilitar a representação.

Outros sistemas de unidades coexistem com o SI, sendo necessário convertê-los para o SI quando desejamos trabalhar com dados científicos.



## PRÓXIMA AULA

Agora que sabemos como representar nossos dados em unidades, como extrair deles a melhor informação? Se eles estiverem em grande quantidade como organizá-los? É isso que veremos na próxima aula. Tchau, e até mais!

---

## REFERÊNCIAS

FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B. e SANDS, M., **The Feynman lectures on Physics**, vol. 1, Addison Wesley, 2 ed 1964.

How stuff works - Site como tudo funciona. Disponível em <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/forca-potencia-torque-energia1.htm>>. Consultado em 01/03/2008.

IMPEM-SP - Site do Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.ipem.sp.gov.br/>>. Consultado em 01/03/2008.

INMETRO - Site do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Consultado em 01/03/2008.

MACEDO, C. A. **Apostila do curso de Introdução à Física da UFS**, São Cristóvão, 2006.

Sistema de unidades- site da Escola politécnica da USP. Disponível em <<http://www.hottopos.com/regeq13/docs/su.doc>>. Consultado em 01/03/2008.

VALERIO, M. E. G. **Notas de Aula do curso de Introdução à Física da UFS**. São Cristóvão, 2006.