Experimento 5 - Viscosidade

Marcia A. Rizzutto

Laboratório de Mecânica - 2017

Objetivos da Experiência

- Determinar a viscosidade de uma substância
- Utilizar a queda de um corpo dentro de um recipiente preenchido com um fluido
- Verificar a validade da Lei de Stokes com a correção de Ladenburg

Experiência

- Realizar a medida do movimento de um corpo em queda **em um fluído**:
  - tomando todos os cuidados experimentais necessários para possibilitar uma correta utilização dos dados posteriormente;
  - utilizar técnicas de análise de dados;
  - e interpretar os resultados a partir de um modelo físico do experimento.

Viscosidade

- Pode ser interpretada como a resistência ao movimento do fluído que dificulta seu escoamento
- Duas fontes de resistência:
  - Atrito interno (A.I.): fluido se comporta como constituído por camadas;
  - Deslocamento do fluido (D.F.): força para tirar o fluido da trajetória do corpo.

Viscosidade

Depende da temperatura

- Viscosidade diminui com o aumento de T (líquidos)
- Viscosidade aumenta com a temperatura (gases)
- Sistema Internacional (SI) unidade do coeficiente de viscosidade é N.s/m2, ou Pa.s (pascal vezes segundo Pa.s). Na prática usa-se Poise (1P=1g/cm.s)

Unidades da viscosidade

Na prática $\eta = \left[\frac{g}{cm.s}\right] \text{ou} [\text{P}] \text{ (Poise)}$

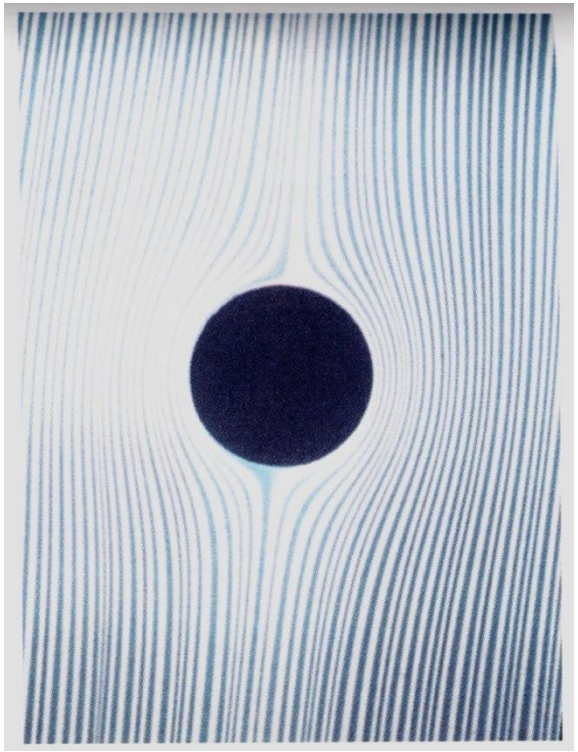
$$\eta(Poise) = (Stokes) * densidade = \left[\frac{cm^2}{s}\right] * \left[\frac{g}{cm^3}\right]$$

$$\eta(Poise) = \left[\frac{g}{cm.s}\right]$$

Hipótese sobre o movimento

- Se a principal interação do corpo com o fluído for o atrito interno, dizemos que o escoamento é laminar e será descrito pela Lei de Stokes:

$$\vec{F}_S = -6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot \vec{v}$$



onde η é a viscosidade do fluído, r o raio do objeto e v sua velocidade

(Volume infinito, sinal negativo indica que é contrária a velocidade)

Hipótese sobre o movimento

Como a força peso é

$$\vec{F}_P = m\vec{g}$$

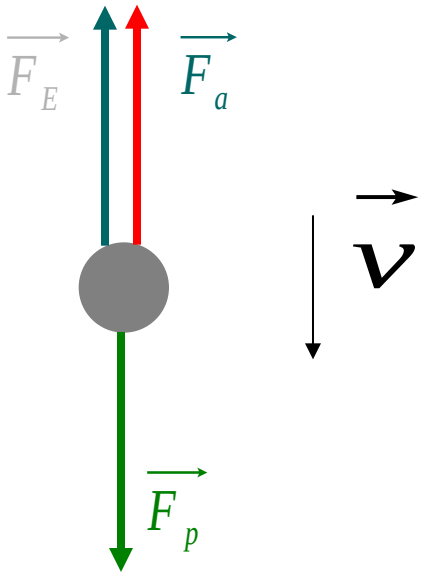
Força de atrito:

$$\vec{F}_a = -b\vec{v}$$

b é coeficiente de atrito viscoso

Força de empuxo:

$$\overrightarrow{F_E} = \frac{4}{3}\rho_{óleo}\pi\ r^3\vec{g}$$

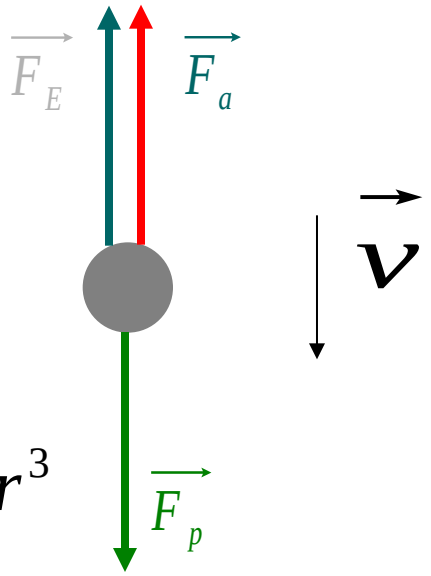


Hipótese sobre o movimento

Como a força peso é $\vec{F}_P = m\vec{g}$

E a densidade da esfera:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{m}{4/3\,\pi r^3}$$



Então

$$m = d_{esf}\,4/3\,\pi r^3 = \rho_{esf}\,4/3\,\pi r^3$$

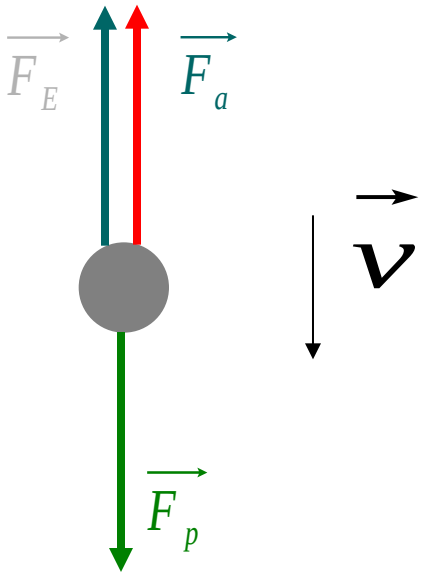
$$\vec{F}_P = 4/3\,\rho_{esf}\,\pi r^3 \vec{g}$$

Queda de esferas em meio viscoso

$$\vec{F} = \vec{F}_P + \vec{F}_E + \vec{F}_a$$

$$\vec{F} = \frac{4}{3}\rho_{esf}\pi\ r^3\vec{g} - \frac{4}{3}\rho_{óleo}\pi\ r^3\vec{g} - 6\pi\eta r\vec{v}$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{4}{3}\rho_{esf}\pi\ r^3\vec{g} - \frac{4}{3}\rho_{óleo}\pi\ r^3\vec{g} - 6\pi\eta r\vec{v}$$



Hipótese sobre o movimento

- Resolvendo essa equação de movimento, e sabendo que o objeto atingirá uma velocidade constante após um certo tempo longo e no limite de (t indo a infinito), teremos:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} = 0$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = -6\pi\eta r\vec{v} + \frac{4}{3}\left(\rho_{esf} - \rho\right)\pi r^3\vec{g} = 0$$

Hipótese sobre o movimento

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} = 0$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = -6\pi\eta r\vec{v} + \frac{4}{3}\left(\rho_{esf} - \rho\right)\pi r^3\vec{g} = 0$$

que leva a:

$$v_\infty = \frac{2}{9}\frac{\left(\rho_{esf} - \rho\right)}{\eta}gr^2$$

Para uma esfera de raio r, densidade ρ e velocidade terminal v_∞

Hipótese sobre o movimento

- Se o fluído não for infinito, e estiver em um recipiente cilíndrico de raio *R* precisamos aplicar a correção de Ladenburg, que é dada por:

$$\vec{F}_a = (1 + C)\vec{F}_{a\infty}$$

Razão entre as dimensões do corpo (r= Raio da esfera) e o espaço ao redor deste (R= Raio do tubo)

onde:

$$C = \alpha \frac{r}{R} + \left(\alpha \frac{r}{R} \right)^2$$

Correção de Ladenburg

Velocidade limite

Lembrando a correção de LADENBURG

$$v_{\text{limite}} = \frac{v_\infty}{(1+C)} \qquad v_{corr} = v_\infty = (1+C)v_{\text{limite}}$$

- Onde v limite é a velocidade que observamos no tubo real

$$v_{\text{lim}} = \frac{2}{9}\frac{(\rho_{esf} - \rho)}{\eta} g\, r^2 \qquad v_{corr} = (1+C)\frac{2}{9}\frac{(\rho_{esf} - \rho)}{\eta} g\, r^2$$

y = a . x y = a . x

AJUSTE DE MMQ

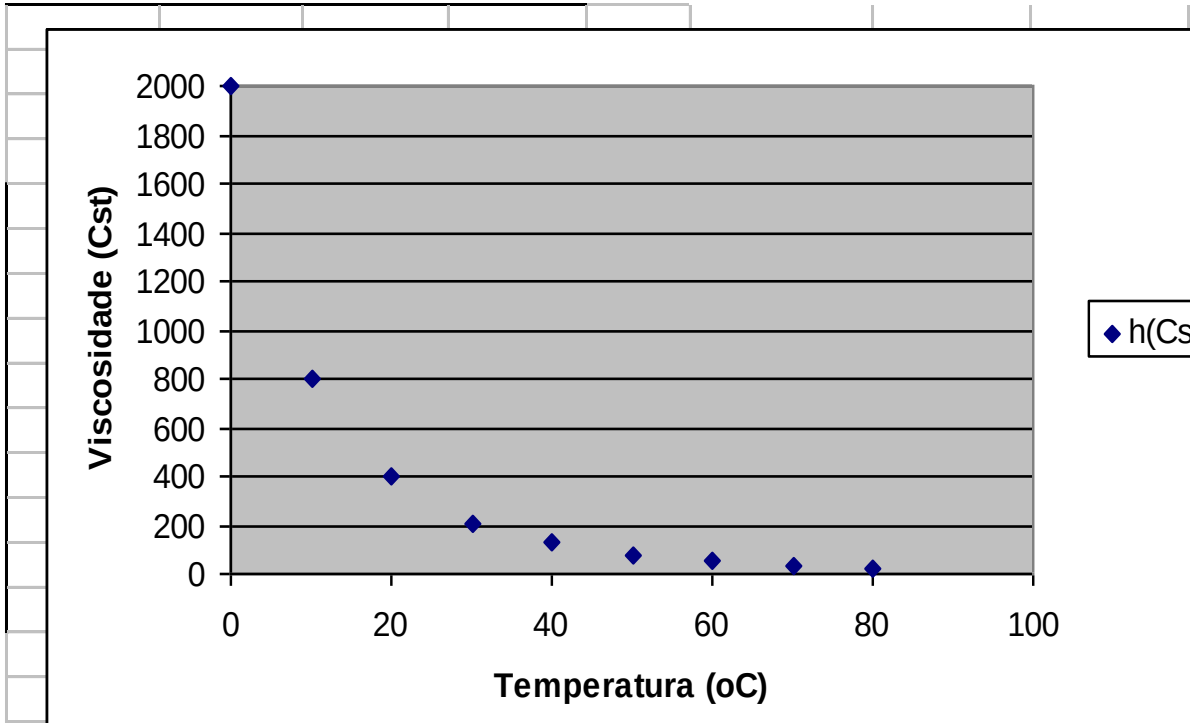
Experimento

- Medir a queda de um corpo em um fluído (óleo) usando:
  - esferas de diâmetros diferentes. Medir os diâmetros das esferas.
  - um tubo cilíndrico graduado e contendo óleo (medir diâmetro D do cilindro);
  - um cronômetro (realizar 10 medidas - medidor A e B) de tempo de queda para estimar incerteza);

- $T_{inicial}$ = 20º e T_{final} = 22º grande variação de temperatura

Óleo Lubrax MG1

T(oC)	η(Cst)
0	2000
10	800
20	400
30	210
40	128
50	80
60	50
70	36
80	25



Cst = 10^{-2} g cm^{-1}s-1 $dens^{-1}$
Stokes – densidade cinemática

Poise = n(stokes)*densidade
Viscosidade absoluta

Cuidados durante as medidas

- Medir densidade do óleo com o densímetro;
- medir a temperatura do óleo **antes e depois** da experiência;
- Marque dois níveis de referência no tubo, um entre 10 e 25 cm da superfície do óleo e outro a uma distância do fundo de 10 cm, um pouco mais ou um pouco menos. **Incerteza é da régua???**

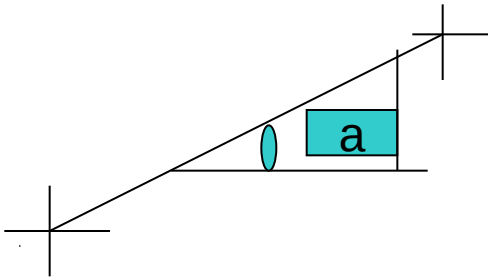
Cuidados durante as medidas

- Escolha uma esfera, meça seu diâmetro com o micrômetro algumas vezes (6 repetições são suficientes) e verifique que ela é quase perfeita. Daqui para frente, trabalhe com a hipótese de que todas as esferas que vai usar são perfeitas, o que lhe permite medir somente uma vez o diâmetro e *usar a precisão do micrômetro como desvio-padrão do diâmetro*.
- realizar as medidas alternando as bolinhas de diâmetro diferente, da menor para a maior;
- Dois membros da equipe devem medir o tempo de queda

Análise dos Dados

- Para cada tipo de esfera:
  - Calcular valor médio e incerteza do tempo de queda;
  - calcular a velocidade limite;
  - Fazer o gráfico de v_L *vs* r^2
  - ajustar por MMQ
  - Calcular correção $v_{corr} = v_L\ (1+C)$
  - Fazer o gráfico de v_{corr} *vs* r^2
  - ajustar por MMQ v_{corr} *vs* r^2 .

Incertezas em x e y

- Um ponto experimental que possui incerteza em x e y, pode-se transferir a incerteza de y para x:

$$s_f = \sqrt{s_y^2 + a^2 s_x^2}$$