Capítulo 4

O Sistema Internacional

O Sistema Internacional (SI) é um sistema de unidades que foi criado em 1960 na 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas [2]. O objectivo era criar um sistema de unidades que fosse adoptado por todos os países de forma a evitar a necessidade de conversão de unidades.

4.1 As unidades de base

O sistema de unidades SI foi construído a partir de 7 *unidades de base* [3]:

Grandeza		Unidade SI	
Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
comprimento	$l, x, y, z, r, ...$	metro	m
massa	m, M	quilograma	kg
tempo, duração	$t, \Delta t$	segundo	s
intensidade da corrente eléctrica	I, i	ampère	A
temperatura	T	kelvin	K
intensidade luminosa	I_V	candela	cd
quantidade	n	mole	mol

Tabela 4.1: Unidades de base do SI

4.2 As unidades derivadas

Qualquer grandeza cujas unidades não sejam de base terá unidades que serão representadas como uma função de uma ou mais unidades de base. Dizemos que essa grandeza tem *unidades derivadas*.

Alguns exemplos:

- m^2 - o "metro quadrado" é a unidade de *área* do SI. É uma unidade derivada que resulta apenas de uma unidade de base SI.

- Hz - o "hertz" é a unidade de *frequência* do SI. É uma unidade derivada que resulta apenas de uma unidade de base SI.

$$\mathrm{Hz} = \frac{1}{\mathrm{s}} \tag{4.1}$$

- N - o "newton" é a unidade de *força* do SI. É uma unidade derivada que resulta de 3 unidades de base SI:

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \tag{4.2}$$

- V - o "volt" é a unidade de *potencial eléctrico* do SI. É uma unidade derivada que resulta de 4 unidades de base SI:

$$\mathrm{V} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{A} \cdot \mathrm{s}^3} \tag{4.3}$$

- T- o "tesla" é a unidade de *campo magnético* do SI. É uma unidade derivada que resulta de 3 unidades de base SI:

$$\mathsf{T} = \frac{\mathsf{kg}}{\mathsf{A} \cdot \mathsf{s}^2} \tag{4.4}$$

- Ω - o "ohm" é a unidade de *resistência eléctrica* do SI. É uma unidade derivada que resulta de 4 unidades de base SI:

$$\Omega = \frac{\mathsf{kg} \cdot \mathsf{m}^2}{\mathsf{A}^2 \cdot \mathsf{s}^3} \tag{4.5}$$

- lm - o "lúmen" é a unidade de *fluxo luminoso* do SI. É uma unidade derivada que resulta de 2 unidades de base SI:

$$\mathsf{lm} = \mathsf{cd} \cdot \mathsf{sr} \tag{4.6}$$

4.3 unidades derivadas especiais

No SI as duas grandezas ângulo e ângulo sólido são consideradas *adimensionais* e as suas unidades são consideradas *derivadas*.

4.3.1 ângulo ou ângulo plano

Para compreendermos o que é um ângulo consideremos uma linha semi-recta com origem num ponto O. Se rodarmos a semi-recta segundo um plano P em torno da origem, o ângulo será uma medida da rotação efectuada.

No caso do SI a medida é dada pelo comprimento do arco de circunferência de raio unitário entre os dois pontos de intersecção da linha com a circunferência.

Ou seja, se quisermos medir um ângulo, desenhamos uma circunferência de raio unitário centrada no ponto O. O ângulo é igual ao comprimento do arco de circunferência a vermelho na Figura 4.1.

A definição baseia-se na seguinte fórmula:

$$\theta = \frac{s}{r} \tag{4.7}$$

em que s é o comprimento de um arco de circunferência de raio r.

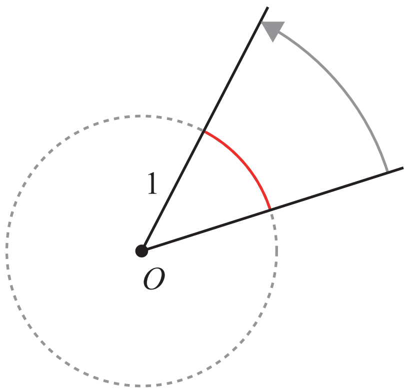

Figura 4.1: Ângulo plano

A unidade SI do ângulo é o *radiano* (rad).

Sabendo que o perímetro de uma circunferência de raio unitário é igual a 2π podemos então concluir que um ângulo completo tem 2π rad

.Alguns exemplos:

- ângulo recto - representa $1/4$ de um ângulo completo logo é igual a $\pi/2$ rad.
- ângulo interno de um triângulo equilátero - representa $1/6$ de um ângulo completo logo é igual a $\pi/3$ rad.

4.3.2 ângulo sólido

O ângulo sólido pode ser visto como uma generalização para três dimensões do conceito de ângulo plano. Consideremos uma semi-recta com origem num ponto O tal como definimos para o ângulo plano (ver 4.3.1).

Agora em vez de rodarmos o segmento de recta em torno de O sobre um plano, continuamos a rodar em torno de O mas agora em qualquer direcção voltando sempre à posição inicial. O ângulo sólido será uma medida da rotação tridimensional efectuada.

No caso do SI a medida é dada pela área da secção de uma esfera de raio unitário definida pela intersecção da linha com a esfera.

Ou seja, se quisermos medir um ângulo sólido, desenhamos uma esfera de raio unitário centrada no ponto O. O ângulo é igual à área da secção da esfera a vermelho na Figura 4.2.

A definição baseia-se na seguinte fórmula:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \tag{4.8}$$

em que A é a área da secção de esfera de raio r.

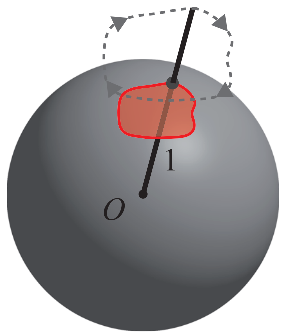

Figura 4.2: Ângulo sólido

A unidade SI do ângulo sólido é o *esterradiano* (sr).

Sabendo que a área da superfície de uma esfera de raio unitário é igual a 4π podemos então concluir que um ângulo sólido completo tem 4π sr.

Alguns exemplos:

- ângulo sólido no interior do vértice de um cubo - representa $1/8$ de um ângulo sólido completo logo é igual a $\pi/2$ sr.

- ângulo sólido no interior do vértice de um tetraedro regular (pirâmide triangular com as arestas todas iguais) - é igual a $3\,\mathrm{arccos}\left(\frac{1}{3}\right) - \pi \simeq 7\pi/40$ sr.

- ângulo sólido no interior do vértice de um sólido platónico - é igual a $q\theta - (q-2)\,\pi$ sr em que q é o número de faces que constituem o ângulo sólido e θ é o ângulo diedro.

4.4 Os prefixos das unidades

Na natureza uma grandeza pode variar muitas ordens de grandeza. Por uma questão de economia de esforço convencionou-se representar um múltiplo ou submúltiplo da unidade de uma grandeza adicionando um dos seguintes prefixos:

Múltiplos		
Nome	Símbolo	Factor
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}

Tabela 4.2: Prefixos múltiplos da unidade

Submúltiplos		
Nome	Símbolo	Factor
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 4.3: Prefixos submúltiplos da unidade

4.5 Contas com unidades e suas vantagens

Nesta unidade curricular vamos realizar todos os cálculos com grandezas físicas apresentando explicitamente as unidades em todos os passos. Pretende-se que este procedimento torne-se num hábito que perdure para além desta unidade. Mas o que é que ganhamos ao fazê-lo?

Para compreendermos os benefícios consideremos o seguinte problema:

Um automóvel desloca-se na via rápida com uma velocidade constante de 36 km/h. Qual é a distância que percorre em 20 minutos?

Alguns alunos poderão estar neste momento a perguntar-se: qual era mesmo a fórmula da velocidade?

Se olharmos para as unidades dos dados teremos a resposta. As unidades da velocidade estão em km/h. Ou seja, a partir das unidades sabemos que a velocidade será obtida a partir de uma distância (em km) a dividir por um tempo (em h). Logo podemos prever que a fórmula para a velocidade v será dada por:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

em que Δx é o espaço percorrido entre dois pontos e Δt é o intervalo de tempo que decorreu.

A primeira vantagem: Não é preciso fixar as fórmulas. Uma análise das unidades dos dados permitem *adivinhar* a fórmula.

Ao fazer as contas com as unidades explicitadas:

$$\begin{aligned} 36\ \text{km/h} = \tfrac{\Delta x}{20\ \text{min}} & \quad \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \quad \Delta x = (36\ \text{km/h}) \times 20\ \text{min} & \end{aligned}$$