

Densidade de um Sólido

1. Introdução

Neste experimento, utilizaremos um paquímetro e uma régua para fazer medidas de dimensões de um sólido metálico. Com estas medidas e a massa deste sólido, será possível determinar sua densidade.

A densidade absoluta é uma propriedade que identifica e diferencia uma substância das outras substâncias. A densidade relativa de um material é a relação entre a sua densidade absoluta e a densidade absoluta de uma substância estabelecida como padrão. Para o cálculo da densidade relativa de sólidos e líquidos, o padrão usualmente escolhido é a densidade absoluta da água, que é igual a $1,0 \text{ g/cm}^3$ a $4,0 \text{ }^\circ\text{C}$. A densidade de um sólido é função da temperatura e da natureza de sua estrutura cristalina e é dada pela relação entre a sua massa e seu volume.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

1.1. O paquímetro

Ao medirmos com uma régua, a menor divisão, que é denominada de resolução, é normalmente 1 mm. Para medir décimos ou centésimos de mm, bastaria então acrescentar mais subdivisões à escala, que seria inviável, visto que os traços ficariam tão próximos que seria impossível visualizá-los.

Uma forma de contornar este problema é usando um paquímetro. O paquímetro é uma régua equipada com uma escala móvel, que permite medições de décimos ou centésimos de mm, dependendo das divisões da escala (Figura 1). A diferença entre a régua e o paquímetro é o nônio ou vernier, que tem este nome em homenagem aos seus inventores o português Pedro Nunes e o francês Pierre Vernier. O nônio (como passaremos a chamar a escala móvel a partir deste ponto) é uma ampliação da menor divisão da escala fixa, com novas divisões. A resolução do paquímetro, ou seja, sua menor divisão, é obtida pela divisão da resolução da escala fixa pelo número de divisões do nônio.

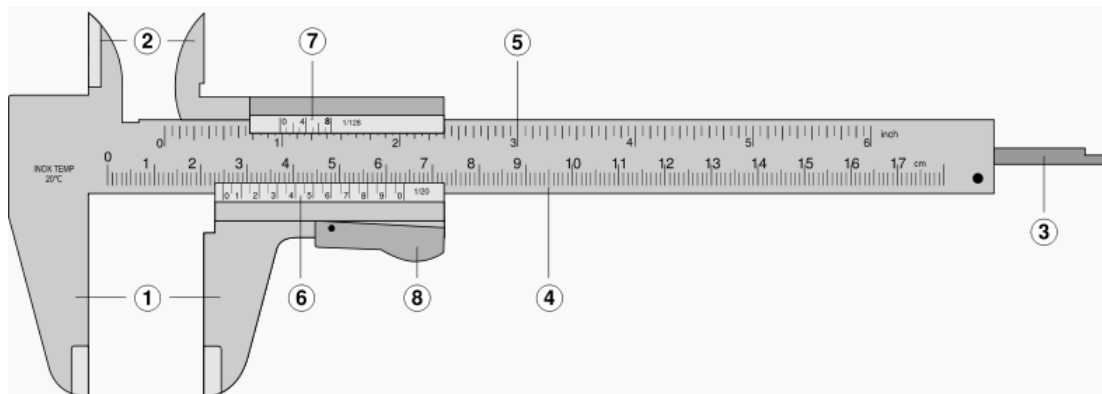


Figura 1. Ilustração de um paquímetro: 1: bicos (esquerdo fixo e direito móvel), 2: orelhas (esquerda fixa e direita móvel), 3: haste de profundidade, 4: escala fixa inferior (graduada em centímetros), 5: escala fixa superior (graduada em polegadas), 6: escala móvel (nônio ou vernier) inferior (cm), 7: escala móvel (nônio ou vernier) superior (polegada), 8: impulsor e trava. Em vários paquímetros, o impulsor e a trava são dispositivos distintos, ficando esta última na parte superior.

Para facilitar a compreensão, vamos apresentar um exemplo de um nônio simples, cuja escala tem 10 divisões e está acoplado a uma escala fixa cuja menor divisão é 1 mm, como ilustrado na Figura 2.

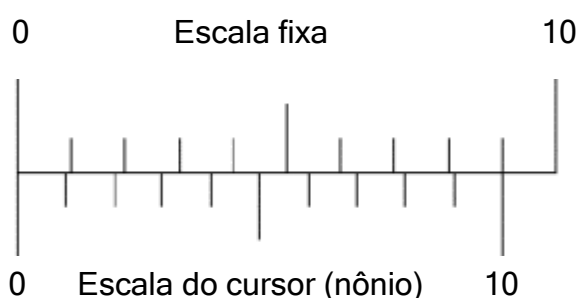


Figura 2. Ilustração de um nônio.

Na escala fixa, a menor divisão da escala é 1 mm. Já o nônio têm comprimento total de 9 mm, e, portanto, a sua menor divisão da escala é de 0,9 mm. Conseqüentemente, quando os zeros das duas escalas coincidem, a distância entre o 1 (primeiro traço) da escala principal e o 1 (primeiro traço) do nônio é de 0,1 mm, entre o 2 (segundo traço) da escala principal e o 2 (segundo traço) do nônio é de 0,2 mm, e assim por diante até o nono traço, cuja distância entre escalas é de 0,9 mm. Portanto, a utilização deste nônio permite que se avalie até 0,1 mm, que é 1/10 da menor divisão da escala fixa.

Para melhor compreensão, imagine que uma peça seja colocada entre os bicos do paquímetro. Quando isto é feito, a escala móvel se desloca exatamente o tamanho da peça. Então, se colocarmos uma peça de 0,1 mm entre os bicos, os zeros das duas escalas deixarão de ser coincidentes. A posição do zero da escala móvel indicará o tamanho da peça. Seria possível ler na escala fixa o deslocamento de 0,1 mm do zero da escala móvel? Certamente não seria possível ter certeza da distância entre os zeros. Mas observe as distâncias entre os traços de cada escala. O que aconteceria com o primeiro traço da escala móvel? Ele agora coincidiria com o primeiro traço da escala fixa! E se colocássemos uma peça de 0,2 mm? O segundo traço seria o único a coincidir. E assim, sucessivamente. Portanto, a utilização deste nônio diminui a resolução de 1 mm, na régua fixa, para 0,1 mm, no paquímetro.

Neste exemplo, a resolução foi de 0,1 mm. Mas há vários tipos de paquímetro, com resoluções diferentes, e para determiná-las é preciso saber a menor divisão da escala fixa e o número de divisões do nônio, como apresentado na Equação (1).

$$\text{Resolução} = \frac{\text{unidade da escala fixa}}{\text{número de divisões do nônio}} \quad (1)$$

Exemplos para um paquímetro com unidade da escala fixa de 1 mm

- Nônio com 10 divisões: Resolução = 1 mm / 10 divisões = 0,1 mm
- Nônio com 20 divisões: Resolução = 1 mm / 20 divisões = 0,05 mm
- Nônio com 50 divisões: Resolução = 1 mm / 50 divisões = 0,02 mm

Neste semestre trabalharemos com paquímetros cujo nônio possui 20 divisões, implicando em resolução de 0,05 mm.

Para realizar uma medida com o paquímetro, deve-se:

1. Posicionar a peça a ser medida na região correta do paquímetro: coloque-a entre os bicos para medidas de dimensões externas, coloque as orelhas dentro da peça para medidas de dimensões internas, ou coloque a haste dentro da peça para medidas de profundidade. As Figuras 3 a 5 ilustram cada caso.
2. Após o posicionamento da peça, mova as partes móveis com o polegar atuando no impulsor até que a parte móvel (bico, orelha ou haste) encoste suavemente na peça.

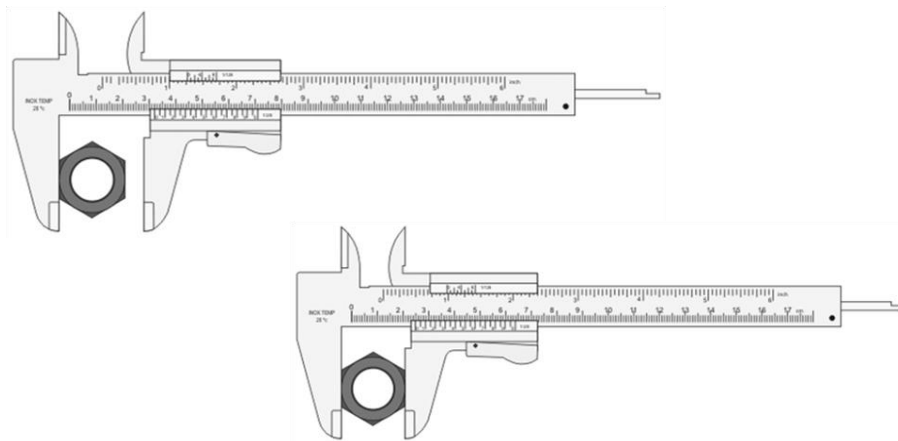


Figura 3. Posicionando um objeto para medida de seu diâmetro externo.

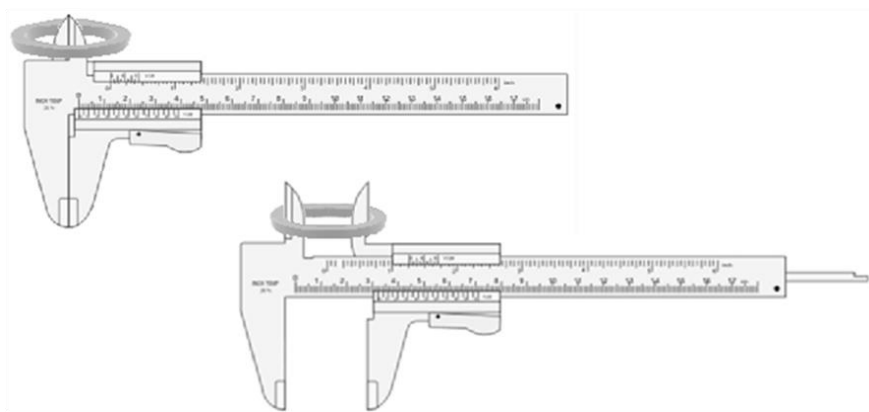


Figura 4. Posicionando um objeto para medida do seu diâmetro interno.

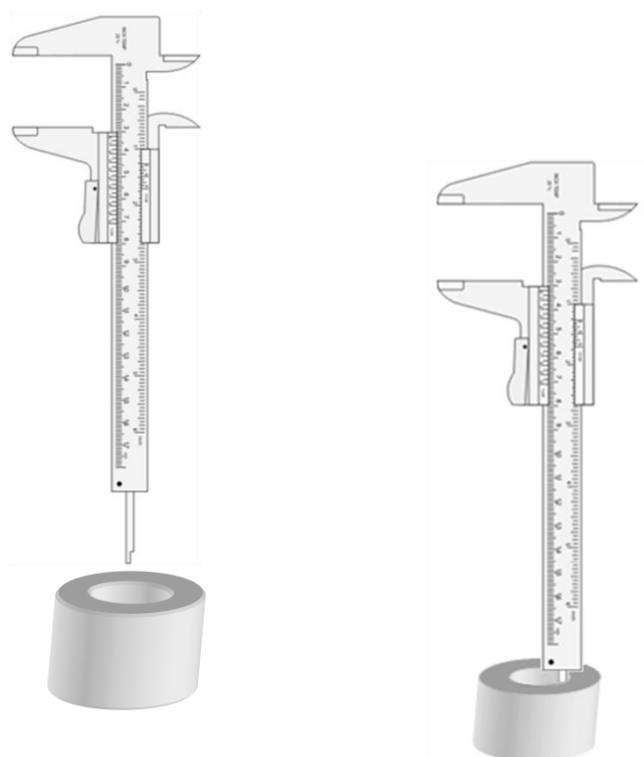


Figura 5. Posicionando um objeto para medida da sua profundidade.

3. Leia, na escala fixa, o número de centímetros inteiros (à esquerda do zero do nônio), como ilustra a Figura 6.

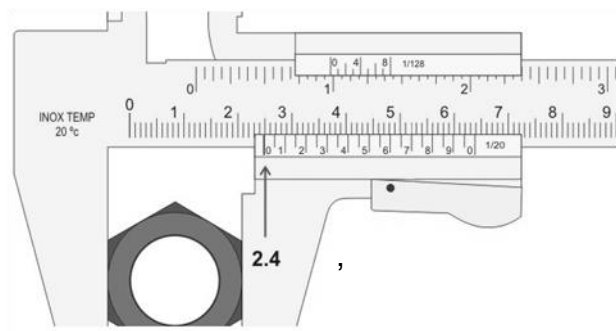


Figura 6. Leitura da escala fixa num exemplo de medida de diâmetro externo.

4. Leia a parte fracionária da medida observando qual traço do nônio coincide com algum traço da escala fixa. Este traço vai fornecer mais casas decimais na leitura. No nosso exemplo, o traço coincidente é o 7, que representa 0,70 mm, ou seja, 0,070 cm. A leitura final deste exemplo é apresentada na Figura 7.

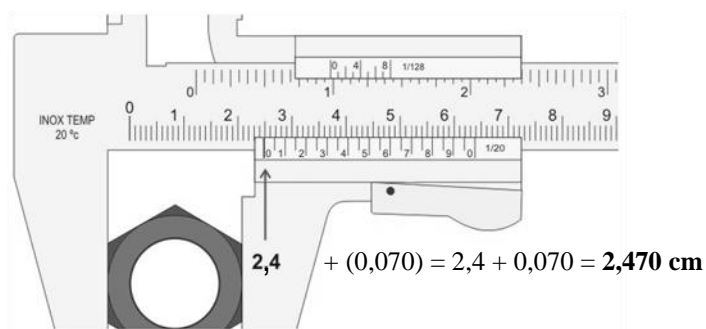


Figura 7. Leitura do nônio num exemplo de medida de diâmetro externo.

Observação: Neste exemplo, o nônio tem 20 divisões e a resolução é 1 mm/20 divisões, ou seja, 0,05 mm = 0,005 cm. Assim, os traços no nônio representam as medidas de 0,005 cm, 0,010 cm, 0,015 cm, ... e 0,095 cm.

Nota sobre as resoluções e as incertezas dos instrumentos a serem utilizados:

	Paquímetro	Fita Métrica/Régua
Resolução (mm)	0,05	1
Incerteza Instrumental (mm)	0,05	0,5

Comentários:

- i. Para o **Paquímetro**, como não é possível fazer estimativas adicionais, a incerteza instrumental é dada pela resolução. Observe que o algarismo duvidoso será zero ou cinco, não existindo a possibilidade de ser qualquer número entre zero e nove, como na régua.
- ii. Para a **Régua**, como é possível estimar o algarismo duvidoso, a incerteza instrumental é dada pela resolução dividida por dois.

2. Objetivos

Nesta experiência, o aluno aprenderá a manusear o paquímetro, utilizando-o para medidas que permitirão determinar o volume e a densidade de sólidos. Também entenderá o conceito de precisão instrumental ao compará-lo com a régua e aprenderá a realizar o correto tratamento dos dados para obtenção dos resultados experimentais e suas incertezas.

3. Materiais e Métodos

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- Paquímetro
- Régua
- Sólidos diversos
- Balança digital

Roteiro Experimental:

- i. Usando a balança digital encontre a massa do sólido;
- ii. Com o paquímetro, meça o diâmetro do sólido. Repita cada medida mais 4 vezes;
- iii. Utilizando a régua refaça as medidas do item ii;
- iv. Com o paquímetro novamente, meça a altura do sólido. Repita cada medida mais 4 vezes;
- v. Utilizando a régua refaça as medidas do item iv;
- vi. Lembre-se de anotar todas as incertezas instrumentais.

Durante a coleta dos dados, os alunos devem analisar se eles estão dentro do esperado, buscando identificar possíveis erros nas medidas. Dados coletados sem que haja o devido cuidado e atenção levam a resultados incorretos e de difícil discussão.

4. Tabela de Dados

Tabela 1. Dados coletados com o paquímetro e com a régua.

Tipo do sólido:	Diâmetro		Altura	
	Paquímetro (cm)	Régua (cm)	Paquímetro (cm)	Régua (cm)
Massa do sólido (g) (_____ ± _____)				
Medida 1				
Medida 2				
Medida 3				
Medida 4				
Medida 5				
Média				
Desvio Padrão da Medida				
σ_a				
σ_b				
σ_c				
$\sigma_{Relativa}$				
Resultado (cm)	(_____ ± _____)	(_____ ± _____)	(_____ ± _____)	(_____ ± _____)

5. Discussão

1. A partir dos dados, determine o valor médio dos diâmetros e das alturas, para cada um dos instrumentos utilizados;
2. Calcule o desvio, as incertezas Tipo A e Combinada, e apresente corretamente os resultados na Tabela de Dados usando a regra de apenas um algarismo significativo;
3. Determine as incertezas relativas¹ e discuta a precisão dos instrumentos utilizados;
4. Usando os valores médios de diâmetro e de altura, calcule o volume do sólido e sua respectiva incerteza, por propagação de incertezas². Use:
Volume = Área da base x Altura, ou seja: $v = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot A \text{ (cm}^3\text{)}$;
5. Determine a densidade do sólido e sua respectiva incerteza, também por propagação de incertezas. Use: $\rho = \frac{m}{v} \text{ (g/cm}^3\text{)}$;
6. Usando a densidade encontrada, calcule o erro relativo (%)³ comparando com a densidade teórica do sólido. Sabendo-se que erros de até 10% estão dentro do esperado, comente o resultado obtido.

¹ $\sigma_{relativa}(\%) = \frac{\sigma_c}{Média} \times 100\%$. Quanto menor a incerteza relativa, mais preciso é o instrumento.

$$^2 \sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_1} \sigma_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2} \sigma_{x_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_3} \sigma_{x_3}\right)^2 + \dots} = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial z}{\partial x_i} \sigma_{x_i}\right)^2}$$

$$^3 e = \left(\frac{x - x_v}{x_v}\right) \times 100\%$$