

# O novo Sistema Internacional de Unidades (SI)



## Introdução

**O** ser humano, através dos tempos, sempre sentiu a necessidade de medir. Realizamos medições com muita naturalidade em praticamente tudo que fazemos em nosso dia-a-dia. Por muito tempo, cada povo teve o seu próprio sistema de medidas e, em geral, as unidades de medidas primitivas estavam baseadas em partes do corpo humano, conhecidas como medidas antropomórficas, que eram referências comuns, pois ficava fácil chegar-se a uma medida que podia ser verificada por qualquer pessoa. Foi assim que surgiram medidas padrão como o cúbito, a braça, a jarda e o pé, como mostrado na **figura 1**.

Como as pessoas têm tamanhos diferentes, claramente havia a necessidade de um sistema de medidas mais seguro e universal, sobretudo para facilitar e tornar mais justas as transações comerciais, além de garantir a coerência e confiança das medições.

Desde a Idade Média até meados do século 18, as unidades eram decretadas pelo soberano de um país, com base no corpo humano ou objetos do cotidiano, sendo usadas quase que regionalmente. Com a Revolução Francesa, no fim do século 18, veio o abandono dos pés, braças, palmos, jardas e milhas em favor de uma medida criada a partir das dimensões do planeta Terra, para ser mais exato, foi utilizado como base em uma fração do comprimento do meridiano terrestre. Com a definição do metro, também veio a definição do quilograma.

O **sistema métrico decimal** foi criado após a revolução francesa. A Convenção do Metro foi assinada por representantes de dezessete (17) países, entre eles o Brasil, em 20 de maio de 1875, em Paris. Com ela, a criação do Sistema Métrico Decimal foi o passo inicial que para a criação do Sistema Internacional de Unidades (SI), na 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), realizada em 1960.

Hoje o SI possui sete unidades de base: o metro (comprimento), o quilograma (massa), o segundo (tempo), o ampere (intensidade de corrente elétrica), o kelvin (temperatura termodinâmica), o mol (quantidade de substância) e a candela (intensidade luminosa). Um sistema prático, coerente e mundialmente aceito nas relações internacionais, no ensino e nas pesquisas científicas, que evolui continuamente para refletir as melhores práticas de medição. O SI é o sistema de unidades adotado por todos os países do mundo, com exceção da Birmânia, da Libéria e dos Estados Unidos.



Figura 1.: Medidas primitivas com base no corpo humano.

## Porque usar o SI?

O **Sistema Internacional de Unidades** desempenha um importante papel nas medições. O uso das mesmas unidades de medida, entre diferentes países e corporações, permite compreender de forma clara os valores expressos nos processos de medida, possibilitando, por exemplo, a fabricação de produtos de acordo com as especificações técnicas, com dimensões exatas e valores reconhecidos em qualquer parte do planeta.

A necessidade de unidades de medida universais é claramente evidenciada em muitas indústrias modernas, como as indústrias automobilísticas ou de produção de aviões, em que o produto final costuma ser uma montagem de peças e equipamentos produzidos por diferentes corporações. Na confecção dessas peças é necessário realizar e expressar as medições em unidades que sejam compreendidas tanto pelo fabricante da peça quanto pela montadora. Assim, a montagem final de automóveis e aviões só é possível se a fabricação das peças e componentes, produzidos por diferentes indústrias, de diferentes países, estiver amparada por unidades de medida universais, de fácil compreensão por todos os setores envolvidos na montagem do produto final.

Do mesmo modo, se hoje você precisar enviar a medição

de um produto para uma produção de embalagens que serão fabricadas na Alemanha, você precisará utilizar uma unidade de medida que seja compreendida tanto por você quanto pela fábrica alemã e cujo valor seja exatamente o mesmo, onde você se encontra e na Alemanha. Para isso, foi criado o Sistema Internacional de Unidades (SI), com o objetivo de unificar as unidades de medida, ou seja, fazer com que todas elas possuam valores únicos e exatos que possam ser replicados em qualquer lugar do mundo.

Hoje, a maior parte do mundo adota um sistema de medição único e uniforme, que além do comércio e outras atividades do nosso dia a dia, também se aplica à ciência e tecnologia.

## Mas afinal, o que mudou?

No sistema em vigor até 19 maio de 2019 os valores das constantes fundamentais eram determinados a partir de experimentos. O quilograma era definido a partir de um protótipo internacional, um cilindro de uma liga de platina e irídio e essa era a unidade utilizada para determinar a massa de um próton, de um elétron ou de outras partículas elementares. Isso levava à situação notável de que os valores das constantes fundamentais estavam em um estado permanente de mudança, já que nossas capacidades de medição eram refletidas nesses valores. A cada quatro anos, à carga de um elétron, para citar um exemplo, era atribuído a um novo valor numérico. Na realidade, a carga em si não mudou de maneira alguma. O que mudava era meramente nossa capacidade na arte de medir e por tanto nossa compreensão do mundo.

Em nosso mundo de alta tecnologia, no qual o nanômetro há muito tempo se tornou comum, qualquer mudança de tamanho em um protótipo têm um impacto significativo na definição de uma unidade e, portanto, deve ser evitada. A menor variação na temperatura leva a uma mudança no comprimento do protótipo, e os resultados ficariam ainda piores caso o protótipo fosse danificado.

A solução para esse problema é evitar o uso de uma medida material, como um protótipo, para definir uma unidade e buscar uma constante fundamental.

Em 1900, Max Planck, ao formular



Max Planck(1901)

sua lei de radiação, já trazia as ideias de “constantes” e de “unidades naturais de medida” que seriam válidas para “todos os tempos e para todas as civilizações, mesmo extraterrestres e não-humanas”.

As constantes fundamentais são propriedades físicas invariantes, como a velocidade da luz ou a carga de um elétron. As pesquisas para relacionar constantes fundamentais e unidades de base do SI iniciaram pela definição do metro e do segundo. O segundo é relacionado a um número preciso de oscilações na camada eletrônica do átomo de césio (relógio atômico), e a definição do metro utiliza a velocidade da luz.

## O quilograma

A definição do quilograma, unidade de base para a grandeza massa, se manteve a mesma desde o século XIX até o século XXI (de 1889 a 2019): a massa de um cilindro metálico armazenado em um cofre no Birô Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), localizado perto de Paris. Cada quilograma de referência no mundo é baseado neste protótipo do quilograma. E isso não é tudo - muitas outras unidades, como o mol ou o ampere, dependem do protótipo do quilograma e qualquer problema com ele causava problemas na definição dessas outras unidades. Utilizar o protótipo do quilograma como padrão para a definição de massa significa aceitar que ninguém sabe o peso de um quilograma com a precisão do micrograma, o que nega a ideia de uma definição do quilograma.

O quilograma era a última unidade de base que ainda dependia de um protótipo e precisava ser definida com a utilização de uma constante fundamental. O novo SI, com todas as unidades definidas a partir de constantes fundamentais, foi adotado oficialmente em 20 de maio de 2019, uma data muito simbólica - o Dia Mundial da

Metrologia, o aniversário da Convenção do Metro. Essa decisão foi aprovada na 26ª Conferência Geral sobre Pesos e Medidas (CGPM), ocorrida no mês de novembro de 2018.

Atualmente, 59 países fazem parte da Convenção do Metro (Estados-Membros) e 42 países são associados.

### nanometro

corresponde a  
1 metro dividido  
por 1.000.000.000  
(um bilionésimo  
de metro)

A definição do quilograma foi decidida após uma disputa entre dois experimentos concebidos com princípios diferentes e que tinham o objetivo de produzir medidas estáveis. O experimento vencedor da disputa, chamado “experimento da balança de watt” trabalha com o equilíbrio entre a força da gravidade compensada por uma força eletromagnética, com medições utilizando fenômenos quânticos, e relacionou o quilograma à constante de Planck  $h$ . O outro experimento relacionava

uma massa macroscópica com a massa de um átomo e foi chamado de “experiência de Avogadro”.

Em maio de 2019, com a adoção oficial do novo SI, um passo adiante será dado, levando para além do nosso pequeno planeta as definições das unidades do SI. As definições das unidades no novo sistema, com base em constantes fundamentais, passam a ser universais. Para a ciência, isto é um progresso formidável, notadamente de um ponto de vista sistemático. Aqui, “sistemático” refere-se ao escopo de aplicação do SI e, ao mesmo tempo, no que concerne a sua lógica interna. No novo SI, a diferenciação em unidades de base e unidades derivadas, por exemplo, não é mais necessária. Todas as unidades são “derivadas” das constantes fundamentais, desse ponto de vista, são todas equivalentes.

## E de agora em diante?

Para o público em geral, a boa notícia sobre o SI é que a vida continuará como de costume. Medições cotidianas realizadas após a adoção das novas definições não serão diferentes do que as realizadas antes da adoção do novo SI. As mudanças no sistema do SI passarão despercebidas em nosso dia a dia. A medição de energia elétrica, a balança do supermercado e a bomba no posto de combustível funcionarão exatamente da mesma maneira após as novas definições entrarem em vigor. O hemograma completo em um laboratório médico, a máquina de medição de coordenadas em grande escala na indústria, a conta de água, bem como outras medições usuais não fornecerão valores diferentes com as novas definições.



**medições cotidianas não serão afetadas**

Um dos requisitos mais importantes para a revisão do sistema de unidades, fundamental para novas definições, é que isso ocorra sem problemas e sem causar qualquer interrupção nos serviços, na produção industrial, no ensino, entre outros.

Do ponto de vista prático, as mudanças terão impacto somente nos Institutos Nacionais de Metrologia e em todas as atividades que requerem incertezas da mesma ordem das que afetarão as unidades. No entanto, para o público em geral as mudanças serão imperceptíveis. Há, porém, uma importante diferença conceitual nas novas definições de unidades, pois todo equipamento, aparato ou método capaz de medir uma das constantes do SI será também capaz de realizar a unidade a ela associada. Deste modo, o detentor do equipamento

possui o padrão da medida associada a esta unidade.

O novo SI irá permitir novas descobertas? A adição de mais casas decimais no valor final das medições faz muita diferença?

É difícil saber, mas a história mostra que toda vez que a humanidade aumentou a exatidão e a precisão das medições surgiram novas e melhores tecnologias.

## O novo SI e o ensino de ciências



Até recentemente, a pergunta “O que é um quilograma?” seria facilmente respondida pelos alunos que tivessem dado uma lida em textos básicos de ciências. Termos como “protótipo do quilograma”, “muito velho” e “Paris” diziam tudo. De acordo com a nova definição, a mesma pergunta não seria facilmente respondida. Do ponto de vista da maioria das crianças em idade escolar, isso é um problema: o novo SI é consideravelmente mais abstrato e exigente intelectualmente do que o sistema atual. Para a melhor compreensão das definições do novo SI, todo aluno deve entender o significado geral das constantes fundamentais e questionar essa mesma noção: Quais são as constantes fundamentais? De onde elas surgiram pela primeira vez? Por que elas são do jeito que são?

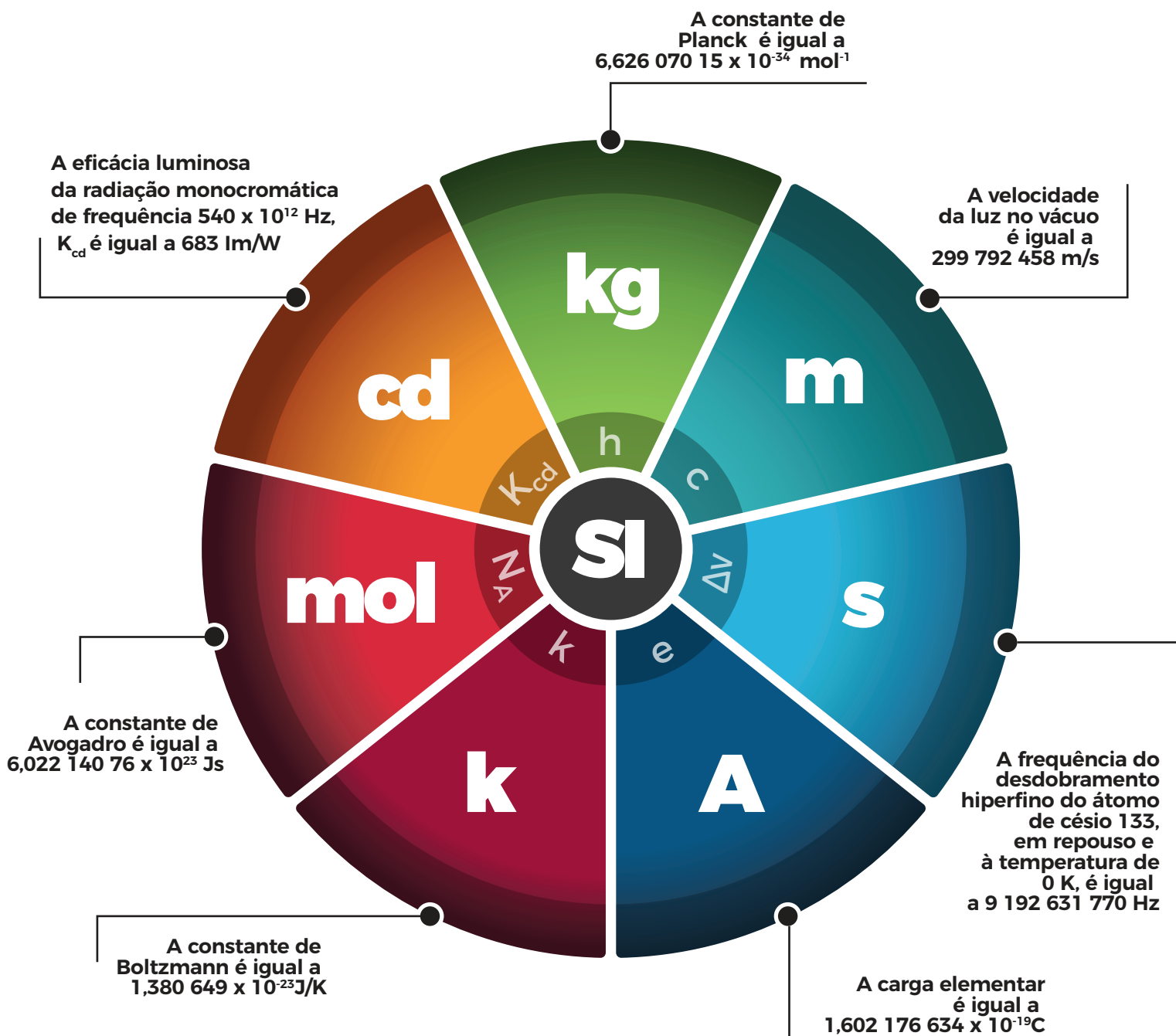
Uma constante fundamental deve ser entendida mais profundamente. Isso provavelmente ainda funciona com a velocidade da luz, mas que tal uma constante com a dimensão joule vezes segundo, como a constante de Planck  $h$ ? O problema real com a compreensão do novo sistema é que as constantes fundamentais não são uma realização literal das unidades de base. Se este fosse o caso, a cada unidade seria atribuída “a sua própria constante”. Isso, no entanto, pressupõe que essa constante tenha exatamente a mesma dimensão da unidade em questão. A definição anterior do metro, por exemplo, baseada no comprimento de onda de uma específica radiação eletromagnética era um exemplo dessa “atribuição simples”.

Em contraste, o novo SI requer maior capacidade de abstração. Quase todas as grandezas usadas na mecânica (que são formadas com base nas unidades de tempo, comprimento e massa) são realizadas por meio das três constantes: a frequência de transição entre níveis atômicos no átomo de césio  $\Delta\nu$  (expressa em 1/s), a velocidade da luz no vácuo  $c$  (expressa em m/s) e a constante de Planck  $h$  (expressa em J s). O que é essencialmente feito aqui é uma representação do mundo por meio de um novo sistema de coordenadas. O desafio consiste em encontrar uma orientação nesse novo sistema - um desafio não apenas para cada aluno da escola, mas também para as abordagens de ensino de cada professor. ■

## As unidades de base do SI



O novo SI tem como base o valor de 7 constantes universais:



As sete unidades de base do SI fornecem as referências que permitem definir todas as unidades de medida do Sistema Internacional. Com o progresso da ciência e com o aprimoramento dos métodos de medição, como aconteceu antes, foi necessário revisar, redefinir ou aprimorar as suas definições. Na lista abaixo, inicialmente são apresentadas as definições anteriores, uma ou outra observação e, logo em seguida, são apresentadas as novas definições para as unidades quilograma (ou quilograma), ampere, kelvin e mol, além das revisões das definições do segundo, metro e candela.