PARTE A – Unidades, Grandezas, Escalas e Graficos.

Objetivos: Nomear e conceituar as grandezas fundamentais e Derivadas do Universo. Conceituar a Biofísica. Aprender a ler e escrever gráficos. Resolver problemas simples aplicados a Biologia.

1 – Unidades e Grandezas.

De que se compõem os seres vivos? Essa pergunta leva a outra, anterior e mais geral: qual é a composição do Universo? Contemplar o Universo é uma deslumbrante festa para os sentidos: Objetos vários, luzes, cores, sons movimentos e a presença espantosa de Seres Vivos. A Composição desse Universo, desde o Micro ate o Macrocosmo parece muito complexa, mas pode ser reduzida a alguns componentes fundamentais, que são: **Matéria (M), Energia (E), Espaço (L), Tempo (T)**

Esses componentes, fundamentais simplesmente porque não podem ser substituídos por outros, são também denominados Grandezas, Qualidades ou Dimensões fundamentais. Todos nós temos noção, subjetiva e objetiva, desses componentes:

Matéria – pelos objetos, corpos, alimentos;

Energia – pelo calor, luz, som, pelo trabalho fisicoa;

Espaço – pelas distancias, áreas e volume dos objetos;

Tempo – Pela sucessão do dia e noite, pela espera dos acontecimentos e pela duração dos fenômenos físicos e químicos e da própria vida.

A combinação dessas Grandezas fundamentais dá origem a uma série de Grandezas Derivadas.

Massa – A massa (M) é a medida da quantidade de Matéria de um ser vivo. Sob a ação da gravidade, a massa exerce uma Força, que é o peso. Na linguagem coloquial, massa e peso são usados como sinônimos, mas massa deve ser preferida. Os seres vivos variam largamente na escala de massa, indo desde vírus, com massas da ordem de 10^{-20} kg, até baleias com massas de 10^3 kg.

A unidade de massa molecular, o **dalton**

A massa dos indivíduos da espécie humana varia com diversos fatores, mas, em biologia médica, é um indicador do estado de higidez dos indivíduos.

Algumas Massas Aproximadas

Descrição	Massa em Quilogramas
Universo conhecido	1×10^{53}
Nossa galáxia	2×10^{41}
Sol	2×10^{30}
Lua	7×10^{22}
Asteróide Eros	5×10^{15}
Montanha pequena	1×10^{12}
Transatlântico	7×10^{7}
Elefante	5×10^{3}
Uva	3×10^{-3}
Grão de poeira	7×10^{-10}
Molécula de penicilina	5×10^{-17}
Átomo de urânio	4×10^{-25}
Próton	2×10^{-27}
Elétron	9×10^{-31}

Tempo – O tempo tem dois aspectos. No dia-a-dia e para alguns fins científicos queremos saber a hora do dia para podermos ordenar eventos em seqüência. Em muitos trabalhos científico estamos interessados em conhecer a duração de um evento. Assim, qualquer padrão deve ser capaz de responder as duas perguntas: *"Quando isso aconteceu?"* e *"Quanto temo isso durou?"* Sua unidade no sistema internacional é o segundo.

Alguns Intervalos de Tempo Aproximados

Descrição	Intervalo de Tempo em Segundos
Tempo de vida do próton (teórico)	3×10^{40}
Idade do universo	5×10^{17}
Idade da pirâmide de Quéops	1×10^{11}
Expectativa de vida de um ser humano	2×10^{9}
Duração de um dia	9×10^{4}
Intervalos entre duas batidas de um coração humano	8×10^{-1}
Tempo de vida do múon	2×10^{-6}
Pulso mais curto obtido em laboratório	1×10^{-16}
Tempo de vida da partícula mais instável	1×10^{-23}
Tempo de Planck[a]	1×10^{-43}

[a]Tempo decorrido após o big bang, a partir do qual as leis de física que conhecemos passaram a ser válidas.

Comprimento, Área e Volume – As dimensões dos seres vivos variam em larga escala, da mesma forma, e acompanhando a massa.

A área (L^2), ou superfície corporal, pode ser relacionada a diversos fatores fisiológicos, como o metabolismo, à perda de plasma em casos de queimadura, etc. A unidade de área do SI é o m^2, mas em biologia, usa-se ainda o cm^2.

O volume (L^3), tem grande importância biológica, como veremos, em vários exemplos, neste texto. A unidade SI de volume é o m^3, mas usa-se ainda o cm^3, o litro (l) e o mililitro (ml).

Densidade – Como já vimos, a relação massa/volume é a densidade:

$$\boxed{d = \frac{\text{MASSA}}{\text{VOLUME}} = \frac{M}{L^3} = ML^{-3}}$$

A densidade representa a quantidade de matéria existente na unidade de volume dos corpos (Fig. 1.1).

A densidade dos tecidos biológicos é peculiarmente próxima à da água, com exceção do tecido ósseo, que é muito mais denso. A densidade do sangue humano é de d = 1,057 $g.cm^{-3}$ (CGS) ou d = 1,057 x 10^3 $kg.m^{-3}$ (SI), isto é, pouco mais denso que a água: d'água = 1,0 $g.cm^{-3}$ (CGS) ou 1,0 x 10^3 $kg.m^{-3}$ (SI). A densidade dos tecidos e fluidos biológicos é caracteristicamente constante, variando dentro de estreitos limites. Variações além, ou aquém, desses limites, significam alterações que podem ser patológicas.

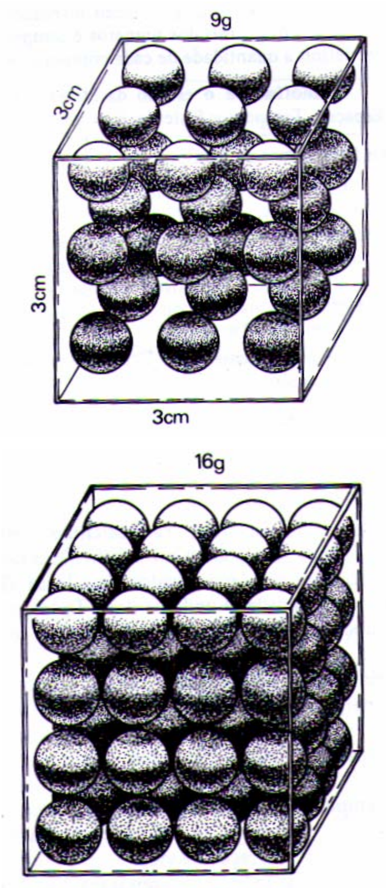


Fig. 1.1. Densidade – ● Quantidade de Matéria (Massa) – □ Volume – para um mesmo volume A tem menos matéria que B, e portanto, menor densidade.

Uma vez que o volume dos corpos dependem da temperatura (termodinâmica) a densidade também é uma função da temperatura embora, para sólidos, essa dependência seja pequena.

Densidade da água

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m³)
100	958.4
80	971.8
60	983.2
40	992.2
30	995.6502
25	997.0479
22	997.7735
20	998.2071
15	999.1026
10	999.7026
4	999.9720
0	999.8395

A densidade da água em kilogramas por metro cúbico (sistema SI) em várias temperaturas em graus Celsius. Os valores abaixo de 0 °C se referem a água em sobrefusão

Densidade do ar

T em °C	*?* em kg/m³ (a 1 atm)
–10	1.342
–5	1.316
0	1.293
5	1.269
10	1.247
15	1.225
20	1.204
25	1.184
30	1.165

Velocidade – Os seres vivos, suas partes (membros, órgãos) seus componentes (sangue, etc.) estão em constante movimento, que é a mudança de posição no Espaço. Esse fenômeno é medido pela **velocidade**, definida como o Espaço percorrido dividido pelo Tempo decorrido:

$$v = \frac{\text{Espaço}}{\text{Tempo}} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

A velocidade está representada na Fig. 1.2

Essa fórmula mede a velocidade constante, aproximada, da corrente sangüínea, dos impulsos nervosos, dos movimentos musculares, do deslocamento de íons entre dois compartimentos.

Quando se fala na **velocidade** das reações químicas, estamos substituindo **Espaço percorrido** por **Matéria transformada** por Unidade de tempo.

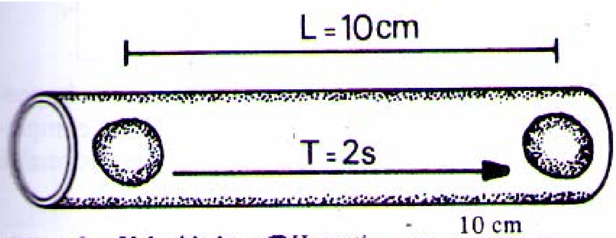


Fig. 1.2. **Velocidade** – ○Hematia – $\bar{v} = \frac{10\ cm}{2s} = 5\ cm \cdot s^{-1}$ Vaso sangüíneo.

Aceleração – A mudança de velocidade em função do tempo é a aceleração (a), que é definida como a variação da velocidade (ΔV) dividida pelo Tempo:

$$a = \frac{\Delta V}{\text{Tempo}} = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$$

Essa fórmula mede a aceleração do sangue na ejeção cardíaca, a aceleração da corrente aérea na respiração, a aceleração de objetos pela contração muscular. A aceleração que está representada na fig. 1.3 é a *linear*.

Se o espaço percorrido aumenta em função do tempo, a aceleração é positiva, se diminui, é negativa. Quando o aumento da velocidade é constante, a aceleração é uniforme. A aceleração da gravidade (g) tem indispensável uso em biologia, e seu valor é:

$$g = 9{,}8\ m.s^{-2}$$

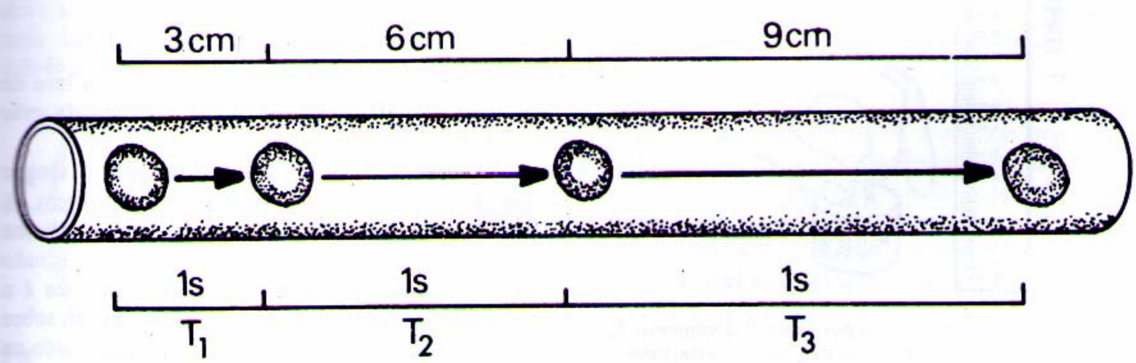


Fig. 1.3. Aceleração – A cada segundo, o espaço percorrido é maior, porque a velocidade está aumentando.

Força – Outra grandeza importante em Biologia é a Força (F), que se define como o produto da Massa pela Aceleração:

$$F = \text{Massa} \times \text{Aceleração} = MLT^{-2}$$

A força está presente em todas estruturas e processos biológicos, desde moléculas até sistemas complexos. As moléculas biológicas são formadas através de forças de atração e também de repulsão, e essas forças são atuantes nas reações moleculares. São forças de atração que respondem pela manutenção das estruturas supramoleculares, como células, tecidos e órgãos. A medida da força de contração muscular é teste importante da função muscular.

A unidade de medida da força é o Newton.

Segurar um objeto de 100 gramas (0,1 kg) corresponde a fazer uma força equivalente a 1 newton. Sustentar um peso de 1 kg corresponde a 10 newtons.

Energia e Trabalho – Energia (E) ou Trabalho (T), são duas grandezas que possuem a mesma expressão dimensional, porque elas representam dois aspectos de uma mesma Grandeza:

Energia pode produzir **Trabalho**

Trabalho pode produzir **Energia**

Energia e Trabalho são definidos como o produto da Força vezes a Distância percorrida pela Força.

$$E \text{ ou } \mathcal{T} = \text{Força} \times \text{Distância} = MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$$

O Trabalho representa a principal, senão a única, atividade do ser vivo. Toda manifestação biológica se faz através de Trabalho ou Energia. A contração muscular é trabalho retirado da energia elétrica dos músculos. A síntese de proteínas é trabalho retirado da energia elétrica dos alimentos. A emissão de luz pelo vagalume é Energia produzida por sistemas químicos especiais.

O Trabalho ou Energia são medidos pelo joule. Um joule é obtido quando Força de 1 newton se desloca 1 metro: levantar um objeto de 100 g (0,1 kg) a 1 metro de altura é realizar trabalho de 1 joule. Se a massa for 1 kg, é ap. 10 joules. (Fig. 1.4).

O Trabalho é uma presença constante em biologia. Neste texto, inúmeros exemplos serão mostrados, inclusive casos aplicados (V. Campo Gravitacional Aplicado à Biologia, Estrutura Molecular, Osmose, etc.).

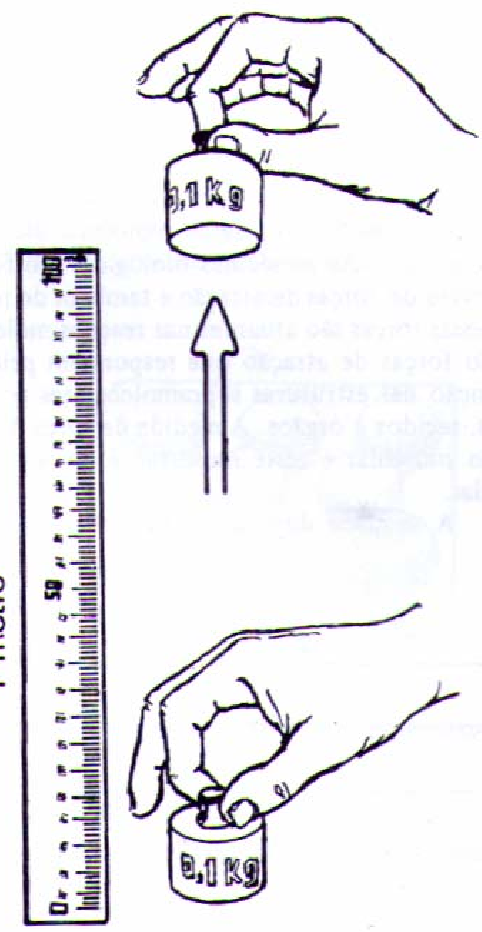


Fig. 1.4. **Trabalho** – Corresponde ao deslocamento dc uma Força. No caso da Força Gravitacional: $\mathcal{T} = 0{,}1 \text{ kg} \times 9{,}8 \text{ m} \cdot s^{-2} = 1$ joule.

Potência – A potência (W), é a capacidade de realizar Trabalho (ou produzir Energia), em função do Tempo:

$$W = \frac{\text{Energia (ou Trabalho)}}{\text{Tempo}} = \frac{ML^2T^{-2}}{T} = ML^2T^{-3}$$

A potência é medida em watts. Se a massa da Fig.1.4 for levantada em 1 segundo, a potência será de 1 watt. Portanto, um watt corresponde a levantar massa de 0,1 kg a 1 m de altura em 1 s. Essa potência é 1 joule por segundo:

$$\boxed{W = \text{watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{Segundo}}}$$

A potência é uma propriedade muito importante no desempenho biológico (V. leitura complementar 01, Aplicações do Campo Gravitacional à Biologia, Biofísica da Audição, etc.).

Pressão – A todo momento, em Biologia, fala-se em Pressão (P), que é definida como uma Força agindo sobre uma Área:

$$\boxed{P = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} = \frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}}$$

A unidade SI de pressão é o **pascal**, abreviado **Pa**. O **Pa** vale pois:

$$\boxed{1\ \text{Pa} = 1\ \text{N.m}^{-2}}$$

Corresponde à pressão que uma placa leve de plástico, de 10 g, exerce sobre a palma da mão ($100\ cm^2$).

A pressão sangüínea é a força que o sangue exerce sobre as paredes dos vasos sangüíneos. A pressão intraglomerular é a força que o plasma exerce dentro dos glomérulos, e produz o filtrado para formação da urina. A pressão osmótica é a força que moléculas de uma solução exercem sobre paredes celulares. Alguns tipos de pressão estão na Fig. 1.5.

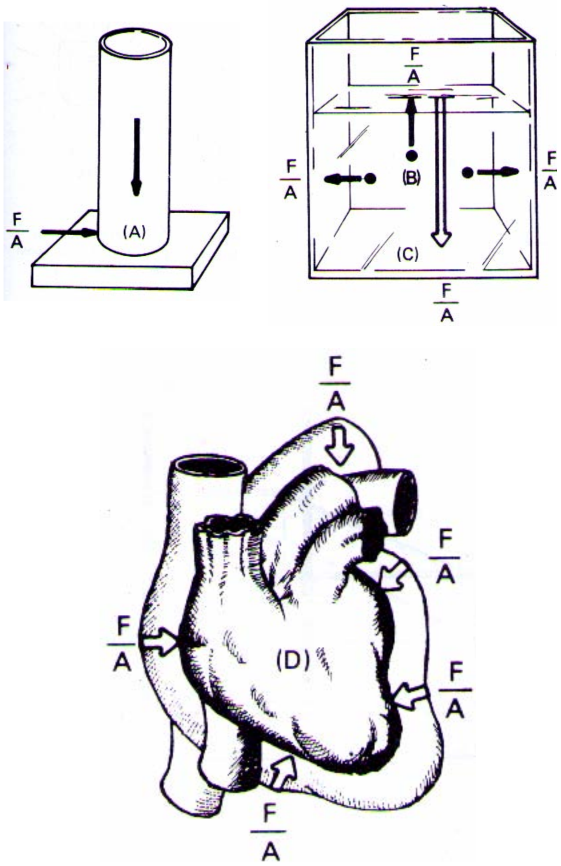


Fig. 1.5. Pressão – A – Cilindro sobre placa; B – Moléculas em solução; C – Líquido no vaso; D – Contração cardíaca.

Quando a pressão exercida **modifica o volume** do sistema, algo importante ocorre: aparece Trabalho (ou Energia) como mostra a análise dimensional:

$$\boxed{\begin{array}{c}(ML^{-1}T^{-2}) \times (L^3) = ML^2T^{-2} \\ \text{Pressão x Volume = Trabalho}\end{array}}$$

Esse tipo de trabalho originado do produto Pressão x Volume resulta da contração de cavidades, como no coração, pulmão, artérias, bexiga, tubo digestivo, etc.

A pressão atmosférica e a pressão hidrostática são muito importantes em biologia, e serão estudadas em itens especiais.

Viscosidade – A viscosidade dinâmica é a resistência interna de um fluido, líquido ou gás. Esse atrito interno é visível no escoamento de fluidos. Basta comparar o escoamento de água (viscosidade menor), com o de mel, ou xaropes (viscosidade maior). A viscosidade, fisicamente, é a Força que deve ser feita durante certo Tempo, para deslocar uma Área unitária de um fluido (Fig. 1.6). A viscosidade é representada pela letra grega η (eta):

$$\eta = \frac{\text{Força x Tempo}}{\text{Área}} = \frac{MLT^{-2} \times T}{L^2} = ML^{-1}T^{-1}$$

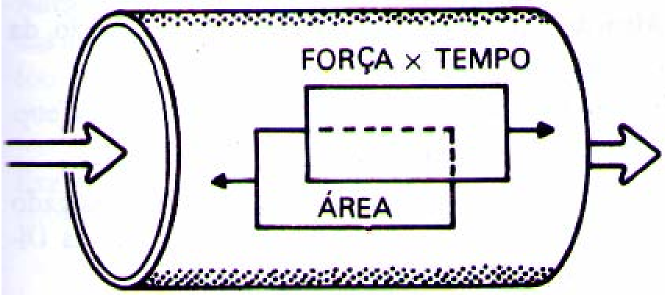


Fig. 1.6. **Viscosidade** – É o atrito entre dois folhetos imaginários no líquido que se escoa.

A viscosidade tem enorme importância biológica, no escoamento de líquidos, como na circulação sangüínea (V. Biofísica da Circulação), na lubrificação de articulações e na preparação de fluidos para uso biológico.

Em biologia, a viscosidade dinâmica é medida em unidades do CGS, o **poise** *, que vale dine x seg/cm^2. A água, a 37°C, tem 0,7 x 10^{-2} poise, e o sangue humano, aproximadamente 4 vezes mais, ou 2,8 x 10^{-2} poise. A 20°C, esses valores são 0,01 e 0,04 poises, respectivamente.

No **SI**, a unidade de viscosidade é o N.m^{-2}s, e denomina-se Pascal x segundo (Pa.s). A equivalência é:

$$\boxed{1 \text{ Pa.s} \equiv 10 \text{ poise}}$$

*** A pronúncia é: poase.**

A viscosidade do sangue a 37°C varia entre 2,1 a 3,2 x 10^{-3} Pa.s.

A análise dimensional mostra que a viscosidade pode ser considerada como o Trabalho x Tempo gastos em mover um Volume do fluido (V. Leitura Complementar 01, exemplo 4).

Tensão Superficial – A tensão superficial representa a Força que deve ser feita para a penetração de objetos em uma superfície líquida. A tensão superficial é representada pela letra grega σ (sigma). Dimensionalmente, é a Força dividida pela Distância, ou o Trabalho dividido pela área de penetração (Fig. 1.7), e as equações são:

$$\sigma = \frac{\text{Força}}{\text{Distância}} = \frac{MLT^{-2}}{L} = MT^{-2}$$

$$\sigma = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Área}} = \frac{ML^2T^{-2}}{L^2} = MT^{-2}$$

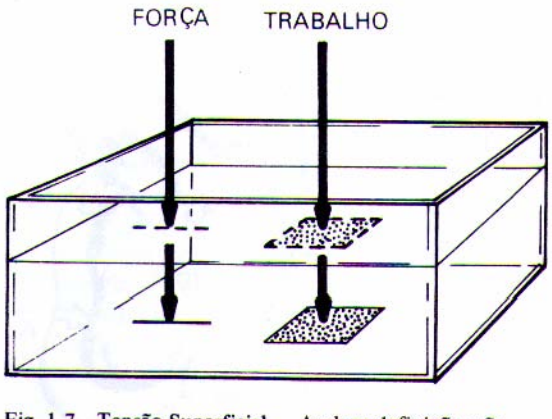


Fig. 1.7. **Tensão Superficial** – As duas definições são equivalentes (ver texto).

As unidades do SI são o newton.metro^{-1} ou joule.metro^{-2}. Em biologia usa-se ainda o CGS, como dine.cm^{-1}. A tensão superficial da água é 71 dine.cm^{-1}, aproximadamente 71 erg.cm^{-2} (0,07 gramas por cm^{-2}). Insetos que exercem peso menor que este, pousam facilmente sobre a água, mesmo que sejam mais densos.

A tensão superficial tem importância primordial na troca de gases no pulmão (Biofísica da Respiração)

Temperatura – É um dos parâmetros físicos de maior importância em Biologia, e deve ser bem diferenciado de **Calor**:

A **temperatura** é uma medida de **intensidade** da energia térmica. O **calor** é medida da **quantidade** de energia térmica.

O modelo da Fig. 1.8 dá uma idéia de Calor e Temperatura. Um litro (1 l = 1.000 ml) de água tem a quantidade de calor **c**, e temperatura **t** (Fig. 1.8A). Se esse calor fosse **concentrado** em 1 ml de água, a temperatura subiria para 1.000 t (Fig. 1.8B).

A temperatura, mal comparada, é a "densidade" ou "concentração" de energia TÉRMICA por volume de matéria. Sabe-se que, exceto em muito baixas temperaturas, a temperatura é uma expressão da energia cinética das moléculas.

A dimensão da temperatura é θ *. Como se vê, θ é uma representação direta de E, energia.

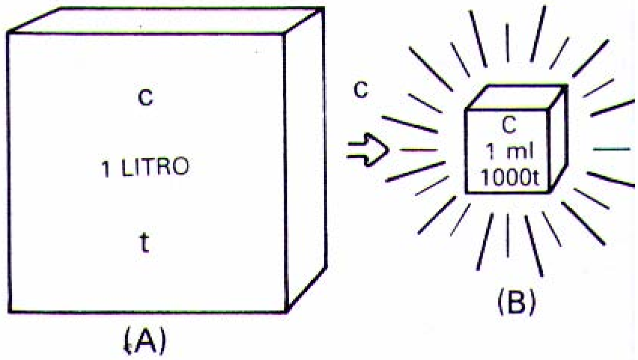


Fig. 1.8. Calor e Temperatura – A – 1 litro (1000 ml) com calor C, resulta temperatura t; B – 1 ml com calor C, resulta temperatura 1000 t.

* θ – **teta, letra grega.**

Obs. O alfabeto grego.

α	alpha	θ	theta	o	omicron	τ	tau	Γ	Gamma	Λ	Lambda
β	beta	ϑ	theta	π	pi	υ	upsilon	Δ	Delta	Ξ	Xi
γ	gamma	ι	iota	ϖ	pi	ϕ	phi	Θ	Theta	Π	Pi
δ	delta	κ	kappa	ρ	rho	φ	phi	Σ	Sigma	Ψ	Psi
ϵ	epsilon	λ	lambda	ϱ	rho	χ	chi	Υ	Upsilon	Ω	Omega
ε	epsilon	μ	mu	σ	sigma	ψ	psi	Φ	Phi		
ζ	zeta	ν	nu	ς	sigma	ω	omega				
η	eta	ξ	xi								

Na prática, a temperatura é medida em graus. Duas escalas são usadas. A centígrada (^{o}C) que tem ponto zero na fusão do gelo, e 100^{o} na ebulição da água, sob pressão de 1 atmosfera. A absoluta (K), tem zero a $-273,15^{o}C$. Elas são portanto relacionadas e simbolizadas como:

$$\underset{K}{\underset{\uparrow}{T}} = \underset{^{o}C}{\underset{\uparrow}{t}} + 273,15 \qquad 0^{o}C = 273\ K \qquad 100^{o}C = 373\ K$$

A quantidade de calor é medida em kilocalorias, mas essa unidade deve ser abandonada em favor do Joule

---

Freqüência – Diversos fenômenos biológicos são repetitivos em função do Tempo: batimentos cardíacos, movimentos respiratórios, ondas elétricas cerebrais, e são medidos pela Freqüência, que é representada pela letra f.

A Freqüência é o número de eventos quaisquer num intervalo de Tempo. Por isto representa-se apenas como o inverso do Tempo:

$$\boxed{f = \frac{1}{T} = T^{-1}}$$

Quando se diz que a freqüência cardíaca é 80 por minuto, quer-se dizer 80 **batimentos** cardíacos por minuto. A unidade de freqüência é o Hertz (Hz) que corresponde **um** evento por segundo (s^{-1}).

Atenção: ao determinar freqüência, o início da contagem é *a partir de 0, nunca de 1!*

O Biólogo e as Dimensões

Um hábito prejudicial, ainda muito arraigado entre os Biologistas, é o desprezo voltado às Dimensões. São expressões corriqueiras:

"A pressão sangüínea é 12 por 8" – "O volume celular é 80". "A concentração da solução é 0,2". "A temperatura é 39"., onde as dimensões são ignoradas. Sabe-se que todos os parâmetros físicos, e portanto, os biológicos, são dimensionais. Fazem excessão algumas constantes matemáticas, fatores de proporcionalidade e razões, porque as dimensões se cancelam.

Como usar alguma dimensão é melhor do que nenhuma, tolera-se em Biologia, medir pressão em "centímetros" ou "milímetros", massa em gramas, viscosidade em poise e tensão superficial em dines-cm $^{-1}$, além de muitos outros exemplos.

O uso da análise dimensional indica o caminho correto nas operações com Unidades, mostra novos parâmetros e define o grau de certeza, ou disparate, das operações realizadas. Vejamos 4 exemplos:

Exemplo 1 – Um anestésico de uso intravenoso age na dose de 2 mg/kg de massa corporal, vem em ampolas na concentração de 10 mg/ml, e o paciente pesa 60 kg. Qual o volume de solução anestésica a ser injetado?

(Dados)
- Dose ativa: 2 mg.kg $^{-1}$
- Concentração: 10 mg.ml $^{-1}$
- Paciente: 60 kg
- Procurado: volume em **ml** a ser injetado.

Sabemos que, se após o cancelamento das dimensões, sobrar apenas **ml**, estaremos seguros de um resultado certo. Como primeira tentativa, vamos multiplicar diretamente as dimensões:

$$R_1 = (2\ \text{mg.kg}^{-1}) \times (10\ \text{mg.ml}^{-1}) \times (60\ \text{kg}) = 120\ \text{mg}^2.\text{ml}^{-1}$$

Obtemos um resultado insatisfatório, em especial, para o paciente. Vamos agora **inverter** as dimensões da concentração e repetir a multiplicação:

$$R_2 = (2\ \text{mg.kg}^{-1}) \times \left(\frac{1}{10}\ \text{mg}^{-1}.\text{ml}\right) \times (60\ \text{kg}) = 12\ \text{ml}$$

Um resultado que garante o despertar do paciente. Esse procedimento se aplica a todos os casos de administração de medicamentos.

Nota: Verificar, mudando o que quiser, que apenas esse resultado é obtido como correto. Você notou que foram usadas unidades incoerentes? Porque, nesse caso, o resultado foi correto?

Exemplo 2 — O que significa o produto Pressão x Volume?

A análise dimensional mostra:

Pressão x Volume = Energia (Trabalho)

$$(ML^{-1}T^{-2}) \times (L^3) = ML^2T^{-2}$$

Se o volume não varia, há Energia Potencial. Se o volume varia, houve deslocamento de Força, e conseqüentemente, Trabalho.

Exemplo 3 — O que representa o produto Força x Velocidade?

Força x Velocidade = Potência

$$(MLT^{-2}) \times (LT^{-1}) = ML^2T^{-3}$$

Essa é outra alternativa ao quociente de Trabalho por unidade de Tempo, que vimos anteriormente, representando Potência.

Exemplo 4 — Um outro modo de compreender Viscosidade é quando se considera o Trabalho que é necessário para deslocar um Volume de fluido (Fig. 1.9)

A análise dimensional mostra que:

$$\delta = \frac{\text{Trabalho x Tempo}}{\text{Volume}} = \frac{ML^2T^{-2} \times T}{L^3} =$$

$$= ML^{-1}T^{-1} \text{ (Dimensão de Viscosidade)}$$

Esse, aliás, é um método prático e simples para determinar viscosidade de líquidos: mede-se o tempo que uma esfera de aço leva para percorrer uma distância no líquido, em queda livre.

Para concluir, a análise dimensional é um grau de certeza tão efetivo, que resultados corretos podem ser obtidos, sem que seja conhecido o significado ou o mecanismo do processo. Basta que as dimensões signifiquem alguma coisa fisicamente plausível.

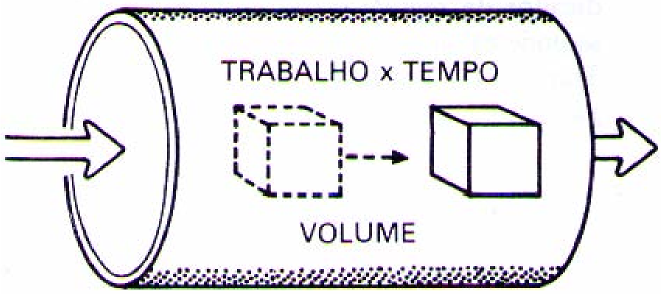


Fig. 1.9. Outra representação de viscosidade (ver também a fig. 1.6).

2- O Sistema internacional de Unidades.

Sistema Internacional de Unidades (sigla **SI**) é um conjunto sistematizado e padronizado de definições para unidades de medida, utilizado em quase todo o mundo moderno, que visa a uniformizar e facilitar as medições e as relações internacionais daí decorrentes. Sua adoção progressiva e cada vez mais abrangente é uma contingência não só técnico-científica, mas de ordem política, econômica e social. Antes da instituição do Sistema Métrico Decimal (no final do século XVIII, exatamente a 7 de Abril de 1795), as unidades de medida eram definidas de maneira arbitrária, variando de um país para outro, dificultando as transações comerciais e o intercâmbio científico entre eles.

As unidades de comprimento, por exemplo, eram quase sempre derivadas das partes do corpo do rei de cada país: a jarda, o pé, a polegada e outras. Até hoje, estas unidades são usadas nos Estados Unidos da América, embora definidas de uma maneira menos individual, mas através de padrões restritos às dimensões do meio em que vivem e não mais as variáveis desses indivíduos.

O Sistema Internacional de Unidades foi adotado globalmente por praticamente todos os países. As três exceções são **Myanmar, Libéria** e os **Estados Unidos**. O Reino Unido adotou oficialmente o SI, mas sem a intenção de substituir inteiramente seu próprio sistema usual de medidas.

As unidades no sistema internacional ou sistema métrico, são as mais utilizadas para expressar as medidas de uma grandeza, seja ela Fundamental ou Derivada.

Grandezas Fundamentais.

Grandeza	Unidade	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

Grandezas Derivadas.

Grandeza	Unidade	Símbolo	Dimensional analítica	Dimensional sintética
Ângulo plano	radiano	rad	1	m/m
Ângulo sólido	esferorradiano[1]	sr	1	m²/m²
Freqüência	hertz	Hz	1/s	---
Força	newton	N	kg·m/s²	---
Pressão	pascal	Pa	kg/(m·s²)	N/m²
Energia	joule	J	kg·m²/s²	N·m
Potência	watt	W	kg·m²/s³	J/s
Carga elétrica	coulomb	C	A·s	---
Tensão elétrica	volt	V	kg·m²/(s³·A)	W/A
Resistência elétrica	ohm	Ω	kg·m²/(s³·A²)	V/A
Capacitância	farad	F	A²·s²·s²/(kg·m²)	A·s/V
Condutância	siemens	S	A²·s³/(kg·m²)	A/V
Indutância	henry	H	kg·m²/(s²·A²)	Wb/A
Fluxo magnético	weber	Wb	kg·m²/(s²·A)	V·s
Densidade de fluxo magnético	tesla	T	kg/(s²·A)	Wb/m²
Temperatura em Celsius	grau Celsius	°C	---	---
Fluxo luminoso	lúmen	lm	cd	cd·sr
Luminosidade	lux	lx	cd/m²	lm/m²
Atividade radioativa	becquerel	Bq	1/s	---
Dose absorvida	gray	Gy	m²/s²	J/kg
Dose equivalente	sievert	Sv	m²/s²	J/kg
Atividade catalítica	katal	kat	mol/s	---

[1] Em Portugal: esterradiano.

Prefixos oficiais do SI

Os **prefixos do SI** permitem escrever quantidades sem o uso da notação científica, de maneira mais clara para quem trabalha em uma determinada faixa de valores. Os prefixos oficiais são:

1000^m	10^n	Prefixo	Símbolo	Desde [3]	Escala curta	Escala longa	Equivalente decimal
1000^8	10^{24}	yotta (iota[2])	Y	1991	Septilhão	Quadrilião	1 000 000 000 000 000 000 000 000
1000^7	10^{21}	zetta (zeta[2])	Z	1991	Sextilhão	Milhar de trilião	1 000 000 000 000 000 000 000
1000^6	10^{18}	exa	E	1975	Quintilhão	Trilião	1 000 000 000 000 000 000
1000^5	10^{15}	peta	P	1975	Quadrilhão	Milhar de bilião	1 000 000 000 000 000
1000^4	10^{12}	tera	T	1960	Trilhão	Bilião	1 000 000 000 000
1000^3	10^9	giga	G	1960	Bilhão	Milhar de milhão	1 000 000 000
1000^2	10^6	mega	M	1960	Milhão	Milhão	1 000 000
1000^1	10^3	quilo	k	1795	Milhar	Milhar	1 000
	10^2	hecto	h	1795	Centena	Centena	100
	10^1	deca	da	1795	Dezena	Dezena	10
1000^0	10^0	*nenhum*	*nenhum*		Unidade	Unidade	1
	10^{-1}	deci	d	1795	Décimo	Décimo	0,1
	10^{-2}	centi	c	1795	Centésimo	Centésimo	0,01
1000^{-1}	10^{-3}	mili	m	1795	Milésimo	Milésimo	0,001
1000^{-2}	10^{-6}	micro	µ (mu)[1]	1960	Milionésimo	Milionésimo	0,000 001
1000^{-3}	10^{-9}	nano	n	1960	Bilionésimo	Milésimo de milionésimo	0,000 000 001
1000^{-4}	10^{-12}	pico	p	1960	Trilionésimo	Bilionésimo	0,000 000 000 001
1000^{-5}	10^{-15}	femto (fento[2])	f	1964	Quadrilionésimo	Milésimo de bilionésimo	0,000 000 000 000 001
1000^{-6}	10^{-18}	atto (ato[2])	a	1964	Quintilionésimo	Trilionésimo	0,000 000 000 000 000 001
1000^{-7}	10^{-21}	zepto	z	1991	Sextilionésimo	Milésimo de trilionésimo	0,000 000 000 000 000 000 001
1000^{-8}	10^{-24}	yocto (iocto[2])	y	1991	Septilionésimo	Quadrilionésimo	0,000 000 000 000 000 000 000 001

1. Pode ser escrito como 'u' se o 'µ' não estiver disponível, como em '10uF'.
2. Em Portugal.
3. O sistema métrico foi introduzido em 1795 com seis prefixos. As outras datas estão relacionadas ao reconhecimento pela resolução da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

Para utilizá-los, basta juntar o prefixo aportuguesado e o nome da unidade, sem mudar a acentuação, como em nanossegundo, microssegundo, miliampère (miliampere) e deciwatt. Para formar o símbolo, basta juntar os símbolos básicos: nm, µm, mA e dW.

Exceções.
- Unidades **segundo** e **radiano**: é necessário dobrar o **r** e o **s**. Exemplos: **milissegundo**, **decirradiano**, etc.
- Especiais: múltiplos e submúltiplos do metro: quilômetro (quilómetro), hectômetro (hectómetro), decâmetro, decímetro, centímetro e milímetro; também nanômetro (nanómetro), picômetro (picómetro) etc.
- Existe ainda a unidade especial para comprimentos muito pequenos chamada de Angstron (Å). Seu valor é definido como sendo 1 Å = 10^{-10} m.

Observações.
- O k usado em "quilo", em unidades como quilômetro (km) e quilograma (kg), deve ser grafado em letra minúscula. É errado escrevê-lo em maiúscula.
- Em informática, o símbolo "**K**" que pode preceder as unidades bits e bytes (grafado em letra maiúscula), não se refere ao fator multiplicativo 1000, mas sim a 1024 unidades da grandeza citada.
- Em unidades como km² e km³ é comum ocorrerem erros de conversão. 1 km² = 1 000 000 m², porque 1 km × 1 km = 1 km², 1 km = 1000 m, 1000 m × 1000 m = 1 000 000 m². Para fazer conversões nesses casos, devem-se colocar mais dígitos por casa numérica: em metros, cada casa tem um dígito

(exemplo: 1 0 0 0 m = 1 km); em metros quadrados (2), cada casa numérica tem dois dígitos (exemplo: 1000 m × 1000 m = 01 00 00 00 m² = 1 km²); em metros cúbicos (3), cada casa numérica tem três dígitos (exemplo: 1000 m × 1000 m × 1000 m = 001 000 000 000 m³ = 1 km³).

As unidades do SI podem ser escritas por seus nomes ou representadas por meio de símbolos, (ex. 3 m ou 3 metros).

Unidades aceitas pelo SI

O SI aceita várias unidades que **não** pertencem ao sistema. A primeiras unidades deste tipo são unidades muito utilizadas no cotidiano:

Grandeza	Unidade	Símbolo	Relação com o SI
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
Tempo	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
Tempo	dia	d	1 d = 24 h = 86 400 s
Ângulo plano	grau	°	1° = π/180 rad
Ângulo plano	minuto	'	1' = (1/60)° = π/10 800 rad
Ângulo plano	segundo	"	1" = (1/60)' = π/648 000 rad
Volume	litro	l ou L	1 l = 0,001 m³
Massa	tonelada	t	1 t = 1000 kg
Argumento logarítmico ou Ângulo hiperbólico	neper	Np	1 Np = 1
Argumento logarítmico ou Ângulo hiperbólico	bel	B	1 B = 1

ou 1L = 10cm^3 (1 decímetro cúbico)

Grandeza	Unidade	Símbolo	Relação com o SI
Energia	elétron-volt	eV	1 eV = 1,602 176 487(40) x 10^{-19} J
Massa	unidade de massa atômica	u	1 u = 1,660 538 782(83) x 10^{-27} kg
Comprimento	Unidade astronômica	ua	1 ua = 1,495 978 706 91(30) x 10^{11} m

Importante

Símbolo não é abreviatura, é sinal convencional e invariável utilizado para facilitar e universalizar a escrita e a leitura de significados — no caso, as unidades SI; logo, jamais deverá ser seguido de "ponto".

	Certo	Errado
segundo	s	s. ; seg.
metro	m	m. ; mtr.
quilograma	kg	kg.; kgr.
litro	L	l.;lts.
hora	h	h. ; hr.

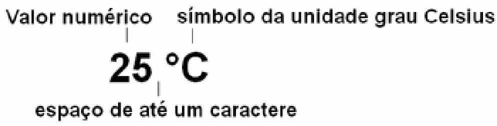
Símbolo não admite plural. Como sinal convencional e invariável que é, utilizado para facilitar e universalizar a escrita e a leitura de significados, nunca será seguido de "s".

	Certo	Errado
cinco metros	5 m	5 ms
dois quilogramas	2 kg	2 kgs
oito horas	8 h	8 hs

Representação

O resultado de uma medição deve ser representado com o valor numérico da medida, seguido de um espaço de até um caractere, em seguida, o símbolo da unidade em questão. Exemplo:

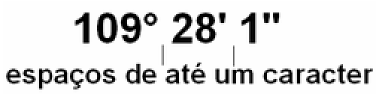
Para a unidade de temperatura grau Celsius, haverá um espaço de até um caractere entre o valor e a unidade, porém não se porá espaço entre o símbolo do grau e a letra C para formar a unidade "grau Celsius". Exemplo:



Obs.

- Ao utilizarmos a temperatura em Kelvin não se coloca o símbolo de grau (°). Ex. ~~273° K~~ →273 K.

- Para os símbolos da unidade de ângulo plano grau (°), minuto(') e segundo("), não deve haver espaço entre o valor medido e as unidades, porém, deve haver um espaço entre o símbolo da unidade e o próximo valor numérico. Exemplo:



- Para o símbolo da unidade de tempo "hora" (h), "minuto" (min) e segundos (s), não deve haver espaço entre o valor medido e as unidades, porém, deve haver um espaço entre o símbolo da unidade de tempo e o valor numérico seguinte.

3 – Padrões

Na verdade, sempre que medimos uma grandeza estamos comparando-a com respectivo padrão de referencia. Este padrão é a unidade da grandeza. Quando o sistema métrico foi estabelecido, a unidade de comprimento metro foi definida como 10^{-7} vezes a distancia do Equador ao Pólo Note, medido ao longo do meridiano que passa por Paris; posteriormente, em 1889, a Conferencia Geral de Pesos e Medidas, considerando que todo padrão unitário deve ter *durabilidade* e *reprodutividade*, definiu o metro como a distancia entre dois traços paralelos sobre uma determinada barra de platina-irídio. Os inconvenientes deste padrão unitário eram ter de se fazer muitas replicas do objeto, para disponibilizá-las a outros países, e de ser necessário comparar periodicamente estas replicas como o padrão internacional.

Assim, em 14 de outubro de 1969, a Conferencia Geral alterou a definição deste padrão internacional, utilizando uma unidade natural de comprimento baseada na radiação atômica. É acito agora como padrão de medida de comprimento, o comprimento de onda da luz vermelho-alaranjada emitida pelos átomos excitados do isótopo de criptônio 86. Foi definido que exatamente 1650 763,73 comprimentos desta onda constituem 1 metro. Este padrão pode ser reproduzido em muitos laboratórios do mundo inteiro, evitando assim a necessidade de deslocamento, para fazer comparações com um padrão.

O *padrão de massa*, por sua vez é um cilindro de platina-irídio, definido como 1 quilograma. Infelizmente ainda não foi adotado um padrão atômico de massa, tal como se fez com o padrão internacional de medida de comprimento.

O padrão de tempo é o segundo que originalmente foi definido como o tempo igual a 1/86400 de um dia solar médio. Esta definição não era muito conveniente para trabalhos de alta precisão, por depender da velocidade de rotação da Terra. Em 1967, foi estabelecida uma unidade natural para o tempo, que, assim como a definição do padrão de comprimento, é um padrão atômico. Desta vez foram utilizadas características vibracionais do elemento césio 133. Atualmente, 1 segundo é definido como o tempo necessário para que o césio realize 9 192 63 770 vibrações completas.

4 -Algarismos significativos, precisão e erro.

Por mais precisa que seja uma medida ela nunca é feita com precisão absoluta ou seja erro zero. Suponha que pretendemos medir a massa de uma tartaruga. Dispomos de uma balança graduada de 1 em 1 g. Esta balança fornece com precisão o valor de medidas em gramas, e qualquer fração dessa unidade deve ser estimada. Assim, para expressar nossa medida, esta devera conter todos os *algarismos precisos* mais o *algarismo estimado*.

A leitura na balança da figura ao lado é 16,5 g. ou seja, teríamos um aumento na precisão da medida.

Os algarismos que compõem o resultado de uma medida são chamados de *algarismos significativos*. **Deles fazem parte todos os algarismos precisos mais um e somente um algarismo estimado**. Segue abaixo algumas observações adicionais.

i) Os zeros à esquerda do primeiro algarismo não nulo *não são significativos*, pois o número de algarismos significativos não depene da unidade adotada. Assim, a medida 7,5cm = 0,075m = 0,000075km = 75×10^3 μm tem só dois algarismos significativos nos quatro casos.

ii) Os zeros à direita do último algarismo não nulo serão significativos se indicarem um valor realmente medido. Assim a medida, 0,0750m tem três algarismos significativos (sendo o ultimo o estimado) e a medida 7,5000 cm tem cinco algarismos significativos (sendo o ultimo estimado).

Em prática quando fazemos uma *única* medida o erro estimado usualmente adotado é a metade da ultima subdivisão lida ou mostrada no equipamento. Por exemplo, no caso da tartaruga acima como as subdivisões eram todas de 1g, o valor medido foi 16,5g e o erro foi de ± 0,5g.

Para medir uma grandeza, podemos fazer apenas uma ou varias medidas repetidas, dependendo das condições experimentais particulares ou ainda da postura adotada frente ao experimento. Em qualquer caso, deve-se extrair do processo de medida um valor que melhor represente a grandeza e ainda um limite de erro dentro do qual deve estar compreendido o valor real. Veremos a seguir que para obtermos uma melhor precisão do valor de uma grandeza deve-se realizar o maior número de medições possíveis. Quanto maior o numero de medições menor será o erro da medida.

Desvios e limites de erro

Se $x_1, x_2, ..., x_n$ são os valores de uma série de n medidas de uma grandeza , o *valor mais provável* da grandeza medida é dado pela *média aritmética ou valor médio* do conjunto de medidas, ou seja,

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

O *desvio absoluto* de cada medida é definido como o módulo da diferença da medida considerada e o valor médio da grandeza:

$$\Delta x_i = | x_i - \bar{x} |.$$

Enquanto o *desvio médio absoluto* do conjunto de n medidas de uma grandeza é a média aritmética dos desvios de cada medida:

$$\Delta\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i,$$

o *desvio padrão* desse conjunto de n medidas é definido como:

$$\sigma_x = \pm\sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n} (\Delta x_i)^2} .$$

O *resultado final* da medida da grandeza pode-se admitir, com um alto grau de confiança, que está compreendido no intervalo $\bar{x} - \Delta\bar{x}$ e $\bar{x} + \Delta\bar{x}$. É comum representar o valor final da grandeza pela notação $\boxed{x = \bar{x} \pm \Delta\bar{x}.}$

Na prática, o intervalo $\pm\Delta\bar{x}$ do valor final da grandeza corresponde ao valor maior entre o desvio médio absoluto e o desvio avaliado absoluto. Sendo que o *desvio avaliado absoluto* é o valor correspondente à metade da menor divisão da escala do instrumento utilizado nas medidas. Isso faz com que esse desvio tenha um único algarismo significativo.

Por exemplo, se depois de fazer várias medidas do diâmetro médio de um olho humano chegamos ao valor (2,87 $\pm$ 0,05) cm, o *desvio absoluto* dessas medidas é $\pm$0,05. Isto significa ser *pouco provável* que o verdadeiro valor seja menor que 2,82 cm ou maior que 2,92 cm. O termo *provável* é empregado aqui em termos estatísticos.

5 - Gráficos

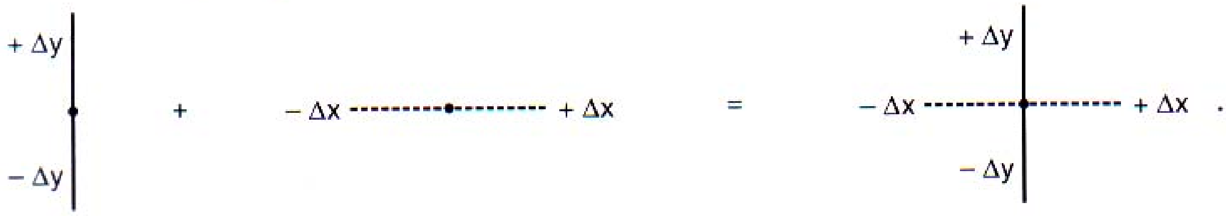
Normalmente um conjunto de valores teóricos ou mesmo as medidas feitas em *trabalhos experimentais* são colocados no papel (ou no computador) para compor *gráficos*. Dessa maneira, podemos ter uma idéia imediata do comportamento das grandezas observadas. Assim, o *gráfico* é um dos modos mais convenientes para visualizar e/ou interpretar uma relação entre duas ou mais grandezas. Um gráfico pode evidenciar uma relação entre grandezas, que seria difícil de estabelecer só inspecionando uma tabela. Antes de levar os valores das grandezas para a folha de gráfico, é necessário definir dois ou mais eixos que servirão para representar os valores das grandezas. Para construirmos um gráfico, devemos estabelecer uma *escala* para cada eixo, de modo que os pares de valores possam ser colocados no gráfico, independente do intervalo de variação desses valores e dos comprimentos dos eixos. As folhas para gráficos mais utilizadas apresentam *dois tipos de escalas*: a milimetrada e a logarítmica. A combinação dessas *escalas* dá origem a três tipos de folha para gráficos:

- *Milimetrado*: a folha apresenta *escalas* lineares.
- *Mono-log*: a folha apresenta uma *escala* logarítmica e outra linear.
- *Di-log*: a folha apresenta *escalas* logarítmicas.

A seguir daremos algumas regras muito úteis para a construção de um gráfico:

- Em uma mesma folha é possível construir vários *gráficos*; basta usar símbolos diferentes (♣, ♦, ♥, ♠...) e uma legenda que identifique cada tipo de ponto.

- Quando o valor das grandezas já tem seu desvio absoluto definido, o gráfico deve trazer esta informação. Por exemplo, se a grandeza representada no *eixo y* tem desvio $\pm \Delta y$ e a representada no *eixo x* tem desvio $\pm \Delta x$, então a representação desses desvios na folha para gráfico será



- Na medida do possível, convém representar os gráficos por uma reta. Muitas vezes, para isso, basta fazermos mudanças convenientes das grandezas que definem o gráfico.

Veremos a seguir alguns exemplos de construção de gráficos (lineares e logarítmicos).

Exemplo: A velocidade de um animal em função do tempo foi medida. Os dados encontrados são apresentados a seguir.

v(m/s):	9	13	17	21	25	29
t(s):	2	4	6	8	10	12

a) Em uma folha milimetrada faça o gráfico v × t.

b) Que relação há entre velocidade e tempo?

c) Encontre uma relação funcional entre essas grandezas.

Resolução: Colocaremos os valores de v no eixo vertical e os de *t*, no horizontal. Os *passos das escalas* dos eixos vertical e horizontal serão, respectivamente,

$$p_v = L_v/\Delta_v \quad \text{e} \quad p_t = L_t/\Delta_t,$$

onde L_v e L_t são os comprimentos dos eixos vertical e horizontal, respectivamente,

$$\Delta_v = 29\ \text{m/s} - 9\ \text{m/s} = 20\ \text{m/s} \quad \text{e} \quad \Delta_t = 12\ \text{s} - 2\ \text{s} = 10\ \text{s}.$$

a) A Figura 2.3 mostra o gráfico das grandezas velocidade e tempo.

b) A inclinação da reta será

$$m = AB/BC = (25\ \text{m/s} - 17\ \text{m/s})/(10\ \text{s} - 6\ \text{s}) = 2\ \text{m/s}^2.$$

c) Quando t = 0, teremos v = 5 m/s; logo, a relação funcional entre essas grandezas será

$$v = 5 + 2t,\ \text{em m/s}.$$

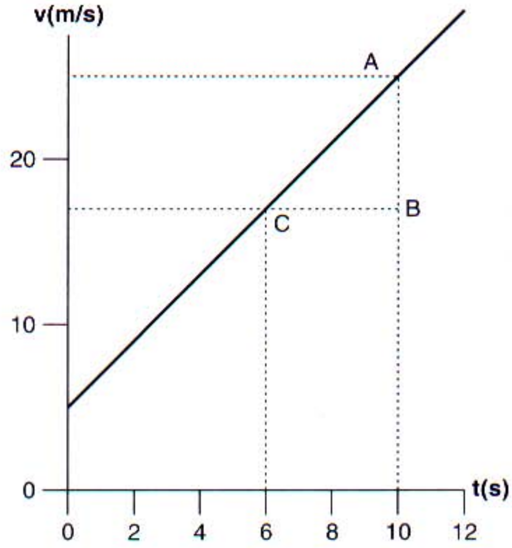


Figura 2.3 Gráfico das grandezas velocidade e tempo.

Exemplo: A *taxa metabólica* R de um espécime com massa M indica a quantidade de energia que um organismo usa por unidade de tempo para executar uma função. A seguir apresentamos alguns valores de R,

Espécimes:	rato	coelho	gato	cão	homem
R (kcal/h):	2,5	5,4	7,3	24,3	85,5
Massa (kg):	0,7	2,0	3,0	15,0	80,0

a) Encontre uma relação funcional para essas grandezas.

b) Quais serão os valores de R para um camundongo de 20 g e para um cavalo de 800 kg?

Resolução:

a) A Figura 2.7 mostra o gráfico R = f(M) construído em uma folha com *escalas lineares*, onde M é a massa do espécime. Esse gráfico representa uma *função potência*, logo a relação funcional entre essas grandezas é: $R = BM^m$. Nesse caso, a escala da grandeza M contém o valor M = 1 kg; assim, podemos determinar o correspondente valor de R que, por sua vez, também será o valor de B. Logo,

$$M = 1 \text{ kg} \quad \Rightarrow \quad R = B = 3{,}25 \text{ kcal/h} \quad \therefore \quad R = 3{,}25\ M^m.$$

A Figura 2.8 mostra o gráfico R = f(M) feito em uma folha com *escalas logarítmicas*. Esse gráfico é uma *reta*, cuja inclinação *m* é determinada a partir do Δ ABC:

$$m = AB/BC = (\log 18 - \log 5)/(\log 10 - \log 1{,}78) = 0{,}742 \cong ¾.$$

Logo, a relação funcional entre essas grandezas será

$$R = 3{,}25\ M^{3/4}.$$

b) Admitindo que a extrapolação é válida e utilizando essa relação funcional, encontramos, para o camundongo, R = 0,173 kcal/h e, para o cavalo, R = 488,9 kcal/h.

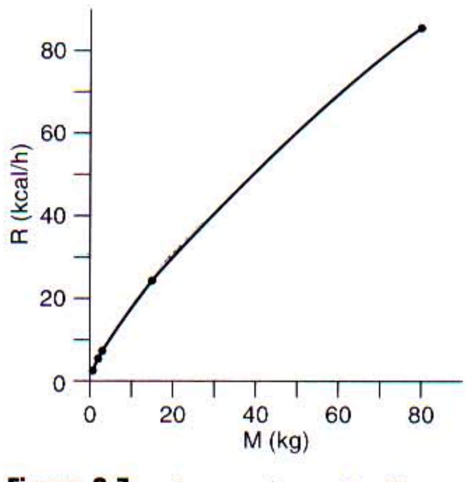


Figura 2.7 As grandezas R e M seguem uma relação de potência. Quando M = 1 kg, temos R = 3,25 kcal/h.

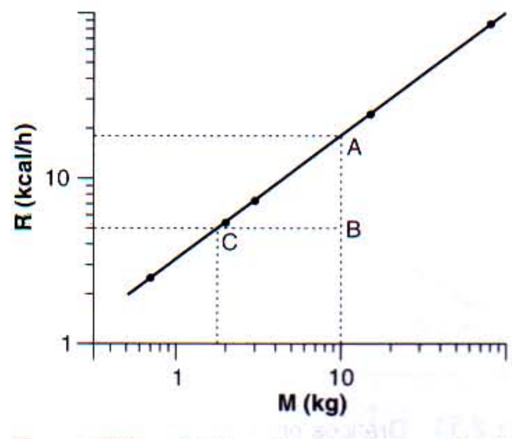


Figura 2.8 Gráfico das grandezas R e M feito em uma folha di-log. Do Δ ABC calculamos que a inclinação da reta é m = 0,742.

Exemplo: Um organismo unicelular se reproduz por *divisão binária* a uma taxa constante. Se, inicialmente, há *duas bactérias* e cada uma se divide em *duas* a cada 20 minutos, teremos o resultado a seguir.

Número de bactérias N:	2	4	8	16	32	...
Tempo t (minutos):	0	20	40	60	80	...

a) Determinar, a partir de um gráfico de N e o tempo t, uma relação funcional entre essas grandezas.

b) Calcular o número de bactérias quando $t = 1$ h e $t = 2$ h.

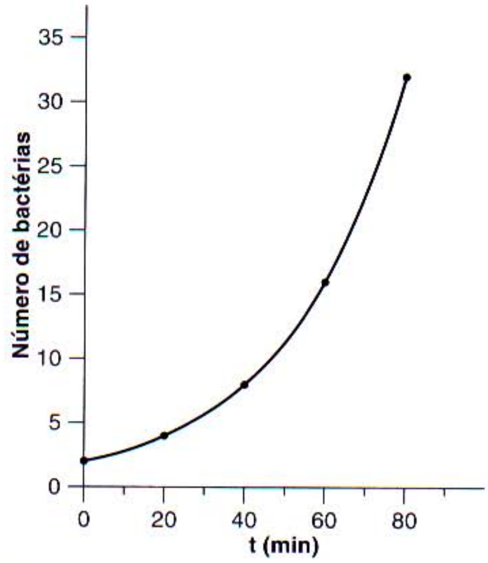


Figura 2.12 As grandezas N e t seguem uma lei de crescimento exponencial. Quando t = 0, temos N = 2 bactérias.

Resolução:

a) A Figura 2.12 mostra o gráfico N = f(t) construído com *escalas lineares*. Este gráfico representa uma *função de crescimento exponencial*; portanto, a relação funcional entre essas grandezas será $N = B{\cdot}\exp(at)$ ou $N = B{\cdot}e^{at}$, com $a > 0$. Do gráfico obtemos N = 2 bactérias, quando t = 0; isto implica que B = 2. Logo a relação funcional entre N e t será $N = 2\exp(at)$ ou $N = 2{\cdot}e^{at}$.

Na Figura 2.13 tem-se o gráfico N = f(t) apresentado em uma folha *mono-log*. Este gráfico é uma *reta*, cuja inclinação *m* é determinada a partir do ΔABC:

$$m = AB/BC = (\log 16 - \log 4)/(60 - 20) = 0{,}015$$

Utilizando a equação (2.6), calculamos $a = 0{,}0346$. $\therefore N = 2\exp(0{,}0346t)$ ou $N = 2{\cdot}e^{0{,}0346t}$ será a relação funcional entre N e t. Note que a taxa de variação *do número total* de bactérias é proporcional a esse número, ou seja, $(dN/dt) = 0{,}0346\ N$.

Observe que a unidade de $a = 0{,}0346$ é t^{-1}.

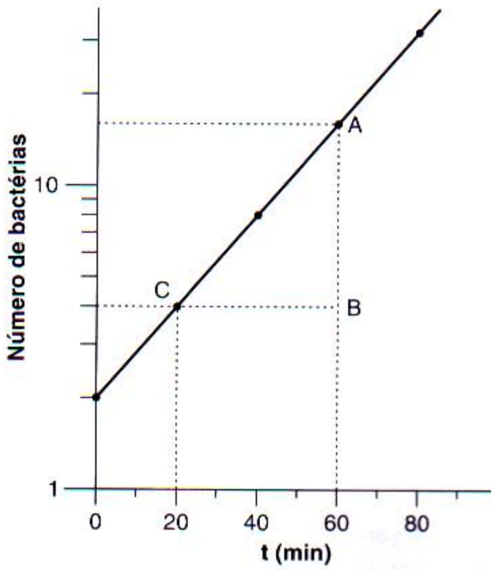


Figura 2.13 Gráfico N = f(t) em escala mono-log. Do Δ ABC calculamos que a inclinação da reta é $m = 0{,}015$.

b) Da equação determinada em (a), encontraremos:

- 1 hora depois de iniciada a *divisão*, 16 bactérias
- 2 horas depois de iniciada a *divisão*, 128 bactérias.

Exercícios.

1) Transforme as unidades a seguir:

a) 34 cm/s para km/h
b) 12 L para cm^3
c) 13,2 km para microns.
d) 5.3x 10^{-3} nA para μA.

2)

A *pressão osmótica* p_{os} de uma solução, à temperatura absoluta T, é dada por cRT, onde c, a concentração molar da solução, é o número de moles do soluto por unidade de volume do solvente, e R é uma constante. Escreva as unidades de R.

3)

Em um meio sólido de densidade ρ, a velocidade do som é dada por $v = \sqrt{Y/\rho}$, onde Y é o *módulo de Young* do sólido. Escreva as unidades de Y.

4)

A *intensidade da força elétrica* F_e, entre duas cargas q_1 e q_2, separadas por uma distância r, é dada por $F_e = kq_1q_2/r^2$, onde k é uma constante elétrica universal. Escreva as unidades de k.

5)

Quantos algarismos significativos tem cada uma das seguintes quantidades:

a) 2;	b) 2,00;	c) 0,136;	d) 2,483;
e) $2{,}483 \times 10^3$;	f) 310;	g) $3{,}10 \times 10^2$;	h) $3{,}1 \times 10^2$.

6)

Temos um conjunto de medidas da massa de uma pessoa: 61,235 kg; 61,915 kg; 60,781 kg; e 61,008 kg. Calcule o valor médio da massa e seu desvio absoluto.

7)

Uma pulga de massa *m* salta com facilidade uma altura H, cem vezes maior que seu tamanho. A energia necessária para este salto é mgH. Se a pulga fosse dez vezes maior em seu tamanho, poderia saltar proporcionalmente mais alto? Admita que os músculos envolvidos no salto têm uma resistência proporcional a seu volume.

8)

Suponha que todas as dimensões lineares de um animal aumentem em 10%. Qual será o incremento de sua superfície, volume e peso?

9)
A experiência feita com dois conjuntos A e B de pés de milho, para verificarmos o efeito do adubo, está resumida na tabela abaixo. Admita que as alturas são valores médios.

t	Altura das plantas (cm)	
(semana)	A	B
0	0	0
1	15	28
2	28	58
3	47	82
4	60	110

a) Encontre uma relação entre altura e tempo.

b) Calcule a taxa de crescimento para os conjuntos A (plantas controle, cultivadas sem adubo) e B (cultivadas com adubo).

10)

Guttman[12] fez medidas da dependência do tempo t em relação à temperatura T, necessários para que um pulso de corrente contínua excite o axônio de uma lula. As medidas a seguir foram obtidas nesta experiência.

T (°C):	5	10	15	20	25	30	35
t (ms):	4,1	3,4	1,9	1,4	0,7	0,6	0,4

a) Faça um gráfico com estes dados.

b) Encontre uma relação empírica entre T e t.

11)
Os dados a seguir são valores de concentração C de etanol no sangue, em função do tempo t, após a ingestão do etanol (Lynn, et al).[13]

C (mg/dl):	134	120	106	93	79	65	50
t (min):	90	120	150	180	210	240	270

a) Faca um grafico a partir desses dados.
b) Discuta a taxa de metabolizacao do álcool.

Referências

- HENEINE I. F., 2000, "Biofisica Básica", Ed. Atheneu.
- DURAN J. E. R., 2003, "Biofísica – Fundamentos e Aplicações", Ed. Peason.
- Halliday D, Resnick R. e Walker J., Fundamentos de Física, Volume 1. Livros Técnicos e Científicos Editora SA - LTC, 8ª Ed., 2009.
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades