

Determinação do coeficiente de viscosidade da água pela lei de Poiseuille

13.5

Diogo Manuel Santos Baptista

Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

05 de Março de 2020

Basta %, inc, % erro e juízo de valor
com eventual justificação / comentário

Demasiado longo!

Resumo

O objetivo deste trabalho foi para determinar o coeficiente de viscosidade da água pela lei de Poiseuille por dois métodos diferentes, um pela dependência linear do caudal em função da pressão, ao longo de diferentes ensaios e outro pelo cálculo do caudal referente a cada ensaio. O valor obtido para a viscosidade da água no primeiro método foi $\eta = 1,10 \text{E-}03 \pm 5,9 \text{E-}05 \text{ Pa.s}$, usando a reta de caudal médio em função da temperatura, para uma temperatura de 24°C, este resultado tem um erro pouco satisfatório de 21,1%. No segundo método a viscosidade calculada, referente a cada ensaio tem erros entre os 11,3% e 17,5%, de novo mostrando uma alta percentagem de erro, a sua média de resultados retirando o primeiro ensaio é de $\eta = 1,106 \text{E-}03 \pm 5,4 \text{E-}05 \text{ Pa.s}$ com um erro de 16,4%

Estes resultados desviam-se consideravelmente do valor de referência, isto poderá ser devido à má leitura ou mau uso do termómetro usado durante a experiência o que levou a várias flutuações de temperatura registadas durante a experiência, isto deve ser evitado medindo diretamente a temperatura da água durante a coleta de dados, já que a inércia térmica do ar é menor comparativamente à da água.

A consistência dos dados do experimento sugerem que o desvio não seja devido ao às medidas efetuadas pelos estudantes relativamente ao volume e tempo ou ao seu registo durante o desenvolvimento da experiência.

$\eta \pm 6 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$

?!
erro por excesso ou defeito?

1 Introdução

1.1 Objetivo

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

1.2 Introdução Teórica

~~Para o funcionamento desta experiência~~ utilizamos a água devido a ser um líquido de baixa viscosidade esta vai correr ao longo de um tubo horizontal, dentro deste vamos ter secções de diferentes velocidades no fluido devido ao atrito causado entre o tubo e a água, as zonas mais afastadas do centro terão uma velocidade inferior. O decréscimo de velocidades entre o centro do tubo até à parede é parabólico.

O caudal e a velocidade estão relacionados pela expressão da Lei de Poiseuille:

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

Temos que R é o raio do tubo, l é o seu comprimento, P é a diferença de pressão nas suas extremidades e η será o coeficiente de viscosidade.

Em ordem ao coeficiente de viscosidade:

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

1.2.1 Viscosidade

A viscosidade é uma propriedade partilhada por todos os fluídos que caracteriza a sua resistência ao escoamento, isto acontece devido às tensões tangenciais que ocorrem devido ao movimento relativo entre átomos ou moléculas, a intensidade de interação entre estes causa a variação de viscosidade entre diferentes fluídos.

O coeficiente de viscosidade é representado por $\eta(T)$, este é dependente da temperatura pois a agitação dos corpúsculos influencia a viscosidade do fluido. Com o aumento da temperatura e, por sua vez, o aumento da agitação destas partículas irá haver maior energia cinética nas mesmas diminuindo a eficácia das ligações entre elas.

A água é o fluido de referência para a determinação deste coeficiente para o resto dos outros fluidos.

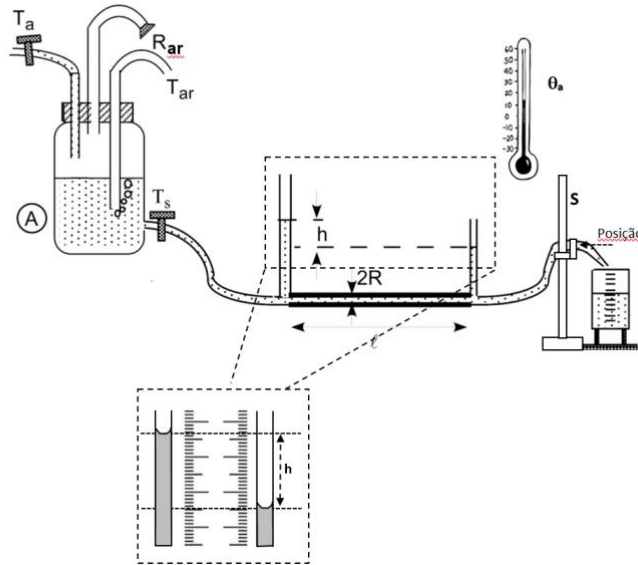
↑↑ organização do texto parece uma manta de retalhos com pedaços de texto "colados" a outros

braveiro? <

2 Montagem Experimental

A figura 1 é o esquema da montagem experimental usada no experimento, imagem retirada do protocolo:

experiência



referências?

Figura 1: Montagem experimental do método de Poiseuille

2.1 Execução

A água dentro do depósito encontra-se em equilíbrio térmico

O depósito A é cheio algumas horas antecedendo à experiência tirando a rolha Rar e abrindo a torneira Ta e fixado a uma altura constante, tendo assim uma pressão constante na entrada do tubo.

A rolha Rar deve estar devidamente vedada com uma gordura própria.

Um tubo Tar garante a pressão dentro do depósito seja constante.

Abrindo a torneira Ts aguardamos que dentro do tubo haja um regime estacionário de fluxo, isto acontece quando houver bolhas de ar dentro do depósito vinda de Tar, como demonstrado na Figura 1.

A pressão de saída vai ser a pressão atmosférica acrescida com a diferença de alturas entre a posição no suporte S e a altura do depósito, esta diferença é medida por h, diferença de altura da água nos tubos verticais.

Assim para a diferença de pressão temos a expressão:

$$P = \rho gh$$

com o ar ambiente
(verificaram?)

Propag. de inc p/ Q , \bar{Q} ?

onde ρ é a densidade da água, g a aceleração gravítica e h a diferença de alturas medida.

O caudal (Q) é calculado pelo volume (V) que passa numa superfície por unidade de tempo (t) tendo assim:

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

Os gráficos também são figuras!

3 ~~Registo e~~ ~~Análise e tratamento~~ de dados

Durante a experiência foram registados em tabela os resultados representados no apêndice A, durante o tempo de realização do experimento a temperatura registada através de um termómetro digital, sendo todos estes dados registados na tabela no anexo A.

O gráfico 1 mostra os resultados experimentais conseguidos durante a aula:

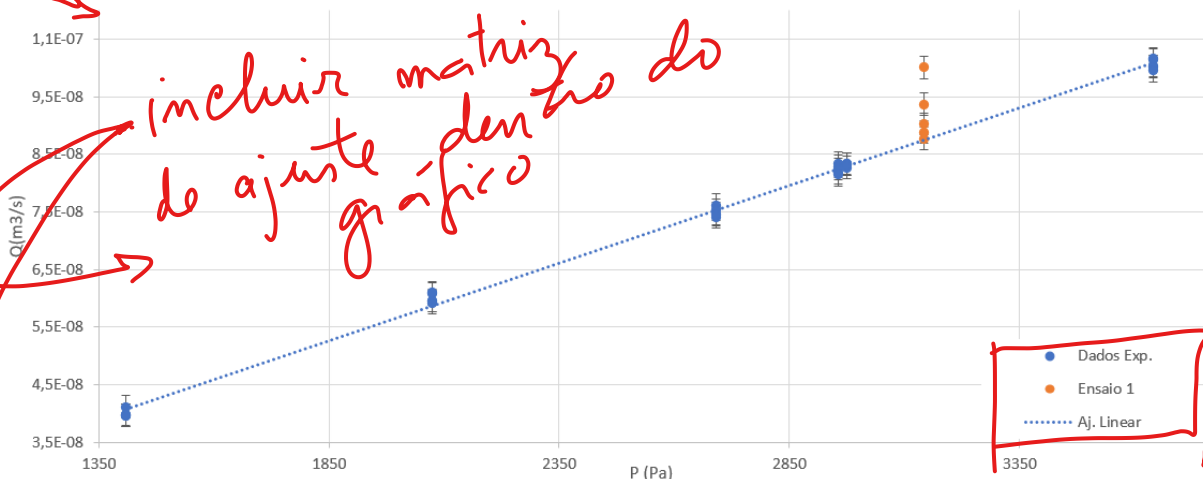


Gráfico 1: Dados experimentais

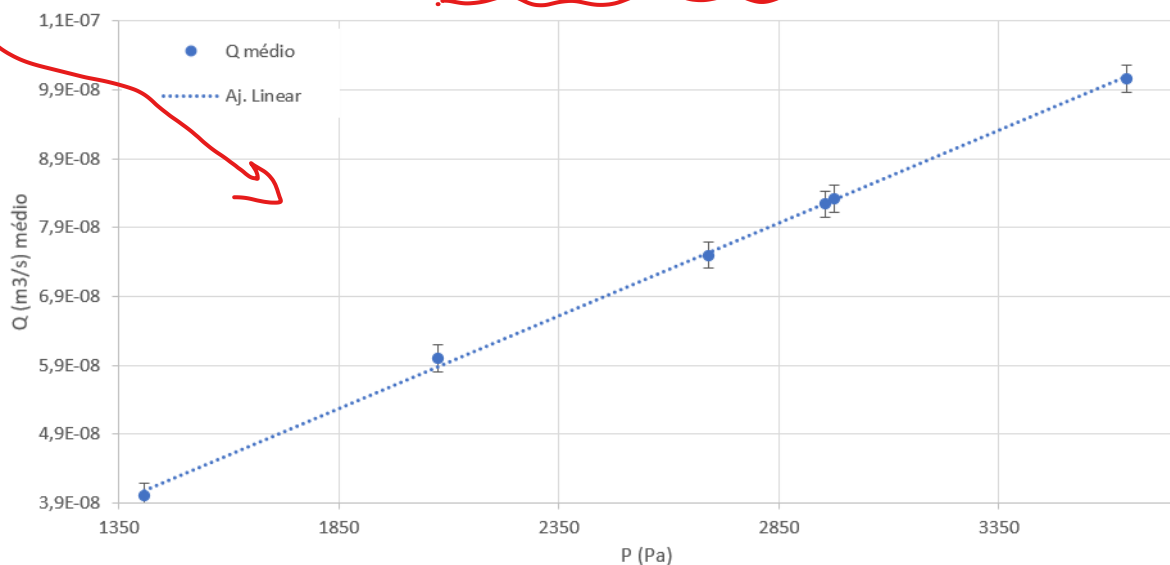


Gráfico 2: Média dos caudais dos ensaios em função da pressão

O ajuste c/ todos os dados não interessa aqui!
 Basta o que diz respeito aos valores médios de Q.

A laranja temos os dados registados no primeiro ensaio o qual foi retirado devido á sua dispersão de valores. O ajuste linear é referente ao resto dos pontos.

O resto deve ficar em apêndice

Matriz de Ajuste Geral			
m	2,7E-11	2,9E-09	b
s(m)	2,5E-13	6,7E-10	s(b)
r2	0,998	9,6E-10	s(y)

Tabela 1: Matriz referente a todos os dados experimentais considerados

Temos que m é o declive da reta, a razão entre caudal (Q) e Pressão (P).

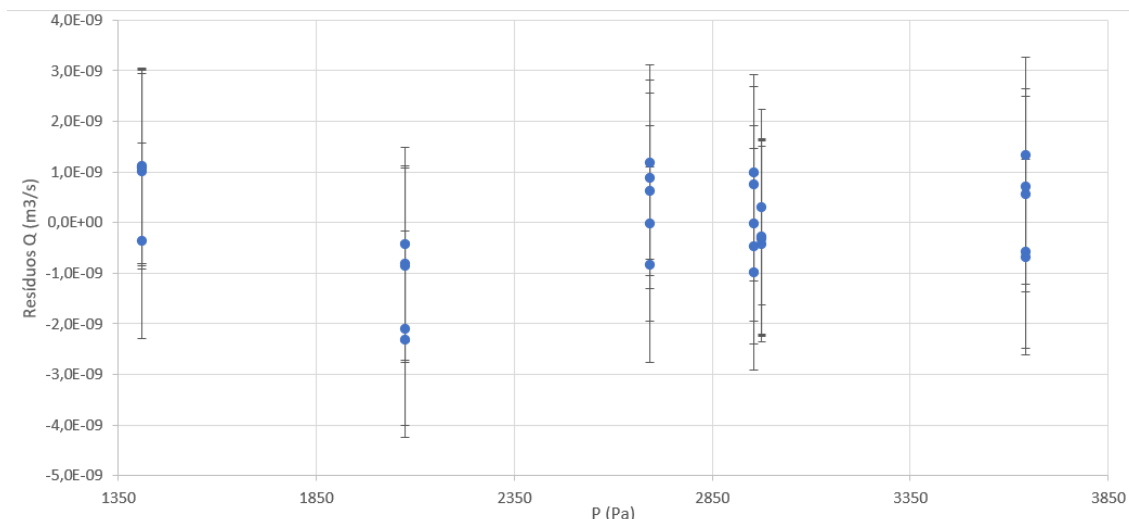


Gráfico 3: Resíduos dos ensaios considerados em função da Pressão

Nos últimos gráficos temos barras de erro calculada pela matriz de ajuste, sendo $u(s(y)) = 2 \cdot s(y)$.

Fez-se também de seguida e com uma construção de uma nova tabela, também no apêndice A, a separação e reorganização dos dados em termos dos volumes medidos.

O gráfico seguinte mostra os dados experimentais Vn em que n é o valor em ml medido na proveta.

→ colocadas no local errado! A serem indicadas, é na "linha do zero" do gráfico de resíduos e na linha de ajuste em Q(P)

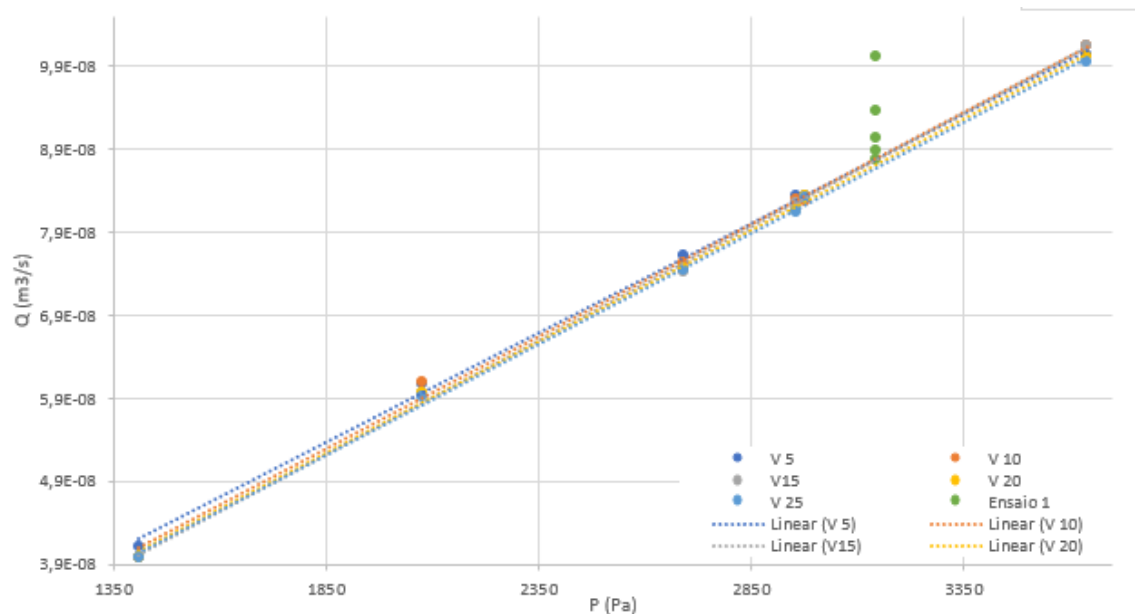


Gráfico 4: Tendência de Q/P para cada Vn

Com este novo gráfico vemos que a razão entre caudal (Q) e pressão (P) manteve-se próximo ao longo da experiência, dando assim uma maior certeza em relação aos dados obtidos.

Procedeu-se também à análise gráfica dos resultados e dos respetivos ajustes conforme os volumes escolhidos.

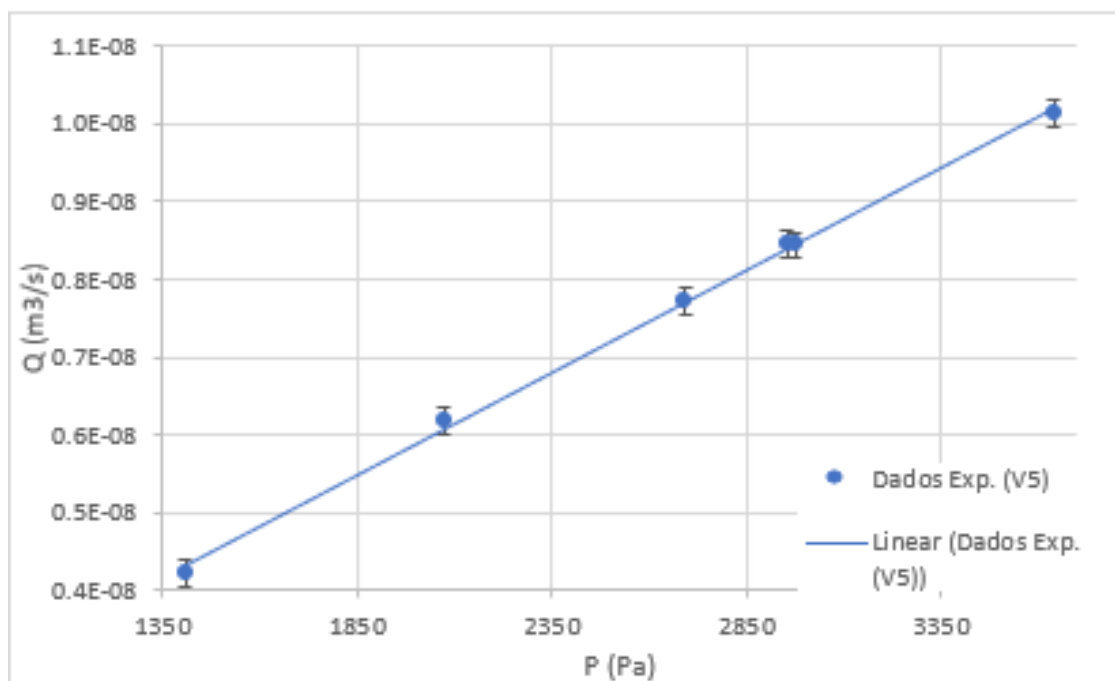


Gráfico 5: Caudal em função de pressão para V=5ml

Em cada \bar{Q}_{exp} , deve ser indicada a barra de inc. exp. associada (eventualmente \neq de ponto para ponto)

Gráfico
mal
formatado

Matriz de Ajuste V5			
m	2,6E-11	4,9E-09	b
s(m)	4,9E-13	1,3E-09	s(b)
r2	1,00	8,6E-10	s(y)

alg? signif. errados

Tabela 2: Matriz de Ajuste referente a V=5ml

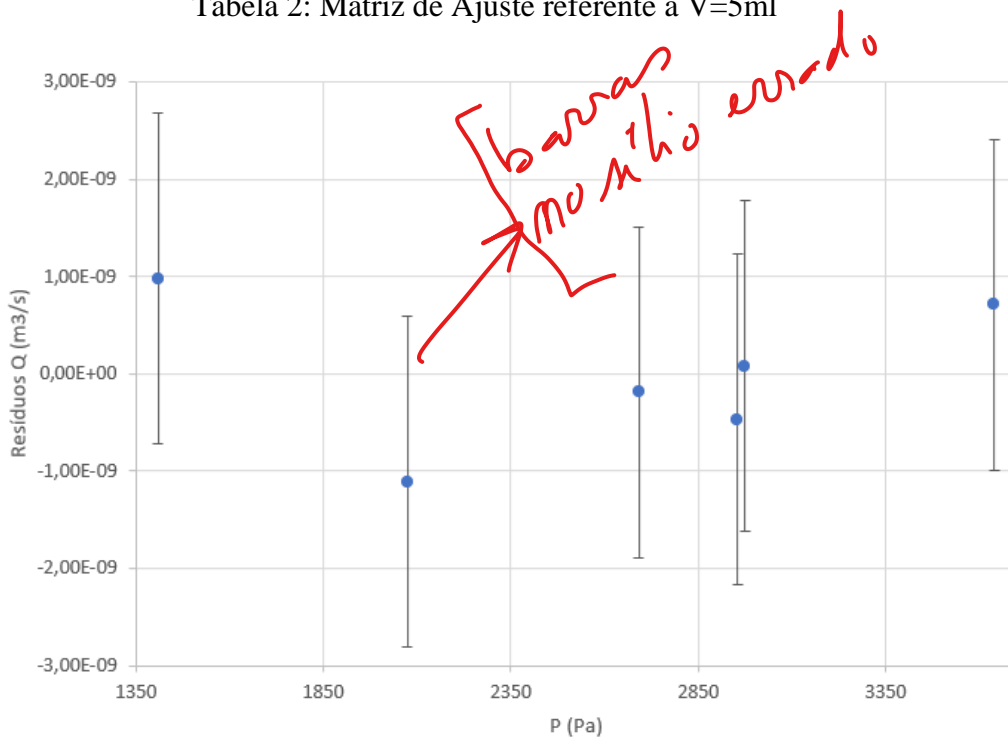


Gráfico 6: Gráfico de resíduos referente a V=5ml

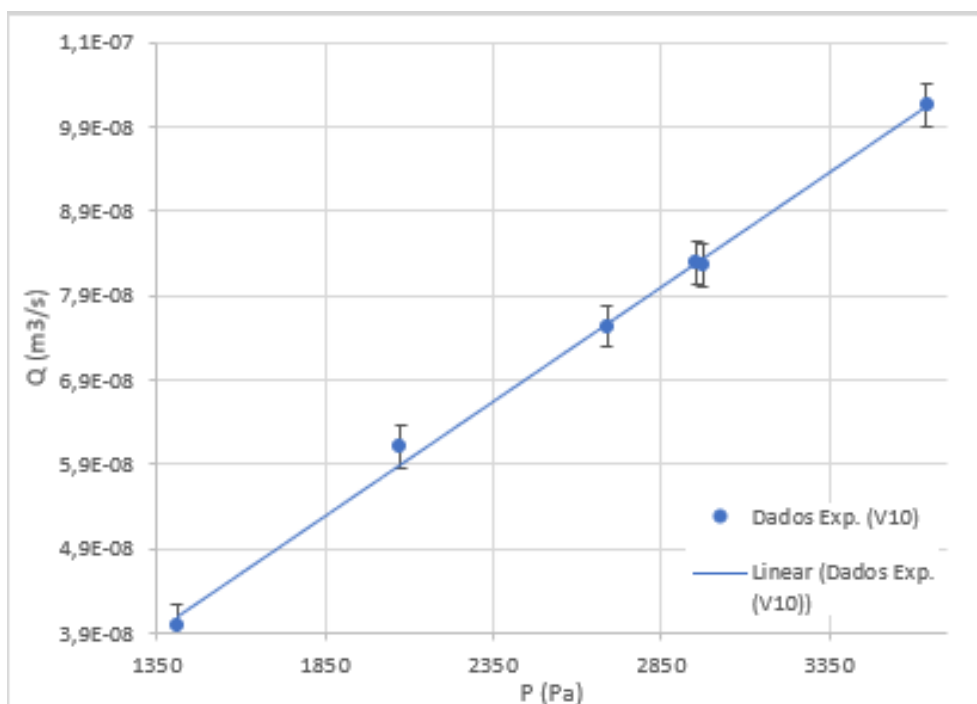


Gráfico 7: Caudal em função de pressão para V=10ml

em apêndice

Matriz de Ajuste V10			
m	2,7E-11	2,7E-09	b
s(m)	7,1E-13	1,9E-09	s(b)
r2	0,997	1,2E-09	s(y)

Tabela 3: Matriz de Ajuste referente a V=10ml

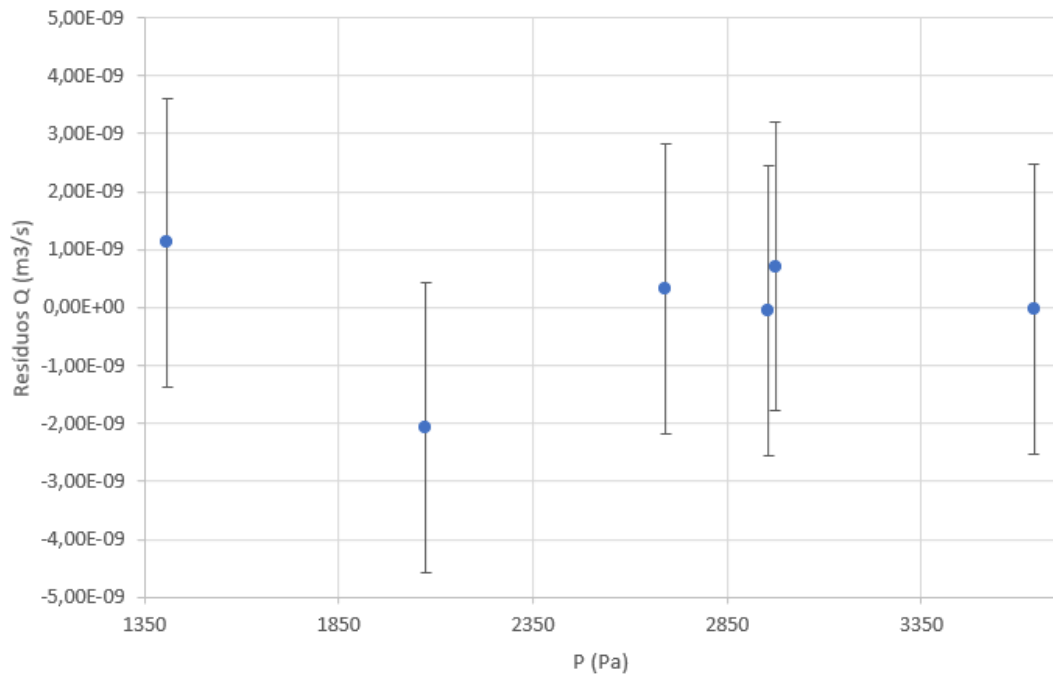


Gráfico 8: Gráfico de resíduos referente a V=10ml

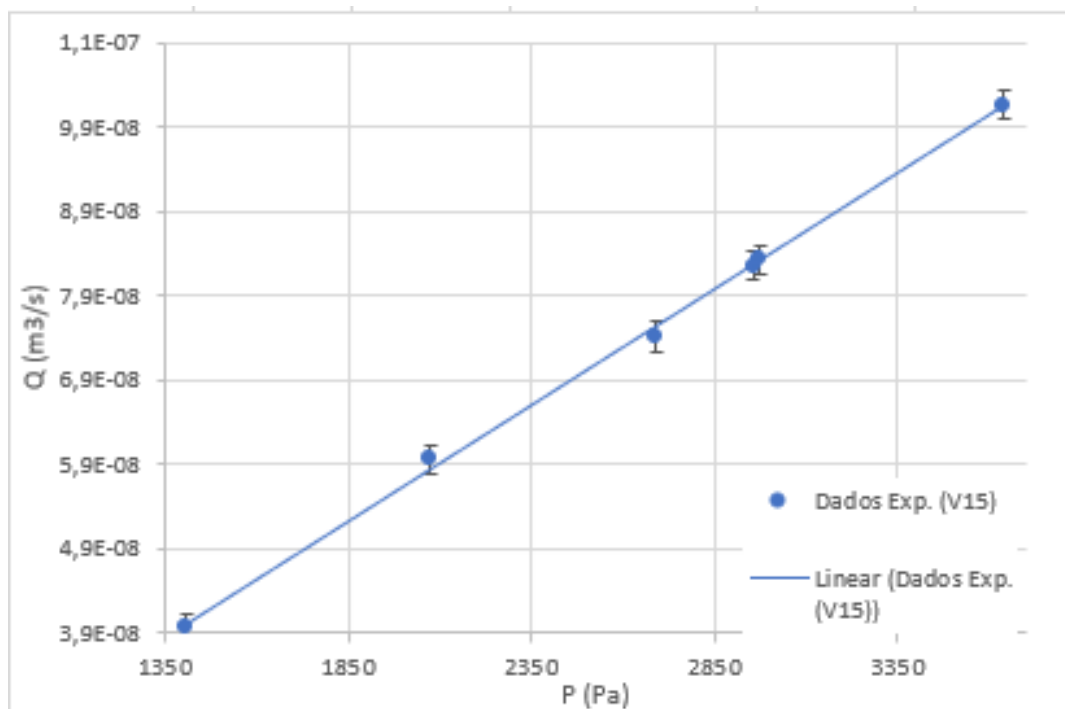


Gráfico 9: Caudal em função de pressão para V=15ml

Matriz de Ajuste V15			
m	2,7E-11	1,4E-09	b
s(m)	5,0E-13	1,4E-09	s(b)
r2	0,999	8,7E-10	s(y)

Tabela 4: Matriz de Ajuste referente a V=15ml

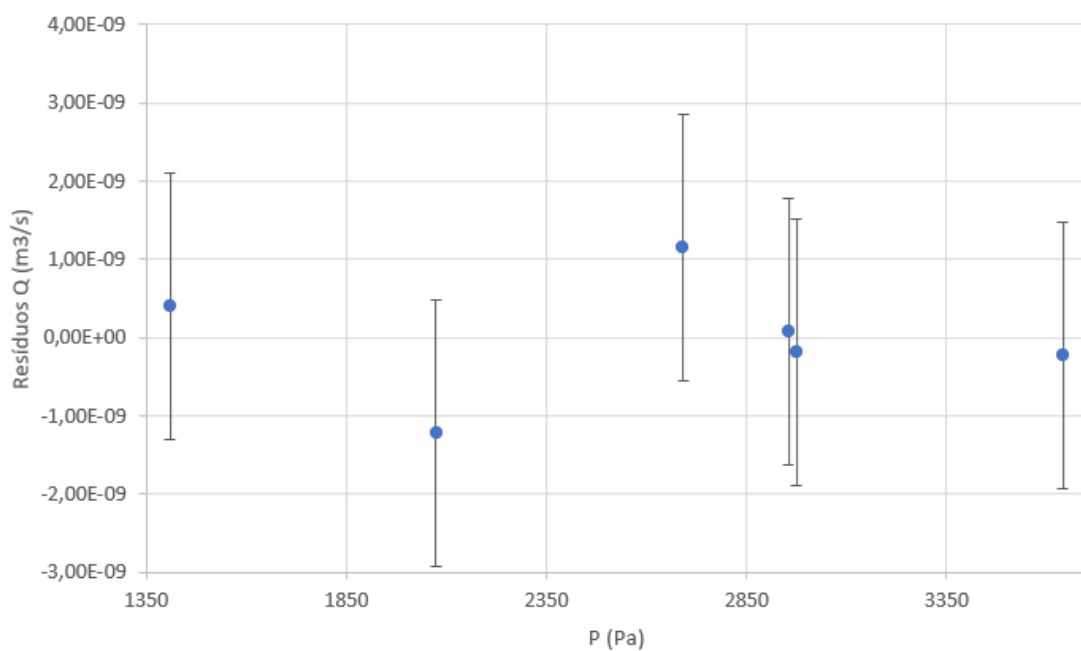


Gráfico 10: Gráfico de resíduos referente a V=15ml

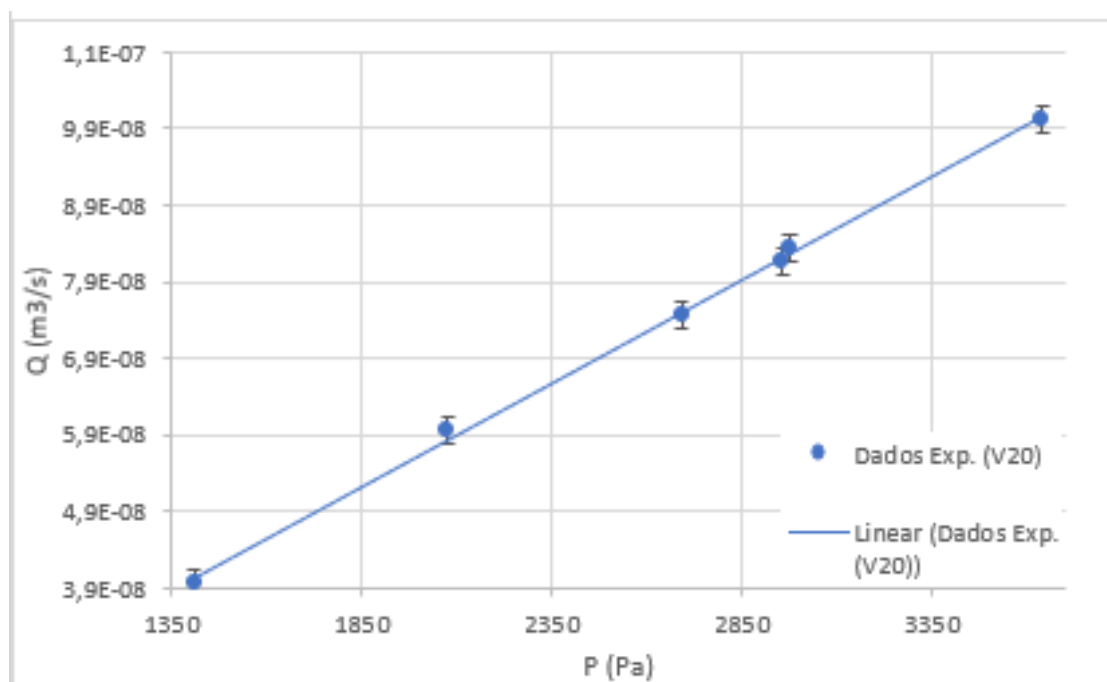


Gráfico 11: Caudal em função de pressão para V=20ml

Matriz de Ajuste V20			
m	2,7E-11	2,5E-09	b
s(m)	4,7E-13	1,3E-09	s(b)
r2	0,999	8,3E-10	s(y)

Tabela 5: Matriz de Ajuste referente a V=20ml

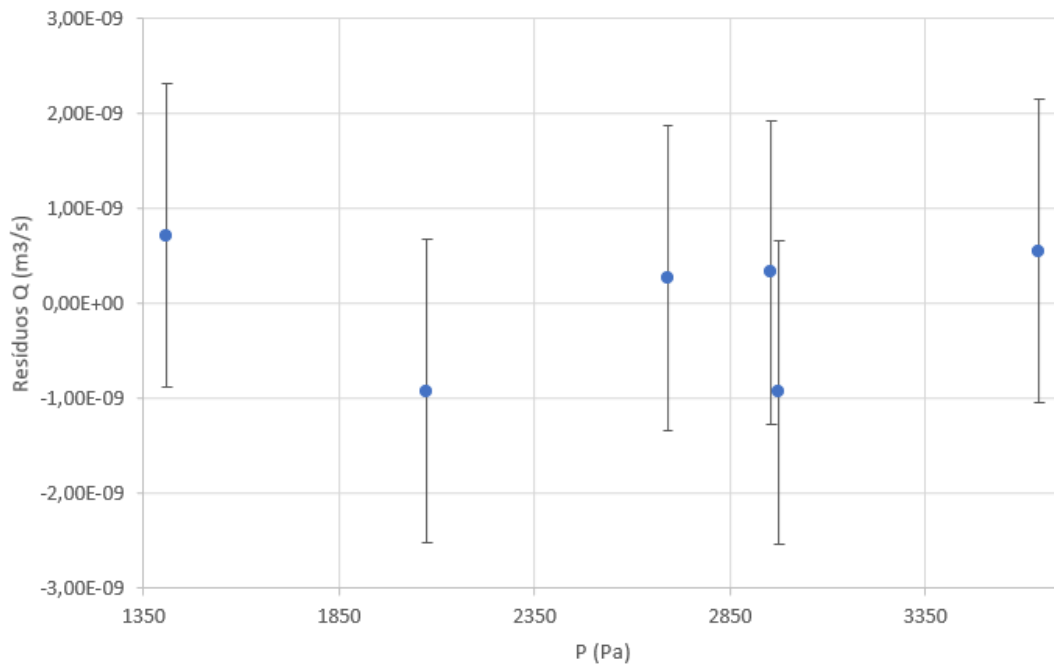


Gráfico 12: Gráfico de resíduos referente a V=20ml

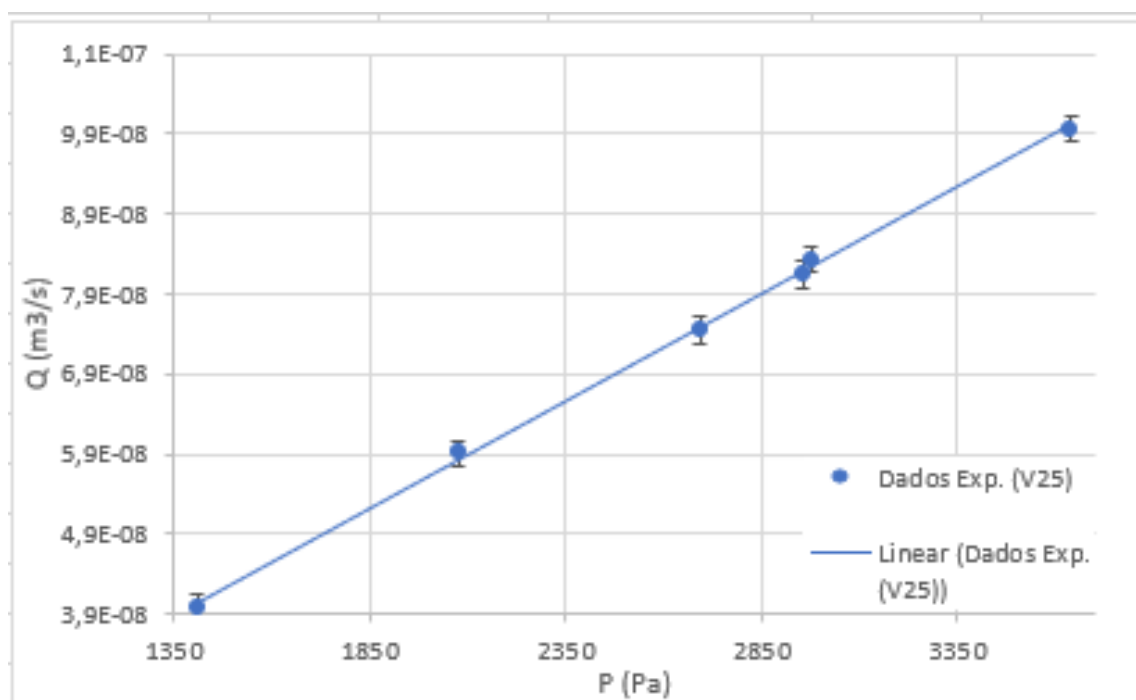


Gráfico 13: Caudal em função de pressão para V=25ml

Matriz de Ajuste V25			
m	2,7E-11	2,8E-09	b
s(m)	4,7E-13	1,3E-09	s(b)
r2	0,999	8,2E-10	s(y)

Tabela 6: Matriz de Ajuste referente a V=25ml

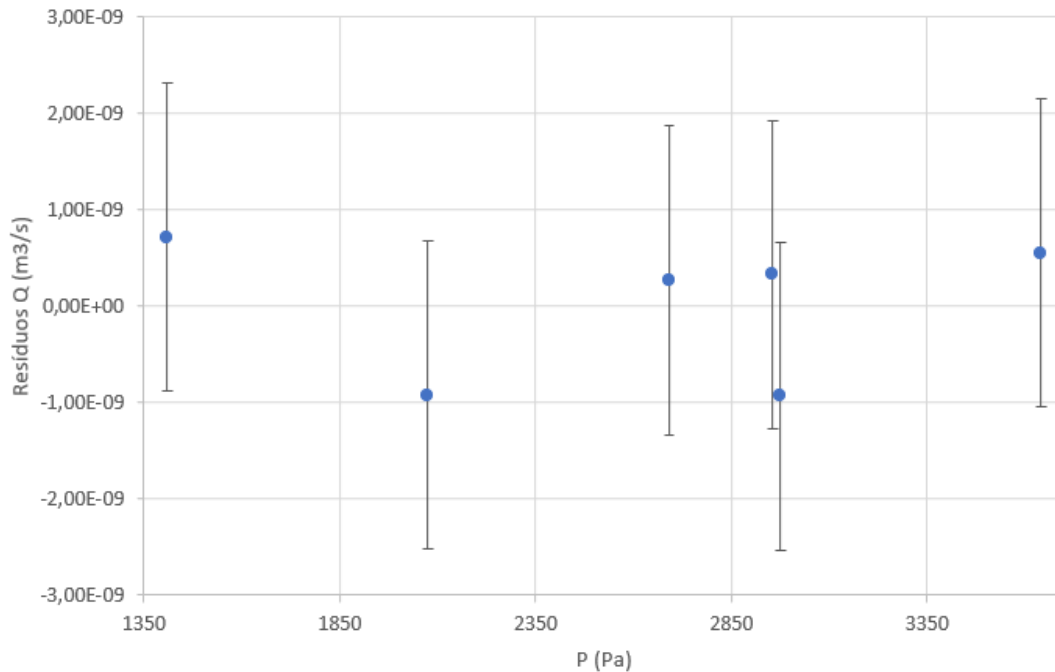


Gráfico 14: Gráfico de resíduos referente a V=25ml

3.1 Resultados obtidos

3.1.1 Organizado por volume

Recorrendo à equação do coeficiente de viscosidade em função do caudal e pressão podemos usar os dados anteriores para calcular a viscosidade da água.

Utilizando **m** das matrizes de ajuste como a razão entre caudal e pressão ($m=Q/P$) podemos reescrever a função da seguinte maneira:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8lm}$$

Os valores de $R (=3,96E-4 \pm 5E-6 \text{ m})$ e $l (=3,25E-1 \pm 5E-4 \text{ m})$ estão numa tabela no apêndice B com as respetivas incertezas.

Com isto temos podemos calcular a viscosidade da água, o que para 24°C é igual a $9,11E-4$, usando este valor como referência temos:

	η	$u(\eta)$	$u(\eta)(\%)$	Er (%)
$V_{\text{médio}}$	1,10E-03	5,7E-05	5,1E+00	21,1
$V=5\text{cm}^3$	1,13E-03	6,1E-05	5,4E+00	23,6
$V=10\text{cm}^3$	1,10E-03	6,2E-05	5,7E+00	20,3
$V=15\text{cm}^3$	1,08E-03	5,8E-05	5,4E+00	18,8
$V=20\text{cm}^3$	1,10E-03	5,9E-05	5,3E+00	21,1
$V=25\text{cm}^3$	1,11E-03	5,9E-05	5,4E+00	22,0

Tabela 7: Valores de viscosidade da água obtidos com erro referente a 24°C

Esta temperatura foi a média resultante das flutuações medidas dentro da sala de aula medidos no termómetro ao longo do período em que a experiência ocorreu, se estes valores são para ser levados em consideração então temos resultados pobres e longe do objetivo.

Mas as diferenças relativas entre os resultados das viscosidades são bastante próximas e consistentes o que leva a querer que ocorreu um erro não na medição de volumes e tempo mas durante a medição de temperatura.

Tomando como referência outros valores de viscosidade para temperaturas diferentes ($\eta(17^\circ\text{C}) = 1,081E-3$ e $\eta(20^\circ\text{C}) = 1,003E-3$), temos os seguintes resultados:

	η	$u(\eta)$	$u(\eta)(\%)$	Er (%)
$V_{\text{médio}}$	1,10E-03	5,7E-05	5,1E+00	2,1
$V=5\text{cm}^3$	1,13E-03	6,1E-05	5,4E+00	4,1
$V=10\text{cm}^3$	1,10E-03	6,2E-05	5,7E+00	1,4
$V=15\text{cm}^3$	1,08E-03	5,8E-05	5,4E+00	0,1
$V=20\text{cm}^3$	1,10E-03	5,9E-05	5,3E+00	2,1
$V=25\text{cm}^3$	1,11E-03	5,9E-05	5,4E+00	2,8

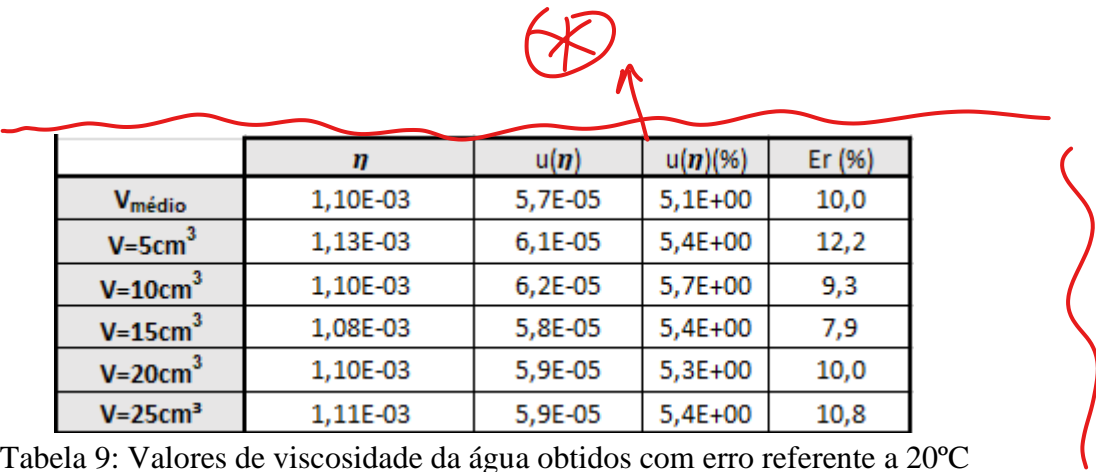
Tabela 8: Valores de viscosidade da água obtidos com erro referente a 17°C

opção errada! Deve considerar a gama de valores efetiva de η

na gama de θ_a medida

Fa-lo mais adiante!

alg. signif. errados (*)




	η	$u(\eta)$	$u(\eta)(\%)$	Er (%)
$V_{\text{médio}}$	1,10E-03	5,7E-05	5,1E+00	10,0
$V=5\text{cm}^3$	1,13E-03	6,1E-05	5,4E+00	12,2
$V=10\text{cm}^3$	1,10E-03	6,2E-05	5,7E+00	9,3
$V=15\text{cm}^3$	1,08E-03	5,8E-05	5,4E+00	7,9
$V=20\text{cm}^3$	1,10E-03	5,9E-05	5,3E+00	10,0
$V=25\text{cm}^3$	1,11E-03	5,9E-05	5,4E+00	10,8

Tabela 9: Valores de viscosidade da água obtidos com erro referente a 20°C


3.1.2 Organizado por ensaio

Recorrendo ao segundo método de avaliação da experiência foi avaliado o caudal referente a cada ensaio e comparado ao valor de viscosidade respetivo para a temperatura durante o ensaio.



Ensaio	$T_{\text{ref}}(^{\circ}\text{C})$	$\text{ref}(\eta)$	η	$u(\eta)$	$u(\eta)(\%)$	Er (%)
Totais	24,0	9,11E-04	1,06E-03	5,4E-05	5,05	16,43
1	24,1	9,11E-04	1,01E-03	5,2E-05	5,12	11,26
2	24,4	9,01E-04	1,03E-03	5,3E-05	5,15	14,00
3	25,1	8,91E-04	1,05E-03	5,3E-05	5,05	17,47
4	24,0	9,11E-04	1,06E-03	5,4E-05	5,05	16,69
5	23,7	9,17E-04	1,08E-03	5,4E-05	5,05	17,32
6	23,4	9,22E-04	1,07E-03	5,4E-05	5,05	15,63
7	23,4	9,22E-04	1,07E-03	5,4E-05	5,05	15,72

Tabela 10: Resultados experimentais organizados por ensaio



Ensaio	$T_{\text{ref}}(20^{\circ}\text{C})$	$\text{ref}(\eta)$	η	$u(\eta)$	$u(\eta)(\%)$	Er (%)
Totais	20,0	1,00E-03	1,06E-03	5,4E-05	5,05	5,75
1	20,0	1,00E-03	1,01E-03	5,2E-05	5,12	1,05
2	20,0	1,00E-03	1,03E-03	5,3E-05	5,15	2,41
3	20,0	1,00E-03	1,05E-03	5,3E-05	5,05	4,35
4	20,0	1,00E-03	1,06E-03	5,4E-05	5,05	5,98
5	20,0	1,00E-03	1,08E-03	5,4E-05	5,05	7,20
6	20,0	1,00E-03	1,1E-03	5,4E-05	5,05	6,29
7	20,0	1,00E-03	1,1E-03	5,4E-05	5,05	6,37

Tabela 11: Resultados experimentais com η de referência $T=20^{\circ}\text{C}$

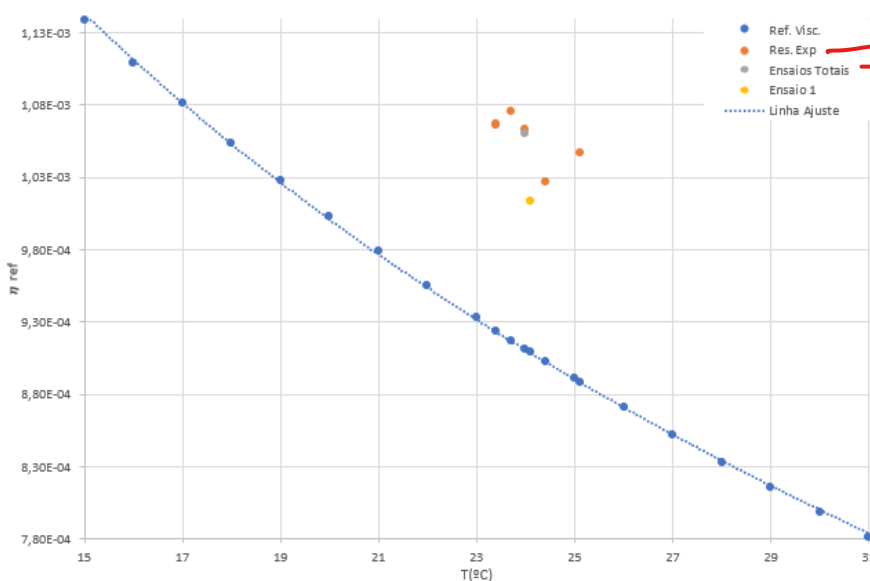
Ensaio	T _{ref} (17°C)	ref(η)	η	u(η)	u(η)(%)	Er (%)
Totais	17,0	1,08E-03	1,06E-03	5,4E-05	5,05	1,88
1	17,0	1,08E-03	1,01E-03	5,2E-05	5,12	6,24
2	17,0	1,08E-03	1,03E-03	5,3E-05	5,15	4,98
3	17,0	1,08E-03	1,05E-03	5,3E-05	5,05	3,18
4	17,0	1,08E-03	1,06E-03	5,4E-05	5,05	1,66
5	17,0	1,08E-03	1,08E-03	5,4E-05	5,05	0,54
6	17,0	1,08E-03	1,1E-03	5,4E-05	5,05	1,38
7	17,0	1,08E-03	1,1E-03	5,4E-05	5,05	1,30



Tabela 12: Resultados experimentais com η de referência T=17°C

De novo recorreu-se a comparação dos valores obtidos com os valores de referência de 17°C e 20°C reparando uma significativa mudança no valor dos erros.

De seguida construi-se um gráfico com os valores de referência da viscosidade em função da temperatura juntamente com os dados obtidos na experiência.



→ nomes pouco esclarecedores

Gráfico 15: η de referência em função da temperatura

Aqui vê-se o problema com os resultados experimentais e a falta de exatidão obtida nestes mesmos, existe uma aleatoriedade nos dados experimentais provando a medição inconsistente e inadequada da temperatura tendo em mente os resultados acima que referem à consistência das medições de volume e tempo.

referência do dado η_{ref} ?

4 Resultado final

Temos assim um valor para o coeficiente de viscosidade.

Para a primeira parte o valor calculado foi:

$$\eta(24^{\circ}\text{C}) = 1,10\text{E-}03 \pm 5,9\text{E-}05 \text{ Pa.s com um erro de } 21,1\%.$$

Na segunda parte obteve-se:

$$\eta(24^{\circ}\text{C}) = 1,06\text{E-}03 \pm 5,4\text{E-}05 \text{ Pa.s com um erro de } 16,4\%.$$

% inc?

5 Conclusão

Com este trabalho foi-nos possível determinar o coeficiente de viscosidade da água através da Lei de Poiseuille tendo obtido o valor na segunda parte da experiência de $1,106\text{E-}03 \pm 5,4\text{E-}05 \text{ Pa.s}$ para uma temperatura de 24°C , este resultado foi muito pouco satisfatório tendo um erro de $16,4\%$, sendo o valor da primeira parte ainda mais longe do objetivo com um erro de $21,1\%$.

Este erro deveu-se à falha da medição correta da temperatura, esta devia ter sido medida na água diretamente, pois a variação de temperatura na sala varia bastante ao longo do tempo, sendo a inércia térmica da água menor que a do ar as flutuações de temperatura serão menores na água.

Comparando os erros nas tabelas, o método de medição da viscosidade de volume por volume provou ter o menor erro do que usando volume médio.

*Só interessa o
obtido
c/ aje. em
 $\overline{Q}(P)$*

6 Referências

1. Apontamentos de Laboratório de Física II, Departamento de Física e Astronomia.
2. Passeidireto [online] [6 de Março de 2023]
<https://www.passeidireto.com/arquivo/47833754/tabela-de-viscosidade-dinamica-da-agua>

Apêndice A

ensaios	Vh20(ml^3)	Vh20(m^3)	t(s)	hmin(cm)	hmáx(cm)	Δh (cm)	P(Pa)	Q(m³/s)	Q (x 10 ⁻⁸ m³/s)	u(Q) (m³/s)	u(Q) (x10 ⁻⁸ m³/s)	Q _u (m³/s)	Resíduos (m³/s)	(T±0,5)(°C)	<Q>
1	5	0,000005	49,97	1,3	33,4	32,1	3141,58	1,0006E-07	10,01	5,39E-09	0,54	8,7E-08	-1,3E-08	24,1	9,2E+00
	10	0,00001	106,77	1,3	33,4	32,1	3141,58	9,36593E-08	9,37	2,50E-09	0,25	8,7E-08	-6,2E-09	24,1	
	15	0,000015	166,2	1,3	33,4	32,1	3141,58	9,02527E-08	9,03	1,60E-09	0,16	8,7E-08	-2,8E-09	24,1	
	20	0,00002	225,21	1,3	33,4	32,1	3141,58	8,8806E-08	8,88	1,18E-09	0,12	8,7E-08	-1,4E-09	24,1	
	25	0,000025	284,97	1,3	33,4	32,1	3141,58	8,77285E-08	8,77	9,30E-10	0,09	8,7E-08	-2,8E-10	24,1	
2	5	0,000005	82,22	13,4	34,6	21,2	2074,81	6,08125E-08	6,08	3,13E-09	0,31	5,9E-08	-2,1E-09	24,4	6,0E-08
	10	0,00001	163,84	13,4	34,6	21,2	2074,81	6,10352E-08	6,10	1,57E-09	0,16	5,9E-08	-2,3E-09	24,4	
	15	0,000015	251,82	13,4	34,6	21,2	2074,81	5,95664E-08	5,96	1,02E-09	0,10	5,9E-08	-8,4E-10	24,4	
	20	0,00002	336	13,4	34,6	21,2	2074,81	5,95238E-08	5,95	7,65E-10	0,08	5,9E-08	-8,0E-10	24,4	
	25	0,000025	422,6	13,4	34,6	21,2	2074,81	5,91576E-08	5,92	6,08E-10	0,06	5,9E-08	-4,3E-10	24,4	
3	5	0,000005	121,48	20,9	35,3	14,4	1409,31	4,1159E-08	4,12	2,09E-09	0,21	4,1E-08	-3,5E-10	25,1	4,0E-08
	10	0,00001	251,3	20,9	35,3	14,4	1409,31	3,97931E-08	3,98	1,01E-09	0,10	4,1E-08	1,0E-09	25,1	
	15	0,000015	378,03	20,9	35,3	14,4	1409,31	3,96794E-08	3,97	6,70E-10	0,07	4,1E-08	1,1E-09	25,1	
	20	0,00002	503,84	20,9	35,3	14,4	1409,31	3,96951E-08	3,97	5,02E-10	0,05	4,1E-08	1,1E-09	25,1	
	25	0,000025	629,32	20,9	35,3	14,4	1409,31	3,97254E-08	3,97	4,02E-10	0,04	4,1E-08	1,1E-09	25,1	
4	5	0,000005	59,96	3,2	33,6	30,4	2975,2	8,33889E-08	8,34	4,40E-09	0,44	8,3E-08	-4,2E-10	24	8,3E-08
	10	0,00001	120,98	3,2	33,6	30,4	2975,2	8,26583E-08	8,27	2,18E-09	0,22	8,3E-08	3,1E-10	24	
	15	0,000015	180,17	3,2	33,6	30,4	2975,2	8,32547E-08	8,33	1,46E-09	0,15	8,3E-08	-2,9E-10	24	
	20	0,00002	240,14	3,2	33,6	30,4	2975,2	8,32848E-08	8,33	1,10E-09	0,11	8,3E-08	-3,2E-10	24	
	25	0,000025	300,36	3,2	33,6	30,4	2975,2	8,32335E-08	8,32	8,77E-10	0,09	8,3E-08	-2,7E-10	24	
5	5	0,000005	49,84	9,6	46,8	37,2	3640,7	1,00321E-07	10,03	5,40E-09	0,54	1,0E-07	5,6E-10	23,7	1,0E-07
	10	0,00001	98,57	9,6	46,8	37,2	3640,7	1,01451E-07	10,15	2,74E-09	0,27	1,0E-07	-5,7E-10	23,7	
	15	0,000015	147,68	9,6	46,8	37,2	3640,7	1,01571E-07	10,16	1,83E-09	0,18	1,0E-07	-6,9E-10	23,7	
	20	0,00002	199,66	9,6	46,8	37,2	3640,7	1,0017E-07	10,02	1,35E-09	0,13	1,0E-07	7,1E-10	23,7	
	25	0,000025	251,14	9,6	46,8	37,2	3640,7	9,95461E-08	9,95	1,07E-09	0,11	1,0E-07	1,3E-09	23,7	
6	5	0,000005	59,94	16,8	47	30,2	2955,63	8,34168E-08	8,34	4,40E-09	0,44	8,2E-08	-9,8E-10	23,4	8,2E-08
	10	0,00001	120,62	16,8	47	30,2	2955,63	8,2905E-08	8,29	2,18E-09	0,22	8,2E-08	-4,7E-10	23,4	
	15	0,000015	181,93	16,8	47	30,2	2955,63	8,24493E-08	8,24	1,45E-09	0,14	8,2E-08	-1,1E-11	23,4	
	20	0,00002	244,88	16,8	47	30,2	2955,63	8,16727E-08	8,17	1,07E-09	0,11	8,2E-08	7,7E-10	23,4	
	25	0,000025	306,93	16,8	47	30,2	2955,63	8,14518E-08	8,15	8,57E-10	0,09	8,2E-08	9,9E-10	23,4	
7	5	0,000005	65,65	6,2	33,7	27,5	2691,38	7,61615E-08	7,62	3,98E-09	0,40	7,5E-08	-8,4E-10	23,4	7,5E-08
	10	0,00001	132,72	6,2	33,7	27,5	2691,38	7,53466E-08	7,53	1,97E-09	0,20	7,5E-08	-2,3E-11	23,4	
	15	0,000015	202,35	6,2	33,7	27,5	2691,38	7,4129E-08	7,41	1,29E-09	0,13	7,5E-08	1,2E-09	23,4	
	20	0,00002	267,76	6,2	33,7	27,5	2691,38	7,46938E-08	7,47	9,74E-10	0,10	7,5E-08	6,3E-10	23,4	
	25	0,000025	335,81	6,2	33,7	27,5	2691,38	7,44469E-08	7,44	7,77E-10	0,08	7,5E-08	8,8E-10	23,4	

	V H2O (cm3)	V H2O (m3)	t(s)	hmin(cm)	hmáx(cm)	Δh (cm)	P(Pa)	Q(m³/s)	Q (x 10 ⁻⁸ m³/s)	u(Q) (m³/s)	u(Q) (x10 ⁻⁸ m³/s)	Q _u (m³/s)	Resíduos Q (m³/s)	(T±0,5)(°C)
1	5	0,000005	49,97	1,3	33,4	32,1	3142	1,0E-07	10,01	5,39E-09	0,54	8,79E-08	-1,22E-08	24,1
2	5	0,000005	82,22	13,4	34,6	21,2	2075	6,1E-08	6,08	3,13E-09	0,31	5,97E-08	-1,11E-09	24,4
3	5	0,000005	121,48	20,9	35,3	14,4	1409	4,1E-08	4,12	2,09E-09	0,21	4,21E-08	9,79E-10	25,1
4	5	0,000005	59,96	3,2	33,6	30,4	2975	8,3E-08	8,34	4,40E-09	0,44	8,35E-08	7,66E-11	24
5	5	0,000005	49,84	9,6	46,8	37,2	3641	1,0E-07	10,03	5,40E-09	0,54	1,01E-07	7,09E-10	23,7
6	5	0,000005	59,94	16,8	47	30,2	2956	8,3E-08	8,34	4,40E-09	0,44	8,29E-08	-4,68E-10	23,4
7	5	0,000005	65,65	6,2	33,7	27,5	2691	7,6E-08	7,62	3,98E-09	0,40	7,60E-08	-1,86E-10	23,4
1	10	0,00001	106,77	1,3	33,4	32,1	3142	9,4E-08	9,37	2,50E-09	0,25	8,79E-08	-5,77E-09	24,1
2	10	0,00001	163,84	13,4	34,6	21,2	2075	6,1E-08	6,10	1,57E-09	0,16	5,90E-08	-2,08E-09	24,4
3	10	0,00001	251,3	20,9	35,3	14,4	1409	4,0E-08	3,98	1,01E-09	0,10	4,09E-08	1,12E-09	25,1
4	10	0,000010	120,98	3,2	33,6	30,4	2975	8,3E-08	8,27	2,18E-09	0,22	8,34E-08	7,16E-10	24
5	10	0,000010	98,57	9,6	46,8	37,2	3641	1,0E-07	10,15	2,74E-09	0,27	1,01E-07	-3,11E-11	23,7
6	10	0,000010	120,62	16,8	47	30,2	2956	8,3E-08	8,29	2,18E-09	0,22	8,28E-08	-6,16E-11	23,4
7	10	0,000010	132,72	6,2	33,7	27,5	2691	7,5E-08	7,53	1,97E-09	0,20	7,57E-08	3,32E-10	23,4
1	15	0,000015	166,2	1,3	33,4	32,1	3142	9,0E-08	9,03	1,60E-09	0,16	8,76E-08	-2,61E-09	24,1
2	15	0,000015	251,82	13,4	34,6	21,2	2075	6,0E-08	5,96	1,02E-09	0,10	5,83E-08	-1,22E-09	24,4
3	15	0,000015	378,03	20,9	35,3	14,4	1409	4,0E-08	3,97	6,70E-10	0,07	4,01E-08	3,95E-10	25,1
4	15	0,000015	180,17	3,2	33,6	30,4	2975	8,3E-08	8,33	1,46E-09	0,15	8,31E-08	-1,84E-10	24
5	15	0,000015	147,68	9,6	46,8	37,2	3641	1,0E-07	10,16	1,83E-09	0,18	1,01E-07	-2,26E-10	23,7
6	15	0,000015	181,93	16,8	47	30,2	2956	8,2E-08	8,24	1,45E-09	0,14	8,25E-08	8,43E-11	23,4
7	15	0,000015	202,35	6,2	33,7	27,5	2691	7,4E-08	7,41	1,29E-09	0,13	7,53E-08	1,15E-09	23,4
1	20	0,00002	225,21	1,3	33,4	32,1	3142	8,9E-08	8,88	1,18E-09	0,12	8,71E-08	-1,71E-09	24,1
2	20	0,00002	336	13,4	34,6	21,2	2075	6,0E-08	5,95	7,65E-10	0,08	5,84E-08	-1,15E-09	24,4
3	20	0,00002	503,84	20,9	35,3	14,4	1409	4,0E-08	3,97	5,02E-10	0,05	4,05E-08	7,60E-10	25,1
4	20	0,00002	240,14	3,2	33,6	30,4	2975	8,3E-08	8,33	1,10E-09	0,11	8,26E-08	-6,69E-10	24
5	20	0,00002	199,66	9,6	46,8	37,2	3641	1,0E-07	10,02	1,35E-09	0,13	1,01E-07	3,63E-10	23,7
6	20	0,00002	244,88	16,8	47	30,2	2956	8,2E-08	8,17	1,07E-09	0,11	8,21E-08	4,16E-10	23,4
7	20	0,00002	267,76	6,2	33,7	27,5	2691	7,5E-08	7,47	9,74E-10	0,10	7,50E-08	2,80E-10	23,4
1	25	0,000025	284,97	1,3	33,4	32,1	3142	8,8E-08	8,77	9,30E-10	0,09	8,68E-08	-9,78E-10	24,1
2	25	0,000025	422,6	13,4	34,6	21,2	2075	5,9E-08	5,92	6,08E-10	0,06	5,82E-08	-9,27E-10	24,4
3	25	0,000025	629,32	20,9	35,3	14,4	1409	4,0E-08	3,97	4,02E-10	0,04	4,04E-08	7,13E-10	25,1
4	25	0,000025	300,36	3,2	33,6	30,4	2975	8,3E-08	8,32	8,77E-10	0,09	8,23E-08	-9,31E-10	24
5	25	0,000025	251,14	9,6	46,8	37,2	3641	1,0E-07	9,95	1,07E-09	0,11	1,00E-07	5,49E-10	23,7
6	25	0,000025	306,93	16,8	47	30,2	2956	8,1E-08	8,15	8,57E-10	0,09	8,18E-08	3,28E-10	23,4
7	25	0,000025	335,81	6,2	33,7	27,5	2691	7,4E-08	7,44	7,77E-10	0,08	7,47E-08	2,68E-10	23,4

Apêndice B

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

Incertezas	
u(proveta) (m ³)	0,00000025
u(cronómetro) (s)	1
u(régua) (m)	0,0005
u(h) (m)	0,0007
u(P) (Pa)	7

T(°C)	η ref
15	1,14E-03
16	1,11E-03
17	1,08E-03
18	1,05E-03
19	1,03E-03
20	1,00E-03
21	9,79E-04
22	9,55E-04
23	9,33E-04
23,4	9,24E-04
23,7	9,17E-04
24	9,11E-04
24,1	9,09E-04
24,4	9,03E-04
25	8,91E-04
25,1	8,89E-04
26	8,71E-04
27	8,52E-04
28	8,33E-04
29	8,15E-04
30	7,98E-04
31	7,81E-04

Apêndice C

$$\rho_{\text{ref}} = 997 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$$

$$u^2(y) = \sum_i^N \left(\frac{dy}{dx_i} \right)^2 u^2(x_i)$$