

## Plano Experimento 2 – Densidade de sólidos

Nesta experiência vamos continuar e aprofundar o tratamento de incertezas em medidas físicas.

Objetivos de aprendizagem:

- Reconhecer que medidas quase sempre são *indiretas*.
- Fazer propagação e combinação das incertezas.
- Reconhecer quando uma incerteza é (ir)relevante

Conceitos e habilidades:

- Incertezas relativas, não pensar “ $\sigma_L = 0.00001m$ , então deve ser desprezível” mas “ $\sigma_L/L = 0.01 = 1\%$ ”R
- compatibilidade (qualitativo)
- Usar paquímetro, nônio e micrometro.

Neste experimento realizaremos medidas indiretas da densidade de sólidos, medindo as dimensões de peças cilíndricas e suas massas. Veremos como a precisão das medidas é importante para se conseguir caracterizar o material de que são feitas as peças. Para tanto os alunos realizarão medidas utilizando régua, paquímetro e micrômetro, e balança digital e analítica. Neste experimento ensinaremos a propagação de incertezas e discutiremos qual o instrumento de medida adequado para se obter uma incerteza que permita diferenciar entre os diferentes plásticos. Também discutiremos a questão da compatibilidade de medidas, e ensinaremos a calcular a média ponderada para um conjunto de medidas que seja compatível.

O material para a aula está em potes plásticos numerados em lotes (100 a 500). Os potes com numeração 100 - 199 são do mesmo tipo de plásticos, os de 200 – 299 são de outro tipo e assim por diante. Temos ao todos 5 tipos de plásticos com densidades muito próximas que variam entre **0.9 a 1.4 g/cm<sup>3</sup>** nestes lotes:

■ Poliamida (nylon)	d = 1.09 a 1.14 g/cm <sup>3</sup>
■ Polietileno	d = 0.941 a 0.965 g/cm <sup>3</sup>
■ Polipropileno	d = 0.900a 0.915 g/cm <sup>3</sup>
■ Acrílico	d = 1.17 a 1.20 g/cm <sup>3</sup>
■ PVC	d = 1.35 a 1.45 g/cm <sup>3</sup>

**Os alunos devem anotar o número do pote que estão usando pois na aula seguinte deverão pegar o mesmo pote. Neste experimento devemos na medida do possível ter equipes de 2 alunos.**

Primeira aula:

Entregar o exercício 3 (algarismos significativos, compatibilidade e representação gráfica).

No grupo de 2 alunos cada aluno escolhe 2 dois cilindros da caixa para medir (as caixas possuem 5 objetos geralmente). Tomam-se as medidas de diâmetro e altura com a **régua** e a massa com a **balança digital**. Discutir com os alunos a necessidade ou não de várias medidas. Neste caso as medidas podem não variar porque os corpos são muito regulares e a régua não tem precisão para detectar as diferenças. Discutir que não há incerteza estatística (se não houver) e a incerteza final é igual à incerteza instrumental.

Discutir com eles a relação quando temos incerteza estatística e como temos que relacioná-las:

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_I^2}$$

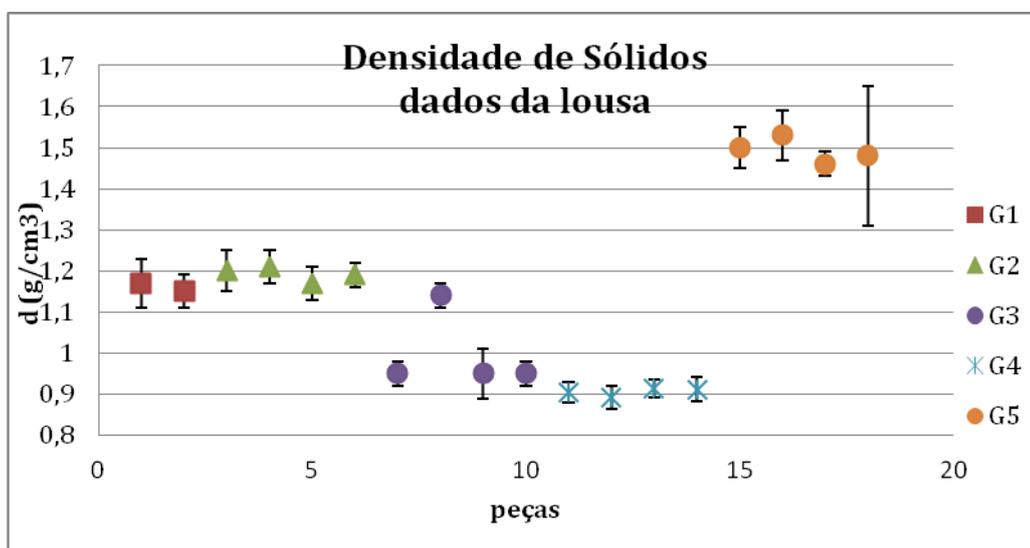
↙
↘  
 estatístico                      instrumento

Com os valores medidos de altura (H) e diâmetro (D) calcular o volume das peças e respectiva incerteza.

Em seguida, medir a massa (M) e calcular a densidade e sua respectiva incerteza para cada objeto. **Na primeira aula calcular essa incerteza somente avaliando valores máximos e mínimos possíveis. Também deve-se pedir para calcular as incertezas relativas tanto das medidas quanto dos resultados (volume e densidade) para futura comparação. Todos os alunos devem escrever seus dados na lousa (ou em algum arquivo, de preferência) de maneira a permitir que o professor forneça o valor de densidade de todas as peças de todos os grupos (após a aula).**

Medir a massa com balança analítica e questioná-los da melhoria do resultado da densidade nesse caso. **Os alunos não devem ser liberados sem ter feito as contas com propagação de incerteza e tudo**, pois sem conta não tem resultado na lousa e não tem discussão.

Depois fazer um gráfico de densidade por peça do grupo (disponível no guia). Cada grupo deve colocar os respectivos 4 valores de densidade calculados usando valores medidos com régua e balança digital:



**Os alunos devem trazer este gráfico pronto com todos os dados da sala para a segunda aula (atividade do guia), e devem responder à pergunta: quantos tipos de plásticos há na sala?**

Para facilitar comparação entre grupos relacione as peças 1 a 4 com grupo 1, 5 a 8 com grupo 2 e assim por diante.

Se der tempo podemos já discutir o critério de compatibilidade dos dados da lousa. Pedir para eles calcularem e ver quais dados são compatíveis.

**Critério de Compatibilidade:**

$$Z = \frac{|d_A - d_B|}{\sqrt{(\sigma_{d_A})^2 + (\sigma_{d_B})^2}} \leq 3$$

Vamos usar um critério qualitativo: se os 2 intervalos (valor  $\pm$  incerteza) se sobrepõem, chamaremos de “compatível”, se são bem distantes “incompatível” e em situações intermediários “mais ou menos compatível” (isso é uma boa apresentação à realidade que muitas vezes

É claro que para os Estatísticos da IME, vai valer a pena mencionar pelo menos uma indicação a “testes-t” etc. para os procedimentos de profissionais para avaliar se duas médias são compatíveis ou não. E para todos vale uma discussão do tipo “quanto mais afastados os intervalos, menos provável é que as duas medidas são compatíveis”.

## Segunda aula:

Discutir novamente a propagação de incertezas, agora demonstrando com derivadas (ou algo próximo) até chegar na fórmula de incertezas relativas para o caso do cálculo de volume e densidade. Discutir novamente o critério de compatibilidade.

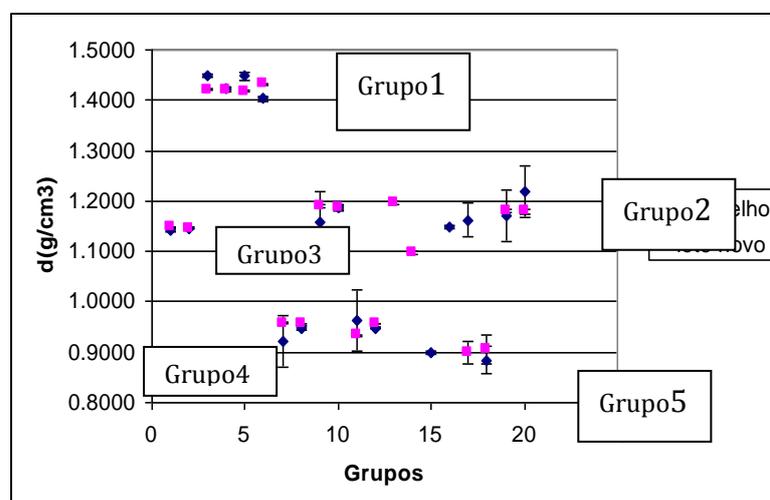
Na segunda aula devemos discutir o gráfico de densidade X peças que eles fizeram. Erros, inconsistências, etc.. Discutir compatibilidade destes dados. Discutir que as incertezas são grandes e não permitem diferenciar os plásticos. Questioná-los sobre como diminuir a incerteza nos valores de densidade.

Mudaremos os instrumentos de medida. A **dupla passa a usar paquímetro e micrômetro no lugar na régua e mede novamente a massa com a balança analítica**. Devemos ensinar o funcionamento do paquímetro e do micrometro.

Fazer as medidas da mesma forma que da primeira aula com **a mesma caixa da aula anterior**.

Agora lembrando que os valores podem diferir, e daí é necessário fazer várias medidas. Calcular valor médio, desvio padrão e desvio padrão da média. A incerteza final é a soma quadrática da incerteza instrumental + estatística.

Colocar novamente todos os **dados medidos na lousa (ou arquivo)** de maneira a permitir o que o professor forneça novamente os valores das densidades calculadas e a nova incerteza. Os alunos devem fazer novamente o gráfico com todos os valores de densidade. Devemos ter agora algo deste tipo:



**Pelo gráfico agora vemos 5 grupos de plásticos**

Calcular compatibilidade dos dados do grupo