Medidas Físicas

1. Introdução

Quando se afirma que a “Física é o estudo dos fenômenos naturais”, está implícita sua característica fundamental: a natureza como o parâmetro de referência desse conhecimento. É a natureza que nos fornece elementos para a construção de modelos explicativos e é ela mesma que nos serve de referência para a confirmação de hipóteses, previsões e leis.

Estudar a natureza significa observá-la. E para isso, necessitamos de instrumentos apropriados. Para enxergarmos qualquer fato ou fenômeno que está à nossa volta, necessitamos de nossos olhos, enquanto que para ouvirmos uma informação necessitamos de nossos ouvidos, o tato reconhece uma textura fina ou nossas mãos avaliam a temperatura da água de um banho e assim por diante. Nesses casos, nossos órgãos dos sentidos são os instrumentos que nos permitem obter as informações.

As informações que os instrumentos dos sentidos nos fornecem normalmente são satisfatórias para o nosso cotidiano. No exemplo acima, o nosso tato é suficiente para avaliarmos a temperatura da água de um banho ou ainda o relógio biológico é suficiente para nos informar sobre a hora de dormir quando estamos de férias. Todavia, se temos um compromisso marcado, o mesmo relógio biológico não é adequado, pois além da possibilidade de falhar, não informará o horário com a precisão necessária.

Em ciência, a utilização de um instrumento apropriado de medida é tão importante quanto o próprio experimento em si. Dessa forma, para que possamos realizar a medida de uma grandeza física da maneira mais precisa possível, é necessário escolher um instrumento adequado e aprender a utilizá-lo. Para medidas de comprimento, a régua é o instrumento de medida mais conhecido. Todavia, nem sempre a mesma régua é o instrumento mais apropriado. Se estivermos interessados na determinação de grandezas pequenas, por exemplo, na determinação do diâmetro de um fio de cabelo, a régua não é um bom instrumento de medida, visto que o diâmetro de um fio de cabelo é menor que a menor divisão da régua, e portanto a medida não seria nada confiável. Outra situação que ilustra a importância de escolhermos um instrumento de medida apropriado é quando desejamos medir grandezas “grandes”, como o comprimento de um estádio de futebol. Nessa situação, a régua também não é o instrumento mais adequado. Por outro lado, se estivermos interessados em medir o comprimento de uma folha de caderno, a régua nos fornecerá uma medida com a precisão necessária. Dessa forma, a escolha do instrumento de medida mais apropriado é tão importante quanto à própria medida.

Muitas vezes é possível realizar diretamente uma medida, como é o caso de medirmos o comprimento de uma folha de papel com uma régua, ou ainda o tempo de duração de um evento com o auxílio de um relógio de pulso ou um cronômetro. Nesses dois casos, a medida consiste em comparar o seu valor com um valor padrão. O valor **padrão** representa a medida de grandeza unitária. Quando medimos um comprimento com uma régua ou trena, simplesmente comparamos o nosso objeto com a escala do instrumento de medida utilizado. Podemos definir vários padrões de medida, por exemplo, podemos expressar o comprimento de uma cozinha com azulejos em unidades de azulejos ao invés de medi-la com uma trena. No entanto, para que uma medida possa ter maior utilidade, é conveniente a utilização de padrões bem reconhecidos e estabelecidos.

Entretanto, outras vezes não é possível realizarmos diretamente uma medida. Nesses casos, temos que medir outras grandezas que nos possibilitem determinar a grandeza desejada. Muitas vezes, grandezas muito “grandes” ou muito “pequenas” só podem ser medidas de maneira indireta. Dessa forma, a possibilidade de efetuarmos medidas de forma direta ou indireta vai depender de sua ordem de grandeza.

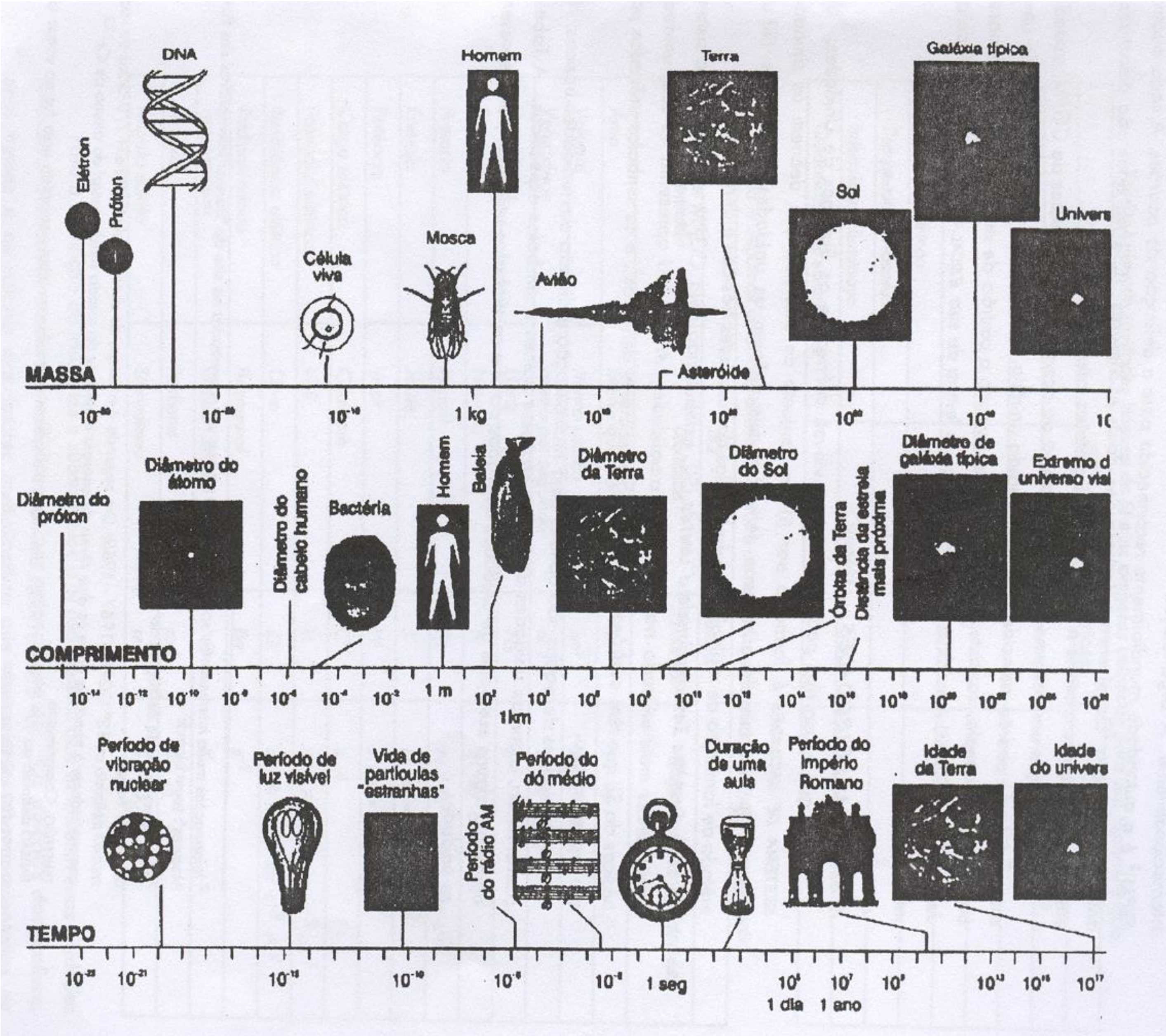

Figura 1.1 - Ordens de grandeza das dimensões massa, comprimento e tempo.

Ordem de grandeza de uma dimensão é a potência de 10 que melhor representa o valor típico da dimensão em questão, acompanhado de sua unidade. Por exemplo, o diâmetro de um fio de cabelo tem ordem de grandeza de 10^{-4} cm, enquanto que a ordem de grandeza do comprimento de uma folha de caderno é de 10^{1} cm. O universo de medidas físicas abrange um intervalo de muitas ordens de grandeza. A Fig. 2.1 ilustra esse intervalo para o caso de medidas com dimensões de massa, comprimento e tempo, em unidades de quilograma, quilometro e segundo, respectivamente.

Nas duas primeiras aulas desta disciplina, iremos realizar medidas diretas de espaço utilizando diferentes instrumentos e discutindo diversos conceitos fundamentais envolvidos em uma medida física.

2. Conceitos fundamentais em uma Medida Física

Qualquer que seja o instrumento de medição, sua escala tem um número limitado de pequenas divisões. Logo, sua precisão é limitada na fabricação. Na maioria das vezes, a leitura do valor de uma grandeza é intermediária a dois traços consecutivos da escala. Como fazer a leitura nesse caso? Vamos dar como exemplo a medida ilustrada na figura 2.1.

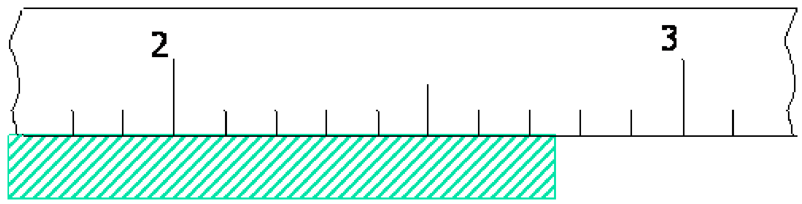

Figura 2.1- Exemplo de leitura de uma régua milimetrada.

A barra que está sendo medida tem uma extremidade ajustada no zero da escala e a régua é milimetrada. A outra extremidade da barra não coincidiu com nenhum traço. Qual o valor da medida? Podemos observar que ele é maior do que 2,7 cm e menor do que 2,8 cm. Portanto, a medida é 2,7 cm e mais alguma coisa, em centímetros. Quanto vale essa "alguma coisa"? Ninguém poderá responder, com certeza, o valor dessa alguma coisa, somente com esse instrumento. Diferentes pessoas poderão arriscar valores tais como 0,03, 0,04 ou 0,05 sem, contudo nenhuma delas estar mais certa do que as outras. É tão certo escrever 2,73 cm como 2,75 cm.

Toda grandeza possui um **valor verdadeiro** que é desconhecido por nós. O **erro** de uma medida é a diferença entre o valor da medida e o valor verdadeiro da grandeza em questão. Como não conhecemos o valor verdadeiro, o erro também é uma quantidade desconhecida. A **incerteza** é uma estimativa para o valor do erro. A melhor estimativa para o valor verdadeiro de uma grandeza, e sua respectiva incerteza, só podem ser obtidos e interpretados em termos de probabilidades. O formalismo utilizado para essa tarefa é chamado de **Teoria de Erros**. Leia o capítulo 2 da apostila "Introdução à Teoria de Erros", de J. H. Vuolo, para uma explicação mais detalhada sobre os conceitos de valor verdadeiro, erro, incerteza e suas interpretações probabilísticas.

Voltando ao nosso exemplo, os algarismos 2 e 7 são exatos, enquanto 3, 4 ou 5 são duvidosos. Os algarismos certos e o duvidoso, avaliado pelo operador, são denominados **algarismos significativos**. Em 2,73 cm, os três algarismos são significativos sendo 2 e 7 certos ou exatos e 3 incerto ou duvidoso. Não seria correto escrever 2,735 fazendo uso da mesma escala.

Isso porque, se o 3 é duvidoso, o 5 perde totalmente o sentido. Daí surge a regra: nunca escreva a medida com mais de um algarismo duvidoso. Leia o apêndice desta aula e o capítulo 3 da apostila “Introdução à Teoria de Erros”, de J. H. Vuolo, para uma explicação mais detalhada sobre algarismos significativos.

Dissemos que tanto 2,73 cm como 2,74 cm ou 2,75 cm são maneiras igualmente corretas de escrever a medida do comprimento da barra do exemplo. Entretanto, o último algarismo da direita é duvidoso ou incerto. Essa incerteza é gerada pela própria escala do instrumento. Para tornar mais completa nossa informação a respeito da medida e respectiva incerteza, devemos escrevê-la seguida de um número que representa a incerteza devido à escala. De maneira geral, adota-se essa incerteza como sendo igual **ao valor da metade da menor divisão da mesma**. Portanto, nossa informação a respeito da medida do comprimento da barra estará completa quando escrevermos: $L = (2{,}73 \pm 0{,}05)$ cm, isto é, $L \pm \Delta L$, onde ΔL é a incerteza na medida.

Isso significa que entre os valores de 2,68 cm a 2,78 cm, todos os valores intermediários são suscetíveis de representar a medida do comprimento da referida barra com certa probabilidade. O valor de ΔL é também referido como sensibilidade ou precisão do instrumento, isto é, o menor valor que o mesmo pode fornecer ao operador.

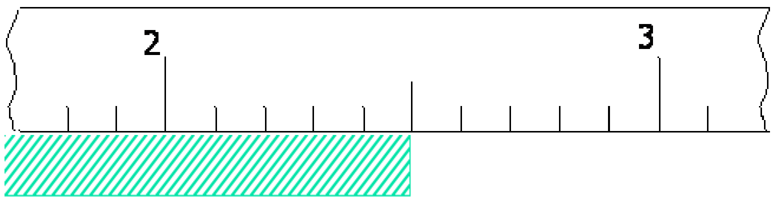

Figura 2.2 - $L = (2{,}50 \pm 0{,}05)$ cm.

Note que apesar de termos afirmado que a incerteza na leitura é representada pela metade da menor divisão da escala, essa não é uma regra rígida. Dependendo da familiarização do operador com a escala e do maior ou menor espaçamento entre os traços de divisão da escala, outros valores poderão ser tomados como incerteza na leitura.

Se ao medir uma grandeza, houver coincidência com um dos traços de menor divisão da escala, devemos ainda levar em conta a incerteza na leitura e escrever o zero duvidoso à direita dos demais algarismos significativos e certos da medida, como mostrado na figura 2.2.

3. Algarismos significativos

3.1 Motivação

O número de dígitos ou algarismos que devem ser apresentados num resultado experimental é determinado pela incerteza neste experimento. Apresentamos aqui o conceito de algarismo significativo e as regras práticas para apresentar um resultado experimental com sua respectiva incerteza, os quais devem ser escritos utilizando somente algarismos significativos.

3.2 Conceito de algarismo significativo

O valor de uma grandeza experimental, obtido a partir de cálculos ou medições, pode ser um número na forma decimal, com muitos algarismos significativos. Por exemplo,

0, 0 0 0 **X Y ... Z W** ***A B C D...***

onde **X, Y, ..., W** são algarismos significativos, enquanto os algarismos ***A, B, C, D,*** ... não são algarismos significativos.

Algarismo significativo em um número pode ser entendido como cada algarismo que individualmente tem algum significado, quando o número é escrito na forma decimal.

Zeros à esquerda de um número **não são** algarismos significativos, pois os zeros à esquerda podem ser eliminados ao reescrevermos o valor da medida, por exemplo, 81 mm=8,1 cm=0,081 m. Por outro lado, **zeros à direita** de um número **são** algarismos significativos, pois não podem ser eliminados quando reescrevemos a medida.

O dígito estimado no valor de uma medida é chamado de **algarismo significativo duvidoso.** Os demais dígitos que compõem o valor da medida são chamados de **algarismos significativos exatos.** O valor de uma grandeza medida geralmente não possui mais do que um algarismo duvidoso, pois não faz sentido tentarmos avaliar uma fração de um número estimado.

Exemplo: Réguas com precisões diferentes

Na figura abaixo temos a leitura de uma barra utilizando duas réguas distintas A e B.

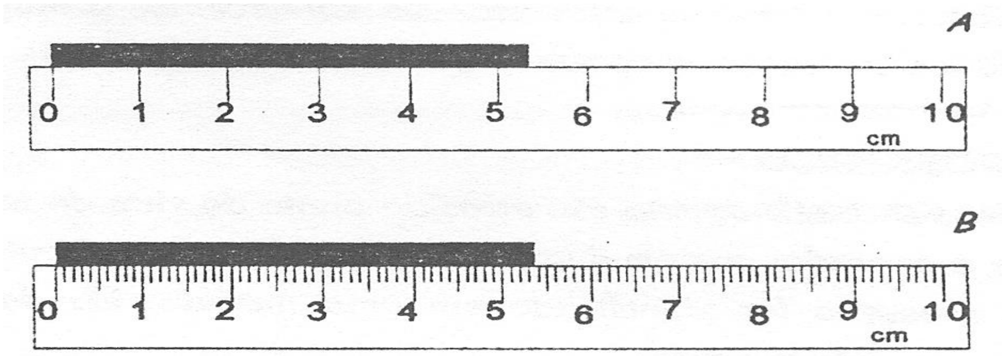

Figura 3.1 - Representação de duas réguas com precisões diferentes.

Na régua A, a menor divisão é 1 cm e na régua B é 1 mm. Realizando a medida com a régua A, concluímos que o comprimento da barra está entre 5 cm e 6 cm. Realizando a medida com a régua B, esse valor está entre 5,3 cm e 5,4 cm. Dessa forma, utilizando a régua A, concluímos que o comprimento da régua é 5,X cm e utilizando a régua B, o valor é 5,3X cm.

Note que não é possível encontrarmos o valor verdadeiro de X.

O que podemos fazer é um "chute" criterioso. Por exemplo, podemos dizer que as leituras de A e B são 5,3 cm e 5,34 cm, respectivamente. Também podemos dizer que a leitura de A e B são 5,4 cm e 5,33 cm, respectivamente. Qual leitura é a mais correta?

A resposta é que ambas as leituras são corretas e uma avaliação não é melhor ou pior que a outra, já que a estimativa de X é subjetiva e varia de pessoa para pessoa.

Por outro lado, não seria razoável supor que A e B fossem 5,7 cm e 5,40 cm, visto que das figuras podemos ver claramente que A é menor que 5,5 cm e B é menor que 5,40 cm. Para a régua A a menor divisão é 1 cm e portanto, sua incerteza instrumental σ_A é σ_A= 0,5 cm, enquanto que para a régua B sua incerteza instrumental σ_B é σ_B= 0,5 mm.

Podemos representar as medidas A e B de diversas maneiras, por exemplo,

A: (5,3±0,5) cm, ou (0,053±0,005) m ou (53±5) mm.

B: (5,34±0,05) cm,ou (0,0534±0,0005) m ou (53,4±0,5) mm.

Note que no caso da leitura A, o valor da medida apresenta dois algarismos significativos independentemente da unidade utilizada e na leitura B, a medida apresenta três algarismos significativos. Isso nos permite fazer duas conclusões:

1) O número de algarismos significativos da medida depende da precisão do instrumento utilizado.
2) O número de algarismos significativos não depende do número de casas decimais.

3.3 Critérios de arredondamento

Quando realizamos operações aritméticas, necessitamos freqüentemente arredondar os resultados obtidos, para que eles reflitam adequadamente a confiabilidade do valor. Isto é, arredondamentos são necessários para que os resultados tenham um número apropriado de algarismos significativos.

Quando um dos números tem algarismos significativos excedentes, estes devem ser eliminados com arredondamento do número. Se em um determinado número, tal como:

... **W, Y X** A B C D ...,

Sendo W Y X algarismos significativos enquanto A B C D... são algarismos que por qualquer motivo devem ser eliminados. Dessa forma, o último algarismo significativo, ou seja, **X** deve ser arredondado aumentando em uma unidade ou não, conforme as regras a seguir:

- de X000... à X499..., os algarismos excedentes são simplesmente eliminados, ou seja, o arredondamento é para baixo.
- de X500...1 à X999..., os algarismos excedentes são eliminados e o algarismo X aumenta de 1, ou seja, o arredondamento é para cima.
- No caso X50000..., o arredondamento deve ser tal que o algarismo X depois do arredondamento deve ser par. Entretanto, muitas vezes nesse caso, arredondamos tanto para cima ou para baixo.

Exemplos de arredondamento de números. Os números em negrito devem ser eliminados.

2, 4 **3**	→ 2, 4	3, 6 8 **8**	→ 3, 6 9
5, 6 **4 9 9**	→ 5, 6	5, 6 **5 0 1**	→ 5, 7
5, 6 **5 0 0**	→ 5, 6 ou 5, 7	5, 7 **5 0 0**	→ 5, 8

4. Referências:

1. Física Geral e Experimental para Engenharia I - FEP 2195 para Escola Politécnica (2003).
2. J. H. Vuolo, “Fundamentos da Teoria de Erros”, São Paulo, Editora Edgard Blucher, 2ª edição (1996).
3. Introdução às Medidas em Física, “Notas de aula”, Instituto de Física da USP, (2004).