DISCIPLINA DE FÍSICA

Curso de Engenharia de Civil
ano lectivo: 2010-2011 1º semestre

Capítulo 1 – Sistemas de unidades

1.1 Medidas e Unidades

O estudo e compreensão da natureza, dos fenómenos naturais e dos fenómenos produzidos em laboratório, abrangem não só uma análise qualitativa, mas sobretudo e fundamentalmente uma análise quantitativa dos mesmos. A ciência actual é baseada no método experimental, assumindo a medida/medição um papel crucial. A materialização do progresso científico só foi e é possível, pela sua estreita relação com a tecnologia, que permite a construção de máquinas e equipamentos funcionais e fiáveis, coadjuvado por um conjunto de normas e regras, que todos podemos facilmente entender e usar, não só no plano científico/tecnológico como no plano social do nosso quotidiano.

A aplicação do **método científico** é a parte estruturante do nosso actual nível de conhecimento científico e tecnológico. Podemos esquematizar o método científico da seguinte maneira simplificada:

- Observação de um fenómeno,
- Formulação da pergunta/problema com ele relacionado,
- Proposta de hipótese de explicação do fenómeno,
- Realização de experiências controladas, para testar a validade da hipótese,
- Análise dos resultados,
- Conclusão e elaboração de Lei/Teoria.

A **quantificação** e **medição** de parâmetros são assim parte integrante do método científico.

Medição é a actividade de comparar uma quantidade com um padrão predefinido. Através da medição o homem pode expressar numericamente qualidades de um objecto ou fenómeno. Sem a medição, o homem fica limitado a conceitos como "grande/pequeno", "forte/fraco", "largo/fino", "comprido/curto", "frio/quente", etc; porém, com a medição, o homem pode raciocinar com mais precisão acerca das referidas qualidades.

O acto de medir envolve essencialmente a existência de unidades de medida, que são os comparativos usados na medição. Envolve também a existência de instrumentos de medição, que graduados e calibrados de acordo com a unidade de medida em questão, fornecem com variados graus de precisão a medida desejada.

Medição é o conjunto de operações, realizadas manualmente ou automaticamente, com o objectivo de determinar o valor de uma *grandeza*.

Medida em *matemática* é uma noção envolvida com o que se poderá chamar de "tamanho" de um conjunto, estruturado ou não.

Medida em *física* é uma noção intimamente relacionada com a correspondente noção matemática. Difere, contudo, por estar sempre associada com alguma unidade, (não confundir, contudo, unidade com dimensão, já que há unidades que são *adimensionais*).

A medida é o valor numérico que resulta do acto de medição e tem sempre para nós um significado físico bem preciso e determinado.

a)

b)

Figura 1.1 a) - Medição do caudal numa conduta. b) - Medição de distâncias lineares e angulares.

1.2 Grandezas Físicas e suas unidades. Sistema Internacional de Unidades

A escolha e definição rigorosa das grandezas físicas e suas unidades são de fundamental importância, não só para a ciência como para as sociedades em geral, nomeadamente nas trocas comerciais entre países. A colocação em prática de um sistema "universal" de unidades, igual para todos e de fácil difusão, só começou a ser "globalmente" implementada durante o século XIX. O **Sistema Internacional de Unidades (SI)** é um sistema coerente constituído por duas classes de unidades; as unidades de base, com sete unidades bem definidas para sete grandezas físicas independentes do ponto de vista dimensional (tabela 1.1) e as unidades derivadas das unidades de base, muito mais numerosas e especificas para cada ramo da física (tabela 1.3).

Foi durante o século XIX que foi definida a Hora (Tempo) Universal e os respectivos fusos horários, que dividem zonas de igual tempo legal no globo. O meridiano central contido no fuso da hora de referência (Tempo Universal) – chamado meridiano de Greenwich – serve igualmente como origem espacial de uma das coordenadas terrestres (a longitude). Antes desta uniformização, muitos países tinham o seu próprio tempo, baseado no seu meridiano nacional de referência (como os meridianos dos observatórios de Greenwich, Paris, Berlim, Lisboa…). O nosso actual calendário remonta a 1582, e sendo uma reforma católica, apenas os países católicos (e suas colónias) o adoptaram de início. Os últimos países adoptaram-no durante o passado século. No entanto, continuam a existir paralelamente outros calendários (muçulmano, judeu, chinês,…).

Tabela 1.1 – Grandezas e unidades de base do sistema internacional de unidades.

Grandeza de Base		Unidade de Base		
nome	**símbolo**	**dimensão**	**nome**	**símbolo**
comprimento	*l, L*	L	metro	m
massa	*m*	M	quilograma	kg
tempo	*t*	T	segundo	s
intensidade da corrente eléctrica	*I*	I	ampere	A
temperatura termodinâmica	*T*	Θ	kelvin	K
quantidade de matéria	*n, (ν)*	N	mole	mol
intensidade luminosa	I_v	J	candela	cd

Definições (actuais) das unidades de base:

O **metro** – é o comprimento do trajecto percorrido no vazio pela luz durante um intervalo de tempo de 1/299 792 458 do segundo. (1983).

O **quilograma** – é a unidade de massa igual à massa protótipo internacional do quilograma. (1901).

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. (1967).

O **ampere** – é a intensidade de uma corrente constante que, mantida em dois condutores paralelos rectilíneos, de comprimento infinito, de secção circular desprezável e colocados à distância de 1 metro um do outro, no vazio, produziria entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} N por metro de comprimento. (1948).

O **kelvin** – unidade de temperatura termodinâmica, é a fracção 1/273,16 da temperatura do ponto triplo da água. (1967).

A **mole** – 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, iões, electrões, outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas. (1971).

A **candela** – é a intensidade luminosa, numa dada direcção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz e cuja intensidade energética nessa direcção é 1/683 W.sr^{-1}. (1979).

A inovação tecnológica resultante do avanço no conhecimento científico, tem permitido novas definições para algumas das unidades de base. É o caso das unidades metro e segundo, *outrora* relacionados, respectivamente com, o tamanho da Terra (1/10.000.000 de um quarto de meridiano terrestre) e com o período orbital da mesma (1/31 556 925,9747 do ano trópico de 1900).

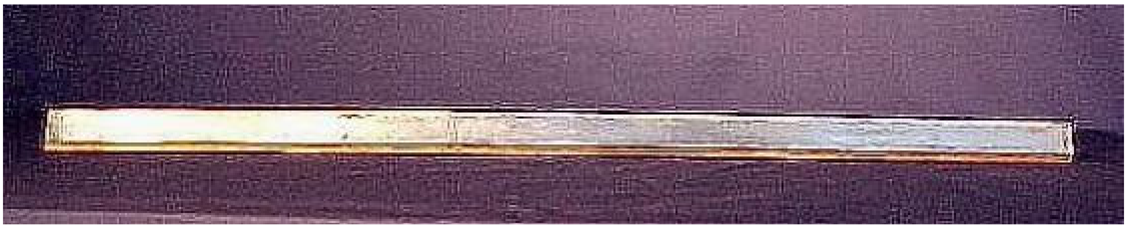


Figura 1.2 – Imagem de uma cópia do metro-padrão

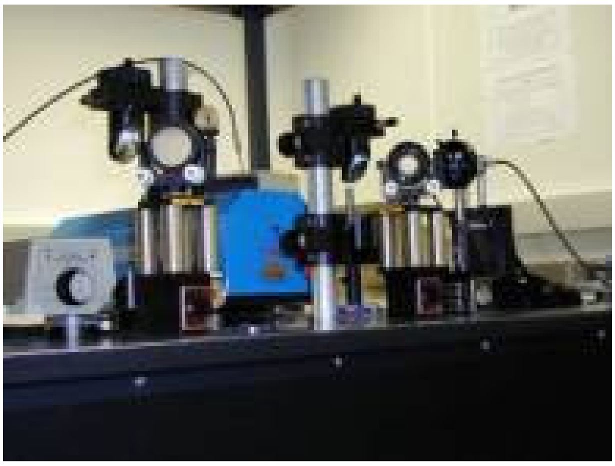


Figura 1.3 – Sistema actualmente usado na realização prática da definição do metro.

Tabela 1.2 – Grandezas e unidades dos ângulos plano e sólido no S.I..

Grandeza		**Unidade**		
nome	**símbolo**	**dimensão**	**nome**	**símbolo**
ângulo plano	$\alpha, \beta, \gamma, \theta$	adimensional	radiano	rad
ângulo sólido	Ω, ω	adimensional	esterradiano	sr

O **radiano** – é o ângulo compreendido entre dois raios que, na circunferência de um círculo, intersectam um arco de comprimento igual ao raio desse círculo. (1960). [1 rad = 57,295 78 º] (aproximação a 5 casas decimais).

O **esterradiano** – é o ângulo sólido que, tendo o vértice no centro de uma esfera, intercepta na superfície desta uma área igual à de um quadrado tendo por lado o raio da esfera. (1960). [1 sr = 3 282,806 35 graus quadrados] (aproximação a 5 casas decimais).

Tabela 1.3 – Algumas grandezas e unidades derivadas do sistema internacional de unidades.

Grandeza Derivada			Unidade Derivada	
nome	**símbolo**	**dimensão**	**nome**	**símbolo**
Massa volúmica	ρ	$L^{-3}M$	quilograma por metro cúbico	$kg.m^{-3}$
Carga eléctrica	q, Q	TI	coulomb	C
Período	T	T	segundo	s
Frequência	f	T^{-1}	hertz	Hz
Velocidade	$\vec{v}$, c	LT^{-1}	metro por segundo	$m.s^{-1}$
Velocidade angular	ϖ	T^{-1}	radiano por segundo	$rad.s^{-1}$
Aceleração	$\vec{a}$	LT^{-2}	metro por segundo ao quadrado	$m.s^{-2}$
Força	$\overline{F}$	LMT^{-2}	newton	N
Energia	E	L^2MT^{-2}	joule	J
Quantidade de calor	Q	L^2MT^{-2}	joule	J
Trabalho	τ	L^2MT^{-2}	joule	J
Potência	P	L^2MT^{-3}	watt	W
Pressão	p, P	$LM^{-1}T^{-2}$	pascal	Pa
Capacidade térmica mássica	c	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	joule por kelvin e por quilograma	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
Capacidade térmica	C	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	joule por kelvin	$J.K^{-1}$
Potencial eléctrico	U, V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	volt	V
Resistência eléctrica	R, r	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ohm	Ω
Resistividade	ρ	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	ohm metro	$\Omega.m$
Condutividade	γ, σ	$L^{-3}M^{-1}T^3I^2$	siemens por metro	$S.m^{-1}$
Impedância	Z	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ohm	Ω
Campo magnético	$\vec{H}$	$L^{-1}I$	ampere por metro	$A.m^{-1}$
Indução magnética	$\vec{B}$	$MT^{-2}I^{-1}$	tesla	T
Indutância	L	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	henry	H
Capacidade eléctrica	C	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	farad	F

1.3 Análise dimensional

É sempre possível exprimir qualquer grandeza física *G* como função das grandezas de base que com ela se relacionam (tabela 1.1). Assim, uma dada grandeza *G* é expressa pelo produto de diferentes dimensões.

$$\dim G = [G] = \mathrm{A}^{\alpha}\, \mathrm{B}^{\beta}\, \mathrm{C}^{\gamma} \ldots \qquad (1.1)$$

onde A, B, C, … indicam *as dimensões* das grandezas de base *A*, *B*, *C*, …, e α, β, γ, …são os chamados *expoentes dimensionais*. $\mathrm{A}^{\alpha}\, \mathrm{B}^{\beta}\, \mathrm{C}^{\gamma}\ldots$ é a dimensão da grandeza *G*.

No caso particular em que todos os *expoentes dimensionais* são *iguais a zero*, obtemos uma *grandeza sem dimensão* (também chamada, neste caso, grandeza adimensional). Esta situação verifica-se, em geral, quando uma grandeza é definida pela razão entre duas grandezas comparáveis (da mesma espécie). A sua dimensão também chamado produto de dimensões, é $\mathrm{A}^0\, \mathrm{B}^0\, \mathrm{C}^0 \ldots = 1$.

Exemplos de algumas grandezas sem dimensão:

- ângulo plano, ângulo sólido, índice de refracção, coeficiente de atrito

Uma grandeza terá a dimensão de um comprimento quando puder ser expressa em unidades de comprimento. O deslocamento tem a dimensão de um comprimento. O período tem a dimensão de um tempo.
A dimensão da velocidade é: $\dim v = \mathrm{LT}^{-1}$
A dimensão da grandeza trabalho é expressa por : $\dim W = \mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-2}$, com os expoentes dimensionais 2, 1 e -2.

Vimos que no Sistema Internacional de Unidades, as grandezas de base são sete (tabela 1.1), São descritas da seguinte forma:

Tabela 1.4 – Definição das Grandezas de Base.

Grandeza de Base	Dimensão
comprimento	L
massa	M
tempo	T
intensidade da corrente eléctrica	I
temperatura termodinâmica	Θ
quantidade de matéria	N
intensidade luminosa	J

A dimensão de uma grandeza *G*, no Sistema Internacional (S.I.), vem em geral dada por:

$$\dim G = [G] = \mathrm{L}^{\alpha}\,\mathrm{M}^{\beta}\,\mathrm{T}^{\gamma}\,\mathrm{I}^{\delta}\,\Theta^{\varepsilon}\,\mathrm{N}^{\zeta}\,\mathrm{J}^{\eta} \qquad (1.2)$$

Exemplos de dimensões de algumas grandezas:

- potência	$\mathrm{L\,M\,T^{-3}}$
- densidade relativa	1
- constante de Faraday	$\mathrm{T\,I\,N^{-1}}$
- permitividade eléctrica	$\mathrm{L^{-3}\,M^{-1}\,T^{4}\,I^{2}}$

1.3.1 Determinação da dimensão de uma grandeza

A dimensão de uma grandeza determina-se recorrendo à sua equação de definição estabelecida para o caso mais simples.

1º exemplo:

Dimensão da massa volúmica. Equação de definição: $\rho = \dfrac{m}{V}$ (= massa / volume)

$$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} \quad ; \quad [V] = [l^3] \quad ; \quad [\rho] = \frac{[m]}{[l^3]}$$

a dimensão da massa volúmica é $[\rho] = \dfrac{\mathrm{M}}{\mathrm{L}^3} = \mathrm{L}^{-3}\mathrm{M}$

Nas unidades definidas no S.I.: kg m^{-3}

2º exemplo:

Dimensão da força. Equação de definição: $F = ma$ (= massa . aceleração)

$$[F] = [m]\cdot[a]$$

$$a = \frac{v}{t} \quad \Rightarrow \quad [a] = \frac{[v]}{[t]}$$

$$v = \frac{x}{t} \quad \Rightarrow \quad [v] = \frac{[x]}{[t]} = \mathrm{LT}^{-1} \quad \text{assim,}$$

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \mathrm{LT}^{-2} \quad \text{e logo vem, } [F] = [m]\cdot[a] = \mathrm{LMT}^{-2}$$

Nas unidades definidas no S.I.: kg m s^{-2}

3º exemplo:

Dimensão da constante (molar) dos gases ideais. $pV = nRT \quad \Rightarrow \quad R = \dfrac{pV}{nT}$

$$[R] = \frac{[p]\cdot[V]}{[n]\cdot[T]} \qquad [p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{\mathrm{LMT}^{-2}}{\mathrm{L}^2} = \mathrm{L}^{-1}\mathrm{MT}^{-2} \qquad [V] = [l^3] = \mathrm{L}^3 \qquad [n] = \mathrm{N} \qquad [T] = \Theta$$

$$[R] = \frac{(\mathrm{L}^{-1}\mathrm{MT}^{-2})\mathrm{L}^3}{\mathrm{N}\Theta} = \mathrm{L}^2\mathrm{MT}^{-2}\Theta^{-1}\mathrm{N}^{-1}$$ Nas unidades definidas no S.I.: kg m^{2} s^{-2} K^{-1} mol^{-1}

1.4 Algarismos significativos e ordens de grandeza

1.4.1 Algarismos significativos

Quando se efectua qualquer medição, é necessário estabelecer de imediato a precisão do aparelho/instrumento que se utiliza. Pode, assim, fixar-se o erro (máximo) que afecta a medição em causa, pois todas as medidas são sempre afectadas por um ou mais erros, de distintas origens.

No registo de cada valor obtido, o erro atribuído determina o número de algarismos significativos. Estes são os algarismos que definem o valor de uma grandeza. Como resultado de uma experiência, podemos obter, por exemplo:

$$x = 8{,}46 \pm 0{,}01 \qquad (1.3)$$

o que significa a grandeza $x \in \left] 8{,}45 \, , 8{,}47 \right[$

tal como

$$x = 8{,}4643 \pm 0{,}01 \qquad (1.4)$$

significa igualmente que $x \in \left] 8{,}45 \, , 8{,}47 \right[$

mas, enquanto na expressão (1.3) todos os algarismos são significativos, na expressão (1.4) os últimos dois algarismos (o 4 e o 3) não têm qualquer utilidade para a medição, já que o erro atribuído é maior do que a precisão que exibem.

É assim necessário determinar quais são os algarismos são significativos, no nosso caso, os algarismos com significado físico. Só esses devem ser registados na escrita do resultado final.

Como já referimos, o número de algarismos significativos é resultado da escala do aparelho com que se está a obter a medida. Vejamos os seguintes elucidativos exemplos;

1º exemplo:

Vamos medir uma massa numa balança que tem a indicação de sensibilidade d = ± 0,001 g. Obtemos uma massa de 5,963 g na nossa pesagem. Então;

5,96 → o 5, o 9 e o 6, são os algarismos exactos

3 → o 3 é um algarismo incerto

O 3 é um algarismo incerto, porque o seu valor físico real pode ser de 2, 3 ou 4.

O valor de massa 5,963 g tem assim 4 algarismos significativos.

Podemos assim definir os **Algarismos Significativos**, como;

todos os algarismos exactos + o primeiro algarismo dos incertos

<u>2º exemplo:</u>

Estamos a medir um comprimento S com uma régua, graduada em milímetros (figura 1.4).

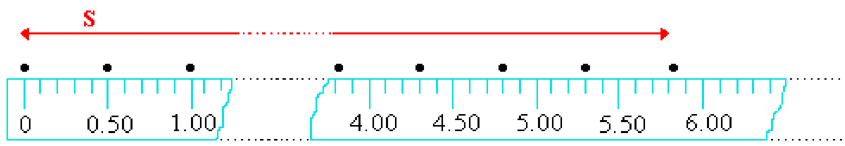


Figura 1.4 – Régua graduada em milímetros, com indicação centimétrica.

Obtemos um comprimento de 5,84 cm. Então;

5,8 → o 5 e o 8, são os algarismos exactos

4 → o 4 é um algarismo incerto

O valor de comprimento 5,84 cm tem 3 algarismos significativos.

Regras de contagem do número de algarismos significativos de um resultado

<u>A contagem dos algarismos significativos faz-se da esquerda para a direita, começando pelo primeiro algarismo diferente de zero, segundo as regras seguintes;</u>

1º Qualquer algarismo diferente de zero é significativo. Por exemplo: 134 g têm 3 algarismos significativos,

2º Zeros entre algarismos diferentes de zero são significativos. Por exemplo: 3005 m têm 4 algarismos significativos,

3º Zeros à esquerda do primeiro algarismo significativo diferente de zero, não são significativos. Por exemplo: 0,000456 g têm 3 algarismos significativos,

4º Para números superiores a 1, os zeros à direita da vírgula contam como algarismos significativos. Por exemplo: 34,000 g têm 5 algarismos significativos,

5º Para números sem casas decimais, os zeros podem ou não ser significativos. Por exemplo: o número 500 pode ter 1, 2 ou 3 algarismos significativos. Deve usar-se a notação científica para eliminar esta ambiguidade.

5×10^2 → 1 algarismo significativo

$5{,}0\times10^2$ → 2 algarismos significativos

$5{,}00\times10^2$ → 3 algarismos significativos

Operações com algarismos significativos

Quando estamos a efectuar cálculos entre vários números com determinados algarismos significativos, o resultado deve respeitar o número de algarismos significativos dos dados segundo, as seguintes regras para as operações;

1ª Adição e Subtracção

O número de casas decimais da soma ou da diferença, é o mesmo do dado que tiver o menor número de casas decimais.

$$45{,}678 \text{ g} + 3{,}45 \text{ g} = 49{,}128 \rightarrow 49{,}13 \text{ g}$$

Foi aqui aplicada uma regra de arredondamento, que veremos adiante.

2ª Multiplicação e Divisão

No produto final ou no quociente, o número de algarismos significativos é determinado pelo factor que tenha menor número de algarismos significativos.

$$4{,}567 \text{ m} \times 54{,}2347 \text{ m} = 247{,}6898749 \rightarrow 247{,}7 \text{ m}^2$$

Foi aqui igualmente aplicada uma regra de arredondamento.

3ª Operações em cadeia

$$A \times B = C \qquad \text{e} \qquad C \times D = E$$

$$A = 3{,}45 \text{ , } B = 5{,} 67 \text{ , } D = 7{,}89$$

Usa-se um algarismo significativo a mais nos cálculos intermédios e arredonda-se o resultado final para o número correcto de algarismos significativos.

$$3{,}45 \times 5{,}67 = 19{,}56 \text{ (valor arredondado)}$$

$$19{,}56 \times 7{,}89 = 154{,}3284 \rightarrow 154 \text{ (valor arredondado)}$$

Os números **2** e **3** são designados **números puros**, não afectando o número de algarismos significativos nas regras de cálculo. Vejamos,

A média de 23,12 g e 23,33 g é:

$$(23{,}12 \text{ g} + 23{,}34 \text{ g}) / \mathbf{2} = 23{,}23 \text{ g}$$

A massa de 3 objectos iguais é:

$$\mathbf{3} \times 4{,}56 \text{ g} = 13{,}7 \text{ g (valor arredondado)}$$

1.4.2 Arredondamento

Outro problema é o dos arredondamentos dos valores numéricos. Se queremos manter, por exemplo, apenas dois algarismos de um número com três algarismos, como devemos proceder?

Nesse caso temos de usar um conjunto de **regras de arredondamento**, como as definidas a seguir. Escolhida a casa decimal até onde se quer fazer a aproximação, aplicamos;

1ª Arredondamento por defeito. Se o algarismo a eliminar é inferior a 5, o último algarismo a manter permanece com o seu valor inicial.

0,351 , arredondado a duas casas decimais $\rightarrow$ 0,35

2ª Arredondamento por excesso. Se o algarismo a eliminar é superior a 5, o último algarismo mantido toma o valor imediatamente a seguir ao que possui.

0,357 , arredondado a duas casas decimais $\rightarrow$ 0,36

3ª Regra do Ímpar. Se o algarismo a eliminar é igual a 5, o último algarismo mantido toma o valor ímpar mais próximo do seu valor inicial.

0,355 , arredondado a duas casas decimais $\rightarrow$ 0,35
0,365 , arredondado a duas casas decimais $\rightarrow$ 0,37

Também podemos obter pela regra do Par, em que o último algarismo mantido toma o valor par mais próximo do seu valor inicial. Mas num conjunto de dados, só podemos optar e usar sempre umas das regras, a do Par ou a do Ímpar. A aplicação desta terceira regra não é tão importante como as duas primeiras.

1.4.3 Notação científica - Potências de 10

Funcionam como um método prático de estabelecer a ordem de grandeza de um valor, sem ter que definir novas unidades. Por exemplo:

10^{-26} representa o número 0,00000000000000000000000001 (26 casas decimais)

e que se torna extremamente incómodo de usar quando escrito por extenso.

A fórmula geral de um número expresso em notação científica é $A \times 10^n$, em que $1 \leq A < 10$ e n é um número inteiro.

Exemplos; $2345{,}67 = 2{,}34567 \times 10^3$ $0{,}0034538 = 3{,}4538 \times 10^{-3}$

1.4.4 Unidade física

É fundamental em qualquer resultado de uma observação física.
Em Física medimos sempre (como já vimos) grandezas e não entidades matemáticas. A possibilidade de um tipo de grandeza poder ser expresso em diferentes unidades significa que um valor sem unidade é indeterminado. Vejamos o seguinte exemplo:

l = 1 mm = 0,001 m está correcto

mas, l = 1 = 0,001 não tem qualquer significado físico.

1.4.5 Valor numérico

O valor numérico de uma grandeza observada, deve compreender apenas os algarismos significativos e escreve-se, de uma forma geral, tomando como algarismo das unidades aquele que corresponde à maior potência de dez (desloca-se a ordem de grandeza do valor para uma potência de dez).

Por exemplo:

$$\text{carga do electrão} = -1{,}602\ 177\ 33 \times 10^{-19}\ \text{C}$$

$$\text{massa do electrão (em repouso)} = 9{,}109\ 389\ 7 \times 10^{-31}\ \text{kg}$$

Note-se que, quando um aparelho tem uma precisão de 0,01 mm, medir seis milímetros significa registar o número 6,00 mm e não 6 mm, já que este valor é o que se obtém quando se tem uma precisão da ordem do milímetro, (a definição de precisão e exactidão, será apresentada no 2º capitulo).

Para concluirmos, refira-se que as constantes que aparecem nas equações, como o caso de $\frac{1}{2}$ em $\frac{1}{2}mv^2$ ou $\frac{1}{2}gt^2$ são constantes exactas e o erro a elas associado é zero. No entanto, se escrevermos, por exemplo, a constante $\pi = 3{,}1415...$ este valor estará obviamente limitado pelo número de algarismos utilizados.

Na forma de registo devemos então ter sempre em consideração, o seguinte:

- as potências de 10
- a unidade que afecta o resultado
- os algarismos significativos do resultado

Exercício 1

Um terreno rectangular foi medido com uma fita métrica, graduada em centímetros. O comprimento obtido para cada lado foi de 45,67 m e 34,26 m.
- Calcule a área do terreno, tendo em atenção a precisão inicial e aplicando as regras que acabou de aprender.
- Se o preço por metro quadrado do terreno for de 12,55 €, refaça os cálculos e indique quanto tem de pagar pelo mesmo.

Exercício 2

Qual o resultado da seguinte adição: 3345,7 g + 482,17 g + 82,435 g + 9,3481 g

Qual o resultado da seguinte multiplicação: 2,56 m × 1,23 m × 0,237 m

1.4.6 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades S.I. Alfabeto Grego

Prefixos S.I.

Tabela 1.5 – Múltiplos decimais.

Nome do prefixo	Símbolo do prefixo	Factor multiplicador
yotta	Y	10^{24}
zetta	Z	10^{21}
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^{9}
mega	M	10^{6}
quilo	k	10^{3}
hecto	h	10^{2}
deca	da	10^{1}

[**Nota:** a notação comum é a seguinte; milhão = 10^6 , mil milhões = 10^9 e bilião = 10^{12}.
A "terminologia americana" atribui à denominação de bilião o valor de 10^9]

Tabela 1.6 – Submúltiplos decimais.

Nome do prefixo	Símbolo do prefixo	Factor multiplicador
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
fento	f	10^{-15}
ato	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}

Tabela 1.7 – Alfabeto Grego.

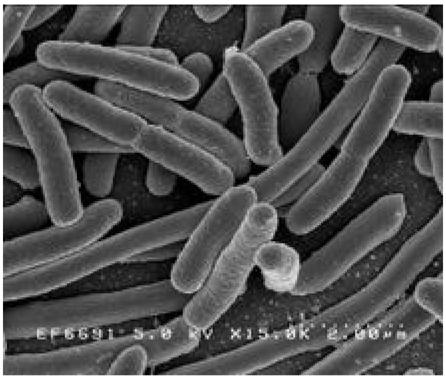
Pronúncia	Minúscula	Maiúscula	Pronúncia	Minúscula	Maiúscula
alfa	α	Α	ni	ν	Ν
beta	β	Β	ksi	ξ	Ξ
gama	γ	Γ	omicron	ο	Ο
delta	δ	Δ	pi	π	Π
épsilon	ε	Ε	rho	ρ	Ρ
dzeta	ζ	Ζ	sigma	σ	Σ
eta	η	Η	tau	τ	Τ
teta	θ	Θ	upsilon	υ	Υ
iota	ι	Ι	phi	φ	Φ
capa	κ	Κ	khi	χ	Χ
lâmbda	λ	Λ	psi	ψ	Ψ
mi	μ	Μ	ômega	ω	Ω

1.5 Ordem de grandeza física do - Comprimento, Massa e Tempo

1.5.1 Comprimento

Os valores "mensuráveis" da grandeza comprimento (na unidade do nosso sistema) são actualmente de pelo menos 41 ordens de grandeza (10^{41}).

Ordem de grandeza	Descrição
1 m	Metro padrão
10 m	Autocarro
100 m	Campo de futebol
10^3 m = 1 km	Distância IPT - centro Tomar
10^4 m = 10 km	Distância Tomar - Entroncamento
10^5 m = 100 km	Distância Tomar - Lisboa
10^6 m = 1000 km	Diâmetro da Ibéria. Maiores asteróides do sistema solar
$3{,}472\times10^6$ m = 3472 km	Diâmetro da Lua
$1{,}2755\times10^7$ m = 12755 km	Diâmetro da Terra
$3{,}84400\times10^8$ m = 384 400 km	Distância média Terra-Lua
10^{10} m = 10 000 000 km	Aproximação média à Terra de alguns asteróides
$1{,}50\times10^{11}$ m = 150 $\times10^6$ km	Unidade Astronómica – Distância média Terra-Sol
6×10^{12} m = 40 U.A.	Distância média Sol-Plutão
$9{,}45\times10^{15}$ m = 63 000 U.A.	1 Ano-Luz – distância percorrida num ano pela luz
4×10^{16} m = 4,25 a.l.	Distância à estrela mais próxima (próxima Centauro)
10^{21} m = 100 000 a.l.	Diâmetro da nossa galáxia
$2{,}2\times10^{22}$ m = $2{,}3\times10^6$ a.l.	Distância à grande galáxia de Andrómeda (M31)
10^{27} m = 10^{11} a.l.	Tamanho do Universo "actual"
10^{-2} m = 1 cm	Espessura de um dedo
10^{-4} m = 0,1 mm	Espessura de uma folha de papel
5×10^{-5} m = 5×10^{-2} mm	Resolução espacial do olho humano
10^{-5} m = 10^{-2} mm	Tamanho de uma bactéria grande
$5{,}50\times10^{-7}$ m = 550 nm	Comprimento de onda da luz amarela
10^{-8} m = 10 nm	Vírus pequeno
$0{,}9\times10^{-10}$ m = 90 pm	Átomo de Hélio
10^{-14} m = 10 fm	Núcleo atómico



a)

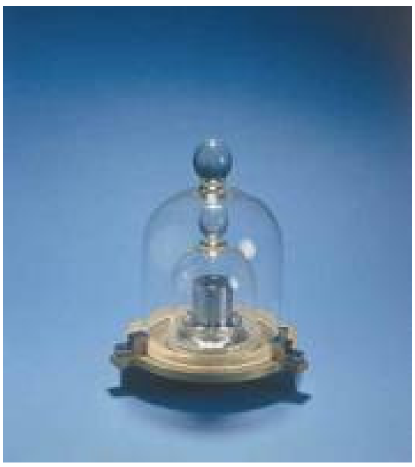
b)

Figura 1.5 a) - Bactérias com 10^{-6} m (amplificação de 15 000×). b) - Galáxia M31 a 2,3 milhões de A.L. de distância e com aproximadamente 100 000 A.L. de diâmetro.

1.5.2 Massa

Os valores “mensuráveis” da grandeza massa (na unidade do nosso sistema) são actualmente de pelo menos 84 ordens de grandeza (10^{84}).

Ordem de grandeza	Descrição
1 kg	Massa padrão (isocilindro 39 mm de Iridium)
10 kg	2 garrafões de 5 litros de água
100 kg = 10^{28} átomos	Homem
10^3 kg = 1000 kg	Automóvel
10^4 kg = 10 000 kg	Autocarro
10^5 kg = 100 000 kg	Boeing 727-200
10^6 kg = 1 000 000 kg	Maiores navios da carreira da Índias (séc XVI)
10^7 kg = 10 000 000 kg	Pequeno navio de 40 m
10^8 kg = 100 000 000 kg	Porta-aviões, petroleiro grande
10^{12} kg	Asteróide com 1 km de diâmetro
$1{,}6\times10^{18}$ kg	(1) Ceres – o primeiro asteróide descoberto
$7{,}34\times10^{22}$ kg	Lua
$5{,}98\times10^{24}$ kg = 10^{51} átomos	Terra
$1{,}90\times10^{27}$ kg	Júpiter (330 massas terrestres)
$1{,}98\times10^{30}$ kg = 10^{57} átomos	Sol
10^{32} kg = 10^{59} átomos	Estrela Aldebaran (α Tau)
2×10^{43} kg = 10^{70} átomos	Galáxia (10^{11} = 100 000 milhões de estrelas)
2×10^{53} kg = 10^{80} átomos	Universo - 10^{10} galáxias – 10^{20} estrelas
10^{-3} kg	Um centímetro cúbico de água
10^{-12} kg	Uma bactéria grande
10^{-21} kg	Um vírus pequeno
$1{,}673\times10^{-27}$ kg	Protão
$9{,}109\times10^{-31}$ kg	Electrão



a) b)

Figura 1.6 a) – Padrão nacional de massa (cópia nº69 do protótipo internacional).
b) - Tamanhos relativos e comparativos do Sol e da estrela Aldebaran.

1.5.3 Tempo

Os valores "mensuráveis" da grandeza tempo (na unidade do nosso sistema) são actualmente de pelo menos 61 ordens de grandeza (10^{61}).

Ordem de grandeza	Descrição
1,3 s	Duração do trajecto da luz entre a Terra e a Lua
5×10^{2} s = 500 s	Duração do trajecto da luz entre o Sol e a Terra
7200 s	Uma aula de física
86400 s	Um dia
$2,6\times10^{6}$ s	Um mês
$3,155\times10^{7}$ s	Um ano
3×10^{9} s	Vida humana
$8,2\times10^{11}$ s = 26 000 anos	Precessão do eixo da Terra
$9,5\times10^{13}$ s = 3 M.a. (10^{6} anos)	Aparecimento do Homem
2×10^{15} s = 63 M.a.	Extinção dos dinossáurios
$1,4\times10^{17}$ s = 4 500 M.a.	Idade da Terra
$4,7\times10^{17}$ s = 15 000 M.a.	Idade do Universo
10^{0} s = 1 s	Batimento do coração humano
10^{-1} s = 0,1 s	Resolução temporal do olho e ouvido humano
10^{-3} s = 1 ms	Batimento da asa de uma mosca
10^{-5} s	Acendimento de uma lâmpada estroboscópica
10^{-9} s = 1 ns	Duração impulso laser
10^{-18} s	Duração do percurso de um tamanho atómico
10^{-23} s	Período de existência de uma partícula sub-atómica
10^{-44} s	Tempo de Planck

a) b)

Figura 1.7 a) – Relógio de pêndulo (pêndula).
b) - Relógio atómico (de césio 133)