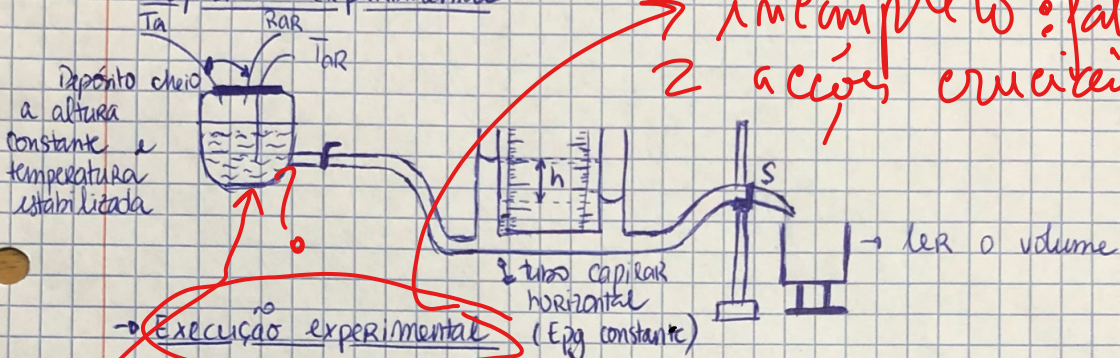


→ Objetivos:

1) Determinação do coeficiente de viscosidade da água usando o escoamento num tubo capilar cilíndrico.

→ Esquema experimental:



→ Execução experimental:

- 1) Abrir a torneira  $T_2$  e atingir o regime estacionário de fluxo (bolhinhas no interior da água)
- 2) Registrar os valores de  $R$  e  $l$
- 3) Para cada posição do ~~suporte~~  $S$ , registrar  $h$  e  $V$  (volume) de água recolhida num intervalo de tempo  $t$ .
- 4) Calcular o caudal  $Q$  correspondente a cada ensaio, usando a expressão  $Q = V/t$ .

5) Através da análise gráfica  $P(Q)$ , calcular o  $\eta$

ou

5) Através do cálculo das médias de  $Q$  e  $P$  correspondentes a um elevado nº de ensaios para uma determinada posição intermédia no suporte  $S$ , calcular o  $\eta$

$$P = \eta \frac{8l}{\pi R^4} Q$$

$$P = \rho g h$$

ML  
negativos

# → Análise de dados

Os dados retirados foram os seguintes:

Tubo capilar	
R(m)	3,960E-04
u(R) (m)	5E-06
l(m)	0,325
u(l) (m)	0,0005

Ensaio	Vh20(m³/s)	t(s)	hmin(cm)	hmax(cm)	Δh	P(Pa)	Q(m³/s)	T(±0,5) (°C)	Q <sub>a</sub> (m³/s)
1	5	49,97	1,3	33,4	32,1	314793,47	1,0006E-07	24,1	8,83896E-08
	10	106,77	1,3	33,4	32,1	314793,47	9,3659E-08	24,1	8,83896E-08
	15	166,2	1,3	33,4	32,1	314793,47	9,0253E-08	24,1	8,83896E-08
	20	225,21	1,3	33,4	32,1	314793,47	8,8806E-08	24,1	8,83896E-08
	25	284,97	1,3	33,4	32,1	314793,47	8,7729E-08	24,1	8,83896E-08
2	5	82,22	13,4	34,6	21,2	207900,98	6,0812E-08	24,4	5,89954E-08
	10	163,84	13,4	34,6	21,2	207900,98	6,1035E-08	24,4	5,89954E-08
	15	251,82	13,4	34,6	21,2	207900,98	5,9566E-08	24,4	5,89954E-08
	20	336	13,4	34,6	21,2	207900,98	5,9524E-08	24,4	5,89954E-08
	25	422,6	13,4	34,6	21,2	207900,98	5,9158E-08	24,4	5,89954E-08
3	5	121,48	20,9	35,3	14,4	141215,76	4,1159E-08	25,1	4,06577E-08
	10	251,3	20,9	35,3	14,4	141215,76	3,9793E-08	25,1	4,06577E-08
	15	378,03	20,9	35,3	14,4	141215,76	3,9679E-08	25,1	4,06577E-08
	20	503,84	20,9	35,3	14,4	141215,76	3,9695E-08	25,1	4,06577E-08
	25	629,32	20,9	35,3	14,4	141215,76	3,9725E-08	25,1	4,06577E-08
4	5	59,96	3,2	33,6	30,4	298122,16	8,3389E-08	24	8,38052E-08
	10	120,98	3,2	33,6	30,4	298122,16	8,2658E-08	24	8,38052E-08
	15	180,17	3,2	33,6	30,4	298122,16	8,3255E-08	24	8,38052E-08
	20	240,14	3,2	33,6	30,4	298122,16	8,3285E-08	24	8,38052E-08
	25	300,36	3,2	33,6	30,4	298122,16	8,3233E-08	24	8,38052E-08
5	5	49,84	9,6	46,8	37,2	364807,38	1,0032E-07	23,7	1,02143E-07
	10	98,57	9,6	46,8	37,2	364807,38	1,0145E-07	23,7	1,02143E-07
	15	147,68	9,6	46,8	37,2	364807,38	1,0157E-07	23,7	1,02143E-07
	20	199,66	9,6	46,8	37,2	364807,38	1,0017E-07	23,7	1,02143E-07
	25	251,14	9,6	46,8	37,2	364807,38	9,9546E-08	23,7	1,02143E-07
6	5	59,94	16,8	47	30,2	296160,83	8,3417E-08	23,4	8,32658E-08
	10	120,62	16,8	47	30,2	296160,83	8,2905E-08	23,4	8,32658E-08
	15	181,93	16,8	47	30,2	296160,83	8,2449E-08	23,4	8,32658E-08
	20	244,88	16,8	47	30,2	296160,83	8,1673E-08	23,4	8,32658E-08
	25	306,93	16,8	47	30,2	296160,83	8,1452E-08	23,4	8,32658E-08
7	5	65,65	6,2	33,7	27,5	269682,88	7,6161E-08	23,4	7,59847E-08
	10	132,72	6,2	33,7	27,5	269682,88	7,5347E-08	23,4	7,59847E-08
	15	202,35	6,2	33,7	27,5	269682,88	7,469E-08	23,4	7,59847E-08
	20	267,76	6,2	33,7	27,5	269682,88	7,4694E-08	23,4	7,59847E-08
	25	335,81	6,2	33,7	27,5	269682,88	7,4447E-08	23,4	7,59847E-08

Incertezas	
u(proveta) (m³)	0,00000025
u(cronômetro) (s)	1
u(réguia) (m)	0,0005
u(h) (m)	0,0005
u(P) (Pa)	5

$$u(P) = g \cdot \rho \cdot u(h)$$

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{u(V)}{t}\right)^2 + \left(\frac{V}{t^2} u(t)\right)^2}$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

Valores utilizados no cálculo da pressão (P) através da expressão  $P = \rho gh$ :

g(m s <sup>-2</sup> )	9,80665
ρ(kg m <sup>-3</sup> )	997,98

% erro  $\eta_{rel}$  ←  
 $\eta_{rel} = \frac{\Delta \theta}{\theta}$   
 clarificar no esquema exp. 1!  
 $\theta$

1 - não mediram o  $\theta$  da água,  
 mas sim  $\theta_{amb}$ !

alg. signif. 10<sup>-8</sup>

$\bar{T} = 24,1^\circ C$  e  $u(\bar{T}) = ?$

24.1

24.4


25.1

24.0

23.7

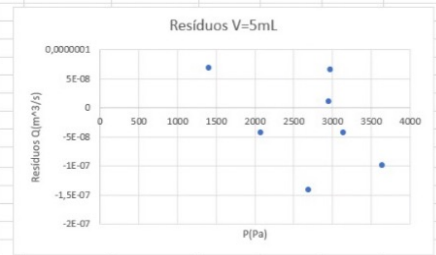
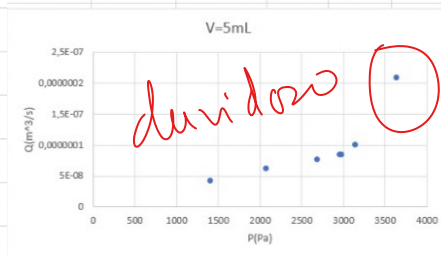
23.4



Tracou-se um gráfico  $Q(P)$  para cada um dos valores do volume.  
 Representou-se também o respetivo ajuste e gráfico de resíduos.  
 Gráfico e/ todos os dados monte nítid e a obter  
 em tempo real  $\Rightarrow$  aparece 1% 

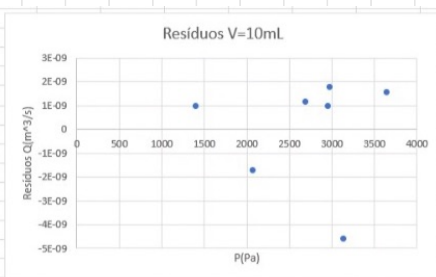
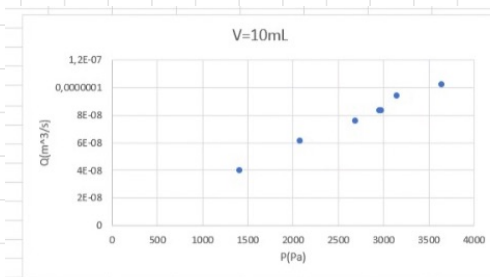
Volume 5mL			
P(Pa)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>aj</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Resíduos (m <sup>3</sup> /s)
3147,93	1,0006E-07	5,6484E-08	-4,3576E-08
2079,01	6,08125E-08	1,7156E-08	-4,36562E-08
1412,16	4,1159E-08	1,0969E-07	6,85331E-08
2981,22	8,33889E-08	1,4902E-07	6,5631E-08
3648,07	2,08333E-07	1,0854E-07	-9,97979E-08
2961,61	8,34168E-08	9,292E-08	9,50329E-09
2696,83	7,61615E-08	-6,6126E-08	-1,42288E-07

m	5,89752E-11	-6,6126E-08	b
u(m)	1,92464E-11	5,3686E-08	u(b)
R^2	0,652524299	3,4915E-08	u(y)



Volume 10 mL			
P(Pa)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>aj</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Resíduos (m <sup>3</sup> /s)
3147,93	9,36593E-08	8,9056E-08	-4,60295E-09
2079,01	6,10352E-08	5,9298E-08	-1,7376E-09
1412,16	3,97931E-08	4,0732E-08	9,39384E-10
2981,22	8,26583E-08	8,4415E-08	1,75676E-09
3648,07	1,01451E-07	1,0298E-07	1,5294E-09
2961,61	8,2905E-08	8,3869E-08	9,64023E-10
2696,83	7,53466E-08	7,6498E-08	1,15098E-09

m	2,784E-11	1,41813E-09	b
u(m)	1,4111E-12	3,93627E-09	u(b)
R^2	0,98731666	2,56001E-09	u(y)

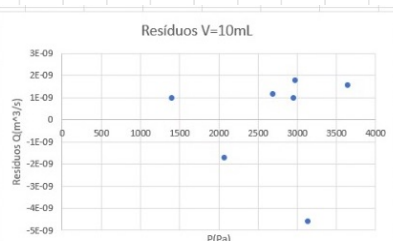
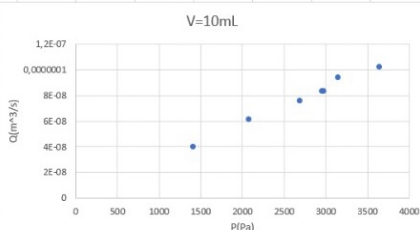


todos os GRÁFICOS e/ falhas de formatação,  
alguns e/ escalas mal escolhidas,  
faltam as linhas de ajuste e as barras de inc

# Volume 15mL

P(Pa)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>aj</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Resíduos (m <sup>3</sup> /s)
3147,93	9,02527E-08	8,8169E-08	-2,08332E-09
2079,01	5,95664E-08	5,8501E-08	-1,06536E-09
1412,16	3,96794E-08	3,9992E-08	3,1289E-10
2981,22	8,32547E-08	8,3542E-08	2,87501E-10
3648,07	1,01571E-07	1,0205E-07	4,79958E-10
2961,61	8,24493E-08	8,2998E-08	5,48537E-10
2696,83	7,4129E-08	7,5649E-08	1,5198E-09

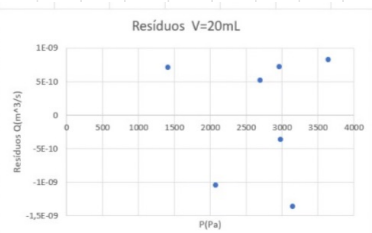
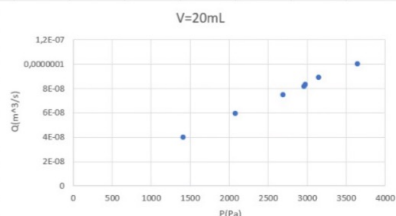
m	2,784E-11	1,41813E-09	b
u(m)	1,4111E-12	3,93627E-09	u(b)
R^2	0,98731666	2,56001E-09	u(y)



# Volume 20mL

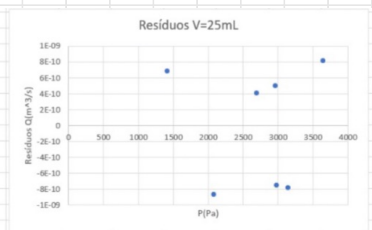
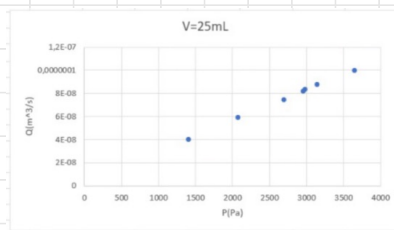
P(Pa)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>aj</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Resíduos (m <sup>3</sup> /s)
3147,935	8,8806E-08	8,74421E-08	-1,36394E-09
2079,01	5,95238E-08	5,84735E-08	-1,05032E-09
1412,158	3,96951E-08	4,04014E-08	7,06214E-10
2981,222	8,32848E-08	8,2924E-08	-3,60719E-10
3648,074	1,0017E-07	1,00996E-07	8,25879E-10
2961,608	8,16727E-08	8,23925E-08	7,19842E-10
2696,829	7,46938E-08	7,52168E-08	5,2304E-10

m	2,784E-11	1,41813E-09	b
u(m)	1,4111E-12	3,93627E-09	u(b)
R^2	0,98731666	2,56001E-09	u(y)



Volume 25mL			
P(Pa)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>aj</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Resíduos (m <sup>3</sup> /s)
3147,935	8,77285E-08	8,6949E-08	-7,79582E-10
2079,01	5,91576E-08	5,82882E-08	-8,69431E-10
1412,158	3,97254E-08	4,0408E-08	6,82624E-10
2981,222	8,32335E-08	8,24789E-08	-7,54533E-10
3648,074	9,95461E-08	1,00359E-07	8,12973E-10
2961,608	8,14518E-08	8,1953E-08	5,01237E-10
2696,829	7,44469E-08	7,48536E-08	4,06713E-10

m	2,68127E-11	2,54425E-09	b
u(m)	4,59641E-13	1,28213E-09	u(b)
R <sup>2</sup>	0,998532806	8,33851E-10	u(y)



A partir do declive da equação  $Q = \frac{\pi R^4}{8L} \eta P$  obtve-se o valor experimental da viscosidade da água ( $\eta$ ) para cada volume.

V(m <sup>3</sup> /s)	$\eta$ exp(Pa s)	$\eta$ ref(24,1°C)	erro(%)
5	5,038E-04	9,11E-04	4,47E+01
10	1,067E-03	9,11E-04	1,72E+01
15	1,071E-03	9,11E-04	1,76E+01
20	1,096E-03	9,11E-04	2,04E+01
25	1,108E-03	9,11E-04	2,17E+01

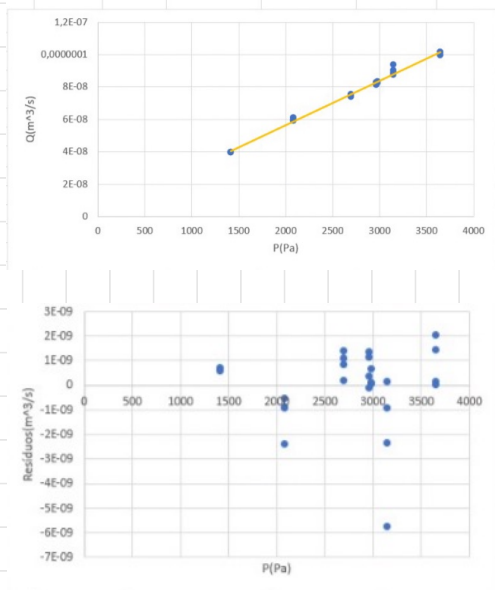
Ao analisar os erros percentuais, conclui-se que estes são valores bastante significativos, o que revela pouca exatidão.

O erro relativo ao volume de 5m<sup>3</sup>/s deve-se às gotas de água que se acumulavam inevitavelmente nas paredes da proveta.

Decidiu-se diminuir a gama experimental ao retirar os valores relativos ao volume 5 m<sup>3</sup>/s e realizou-se um novo ajuste.

onde está o registo em aula?  
dessas observações?

O gráfico obtido foi o seguinte:



m	2,73772E-11	1,72267E-09	b
u(m)	4,28696E-13	1,19581E-09	u(b)
R <sup>2</sup>	0,993665156	1,55543E-09	u(y)

A partir do declive do ajuste linear, de forma análoga à anteriormente apresentada, determina-se a viscosidade ( $\eta$ ) e o erro relativo percentual correspondente.

$\eta \text{ exp (Pa s)}$	$\eta \text{ ref (24,1°C)}$	erro(%)
1,085E-03	9,11E-04	1,92E+01

→ Conclusão

Através dos declives dos ajustes lineares dos gráficos  $Q(P)$ , determinou-se o coeficiente de viscosidade da água ( $\eta$ ) a 24,1°C para diferentes volumes e para o valor médio.

O coeficiente de viscosidade correspondente ao ajuste final tem o valor de 0,0011 Pa s e apresenta um erro de 19,2% em relação ao valor tabelado.

Os valores experimentais foram precisos (exceto os da gama de  $V=5 \text{ mL}$ ), no entanto foram pouco exatos, como é possível concluir a partir do erro demasiado significativo obtido.