

# Relatório - Experimento 6 - Viscosidade

Breno Pagotto Aguiar - nº USP: 11298553

Iago Santos Alves - nº USP: 11223701

Turma 1 - Grupo 1 - Diurno

6,9

- **Resumo:**

O experimento consiste em um aparato virtual, o qual há uma aparente queda livre da esfera até que ele adentre em um fluido, isto é, o corpo usado é solto de uma certa altura, até que a esfera emerge em um cilindro com óleo e assim translada inserida na substância. Através desse experimento é possível notar uma certa resistência ao movimento da esfera em relação à uma queda livre, fato que dá origem ao estudo da viscosidade do fluido.

resultados?

- **Introdução:**

Através do movimento de queda da esfera no fluido, será possível estudar a viscosidade desse material, o que corresponde ao objetivo deste experimento. Para tal, também está envolvida a velocidade por meio da distância percorrida e do tempo necessário à que ocorra o movimento do corpo. Além disso, o diâmetro (dobro do raio), a densidade da esfera e do óleo (fluido) e a temperatura do meio são fundamentais e estão inseridas na análise para atingir o objetivo. A Figura 1 mostra o arranjo virtual o qual são coletados os dados do experimento.

Velocidade limite

PQ?

Teoria? Fórmulas usadas?

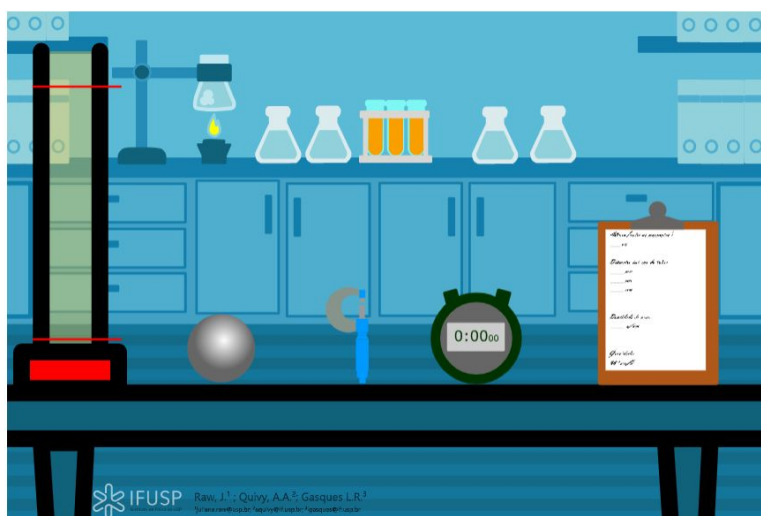


Figura 1: esquema virtual do arranjo experimental

- **Descrição Experimental:**

Como cada grupo de estudo possui de dois a três integrantes, cada um ficou encarregado de coletar os dados de um grupo diferente de esferas e, no final, foi feita a média entre todos os resultados obtidos, denominando “aluno 1”, “aluno 2” e “grupo”, sendo “grupo” a média, para o nosso grupo que contém apenas dois alunos. Os dados foram coletados na plataforma *E-Disciplinas* da Universidade de São Paulo - USP. Nela, há 10 conjuntos de “viscosidade” (de 0 a 9), logo, foram determinados dois deles, sendo que cada aluno deveria pegar o conjunto que equivale ao seu último dígito do número USP do aluno. Os conjuntos adquiridos ao grupo foram: **1 e 3**.

Cada viscosidade continha uma tabela com valores já fornecidos, os quais são, para ambos conjuntos escolhidos:

- altura entre as marcações:  $65,0 \pm 0,2$  cm;
- diâmetro interno do tubo:  $50,32 \pm 0,07$  mm;
- densidade do óleo:  $0,883 \pm 0,001$  g/cm<sup>3</sup>;
- densidade da esfera:  $7,850 \pm 0,001$  g/cm<sup>3</sup>;
- gravidade:  $978,64 \pm 0,01$  cm/s<sup>2</sup>;
- temperatura:  $28,0 \pm 0,1$  °C;
- incerteza do micrômetro: 0,005 mm;
- incerteza do paquímetro: 0,05 mm;
- incerteza da trena: 0,5 mm;
- incerteza do cronômetro: 0,01 s;
- ~~- incerteza do densímetro: 0,001 g/cm<sup>3</sup>;~~
- ~~- incerteza do termômetro: 0,1 °C;~~
- incerteza sistemática do operador: 0,1 s.

os dois experimentos foram simulados na mesma temperatura?

grupo de

Inicialmente, no grupo de esferas, foram feitas 4 medições do diâmetro de 8 esferas diferentes através de um micrômetro virtual. Foi calculado o diâmetro médio das 4 medidas, bem como o desvio padrão e a incerteza final. Nessa incerteza final, estão envolvidos o desvio padrão, a raiz quadrada do número 4, por serem 4 medidas e, a incerteza do micrômetro, aparelho utilizado para realizar as medições. análise..

Logo após, foi medido o tempo que as esferas levam para percorrer a distância demarcada no tubo, uma vez que elas são abandonadas de cima dele e entram no meio viscoso. Para cada corpo, 5 tempos foram anotados, sendo possível calcular o valor médio entre eles, bem como o desvio padrão e a incerteza final do período, que leva em conta o desvio padrão, o número de medidas e a incerteza do cronômetro.

Em seguida, calculou-se o raio das 8 esferas, para cada aluno: uma vez obtido o diâmetro, foi possível encontrar o raio, considerando que ele equivale à metade do diâmetro. Com isso, o raio foi elevado ao quadrado por conta da Lei de Stokes (Fórmula 3 na aba *Análise de Dados*), a qual contém o quadrado do raio. Assim, foi considerada uma incerteza para “r<sup>2</sup>” e outra para “r”.

Além disso, com a distância percorrida (entre as marcações no tubo, como mostra a Figura 1.1), chamada de  $\Delta d$ , e o tempo médio de queda ( $\Delta t$ ), foi possível calcular a velocidade do corpo através da razão entre ambos.

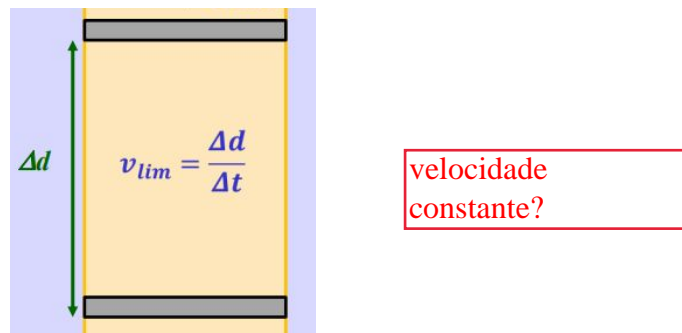


Figura 1.1

Essa velocidade corresponde à limite atingida pela esfera, pois como a força viscosa equivale a  $6\pi\eta rv$ , portanto varia conforme a velocidade da esfera quanto maior a sua velocidade maior a força, até que chega um momento onde a força viscosa é máxima e a força resultante do sistema é nula, atingindo assim sua velocidade máxima. Além do mais, ela foi denominada “sem correção” pois considera que o cilindro tem raio infinito, posteriormente será feita uma correção para a grandeza, por meio de um fator C assim considerando ~~o fluxo laminar do~~ fluido.

o fluxo é sempre considerado laminar...

Em relação às unidades das grandezas, o diâmetro, e o raio conseqüentemente, são dados em centímetros (cm), enquanto que o período em segundos (s). Logo, a velocidade em centímetros por segundo (cm/s).

Por fim, calculou-se o coeficiente de viscosidade do fluido ( $\eta$ ) por meio da Lei de Stokes. Ele é dado em Stokes (St), conforme o sistema CGS (g/cm.s). Poise...

Logo, foi feito o cálculo para o “grupo”, obtendo o diâmetro médio entre os alunos, o tempo médio, seu desvio padrão e sua incerteza final, o raio ao quadrado médio, a velocidade e o  $\eta$ . As incertezas também foram calculadas para esses três últimos tópicos. Com isso, foram construídos gráficos de  $v_{lim}$  vs  $r^2$  para os “alunos” e para o “grupo”. ~~Através desse gráfico, é possível encontrar o coeficiente  $\eta$  pelo coeficiente angular da reta linear gerada pelo software. A Figura 3 na Análise de Dados demonstra como isso ocorre.~~

Posteriormente, a próxima etapa do experimento equivale à correção da velocidade e do  $\eta$ . Para isso, foi utilizado o Fator C, de modo a encontrar a velocidade limite correta (ou real) e o  $\eta$  correto (ou real), isto é considerando o raio do tubo finito e seu fluxo laminar. O Fator C é conhecido como correção de Ladenburg.

A Fórmula para o cálculo do Fator C foi fornecida ao grupo. Nota-se nela o termo alfa ( $\alpha$ ): também fornecido externamente e valendo 2,4. Por fim, não foi adotada uma incerteza para esse fator.

Em seguida, foi determinada a velocidade limite real e o  $\eta$  correto, considerando-se a Lei de Stokes com a correção de C. As incertezas das duas grandezas também foram deduzidas pelo princípio de propagação de incertezas.

Por fim, foi feito a média entre ambos alunos para todas as grandezas trabalhadas nessa etapa. Da mesma forma, foi feito um gráfico de  $v_{real}$  vs  $r^2$ , a fim de encontrar o  $\eta$  correto (ou real) pelo coeficiente angular da reta.

Na última etapa do experimento, o objetivo foi normalizar a correção de  $\eta$  para 25°C, uma vez que a temperatura do fluido era de 28°C para ambos alunos. Para tal, foi necessária de outro fator de correção:  $C_t$ , o qual corresponde à razão entre o  $\eta$  para a temperatura desejada e o  $\eta$  para a temperatura medida. Ademais, foi calculada a segunda correção de  $\eta$  ( $\eta_{cor 2}$ ) e sua incerteza. Finalmente, para comparar os resultados obtidos com o esperado e entre os dois alunos para cada esfera, foi feito o Teste Z de Compatibilidade. Esse valor esperado foi fornecido e vale 2,85 Stokes = 2,52 cgs de acordo com a Figura 2.

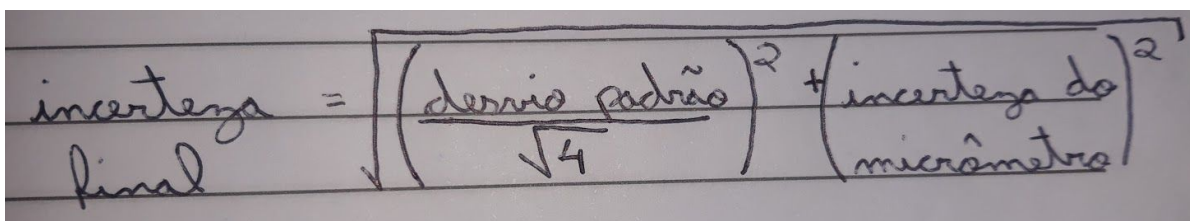
**Unidade**  
 Sistema Internacional (SI) - N.s/m<sup>2</sup> ou Pa.s).  
 CGS - Poise (1P=1g/cm.s)  
 Viscosidade cinemática – Stokes (P/densidade)

que hipóteses foram assumidas para os cuidados no arranjo experimental virtual?

Figura 2

• **Análise de Dados:**

Para analisar os dados que serão obtidos, foram utilizadas as seguintes fórmulas e equações:



$$\text{incerteza final} = \sqrt{\left(\frac{\text{desvio padrão}}{\sqrt{4}}\right)^2 + \left(\text{incerteza do micrômetro}\right)^2}$$

Fórmula 1: cálculo da incerteza final para o diâmetro das esferas



$$\sigma_r = \frac{r \cdot (\text{incerteza final})}{(\text{diâmetro médio})}$$

**Fórmula 1.1:** cálculo da incerteza do raio, nela, a incerteza final corresponde à do diâmetro médio

$$\sigma_{r^2} = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (\text{incerteza final})}{(\text{diâmetro médio})}$$

**Fórmula 1.2:** cálculo da incerteza do raio ao quadrado, nela, a incerteza final corresponde à do diâmetro médio

$$v_{lim} = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

**Fórmula 2:** cálculo da velocidade limite sem correção

$$\frac{(\sigma v_{lim})^2}{(v_{lim})^2} = \frac{(\text{incerteza final})^2}{(\text{tempo médio})^2} + \frac{(\sigma \Delta d)^2}{\Delta d^2}$$

**Fórmula 2.1:** cálculo da incerteza da velocidade limite, sendo que “incerteza final” corresponde a do tempo médio

$$v_{lim} = \frac{2(\rho_c - \rho_{oleo})g}{9\eta} r^2$$

**Fórmula 3:** Lei de Stokes, utilizada para o cálculo de eta

$$\frac{(\sigma \eta)^2}{\eta^2} = \frac{(\sigma x)^2}{x^2} + \frac{(\sigma g)^2}{g^2} + \frac{(2 \cdot \sigma r)^2}{r^2} + \frac{(\sigma v_{lim})^2}{v_{lim}^2}$$

**Fórmula 3.1:** cálculo da incerteza de eta

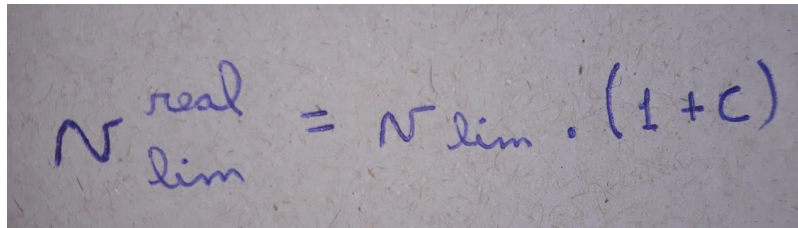
~~É importante ressaltar que  $\sigma_x$  não provém da raiz quadrada de  $\sigma_x^2$ , uma vez que essas incertezas são calculadas de maneiras diferentes.~~ Além disso,  $x$  representa a diferença entre as densidades:  $\rho_c - \rho_{oleo} = 7,850 - 0,883 = 6,967 \text{ g/cm}^3$ . a incerteza de  $x$  é dada pela raiz quadrada da soma do quadrados de cada incerteza, isto é:

$$\sigma_x = \sqrt{(0,001)^2 + (0,001)^2} = 0,001414$$

**Equação 3.1.1:** cálculo da incerteza da diferença das densidades ( $x$ )

$$C = \alpha \frac{r_{esf}}{R_{tubo}} + \left( \alpha \frac{r_{esf}}{R_{tubo}} \right)^2$$

**Fórmula 4:** Fator C, sendo que **resf** é o raio médio da esfera e **Rtubo** o raio do tubo



está invertido...

**Fórmula 5:** cálculo da velocidade limite real

$$\frac{(\sigma_{v_{real}})^2}{(v_{real})^2} = \frac{(\sigma_{v_{lim}})^2}{v_{lim}^2} \quad \longrightarrow \quad \sigma_{v_{real}} = v_{real} \cdot \frac{\sigma_{v_{lim}}}{v_{lim}}$$

**Fórmula 5.1:** cálculo da incerteza da velocidade real (ou correta), sendo **v<sub>lim</sub>** a velocidade sem correção

$$v_{lim}^{real} = \frac{2(\rho_c - \rho_{oleo})g}{9(1+C)\eta} r^2$$

**Fórmula 6:** Lei de Stokes com o Fator C



$$\frac{(\sigma\eta_{\text{real}})^2}{\eta_{\text{real}}^2} = \frac{(\sigma_X)^2}{x^2} + \frac{(\sigma_g)^2}{g^2} + \frac{(2.\sigma_r)^2}{r^2} + \frac{(\sigma_{V_{\text{real}}})^2}{V_{\text{real}}^2}$$

**Fórmula 6.1:** cálculo da incerteza de eta correto

$$C_t = \frac{\eta(t_{\text{ref}})}{\eta(t_{\text{medida}})}$$

**Fórmula 7:** cálculo do Fator  $C_t$ , sendo que  $\eta(t_{\text{ref}})$  corresponde ao eta da temperatura de referência de 25°C e  $\eta(t_{\text{medida}})$  ao eta da temperatura medida (28°C)

$$\eta_{\text{COR 2}} = \eta_{\text{COR}} \cdot C_t$$

**Fórmula 8:** cálculo do eta correto 2, sendo  $\eta_{\text{COR 2}}$  o eta correto 2 e  $\eta_{\text{COR}}$  o eta correto calculado na Fórmula 6

$$\frac{(\sigma\eta_{\text{COR 2}})^2}{(\eta_{\text{COR 2}})^2} = \frac{(\sigma_X)^2}{x^2} + \frac{(\sigma_g)^2}{g^2} + \frac{(2.\sigma_r)^2}{r^2} + \frac{(\sigma_{V_{\text{real}}})^2}{V_{\text{real}}^2}$$

**Fórmula 8.1:** cálculo da incerteza de eta correto 2

$$v_{lim} = \frac{2}{9} \cdot \frac{(P_c - P_{oleo}) \cdot g \cdot r^2}{\eta}$$

$$y = a \cdot x + b$$

$$a = \frac{2}{9} \cdot \frac{(P_c - P_{oleo}) \cdot g}{\eta}$$

$$\therefore \eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(P_c - P_{oleo}) \cdot g}{a}$$

sendo "a" o coeficiente angular da reta

Figura 3: cálculo de eta pelo coeficiente angular da reta

incerteza de eta grafico?

• **Resultados Obtidos:**

e item discussão?

Inicialmente foram medidos os diâmetros com o micrômetro digital e os tempos de queda das esferas com um cronômetro digital de um aparelho smartphone. Os resultados foram anotados nas tabelas abaixo. As incertezas finais do diâmetro médio e do tempo médio foram dadas pela Fórmula 1. Entretanto, para a incerteza do tempo, foi utilizada a incerteza do cronômetro de 0,01 s ao invés da incerteza do micrômetro.



Aluno 1								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
Diâmetro (cm)								
<b>d1</b>	0,1510	0,1975	0,2482	0,3161	0,3949	0,4514	0,5500	0,6351
<b>d2</b>	0,1500	0,1985	0,2489	0,3169	0,3983	0,4521	0,5490	0,6331
<b>d3</b>	0,1508	0,1990	0,2491	0,3181	0,3979	0,4518	0,5502	0,6361
<b>d4</b>	0,1491	0,2000	0,2510	0,3200	0,3959	0,4534	0,5511	0,6341
<b>Diâm médio</b>	0,1502	0,1988	0,2493	0,3178	0,3968	0,4522	0,5501	0,6346
<b>Desvio padrão</b>	0,0009	0,0010	0,0012	0,0017	0,0016	0,0009	0,0009	0,0013
<b>Incerteza final</b>	0,0007	0,0007	0,0008	0,0010	0,0010	0,0007	0,0007	0,0008

**Tabela 1**

Aluno 2								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
Diâmetro (cm)								
<b>d1</b>	0,1475	0,1982	0,2489	0,3172	0,3982	0,4750	0,5510	0,6335
<b>d2</b>	0,1473	0,1979	0,2483	0,3169	0,3961	0,4723	0,5492	0,6342
<b>d3</b>	0,1482	0,1970	0,2492	0,3172	0,3992	0,4751	0,5500	0,6340
<b>d4</b>	0,1488	0,1992	0,2490	0,3180	0,3940	0,4759	0,5505	0,6330
<b>Diâm médio</b>	0,1480	0,1981	0,2489	0,3173	0,3969	0,4746	0,5502	0,6337
<b>Desvio padrão</b>	0,0007	0,0009	0,0004	0,0005	0,0023	0,0016	0,0008	0,0005
<b>Incerteza final</b>	0,0006	0,0007	0,0005	0,0006	0,0013	0,0009	0,0006	0,0006

**Tabela 2**

Aluno 1								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
Tempo de queda (s)								
t1	17,89	10,57	6,64	4,26	3,20	2,55	2,16	1,83
t2	17,87	10,57	6,86	4,46	3,26	2,61	2,22	1,76
t3	18,01	10,50	6,79	4,33	3,20	2,54	2,09	1,76
t4	18,20	10,70	6,92	4,27	3,25	2,48	2,22	1,76
t5	17,61	10,52	6,91	4,26	3,26	2,48	2,10	1,77
Tempo médio	17,92	10,57	6,87	4,33	3,24	2,53	2,16	1,76
Desvio padrão	0,25	0,09	0,06	0,09	0,03	0,06	0,07	0,01
Incerteza final	0,12	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04	0,01

Tabela 3

Aluno 2								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
Tempo de queda (s)								
t1	17,51	10,69	6,82	4,51	3,27	2,46	2,12	1,65
t2	17,43	10,57	6,80	4,60	3,34	2,48	2,15	1,81
t3	17,45	10,69	6,75	4,55	3,27	2,51	2,05	1,68
t4	17,53	10,51	6,75	4,54	3,31	2,55	2,14	1,68
t5	17,50	10,56	6,97	4,52	3,28	2,50	2,15	1,77
Tempo médio	17,48	10,58	6,82	4,55	3,30	2,51	2,12	1,74
Desvio padrão	0,05	0,08	0,10	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07
Incerteza final	0,02	0,04	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03

Tabela 4

Logo após, foram calculados o raio, a velocidade limite e o eta, todos eles sem correção. A incerteza do raio foi dada pela Fórmula 1.1, do raio ao quadrado pela Fórmula 1.2, a velocidade limite pela Fórmula 2 e sua incerteza pela 2.1. Por fim, o eta pela Fórmula 3 e sua incerteza pela 3.1.

Aluno 1								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
raio (cm)	0,0751	0,0994	0,1247	0,1589	0,1984	0,2261	0,2750	0,3173
inc r (cm)	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0003	0,0003	0,0004
raio <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	0,00564	0,00988	0,01554	0,02525	0,03935	0,05112	0,07565	0,10068
inc r <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	0,00005	0,00007	0,00010	0,00016	0,00019	0,00015	0,00018	0,00026
Vlim (cm/s)	3,63	6,15	9,46	15,01	20,05	25,72	30,13	36,88
inc V (cm/s)	0,03	0,03	0,05	0,17	0,12	0,34	0,53	0,24
eta (cgs)	2,36	2,43	2,49	2,55	2,97	3,01	3,80	4,14
inc eta (cgs)	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,07	0,03

Tabela 5

Aluno 2								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
raio (cm)	0,0740	0,0990	0,1244	0,1587	0,1984	0,2373	0,2751	0,3168
inc r (cm)	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0006	0,0005	0,0003	0,0003
raio <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	0,00547	0,00981	0,01548	0,02517	0,03938	0,05631	0,07567	0,10039
inc r <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	0,00004	0,00007	0,00007	0,00009	0,00025	0,00022	0,00017	0,00018
Vlim (cm/s)	3,72	6,14	9,53	14,28	19,70	25,90	30,62	37,46
inc V (cm/s)	0,01	0,03	0,08	0,08	0,13	0,20	0,39	0,75
eta (cgs)	2,23	2,42	2,46	2,67	3,03	3,29	3,74	4,06
inc eta (cgs)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,08

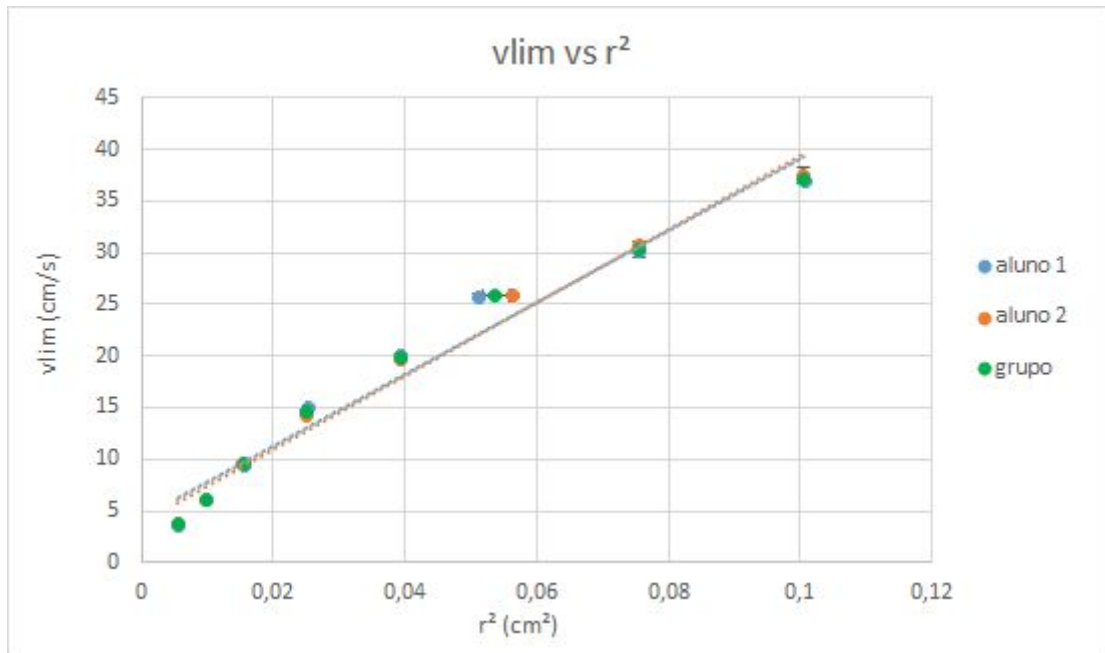
Tabela 6

Dessa forma, foram calculados os valores para o grupo, anotados abaixo. O diâmetro médio do grupo corresponde à média entre a medida do aluno 1 e do aluno 2, para cada esfera. O mesmo ocorre para o tempo médio, para a velocidade e para o eta. A incerteza final é dada pela mesma Fórmula 1, porém utilizando-se a raiz quadrada de 8, por serem 8 valores analisados. As incertezas do raio, da velocidade e do eta foram dadas pelas mesmas fórmulas 1.1, 1.2, 2.1 e 3.1, respectivamente.

	Grupo							
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Diâm médio</b>	0,1491	0,1984	0,2491	0,3176	0,3968	0,4634	0,5501	0,6341
<b>Desvio padrão</b>	0,0014	0,0010	0,0009	0,0012	0,0018	0,0120	0,0008	0,0010
<b>Incerteza final</b>	0,0007	0,0007	0,0006	0,0008	0,0013	0,0085	0,0005	0,0007
<b>Tempo médio</b>	17,70	10,58	6,84	4,44	3,27	2,52	2,14	1,75
<b>Desvio padrão</b>	0,27	0,08	0,10	0,14	0,04	0,05	0,05	0,06
<b>Incerteza final</b>	0,09	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>raio<sup>2</sup> (cm<sup>2</sup>)</b>	0,00556	0,00984	0,01551	0,02521	0,03937	0,05368	0,07566	0,10053
<b>inc r<sup>2</sup> (cm<sup>2</sup>)</b>	0,00005	0,00007	0,00008	0,00013	0,00026	0,00197	0,00015	0,00023
<b>Vlim (cm/s)</b>	3,67	6,15	9,50	14,64	19,87	25,81	30,38	37,17
<b>inc V (cm/s)</b>	0,02	0,02	0,05	0,15	0,12	0,20	0,30	0,46
<b>eta (cgs)</b>	2,29	2,43	2,47	2,61	3,00	3,15	3,77	4,10
<b>inc eta (cgs)</b>	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,12	0,04	0,05

**Tabela 7**

Com isso, foi construído o gráfico de velocidade limite pelo raio ao quadrado:



**Gráfico 1**

aqui era só para olhar e não para calcular...

Equação da reta do *aluno 1*:  $y = 347x + 4,38$

Equação da reta do *aluno 2*:  $y = 353x + 3,94$

Equação da reta do *grupo*:  $y = 350x + 4,15$

Através do coeficiente angular dessas retas, foi possível encontrar o valor de  $\eta$ . A Figura 3 demonstra como isso é possível.

Aluno 1		Aluno 2		Grupo	
coef ang	346	coef ang	353	coef ang	350
$\eta$	4,37	$\eta$	4,29	$\eta$	4,33

**Tabela 7.1:** valores do coeficiente de viscosidade por meio do coeficiente angular

Também foi utilizado o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) para obter-se os melhores parâmetros para os coeficientes angulares ( $a$ ) e lineares ( $b$ ), e por conseguinte conseguir o  $\eta$  através do coeficiente angular semelhante às operações acima.

Aluno 1		Aluno 2		Grupo	
$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$
408,4	1,96	459,8	1,37	433,88	1,68
$\sigma_a$	$\sigma_b$	$\sigma_a$	$\sigma_b$	$\sigma_a$	$\sigma_b$
2,1	0,03	2,3	0,03	2,53	0,03

**Tabela 7.2**

Aluno 1		Aluno 2		Grupo	
coef ang	$408,4 \pm 2,1$	coef ang	$459,8 \pm 2,3$	coef ang	$433,9 \pm 2,5$
eta	$3,71 \pm 0,02$	eta	$3,30 \pm 0,02$	eta	$3,49 \pm 0,02$

**Tabela 7.3**

Posteriormente, foram feitos os cálculos das grandezas com o fator de correção C através da Fórmula 4. A velocidade correta ou real calculada pela Fórmula 5, sua incerteza pela Fórmula 5.1. Já o eta correto ou real foi dado pela Fórmula 6 e sua incerteza pela 6.1. Os resultados obtidos encontram-se nas tabelas abaixo.

Aluno 1								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Fator C</b>	0,08	0,10	0,13	0,17	0,23	0,26	0,33	0,39
<b>Vel cor (cm/s)</b>	3,91	6,79	10,72	17,63	24,56	32,46	40,11	51,42
<b>inc V (cm/s)</b>	0,03	0,04	0,06	0,20	0,15	0,43	0,71	0,34
<b>eta cor (cgs)</b>	2,19	2,20	2,20	2,17	2,43	2,39	2,86	2,97
<b>inc eta (cgs)</b>	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,02

**Tabela 8:** resultados obtidos para o aluno 1, em que **Vel cor** corresponde à velocidade limite real ou correta e **eta cor** ao eta correto ou real

Aluno 2								
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Fator C</b>	0,08	0,10	0,13	0,17	0,23	0,28	0,33	0,39
<b>Vel cor (cm/s)</b>	4,00	6,78	10,80	16,77	24,13	33,08	40,77	52,21
<b>inc V (cm/s)</b>	0,01	0,03	0,09	0,09	0,16	0,26	0,52	1,04
<b>eta cor (cgs)</b>	2,07	2,19	2,17	2,27	2,47	2,58	2,81	2,91
<b>inc eta (cgs)</b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06

**Tabela 9:** resultados obtidos para o aluno 2

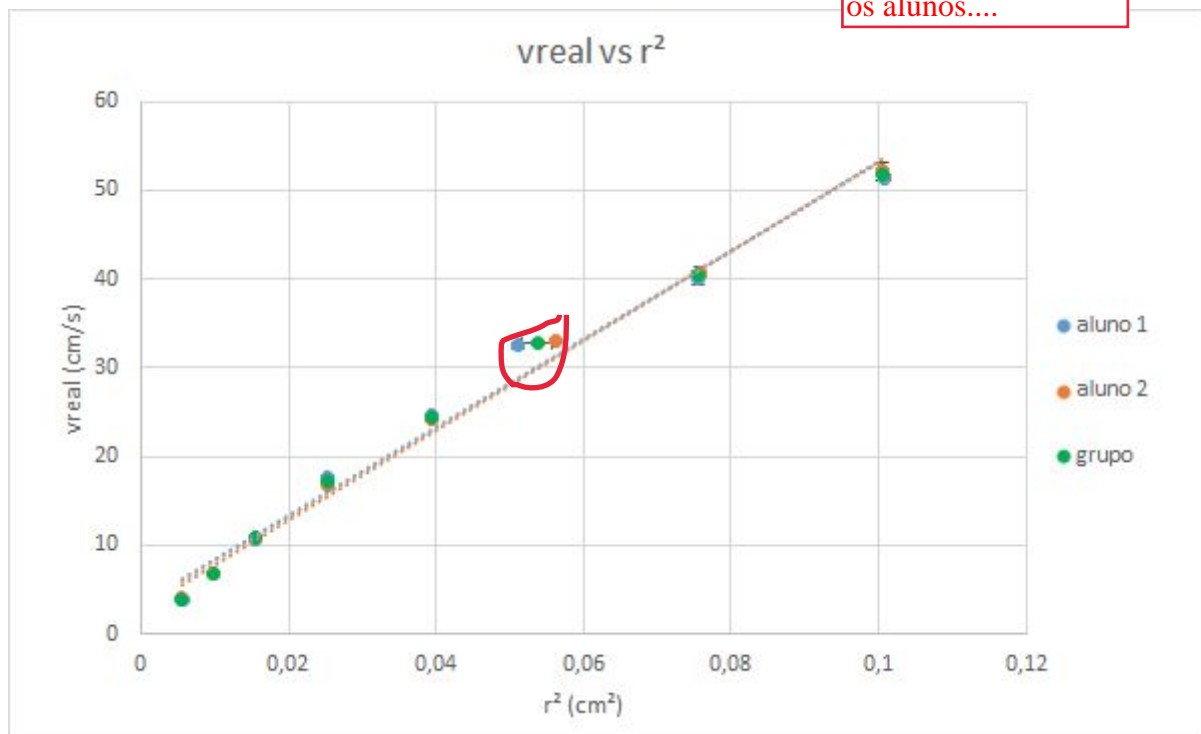


	Grupo							
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Fator C</b>	0,08	0,10	0,13	0,17	0,23	0,27	0,33	0,39
<b>Vel cor (cm/s)</b>	4,00	6,78	10,80	16,77	24,13	33,08	40,77	52,21
<b>inc V (cm/s)</b>	0,01	0,03	0,09	0,09	0,16	0,26	0,52	1,04
<b>eta cor (cgs)</b>	2,07	2,19	2,17	2,27	2,47	2,58	2,81	2,91
<b>inc eta (cgs)</b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06

**Tabela 10:** resultados obtidos para o grupo

Já obtido o raio das esferas, foi construído um gráfico de  $v_{real}$  vs  $r^2$ , isto é, da velocidade limite real pelo raio ao quadrado:

era para fazer só para os alunos....



**Gráfico 2**

Equação da reta do *aluno 1*:  $y = 496x + 3,4$

Equação da reta do *aluno 2*:  $y = 505x + 2,87$

Equação da reta do *grupo*:  $y = 501x + 3,12$

fez na mão ou era fornecido pelo excel?

As viscosidades encontradas pelos coeficientes angulares das retas foram:

Aluno 1		Aluno 2		Grupo	
coef ang	496	coef ang	505	coef ang	501
eta	3,05	eta	3,00	eta	3,02

**Tabela 10.1:** valores do coeficiente de viscosidade por meio do coeficiente angular

Abaixo encontra-se a tabela com os valores obtidos através do MMQ.

Aluno 1		Aluno 2		Grupo	
a	b	a	b	a	b
551,3	1,26	596,0	0,83	572,2	1,04
$\sigma_a$	$\sigma_b$	$\sigma_a$	$\sigma_b$	$\sigma_a$	$\sigma_b$
3,0	0,04	3,6	0,04	3,3	0,04

**Tabela 10.2:** era para ter um único coeficiente angular para dados dos alunos em conjunto..

Aluno 1		Aluno 2		Grupo	
coef ang	$551,3 \pm 3,0$	coef ang	$596,0 \pm 3,6$	coef ang	$572,2 \pm 3,3$
eta	$2,75 \pm 0,01$	eta	$2,54 \pm 0,02$	eta	$2,65 \pm 0,02$

**Tabela 10.3**

unidade?

Em seguida, foi feita a normalização para a temperatura de 25°C através do fator de correção Ct, dado pela Fórmula 7. Por fim, o eta correto 2 foi calculado pela Fórmula 8 e sua incerteza pela Fórmula 8.1. Os resultados encontram-se nas tabelas abaixo.

era para corrigir o eta vindo do coeficiente angular...

	Aluno 1							
	esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
Fator de correção Ct	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
eta cor 2 (cgs)	2,63	2,65	2,64	2,61	2,92	2,87	3,44	3,57
inc (cgs)	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06	0,03

**Tabela 11**

que valores usou para avaliar ct?

		Aluno 2							
		esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Fator de correção Ct</b>		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
<b>eta cor 2 (cgs)</b>		2,49	2,64	2,61	2,74	2,97	3,10	3,38	3,50
<b>inc (cgs)</b>		0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07

Tabela 12

Dessa forma, foi feito o Teste Z de Compatibilidade entre os valores de **eta cor 2** de ambos alunos, uma vez que esses resultados deveriam ser iguais em teoria, para cada esfera. Isso ocorre pois a esfera é lançada em um fluido que contém o mesmo coeficiente de viscosidade, isto é, o eta da esfera 1 deve ser o mesmo para os alunos 1 e 2, e assim sucessivamente para todas as 8 esferas.

## Critério para compatibilidade

Comparação entre  $(a \pm \sigma_a)$  e  $(b \pm \sigma_b)$

$$Z = \frac{|a - b|}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}}$$

- $Z \leq 1$ , compatíveis ao nível de  $1\sigma$
- $1 \leq Z \leq 2$ , compatíveis ao nível de  $2\sigma$
- $2 \leq Z \leq 3$ , compatíveis ao nível de  $3\sigma$
- $Z > 3$ , discrepantes

Figura 3: teste Z

		esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Aluno 1</b>	<b>eta cor 2</b>	2,63	2,65	2,64	2,61	2,92	2,87	3,44	3,57
	<b>inc eta cor 2</b>	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06	0,03
<b>Aluno 2</b>	<b>eta cor 2</b>	2,49	2,64	2,61	2,74	2,97	3,10	3,38	3,50
	<b>inc eta cor 2</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07
<b>Z</b>		3,70	0,45	0,88	3,35	1,51	4,90	0,73	0,86

Tabela 13

ou vc tira um valor média ponderada para eta de cada aluno e aí compara com os resultados desse aluno ou compara com esses valores com o valor do vindo do ajuste de reta...

Portanto, nota-se que para as esferas 1, 4 e 6, os resultados obtidos são discrepantes entre si. Entretanto, para as esferas 2, 3, 7 e 8, o coeficiente de viscosidade é compatível em 1 sigma. Por fim, para a esfera 5, a compatibilidade é de 2 sigmas.

Com isso, pode-se concluir que há uma falta de precisão e

Além disso, o mesmo Teste Z foi feito entre os valores encontrados (em cgs) e o valor esperado, o qual foi fornecido e equivale à 2,85 Stokes = 2,52 cgs.

		esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Aluno 1</b>	<b>eta cor 2</b>	2,63	2,65	2,64	2,61	2,92	2,87	3,44	3,57
	<b>inc eta cor 2</b>	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06	0,03
<b>Esperado</b>	<b>eta (cgs)</b>	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52
	<b>Z</b>	3,67	5,50	5,49	2,64	17,44	8,99	14,97	41,39

**Tabela 14**

		esfera 1	esfera 2	esfera 3	esfera 4	esfera 5	esfera 6	esfera 7	esfera 8
<b>Aluno 2</b>	<b>eta cor 2</b>	2,49	2,64	2,61	2,74	2,97	3,10	3,38	3,50
	<b>inc eta cor 2</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07
<b>Esperado</b>	<b>eta (cgs)</b>	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52
	<b>Z</b>	1,24	5,30	3,73	12,40	16,84	21,61	19,67	13,98

**Tabela 15**

Portanto, nota-se que apenas o valor para a esfera 1 é compatível (em 1 sigma) com o valor esperado de 2,52 cgs. Os outros valores mostraram-se incompatíveis, isto é, discrepantes com o almejado. Com isso, pode-se concluir que há uma falha na correção para a temperatura, o que pode estar relacionado tanto com o fato de que o experimento por completo é virtual quanto pela imprecisão do fator Ct, ou seja, ele não é suficiente para corrigir o coeficiente de viscosidade para a temperatura de 25°C.

ou as incertezas  
foram  
subestimadas...

correção de Landenburg foi  
suficiente?

- **Conclusão:**

O experimento tinha como objetivo analisar o coeficiente de viscosidade de um óleo. Todo o processo é feito virtualmente, através do arranjo experimental virtual da plataforma *E-Disciplinas* da USP. Para tal, foram trabalhadas as grandezas: diâmetro do corpo (esférico), tempo de queda, velocidade e, por fim, o  $\eta$  (viscosidade).

Com os valores encontrados, nota-se que as esferas com raio menor possuem uma menor velocidade. Isso ocorre devido ao peso da esfera ser menor já que possuem a mesma densidade, -o escoamento laminar, isto é, o movimento de  $\eta$  real é um importante fator ao resultado da viscosidade, porque como o tubo não contém borda infinita, as moléculas possuem velocidade em relação ao quão próximas estão da borda do tubo. Nesses pontos, a velocidade é reduzida pois tendem a grudar nas bordas, enquanto que no meio do tubo essa grandeza é maior. Dessa forma, quanto maior o diâmetro da esfera, maior será a influência desse escoamento laminar. não é esse o efeito...

Além disso, uma vez obtidos os resultados para o  $\eta$  sem a correção dos fatores  $C$  e  $C_t$  e com a correção dos mesmos, houve uma comparação entre os valores de cada aluno, uma vez que o óleo é igual para ambos, teoricamente. Essa comparação comprovou que o coeficiente de viscosidade entre os alunos varia em mais de 1 sigma para todos os valores, atingindo a discrepância, devido à um pequeno erro nas medidas. Além disso, quando comparados os resultados obtidos com o valor esperado e fornecido, ocorre uma maior discrepância entre os dados, de modo geral. Apenas uma medida mostrou-se compatível com o valor esperado (1 sigma), que é a medida com o menor diâmetro pois há menos influência das partículas das bordas do tubo.

Dessa forma, pode-se concluir que os fatores  $C$  e  $C_t$  não são suficientes para corrigir o coeficiente de viscosidade, uma vez que eles foram encontrados pelo grupo inicialmente a uma temperatura de 28°C (para ambos).

ou definir o óleo...

mudou de assunto no meio da frase?