

Módulo 1 – Sistema de Medidas (SM)

1. Introdução

Unidades de Medida

As unidades de medidas são padrões usados para avaliar grandezas físicas. São definidas arbitrariamente e têm como referência um padrão material. As grandezas podem ser mecânicas, ópticas, geométricas, acústicas ou luminosas. Medir significa comparar uma grandeza com uma unidade de referência da mesma espécie e estabelecer o número (inteiro ou fracionário) de vezes que a grandeza contém a unidade.

Uma medição é um conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza. As operações podem ser feitas automaticamente.

Metrologia é a ciência que estuda, normatiza e codifica os conhecimentos relativos a medidas, padrões e unidades de medir, métodos, técnicas e instrumentos de medição.

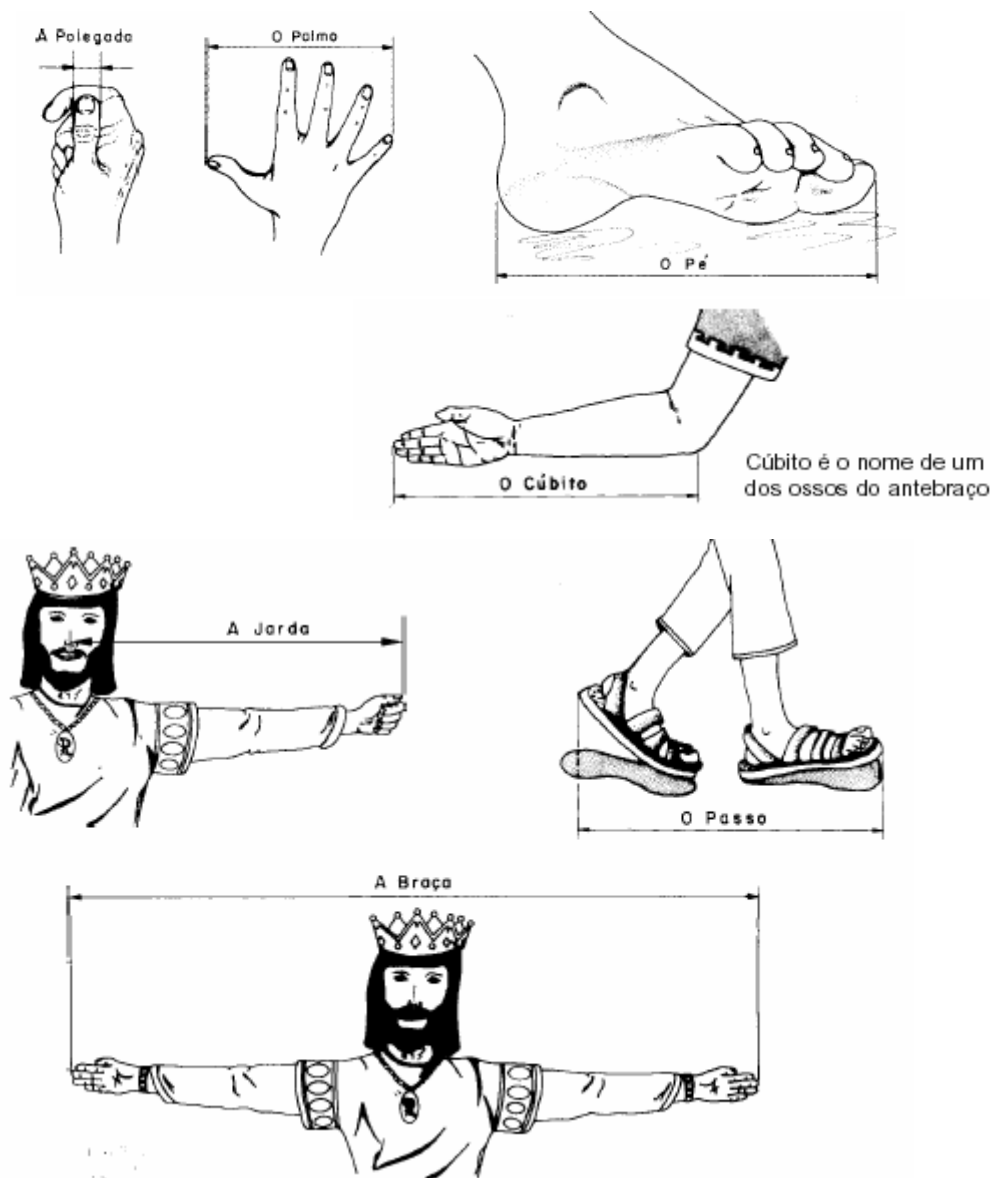
As medições são empregadas para monitorar, controlar ou investigar qualquer processo ou fenômeno físico.

Monitorar = acompanhar Controlar = acompanhar + agir Investigar = experimentar
--

Estimar e avaliar grandezas diversas são capacidades e habilidades desenvolvidas pela humanidade desde o início de sua evolução cultural. Até o final do século XVIII, todos os sistemas de medidas eram baseados nos costumes e nas tradições dos povos. Os primeiros padrões utilizavam as partes do corpo humano e alguns utensílios de uso cotidiano. As diferentes civilizações começam a padronizar as unidades de medidas já na Antigüidade. O côvado egípcio (equivalente a 66 cm), por exemplo, é uma medida de comprimento cujo padrão é a distância entre o cotovelo e a ponta do dedo médio, estando o braço e o antebraço dobrados em ângulo reto e a mão esticada. A milha é a distância percorrida em uma passada. Com esses tipos de unidades, as medições podem dar resultados tão variados quantas são as diferenças individuais do corpo humano. A padronização é feita pela definição de unidades médias, fixadas através de padrões materiais construídos em pedra, argila ou ligas metálicas.



Fonte: Telecurso 2000.



Fonte: Telecurso 2000.

O surgimento de padrões materiais de referência para as unidades de medidas marca o início da construção dos primeiros sistemas de pesos e medidas. Os padrões de peso mais antigos até hoje conhecidos datam do quarto milênio antes de Cristo. São pequenos cilindros de base côncava, com cerca de 13 gramas, encontrados nos túmulos de Amrah, no Egito. O sistema egípcio tem grande influência sobre os povos da Antigüidade.

A Inglaterra normalizou o seu sistema consuetudinário (baseado nos costumes ou no que está acostumado) de pesos e medidas logo após a promulgação da sua Carta Magna, em 1215. O sistema, usado por mais de seiscentos anos, também é adotado pelas ex-colônias inglesas.

Os Estados Unidos usam o mesmo sistema inglês, com pequenas modificações. O sistema métrico é oficialmente permitido desde 1866 e, em 1959, as unidades de medidas tradicionais passam a ser definidas em função do Sistema Internacional de Unidades (SI). Nos anos 60, o país inicia um movimento de conversão para o Sistema

Internacional. A população, no entanto, também tem resistido em abandonar as antigas medidas.

Em 1789, numa tentativa de resolver os problemas causados pela necessidade de conversão entre os vários padrões, o Governo Republicano Francês pediu à Academia de Ciência 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.

O sistema inglês difere do sistema métrico que passou a ser o mais usado em todo o mundo. Em 1959, a **jarda** (termo de origem na palavra *yard* - vara de medição usada por alfaiates) foi definida em função do metro, valendo **0,91440 m**. As divisões da jarda (3 pés; cada pé com 12 polegadas) passaram, então, a ter seus valores expressos no sistema métrico:

O Sistema Internacional de Unidades (SI) foi sancionado em 1960 pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), constituindo-se na expressão moderna e atualizada do antigo Sistema Métrico Decimal. Ele compreende as medições que ordinariamente interessam ao comércio e à indústria (domínio da metrologia legal), estendendo-se a tudo o que diz respeito à ciência da medição.

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) funciona sob fiscalização exclusiva do Comitê Internacional de Pesos e Medidas, sob a autoridade da Conferência Geral de Pesos e Medidas.

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) foi criado pela Convenção do Metro, assinada em Paris em 20 de maio de 1875 por 17 Estados, por ocasião da última sessão da Conferência Diplomática do Metro. Esta Convenção foi modificada em 1921.

O Bureau Internacional tem sua sede perto de Paris. A sua manutenção, no que se refere às despesas, é assegurada pelos Estados Membros da Convenção do Metro¹.

O Bureau Internacional tem por missão assegurar a unificação mundial das medidas físicas. Ele é encarregado de:

- ⇒ Estabelecer os padrões fundamentais e as escalas das principais grandezas físicas, e de conservar os protótipos internacionais;
- ⇒ Efetuar a comparação dos padrões nacionais e internacionais;
- ⇒ Assegurar a coordenação das técnicas de medidas correspondentes;
- ⇒ Efetuar e de coordenar as determinações relativas às constantes físicas que intervêm naquelas atividades.

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 -

¹ Em 31 de dezembro de 1997, 48 Estados eram membros desta Convenção: África do Sul, Alemanha, Argentina, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Bulgária, Camarões, Canadá, Chile, China, Coréia (República da), Coréia (República Popular Democrática da), Dinamarca, Dominicana (República), Egito, Espanha, Estados Unidos, Eslováquia, Finlândia, França, Holanda, Hungria, Índia, Indonésia, Irã (Rep. Islâmica), Irlanda, Israel, Itália, Japão, México, Noruega, Nova Zelândia, Paquistão, Polónia, Portugal, Reino Unido, Romênia, Rússia (Federação), Cingapura, Suécia, Suíça, Tcheca (Rep.), Tailândia, Turquia, Uruguai e Venezuela.

CONMETRO, ratificou a adoção do SI no País e tornou seu uso obrigatório em todo o território nacional.

No SI distinguem-se duas classes de unidades: as unidades de base (metro, quilograma, segundo, ampère, kelvin, mol e candela) e as unidades derivadas que são formadas pela combinação de unidades de base segundo as relações algébricas que interligam as grandezas correspondentes.

2. Unidades Base

METRO

A 17ª CGPM (1983, Resolução 1; CR 97 e Metrologia, 1984, 20, 25) concluiu que o metro tem a seguinte definição:

“O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ de segundo”.

QUILOGRAMA

A 3ª CGPM (1901; CR,70), para acabar com a ambigüidade que ainda existia no uso corrente sobre o significado da palavra “peso”, confirmou que:

“O quilograma é a unidade de massa (e não de peso, nem força); ele é igual à massa do protótipo internacional do quilograma”.

SEGUNDO

Considerando que é uma definição de alta exatidão para a unidade de tempo do SI, o segundo, indispensável para satisfazer às exigências da alta metrologia, a 13ª CGPM (1967) definiu o “segundo” da seguinte forma:

“O 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.”

Na sessão de 1997, o Comitê Internacional confirmou que:

“Essa definição se refere a um átomo de césio em repouso, a uma temperatura de 0 K.”

AMPÈRE

A 9ª CGPM (1948) adotou para o ampère, unidade de corrente elétrica, a seguinte definição:

“O ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento.”

KELVIN

A 13ª CGPM (1967 — Resolução 3) adotou o nome “kelvin” (símbolo K) em lugar de “grau kelvin” (símbolo °K) e formulou, na sua Resolução 4, a definição da unidade de temperatura termodinâmica, como se segue:

“O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água.”

A 13ª CGPM (1967 — Resolução 3) decidiu também que a unidade kelvin e seu símbolo K fossem utilizados para expressar um intervalo ou uma diferença de temperatura.

Além da temperatura termodinâmica (símbolo T) expressa em kelvins, utiliza-se, também, a temperatura Celsius (símbolo t), definida pela equação:

$$t = T - T_0$$

A unidade de temperatura Celsius é o grau Celsius, símbolo °C, igual à unidade kelvin, por definição. Um intervalo ou uma diferença de temperatura pode ser expressa tanto em kelvins quanto em graus Celsius (13ª CGPM, 1967-1968, Resolução 3, mencionada acima).

O valor numérico de uma temperatura Celsius t , expressa em graus Celsius, é dada pela relação:

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$$

O kelvin e o grau Celsius são também as unidades da Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) adotada pelo Comitê Internacional em 1989, em sua Recomendação 5 (CI-1989) (PV, 57, 26 e Metrologia, 1990, 27, 13).

MOL

Desde a descoberta das leis fundamentais da química, utilizaram-se diversas unidades denominadas, por exemplo, “átomo grama” ou “molécula grama”, para especificar quantidades de diversos elementos ou compostos químicos. Estas unidades eram estritamente ligadas aos “pesos atômicos” ou aos “pesos moleculares”.

Aderindo à proposta da União Internacional de Física Pura e Aplicada (UIPPA), da União Internacional de Química Pura e Aplicada (UICPA) e da Organização Internacional de Normalização (ISSO), o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) deu em 1967, e confirmou em 1969, a seguinte definição do “mol”, que foi finalmente adotada pela 14ª CGPM (1971 — Resolução 3):

1º) O mol é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12.

2º) Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos especificados em tais partículas.

Em 1980, o Comitê Internacional aprovou o relatório do CCU (1980), que determinava:

Nesta definição, entende-se que se faz referência aos átomos de carbono 12 livres, em repouso e no seu estado fundamental.

CANDELA

As unidades de intensidade luminosa baseadas em padrões de chama ou filamento incandescente, que eram usadas em diversos países, foram substituídas em 1948 pela “vela nova”, que correspondia à luminância do emissor de radiação Planck (corpo negro) à temperatura de solidificação da platina. Em virtude das dificuldades experimentais da realização do irradiador de Planck a temperaturas elevadas e das novas possibilidades oferecidas pela radiometria, isto é, a medida de potência dos raios ópticos, a 16ª CGPM adotou em 1979 a nova definição:

“A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540 x 10¹² hertz e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano.”

RESUMO

GRANDEZA	[UNIDADES SI DE BASE]	
	NOME	SÍMBOLO
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd

Fonte: Inmetro

3. Unidades Derivadas

EXEMPLOS

GRANDEZA	[UNIDADE SI]	
	NOME	SÍMBOLO
superfície	metro quadrado	m ²
volume	metro cúbico	m ³
velocidade	metro por segundo	m/s
aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s ²
número de ondas	metro elevado à potência menos um (1 por metro)	m ⁻¹
massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m ³
volume específico	metro cúbico por quilograma	m ³ /kg
densidade de corrente	ampère por metro quadrado	A/m ²
campo magnético	ampère por metro	A/m
concentração (de quantidade de matéria)	mol por metro cúbico	mol/m ³
luminância	candela por metro quadrado	cd/m ²
índice de refração	(o número) um	1*

Fonte: Inmetro

4. Unidades SI Derivadas Possuidoras de Nomes Especiais e Símbolos Particulares.

GRANDEZA DERIVADA	UNIDADE SI DERIVADA			
	NOME	SÍMBOLO	EXPRESSIONAMENTO EM OUTRAS UNIDADES SI	EXPRESSIONAMENTO EM UNIDADES SI DE BASE
ângulo plano	radiano ^(a)	rad		$m \cdot m^{-1} = 1^{(b)}$
ângulo sólido	esterradiano ^(a)	sr ^(c)		$m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$
freqüência	hertz	Hz		s^{-1}
força	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
pressão, esforço	pascal	Pa	N / m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
potência, fluxo de energia	watt	W	J / s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
quantidade de eletricidade, carga elétrica	coulomb	C		$s \cdot A$
diferença de potencial elétrico, força eletromotriz	volt	V	W / A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
capacidade elétrica	farad	F	C / V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
resistência elétrica	ohm	Ω	V / A	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^{-2}$
condutância elétrica	siemens	S	A / V	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
fluxo de indução magnética	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indução magnética	tesla	T	Wb / m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indutância	henry	H	Wb / A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
temperatura Celsius	grau Celsius ^(d)	$^{\circ}C$	Ω	K
fluxo luminoso	lúmen	lm	$cd \cdot sr^{(e)}$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
iluminamento	lux	lx	lm/m^2	$m^{-2} \cdot m^{-2} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
atividade (de um radionucleico)	becquerel	Bq		s^{-1}
dose absorvida, energia específica, (comunicada), kerma	gray	Gy	J / kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
equivalente de dose, equivalente de dose ambiente, equivalente de dose direcional, equivalente de dose individual, dose equivalente num órgão	sievert	Sv	J / kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

Fonte: Inmetro

GRANDEZA	UNIDADE SI DERIVADA		
	NOME	SÍMBOLO	EXPRESSIONÃO EM UNIDADES SI DE BASE
viscosidade dinâmica	pascal segundo	Pa . s	$m^{-1} . kg . s^{-1}$
momento de uma força	newton metro	N . m	$m^2 . kg . s^{-2}$
tensão superficial	newton por metro	N / m	$kg . s^{-2}$
velocidade angular	radiano por segundo	rad / s	$m . m^{-1} . s^{-1} = s^{-1}$
aceleração angular	radiano por segundo quadrado	rad / s ²	$m . m^{-1} . s^{-2} = s^{-2}$
fluxo térmico superficial, iluminamento energético	watt por metro quadrado	W / m ²	$kg . s^{-3}$
capacidade térmica, entropia	joule por kelvin	J / K	$m^2 . kg . s^{-2} . K^{-1}$
capacidade térmica específica, entropia específica	joule por quilograma kelvin	J / (kg . K)	$m^2 . s^{-2} . K^{-1}$
energia mássica	joule por quilograma	J / kg	$m^2 . s^{-2}$
condutividade térmica	watt por metro kelvin	W / (m . K)	$m . kg . s^{-3} . K^{-1}$
densidade de energia	joule por metro cúbico	J / m ³	$m^{-1} . kg . s^{-2}$
campo elétrico	volt por metro	V / m	$m . kg . s^{-3} . A^{-1}$
densidade de carga (elétrica)	coulomb por metro cúbico	C / m ³	$m^{-3} . s . A$
densidade de fluxo elétrico	coulomb por metro quadrado	C / m ²	$m^{-2} . s . A$
permissividade	farad por metro	F / m	$m^{-3} . kg^{-1} . s^4 . A^2$
permeabilidade	henry por metro	H / m	$m . kg . s^{-2} . A^{-2}$
energia molar	joule por mol	J / mol	$m^2 . kg . s^{-2} . mol^{-1}$
entropia molar,	joule por mol kelvin	J / (mol . K)	$m^2 . kg . s^{-2} . K^{-1} . mol^{-1}$
capacidade térmica molar			
exposição (raio X e γ)	coulomb por quilograma	C / kg	$kg^{-1} . s . A$
taxa de dose absorvida	gray por segundo	Gy / s	$m^2 . s^{-3}$
intensidade energética	watt por esterradiano	W / sr	$m^4 . m^{-2} . kg . s^{-3} = m^2 . kg . s^{-3}$
luminância energética	watt por metro quadrado esterradiano	W / (m ² . sr)	$m^2 . m^{-2} . kg . s^{-3} = kg . s^{-3}$

Fonte: Inmetro

5. Prefixos

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

Fonte: Inmetro

FATOR PELO QUAL A UNIDADE É MULTIPLICADA	PREFIXO	SÍMBOLO
1 000 000 000 000 = 10^{12}	tera	T
1 000 000 000 = 10^9	giga	G
1 000 000 = 10^6	mega	M
1 000 = 10^3	quilo	k
100 = 10^2	hecto	h
10 = 10^1	deca	da
0,1 = 10^{-1}	deci	d
0,01 = 10^{-2}	centi	c
0,001 = 10^{-3}	mili	m
0,000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0,000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0,000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p

Fonte: Inmetro

6. Unidades em uso com o SI

O CIPM (1969) reconheceu que os utilizadores do SI terão necessidade de empregar conjuntamente certas unidades que não fazem parte do Sistema Internacional, porém estão amplamente difundidas. Estas unidades desempenham papel tão importante que é necessário conservá-las para uso geral com o Sistema Internacional de Unidades.

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
minuto	min	1 min = 60s
hora ^(a)	h	1 h = 60 min = 3.600s
dia	d	1 d = 24 h = 86.400s
grau ^(b)	°	1° = (π / 180) rad
minuto	'	1' = (1/60)° = (π / 10 800) rad
segundo	''	1'' = (1/60)' = (π / 648 000) rad
litro ^(c)	l, L	1l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
tonelada ^{(d), (e)}	t	1 t = 10 ³ kg
neper ^{(f), (h)}	Np	1 Np = 1
bel ^{(g), (h)}	B	1B = (1/2) ln 10 (Np) ⁽ⁱ⁾

Fonte: Inmetro

7. Unidades fora do SI, em uso com ele, cujo valor em Unidades SI é obtido experimentalmente

NOME	SÍMBOLO	DEFINIÇÃO	VALOR EM UNIDADES SI
eletronvolt ^(a)	eV	^(b)	1 eV = 1,602 177 33 (49) x 10 ⁻¹⁹ J
unidade (unificada) de massa atômica	u	^(c)	1 u = 1,660 540 2 (10) x 10 ⁻²⁷ kg
unidade astronômica	ua	^(d)	1 ua = 1,495 978 706 91 (30) x 10 ¹¹ m

Fonte: Inmetro

8. Outras unidades fora do SI em uso com o Sistema Internacional

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
milha marítima ^(a)		1 milha marítima = 1 852m
nó		1 milha marítima por hora = (1 852/3 600)m/s
angström	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
are ^(b)	a	1 a = 1dam ² = 10 ² m ²
hectare ^(b)	ha	1ha = 1hm ² = 10 ⁴ m ²
barn ^(c)	b	1 b = 100fm ² = 10 ⁻²⁸ m ²
bar ^(d)	bar	1bar = 0,1MPa = 100kPa = 1000hPa = 10 ⁵ Pa

Fonte: Inmetro

9. Unidades CGS derivadas dotadas de nomes particulares

A *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) nos anos de 1860 criou um Sistema Coerente de Unidades formado de unidades de base e de unidades derivadas do SI. Em 1874, a BAAS criou o sistema CGS, um sistema tridimensional de unidades, coerente e baseado nas três unidades mecânicas: centímetro, grama e segundo, e utilizando os prefixos micro e mega para expressar os submúltiplos e múltiplos decimais.

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
erg ^(a)	erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J
dina ^(a)	dyn	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
poise ^(a)	P	1 P = 1 dyn.s/cm ² = 0,1Pa.s
stokes	St	1 St = 1 cm ² /s = 10 ⁻⁴ m ² /s
gauss ^(b)	G	1G ≙ 10 ⁻⁴ T
oersted ^(b)	Oe	1 Oe ≙ (1000/4π) A/m
maxwell ^(b)	Mx	1 Mx ≙ 10 ⁻⁸ Wb
stilb ^(a)	sb	1 sb = 1cd/cm ² = 10 ⁴ cd/m ²
phot	ph	1 ph = 10 ⁴ lx
gal ^(c)	Gal	1 Gal = 1cm/s ² = 10 ⁻² m/s ²

Fonte: Inmetro

10. Destaques - Unidades do SI

Unidades Lineares	1 mm	Milímetro	0,001 m
Unidades Lineares	1 cm	Centímetro	10 mm
Unidades Lineares	1 dm	Decímetro	10 cm
Unidades Lineares	1 m	Metro	10 dm
Unidades Lineares	1 km	Quilômetro	1000 m
Unidades Lineares	1 milha	Marítima	1852 m
Unidades de Superfície	1 mm ²	Milímetro quadrado	0,000001 m
Unidades de Superfície	1 cm ²	Centímetro quadrado	100 mm
Unidades de Superfície	1 dm ²	Decímetro quadrado	100 ² cm
Unidades de Superfície	1 m ²	Metro quadrado	100 ² dm
Unidades de Superfície	1 a	Are	100 m
Unidades de Superfície	1 ha	Hectare	100 a
Unidades de Superfície	1 km ²	Quilômetro quadrado	100 ha
Unidades de Volume	1 mm ³	Milímetro cúbico	0,000000001 ³ m
Unidades de Volume	1 cm ³	Centímetro cúbico	1000 ³ mm
Unidades de Volume	1 dm ³	Decímetro cúbico	1000 ³ cm
Unidades de Volume	1 m ³	Metro cúbico	1000 ³ dm
Unidades de Volume	1 ct	Centilitro	0,01 L
Unidades de Volume	1 dl	Decilitro	10 CL
Unidades de Volume	1 L	Litro	10 DL
Unidades de Volume	1 hl	Hectolitro	100 L
Unidades de Massa	1 quilate	-	0,2 g
Unidades de Massa	1 mg	Miligrama	0,001 g
Unidades de Massa	1 cg	Centigrama	0,01 g
Unidades de Massa	1 dg	Decigrama	0,1 g
Unidades de Massa	1 g	Gramma	0,001 kg
Unidades de Massa	1 dag	Decagrama	10 g
Unidades de Massa	1 kg	Quilograma	1000 g
Unidades de Massa	1 t	Tonelada	1000 kg

11. Destaques – Equivalência de Medidas

1 polegada	2,54 centímetros
1 pé	30,4799 centímetros
1 jarda	0,914399 metro
1 milha	1,60903 quilômetros
1 centímetro	0,39370113 polegada
1 metro	39,370113 polegadas; 3,28084 pés; 1,093614 jardas
1 polegada quadrada	6,4516 centímetros
1 pé quadrado	9,2903 decímetros
1 jarda quadrada	0,836126 metro
1 centímetro quadrado	0,155 polegada
1 metro quadrado	10,7639 dois pés; 1,196 jardas
1 galão (Grã-Bretanha)	4,543 litros
1 galão (Estados Unidos)	3,785 litros
1 hectare	2,4711 acres; 10.000 metros
1 onça	28,350 gramas
1 libra	16 onças; 0,45359 quilogramas
1 tonelada inglesa	2,240 libras; 1.016 quilogramas
1 quilograma	2,20462 libras

12. Destaques - Unidades muito comuns que não são do SI

Grandeza	Unidade	Valor (unidades SI)
comprimento	unidade astronômica (UA)	$1,495978 \times 10^{11}$ m
comprimento	parsec(pc)	$3,085680 \times 10^{16}$ m
comprimento	angstrom(Å)	10^{-10} m
comprimento	milha marítima	1852 m
comprimento	micron (m)	10^{-6} m
comprimento	milha terrestre (mile)	1 609, 3 m
comprimento	jarda (yard)	0,9144 m
comprimento	pé (foot)	0,30480 m
comprimento	palmo (span)	$22,86 \times 10^{-2}$ m
comprimento	polegada (inch)	$2,540 \times 10^{-2}$ m
volume	litro(l ou L)	10^{-3} m ³
volume	barril de petróleo	0,159 m ³
volume	galão americano	$3,785 \times 10^{-3}$ m ³
volume	galão inglês	$4,545963 \times 10^{-3}$ m ³
massa	unidade de massa atômica(u)	$1,66057 \times 10^{-27}$ kg
massa	tonelada(t)	1000 kg
massa	quilate	2×10^{-4} kg
massa	dracma	$1,772 \times 10^{-3}$ kg
massa	libra (pound)	0,453 kg
massa	onça (avoirdupois)	$28,35 \times 10^{-3}$ kg
massa	onça (apothecaria)	$31,10 \times 10^{-3}$ kg
energia	elétronvolt	$1,60218 \times 10^{-19}$ J
área	are (a)	10^2 m ²
área	hectare(ha)	10^4 m ²
área	alqueire (paulista)	24200 m ²

Cabe então neste ponto ressaltar-se a questão entre peso e massa: independentemente do lugar em que estiver, a massa de um corpo não se altera, mas o seu peso sim. Alguém que na Terra pese 70kg (70kgf), na Lua pesará cerca de 11,6kgf (mas sua massa permanecerá 70kg). Isso porque a Lua tem gravidade bem menor que a Terra. Mesmo aqui na Terra, a gravidade não é a mesma em todo lugar. Diferenças de altitude e latitude podem determinar valores diferentes para a gravidade. Mas então, como distinguir "peso" de "massa"?

Pode-se dizer que o "peso de um corpo" é a resultante da atração da gravidade sobre esse corpo (força), enquanto a "massa de um corpo" é a quantidade de matéria desse corpo.

Na verdade, definir massa como quantidade de matéria não é adequado. "Quantidade de Matéria" é uma grandeza distinta, cuja unidade SI é o mol. Massa é uma grandeza relacionada à inércia, cuja unidade SI é o quilograma. Porém, como a inércia está intimamente relacionada com a matéria, e para simplificar as coisas, pode-se na prática aceitar aquela definição como válida.

Pelo mesmo motivo (o de simplificar as coisas) utilizam-se no dia-a-dia os termos "massa" e "peso" como se fossem sinônimos. De fato, quando se procede a uma medição utilizando uma balança comparadora, estamos medindo a "massa", pois tanto o corpo cuja massa quer se determinar como os padrões de massa utilizados para a comparação, estão, ambos, sujeitos à mesma gravidade.

12. Destaques – Continuação das unidades muito comuns que não são do SI

Grandeza	Unidade	Valor (unidades SI)
área	pé quadrado	0,09290304 m ²
velocidade	nó	1852 / 3600 m.s ⁻¹
aceleração	gal	10 ⁻² m.s ⁻²
pressão	bar	10 ⁵ Pa
pressão	milímetro de mercúrio (mmHg)	103,322 Pa
pressão	torricelli (torr)	103,322 Pa
pressão	barie (b)	0,1 Pa
pressão	atmosfera normal(atm)	101325 Pa
força	dyne(dyn)	10 ⁻⁵ N
força	quilograma-força(kgf)	9,80665 N
trabalho e energia	erg	10 ⁻⁷ J
trabaho e energia	caloria (cal)	4,1868 J
potência	cavalo-vapor(CV)	735,5 W
potência	horse-power	745,7 W

13. Exatidão, Erro e Incerteza da Medição

Quando se realiza uma medição pretende-se obter o valor mais próximo ao valor real que a representa ou valor verdadeiro. Entretanto, isto é praticamente impossível devido aos desvios naturais dos aparelhos empregados na sua determinação, às circunstâncias e métodos de medida e por perturbações externas. Estes desvios produzem um erro de medição que é o resultado de uma medição, subtraído o valor verdadeiro do mensurando. Pode-se qualificar os erros de três formas:

⇒ Erro aleatório - É o resultado de uma medição subtraído da média que resultaria de um infinito número de medições efetuadas sob condições de repetitividade. Ou seja, este erro ocorre quando uma medição é repetida diversas vezes nas mesmas condições, observando-se variações nos valores obtidos. Em relação ao valor médio, essas variações ocorrem de forma imprevisível, tanto para valores acima quanto abaixo do valor médio.

Diversos fatores contribuem para o surgimento do erro aleatório, como folgas, atrito, vibrações etc.. A intensidade do erro aleatório, em um mesmo SM, pode variar ao longo da sua faixa de medição, dentre outros fatores, com o tempo ou com variações das grandezas de influência.

⇒ Erro sistemático - É a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando. Ele pode ser causado por desgaste ou problema de ajuste do sistema de medição, ou ainda por fatores construtivos.

Embora se repita quando a medição for feita em idênticas condições, o erro sistemático não é constante ao longo de toda a faixa que o SM pode medir.

O erro sistemático da indicação de um instrumento de medição é também denominado Tendência (Td).

⇒ Erro Grosseiro - Geralmente decorre de mau uso ou mau funcionamento do SM. Pode ocorrer em função de leitura errônea, operação indevida ou dano do SM. Seu valor é imprevisível, porém geralmente sua existência é facilmente detectável. Sua aparição deve ser restrita a casos esporádicos, desde que o trabalho de medição seja feito com consciência.

A repetitividade pode ser definida como o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando sob as mesmas condições de medição.

A indicação da medição sempre é expressa por um número e a unidade do mensurando. Na verdade, a medição não termina com essa indicação. Deve-se chegar à informação denominada como resultado de medição (RM) de acordo com a expressão a seguir:

<p>Resultado >> (Valor Esperado, Incerteza) $RM = (RB \pm IM) [unidade]$</p>

Sendo:

⇒ Resultado Base (RB): Valor central da faixa onde deve situar-se o valor verdadeiro do mensurando e;

⇒ Incerteza de Medição (IM): Faixa de dúvida presente no resultado, provocada pelos erros do SM e/ou variações no mensurando e deve ser acompanhado da unidade do mensurando.

Formalmente define-se incerteza como: “parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza dispersão de valores que podem, razoavelmente, serem atribuídos ao mensurando”. Para estimar adequadamente a incerteza envolvida num processo de medição é necessário considerar todas as possíveis fontes de incerteza, mesmo aquelas que aparentam ser pouco significativas.

Cada fonte de erro influi de forma sistemática e aleatória sobre o erro de medição. Após compensar a parcela sistemática, restará ainda a parcela aleatória a ser considerada. Para quantificar a parcela aleatória é comum estimar experimentalmente a sua dispersão por meio do desvio-padrão. Define-se então "Incerteza Padrão" de uma fonte de erro como a faixa de dispersão em torno de um valor central equivalente a um desvio-padrão.

Por economia de tempo, comodidade ou praticidade é comum aplicar uma única vez o SM sobre o mensurando para determinar o resultado da medição. Esta prática é muito freqüente na indústria e pode ser perfeitamente correta do ponto de vista metrológico.

Justifica-se o uso de medições repetitivas quando se deseja reduzir a incerteza da medição e quando mensurando é variável sob diferentes condições.

Podem-se citar algumas influências das medidas na logística:

- ⇒ Quantidades Despachadas X Recebidas;
- ⇒ Margens de tolerância contratuais;
- ⇒ Volume X Massa;
- ⇒ Capacidade de: veículos, armazéns, vias, etc;
- ⇒ Fiscalização;
- ⇒ Erros de medição X incerteza da medição;
- ⇒ Perda X Quebra.

14. Algarismos Significativos

O resultado de uma medição expressa o valor de uma grandeza física. É muito importante saber distinguir o valor efetivamente obtido no processo de medição, daqueles decorrentes de cálculo ou arredondamento numérico. Assim, dado o resultado de uma medição, os algarismos significativos são todos aqueles contados, da esquerda para a direita, a partir do primeiro algarismo diferente de zero.

Exemplos:

- 45,30cm > tem quatro algarismos significativos;
- 0,0595m > tem três algarismos significativos; e
- 0,0450kg > tem três algarismos significativos.

Vamos supor que se está efetuando a medição de um segmento de reta, utilizando para isso uma régua graduada em centímetros. Observa que o segmento de reta tem um pouco mais de vinte e sete centímetros e menos que vinte e oito centímetros.

Estima-se o valor desse "pouco" que ultrapassa vinte e sete centímetros, expressando o resultado da medição assim: 27,6 centímetros. Ou seja, existem dois algarismos corretos (2 e 7) e um duvidoso (6), porque este último foi estimado - um outro observador poderia fazer uma estimativa diferente.

Zeros à esquerda do primeiro algarismo correto, antes ou depois da vírgula, não são significativos. Refletem apenas a utilização da unidade, ou seus múltiplos e submúltiplos.

Note que ao se expressar o resultado 0,0595m em centímetros, ao invés de metros, se escreveria 5,95cm. Continua-se com os mesmos três algarismos significativos.

Zeros colocados à direita do resultado da medição são significativos.

O resultado 0,0450kg é diferente de 0,045kg, pois o primeiro tem três algarismos significativos enquanto o segundo só tem dois. No primeiro caso, o zero é o algarismo duvidoso, enquanto no segundo caso o algarismo duvidoso é o cinco. Isso significa que houve maior exatidão de medição no processo para se obter o resultado 0,0450kg.

Vamos supor que se fez três medições de massa de um mesmo corpo em uma balança de leitura digital que apresenta o resultado em gramas, obtendo os seguintes valores: 5202g; 5202g e 5203g. Obtiveram-se resultados com quatro algarismos significativos. Para apresentar o resultado da medição, você resolveu fazer a média entre as três leituras obtidas, utilizando três casas decimais para o cálculo:

$$5202g + 5202g + 5203g = 15607g : 3 = 5202,333g$$

Ora, se for apresentado como resultado da medição o valor 5202,333g, sem qualquer informação adicional, você o estará falseando, pois este exibe sete algarismos significativos. Nesse caso, o resultado apresentado não é resultante apenas do processo de medição, mas foi influenciado pelo cálculo com três casas decimais. Você passará a informação de que a medição foi realizada com exatidão muito superior ao que de fato ocorreu no processo de medição.

O contrário também pode ocorrer. Pegando o mesmo exemplo, digamos que se tenha decidido apresentar o resultado da medição em quilogramas, ou seja, 5,202kg. Resolve-se arredondar o valor obtido para 5,2kg. Esse resultado apresenta apenas dois algarismos significativos e expressa uma exatidão inferior àquela obtida pelo processo de medição. Assim, a maneira correta de apresentar esse resultado é 5,202kg, portanto com os mesmos 4 significativos originais.

Há regras para operar com algarismos significativos. Se estas regras não forem obedecidas pode-se obter resultados que podem conter algarismos que não são significativos.

A) Adição e subtração

Supondo-se que se queira fazer a seguinte adição: $250,657 + 0,0648 + 53,6 =$

Para tal, vale observar qual parcela apresenta o menor número de algarismos significativos. Neste caso o valor "53,6" apresenta apenas uma casa decimal. Esta parcela será mantida e as demais serão aproximadas para uma casa decimal.

Devem-se observar as regras de arredondamento que, resumidamente, são:

Ao abandonarmos algarismos em um número, o último algarismo mantido será acrescido de uma unidade se o primeiro algarismo abandonado for superior a 5; quando o primeiro algarismo abandonado for inferior a 5, o último algarismo permanece invariável, e quando o primeiro algarismo abandonado for exatamente igual a 5, é indiferente acrescentar ou não uma unidade ao último algarismo mantido.

Neste exemplo têm-se as seguintes aproximações:

$$250,657 \gg 250,6$$

$$0,0648 \gg 0,1$$

Adicionando os números aproximados, tem-se:

$$250,6 + 0,1 + 53,6 = 304,3 \text{ cm}$$

Na subtração, faz-se o mesmo procedimento.

B) Multiplicação e divisão

Efetuando-se 6,78 multiplicados por 3,5 chega-se a: $6,78 \times 3,5 = 23,73$

Aparecem, no produto, algarismos que não são significativos. A seguinte regra é adotada:

Verificar qual o fator que apresenta o menor número de algarismos significativos e apresentar no resultado apenas a quantidade de algarismo igual a deste fator, observando as regras de arredondamento.

$$6,78 \times 3,5 = 23,7$$

Para a divisão o procedimento é análogo.

Observação: As regras para operar com algarismos significativos não são rígidas. Poderia ser mantido perfeitamente um algarismo a mais no produto. Os dois resultados são aceitáveis:

$$6,78 \times 3,5 = 23,73 \text{ ou } 6,78 \times 3,5 = 23,7.$$

15. Bibliografia

Conhecimentos Gerais - <http://www.conhecimentosgerais.com.br>, capturado em 26/12/2005.

Instituto de Pesos e Medidas de São Paulo - <http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/unidade.asp>, capturado em 26/12/2005.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - <http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/Si/si.htm>, capturado em 26/12/2005.

Metrologia, Instrumentos de Medição e Fundamentos da Avaliação da Conformidade, Biblioteca Digital da PUC-RIO, http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/PRG_0599.EXE/6380_5.PDF?NrOcoSis=17697&CdLinPrg=pt, capturado em 26/12/2005.

Programa Educar – Universidade de São Carlos – USP, <http://educar.sc.usp.br>, capturado 27/12/2005.

Telecurso 2000,
http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/tem_outros/cursprofissionalizante/tc2000/metrologia/metr1.pdf, capturado em 26/12/2005.