

## ***Prática 1: Instrumentos, medidas e incertezas***

### **1.1 Objetivos**

Nesta prática serão realizadas medidas diretas de comprimentos, massas e volumes de peças metálicas, assim como medidas indiretas de volume e densidade dos materiais. Serão determinadas as incertezas de medidas com os métodos apropriados para cada caso, descritos no capítulo 1.

### **1.2 Introdução**

A densidade das peças será determinada indiretamente a partir da medida do volume  $V$  e da massa  $m$ , usando a expressão:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

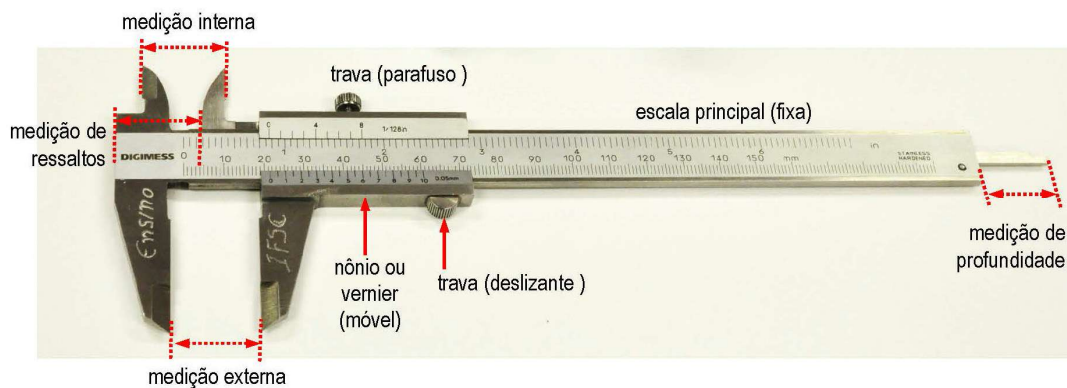
A massa será determinada diretamente com uma balança. O volume pode ser medido indiretamente, mensurando as dimensões das peças, ou diretamente usando o princípio de Arquimedes. *As incertezas de todas as grandezas medidas devem ser determinadas e os valores arredondados de maneira consistente, de acordo com os métodos e critérios descritos no capítulo 1.* Portanto, o conteúdo desse capítulo deverá ser cuidadosamente estudado antes de realizar a prática.

### **1.3 Paquímetro**

A figura 1.1 mostra um paquímetro universal. Consta de uma régua, a escala principal, com precisão  $D = 1$  mm (separação entre as divisões) e

comprimento de 150 mm. O paquímetro dispõe de vários pares de encostos para realizar medições externas, internas e de profundidade.

Figura 1.1 - Paquímetro universal com vernier.



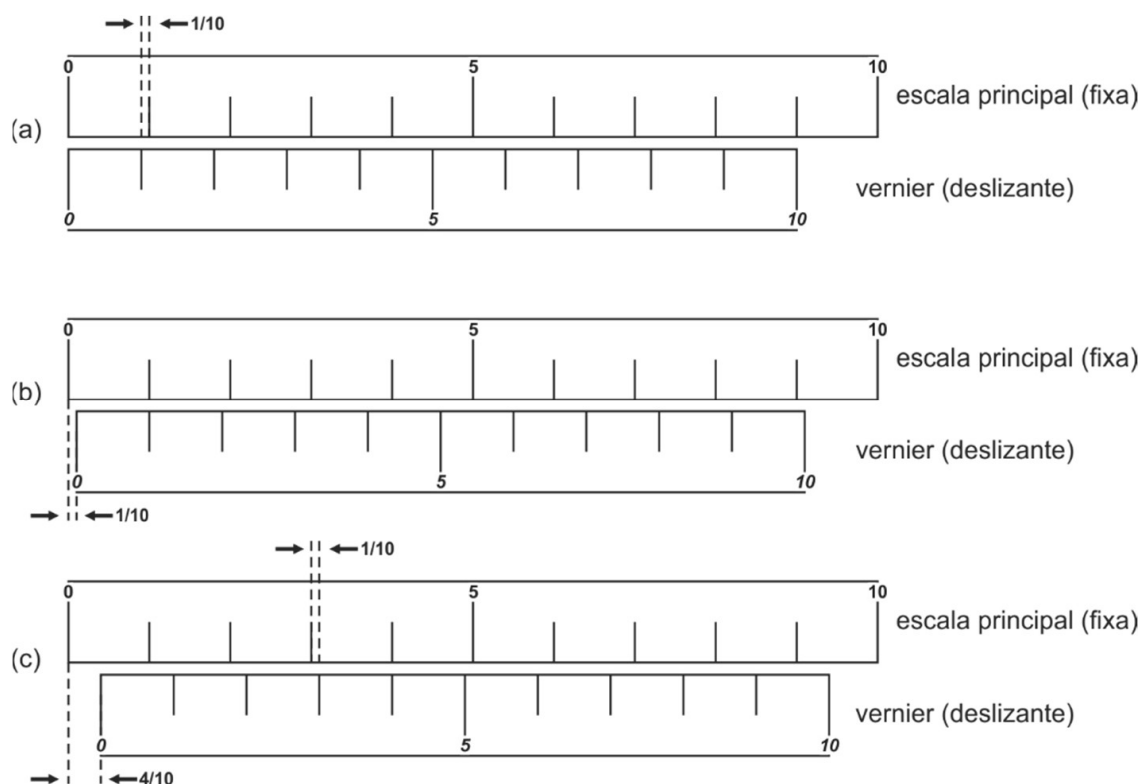
Fonte: Elaborada pelo compilador.

A capacidade de realizar medidas mais precisas do que uma régua convencional se deve ao uso do nônio ou vernier, uma régua deslizante que subdivide as unidades da escala principal. A escala do vernier possui  $N$  divisões, cuja separação está “encolhida” 10% em relação às divisões da escala principal, como mostrado na figura 1.2.a.

O vernier representado tem 10 divisões, que equivalem a 9 divisões da régua principal. Na figura podemos notar claramente que a primeira divisão do vernier é um  $1/10$  mais curta que a mínima divisão da régua e, portanto, somente há coincidência das divisões das réguas nas posições 0 e 9 da escala principal.

Note que as divisões da escala principal têm unidades, mas as divisões do vernier não. Se as divisões da escala principal correspondessem a 1 mm, então a defasagem entre as divisões “1”, de ambas as escalas na figura 1.2.a, seria de 0,1 mm.

Figura 1.2 - Princípio de funcionamento do vernier. (a) Zeros do vernier e da escala principal alinhados. Observe que as divisões do vernier são 10% mais curtas que as da régua principal. (b) Alinhamento na divisão 1 do vernier. O deslocamento do vernier com relação ao zero da escala principal é de  $1/10$  de unidade da escala principal. (c) Alinhamento na divisão 4 do vernier. O deslocamento do vernier corresponde, agora, a  $4/10$  de unidade da escala principal.



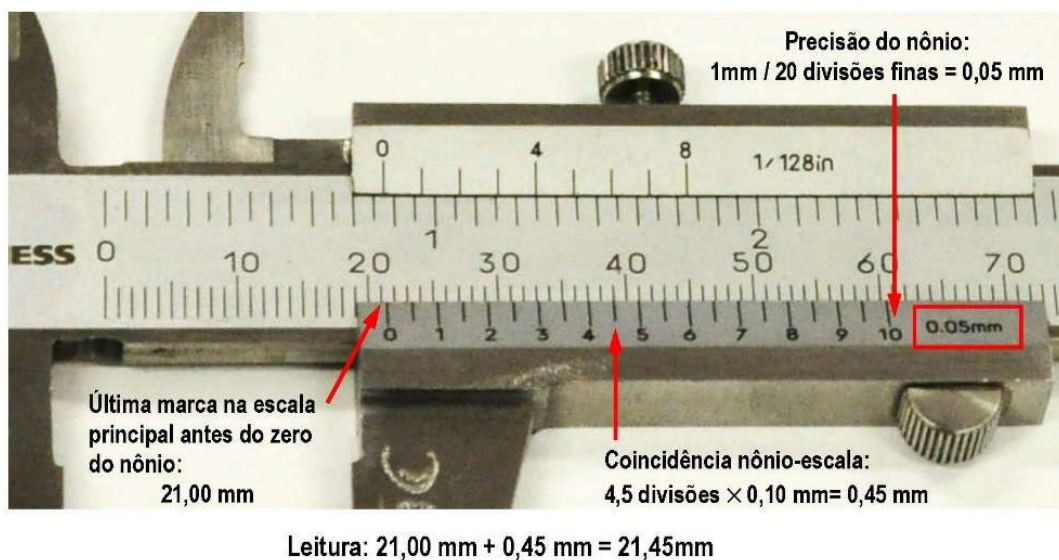
Fonte: Elaborada pelo compilador.

Suponha, agora, que o vernier é deslocado para direita de maneira que coincidam as divisões “1” de ambas as escalas, como mostrado na figura 1.2.b. Que distância deveria ter se deslocado o vernier desde a posição inicial? Claramente é  $1/10$  em unidades da escala principal. Consideremos neste momento um deslocamento maior, como na figura 1.2.c, de maneira que a coincidência das divisões ocorra, por exemplo, para a divisão 4 do nônio. O deslocamento total atual deve ser  $4 \times 1/10$  nas unidades da escala principal. Então, podemos concluir que a coincidência das divisões das escalas permite

mensurar o deslocamento do vernier em frações da mínima divisão da escala principal. Esse princípio pode ser aplicado para aumentar a precisão da medida de comprimento sobre escala principal.

Na figura 1.3 está representado o detalhe do nônio de um paquímetro que possui 20 divisões. A precisão máxima desse paquímetro é, então,  $1 \text{ mm} / 20 = 0,05 \text{ mm}$ .

Figura 1.3 - Detalhe da leitura do paquímetro, para o caso de um vernier de 20 divisões (precisão 0,05 mm).



Fonte: Elaborada pelo compilador.

Consideremos a leitura mostrada na figura sobre a escala principal. Podemos notar que o resultado da medida é maior que 21 mm. A fração de mm, que deve ser acrescentada a esse valor, pode ser medida com o vernier, utilizando o método descrito acima, com a única diferença de contabilizar o deslocamento do vernier a partir da divisão 21 mm, em vez de 0 da escala principal. Na figura 1.3, a coincidência ocorre para a divisão 4,5. Portanto, a

fração deslocada é  $4,5 \times 0,10 \text{ mm} = 0,45 \text{ mm}$  e, assim, a leitura completa é  $21,00 \text{ mm} + 0,45 \text{ mm} = 21,45 \text{ mm}$ .

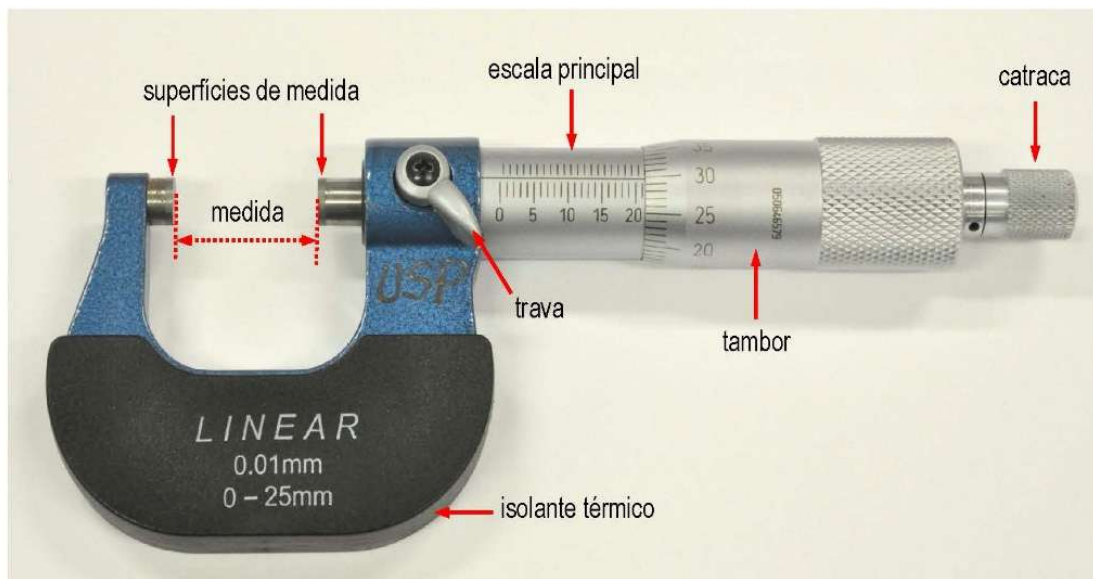
Os paquímetros podem ter verniers de até 50 divisões, resultando em uma precisão de 0,02 mm. Verifique sempre qual é a precisão do paquímetro utilizado para, assim, poder avaliar a incerteza das medidas.

## 1.4 Micrômetro

A figura 1.4 mostra um micrômetro típico, consistindo de um parafuso axial com rosca calibrada. A forma de medida é sempre externa à peça e o limite está determinado pelo máximo afastamento das superfícies, usualmente 25 mm. O instrumento deve ser segurado pela parte coberta pelo isolante térmico, para evitar eventuais distorções de medida, causadas pela dilatação térmica das partes metálicas em contato com a mão. As superfícies de medida devem fazer contato com as superfícies da peça, avançando suavemente o parafuso usando a catraca.

O micrômetro possui uma escala principal fixa, com precisão de 0,5 mm e uma escala rotatória no tambor com 50 divisões. Uma volta completa do tambor equivale a um avanço de 0,5 mm na escala principal. Logo, a precisão é  $0,5 \text{ mm} / 50 \text{ divisões} = 0,01 \text{ mm}$ .

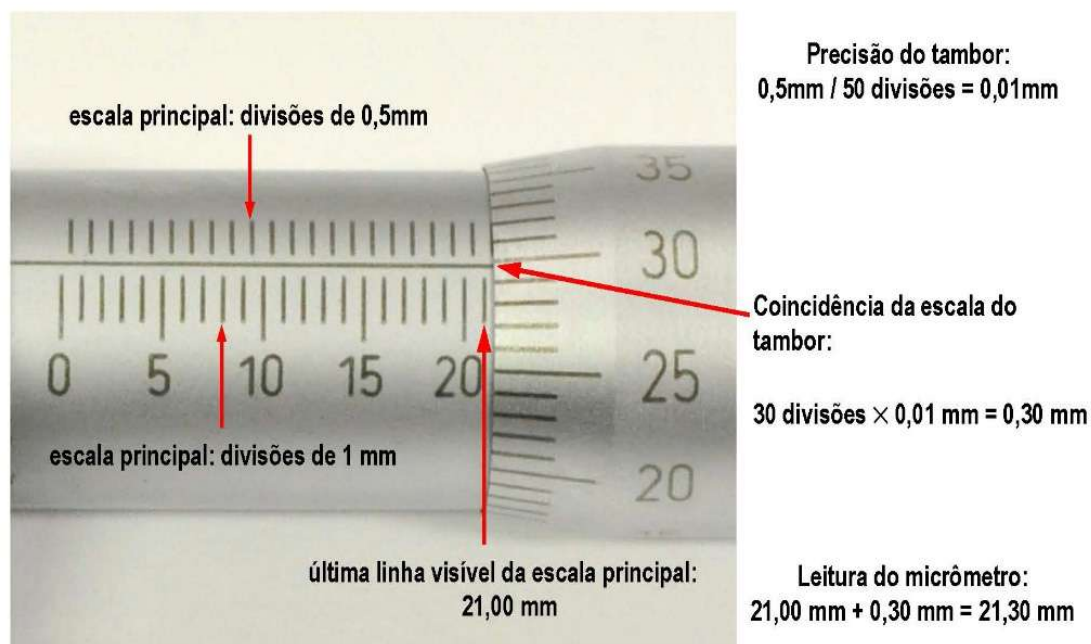
Figura 1.4 - Micrômetro de parafuso (precisão de 0,01 mm).



Fonte: Elaborada pelo compilador.

A figura 1.5 mostra o detalhe de uma leitura sobre a escala do micrômetro. Até a borda do tambor, a última divisão, claramente visível na escala principal, é 21,00 mm. A fração restante é medida sobre a escala do tambor. A coincidência da linha horizontal ocorre aproximadamente na divisão 30, representando um comprimento de 30 divisões  $\times$  0,01 mm = 0,30 mm. Portanto, a leitura é 21,00 mm + 0,30 mm = 21,30 mm.

Figura 1.5 - Detalhe da leitura do micrômetro, para um tambor de 50 divisões (precisão 0,01 mm).



Fonte: Elaborada pelo compilador.

## 1.5 Parte experimental

### 1.5.1 Medidas direta e indireta do volume

Nesta parte do experimento, será determinado o volume de uma peça metálica.

- Confira o estado do paquímetro e do micrômetro! Verifique qual é a precisão desses instrumentos e confirme que o zero esteja calibrado! Essas conferências são necessárias para atribuir as incertezas das medidas e evitar erros sistemáticos.
- Meça diretamente todas as dimensões das peças, necessárias para calcular o volume. Tente usar o instrumento mais preciso que for

possível em cada dimensão da peça. No relatório, faça esquemas das peças e os parâmetros medidos, e compile claramente os resultados com suas respectivas incertezas.

- c) Calcule para cada peça o volume e sua incerteza.
- d) Meça diretamente o volume das peças utilizando uma proveta graduada contendo água. Determine a incerteza dessas medidas.
- e) Organize os resultados das medidas de volume numa tabela (veja tabela 1.1). Compare e discuta os valores obtidos com ambos os métodos. Indique, por exemplo, se os resultados são equivalentes entre si ou se um dos métodos é mais preciso que o outro.

Tabela 1.1 - Volumes das peças metálicas medidos direta e indiretamente e as respectivas densidades resultantes.

Peça	$V_{\text{direto}} (\text{cm}^3)$	$V_{\text{indireto}} (\text{cm}^3)$	$\rho (\text{g/cm}^3)$	Material identificado / $\rho (\text{g/cm}^3)$

Fonte: Elaborada pelo compilador.

### 1.5.2 Medida indireta da densidade

- a) Meça diretamente a massa das peças com uma balança, determinando a incerteza. Certifique que não existam fontes de erros sistemáticos (calibração do zero da balança, nivelção do prato, etc.).



- b) Usando o volume medido indiretamente, calcule as densidades dos materiais das peças, junto com suas incertezas.
- c) De acordo com o valor de densidade e o aspecto da peça, proponha uma identificação para o material, comparando com dados de referência. Indique na tabela o valor de densidade usado para justificar sua identificação. Leve em consideração os critérios de comparação de grandezas com incerteza (capítulo 1, seção 1.7).

### 1.5.3 Medida direta com dispersão

Nesta parte da prática, será analisado o caso da medida direta de uma grandeza com dispersão dos resultados maior que a precisão do instrumento. Será medido o diâmetro médio de um segmento de fio de cobre, grosso e irregular, utilizando um micrômetro.

- a) Construa uma tabela, como a sugerida na tabela 1.2, incluindo, no mínimo, 10 medidas do diâmetro  $d$  do fio realizadas em pontos diferentes do mesmo. Existe dispersão dos dados?
- b) Calcule o valor médio do diâmetro.
- c) Calcule os desvios dos valores com relação à média ( $d_i - \bar{d}$ ) e o desvio absoluto médio  $\Delta d = \frac{\sum_{i=1}^N |d_i - \bar{d}|}{N}$ .
- d) Compare o desvio absoluto médio com a precisão  $D$  do micrômetro. Qual é a incerteza que deve ser atribuída ao diâmetro médio? Expresse o resultado final com a quantidade de casas significativas consistente com a incerteza.
- e) Qual é a diferença entre o procedimento de medir o diâmetro sempre no mesmo ponto ou em pontos diferentes do fio? Qual é o significado

ou a validade desses procedimentos do ponto de vista do *controle de tolerância dimensional* das características de uma peça?

Tabela 1.2 - Determinação do diâmetro  $d$  de um fio de cobre medido com um micrômetro.

$d$ (mm)	$d_i - \bar{d}$ (mm)

Fonte: Elaborada pelo compilador.

## ***Bibliografia***

Helene, O.; Vanin, V.. **Tratamento estatístico de dados em física experimental**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1981.

Vuolo, J. E.. **Fundamentos da teoria de erros**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1993.