



### Definição:

Deseja-se calcular experimentalmente a viscosidade de fluidos newtonianos através da medição do intervalo de tempo em que uma esfera percorre uma distância conhecida.

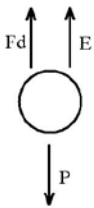
### Procedimento experimental:

A viscosidade ( $\mu$ ) é uma medida do atrito interno do fluido, isto é, da resistência à deformação (Fox et al., 2006). Ela está relacionada à tensão de cisalhamento ( $\tau_{yx}$ ) e à taxa de deformação ( $du/dy$ ) através da relação

$$\tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy}$$

que é válida para fluidos newtonianos (como a água e o ar, em condições normais). À viscosidade podem ser atribuídos fenômenos como a formação de camadas limite e o arrasto de atrito.

Seja uma esfera em queda livre em um fluido newtoniano. Da observação de seu movimento, é verificado que, a partir de certo momento, a velocidade de queda torna-se constante (velocidade limite). A partir desse instante, tem-se a seguinte condição de equilíbrio de forças:



$$P = Fd + E$$

sendo  $P$  a força peso,  $Fd$  a força de arrasto sobre a esfera e  $E$  o empuxo sobre a esfera. O arrasto sobre a esfera pode ser dividido em duas parcelas, correspondentes ao arrasto de pressão e o de atrito. No caso específico no qual os números de Reynolds envolvidos são bastante baixos ( $Re \leq 1$ ), verifica-se que não há separação da camada limite no escoamento sobre a esfera e, conseqüentemente, a esteira é laminar e o arrasto é predominantemente o arrasto de atrito. Para este caso, Stokes mostrou analiticamente que a força  $Fd$  pode ser calculada através da seguinte expressão, conhecida como Lei de Stokes:

$$Fd = 3\pi\mu u d$$

onde  $\mu$  é a viscosidade dinâmica,  $u$  é a velocidade do escoamento e  $d$  é o diâmetro da esfera. Sabendo-se que o peso da esfera é calculado por

$$P = m g = \rho V g$$

sendo  $\rho$  a massa específica do material da esfera,  $V$  o volume da mesma e  $g$  a aceleração local da gravidade; e

$$E = m_f g = \rho_f V g$$

sendo  $m_f$  a massa do fluido deslocado pela esfera e  $\rho_f$  a massa específica do fluido deslocado, ao se isolar a velocidade  $u$  chega-se a:

$$u = \frac{1}{18} \frac{(\rho - \rho_f)}{\mu} g d^2$$

### Dados coletados:

$d$ [mm]:			$d$ [mm]:			$d$ [mm]:			$d$ [mm]:		
massa [g]:			massa [g]:			massa [g]:			massa [g]:		
Fluido: $\rho_f$ [kg/m <sup>3</sup> ]: $H$ [mm]: $D$ [mm]: $T$ [°C]			Fluido: $\rho_f$ [kg/m <sup>3</sup> ]: $H$ [mm]: $D$ [mm]: $T$ [°C]			Fluido: $\rho_f$ [kg/m <sup>3</sup> ]: $H$ [mm]: $D$ [mm]: $T$ [°C]			Fluido: $\rho_f$ [kg/m <sup>3</sup> ]: $H$ [mm]: $D$ [mm]: $T$ [°C]		
Medição	$\Delta x$ [mm]	$\Delta t$ [s]	Medição	$\Delta x$ [mm]	$\Delta t$ [s]	Medição	$\Delta x$ [mm]	$\Delta t$ [s]	Medição	$\Delta x$ [mm]	$\Delta t$ [s]
1			1			1			1		
2			2			2			2		
3			3			3			3		
4			4			4			4		
5			5			5			5		
6			6			6			6		
7			7			7			7		
8			8			8			8		

### **Relatório a apresentar:**

Apresentar um relatório completo, contendo:

- Introdução e objetivos.
- Descrição do experimento.
- Tabela de resultados experimentais.
- Memorial de cálculos, incluindo a incerteza do coeficiente calculado, utilizando a teoria para incerteza expandida
- Tabela contendo os valores de viscosidade obtidos experimentalmente e resultados tabelados (em livros-texto de Mecânica dos Fluidos).

### **Informações gerais:**

- Relatório a ser realizado em grupos de até 3 integrantes.
- **O relatório deve ser entregue em duas semanas a partir da data do experimento.**

### **Bibliografia complementar**

- Fox, R.W.; McDonald, A.T.; Pritchard, P.J. Introdução à Mecânica dos Fluidos. Editora LTC, 6ª Edição, 2006.