

ANEXO I – SISTEMAS INTERNACIONAL

1.1 INTRODUÇÃO

A existência de um único sistema de unidades que internacionalmente permita um diálogo técnico uniforme onde se fale de dimensões sem recurso a conversões mais ou menos complexas, continua a ser um objetivo ainda não alcançado.

No entanto, muito já foi feito e em muitos países já se adota o mais importante sistema de unidades, aquele que prima pela sua coerência e que rege a maior parte de negócios e atividades técnicas em todo o mundo. Este sistema é o Sistema Internacional de Unidades (SI), criado em 1960, pela 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

O SI é composto de unidades denominada: de base, suplementares e derivadas. Seguem-se na Tabela 1, os exemplos mais comuns.

O SI é também denominado MKS, que corresponde às iniciais dos símbolos das três unidades de base usadas: comprimento, massa e tempo (LMT). Além do sistema MKS, existem ainda outros sistemas LMT (comprimento, massa e tempo) que figuram. São eles:

MKS (metro, quilograma, segundo);

CGS (centímetro, grama, segundo);

MKgfS (metro, unidade técnica de massa, segundo) – denominado de sistema técnico;

MTS (metro, tonelada, segundo);

FPS (foot, pound, second).

1.2 UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL

1.2.1 Unidades de base

As unidades de base do SI são sete, consideradas independentes do ponto de vista dimensional, definidas para as grandezas e simbolizadas de acordo com o seguinte quadro:

– **metro**: É o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299.792.458$ s (ou $0,000000003335640$ s, ou cerca de 3 bilionésimos de segundo). (17ª CGPM - 1983 - Resolução nº 1). Obs.: esta definição substitui a anterior, que dava o metro como a décima milionésima parte do arco do Meridiano de Greenwich tomado desde o pólo norte até o equador terrestre;

– **quilograma**: É a unidade de massa igual à massa do protótipo internacional do quilograma depositado na sede da Conferência Internacional de Pesos e Medidas em Paris. (3ª CGPM - 1901 – página 70 das atas);

– **segundo**: É 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. (13ª CGPM - 1967 - Resolução n.º 1). Obs.: esta definição substitui a anterior, baseada na duração do segundo sideral;

– **ampère**: É a intensidade de corrente constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de secção circular desprezível e colocados à distância de 1 m um do outro no vácuo, produziria entre estes condutores uma força igual a $2 \cdot 10^{-7}$ N por metro de comprimento. (9ª CGPM - 1948 - Resolução nº 2);

– **mol**: É a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos os átomos que existem em 0,012 kg de carbono 12. Quando se utiliza a mole, as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, íons, elétrons, outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas. (14ª CGPM - 1971 - Resolução nº 3);

– **candela**: É a intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz e cuja intensidade nessa direção é $1/683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$ (sr – esterradiano). (16ª CGPM - 1979 - Resolução nº 3);

– **kelvin**: É a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. (13ª CGPM - 1967 - Resolução nº 4).

Símbolo especial de temperatura (grau Celsius): A unidade de grau celsius é igual à unidade de Kelvin, mas somente se tratar de diferenças de temperatura.

Grandeza	----- Unidade -----	
	Nome	Símbolo
Temperatura Celsius	grau Celsius	°C

Se $T_1 = 10 \text{ °C}$ (283,15 K) e $T_2 = 11 \text{ °C}$ (284,15 K)

então $T_2 - T_1 = (11 - 10) \text{ °C} = 1 \text{ °C}$

e $T_2 - T_1 = (284,15 - 283,15) \text{ K} = 1 \text{ K}$

Logo, o valor numérico da diferença $T_2 - T_1$ é 1, tanto em graus Celcius como em kelvin.

Observação: Dizer "grau centígrado" é errado, pois tal termo não existe no vocabulário relacionado com temperaturas. Analisando a palavra "centígrado", verifica-se que ela é composta do prefixo "centi" que significa 10^{-2} e pela palavra "grado" que é uma unidade de ângulo (grado = $\pi / 200$). Dizer que uma temperatura é de "tantos graus centígrados" é equivalente a dizer que o "ângulo reto ferve a 90 graus"!

1.2.2 Unidades suplementares

As unidades suplementares são duas, definidas para as grandezas angulares (no plano e no espaço), de acordo com o seguinte quadro:

– **radiano**: É o ângulo plano compreendido entre dois raios que, na circunferência de um círculo, intersectam um arco de comprimento igual ao raio desse círculo.

– **esterradiano**: É o ângulo sólido que, tendo o vértice no centro de uma esfera, intersecta na superfície desta uma área igual à de um quadrado tendo por lado o raio da esfera.

1.2.3 Unidades derivadas

As unidades derivadas definem-se, de modo coerente, a partir das unidades de base e suplementares. Unidades derivadas são todas aquelas que podem ser obtidas a partir das unidades de base por meio de expressões algébricas, utilizando os símbolos matemáticos de multiplicação, divisão, potenciação, entre outros.

Tabela 1. Unidade de base, suplementares e derivadas do Sistema Internacional

Grandeza	Unidade de medida	Símbolos
Unidades de base		
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Intensidade de corrente elétrica	ampère	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de matéria	mole	mol
Intensidade luminosa	candela	cd
Unidades suplementares		
Ângulo plano	radiano	rad
Ângulo sólido	esterradiano	sr
Unidades derivadas		
Superfície	metro quadrado	m ²
Volume	metro cúbico	m ³
Velocidade	metro por segundo	m/s
Aceleração	metro por segundo quadrado	m/s ²
Massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m ³
Volume mássico	metro cúbico por quilograma	m ³ /kg
Densidade de corrente	ampère por metro quadrado	A/m ²
Concentração (de quantidade de matéria)	mole por metro cúbico	mol/m ³

1.2.4 Unidades derivadas com nome especial

Algumas unidades derivadas receberam nome especial, em geral em homenagem a cientistas que desenvolveram trabalho de importância no campo de aplicação da unidade em questão. Seguem-se na Tabela 2, as mais comumente utilizadas.

Tabela 2. Unidades derivada de nome especial

Grandeza	Nome	Símbolo	Expressão em outras unidades SI	Expressão em unidades SI de base
Força	newton	N		m·kg·s ⁻²
Frequência	hertz	Hz		s ⁻¹
Pressão, tensão	pascal	Pa	N·m ⁻²	m ⁻¹ ·kg·s ⁻²
Energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	N·m	m ² ·kg·s ⁻²
Potência, fluxo energético	watt	W	J/s	m ² ·kg·s ⁻³
Potencial elétrico, diferença de potencial, tensão elétrica, força eletromotriz	volt	V	W/A	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻¹
Resistência elétrica	ohm	Ω	V/A	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻²
Condutância elétrica	siemens	S	A/V	m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ³ ·A ²
Carga elétrica, quantidade de eletricidade	coulomb	C		s·A
Capacidade elétrica	farad	F	C/V	m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ⁴ ·A ²
Fluxo de indução, fluxo magnético	weber	Wb	V·s	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻¹
Indutância	henry	H	Wb/A	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻²
Indução magnética	tesla	T	Wb/m ²	kg·s ⁻² ·A ⁻¹
Fluxo luminoso	lúmen	lm		cd·sr
Iluminância	lux	lx	lm/m ²	m ⁻² ·cd·sr
Atividade (radiação ionizante)	becquerel	Bq		s ⁻¹
Dose absorvida	gray	Gy	J/kg	m ² ·s ⁻²
Dose equivalente	sievert	Sv	J/kg	m ² ·s ⁻²

1.3 REGRAS DE ESCRITA E UTILIZAÇÃO DOS SÍMBOLOS DAS UNIDADES SI

Os princípios gerais relativos à escrita dos símbolos das unidades foram adaptados pela 9ª CGPM de 1948 - Resolução 7. Esses princípios são:

- Os símbolos das unidades são impressos em caracteres romanos diretos e, em geral, minúsculos. Contudo, se o nome da unidade deriva de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é maiúscula;
- Todas as unidades, quando escritas por extenso, devem ter a inicial minúscula, mesmo que sejam nomes de pessoas. Como exceção a esta regra, há a unidade de temperatura da escala Celsius, que se escreve grau Celsius, com inicial maiúscula. Exemplo: metro, newton, quilômetro, pascal, entre outras;
- Os símbolos das unidades ficam invariáveis no plural;
- Os símbolos das unidades não são seguidos de um ponto;

São ainda aprovadas as seguintes recomendações:

- O produto de duas ou mais unidades pode ser indicado de uma das formas seguintes:

Exemplo: N m, N.m ou N·m

- Quando uma unidade derivada é formada, dividindo uma unidade por outra, pode utilizar-se uma barra oblíqua (/), uma barra horizontal ou também expoentes negativos:

Exemplo: m/s ou $m \cdot s^{-1}$

- Nunca deve ser utilizado na mesma linha mais que uma barra oblíqua, a menos que sejam adicionados parênteses, a fim de evitar qualquer ambigüidade. Em casos complicados devem ser utilizados expoentes negativos ou parêntesis:

Exemplos: m/s^2 ou $m \cdot s^{-2}$; $m \cdot kg/(s^3 \cdot A)$ ou $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$, mas não: $m/s/s$ ou $m \cdot kg/s^3/A$

Regras de utilização dos prefixos:

- Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos diretos, sem espaço entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade;
- O conjunto formado pela junção do símbolo de um prefixo ao símbolo de uma unidade constitui um novo símbolo inseparável, que pode ser elevado a uma potência positiva ou negativa e que pode ser combinado com outros símbolos de unidades para formar símbolos de unidades compostas:

Exemplos:

$$1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1}$$

$$1 \text{ ms}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ V/cm} = (1 \text{ V})/(10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m}$$

- Não são empregados prefixos compostos, ou seja, formados pela justaposição de vários prefixos:

Exemplo: 1 nm e não 1 mmm

– Um prefixo não pode ser empregado sem uma unidade a que se refira.

Exemplo: $10^6/m^3$, e não M/m^3

Exceção: entre as unidades de base do SI, a unidade de massa é a única cujo nome, por razões históricas, contém um prefixo. Os nomes e os símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são formados pela junção dos prefixos à palavra "grama" e os símbolos correspondentes ao símbolo g.

Exemplo: $10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ miligrama (1mg)}$, e não 1 microquilograma (1 mkg). Unidades em uso com o SI.

– O CGPM de 1969 reconheceu que os utilizadores do SI terão necessidade de empregar conjuntamente certas unidades que embora fora do sistema estão em uso e têm um papel importante. Estas unidades estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Unidades importantes, fora do SI, mas reconhecidas na CGPM de 1969

Nome	Símbolo	Valor em unidade SI
minuto	min	1 min = 60 s
hora	h	1 h = 60 min = 3.600 s
dia	d	1 d = 24 h = 86.400 s
grau	c	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
minuto	'	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/10.800) \text{ rad}$
segundo	"	$1'' = (1/60)' = (\pi/648.800) \text{ rad}$
litro	l ou L	$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
tonelada	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$
pressão e tensão (bar)	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

1.3.1 Múltiplos e submúltiplos

A Tabela 4 apresenta todos os múltiplos e submúltiplos presentemente definidos no Sistema Internacional, e que podem ser usados com todas as unidades do sistema pela aposição do prefixo correspondente, segundo o quadro abaixo. É importante ter atenção ao fato de que certos símbolos são em letras maiúsculas, e outros em minúsculas! Os múltiplos e submúltiplos decimais (Tabela 4) conjugam-se com as diferentes unidades através de prefixo igual ao nome.

Tabelas 4. Prefixos e símbolos dos múltiplos e submúltiplos das unidades decimais do sistema internacional

----- Múltiplos -----			----- Submúltiplos -----		
Fator	Prefixo	Símbolo	Fator	Prefixo	Símbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d

1.3.2 Retificações e aditamentos ao Decreto - Lei 427/83

Declaração de retificação anexa ao Decreto-Lei nº 320/84 e nova retificação publicada a 28 de Fevereiro, de 1985, DR nº49, I série.

Aditamentos:

– Decretos-Lei nºs 222/88 e 223/88, de 28 de Junho. Autorizam a utilização da unidade bar, de símbolo bar, na medição da diferença de pressão no interior dos pneumáticos, múltiplo da unidade de pressão pascal, $1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} = 1000 \text{ hPa} = 10^5 \text{ Pa}$, e o milímetro de mercúrio exclusivamente na medição da pressão arterial ou pressão de outros fluidos corporais de símbolo mmHg, com o valor $1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa}$.

As Tabelas 5 a 9 apresenta uma série de unidades de medida fundamentais e derivadas, para que seja possível fazer as conversões de unidades entre os diversos sistemas de unidades.

Tabela 5. Unidades de força dos sistema de unidade CGS, MKS e MKgfS (Sistema técnico)

Sistema	Nome	Símbolo	Formula	Expressão
CGS	dina	dine	$F = m \cdot a$	g cm/s^2
MKS	newton	N	$F = m \cdot a$	kg m/s^2
MKgfS	kg força	kgf		

Tabela 6. Relação entre as unidades de força

Unidade	MKgfS (kgf)	MKS (N)	CGS (dine)
1 kg	1	9,8	$9,8 \times 10^5$
1 N	0,102	1	10^5
1 dine	$1,02 \times 10^{-6}$	10^{-5}	1

Tabela 7. Relação entre as unidades de trabalho

Unidade	MKS (joule)	C.G.S. (erg)	MKgfS (kgm)
joule	1	10^7	0,102
erg	10^{-7}	1	$10,2 \times 10^{-9}$
kilogrametro	9,81	$9,81 \times 10^7$	1

Tabela 8. Relação entre as unidades de potência

Unidade	MKS (joule/s)	CGS (erg/s)	MKgfS (kgm/s)
joule/s	1	10^7	0,102
erg/s	10^{-7}	1	$10,2 \times 10^{-9}$
kgm/s	9,81	$9,81 \times 10^7$	1

Tabela 9. Relação entre as unidades de trabalho

Unidade	kw – hora	H.P. - Hora	C.V. – Hora
kw – Hora	1	1,34	1,36
H.P. – Hora	0,746	1	1,01
C.V. – Hora	0,736	0,99	1