

# Trabalho T3 – Determinação do coeficiente de viscosidade da água e da velocidade máxima de escoamento num tubo

Introdução à Física Experimental - 2021/22

Cursos: Engenharia Física e Física

Departamento de Física – Universidade do Minho

## 1. Objectivos

Estudo do fluxo de um líquido real em regime estacionário. Cálculo de parâmetros do escoamento:

1. Caudal.
2. Pressão em vários pontos do tubo
3. Perda de carga
4. Velocidade máxima e média de escoamento do fluido.
5. Coeficiente de viscosidade

Nesta experiência estuda-se um fluxo de água, em regime estacionário. No modelo sugerido para o estudo do escoamento considera-se que a água é um fluido **incompressível**, pois tem densidade uniforme e constante nas condições de pressão e temperatura da experiência. Admite-se, além disso, que o movimento do fluido é **estacionário**, ou seja, que a velocidade em qualquer ponto fixo do fluido não se altera com o tempo e que o fluxo é **irrotacional** (as partículas do fluido não rodam em torno do seu centro de massa).

## 2. Fundamento teórico

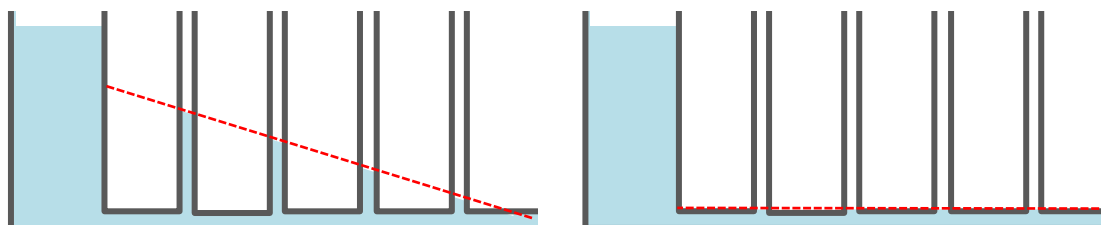


Figura 1: Na figura da esquerda, fluido real, há uma queda de pressão ao passar do tubo largo vertical para o fino horizontal devido à variação da velocidade de escoamento. Há ainda uma perda de carga ao longo do tubo horizontal devido à viscosidade. Na figura da direita, fluido ideal, há apenas uma queda de pressão ao passar do tubo largo vertical para o tubo fino horizontal devido à variação de velocidade.

Para que um líquido real, i.e. com viscosidade não nula, flua dentro de um tubo, é necessário manter uma diferença de pressão entre as extremidades do tubo. Caso contrário o líquido não flui. Este facto deve-se às forças de atrito entre o líquido e as paredes do tubo bem como às forças de atrito interno do líquido. No regime laminar as forças de atrito interno surgem quando camadas adjacentes do líquido adquirem velocidade relativa entre elas até atingirem a velocidade máxima,  $v_{máx}$ , no centro do tubo. Este comportamento é descrito pela equação de Poiseuille:

$$\frac{(p_1 - p_2)}{l} = \frac{4\eta}{R^2} v_{máx} \quad (1)$$

em que  $(p_1 - p_2) / l$  é a perda de pressão (ou carga) por unidade de comprimento.  $\eta$  é a viscosidade do líquido e  $R$  é o raio do tubo. A equação de Poiseuille na forma diferencial escreve-se:

$$dv = \frac{(P_1 - P_2)}{2\eta l} r dr \quad (2)$$

Integrando a eq.(2) entre 0 e  $v_{m\acute{a}x}$ , vem:

$$\int_{v_{m\acute{a}x}}^0 dv = -\frac{(P_1 - P_2)}{2\eta l} \int_0^R r dr \quad (3)$$

que é a eq.(1).

O caudal,  $Q$ , numa dada secção do tubo é a quantidade de fluido que passa nessa secção por unidade de tempo.

$$Q = \frac{\text{volume de líquido}}{\text{tempo}} \quad (4)$$

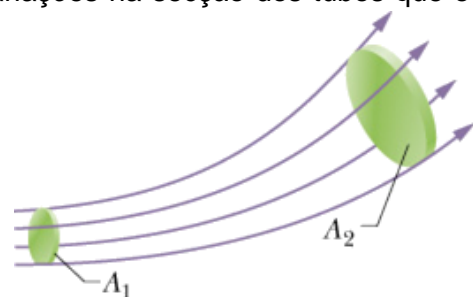
É também igual ao produto da velocidade média do fluido numa secção transversal deste pela respectiva área. Por sua vez, a velocidade máxima está relacionada com o caudal de líquido no tubo,  $Q$ , por:

$$Q = v_{m\acute{a}x} A/2 \quad (5)$$

em que  $A$  é a área da secção transversal do tubo.

Outros aspectos da física dos fluidos são postos em evidência nesta experiência: um deles é a conservação da massa que flui em qualquer ponto do circuito, desde que não haja fugas. Traduz-se na equação da continuidade que diz que mesmo que ao longo do circuito hidráulico haja variações na secção dos tubos que o constituem, permanece no entanto constante o produto da velocidade pela área da secção transversal.

Na figura mostra-se o escoamento de um fluido através de um tubo, atravessando as secções 1 e 2. Se o tubo não tiver furos nem ramificações, toda a água que entra na secção 1, tem que sair na secção 2, ou seja, os caudais têm que ser iguais em ambas as secções:

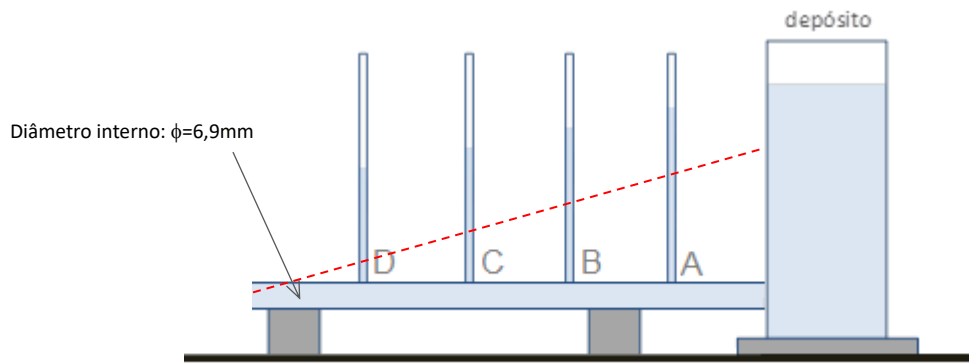


$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow v_1 \times A_1 = v_2 \times A_2 \quad (\text{equação de continuidade}) \quad (6)$$

Sabe-se também que a pressão hidrostática num ponto no interior de um líquido é igual à pressão sobre a superfície livre do líquido mais o peso da coluna de líquido que se encontra acima do ponto considerado:

$$p = p_0 + \rho gh \quad (7)$$

### 3. Procedimento Experimental



1. Verifique se o sistema está estável. Verifique se o tubo AE está horizontal e os capilares A, B, C e D estão verticais. Verifique se a extremidade E do tubo se encontra em posição adequada para que a água esorra para a pia.
2. Abra a torneira e regule o fluxo de forma a garantir que a altura de água no depósito se mantém constante.
3. Quando o fluxo estiver estável utilize um copo graduado e um cronómetro para determinar o caudal, à saída do tubo, em E. Meça a temperatura da água.
4. Meça a altura de água nos tubos A, B, C e D (devem alinhar-se segundo uma reta como a representada a tracejado vermelho, não como erradamente está sombreado a azul na figura).
5. Diminua o fluxo de água da torneira, de forma a que a altura de água no depósito vá diminuindo lentamente. Observe o que sucede à altura de água nos capilares. Observe a trajectória da água à saída, em E. Repita os procedimentos 1.-4. .
6. Quando terminar feche a torneira e espere que a água escoe completamente do depósito.

### ANÁLISE DE RESULTADOS

- Calcule o caudal de saída do tubo de vidro.
- Calcule a velocidade média da água na secção E.
- Calcule a pressão nos pontos médios do escoamento, nas secções A, B, C e D. Use a massa volúmica da água corrigida para a temperatura medida em 3..
- Calcule a perda de carga durante o escoamento.
- Determine o coeficiente de viscosidade da água e compare com o valor dado pela literatura.

---

### **T3 – Determinação do coeficiente de viscosidade da água e da velocidade máxima de escoamento num tubo**

---

Data.....Turma.....Grupo.....

Nomes.....  
.....  
.....

---

#### **1. Medida do caudal de água à saída do tubo de vidro**

Tabela 1 – Ensaio 1

Volume, $V$				
Tempo, $t$				
Caudal, $Q$				

#### **2. Estime a incerteza associada à medida do caudal de água em 1.**

#### **3. Calcule a velocidade média da água na secção E e a respetiva incerteza.**

4. Calcule a pressão nos pontos médios do escoamento, nas secções A, B, C e D. Estime as incertezas associadas aos valores de pressão encontrados.

Tabela 2

$h_A$	$h_B$	$h_C$	$h_D$

Tabela 3

$p_A$	$p_B$	$p_C$	$p_D$
	$\Delta p_{BA}$	$\Delta p_{CB}$	$\Delta p_{DC}$

**5.** Calcule a perda de carga durante o escoamento e a incerteza associada.

**6.** Determine o coeficiente de viscosidade da água e compare com o valor dado pela literatura tendo em conta a incerteza no valor experimental encontrado.