

**Professora: Tâmara Santos**

**Aluno(a):** \_\_\_\_\_

**Disciplina: Física**

**Série: 1<sup>o</sup> (A/B)**

**AS 7 UNIDADES DE BASE DO SI (ATUALIZADAS CONFORME A 26<sup>a</sup> CGPM)**



A escolha e definição das unidades básicas é determinada por convenção entre os Estados membros do BIPM (Bureau International de Poids et Mesures). Eles estão sujeitos a um contrato por escrito, que é então acompanhado pelas chamadas aplicações práticas. Colocar uma definição em prática e uma série de instruções, geralmente discutidas por um comitê consultivo antes de serem publicadas pelo BIPM, que permite a realização concreta dessa definição, com as melhores qualidades

metrologicas possíveis.

Para a disseminação das unidades e a calibração dos dispositivos de medição, realizamos padrões: são artefatos materiais ou dispositivos experimentais que materializem a unidade de uma quantidade física, com um valor conhecido e uma precisão que pode ser maior ou menor. Por ocasião da redefinição de quatro delas, que entrou em vigor em 20 de maio de 2019, as sete unidades básicas do SI viram sua definição reformulada, conforme vamos ver. Na história das unidades de medida, não é a primeira vez que uma definição é modificada, mas o redesenho atual do SI é de uma escala particularmente excepcional.

Entre as sete unidades básicas do sistema internacional, o segundo, o metro e a candela não foram alteradas em 2019. No entanto, suas definições são reescritas com uma nova formulação, isto é, "com a constante explícita".

No nosso curso de mecânica usaremos as grandezas de comprimento, massa, tempo e temperatura e elas terão suas definições apresentadas a seguir. Visto que o novo S.I entrou em vigor em 20 de maio de 2019 os livros didáticos

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

ainda não foram atualizados e se faz necessário a confecção desta apostila com as informações atualizadas.

## 1. Medindo Comprimento – o metro



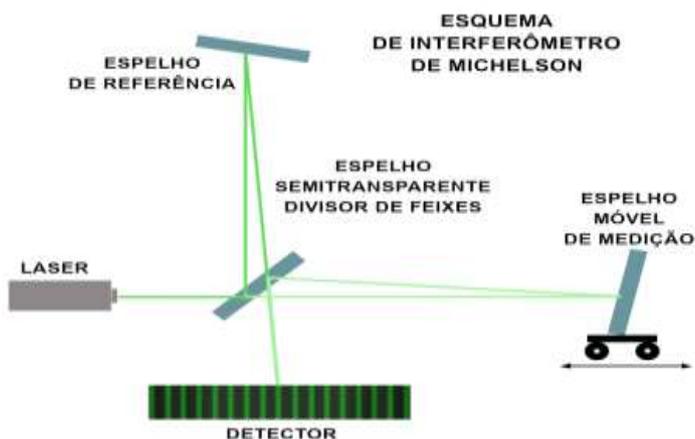
De todas as grandezas físicas, o comprimento é a que nos é a mais familiar, a mais intuitiva, e também a mais fácil de lidar. A unidade SI para medir comprimento é, como todo mundo sabe, o metro. Se compararmos a definição do metro com as definições das demais unidades de base do SI, veremos que ela é a mais amigável.

O metro é definido como o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo. (Unidade de Base ratificada pela 17ª CGPM – 1983).

Hoje, para realizar o metro em laboratório, são utilizados modernos lasers, relógios atômicos e interferômetros.

## Reescrita da Definição do Metro

Por época da definição do metro (1983) a velocidade da luz no vácuo também já havia sido definida e estabelecida como sendo a constante  $c$ , cujo valor exato é  $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$  (metros por segundo). A partir daí, bastou inverter essa relação. A expressão  $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$  passa a ser  $1\text{ m} = (c/299\,792\,458)\text{ s}$ . Assim, o metro pode ser expresso em função das constantes  $\Delta\nu_C$ s (que define o segundo) e  $c$  (velocidade da luz no vácuo)



Esquema para determinação do metro

O laser produz radiação eletromagnética (luz) monocromática (comprimento de onda bem definido), coerente (fótons do feixe de luz em fase) e colimada (feixe de ondas praticamente paralelas). Os lasers modernos são capazes de emitir luz em comprimentos de onda conhecidos com uma incerteza relativa próxima da do oscilador de césio, que é usado para realizar a unidade de tempo

(segundo). O uso do laser permite a medição de comprimento (1), por interferometria, em função de um número  $b$  de comprimentos de onda ( $\lambda$ ), como na equação:  $l = \lambda \times b$ . Ou seja, o comprimento que se quer determinar é igual ao número de ondas cujo comprimento é conhecido.

O interferômetro é composto por espelhos e sensores, e baseia-se na interferência de dois feixes de luz provenientes da mesma fonte, no caso, o laser. Ao atravessar um divisor, o feixe é separado em dois, e cada um percorre um caminho diferente. Após a sua reflexão em espelhos colocados estrategicamente, os feixes são recombinados no divisor, gerando um padrão de interferência composto por franjas regularmente espaçadas. Contando o número de franjas é possível determinar a distância percorrida pelo espelho móvel. O valor de referência é dado pelo comprimento de onda (ou frequência) do feixe de luz do laser.

## 2. Redefinição o quilograma e a Balaça de Kibbl



Até recentemente o quilograma (ou kilograma) era definido como sendo a massa do protótipo internacional, também conhecido como IPK ou “Le Grand K”, como dizem os franceses. O protótipo fica

guardado no BIPM – Bureau International de Poids et Mesures, na França. Se alguém quisesse explicar o que era o quilograma, bastava mostrar o tal protótipo e dizer: Isto é um quilograma. A massa deste objeto, e só deste objeto, é exatamente igual a um quilograma.

## Balança de Kibble ou de watt



Eletroímãs geram um campo magnético. Eles costumam ser usados em guindastes para levantar e mover grandes objetos de metal, como carros, em ferrovias. A atração do eletroímã, ou seja, a força que ele exerce, está diretamente relacionada à quantidade de corrente elétrica que passa por suas bobinas. Existe, portanto, uma relação direta entre eletricidade e peso.

Ou seja, a princípio, os cientistas podem definir um quilograma, ou qualquer outra unidade de peso, em termos da quantidade de eletricidade necessária para neutralizar sua força.

Há uma grandeza que relaciona peso à corrente elétrica, chamada constante de Planck - em homenagem ao físico alemão Max Planck, representada pelo símbolo  $h$ .

O problema é que o IPK começou a apresentar variações na sua massa, pequeníssimas, na verdade, mas suficientes para desmoralizar o pobre protótipo. O jeito foi redefinir o quilograma, desta vez com base em uma constante da física. Depois de anos de pesquisa escolheu-se a constante de Planck, cujo símbolo é  $h$ . Assim, a partir de 20 de maio de 2019, a definição antiga foi abandonada e substituída pela seguinte:

O **quilograma** é definido tomando-se o valor numérico fixo da constante de Planck  $h$  como sendo  $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$  quando expresso na unidade J s, a qual é igual a  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$  quando o metro e o segundo são definidos em termos de  $c$  e  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ . (Unidade de Base ratificada pela 26ª CGPM – 2018).

Bom, parece que a definição antiga era bem mais fácil de compreender. Vamos explicar melhor.

O joule (símbolo J) é a unidade SI para energia e trabalho, e o segundo (símbolo s) é a unidade SI para tempo. O  $c$  é o símbolo da constante “velocidade da luz”, e  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  é a “frequência do césio”. E como J s pode ser escrito em termos de  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ , então temos que  $h = 6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-1}$ . Invertendo os termos dessa expressão pode-se isolar o kg, assim:

$$1 \text{ kg} = \left( \frac{h}{6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}} \right) \text{ m}^2 \text{ s}$$

Até aqui, tudo bem. Só que  $h$  não apresentava, até então, um valor exato, ele precisava ser obtido experimentalmente, enquanto o kg era, exatamente e por definição, a massa do IPK.

O que os cientistas fizeram foi inverter essa situação. Primeiro, tendo o IPK como referência, definiram o valor de  $h$  da maneira mais precisa possível, e fixaram o valor  $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ J s}$  como sendo **exatamente** o valor de  $h$ . Com essa operação a incerteza deixou a constante de Planck e passou para o quilograma. Como consequência o IPK deixou de representar, exatamente, um quilograma e passou a ser apenas mais um padrão de massa, definido experimentalmente como todos os demais, embora de elevada qualidade metrológica.

Com isso o quilograma passa a ser definido em termos das três constantes cujo valor é considerado exato:  $c$  (velocidade da luz, usada para definir o metro);  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  (frequência do césio, usada para definir o segundo) e  $h$  (a constante de Planck).

Esses cientistas, hein? Que espertos!

Na prática, a nova definição do quilograma permite que qualquer laboratório adequadamente equipado possa “realizar o quilograma”, ou seja, produzir um padrão de elevada qualidade metrológica, sem ter que compará-lo ao IPK. Naturalmente, todos os padrões de massa em uso atualmente (inclusive o IPK) continuam valendo, pois não houve alteração na “unidade quilograma”, apenas no modo de defini-la e realizá-la. E paramos por aqui, com a esperança de ter esclarecido melhor a coisa.

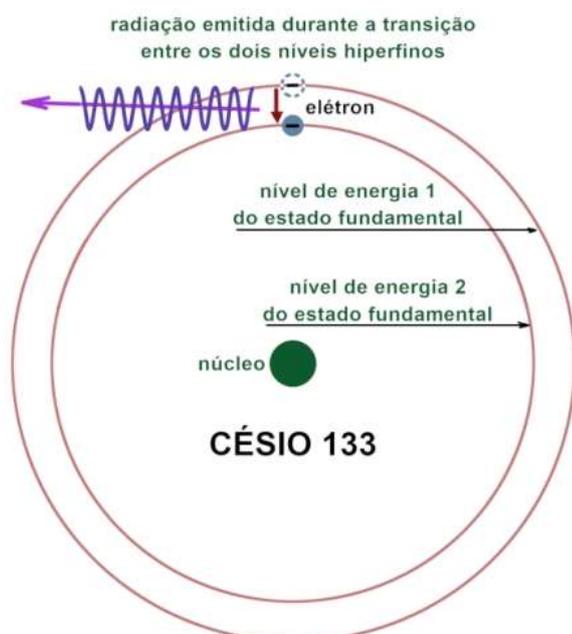
### 3. Medindo Tempo: o segundo



O **segundo** é definido como sendo a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133. (Unidade de Base ratificada pela 13ª CGPM – 1967.)

Definição aparentemente espinhosa, essa! Mas veja:

O átomo de Césio 133 (símbolo Cs) foi escolhido por ter radiação de alta frequência e por ser estável. A transição entre os níveis hiperfinos, ou seja, a diferença de energia entre os níveis é o  $\Delta v$ . Frequência é dada em hertz. Assim, a definição implica a relação exata  $\Delta v_{Cs} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$  (que é uma constante da física).



No modelo atômico atualmente aceito, as órbitas dos elétrons correspondem a níveis de energia. Para mover-se entre os níveis os elétrons precisam absorver ou liberar uma certa quantidade de energia na forma de radiação eletromagnética, cuja frequência depende da diferença de energia entre os dois níveis ( $\Delta v$ ). A essa transição dá-se o nome de “salto quântico”.

No caso do átomo de césio (símbolo Cs), conforme mostra a ilustração, a frequência ( $\Delta v_{Cs}$ ) é da ordem de 9 192 631 770 períodos, ou seja, hertz. Pois bem, o que a definição diz é que o segundo é o

tempo equivalente à duração desses períodos de radiação! Com isso, tanto o segundo (unidade de tempo) quanto o hertz (unidade de frequência) foram definidos numa única tacada.

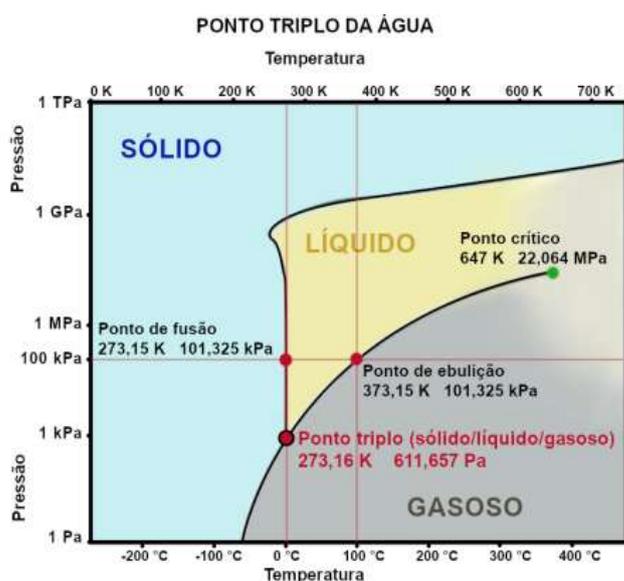
#### 4.. Medindo Temperatura – o kelvin

Temperatura é uma grandeza que nos é bem familiar, e a nossa capacidade natural de perceber calor e frio é o nosso padrão de referência. Medir temperatura, entretanto, é um pouco mais complicado. Estamos habituados a medir temperatura em grau Celsius, unidade “em uso com o SI”. Porém, neste post, vamos tratar da unidade de base do SI para temperatura termodinâmica, o kelvin.

O **kelvin**, símbolo **K**, é definido tomando-se o valor numérico fixo da constante de Boltzmann  $k$  como sendo  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$  quando expresso na unidade  $\text{J K}^{-1}$ , a qual é igual a  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$  onde o quilograma, o metro e o segundo são definidos em termos de  $h$  (constante de Plank),  $c$  (constante da velocidade da luz) e  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  (valor da frequência do céσιο). (Unidade de Base ratificada pela 26ª CGPM – 2018).

Por esta definição  $k = 1,380\ 649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$  exatamente. A inversão dessa relação fornece uma expressão exata para o kelvin em termos das constantes definidoras  $k$  (*constante de Boltzmann*),  $h$  (*constante de Planck*),  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  (*variação do céσιο*):

$$1 \text{ K} = (1,380649/k) \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$



A temperatura é proporcional à energia cinética média das moléculas de um sistema, de modo que quanto mais “agitadas” estão as moléculas, maior a sua energia térmica, e a constante de Boltzmann relaciona a energia (em joule) com a temperatura (em kelvin). Já vimos essa estratégia antes. Ao se atribuir um valor exato e fixo à constante, o referencial físico antes considerado deixa de ser exato e passa a ser definido experimentalmente. No caso, esse referencial é o ponto triplo da água, isso porque a definição anterior de kelvin havia fixado a temperatura do ponto triplo da água como, exatamente, 273,16 K.

Por conta disso pode-se expressar a temperatura termodinâmica em termos da sua diferença em relação ao ponto de fusão do gelo (273,15 K à pressão de 101,325 kPa). Essa diferença é chamada temperatura Celsius. Como a unidade grau Celsius (símbolo °C) tem, por definição, magnitude igual à unidade kelvin, a conversão entre elas é imediata. Basta subtrair o valor numérico de 273,15 da temperatura expressa em kelvin para obter o equivalente em grau Celsius.

### O Que Muda na vida do cidadão comum?

O cidadão comum não notara nenhuma mudança na vida cotidiana. Comprar um quilo de bananas ou batatas será o mesmo de antes das redefinições. O principal impacto é onde as medições precisas são um pré-requisito básico, como em ciência, engenharia, indústria, saúde e comércio.

Além disso, medições precisas e rastreáveis contribuem para um melhor gerenciamento de recursos, crescimento sustentável, um ambiente limpo e um mundo melhor para viver.

### Regras para escrita dos nomes e símbolos das unidades

SI O Sistema Internacional de unidades define várias regras, dentre elas consta a forma de representar suas unidades, seja em símbolos, na forma escrita ou abreviada. Conhecendo essas regras você evita cometer erros que são bastante comuns no nosso dia a dia, como por exemplo ir à padaria e pedir duzentas gramas de queijo... O SI define que quilograma, seus múltiplos e submúltiplos pertencem ao gênero masculino, então o correto é você dizer duzentos gramas de queijo.

- ✓ Os símbolos devem ser expressos com letras minúsculas e em caracteres romanos. Ex.: metro (m), segundo (s) As exceções são as letras gregas  $\mu$  (micron) e  $\Omega$  (ohm).
- ✓ Se o nome da unidade é um nome próprio, a primeira letra do símbolo é maiúscula, porém, escreve-se por extenso com letra minúscula. Ex.: pascal (Pa), kelvin (K) Exceção: grau Celsius (°C).
- ✓ Os símbolos das unidades não têm plurais e não devem seguidos por pontos. Ex.: 10 kg, 500 m. Quando escritas por extenso, acrescenta-se no plural das unidades apenas a letra “s” ao final da mesma. Ex.: 10 pascals.
- ✓ Não se deve usar mais de uma barra inclinada, para evitar ambiguidades. Utilizar parênteses ou potências negativas. Ex.:  $m/s^2$  ou  $m.s^2$  e nunca  $m/s/s$
- ✓ Como já dissemos, o quilograma, seus múltiplos e submúltiplos pertencem ao gênero masculino. Ex.: duzentos quilogramas, um grama



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
COLÉGIO DE APLICAÇÃO**

**Av. Marechal Rondon S/N, Rosa Elze. CEP: 49100-000  
(79) 3194-6930/6931 – [direcao.codap@gmail.com](mailto:direcao.codap@gmail.com) –**



- ✓ Nas medidas de tempo o correto - 5 h 14 min; 3 h 30 min 15 s; 2 h. Nunca utilizar - 5:14 h; 3 h 30' 15''; 3:30:15 h

Obs.: a hora (h) e o minuto (min) não são unidades do SI. Não misturar nome com o símbolo.

Correto: quilômetro por hora ou km/h Errado: km/hora ou quilômetro/h

**Referências:**

1. <https://ipemsp.wordpress.com/2010/02/02/as-7-principais-unidades-de-medida/>
2. <http://bom.org.br:8080/jspui/bitstream/2050011876/235/1/10%20SI%20-%20Regras%20para%20escrita%20dos%20nomes%20e%20s%C3%ADmbolos%20das%20unidades.pdf>