Introdução à Física Experimental

Licenciatura em Física

1º período

Aula 5: Comparação de incertezas instrumentais e incerteza no cálculo do volume de objetos

Profa Marcia Saito

marcia.saito@ifpr.edu.br

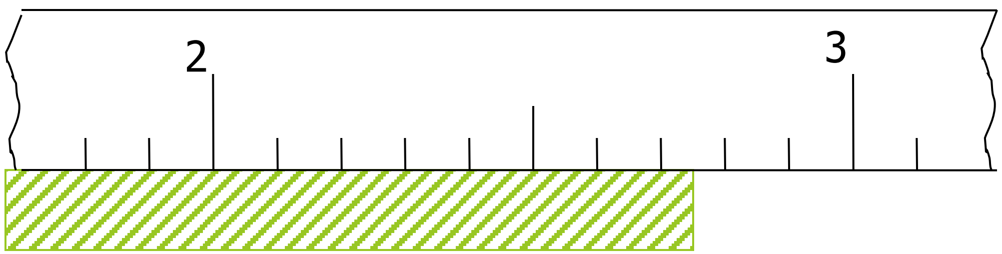
Medidas Físicas

- Medida $\neq$ valor verdadeiro da grandeza
- Até agora falamos de incerteza de cálculos
- Instrumento de medida -> precisão
- Qual a diferença das seguintes medidas?

1,0 cm
1,00 cm
1,000 cm
1,0000 cm

Representação numérica

- Se toda medida tem uma incerteza, como representá-la?
  - (Valor ± incerteza)



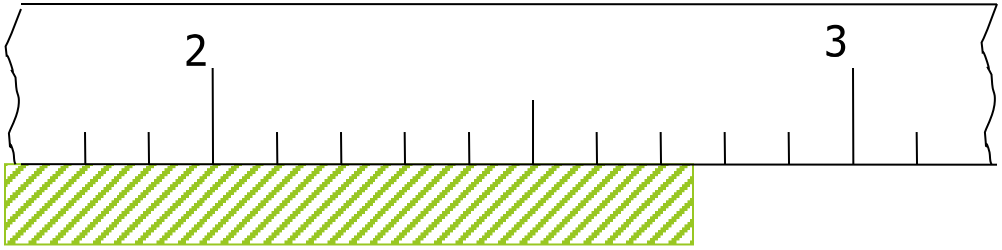
(2,7) cm

tenho “certeza”

estou em “dúvida”

Representação numérica

- Se toda medida tem uma incerteza, como representá-la?
  - (Valor ± incerteza)



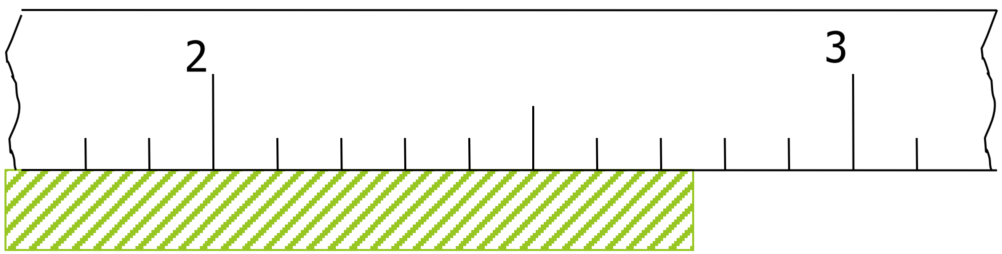
(2,74 ± ?) cm

tenho "certeza"

estou em "dúvida"

Representação numérica

- Como **avaliar** a incerteza?
  - Devo considerar a dificuldade de leitura e
  - a imprecisão do equipamento.



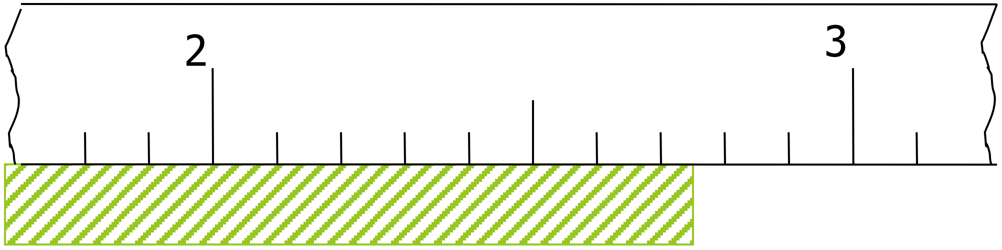
(2,74 ± ?) cm

tenho “certeza”

estou em “dúvida”

Representação numérica

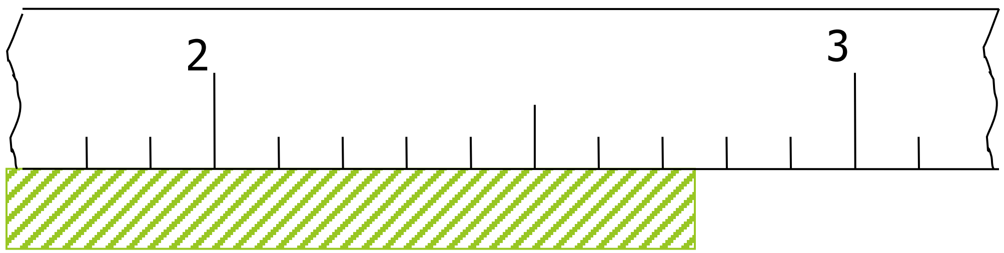
- Como **avaliar** a incerteza?
  - Devo considerar a dificuldade de leitura e
  - a imprecisão do equipamento.



$(2{,}74 \pm 0{,}05)$ cm

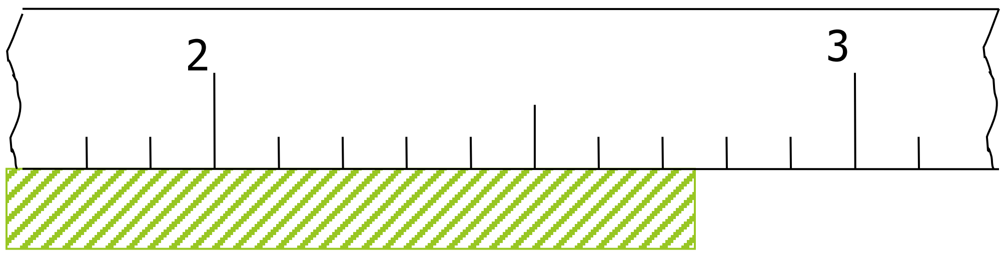
metade da menor divisão (1 mm ÷ 2 = 0,5 mm = 0,05 cm)

Algarismos significativos



- (2,74 ± 0,05) cm
- Algarismos significativos são aqueles que têm significado
- Dizemos que os algarismos 2, 7 e 4 são os algarismos significativos do valor da medida, sendo 4 o algarismo duvidoso;
- E 5 é o único algarismo significativo da incerteza.

Algarismos significativos



- Zeros à esquerda não são significativos, enquanto à direita podem ser

  Ex: 0,000043 tem apenas 2 algarismos significativos

  Ex: 2,3500 tem 5 algarismos significativos

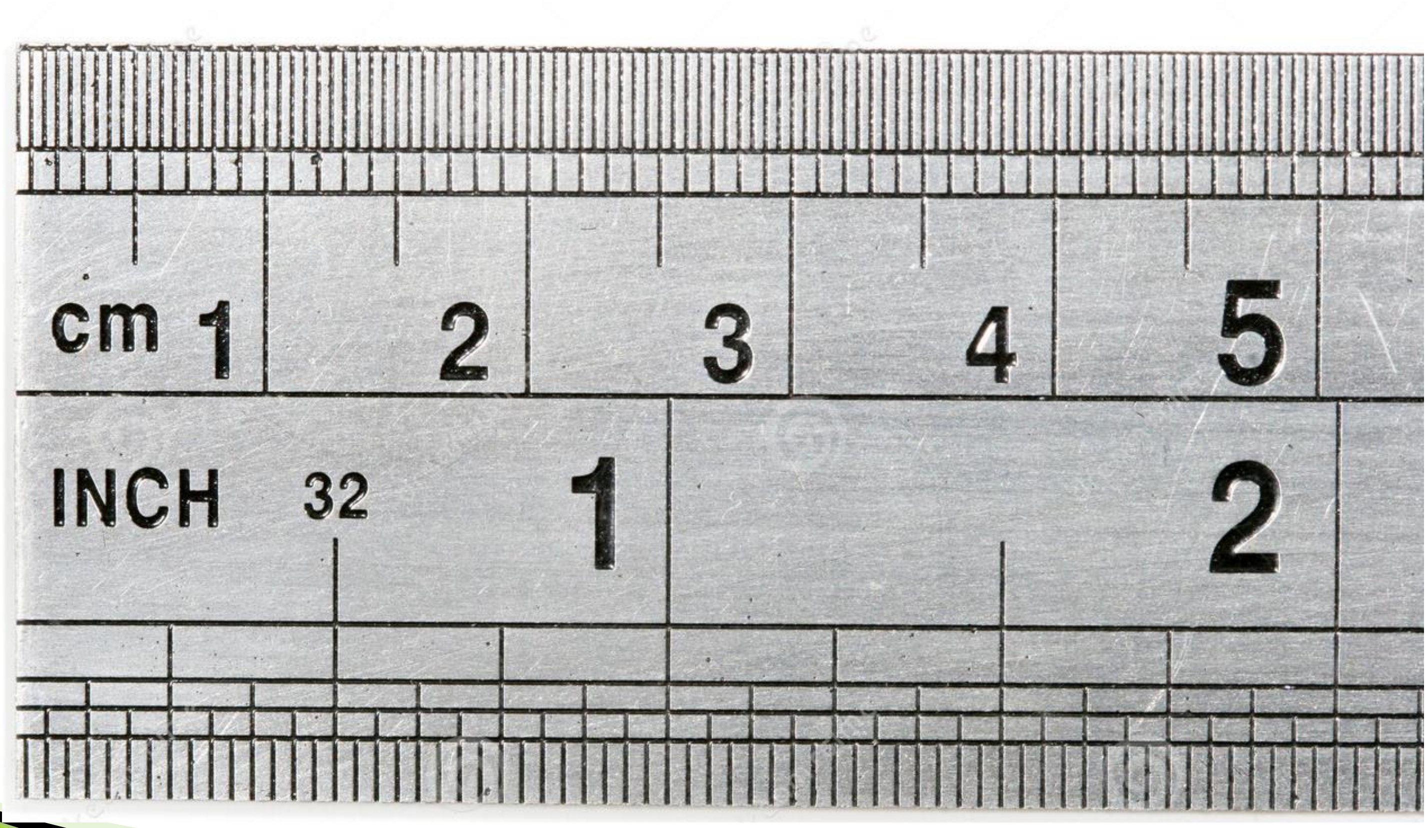
Algarismos significativos

- Regra geral:
  - Só faz sentido colocar **um** (em alguns casos dois) **algarismo significativo** na incerteza, no caso de leitura de equipamentos.
  - É a incerteza **é que determina** o número de algarismos significativos da medida.
  - Forma correta: $(2,74 \pm 0,05)$ cm

Instrumentos de medidas

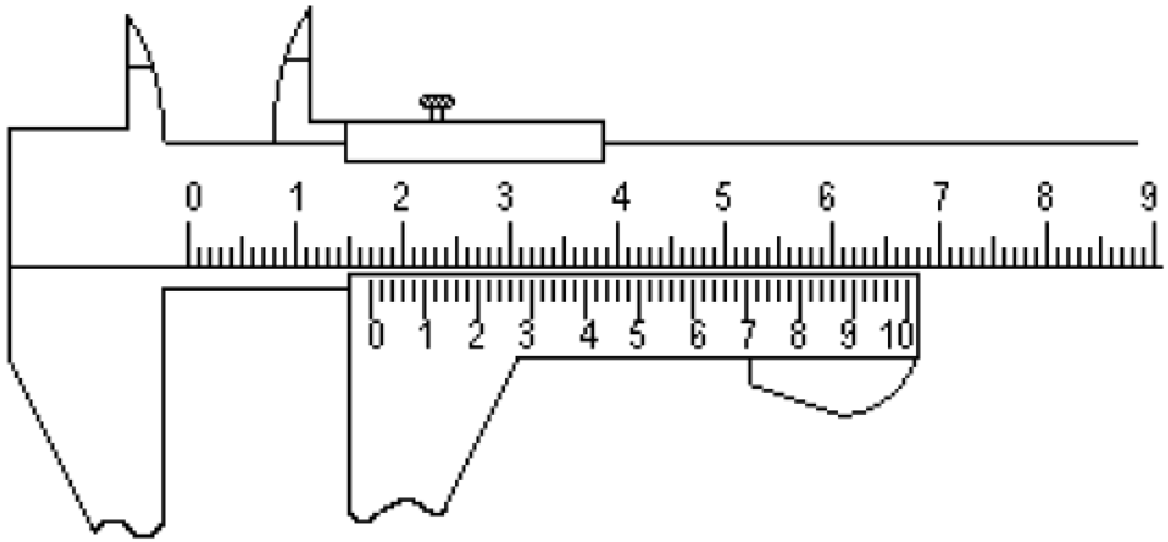
- Régua

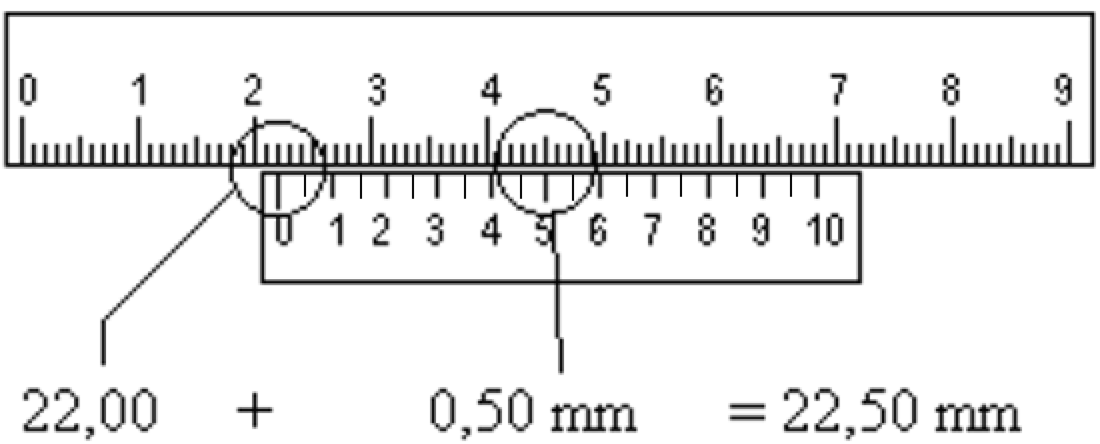
$\sigma = ?$



- Paquímetro analógico

σ=?

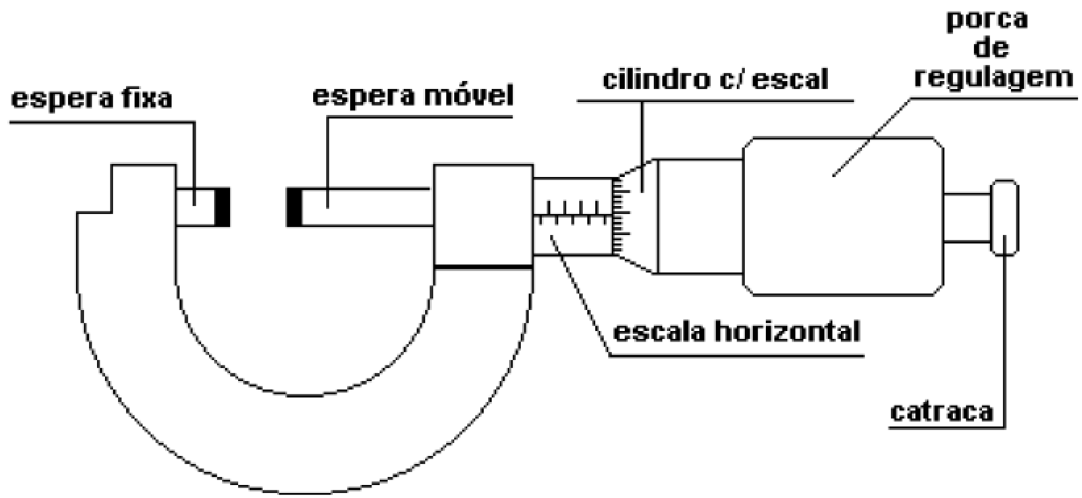


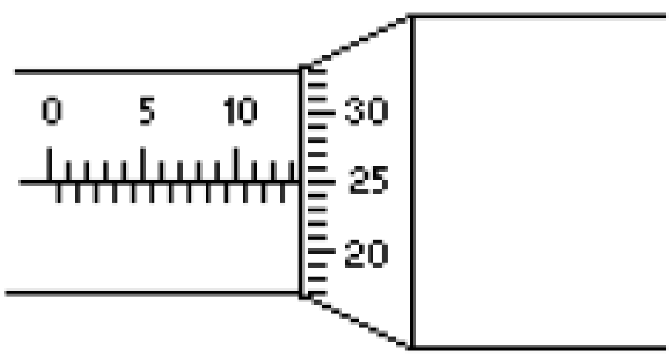


(22,50±0,05) mm

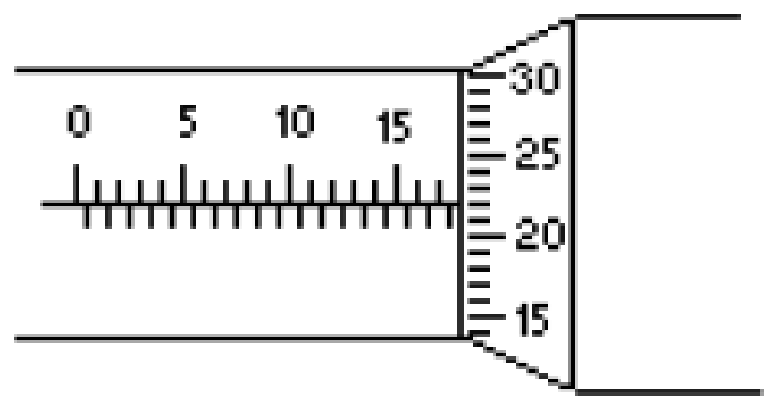
- Micrômetro analógico

σ=?



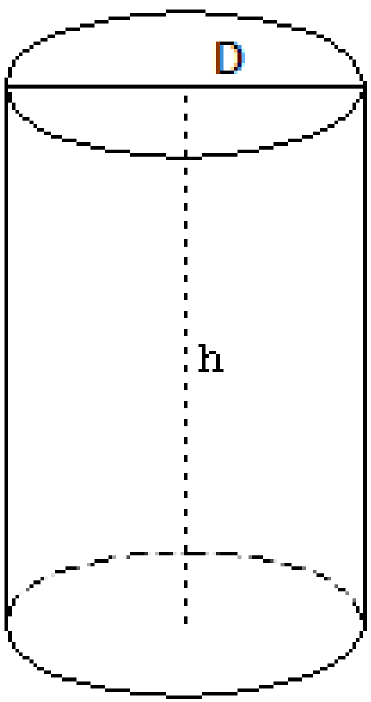


(13,250±0,005) mm



(17,720±0,005) mm

Experimento 3: parte 1



- Medir diâmetro (D) e altura (h) de uma rolha 1 vez, com cada instrumento de medida
- Utilizar régua, paquímetro e micrômetro analógicos
- Estimar da melhor forma possível o algarismo duvidoso
- Calcular o volume do cilindro para cada instrumento
- Ajustar os algarismos significativos
- Comparar a precisão dos equipamentos, baseado nos algarismos significativos

- Representação da medida

$$L = \ell \pm \delta\ell \;=\; (13{,}4 \pm 0{,}1\ )\ \mathrm{cm}$$

- Cálculo do volume do cilindro

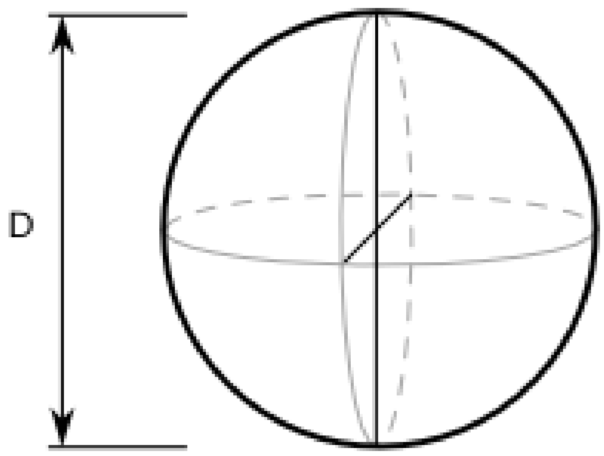
$$V = \frac{\pi D^2}{4} h$$

Experimento 3: parte 1

- Completar a tabela:

			Resultados	Só algarismos significativos
Instrumento	h±σh ( )	D±σD ( )	V±σV ( )	V±σV ( )
régua				
paquímetro analógico				
micrômetro analógico				

Experimento 3: parte 2



- Medir o diâmetro de uma esfera 10 vezes
- Utilizar paquímetro analógico
- Calcular a média e o desvio padrão da média do diâmetro
- Calcular o volume da esfera
- Medir a sua massa
- Calcular a sua densidade
- Ajustar os algarismos significativos
- Comparar a densidade obtida com a densidade teórica do vidro

Experimento 3: parte 2

- Completar a tabela:

	D ( )
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
$D \pm \sigma D$ ( )	
$V \pm \sigma V$ ( )	
$m \pm \sigma m$ ( )	
$d \pm \sigma d$ ( )	

Média, desvio padrão e desvio padrão da média

- Média

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n}$$

n é o nº total de medidas
x_i é o valor de cada medida.

- Desvio padrão

Desvio padrão da média

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Incerteza final de uma série de medidas

$$\sigma_{final} = \sqrt{{\sigma_m}^2 + {\sigma_{inst}}^2}$$

- σ_m: desvio padrão da média
- σ_{inst}: incerteza do instrumento de medida

- Cálculo do volume da esfera

$$V = \frac{\pi D^3}{6} \qquad \sigma_V = ?$$

- Cálculo da densidade da esfera

$$\mathrm{d} = \frac{m}{V} \qquad \sigma_d = ?$$

Algumas derivadas básicas

Nas fórmulas abaixo, **u** e **v** são funções da variável ***x***.

a, **b**, **c** e **n** são constantes.

Derivada de uma constante

$$\frac{d}{dx}(c) = 0$$

Derivada da potência

$$\frac{d}{dx}\left(x^n\right) = n.x^{n-1}$$

Portanto:

$$\frac{d}{dx}(x) = 1$$

Soma / Subtração

$$\frac{d}{dx}(u \pm v) = \frac{du}{dx} \pm \frac{dv}{dx}$$

Produto por uma constante

$$\frac{d}{dx}(cu) = c\frac{du}{dx}$$

Derivada do produto

$$\frac{d}{dx}(uv) = u\frac{dv}{dx} + v\frac{du}{dx}$$

Cálculo da incerteza de uma função

- Dada uma função f(x,y,z), onde x, y e z são grandezas experimentais, com incertezas dadas por $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$, a incerteza de f(x,y,z) será dada por:

- $\sigma_f{}^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \sigma_x{}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \sigma_y{}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \sigma_z{}^2$

Cálculo da incerteza do volume do cilindro (parte 1)

- $V(D,h) = \frac{\pi D^2}{4} h$
- $\sigma_V{}^2 = \left(\frac{\partial V}{\partial D}\right)^2 \sigma_D{}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h}\right)^2 \sigma_h{}^2$

- $\frac{\partial V}{\partial D} = \frac{\pi h}{4}\left(\frac{\partial D^2}{\partial D}\right) = \frac{\pi h}{4}(2D) = \frac{\pi h D}{2}$
- $\frac{\partial V}{\partial h} = \frac{\pi D^2}{4}\left(\frac{\partial h}{\partial h}\right) = \frac{\pi D^2}{4}(1) = \frac{\pi D^2}{4}$

- $\sigma_V{}^2 = \left(\frac{\pi h D}{2}\right)^2 \sigma_D{}^2 + \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2 \sigma_h{}^2$

Cálculo da incerteza do volume do cilindro (parte 1)

-
- $\sigma_V = \sqrt{\left(\frac{\pi h D}{2}\right)^2 {\sigma_D}^2 + \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2 {\sigma_h}^2}$

Comparação de um resultado com seu valor teórico

- Erro percentual (E%)

$$E(\%) = \left|\frac{valor_{teo} - valor_{exp}}{valor_{teo}}\right| . 100$$

Discussão

- Parte 1: medidas do cilindro

  - Comparar a precisão obtida nas medidas com cada equipamento
  - Qual equipamento é mais preciso?
  - Essa precisão foi refletida no cálculo do volume do cilindro? Como?
  - O número de algarismos significativos do volume mudou para cada instrumento?

Discussão

- Parte 2: medidas da esfera

  - A incerteza obtida com as 10 medidas é comparável com a incerteza do instrumento? Poderíamos desprezar alguma das duas?
  - Comparar o valor da densidade obtida experimentalmente com seu valor teórico
  - O valor obtido foi razoável?
  - Quais as possíveis fontes de erro na obtenção desse valor?

Relatório (entrega 30/03)

1. Capa
2. Introdução teórica

   (Precisão de diferentes equipamentos de medida, algarismos significativos, cálculo do volume de objetos, propagação de incertezas e comparação com o valor teórico através do erro percentual)
3. Objetivos
4. Materiais e procedimentos
5. Resultados e discussão

   (Incluir tabelas e cálculos. Comparar a precisão dos equipamentos. Comparar valor experimental com o valor teórico. Discussão das possíveis fontes de erro.)
6. Conclusões
7. Referências bibliográficas