Experimento 05 - Viscosidade - Lei de Stokes

Giovani Garuffi	*RA: 155559*
João Baraldi	*RA: 158044*
Lauro Cruz	*RA: 156175*
Lucas Schanner	*RA: 156412*
Pedro Stringhini	*RA: 156983*

November 14, 2014

1 Resumo

2 Objetivos

Esse experimento tem como objetivo calcular o coeficiente de viscosidade de uma solução de glicerina em água, e sua porcentagem em massa.

3 Procedimento Experimental e Coleta de Dados

3.1 Procedimento

O experimento é composto basicamente por um cilíndro de vidro preenchido com uma solução de glicerina, até uma altura H, que está preso em suporte graduado com maracs ajustáveis que distam entre si L (no caso, $H = (42.50 \pm 0.05)\ cm$ e $L = (20 \pm 0.05)\ cm$). Dentro do tubo há, também, um termômetro de mercúrio para controle e conhecimento da temperatura da solução. Há, ainda, um conjunto de cinco esferas de aço de diâmetros previamente mensurados com um micrômetro (para então obter-se o raio r). Vide figura .

Então, com auxílio de uma pinça, uma esfera é abandonada na superfície do líquido, e quando ela atinge a altura da primeira marca ajustável, distante da superficie o suficiente para a normalização da velocidade de queda da esfera (velocidade limite v_L), inicia-se o cronômetro e mede-se o tempo que a esfera leva até a segunda marca. Esse procedimento foi ralizado cinco vezes para cada esfera.

Então, através da relação

$$v_L = (\frac{2}{9})(\frac{\rho - \rho'}{\eta})gr^2$$

onde ρ é a densidade da esfera, ρ', a do meio, η é o coeficiente de viscosidade do meio, e g é a aceleração da gravidade local, podemos descobrir o valor de η.

Entretanto, o cilindro de vidro interfere no movimento da esfera, de modo que a velocidade da esfera no tubo é reduzida de acordo com o fator de Ladenburg

$$K = (1 + \frac{2.4r}{A})(1 + \frac{3.3r}{H})$$

onde A é o raio do cilindro, obtido pelo diâmetro, medido com um paquímetro.

Então, para a velocidade medida, v'_L, convir com a primeira equação, temos que multiplicá-la por K, deste modo

$$v_L = Kv_L = (\frac{2}{9})(\frac{\rho - \rho'}{\eta})gr^2$$

Então, com o valor de η e a temperatura, pode-se obter a porcentagem, em massa, de glicerina na solução, pela análise do gráfico , retirado da bibliografia 1.

3.2 Dados Obtidos

A Tabela 1 apresenta as medições do tempo de queda de cada esfera, relacionada ao seu raio.

Table 1: Dados obtidos no experimento

r (m)	Medidas de T (s)					T_{medio} (s)
0.00100 ± 0.00005	12.47	12.22	11.87	11.97	11.94	12.0 ± 0.3
0.00125 ± 0.00005	7.65	7.87	7.59	7.60	7.78	7.7 ± 0.3
0.00150 ± 0.00005	5.46	5.29	5.35	5.69	5.32	5.4 ± 0.3
0.00175 ± 0.00005	4.07	4.15	4.09	4.09	4.13	4.1 ± 0.3
0.00200 ± 0.00005	3.12	3.25	3.28	3.28	3.25	3.2 ± 0.3

O erro instrumental em T é considerado 0.3 devido às dificuldades em realizar as medições

4 Análise dos Resultados e Discussões

4.1 Regressão linear

O situação estudada pode ser modelada a partir da equação:

$$v_l = \frac{2}{9}\frac{(\rho - \rho')}{\eta} g \cdot r^2$$

Obtida a partir da força de empuxo, força gravitacional e da Lei de Stokes. ρ e ρ' são as densidades da esfera e do meio, respectivamente e η é o coeficiente de viscosidade do meio.

No entanto a velocidade precisa ser corrigida pelo fator de Landenburg

$$v_l = K \cdot v_l' = K\frac{L}{T}$$

$$\Delta v_l = \sqrt{\frac{K^2L^2}{t^4}\Delta t^2 + \frac{K^2\Delta L^2}{t^2} + \frac{L^2\Delta K^2}{t^2}}$$

Onde K é o fator de Landenburg, dado por

$$K = \left(1 + \frac{3.3r}{H}\right)\left(1 + \frac{2.4r}{\pi r_c^2}\right)$$

$$\Delta K =$$

$$\sqrt{\frac{23.04\Delta {r_c}^2 r^2}{\pi^2 r_c^6}\left(1 + \frac{3.3r}{H}\right)^2 + \Delta r^2\left(\frac{2.4 + \frac{7.92r}{H}}{\pi r_c^2} + \frac{1}{H}\left(\frac{7.92r}{\pi r_c^2} + 3.3\right)\right)^2 + \frac{10.89\Delta H^2}{H^4} r^2\left(\frac{2.4r}{\pi r_c^2} + 1\right)^2}$$

Na equação vemos que existe uma relação linear entre v_l e r^2. Para explorar essa relação, foi construída a Tabela 2, relacionando v_l a r^2 .

Fazendo a regressão linear de v_l X r^2, pelo método de mínimos quadrados, obtém-se os seguintes coeficientes:

$$a = (41 \pm 2) \cdot 10^3 \ \ (1/ms)$$

$$b = 0.011 \pm 0.003 \ (m/s).$$

A reta resultante da regressão linear, sobreposta aos pontos medidos experimentalmente pode ser vista na Figura 1.

Table 2: Raio ao quadrado relacionado à velocidade máxima de uma esfera em liquido viscoso

r (m)	r^2 (m^2)	T_{queda} (s)	K	v_l (m/s)
0.00100 ± 0.00005	$1.0 \cdot 10^{-6} \pm 1 \cdot 10^{-7}$	12.0 ± 0.3	1.85 ± 0.04	0.030 ± 0.001
0.00125 ± 0.00005	$1.5 \cdot 10^{-6} \pm 1 \cdot 10^{-7}$	7.7 ± 0.3	2.07 ± 0.04	0.053 ± 0.002
0.00150 ± 0.00005	$2.2 \cdot 10^{-6} \pm 2 \cdot 10^{-7}$	5.4 ± 0.3	2.28 ± 0.04	0.084 ± 0.005
0.00175 ± 0.00005	$3.0 \cdot 10^{-6} \pm 2 \cdot 10^{-7}$	4.1 ± 0.3	2.50 ± 0.04	0.121 ± 0.009
0.00200 ± 0.00005	$4.0 \cdot 10^{-6} \pm 2 \cdot 10^{-7}$	3.2 ± 0.3	2.71 ± 0.04	0.16 ± 0.01

O erro em T foi calculado pelo erro estatístico e utilizando como erro instrumental ± 0.3.

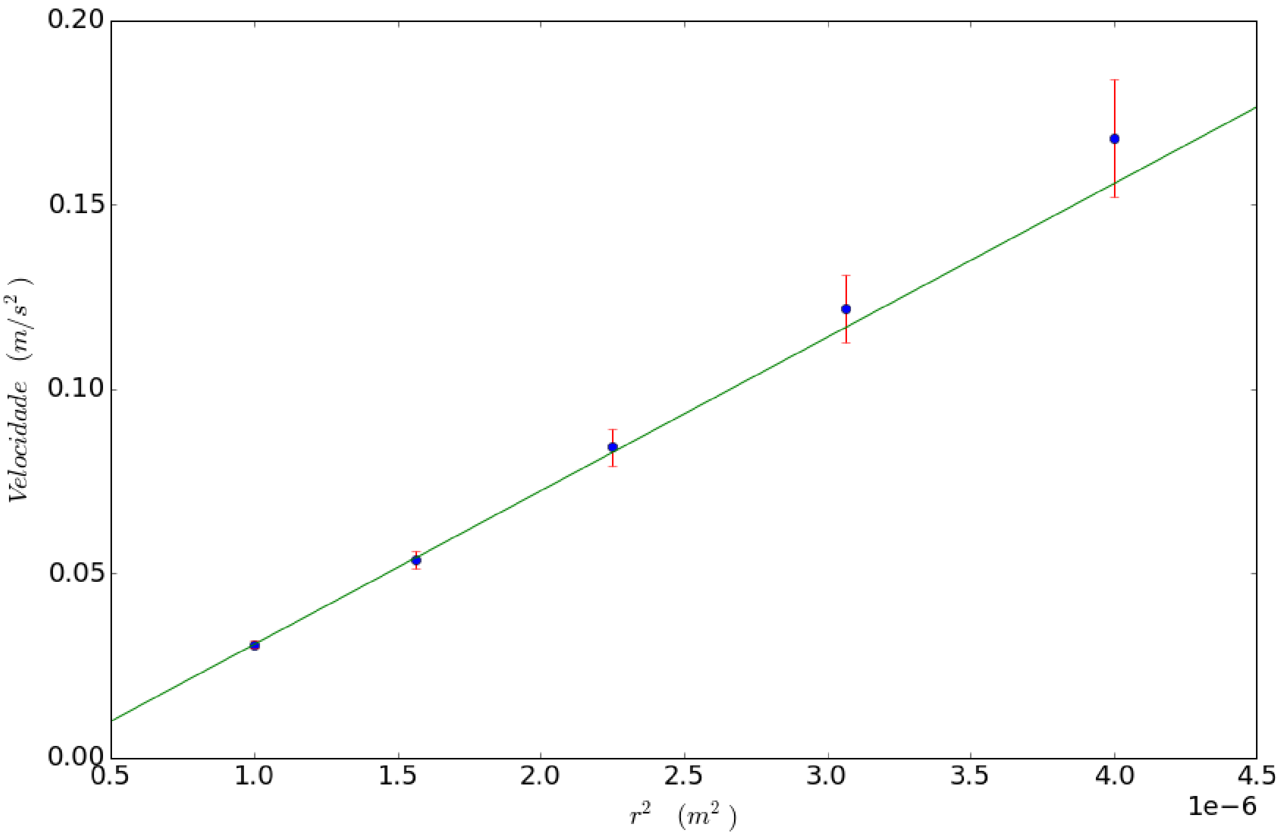

Figure 1: Regressão linear de v_t por r^2 sobreposta aos pontos experimentais

4.2 Significado físico do coeficiente angular

O coeficiente angular é equivalente a

$$a = \frac{2}{9}\frac{(\rho - \rho')}{\eta}g,$$

o que implica que

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{(\rho - \rho')}{a}g,$$

$$\Delta\eta = \frac{2}{9}\sqrt{g^2\frac{(\rho - \rho')^2}{a^4}\cdot\Delta a^2 + \frac{(\rho - \rho')^2}{a^2}\cdot\Delta g^2 + \frac{g^2}{a^2}\cdot\Delta\rho^2 + \frac{g^2}{a^2}\cdot\Delta\rho'^2}.$$

Substituindo os valores, temos que:

5 Conclusões

6 Bibliografia

1. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol. A12, p. 479. (Biblioteca do IQ, Unicamp # R660 ULM5 IQ/10.183 V.A12).