

Escola NeoTradicional

O Ensino Centrado
na Avaliação do Conteúdo

FÍSICA

Capítulo 1 - Medição -

Prof. Dr. Sanderson Pereira da Silva

Manaus/AM, 09/2015 - 11/2022

1.1 – A Física como Ciência Fundamental

Nos séculos XVI e XVII – mediante os trabalhos de Copérnico, Kepler, Galileu, Descartes e Newton –, começa a impor-se um novo modelo de conhecimento que terá uma posteridade extraordinária: a **ciência moderna da natureza**. Essa nova ciência baseia-se na união da matemática com a experiência, ou seja, com a observação controlada.

- **Experiência:** visa reproduzir um determinado fenômeno (natural / artificial) sob condições controladas, em busca de estabelecer uma **lei**, ou seja, uma relação matemática entre as características mensuráveis (grandezas) envolvidas no fenômeno. Portanto, na ciência, uma lei não é uma explicação do fenômeno, mas sim uma relação matemática entre as grandezas observadas.
- **Matemática:** fornece aos cientistas uma linguagem rigorosa para descrever os fenômenos. Quando as ideias da ciência são expressas em termos matemáticos, elas não são ambíguas; a matemática é a linguagem da ciência.

A **física** versa sobre conceitos fundamentais, como referencial, posição, movimento, forças, energia, matéria, calor, som, luz, o interior dos átomos *etc.* A **química**, por sua vez, versa sobre como se combinam os átomos para formar as moléculas, e sobre como estas se combinam para formar a variedade da matéria que nos cerca. Por fim, a **biologia** é mais complexa, uma vez que envolve a matéria que é vida.

Assim, a biologia tem sua base na química, enquanto que a química tem sua base na física. Os conceitos da física fundamentam essas ciências mais complexas. É por essa razão que a física é mais do que um ramo das ciências da natureza. A física é a **ciência fundamental**. Uma compreensão da ciência inicia com uma compreensão da física, sendo a mesma a espinha dorsal de todas as outras disciplinas científicas.

Não podemos avaliar direito tudo o que nos cerca até que tenhamos compreendido as **leis da natureza**. A física é um estudo dessas leis, que nos mostrará como tudo na natureza está maravilhosamente conectado. Assim, estudar física significa aperfeiçoar a maneira como se enxerga o mundo.

A **ciência** e **tecnologia** também diferem entre si. Enquanto a ciência está interessada em reunir conhecimentos e organizá-los, a tecnologia leva os humanos a usarem aquele conhecimento com propósitos práticos, fornecendo as ferramentas necessárias para que os cientistas avancem mais ainda em suas explorações.

1.2 – Grandezas Físicas – Fundamentais e Derivadas

Conforme dito anteriormente, denominamos de **grandezas físicas** as características de um fenômeno físico que podem ser mensuradas, enquanto que denominamos de **leis físicas** as possíveis diferentes relações entre as mesmas que, sob determinadas condições, tem validade geral. Neste sentido, podemos afirmar que *as grandezas físicas são como “os blocos constituintes” do universo da física*.

Embora nos primórdios da ciência moderna da natureza a definição e medição das diferentes grandezas físicas tenham sido um tanto arbitrárias, muitas delas variando de país para país e, muitas vezes, até de cidade para cidade, o avanço tecnológico da civilização começou a exigir métodos cada vez mais exatos e universais.

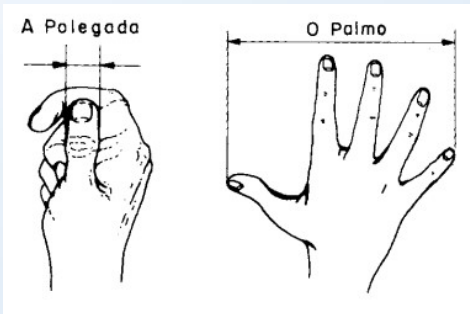
Entretanto, somente no final do século XVIII é que foi criado, na França, um Bureau de Pesos e Medidas responsável por estabelecer os critérios mais exatos e universais possíveis para a medição das grandezas físicas. Assim, conforme o avanço na área da medição ocorria, ficou constatado que 7 (sete) das grandezas físicas poderiam ser consideradas independentes entre si, sendo as demais derivadas da combinação entre as primeiras.

Nascia, então, o **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, o qual define somente **7 (sete) grandezas fundamentais**, cada uma das quais com sua própria unidade padrão de medida. *Na verdade, medir tais grandezas fundamentais seria mais do que um ato de comparação com suas correspondentes unidades fundamentais, a própria definição de tais grandezas estaria atrelada ao ato de medir, passando a ser, portanto, uma definição operacional.*

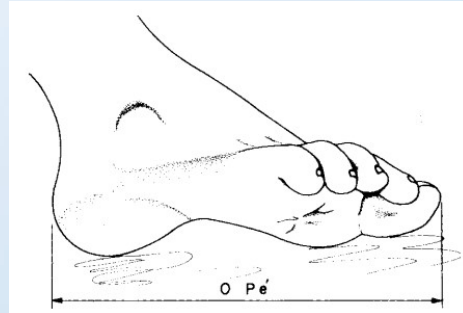
Portanto, convencionou-se denominar de **grandezas fundamentais** as 7 (sete) grandezas detentoras de uma **unidade padrão de medida**, e de **grandezas derivadas** àquelas obtidas por combinações das primeiras.

As medidas são um indicador da boa ciência. O quanto você conhece sobre algo depende de quão bem você pode medir.

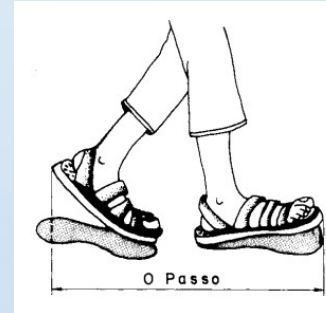
I.2.A – Um breve histórico das medidas - comprimento



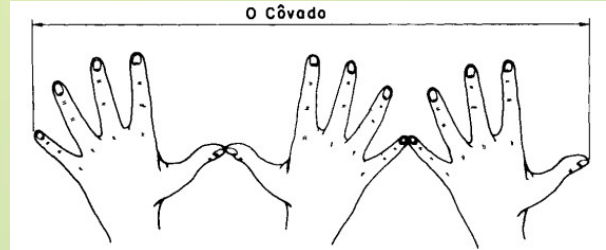
1 inch (polegada) = 2,54 cm



1 ft (pé) = 30,48 cm

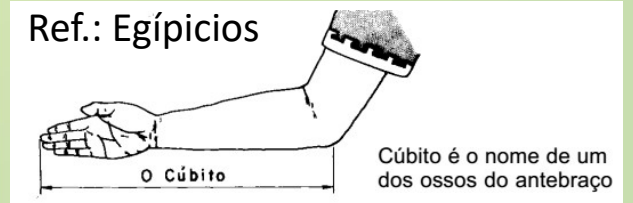


Ref.: Bíblia - Arca de Noé

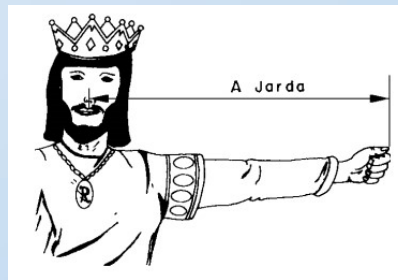
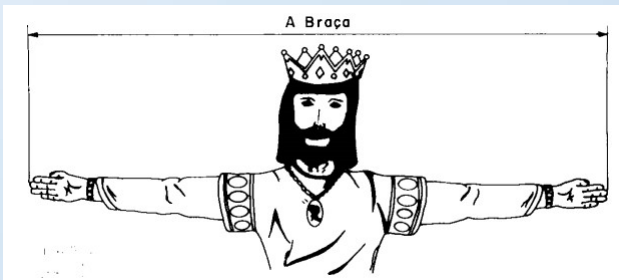


~66 cm

Ref.: Egípcios



cúbito-padrão → gravado nos templos



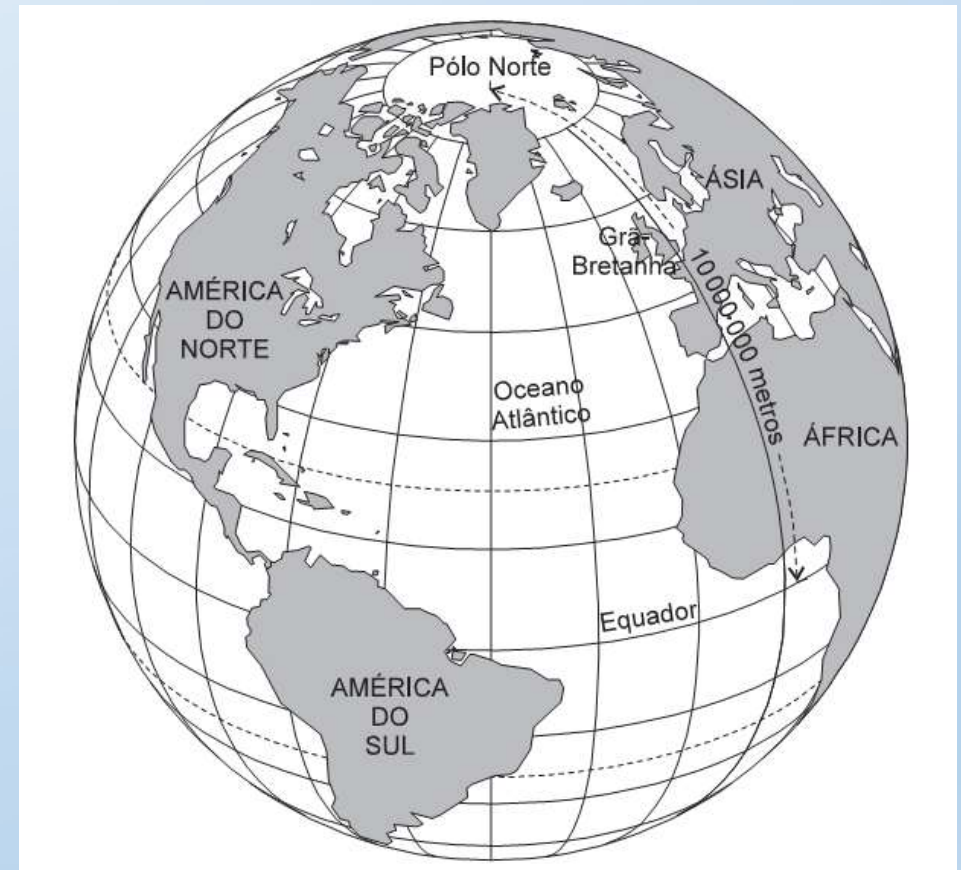
1 yd (jarda) = 91,440 cm

Inglaterra (séculos XV e XVI): os padrões mais usados para medir comprimentos eram a **polegada**, o **pé**, a **jarda** e a **milha**.

França (século XVII): Toesa (~182,9 cm) → foi padronizada em uma barra de ferro com dois pinos nas extremidades e, em seguida, chumbada na parede externa do Grand Chatelet, nas proximidades de Paris. Dessa forma, assim como o cúbito-padrão, cada interessado poderia conferir seus próprios instrumentos.

França (século XVIII): Início da ideia de usar as características imutáveis e universais da Terra como unidade de medida.

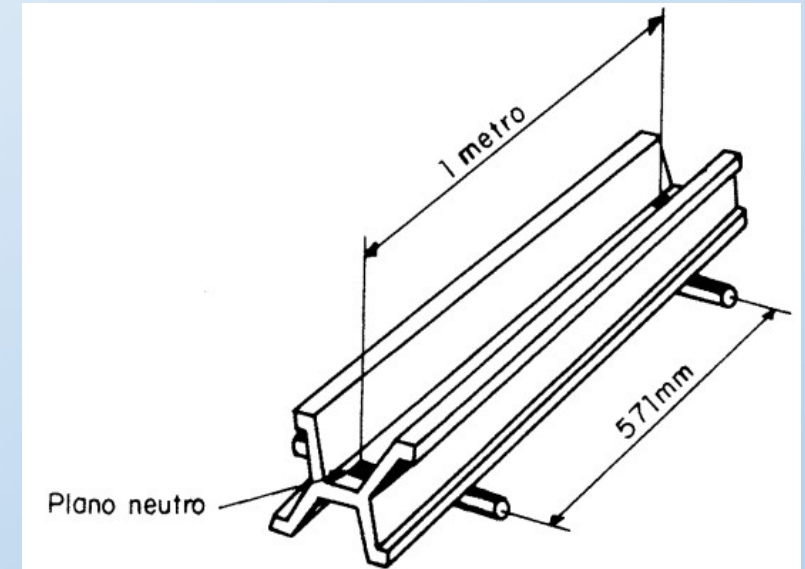
França (1790): metro é igual à décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre, cuja distância foi materializada numa barra de platina de secção retangular de 4,05 x 25 mm, denominada de **metro dos arquivos**.



França (século XIX): Uma medição mais precisa do meridiano levou a uma medida mais precisa do metro, e, portanto, a um novo metro dos arquivos, que passou a ser tomado como uma segunda definição do próprio metro: **metro** é a distância entre os dois extremos da barra de platina depositada nos Arquivos da França e apoiada nos pontos de mínima flexão na temperatura de zero grau Celsius.

França (1875): Criação do “Bureau International des Poids et Mesures” (BIPM) por 17 países.

BIPM (1889): Para aperfeiçoar o sistema, fez-se um outro padrão, que recebeu seção transversal em X, para ter maior estabilidade, uma adição de 10% de irídio, para tornar seu material mais durável e dois traços em seu plano neutro, de forma a tornar a medida mais perfeita. Assim, surgiu a terceira definição: **metro** é a distância entre os eixos de dois traços principais marcados na superfície neutra do padrão internacional depositado no BIPM, na temperatura de zero grau Celsius e sob uma pressão atmosférica de 760 mmHg e apoiado sobre seus pontos de mínima flexão.



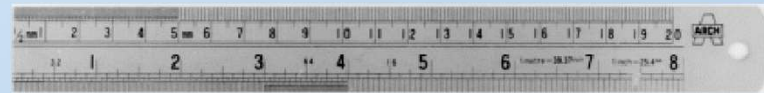
BIPM (1960): com o avanço da ciência e tecnologia, uma quarta definição foi estabelecida, baseada, desta vez, nas características imutáveis e universais dos átomos e da luz: **metro** é o comprimento de **1.650.763,73** comprimentos de onda de uma certa luz vermelho-alaranjada da luz emitida por átomos de criptônio em um tubo de descarga de gás.

BIPM (1983): Por fim, hoje o padrão do metro é baseado na velocidade da luz no vácuo, que assim definiu o metro: **metro** é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de $\frac{1}{299.792.458}$ do segundo. Este intervalo de tempo foi escolhido para que a velocidade da luz c seja igual a **$c = 299.792.458 \text{ m/s}$** .

Como as medidas de tempo e da velocidade da luz haviam se tornado extremamente precisas, fazia sentido usar ambas redefinir o metro.

É importante observar que todas essas definições somente estabeleceram com maior exatidão o valor da mesma unidade: o **metro**.

Na prática, o metro utilizado em laboratórios, indústrias, comércio e no uso do dia-a-dia no mundo todo, são cópias do metro original fabricadas em diferentes precisões, e calibradas na temperatura de referência de **20°C**.



Histórico das Medidas:

Corpo humano → Terra → Características Imutáveis e Universais

1.2.B – Um breve histórico das medidas - tempo

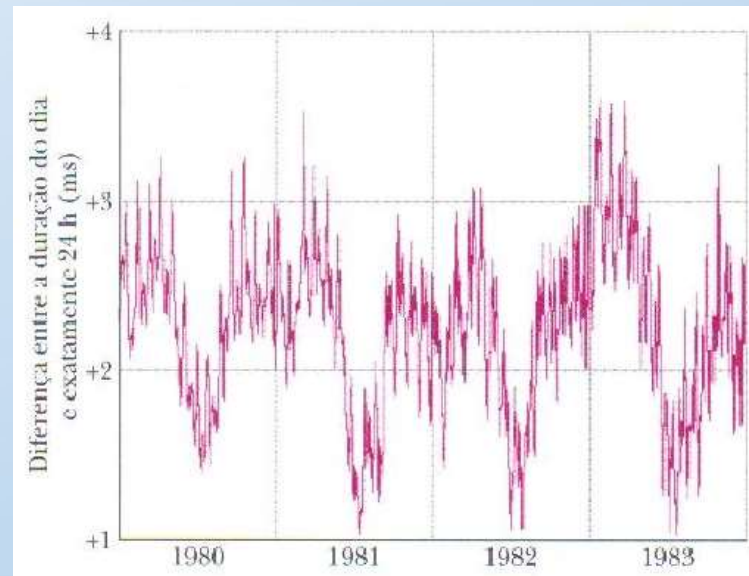
Qualquer padrão de tempo deve ser capaz de responder a duas perguntas: “Quando isso aconteceu?” e “Quanto tempo isso durou?”.

Qualquer fenômeno repetitivo pode ser usado como padrão de tempo: dia / noite – rotação da terra; estações do ano; Sol; ciclos da Lua; ciclo das estrelas; Clepsidra (**salto conceitual** – antigo Egito); relógio mecânico; e relógio atômico.

BIPM (antes de 1967): o padrão do tempo foi definido em termos do dia solar médio relativo ao ano de 1900. Desta forma, o segundo solar médio, ou, simplesmente, o segundo, foi definido como $\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{24}\right)$ de um dia solar médio. Entretanto, como já se sabia que a rotação da Terra variava levemente com o tempo, seu movimento não era ainda o ideal para definir o padrão de tempo.



BIPM (1967): com o avanço da ciência e tecnologia, o padrão do tempo foi redefinido para levar vantagem da alta precisão obtida num mecanismo conhecido como um relógio atômico. Neste mecanismo, as frequências associadas com certas transições atômicas podem ser medidas com a precisão de uma parte em 10^{12} . Isto é equivalente a uma incerteza de menos do que um segundo a cada 30 000 anos. Assim, temos: o **segundo** é definido atualmente como o intervalo de tempo de 9 192 631 770 oscilações de uma radiação eletromagnética específica emitida pelo átomo de césio-133.



1.2.C – Um breve histórico das medidas - massa

BIPM (1887): O padrão de massa é um cilindro de platina-irídio, ao qual foi atribuída, por acordo internacional, a massa de 1 quilograma. Cópias precisas desse cilindro foram enviadas a laboratórios de padronização de outros países, e as massas de outros corpos podem ser determinadas comparando-os com uma dessas cópias.

Um segundo padrão de massa: As massas dos átomos podem ser comparadas entre si mais precisamente do que com o quilograma padrão. Por essa razão, temos um **segundo padrão de massa**, o átomo de carbono-12, ao qual, por acordo internacional, foi atribuída uma massa de 12 unidades de massa atômica (u). A relação entre as duas unidades é a seguinte:

$$1 u = 1,660\,538\,86 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

com uma incerteza de ± 10 nas duas últimas casas decimais. Os cientistas podem determinar experimentalmente, com razoável precisão, as massas de outros átomos em relação à massa do carbono-12.



OBS: Definição modificada a partir de 2019.
Link: <https://youtu.be/jWOMX1nqaDw>

1.2.D – Grandezas Fundamentais (SI)

MECÂNICA

GRANDEZAS FUNDAMENTAIS	UNIDADES		
	NOME	SÍMBOLO	DEFINIÇÃO
comprimento	metro	m	"... a distância percorrida pela luz no vácuo em 1/299.792.458 de segundo." (1983) (*)
massa	quilograma	kg	"... este protótipo [um certo cilindro de platina-irídio] será considerado daqui em diante como a unidade de massa." (1889)
tempo	segundo	s	"... 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." (1967)
corrente elétrica	ampère	A	"... a corrente constante que, se mantida em dois condutores paralelos retos de comprimento infinito, de seção transversal circular desprezível e separados por uma distância de 1 m no vácuo, produziria entre esses condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento." (1946)
temperatura termodinâmica	kelvin	K	"... a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água." (1967)
quantidade de matéria	mol	mol	"... a quantidade de matéria de um sistema que contém um número de entidades elementares igual ao número de átomos que existem em 0,012 quilograma de carbono-12." (1971)
intensidade luminosa	candela	cd	"... a intensidade luminosa, em uma dada direção, de uma fonte que emite radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e que irradia nessa direção com uma intensidade de 1/683 watt por esferorradiano." (1979)

(*) Esse intervalo de tempo foi escolhido para que a velocidade da luz c fosse exatamente $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$. Como as medidas da velocidade da luz haviam se tornado extremamente precisas, fazia sentido adotar a velocidade da luz como uma grandeza definida e usá-la para redefinir o metro.

1.2.E – Algumas Grandezas Derivadas (SI)

ALGUMAS GRANDEZAS DERIVADAS	DEFINIÇÃO DAS GRANDEZAS	SÍMBOLO (UNIDADES)
área	$A \equiv \ell_1 \times \ell_2$ (onde tais comprimentos são perpendiculares entre si)	m^2
volume	$V \equiv \ell_1 \times \ell_2 \times \ell_3$ (onde tais comprimentos são perpendiculares entre si)	m^3
velocidade (*)	$\vec{v} \equiv d\vec{r}/dt$ (onde t é o tempo e \vec{r} o vetor posição)	m/s
velocidade angular (*)	$\vec{\omega} \equiv d\vec{\theta}/dt$ (orientação segundo a regra da mão direita)	rad/s
aceleração (*)	$\vec{a} \equiv d\vec{v}/dt = d^2\vec{r}/dt^2$	m/s^2
aceleração angular (*)	$\vec{\alpha} \equiv d\vec{\omega}/dt = d^2\vec{\theta}/dt^2$	rad/s^2
momento linear (*)	$\vec{p} \equiv m\vec{v}$	$\text{kg} \cdot \text{m/s}$
momento angular (*)	$\vec{\ell} \equiv \vec{r} \times \vec{p}$ ou $\vec{\ell} = I\vec{\omega}$ (onde I é o momento de inércia; $I = \text{const.}$)	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
força (*)	$\vec{F} \equiv \vec{F}(\text{parâmetros}; \text{variáveis}) \leftarrow$ Leis de força	$\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ou N (Newton)
torque (*)	$\vec{\tau} \equiv \vec{r} \times \vec{F}$	$\text{N} \cdot \text{m}$
força resultante (*)	$\vec{F}_R \equiv d\vec{p}/dt$ ou $\vec{F}_R = m\vec{a}$ ($m = \text{const.}$) [Lei Fundamental] $\vec{F}_R \equiv \sum \vec{F}_i$ [Soma vetorial segundo o Princípio da Superposição]	N
torque resultante (*)	$\vec{\tau}_R \equiv d\vec{\ell}/dt$ ou $\vec{\tau}_R \equiv I\vec{\alpha}$ ($I = \text{const.}$) [Lei Fundamental para Rotação] $\vec{\tau}_R \equiv \sum \vec{\tau}_i$ [Soma vetorial segundo o Princípio da Superposição]	$\text{N} \cdot \text{m}$
centro de massa (*) (**)	$\vec{r}_{CM} \equiv \sum \vec{r}_i m_i / \sum m_i$ ou $\vec{r}_{CM} \equiv \int \vec{r} dm / \int dm$	m
momento de inércia	$I \equiv \sum r_i^2 m_i$ ou $I \equiv \int r^2 dm$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}$

(*) As setas sobre os símbolos indicam que os mesmos representam grandezas vetoriais. (ver mais adiante)

(**) Na realidade, embora o centro de massa tenha a dimensão de comprimento, o mesmo não pode ser encarado como uma grandeza fundamental, uma vez que seu cálculo é uma média ponderada da posição (comprimento) pela massa.

ALGUMAS GRANDEZAS DERIVADAS	DEFINIÇÃO DAS GRANDEZAS	SÍMBOLO (UNIDADES)
trabalho (força)	$\Delta W \equiv \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$	N.m ou J (Joule)
trabalho (torque)	$\Delta W \equiv \int \tau d\theta$	J
energia cinética (translação)	$K \equiv mv^2/2$	J
energia cinética (rotação)	$K \equiv I\omega^2/2$	J
potência	$P \equiv dW/dt$ ou $P = Fv$ ($F = \text{const.}$)	J/s ou W (Watts)
pressão	$P \equiv F/A$	N/m ² ou Pa (Pascal)
massa específica	$\rho = m/V$	kg/m ³

1.2.F – Grandezas Suplementares (SI)

GRANDEZAS SUPLEMENTARES	DEFINIÇÃO DAS GRANDEZAS	UNIDADES	
		NOME	SÍMBOLO
ângulo plano	$\theta \equiv s/R$ ou $s \equiv R\theta$ (grandeza adimensional - ver figura 1); Aqui, R e s são, respectivamente, o comprimento do raio e do arco de circunferência delimitado pelo ângulo plano θ .	radiano	rad
ângulo sólido	$\Omega \equiv A/R^2$ ou $A \equiv R^2\Omega$ (grandeza adimensional - ver figura 2); Aqui, R e A são, respectivamente, o comprimento do raio e a área da casca esférica delimitada pelo ângulo sólido Ω .	esferorradiano	sr

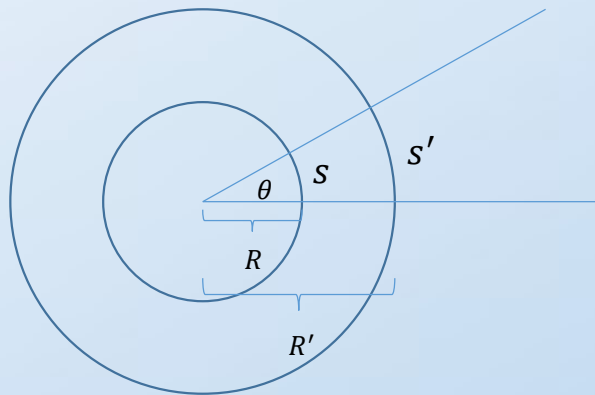


Figura 1: $s/R = s'/R' = \text{constante}$ para um dado ângulo θ .

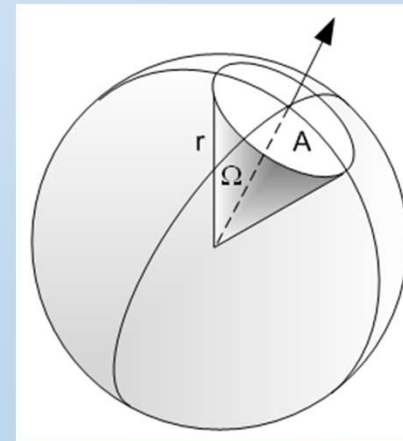


Figura 2: $A/R^2 = A'/R'^2 = \text{constante}$ para um dado ângulo Ω .

1.3 – Prefixos, Notação Científica e Ordens de Grandeza

PREFIXO (1)	SÍMBOLO	FATOR (2)	DECIMAL
yota-	Y	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta-	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
tera-	T	10^{12}	1 000 000 000 000
giga-	G	10^9	1 000 000 000
mega-	M	10^6	1 000 000
kilo-	k	10^3	1 000
hecto-	h	10^2	100
deca-	da	10^1	10
nenhum	nenhum	10^0	1

PREFIXO (1)	SÍMBOLO	FATOR (2)	DECIMAL
nenhum	nenhum	10^0	1
deci-	d	10^{-1}	0,1
centi-	c	10^{-2}	0,01
mili-	m	10^{-3}	0,001
micro-	μ	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

(1) Os prefixos mais usados estão em negrito.

(2) Tais fatores são comumente usados na **notação científica**. Por exemplo, $1\,270\,000\,000\,W = 1,27 \times 1\,000\,000\,000 = 1,27 \times 10^9\,W = 1,27\,GW$.

A **ordem de grandeza** de um número é a potência de dez que aparece quando o número é expresso em notação científica. Assim, por exemplo, se $A = 2,3 \times 10^4$ e $B = 7,8 \times 10^4$, a ordem de grandeza de A e de B é 4.

Frequentemente, engenheiros e cientistas estimam o resultado de um cálculo pela ordem de grandeza mais próxima. Em nosso exemplo, a ordem de grandeza mais próxima é 4 para A e 5 para B . É comum fazer esse tipo de estimativa quando os dados necessários para executar um certo cálculo não são conhecidos com precisão.

Descrição	Comprimento em Metros
Distância das galáxias mais antigas	2×10^{26}
Distância da galáxia de Andrômeda	2×10^{22}
Distância da estrela mais próxima	4×10^{16}
Distância de Plutão	6×10^{12}
Raio da Terra	6×10^6
Altura do monte Everest	9×10^3
Espessura desta página	1×10^{-4}
Comprimento de um vírus típico	1×10^{-8}
Raio do átomo de hidrogênio	5×10^{-11}
Raio do próton	1×10^{-15}

Descrição	Intervalo de Tempo em Segundos
Tempo de vida do próton (teórico)	3×10^{43}
Idade do universo	5×10^{17}
Idade da pirâmide de Quéops	1×10^{11}
Expectativa de vida de um ser humano	2×10^9
Duração de um dia	9×10^4
Intervalos entre duas batidas de um coração humano	8×10^{-1}
Tempo de vida do múon	2×10^{-6}
Pulso mais curto obtido em laboratório	1×10^{-16}
Tempo de vida da partícula mais instável	1×10^{-23}
Tempo de Planck ^a	1×10^{-43}

Descrição	Massa em Quilogramas
Universo conhecido	1×10^{53}
Nossa galáxia	2×10^{41}
Sol	2×10^{30}
Lua	7×10^{22}
Asteróide Eros	5×10^{15}
Montanha pequena	1×10^{12}
Transatlântico	7×10^7
Elefante	5×10^3
Uva	3×10^{-3}
Grão de poeira	7×10^{-10}
Molécula de penicilina	5×10^{-17}
Átomo de urânio	4×10^{-25}
Próton	2×10^{-27}
Elétron	9×10^{-31}

1.4 – Mudança de Unidades

Muitas vezes, precisamos mudar as unidades nas quais uma grandeza física está expressa, o que pode ser feito usando um método conhecido como **conversão em cadeia**. Nesse método, multiplicamos o **valor original** por um **fator de conversão** (uma razão entre unidades que é igual à unidade). Assim, por exemplo, como **1 min** e **60 s** correspondem a intervalos de tempo iguais, temos:

$$\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1 \quad \text{ou} \quad \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1$$

Assim, as razões **(1 min)/(60 s)** e **(60 s)/(1 min)** podem ser usadas como fatores de conversão. Note que isso não é o mesmo que escrever **1/60 = 1** ou **60 = 1**; cada *número* e sua *unidade* devem ser tratados conjuntamente.

Como a multiplicação de qualquer grandeza por um fator unitário deixa essa grandeza inalterada, podemos usar fatores de conversão sempre que isso for conveniente. No método de conversão em cadeia, usamos os fatores de conversão para cancelar unidades indesejáveis. Para converter 2 minutos em segundos, por exemplo, temos:

$$2 \text{ min} = 2 \text{ min} \times 1 = 2 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 120 \text{ s}$$

1.5 – Medidas

Medidas e Algarismos Significativos

Toda medida envolve naturalmente **algarismos significativos**, que, por sua vez, podem ser divididos em **algarismos corretos** e o **duvidoso**. Os algarismos corretos são todos aqueles associados a menor escala de medida do instrumento utilizado, não havendo portanto dúvidas quanto ao seu valor. O algarismo duvidoso, por sua vez, está associado a uma fração da menor escala medida, geralmente décimos desta escala, havendo portanto dúvidas quanto ao seu valor.

Incertezas

Ao algarismo duvidoso é fundamental se associar um intervalo de **incerteza**, que sempre será da mesma ordem de grandeza do algarismo duvidoso.

Exemplo:

A medida de comprimento $(73.4 \pm 0.1)\text{m}$ significa que se tem 3 algarismos significativos, sendo os dois primeiros (73) os corretos e o último (4) o duvidoso, com uma incerteza da mesma ordem de grandeza que o algarismo duvidoso, ou seja, neste caso, o décimo do metro.

Neste caso, a medida efetuada tem uma precisão entre $73,3\text{m} (= 73.4\text{m} - 0.1\text{m})$ a $73,5\text{m} (= 73.4\text{m} + 0.1\text{m})$, sendo que o valor 73.4 m é o mais provável.

Erros e Desvios

Quando se sabe o valor real de uma grandeza e experimentalmente encontra-se um resultado diferente, diz-se que o valor obtido contém um **erro**. Mas como o valor real ou exato da maioria das grandezas físicas nem sempre é conhecido, adota-se o valor que mais se aproxima daquele que pode ser considerado real e, ao efetuar-se uma medida, fala-se em **desvios** e não em erros. Na prática se trabalha, na maioria das vezes, com desvios e não com erros.

OBS: Um mesmo operador, ao efetuar uma série de medidas de uma grandeza, utilizando um mesmo instrumento, poderá obter diferentes valores na maioria das vezes devido a fatores pessoais e/ou acidentais. Quando isto acontece, é possível demonstrar que o valor mais próximo do considerado correto ou real (valor mais provável) é a média aritmética dos valores obtidos.

Os desvios podem se apresentar sob duas formas:

- Desvio absoluto – definido acima; e
- Desvio relativo – é a razão entre o desvio absoluto e o valor adotado como o mais próximo do valor real dessa grandeza; o desvio percentual é obtido multiplicando-se o desvio relativo por 100%.

Em síntese, quando um experimentador faz uma medida de uma grandeza física, existirá um **erro** se for conhecido o valor **real** da mesma, e o resultado obtido for diferente deste. Por outro lado, se é conhecido o valor mais provável (valor adotado) da grandeza física e o resultado obtido for diferente deste, haverá um **desvio**.

Propagação de Incertezas

Todo valor medido que é envolvido numa fórmula matemática tem seu erro ou desvio (e, conseqüentemente, sua incerteza) propagado.

Por exemplo, se a fórmula matemática utilizada tiver a forma

$$f = kAx^n$$

onde k é uma constante, A é um parâmetro e x a grandeza física medida, então a incerteza associada à grandeza física calculada f , segundo o **critério desfavorável** (estatístico), será dada por

$$\frac{\Delta f}{f} = \left\{ \left| \frac{\Delta k}{k} \right| + \left| \frac{\Delta A}{A} \right| + \left| n \frac{\Delta x}{x} \right| \right\}$$

onde os símbolos Δ representam a incerteza da variável associada.