

Nota: 8,2

## Prática 1 do Laboratório de Física I

Rafael Zimmer, [rafael.zimmer@usp.br](mailto:rafael.zimmer@usp.br), nUSP: 12542612

Vitor Frois, [frois@usp.br](mailto:frois@usp.br), nUSP: 12543440

Thaís Lauriano, [thaislauriano@usp.br](mailto:thaislauriano@usp.br), nUSP: 12542518

11/04/2022

### Resumo

Neste experimento usamos as ferramentas do laboratório com precisão micrométrica, para realizar medidas diretas e indiretas, assim como aplicar o conhecimento adquirido sobre precisão de equipamentos e erros aleatórios.

*Palavras-chave:* precisão, equipamento, medidas, erro

## **Objetivos**

O objetivo da 1ª Prática foi familiarizar-nos com as ferramentas de medida do laboratório, com os procedimentos necessários para formalizar e basear medições, dentre eles realizar propagações de erros, estabelecer margens de precisão e diferenciar e verificar a relação entre medidas indiretas e diretas. O objetivo final da Prática foi determinar a densidade, dentro de uma faixa de erro, de um pequeno objeto sólido, buscando determinar sua constituição. O objetivo secundário foi calcular o diâmetro de um fio de cobre entortado, a fim de comprovar a necessidade de realizar várias medições para evitar erros aleatórios não provenientes das ferramentas de medição.

## **Materiais e Métodos**

### **Ferramentas**

Durante a primeira prática, fomos introduzidos às ferramentas que serão usadas no Laboratório de Física I: o paquímetro, o micrômetro, a balança e o béquer. O primeiro tem 150mm de comprimento e permite realizar medidas de espaços internos e externos, assim como de profundidades, com precisão de 0.05mm. Já o micrômetro é um aparelho com precisão maior que o paquímetro, feito apenas para medições externas. A balança usada é uma balança eletrônica com precisão de até duas casas decimais, medindo a massa do objeto em gramas. Por fim, o béquer é apenas um pote de vidro graduado, com precisão baixa, medindo em mililitros o volume de líquidos, sem nenhuma casa decimal de precisão.

## Objetos de Estudo

As ferramentas citadas acima, junto dos conhecimentos teóricos sobre as equações de propagação de erro, volume do cilindro e densidade, serão utilizadas para medir diretamente o volume e a massa de um pequeno sólido cilíndrico de aparência metálica com uma cavidade cilíndrica, assim como medir indiretamente seu volume. Em segunda instância, medimos o diâmetro de um pequeno fio de cobre sinuoso ao longo de vários pontos de sua extensão, com o intuito de calcular o desvio padrão de seu diâmetro e compará-lo ao erro do micrômetro, usado para tomar as medidas.

## Medidas necessárias

Para determinar quais medidas deveriam ser feitas e com quais ferramentas, partimos da fórmula da densidade, pois a partir da densidade podemos ter uma idéia do material que compõem o sólido:  $d = \frac{m}{V}$ . Para então calcularmos a densidade, primeiro medimos o volume total do sólido e sua massa.

Para medir o diâmetro do fio de cobre, bastava apenas posicionar o micrômetro de lados opostos da face lateral do fio, sem necessidade de medidas adicionais.

## Resultados

### Medição direta do volume e da massa

Para a medição direta do volume, foi usado o princípio de Arquimedes, que permite concluir que o volume de um sólido totalmente submerso equivale ao volume do líquido deslocado. Assim, medimos o volume de água no béquer, inserimos o peso, e medimos o volume

final. Fazendo a diferença entre ambos obtemos o volume deslocado, ou seja, o volume do sólido.

	Volume Inicial (mL)	Volume Final (mL)	Volume do Sólido (mL)
1ª medição	84	74	10
2ª medição	84	73	11
3ª medição	84	73	11
Média	-	-	10.67
Desvio Padrão	-	-	0.58
Erro	-	-	1

Tabela 1. Volume de água medido num bquer e volume do sólido pelo Princípio de Arquimedes.

Como a medição na balança é digital, não havia necessidade para mais de uma medição, pois o resultado seria o mesmo. Após a estabilização do valor no display, anotamos a massa:

$$m = 27.53 \pm 0.01\text{g}.$$

### Medição indireta do volume

Além de medir o volume do sólido pelo princípio de Arquimedes, fizemos a medição do volume indiretamente, usando a fórmula do volume de um cilindro, contudo, como o sólido continha uma cavidade, foi necessário subtrair o volume da cavidade do valor obtido pela fórmula.

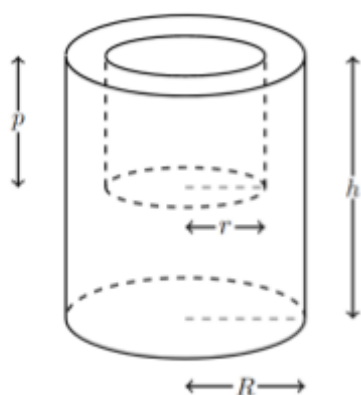


Fig. 1: Medições realizadas no sólido.

O volume do sólido pode então ser representado pela seguinte equação:  $V = \pi h R^2 - \pi p r^2$ .

Após chegar na equação acima, fizemos uma sequência de medições, usando o micrômetro para medir o raio maior R, e o paquímetro para realizar o

restante das medições, as quais não eram possíveis de ser feitas com o micrômetro:

	Raio maior - R (mm)	Altura - h (mm)	Raio menor - r (mm)	Profundidade - p (mm)
<b>1ª medição</b>	10.05	35.1	4.45	15.4
<b>2ª medição</b>	10.045	35.1	4.5	15.25
<b>3ª medição</b>	10.035	35.1	4.5	15.3
<b>Média</b>	10.043	35.1	4.48	15.32
<b>Desvio Padrão</b>	0.008	0	0.03	0.08
<b>Erro</b>	0.01	0.05	0.05	0.05

Tabela 2: resultado das medições do sólido.

Para cada conjunto de medições de determinada variável, atribuímos um valor final de acordo com a equação:  $média \pm \max(\text{desvio padrão}, \text{erro})$ , e a partir disso, calculamos o volume final do sólido de acordo com a fórmula apresentada anteriormente:

$$V = \pi h R^2 - \pi p r^2$$

$$V = \pi \cdot 35.1mm \cdot (10.043mm)^2 - \pi \cdot 15.32mm \cdot (4.48mm)^2$$

$$V = 10,156.05mm^3 = 10.16cm^3$$

Em seguida, calculamos a propagação do erro para o volume do sólido e o da cavidade, e o somamos ao volume da média:

$$\Delta z_v = \frac{\delta V}{\delta R} \Delta R + \frac{\delta V}{\delta h} \Delta h = 0.04cm^3$$

$$\Delta z_v = \frac{\delta V}{\delta r} \Delta r + \frac{\delta V}{\delta p} \Delta p = 0.02cm^3$$

$$V = 10.16cm^3 \pm 0.06cm^3$$



**Medição do diâmetro do fio de cobre**

A segunda instância das medições foi feita ao longo do diâmetro de um fio de cobre de pequena extensão (a medida exata da extensão não foi realizada, pois era irrelevante ao experimento), e foram feitas no total 10 medições em pontos diferentes, usando um micrômetro, com precisão de 1mm.

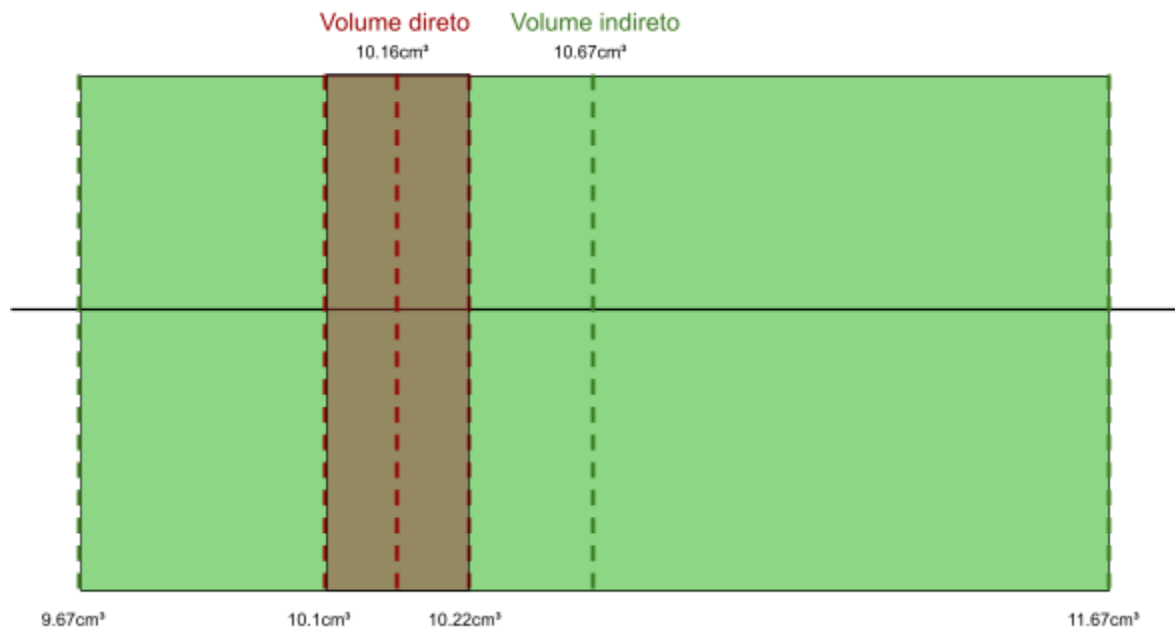
Número da medição	Diâmetro (mm)
1 <sup>a</sup>	2.15
2 <sup>a</sup>	2.25
3 <sup>a</sup>	2.17
4 <sup>a</sup>	2.17
5 <sup>a</sup>	2.28
6 <sup>a</sup>	2.15
7 <sup>a</sup>	2.16
8 <sup>a</sup>	2.17
9 <sup>a</sup>	2.27
10 <sup>a</sup>	2.19
<b>Média</b>	2.19
<b>Desvio Padrão</b>	0.05
<b>Erro</b>	0.01

Tabela 2. Resultados das medições do fio de cobre.

## Conclusão

### Comparação da medição direta e indireta

Após a medição do volume do sólido por ambos os métodos, diretamente pelo princípio de Arquimedes e indiretamente pelo cálculo diferença dos volumes cilíndricos, conclui-se que as medições apresentam uma interseção entre a margem de erro obtida, e portanto o volume do sólido está dentro do intervalo esperado.



Tendo um valor adequado para usar como volume do sólido, simplesmente dividimos a massa obtida durante as medições pelo volume (foi escolhido o volume direto pois o erro esperado é menor que o do volume indireto):

$$\text{Densidade} = \frac{27.53g}{10.16cm^3} \approx 2.71g/cm^3$$

$$\Delta z = \frac{27.53 \cdot 0.06 + 10.16 \cdot 0.01}{10.16^2} \approx 0.02g/cm^3$$

$$d = 2.71g/cm^3 \pm 0.02g/cm^3$$

**Composição do sólido**

Tendo verificado que os valores obtidos para o volume são aceitáveis e calculado um valor para a densidade, devemos discutir agora qual a composição do sólido observado. Para tal faremos uso da seguinte tabela de densidades de metais, tendo em mente que o sólido tinha aparência, sonoridade e textura metálica:



### TABELA DE DENSIDADE DE METAIS

(extraído de Chemistry, Molecules, Matter and Change, Atkins e Jones, 3a. ed., p.A18)

METAL	DENSIDADE ( $\text{g.cm}^{-3}$ )
Alumínio	2,70
Bário	3,59
Berílio	1,85
Bismuto	8,90
Cádmio	8,65
Cálcio	1,53
Césio	1,87
Crômio	7,19
Cobalto	8,80
Cobre	8,93
Gálio	5,91
Ouro	19,28
Ferro	7,87
Chumbo	11,34
Lítio	0,53
Magnésio	1,74
Manganês	7,47
Níquel	8,91
Estanho	7,29
Platina	21,45
Paládio	12,00
Mercúrio	13,55
Prata	10,50
Titânio	4,55
Tungstênio	19,30
Urânio	18,95
Zinco	7,14

Lembrando que o valor da densidade obtida é de 2.71g/mL, com 0.02g/mL de margem de erro, o metal com densidade mais semelhante ao sólido estudado, de acordo com a tabela acima é o alumínio. Portanto, supõe-se que o mesmo é composto principalmente por alumínio.

**Diâmetro do fio de cobre**

A média obtida para o diâmetro do fio de cobre foi de 2.19mm, e a margem de erro do equipamento usado, o micrômetro, é de 0.01. Contudo, é importante notar que o fio de cobre era sinuoso, ou seja, seu diâmetro não era uniforme ao longo de seu comprimento. Para tanto, calculamos o desvio padrão das medições, obtendo o valor de 0.05mm. O erro esperado das medições deve então ser atribuído à heterogeneidade do fio, assim como à estocacidade da medição, e não à precisão do equipamento. Concluímos então que o diâmetro do fio é de 2.19mm, com margem de erro de 0.05mm.

**Referências**

Schneider, Jose (2017). Laboratório de Física I: livro de práticas. *São Carlos, Instituto de Física de São Carlos*.

Atkins & Jones (1999). Chemistry, Molecules, Matter and Change, 3a. ed., p.A18