

## MEDIÇÕES DE DISTÂNCIA

### 1.1- INTRODUÇÃO

Efetuar medidas com precisão cada vez maior é um desafio tecnológico nos dias de hoje. O seu interesse é tão grande que seu estudo é objeto de um ramo da Ciência conhecido como Metrologia.

A Metrologia consiste no estudo do melhor método de obter a medição precisa de diferentes grandezas, estabelece as unidades de medição dessas grandezas aceitas universalmente e define critérios de apresentação das unidades internacionalmente aceitas.

Dependendo do tamanho do objeto a ser medido, são necessários aparelhos ou métodos diferentes. É possível medir com precisão adequada desde insetos pequenos até o diâmetro da Lua e dos planetas ou, então, distâncias entre dois sulcos de um disco a laser até a distância entre a Terra e a Lua.

Na vida cotidiana, você certamente já deve ter usado uma régua ou uma fita métrica (de costura) ou, ainda, uma trena. Esses instrumentos são adequados para medir a largura e o comprimento de uma folha de papel, o comprimento de uma saia e o tamanho de uma sala, respectivamente.

Existem instrumentos delicados e precisos, apropriados para se medir dimensões bem pequenas. Por exemplo, o paquímetro e o micrômetro. O paquímetro é adequado para se medir o diâmetro de uma agulha fina, o diâmetro de esferas de rolamento, profundidade de sulcos em peças de aparelhos que requerem alta precisão. O micrômetro é utilizado para medir espessuras de folhas, fios e diâmetros de tubos com alta precisão.

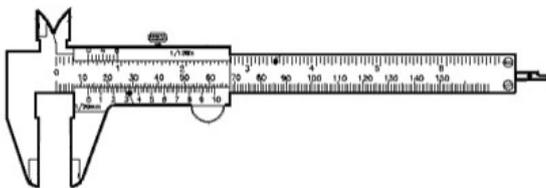
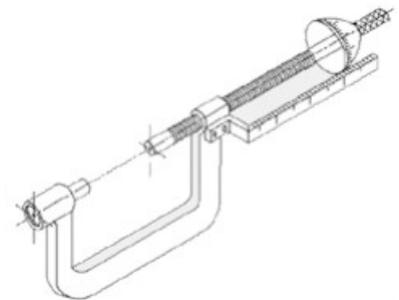


Fig. 1- Paquímetro

Para distâncias e objetos de dimensões ainda menores são necessários métodos indiretos de medida, como através de difração da luz, ou então microscópios especiais, devidamente calibrados.

Já para distâncias muito grandes como, por exemplo, diâmetro da Lua, altura de uma montanha são utilizados métodos que usam relações simples de trigonometria ou então de triângulos semelhantes. Esse método é conhecido como triangulação.

Dependendo da precisão necessária a uma determinada medida é que escolhemos o aparelho mais adequado para efetuá-la. Tem que ser usado o conhecimento e o bom senso. Não tem sentido usar um aparelho de alta precisão para medir objetos nitidamente não-uniformes. Se o objeto a ser medido é muito menor que a menor divisão do instrumento usado, obviamente não se pode obter precisão alguma na medida.

Num primeiro contato com este tema, propõe-se que uma série de medições de comprimento sejam efetuadas. Reúna um conjunto de objetos de forma geométrica diversa e efetue uma série de medições de comprimento.

Para que o estudante entenda o significado de medidas de precisão, sugere-se que ele faça medidas com instrumentos diferentes: primeiramente com a régua, depois com o paquímetro e, finalmente, com o micrômetro.

## 1.2- UNIDADES DE COMPRIMENTO

Antigamente, a unidade de comprimento, o metro, era definido como uma determinada fração da circunferência da Terra. A realização de uma medição resultou num protótipo internacional em platina iridiada, ainda hoje conservado no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, na França.

A crescente demanda de precisão na medição dos protótipos internacionais bem como a possibilidade de suas reproduções precisas levou às novas definições das unidades básicas. Alguns exemplos de unidades básicas são unidade de comprimento, de tempo e de massa, que fazem parte do sistema internacional de medidas (SI)\*. Assim, atualmente, o metro é definido por:

"O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de  $1/299792458$  de segundo."

Os múltiplos e submúltiplos decimais do metro mais utilizados são:

Quilômetro (km)	$1\text{km} = 1000\text{m} = 10^3\text{m}$
Metro (m)	
Centrímetro (cm)	$1\text{cm} = 0,01\text{m} = 10^{-2}\text{m}$
Decímetro (dm)	$1\text{dm} = 0,001\text{m} = 10^{-3}\text{m}$
Micrômetro ( $\mu\text{m}$ )	$1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$
Nanômetro (nm)	$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$

Dependendo da área em estudo, o uso do sistema internacional de unidades se torna muito incômodo, pois exigiria o uso de muitos zeros. É o caso de representar o tamanho de um átomo, quando se usa a unidade denominada angstrom, representado pelo símbolo  $^{\circ}\text{A}$ .

$$1^{\circ}\text{A} = 0,1\text{nm} = 10^{-10}\text{m}$$

Para distâncias muito grandes, por outro lado, costuma-se usar outras unidades como pode ser visto em exemplos citados mais adiante. Um nome um pouco mais usual de unidade de comprimento é o ano-luz, que à distância percorrida pela luz no vácuo, no intervalo de tempo de um ano.

### 1.3- ESCALAS DE DISTÂNCIAS

As distâncias variam enormemente no Universo. Temos objetos extremamente pequenos, como um átomo, bem como objetos extremamente grandes, como uma galáxia. Existem, assim, várias escalas de distância no nosso Universo.

### 1.4- MEDIÇÕES NO COTIDIANO

Vamos medir alguns objetos do cotidiano e organizar os dados experimentais sistematicamente. Dessa forma teremos a possibilidade de rever e/ou criticar o procedimento posteriormente.

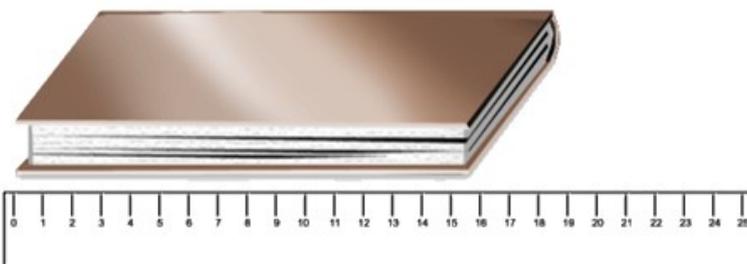
#### 1. Medições do comprimento de uma folha de papel

Utilize uma régua para medir o comprimento e a largura de uma folha de papel sulfite (ou semelhante). Organize os dados obtidos em uma tabela. Faça várias medidas em posições diferentes no papel.

Tabela 1 - Medida das dimensões de uma folha de papel com uma régua

	Comprimento (mm)	Largura (mm)
Média		
Desvio		

Calcule o valor médio, somando todos os valores obtidos e dividindo pelo número de medidas. Obtenha o desvio máximo do conjunto de medidas através da relação  $\left(\frac{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}}{2}\right)$ . Se você usa uma régua, a menor divisão é o mm e, em algumas situações, você nota que a medida não é exata em mm. Nesse caso, você tem que avaliar (chutar) um valor intermediário entre dois valores exatos.



Use o bom senso! Muito dificilmente você pode dividir o mm em dez ou cinco partes iguais e avaliar 0,1mm ou 0,2mm, respectivamente.

Já um quarto da divisão depende da perfeição dos riscos da régua. Se os riscos são desiguais e as divisões também não são iguaiszinhas, então não tem sentido usar  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  de divisão.

Em geral, com régua escolares a uniformidade só admite estimar metade da divisão, isto é, 0,5 mm.

## 2. Medições da sala de aula

Utilize agora uma trena para medir o comprimento e a largura da sala em que você está. Organize os dados em outra tabela completa. Observe se as medidas foram feitas corretamente. Estime quanto você pode errar ao efetuar as medidas. Compare com o desvio das medidas efetuadas.



Compare os desvios obtidos nos dois itens acima. Agora você já usou uma régua e uma trena. Vamos analisar alguns pontos.

Vamos medir 30 cm da régua com a trena. Vamos medir também com outras régua. Certamente não deu o mesmo valor com todos os instrumentos. Qual está "certo"?

Para saber qual instrumento está certo, seria necessário ter em mãos um padrão. Existem padrões primários e secundários e são utilizados somente para aferir padrões menos "nobres", que são os mais encontrados e reproduzidos. Existem escalas metálicas (régua) milimetradas e de alta precisão. O seu preço reflete claramente como esses instrumentos são confeccionados e aferidos cuidadosamente e podem ser usados como referência.

## 3. Utilizando escalas

Você certamente já deve ter sentido a necessidade de saber a distância entre dois pontos numa cidade.

Por exemplo, no mapa das ruas de São Paulo, pegue a página de interesse. As escalas apresentadas nos mapas originais representam a conversão que deve ser feita. Por exemplo, 1:2000 significa: um cm do mapa corresponde a 2000cm na realidade, o que corresponde a 20m. Então 10 cm correspondem a 200m e assim por diante. Em outros casos, existe uma escala, uma barra indicando 0 a 10 km, por exemplo.

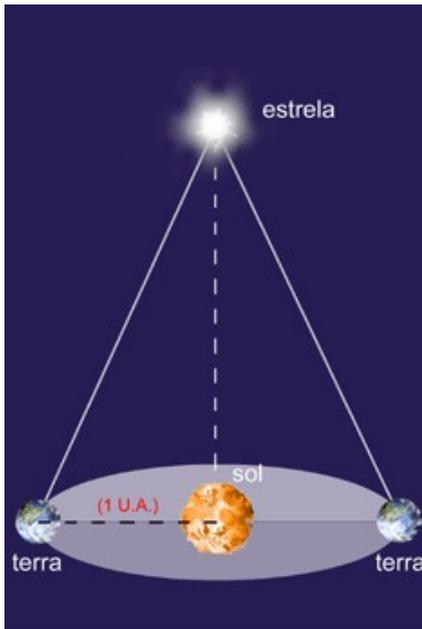
Meça a escala apresentada de 10 km em 1 cm. Meça com a sua régua a distância entre os dois pontos do mapa. Use a regra de três para obter em km a distância procurada.

Vamos usar o mapa e calcular o comprimento da raia olímpica da Cidade Universitária.

Agora pegue um mapa do Brasil, descubra qual a escala utilizada e descubra qual é a distância entre São Paulo e Rio de Janeiro. Compare o valor obtido com o de experiências anteriores vivenciadas numa viagem casual. Observe que você está fazendo as medidas em linha reta!

## 1.5- MEDINDO DISTÂNCIAS MUITO GRANDES

Um método para medir a distância da Terra as estrelas é conhecido como o da "paralaxe estelar". Na figura ao lado estão representados uma estrela (E), o Sol (S) e a Terra (T), que está representada em duas posições diametralmente opostas no seu movimento de translação ao redor do Sol. Define-se a paralaxe trigonométrica  $p$  de uma estrela como o ângulo subtendido por uma estrela pela distância média entre a Terra e o Sol, isto é, pela unidade astronômica U.A..



A figura ao lado mostra também, de uma forma aproximada, o método usado para determinar o ângulo  $\rho$  de paralaxe estelar. É utilizado um telescópio munido de chapas fotográficas para detectar a luz de uma determinada estrela. Os dados obtidos em duas exposições correspondentes a um intervalo de 6 meses são comparados a fim de se obter o ângulo  $\alpha$ .

Conhece-se o valor da U.A., que é a distância média entre o Sol e a Terra  $ST$ . Medindo-se (indiretamente)  $p$ , pode-se obter a distância entre o Sol e a estrela  $SE$ , através da relação trigonométrica  $\text{tg } p = \frac{ST}{SE}$

$SE$  será obtida na unidade usada

$$SE = \frac{ST}{\text{tg } p}$$

$$\therefore SE = \frac{1}{\text{tg } p} \text{ em U.A.}$$

### 1.6- MEDINDO DISTÂNCIAS MUITO PEQUENAS

Você já deve ter visto um microscópio muito utilizado em ciências e biologia. Você pode fazer medidas em células, insetos etc., desde que tenha uma forma de calibrar o instrumento. Existem escalas de alta precisão que permitem realizar essa calibração. O trabalho é o mesmo para se calcular a distância entre dois pontos numa cidade usando a escala correspondente. Na ocular do microscópio você verá uma escala e deve usar a comparação desta com a escala de calibração para obter a dimensão desejada.

Existem também métodos indiretos de medida de distâncias pequenas, onde se usa um fenômeno que ocorre com a luz, a difração da luz. Com o uso de uma fonte de luz coerente chamada LASER formam-se figuras muito nítidas. Hoje em dia, a luz LASER é muito difundida até em (pointers) aparelhos usados para apontar textos em palestras com formato de caneta, ou então em luzes que cortam a noite em mega-espetáculos de música com efeitos de alta tecnologia.

O fenômeno da difração ocorre com qualquer tipo de onda, independentemente da sua natureza. Ondas de água, ondas sonoras e até de luz sofrem difração ao atravessar fendas suficientemente estreitas.

No caso da luz de LASER, por ter propriedades particulares, o fenômeno da difração pode ser facilmente visualizado. Com luz comum também existe a mesma difração só é mais difícil de ver tão nitidamente.

### 1.7- USANDO O PAQUÍMETRO E O MICRÔMETRO

Você já tentou medir o diâmetro de uma agulha de costura? Fica claro que, se precisarmos de uma medida precisa do diâmetro, não é possível obter essa medida usando régua mesmo que seja uma de alta precisão. Essa dimensão pode ser obtida com um paquímetro ou com um micrômetro.

Tanto o paquímetro como o micrômetro possuem um dispositivo especial, o vernier, que permite medir frações de 1mm com bastante precisão. No apêndice A estão descritos os princípios de funcionamento bem como vários tipos de verniers existentes em paquímetros e micrômetros de diferentes procedências.

Você vai encontrar uma escala pequena móvel e uma haste grande com divisões em mm.

Você deve procurar na escala menor (móvel) qual é o traço que coincide exatamente com qualquer traço da escala fixa. As leituras nos paquímetros abaixo estão mostrados.

No caso de um micrômetro a escala que vai dar as frações de mm está no cilindro dividido em 50 partes. No eixo do micrômetro, você vai encontrar uma escala dividida em  $\frac{1}{2}$  mm. Cada volta completa do cilindro corresponde a  $\frac{1}{2}$  mm. Então, duas voltas completas, portanto, 100 divisões do cilindro correspondem a 1mm. Assim, cada divisão do cilindro representa 0,01mm (um centésimo de mm).