Universidade de Brasília - UnB Gama

Relatorio de Fisica 1 Experimental

Medidas e Erros

Por

Felipe Amorim de Araújo - Matrícula: 221022275
João Vitor Santos de Oliveira - Matrícula: 221022337
Gustavo Emannoel Pereira Sousa - Matrícula: 221031176
Fernando Gabriel Dos Santos Carrijo - Matrícula: 221008033

Brasília-DF, 29 de novembro de 2022

Sumário

1 Objetivos

O experimento teve como finalidade, tirar as medidas de uma peça metálica retangular com um furo, utilizando uma série de ferramentas de medição cedidas, e determinar, com os dados coletados durante o experimento, o volume, a densidade e o material de composição da peça.
Para isso foram usados conceitos teóricos sobre grandezas físicas, medidas e as incertezas e erros envolvidos. Além das formas de manipulação envolvendo propagação de erros e conceitos de imprecisão, discrepância e inacurácia.

2 Introdução Teórica

Neste experimento, estudaremos por meio da medição das propriedades de uma peça metálica as relações entre as medidas, os resultados e os erros obtidos por diferentes instrumentos, utilizando para isso os conceitos sobre medições de grandezas, incertezas e os diferentes tipos de erros que podem estar envolvidos no processo.

2.1 Definições sobre medidas e incertezas

Grandezas físicas são valores obtidos e atribuídos por meio de experimentos de diferentes complexidades de medições de um objeto ou evento, a realização de medições depende de padrões de comparação fundamentais definidos como Unidades Físicas, são por exemplo: metro, quilograma, segundo, e etc.
Uma grandeza pode ser medida diretamente, utilizando um instrumento de comparação calibrado com valores padrões, o erro em uma medida direta é determinado pela precisão do instrumento ou por algum erro humano. Uma medida indireta é feita usando cálculos entre medidas diretas e os seus erros.
Nenhum tipo de medição é 100% precisa, na realização de qualquer medição é preciso atribuir à mesma um certo grau de incerteza determinado por fatores como a precisão dos procedimentos e dos instrumentos utilizados. A cada nova medição existe a possibilidade de variação dos resultados em relação a medições anteriores. Essas incertezas e variações precisam ser levadas em conta para a obtenção de resultados coerentes em qualquer experimento.

2.2 Algarismos significativos

A utilização de algarismos significativos é uma forma de representar numericamente a precisão do resultado de alguma medida. Para isso é apresentada a medida com todos os algarismos sem dúvidas de leitura, mais um algarismo duvidoso. Por exemplo: numa medição em que se obteve o valor de 15,45 cm, os três primeiros dígitos representam algarismos sem dúvida de leitura e o último é um algarismo duvidoso.
Em qualquer medição de grandeza, quanto maior a precisão da medida, maior será o número de algarismos significativos do resultado.

Operações matemáticas com algarismos significativos devem respeitar certas propriedades que não acrescentem ao resultado algarismos significativos inexistentes, a quantidade de algarismos significativos depende dos dados e das operações realizadas durante uma manipulação. Essas propriedades são descritas a seguir:

2.2.1 Adição e subtração

Na adição e subtração, as grandezas devem ser arredondadas para a casa decimal do número com menos precisão:

$$458 \text{ cm} + 12{,}5 \text{ cm} + 0{,}89 \text{ cm} = 458 \text{ cm} + 12 \text{ cm} + 1 \text{ cm} = 471 \text{ cm}$$

$$12{,}53 \text{ cm} - 2{,}5 \text{ cm} - 0{,}035 \text{ cm} = 12{,}5 \text{ cm} - 2{,}5 \text{ cm} - 0{,}0 \text{ cm} = 10{,}0 \text{ cm}$$

2.2.2 Multiplicação e divisão

Na multiplicação e divisão, o resultado final deve ter o mesmo número de algarismos significativos da grandeza com menos algarismos significativos:

$$12{,}587 \text{ cm} \times 54{,}2 \text{ cm} = 682 \text{ cm}^2$$

$$254{,}74 \text{ m} / 12{,}2 \text{ s} = 20{,}9 \text{ m/s}$$

2.3 Tipos de erros

Os erros são uma forma de determinar e classificar os inúmeros fatores que influenciam na incerteza de uma medição. Existem diversos diferentes tipos de erros, eles são classificados em duas categorias: erros de acurácia (erros humanos, erros grosseiros e erros sistemáticos) e erros de precisão (erros instrumentais e erros aleatórios). No contexto teórico do atual experimento, temos maior interesse nos erros de precisão e a forma que são calculados.

O erro instrumental indica o grau de precisão de um dado instrumento, determinado pelo seu limite de resolução, cada instrumento é calibrado a partir de padrões definidos de acordo com a finalidade de medição do mesmo, dependendo da grandeza medida nem sempre as medições irão condizer com as subdivisões definidas, nesse caso, usamos o erro instrumental para estimar a medida da fração fora da calibração do instrumento.

O erro aleatório leva em conta a possibilidade de variação dos resultados de uma medida a cada nova leitura, essas variações podem ocorrer devido a fatores como vibrações, variações de temperatura, condições do sistema, imperfeições de manufatura, dentre outros fatores que geralmente não podem ser controlados. Este tipo de erro por conta de suas condições deve ser estimado estatisticamente.

O erro absoluto de uma medição é a soma entre o erro instrumental e o erro aleatório cálculados, durante o cálculo dos demais resultados, usaremos esse valor para mudarmos os erros resultantes.

2.4 Cálculo de erros

O erro instrumental é calculado dependendo do tipo de ferramenta que estamos utilizando, no caso de um instrumento analógico o erro é calculado pela metade da precisão do instrumento, ou seja pela metade da menor divisão da escala do mesmo. Por exemplo: uma fita métrica milimetrada possui uma precisão de 1 milímetro (mm), portanto seu erro instrumental é 1/2 disso, ou 0,5mm.
No caso de um instrumento digital, o erro pode ser obtido através das informações técnicas do instrumento, ou em outro caso pela menor variação de leitura do instrumento, ou seja, o erro instrumental seria igual a precisão do instrumento.

O erro aleatório de uma série de medidas por conta de sua natureza é calculado de forma estatística, seu cálculo é a partir do desvio padrão de média. Para obter esse valor, precisamos primeiro obter a média aritmética ($\overline{x}$) das medidas feitas, dada pela expressão:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_N}{N} = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{N} \tag{1}$$

Onde N é o número de medidas feitas e x_1, x_2, x_3, …, x_N são os valores obtidos durante as medições.
O desvio padrão de média (σ_m) pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{(x_1 - \overline{x})^2 + (x_2 - \overline{x})^2 + (x_3 - \overline{x})^2 + ... + (x_N - \overline{x})^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(x_i - \overline{x})^2}{N(N-1)}} \tag{2}$$

Por fim, o erro aleatório (Δ_x) é calculado a partir da expressão:

$$\Delta_x = k \cdot \sigma_m \tag{3}$$

Onde k pode assumir diferentes valores dependendo da confiabilidade desejada. Por razões de simplicidade assumiremos que k = 1, portanto o erro aleatório é igual ao desvio padrão da média.

$$\Delta_x = \sigma_m \tag{4}$$

2.5 Propagação de erros

Para sermos capazes de realizar operações matemáticas com medidas e os seus respectivos erros, precisamos seguir certas propriedades de manipulação matemática da propagação de erros entre os mesmos.

2.5.1 Adição e subtração

Ao calcularmos a soma ou diferença de duas grandezas, precisamos somar ou subtrair suas médias $\overline{X}$ e somar seus erros ΔX:

$$A = \overline{A} \pm \Delta A$$
$$B = \overline{B} \pm \Delta B$$

$$C = A + B$$
$$C = (\overline{A} + \overline{B}) \pm (\Delta A + \Delta B) \tag{5}$$

$$D = A - B$$
$$D = (\overline{A} - \overline{B}) \pm (\Delta A + \Delta B) \tag{6}$$

2.5.2 Multiplicação e divisão

Uma grandeza resultante da multiplicação entre duas outras grandezas e seus erros deve ser calculada multiplicando suas médias e somando a multiplicação entre as médias e os erros:

$$A = \overline{A} \pm \Delta A$$
$$B = \overline{B} \pm \Delta B$$

$$C = A \cdot B$$
$$\overline{C} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$
$$\Delta C = \overline{A}\Delta B + \overline{B}\Delta A$$
$$C = (\overline{A} \cdot \overline{B}) \pm (\overline{A}\Delta B + \overline{B}\Delta A) \tag{7}$$

Uma grandeza resultante da divisão entre duas outras grandezas deve ser calculada dividindo suas médias, e usando uma expressão para calcular o erro resultante:

$$A = \overline{A} \pm \Delta A$$
$$B = \overline{B} \pm \Delta B$$

$$D = \frac{A}{B}$$
$$\overline{D} = \overline{A} \div \overline{B}$$
$$\Delta D = \frac{\overline{A}\Delta B + \overline{B}\Delta A}{\overline{B}^2}$$
$$D = (\overline{A} \div \overline{B}) \pm (\frac{\overline{A}\Delta B + \overline{B}\Delta A}{\overline{B}^2}) \quad (8)$$

Uma fórmula mais fácil de memorizar sobre o cálculo do erro resultante durante as operações de multiplicação e divisão entre grandezas dá se por:

$$\Delta C = \frac{\Delta A}{\overline{A}} + \frac{\Delta B}{\overline{B}} \quad (9)$$

2.6 Comparação entre resultados experimentais

Durante a obtenção de dados experimentais, a comparação e avaliação dos dados é uma importante forma de análise e caracterização dos mesmos. Existem certas formas e operações que nos podem dizer muitas informações sobre os resultados obtidos e suas relações. A seguir falaremos sobre elas:

2.6.1 Imprecisão

O cálculo do erro relativo percentual é uma forma de comparar em porcentagem uma medição com seu erro absoluto, sua expressão é:

$$E = \frac{\Delta X}{\overline{X}} \times 100\% \quad (10)$$

2.6.2 Discrepância

A discrepância é calculada a partir da diferença entre as duas melhores estimativas de uma grandeza e seus erros. O cálculo da discrepância é útil para analisar a precisão das medições e dos experimentos realizados, uma alta discrepância gera dúvida dos resultados corretos e abre possibilidade para a realização de mais experimentos para a obtenção de mais dados.

2.6.3 Inacurácia

Quando existe discrepância entre os dados obtidos de uma medida e os valores aceitos para a mesma grandeza, dizemos que a medida é inacurada, isso pode tanto significar que o experimento apresentou alguma falha, quanto mostrar a necessidade de reavaliar o resultado aceito.

3 Parte Experimental e Discussão

3.1 Material utilizado no experimento

- Um paquímetro com precisão de 1mm e erro instrumental de $\pm$ 0,5mm;
- Uma placa retangular de aço com um furo no centro (sendo o objeto base para o experimento);
- Um micrômetro, usado para medir a espessura, com precisão de 0,01mm e erro instrumental de $\pm$ 0,005mm;
- Uma balança digital, usada para medir a massa, com precisão de 0,5g e erro instrumental de $\pm$ 0,5g;
- Uma proveta graduada, usada para medir o volume.

3.2 Medidas diretas com um paquímetro

Figura 1: Ferramenta paquímetro

A medição da peça é o primeiro passo a ser feito utilizando o paquímetro, com ele determinaremos as dimensões para a futura determinação do volume. Para se fazer a medição com precisão foram medidas cada dimensão 5 vezes, pois o material tem inconsistências.

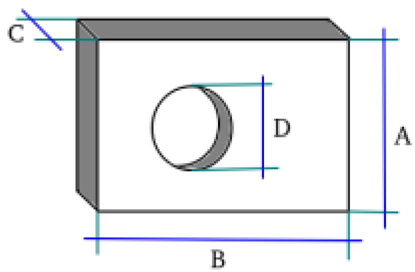

Figura 2: Representação da peça metálica e sua altura A, base B, espessura C e diâmetro do furo D.

altura A (mm)	base B (mm)	espessura C (mm)	diâmetro D (mm)
36,45	41,70	12,55	17,70
36,50	41,70	12,65	17,55
36,40	41,70	12,65	17,60
36,30	41,65	12,70	17,30
36,25	41,70	12,55	17,40

Tabela 1: Medidas com o paquímetro (mm).

Após medir as dimensões é necessário calcular o valor médio das medidas. Utilizando a fórmula do valor médio:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{N} \tag{1}$$

	altura A (mm)	base B (mm)	espessura C (mm)	diâmetro D (mm)
valor médio:	36,38	41,69	12,62	17,51

Tabela 2: Média das medições (mm).

A seguir medimos o erro aleatório, ele é a parcela imprevisível do erro e se origina de variações temporais ou espaciais. Quanto maior a variação na medida de uma grandeza, maior o erro aleatório:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{(x_1 - \overline{x})^2 + (x_2 - \overline{x})^2 + (x_3 - \overline{x})^2 + \dots + (x_N - \overline{x})^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(x_i - \overline{x})^2}{N(N-1)}} \tag{2}$$

	altura A (mm)	base B (mm)	espessura C (mm)	diâmetro D (mm)
erro aleatório:	0,04	0,01	0,03	0,07

Tabela 3: Resultados do erro aleatório.

Em seguida, calculamos o erro absoluto. O erro absoluto é a soma do erro instrumental e do erro aleatório. Erros instrumentais são intrínsecos à imprecisão dos instrumentos de medida e ao método de medição. Esses erros ocorrem de maneira previsível e conhecida, em contraposição aos chamados erros aleatórios. O paquímetro que utilizamos tem uma margem de erro de 0,02 mm.

	altura A (mm)	base B (mm)	espessura C (mm)	diâmetro D (mm)
erro absoluto:	0,06	0,03	0,05	0,09

Tabela 4: Resultados do erro absoluto (mm).

Agora iremos anotar os resultados das medições, para isso devemos pegar o valor médio e subtrair e somar pelo valor do erro absoluto.

$$X = \overline{X} \pm \Delta X$$

Resultados finais das dimensões (mm):

A = (36,38 ± 0,06) mm;
B = (41,69 ± 0,03) mm;
C = (12,62 ± 0,05) mm;
D = (17,51 ± 0,09) mm;

3.3 Cálculo da espessura com o micrômetro

Figura 3: Ferramenta micrômetro

Utilizamos o micrômetro para fazer a medida da espessura C da peça metálica, para verificar a comparar e precisão do micrômetro com o paquímetro.
Essa etapa foi realizada com a contribuição dos 4 membros do grupo para evitar erros de paralaxe.
A espessura foi medida em 5 locais diferentes e as medições foram anotadas na tabela 5 abaixo:

Espessura (mm)
12,420
12,480
12,490
12,490
12,420

Tabela 5: Medidas da espessura feitas pelo micrômetro

A partir dessas medidas, calculamos o valor médio da espessura $\overline{C}$ medida pelo micrômetro:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_N}{N} = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{N} \quad (1)$$

então:

$$\overline{C} = 12,460\ mm$$

O erro instrumental do micrômetro é de 0,005 mm, então calculamos também o erro aleatório e erro absoluto ΔC das medidas obtidas:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \ldots + (x_N - \bar{x})^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \qquad (2)$$

$$\sigma_m = 0,016\ mm$$

portanto:

$$\Delta C = (0,016 + 0,005)\ mm$$
$$\Delta C = 0,021\ mm$$

e

$$C = (12,460 \pm 0,021)\ mm$$

Os valores calculados estão na tabela 6 abaixo:

Valor médio:	12,460 mm
Erro aleatório:	0,016 mm
Erro instrumental:	0,005 mm
Erro absoluto:	0,021 mm

Tabela 6: Valores da média e dos erros relacionados as medições da espessura pelo micrômetro.

Calculamos também, os erros relativos das medidas feitas pelo micrômetro e pelo paquímetro para compararmos a precisão entre os instrumentos:

$$E = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \qquad (10)$$

Erro relativo do micrômetro:

$$E = \frac{0,021\ mm}{12,460\ mm} \times 100\%$$
$E = 0,168\%$ (micrômetro)

Erro relativo do paquímetro:

$$E = \frac{0,05\ mm}{12,62\ mm} \times 100\%$$
$E = 0,40\%$ (paquímetro)

3.4 Cálculo do volume da peça

O volume da peça metálica foi calculado a partir dos dados obtidos pela medição da peça com o paquímetro. Para isso, usamos os métodos da propagação de erros para manipular os erros relacionados a cada dimensão medida.

Primeiramente, calculamos o volume do retângulo da peça sem considerar o furo cilíndrico. O cálculo do volume de uma peça retangular é dado pela multiplicação da base, altura e espessura da peça:

$$V_{ret} = A \cdot B \cdot C \qquad (11)$$

Portanto fazendo o cálculo de propagação de erros:

$$\overline{V_{ret}} = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \qquad (12)$$

$$\overline{V_{ret}} = 19.480,53\ mm$$

e

$$\Delta V_{ret} = \Delta A\overline{BC} + \Delta B\overline{AC} + \Delta C\overline{AB} \qquad (13)$$

$$\Delta V_{ret} = 121,17\ mm$$

Por fim:

$$V_{ret} = (19.480,53 \pm 121,17)\ mm$$

Em seguida, calculamos o volume do furo cilíndrico da peça, utilizando seu diâmetro e a espessura da peça:

$$V_{furo} = \frac{\pi}{4}D^2 \cdot C \qquad (14)$$

Fazendo a propagação de erros:

$$\overline{V_{furo}} = \frac{\pi}{4}\overline{D}^2 \cdot \overline{C} \qquad (15)$$

$$\overline{V_{furo}} = 3038,93\ mm$$

e

$$\Delta V_{furo} = 2\overline{D} \cdot \overline{C} \cdot \Delta D + \overline{D}^2 \cdot \Delta C \qquad (16)$$

$$\Delta V_{furo} = 46,57\ mm$$

Portanto:

$$V_{furo} = (3038,93 \pm 46,57)\, mm$$

Para finalmente conseguirmos o volume da peça, precisamos subtrair do volume retangular encontrado o volume do furo da peça:

$$V = V_{ret} - V_{furo} \tag{17}$$

$$V = ((19140,53 - 3038,93) \pm (121,17 + 46,57))\, mm$$

Portanto o volume da peça metálica usada no experimento é:

$$V = (16101,60 \pm 167,74)\, mm$$

Calculamos o erro relativo percentual do volume para avaliar a precisão da medida obtida pelos dados medidos com o paquímetro:

$$E = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \tag{10}$$

$$E = \frac{167,74\, mm}{16101,60\, mm} \times 100\%$$

Por fim:

$$E = 1,04\%$$

3.5 Medidas do volume por deslocamento de líquido

Por meio do uso de uma proveta podemos determinar o volume aproximado de uma peça observando o deslocamento do líquido na proveta. A proveta é um instrumento laboratorial de formato cilíndrico que serve para medição de líquidos para os mais variados fins.

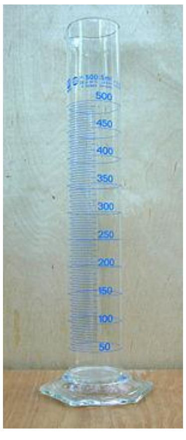

Figura 4: Proveta

Com a proveta, a medida do volume da peça metálica foi de 10 ml.
Como vimos anteriormente, os instrumentos tem uma margem de erro, conhecida como erro instrumental. O erro instrumental da proveta é 5ml.
Para calcularmos o volume do líquido devemos pegar o resultado da medição e somar e subtrair com o erro instrumental:

$$V_{líq} = (10 \pm 5)\, ml$$

Agora iremos calcular o erro relativo, ele é a relação entre o erro absoluto e o valor verdadeiro:

$$E = \frac{\Delta X}{\overline{X}} \times 100\% \quad (10)$$

$$E = \frac{5\, ml}{10\, ml} \times 100\%$$

Por fim:

$$E = 50\%$$

3.6 Cálculo da densidade

Para fazer o cálculo da densidade, a massa da peça metálica foi medida em uma balança digital de precisão de 0,5g, a massa medida da peça foi de 122g:

$$m = (122,0 \pm 0,5)\, g$$

Para realizar o cálculo da densidade precisamos dividir a massa da peça pelo seu volume, usaremos o volume encontrado com as medidas feitas pelo paquímetro:

$$p = \frac{m}{V} \quad (18)$$

Fazendo o cálculo de propagação de erros temos que:

$$\overline{p} = \frac{\overline{m}}{\overline{V}} \quad (19)$$

$$\overline{p} = \frac{122\, g}{16,10160\, cm^3}$$

$$\overline{p} = 7,58\, g/cm^3$$

$$\Delta p \ = \ \frac{\overline{m}\Delta V + \overline{V}\Delta m}{\overline{V}^2} \tag{20}$$

$$\Delta p \ = \ 0,11 \ g/cm^3$$

Portanto a densidade p será:

$$p \ = \ (7,58 \ \pm \ 0,11) \ g/cm^3$$

4 Conclusão

Após todas as medições feitas com os instrumentos e de todos os cálculos do volume e densidade terem sido realizados, foi definido os seguintes valores:

$$V \ = \ (16101,60 \ \pm \ 167,74) \ mm$$
$$p \ = \ (7,58 \ \pm \ 0,11) \ g/cm^3$$

A medida do volume foi calculada usando os dados obtidos pelo paquímetro das diferentes dimensões da peça, o calculo da densidade teve como base esse volume calculado e a massa medida na balança.

Foram retiradas 5 medidas da espessura da peça de aço em diferentes pontos, utilizando paquímetro e micrômetro. O paquímetro cedido pelo docente durante as aulas possui erro instrumental de 0,02 mm. Já o micrômetro possui erro instrumental de 0,005 mm.

No decorrer da determinação de uma grandeza, quanto mais precisa a medida do instrumento, maior será o número de algarismos significativos no resultado final da medida:

Espessura do paquímetro (mm)	12,55	12,65	12,65	12,70	12,55
Espessura do micrômetro (mm)	12,420	12,480	12,490	12,490	12,420

Tabela 7: Medidas obtidas pelo paquímetro e pelo micrômetro

A comparação dos erros relativos obtidos pelas medições dos instrumentos é uma forma de analisar e comparar a precisão das ferramentas utilizadas:

$$E = \frac{\Delta X}{\overline{X}} \times \ 100\% \tag{10}$$

$$E \ = \ \frac{0,021 \ mm}{12,460 \ mm} \times \ 100\%$$
$$E \ = \ 0,168\% \text{ (micrômetro)}$$

$$E \ = \ \frac{0,05 \ mm}{12,62 \ mm} \times \ 100\%$$
$$E \ = \ 0,40\% \text{ (paquímetro)}$$

Por conta da precisão de 0,01 mm do micrômetro, seu erro relativo é baixo. Sendo mais preciso que o paquímetro.

O paquímetro foi usado para medir todas as dimensões da peça, os resultados dessas medições foram usados para calcular o volume final da peça.
A proveta de 1000 ml outro instrumento utilizado para o cálculo do volume. Onde foi colocado um líquido base de 700 ml, e mediu-se a diferença de altura do líquido após a peça ser inserida.
Comparando os erros relativos entre das duas medidas, podemos comparar suas precisões:

$$E = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \tag{10}$$

$$E = \frac{5\,ml}{10\,ml} \times 100\%$$
$$E = 50\% \text{ (proveta)}$$

$$E = \frac{167{,}74\,mm}{16101{,}60\,mm} \times 100\%$$
$$E = 1,04\%$$

A partir dos valores calculados, podemos ver que o erro relativo do paquímetro é muito menor que o da proveta, o que demostra a maior precisão do instrumento e das medições feitas pelo mesmo.

Depois de uma pesquisa na internet, foi encontrado uma tabela com inúmeras densidades em g/cm³. Apenas dois valores da tabela bateram com o intervalo densidade calculada pelo grupo, sendo o manganês (7,47 g/cm³) e o ferro fundido BC (7,50 g/cm³).

Materiais	**Densidade (g/cm³)**
óxido de cádmio	6,95
cromo	7,10
crômio	7,19
ferro fundido CZ	7,25
estanho	7,29
manganês	**7,47**
ferro fundido BC	**7,50**
ferro	7,87

Tabela 8: Densidade de certos materiais encontrados na tabela.

Analisando os dois metais, o ferro fundido BC é o mais provável, pois a densidade do manganês está considerando o metal puro, e na maioria das vezes ele é utilizado como liga metálica com outros metais (ferro, cobre, zinco, alumínio, estanho e chumbo). Logo, o metal não está 100% puro.

Por fim, comparamos a densidade da nossa peça com a de outros grupos, ao analisarmos os resultados, em geral, não houve grandes discrepâncias entre os resultados encontrados por outros grupos e o nosso. Em um dos grupos, o resultado da densidade ρ_2 foi medido em (7,70 ± 0,08) g/cm³. Com o auxílio da densidade desse grupo, foi possível compará-la com a densidade encontrada por nosso grupo ρ_1, assim podemos descobrir se os valores são discrepantes de forma significante ou não:

$$\left|\overline{\rho_1} - \overline{\rho_2}\right| \tag{21}$$

$$(\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2) \tag{22}$$

$$\left|\overline{\rho_1} - \overline{\rho_2}\right| = |7,58 - 7,70| = 0,12$$

$$(\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2) = (0,11 + 0,08) = 0,19$$

A partir do resultado encontrado, podemos compreender que não houve valores discrepantes, pois o valor encontrado na comparação da densidade média é menor que a soma dos erros, ou seja:

$$\left|\overline{\rho_1} - \overline{\rho_2}\right| < (\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2)$$
$$0,12 < 0,19$$

Referências

[1]
https://aprender3.unb.br/pluginfile.php/2357786/mod_resource/content/2/Experimento_I_Medidas_e_Erros_Wytler.pdf

[2]
https://aprender3.unb.br/pluginfile.php/2357780/mod_resource/content/4/Medidas_e_Erros_Wytler.pdf

[3] https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/entenda-tudo-sobre-paquimetro

[4] https://www.mecanicaindustrial.com.br/usando-um-micrometro/

[5] https://www.explicatorium.com/cfq-7/laboratorio-proveta.html

[6] http://www.euroaktion.com.br/Tabela%20de%20Densidade%20dos%20Materiais.pdf

[7]
http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/manganes/#:~:text=O%20min%C3%A9rio%20de%20mangan%C3%AAs%20%C3%A9,%2C%20alum%C3%ADnio%2C%20estanho%20e%20chumbo.