

CAPÍTULO 1: MEDIDAS FÍSICAS, GRANDEZAS E UNIDADES

1.1 INTRODUÇÃO

A necessidade de medir é muito antiga e remonta à origem das civilizações. Por longo tempo cada país, cada região, cada cidade teve seu próprio sistema de medidas. Essas unidades de medidas, entretanto, eram geralmente arbitrárias e imprecisas, como por exemplo, aquelas baseadas no corpo humano: palmo, pé, polegada, braça, côvado (antiga medida de comprimento equivalente a 66 cm).

Isso criava muitos problemas para o comércio, porque as pessoas de uma região não estavam familiarizadas com o sistema de medir das outras regiões, e também porque os padrões adotados eram, muitas vezes, subjetivos. As quantidades eram expressas em unidades de medir pouco confiáveis, diferentes umas das outras e que não tinham correspondência entre si.

A necessidade de converter uma medida em outra era tão importante quanto a necessidade de converter uma moeda em outra. Na verdade, em muitos países, inclusive no Brasil dos tempos do Império, a instituição que cuidava da moeda também cuidava do sistema de medidas.

Em 1789, numa tentativa de resolver esse problema, o Governo Republicano Francês pediu à Academia de Ciências da França que criasse um sistema de medidas baseado numa “constante natural”, ou seja, não arbitrária. Assim foi criado o **Sistema Métrico Decimal**, constituído inicialmente de três unidades básicas: o metro, que deu nome ao sistema, o litro e o quilograma (posteriormente, esse sistema seria substituído pelo Sistema Internacional de Unidades - SI).

Dentro do Sistema Métrico Decimal, a unidade de medir a grandeza comprimento foi denominada **metro** e definida como “a décima milionésima parte da quarta parte do meridiano terrestre” (dividiu-se o comprimento do meridiano por 4.000.000). Para materializar o metro, construiu-se uma barra de platina de secção retangular, com 25,3 mm de espessura e com 1 m de comprimento de lado a lado. Essa medida materializada, datada de 1799, por não ser mais utilizada como padrão é conhecida como o “metro do arquivo”.

A unidade de medir a grandeza volume, no Sistema Métrico Decimal, foi chamada de **litro** e definida como “o volume de um decímetro cúbico”. O litro permanece como uma das unidades em uso pelo SI.

Definido para medir a grandeza massa, o **quilograma** passou a ser a "massa de um decímetro cúbico de água na temperatura de maior massa específica, ou seja, a 4,44°C". Para materializá-lo foi construído um cilindro de platina iridiada, com diâmetro e altura iguais a 39 milímetros.

Muitos outros países adotaram o sistema métrico, inclusive o Brasil, aderindo à Convenção do Metro. Entretanto, apesar das qualidades inegáveis do Sistema Métrico Decimal - simplicidade, coerência e harmonia - não foi possível torná-lo universal. Além disso, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais precisas e diversificadas. Em 1960, portanto, o Sistema Métrico Decimal foi substituído pelo Sistema Internacional de Unidades - SI, mais complexo e sofisticado.

O Sistema Internacional de Unidades - SI foi sancionado em 1960 pela Conferência Geral de Pesos e Medidas e constitui a expressão moderna e atualizada do antigo Sistema Métrico Decimal, ampliado de modo a abranger os diversos tipos de grandezas físicas, compreendendo não somente as medições que ordinariamente interessam ao comércio e à indústria (domínio da metrologia legal), mas estendendo-se completamente a tudo o que diz respeito à ciência da medição.

O Brasil adotou o Sistema Internacional de Unidades - SI em 1962. A Resolução nº 12 de 1988 do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - CONMETRO, ratificou a adoção do SI no País e tornou seu uso obrigatório em todo o território nacional.

jhm (subtítulo) Grandezas e unidades fundamentais do Sistema Internacional (SI)

As grandezas físicas fundamentais ou de base são aquelas a partir das quais todas as outras grandezas físicas são definidas, ou seja, as demais grandezas são combinações das grandezas fundamentais. Na Tabela 1.1jhm apresentamos as grandezas fundamentais, seguidas de seus símbolos dimensionais e também de suas unidades no Sistema Internacional de Unidades (SI) com as respectivas abreviações:

O Sistema Internacional de Unidades compreende as unidades fundamentais citadas acima, as unidades derivadas obtidas a partir das sete unidades fundamentais e ainda as unidades suplementares de caráter geométrico: o ângulo plano e o ângulo sólido cujas unidades são respectivamente o radiano, abreviado por rad e o estereorradiano, abreviado por sr. (1 sr é o ângulo sólido para o qual a razão entre a área da calota esférica central interceptada e o quadrado do raio respectivo é igual à unidade). Uma esfera define um ângulo sólido de 4π sr. Exemplos de grandezas derivadas:

- Velocidade: $m s^{-1}$ é a unidade derivada da razão entre as unidades fundamentais metro e segundo.
- Velocidade angular: $rad s^{-1}$ é a unidade derivada da razão entre a unidade fundamental metro e a unidade suplementar radiano.

Capítulo 1: Medidas físicas, grandezas e unidades

Tabela 1.1 - Grandezas fundamentais do Sistema Internacional de Unidades (SI)

Grandeza	Unidade	Símbolo	Definição
comprimento	metro	m	“... o comprimento do percurso coberto pela luz, no vácuo, em 1/299 792 458 de um segundo”. (1983)
massa	quilogram a	kg	“... este protótipo (um certo cilindro de liga de platina-irídio) será considerado daqui por diante a unidade de massa”. (1889) Obs: O protótipo foi baseado na massa de água, a 4 °C, contida em um cubo de 10 centímetros de aresta
tempo	segundo	s	“... a duração de 9 192 631 770 vibrações da transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133”. (1967)
corrente elétrica	ampere	A	“... a corrente constante que, mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível e separados pela distância de 1 metro no vácuo, provoca entre estes condutores uma força igual a $2 \cdot 10^{-7}$ Newton por metro de comprimento”. (1946)
temperatura termodinâmica	kelvin	K	“... a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água”. (1967). Obs.: A temperatura relativa na escala Celsius é definida por: $t = T - T_0$, onde $T_0 = 273,15$ K, por definição.
quantidade de matéria	mol	mol	“... a quantidade de substância de um sistema que contém tantas entidades elementares quanto são os átomos em 0,012 quilogramas de carbono 12”. (1971)
intensidade luminosa	candela	cd	“... a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície de 1/600 000 metros quadrados, de um corpo negro na temperatura de solidificação da platina, sob a pressão de 101,325 Newton por metro quadrado”. (1967) Obs: a temperatura de solidificação da platina, sob a referida pressão é 2043 K.

Adaptado do “The International System of Unit (SI)”, National Bureau of Standards Special Publication 330, edição de 1972.

Tabela 1.2 - Grandezas derivadas do Sistema Internacional de Unidades (SI)

Grandeza	Definição	Unidade SI	Unidades alternativas
Área		m ²	ha,
Volume		m ³	L, cc
Velocidade	Distância/tempo	m s ⁻¹	km h ⁻¹ , nó
Aceleração	Velocidade/tempo	m s ⁻²	
Força	Massa x aceleração	N (Newton) = kg m s ⁻²	dina
Pressão	Força/área	Pa (Pascal) = N m ⁻²	atm, bar, cmHg
Energia	Força x distância	J (Joule) = N m	cal, erg, kWh, BTU, eV
Potência	Energia/tempo	W (Watt) = J s ⁻¹	Cv

Tabela 1.3 - Prefixos do SI

Fator	Prefixo	Símbolo	Fator	Prefixo	Símbolo
10 ¹	deca	da	10 ⁻¹	deci	d
10 ²	hecto	h	10 ⁻²	centi	c
10 ³	quilo	k	10 ⁻³	mili	m
10 ⁶	mega	M	10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁹	giga	G	10 ⁻⁹	nano	n
10 ¹²	tera	T	10 ⁻¹²	pico	p
10 ¹⁵	peta	P	10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ¹⁸	exa	E	10 ⁻¹⁸	ato	a

1.2 TRANSFORMAÇÃO DE UNIDADES – REGRA DA CADEIA

A transformação de unidades segue regras algébricas simples e pode ser realizada sistematicamente pela “*regra da cadeia*”. Vejamos a seguir alguns exemplos de transformações por esse método:

Exemplo 1: A quantos km h⁻¹ equivalem 30 m s⁻¹?

Como 1000 m = 1 km, temos que 1 km / 1000 m = 1; Da mesma forma, 1 h = 3600 s e, portanto, 3600 s / 1 h = 1. Assim,

$$30 \frac{m}{s} = 30 \frac{m}{s} \cdot \frac{1 km}{1000 m} \cdot \frac{3600 s}{1 h} = \frac{30 \cdot 3600 km}{1000 h} = 108 \frac{km}{h}$$

Capítulo 1: Medidas físicas, grandezas e unidades

Exemplo 2: Expressar a aceleração gravitacional ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$) na unidade km h^{-2}

Novamente utilizaremos $1 \text{ km} / 1000 \text{ m} = 1$ e $3600 \text{ s} / 1 \text{ h} = 1$.
Assim,

$$9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right)^2 = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \frac{3600^2 \text{ s}^2}{1^2 \text{ h}^2} = \frac{9,81 \cdot 3600^2 \text{ km}}{1000 \text{ h}^2} = 1,27 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{h}^2}$$

Exemplo 3: Quantos litros existem em um metro cúbico?

Um litro é definido como um decímetro cúbico. Como $1 \text{ m} = 10 \text{ dm}$, temos que $10 \text{ dm} / 1 \text{ m} = 1$. Portanto:

$$1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \cdot \left(\frac{10 \text{ dm}}{1 \text{ m}} \right)^3 = 1 \text{ m}^3 \cdot \frac{10^3 \text{ dm}^3}{1^3 \text{ m}^3} = 1000 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ L}$$