

T2A - Ressonância Acústica em Tubos abertos

16.3

Mônica de Sousa Ribeiro, PL 1, grupo I, sub-grupo A, 2 de maio de 2023

→ José Lucas Camacho Monteiro
→ Lucas Santos Reis
→ Matilde Maia Mello Valente

Objetivos:

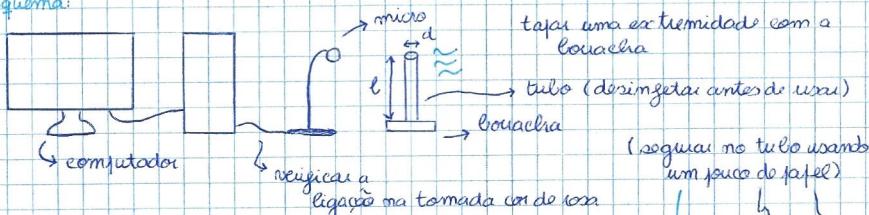
- observar os efeitos de frequência de ressonâncias acústicas em tubos fechados numa e nas duas extremidades;
- determinar a velocidade de propagação do som no ar em ambos os tipos de tubo.

$$\bullet v_{ref} = 331,4 + 0,67 T + 0,08 p_{H_2O}, \text{ com } T \text{ em } ^\circ C \text{ e } p_{H_2O} \text{ em mmHg}$$

Parte A:

$$\bullet f = \frac{\pi}{2(L+\Delta y)} m + \frac{\pi}{4(L+\Delta y)}, \text{ com } \Delta y = 0,305 D \text{ e } D \rightarrow \text{diâmetro interno}$$

Esquema:

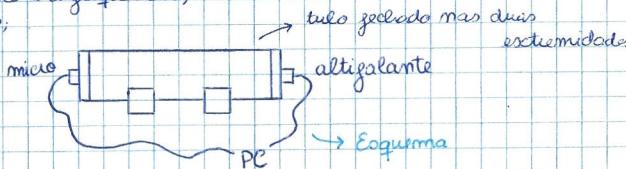


Procedimento:

- testar reconhecimento;
- medir T , p_{H_2O} , L e os diâmetros internos;
- começou a gravar e apoiar paixão no tubo;
- escolher a melhor secção do sinal;
- analisar → plot spectrum (desenhar o efeito da frequência);
- log das ressonâncias de frequências baixas e linear para as restantes;
- ver para frequências $> 1 \text{ kHz}$;
- registar o número do fio e a frequência;
- repetir para outros tubos;

Parte B:

$$\bullet f = \frac{\pi}{2L} m + \frac{\pi}{2L}$$



Procedimento:

- medir T , p_{H_2O} , L e d ;
- menu, gravar, usar ruído branco (a dezenas de segundos);
- gravar final;
- (o volume de saída deve ser baixo e suficiente para não gerar distorção);
- analisar o efeito, registando o número do fio e a frequência;
- ignorar a ressonância altifalante: micro $\approx 1 \text{ kHz}$

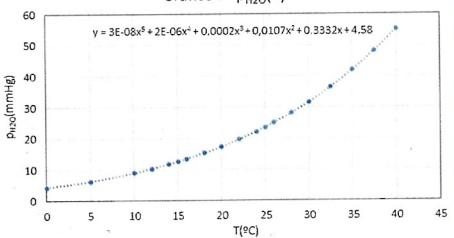
11.57
vqz
NB

Amálise de Dados e Resultados:

- Determinação da relação entre p (mm Hg) e T ($^{\circ}$ C):

Usando os dados presentes na tabela/anexo que estava disponível na bancada do laboratório, fizemos este gráfico:

Gráfico 1 - $p_{H_2O}(T)$



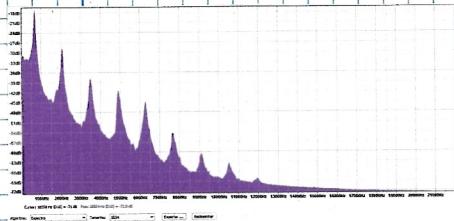
Desta forma, medindo a temperatura ambiente usando um termômetro analógico, usamos a equação obtida através do gráfico:

$$\rightarrow \frac{p_{H_2O}}{T} = 3 \cdot 10^{-8}T^5 + 2 \cdot 10^{-6}T^4 + 0,0002 \cdot T^3 + 0,0107 \cdot T^2 + 0,3332 \cdot T + 4,58$$

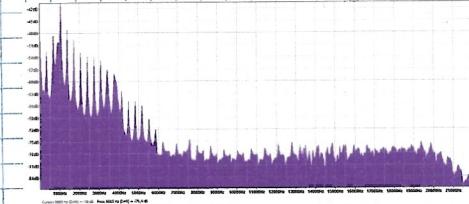
Fazendo determinar a pressão parcial da água com base na temperatura.

- Parte A:

- A temperatura ambiente foi registada ao longo de toda a atividade para cada tubo;
- Foi utilizada uma bocacha lisa como base do tubo e um congo para segurar mole de modo a criar uma superfície bem selada e não aquecer o tubo com as mãos, respectivamente.
- O diâmetro interno dos tubos foi medido usando uma calavaria, assim como o comprimento dos primeiros cinco tubos, os menores. Para os restantes cinco tubos, de maior comprimento, foi usada uma régua graduada.
- Os valores para Δy foram obtidos segundo a sugestão do protocolo:
 $\rightarrow \Delta y = 0,305 \cdot D$, diâmetro interno do tubo
- já a velocidade de referência: $\rightarrow v_{ref} = 331,4 + 0,607 \cdot T + 0,08 \cdot \ln(p_{H_2O})$



→ Espectro do tubo 3 - parte A



→ Espectro do tubo de duas extremidades giradas

- Em primeiro lugar, o software audacity permitiu a realização deste trabalho: obtive-se um espetro de frequência para cada tubo e fez-se corresponder cada tubo ao respetivo modo.

Tubo	l_i (cm)	$u(l_i)$ [cm]	L (m)	$u(L)$ [m]	D _i (mm)	$u(D_i)$ [mm]	D (m)	$u(D)$ [mm]	T±0,5 °C	p (mmHg)	$u(p)$ (mmHg)	v_{ref} (ms ⁻¹)	$u(v_{ref})$ (ms ⁻¹)	Δy (m)	$u(\Delta y)$ (m)
1	6,080	0,002	0,0607	0,0004	10,60	0,02	0,0105	0,0002	22,8	20,8	0,8	346,9	0,3	0,00320	7E-05
	6,070				10,60										
	6,070				10,30										
2	8,051	0,002	0,0806	0,0005	10,60	0,02	0,0106	0,0001	23,0	21,1	0,8	347,0	0,3	0,00322	4E-05
	8,050				10,50										
	12,060				10,10										
3	12,070	0,002	0,1207	0,0004	10,40	0,02	0,0103	0,0002	23,0	21,1	0,8	347,0	0,3	0,00314	7E-05
	12,070				10,42										
	13,010				10,30										
4	13,010	0,002	0,1301	0,0004	10,20	0,02	0,0101	0,0003	23,3	21,5	0,8	347,3	0,3	0,00308	9E-05
	13,000				9,80										
	14,010				10,60										
5	14,010	0,002	0,140	0,001	10,80	0,02	0,0107	0,0002	23,5	21,7	0,8	347,4	0,3	0,00326	6E-05
	14,110				10,70										
	15,000				10,40										
7	17,000	0,005	0,170	0,002	10,40	0,02	0,0105	0,0002	23,5	21,7	0,8	347,4	0,3	0,00317	8E-05
	16,900				10,40										
	18,000				10,40										
9	22,000	0,005	0,220	0,001	10,60	0,02	0,0106	0,0001	23,5	21,7	0,8	347,4	0,3	0,00322	4E-05
	24,000				10,40										
	24,000				10,50										

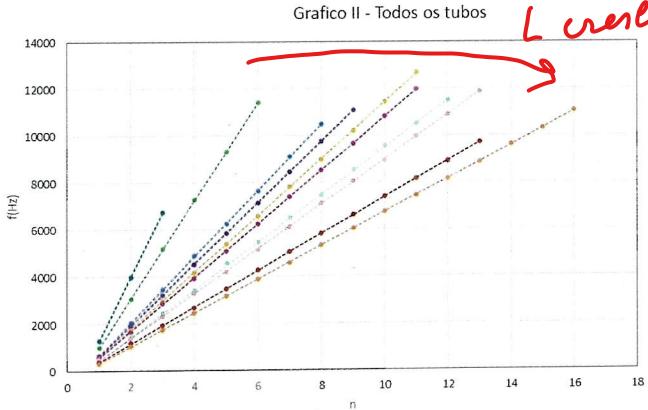
- Nesta tabela, registramos, para cada tubo, o respetivo comprimento e diâmetro interno, sendo que esses valores correspondem à média dos 3 ensaios realizados para cada tubo.
- No ponto de cálculo, sugem também as incertezas associadas a cada grandeza:

* $u(l) = \text{desvio padrão} / \sqrt{\# \text{ ensaios}}$ * $u(D) = \text{desvio padrão} / \sqrt{\# \text{ ensaios}}$ * $u(\Delta y) = 0,305 \times u(D)$

* $u(T_{\text{ref}}) = \sqrt{(5 \times 3 \times 10^{-8} \times T^4)^2 + (4 \times 2 \times 10^{-6} \times T^3)^2 + (5 \times 2 \times 10^{-4} \times T^2)^2 + (2 \times 0,107 \times T)^2 + 0,3332^2}$

* $u(v_{\text{ref}}) = \sqrt{(0,607 \times 0,5)^2 + (0,08 \times u(T_{\text{ref}}))^2}$

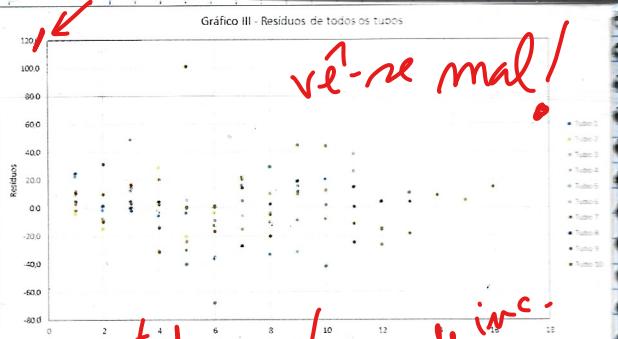
* as restantes incertezas correspondem às incertezas dos aparelhos/equipamentos de medição usados.



→ O gráfico II corresponde ao gráfico obtido em tempo real em aula e nele estão os dados de todos os tubos e respetivas ajustes

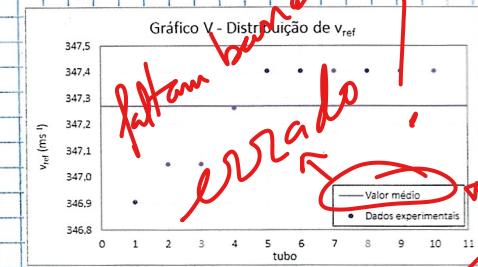
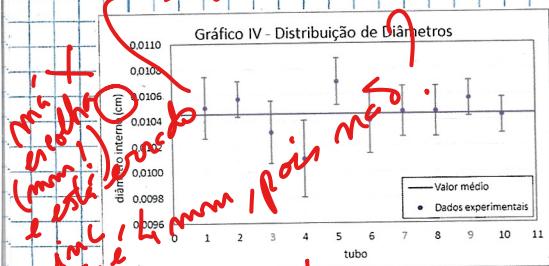
O gráfico III corresponde ao gráfico com os resíduos para todos os tubos.

Por comparação, vemos que em geral, quanto mais complicado é o tubo, maior é o número de frequências de ressonância.

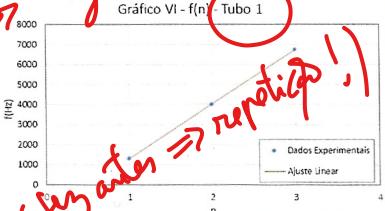


ver-se mal!

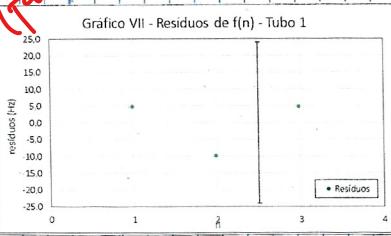
as barras de inc não fazem =S! / de inc-



- A incerteza do valor médio dos diâmetros internos dos tubos ($u(D)$) é $0,004 \text{ cm}$. No gráfico 4, o diâmetro de memelrum tubo está mais longe da média do que a incerteza, logo, considerou-se todos os tubos.
- Repelindo a análise anterior, faz a distribuição de velocidades, obtém-se uma incerteza de $0,1 \text{ m/s}^{-1}$, logo apenas um valor estava "dentro" do limite. Não fazia sentido considerar apenas esse valor, logo memelrum valor é descartado. A distribuição de valores de v_{ref} está selecionada com a variação da temperatura ambiente em $0,7\%$ e não decorre da exceção.



Coligir todos os tubos para no gráfico! / (juntar todos ⇒ repetição!)



→ Tubo 1

Tubo 1		
n	f(Hz)	Resíduos (Hz)
1	1323	1318,2
2	4026	4035,7
3	6758	6753,2

Matriz de Ajuste do Tubo 1			
m	b	u(m)	u(b)
2718	-1399	8	18
λ^2	0,999991	12	u(y)

$$n = (347 \pm 3) \text{ m/s}$$

$$u(n) = 0,9\%$$

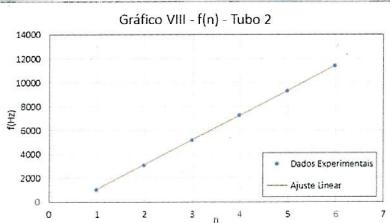
$$\text{Euo}\% = 0,06\%$$

* Euo₁ = $10 \text{ u}(y) - u(l) \times 100$

$$u(y) = \sqrt{2 \text{ u}(l)^2 + 2 \text{ u}(b)^2 + 2 \text{ m}^2 \text{ u}(m)^2}$$

- * $m = n \Rightarrow n = 2ml(e + dy) = 2ml + 2mdy$
- * $u(m) = \sqrt{(2l(e + dy))^2 u(l)^2 + (2m u(e))^2 + (2m u(dy))^2}$
- Não há pontos duvidosos (os resíduos estão "dentro" da incerteza de 30%) - este cálculo é a que seguimos para os outros tubos para determinar a existência ou não de pontos duvidosos.

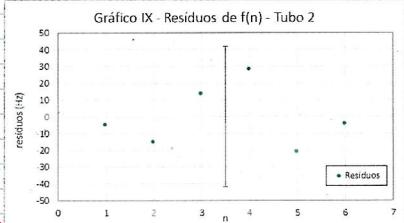
→ Tubo 2



Tubo 2		
n	f[Hz]	Ajuste [Hz]
1	1034	1038,3
2	3105	3119,6
3	5215	5209,9
4	7311	7282,1
5	9343	9363,4
6	11441	11444,7

$$\begin{matrix} m & 2081 \\ u(m) & 5 \\ \Delta^2 & 0,99998 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} -1043 \\ b \\ u(b) \\ u(y) \end{matrix}$$

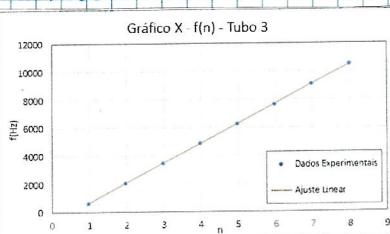


$$n = (349 \pm 3) \text{ m/s}$$

$$uv = 0,7\%$$

$$Euo \% = 0,5\%$$

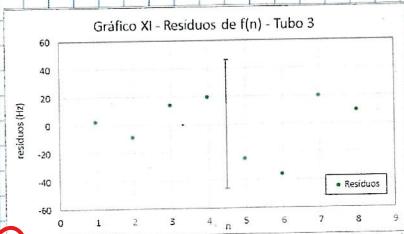
→ Tubo 3



Tubo 3		
n	f[Hz]	Ajuste [Hz]
1	681	678,1
2	2074	2082,3
3	3501	3486,6
4	4911	4890,9
5	6271	6295,1
6	7664	7699,4
7	9124	9103,7
8	10518	10507,9

$$\begin{matrix} m & 1404 \\ u(m) & 3 \\ \Delta^2 & 0,99996 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} -726 \\ b \\ u(b) \\ u(y) \end{matrix}$$

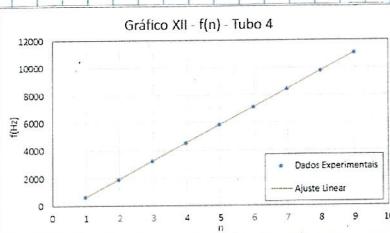


$$n = (348 \pm 2) \text{ m/s}$$

$$uv = 0,6\%$$

$$Euo \% = 0,2\%$$

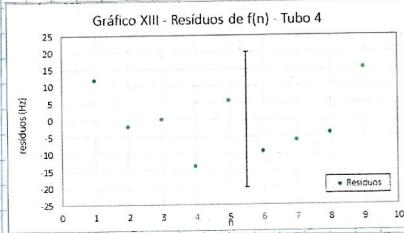
→ Tubo 4



Tubo 4		
n	f[Hz]	Ajuste [Hz]
1	647	655,0
2	1940	1941,8
3	3249	3248,6
4	4542	4555,4
5	5868	5862,2
6	7160	7169,0
7	8470	8475,9
8	9779	9782,7
9	11105	11089,5

$$\begin{matrix} m & 1307 \\ u(m) & 1 \\ \Delta^2 & 0,999993 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} -672 \\ b \\ u(b) \\ u(y) \end{matrix}$$

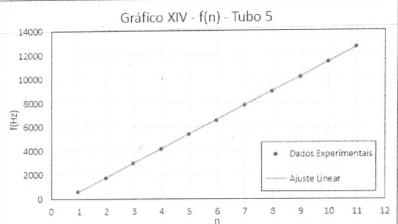


$$n = (348 \pm 1) \text{ m/s}$$

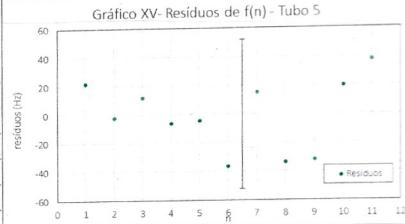
$$uv = 0,4\%$$

$$Euo \% = 0,2\%$$

→ Tubo 5



Tubo 5			
n	f(n) [Hz]	Ajuste [Hz]	Resíduos [Hz]
1	596	573,2	22,8
2	1779	1780,3	-1,3
3	3000	2987,4	12,6
4	4189	4194,6	-5,6
5	5398	5401,7	-3,7
6	6573	6608,8	-35,8
7	7832	7815,9	16,1
8	8990	9023,1	-33,1
9	10199	10230,2	-31,2
10	11458	11437,3	20,7
11	12683	12644,5	38,5



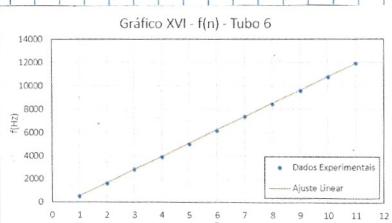
Matriz de Ajuste do Tubo 5		
m	1207	-634
u(m)	3	17
λ^2	0,99996	26
$u(y)$		

baixo $Evo\% < 5\%$
Baixa preciso

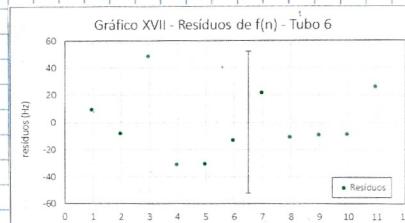
baixa $u(n)\%$
Boa preciso

$$\begin{aligned} r &= (347 \pm 4) \text{ m/s} \\ u(r) &= 1\% \\ \text{Evo \%} &= 0,1\% \end{aligned}$$

→ Tubo 6



Tubo 6			
n	f(n) [Hz]	Ajuste [Hz]	Resíduos [Hz]
1	557	547,1	9,9
2	1680	1687,6	-7,6
3	2877	2828,0	49,0
4	3938	3968,5	-30,5
5	5079	5108,9	-29,9
6	6237	6249,4	-12,4
7	7412	7389,8	22,2
8	8520	8530,3	-10,3
9	9662	9670,7	-8,7
10	10803	10811,1	-8,1
11	11978	11951,6	26,4

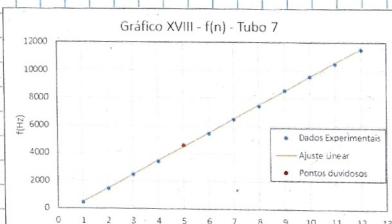


Matriz de Ajuste do Tubo 6		
m	1140	-593
u(m)	2	17
λ^2	0,99996	26
$u(y)$		

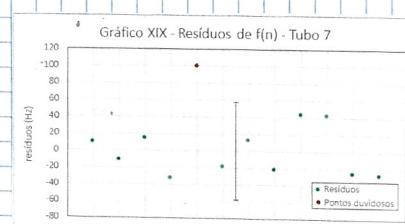
Boa exatação
Boa preciso

$$\begin{aligned} r &= (349 \pm 4) \text{ m/s} \\ u(r) &= 1\% \\ \text{Evo \%} &= 0,3\% \end{aligned}$$

→ Tubo 7



Matriz de Ajuste do Tubo 7		
m	1008	-521
u(m)	3	25
λ^2	0,99988	41
$u(y)$		



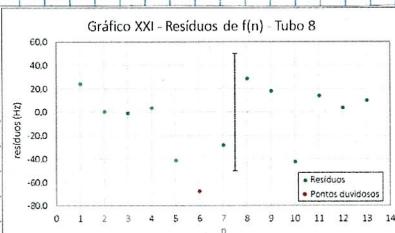
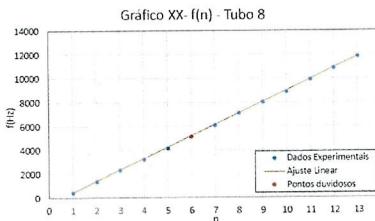
- Removemos o ponto duvidoso e refizemos o ajuste.

Tubo 7			
n	f(Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
1	483	472,2	10,8
2	1471	1480,9	-9,9
3	2506	2489,7	16,3
4	3467	3498,5	-31,5
5	4508	4507,2	100,8
6	5499	5516,0	-17,0
7	6539	6524,7	14,3
8	7513	7533,5	-20,5
9	8587	8542,3	44,7
10	9595	9551,0	44,0
11	10535	10559,8	-24,8
12	11542	11568,5	-26,5

Matriz de Ajuste do Tubo 7			
m	1009	-537	b
u(m)	2	19	u(b)
Δ^2	0,99995	29	u(y)

$v = (349 \pm 4) \text{ m/s}$
 $uv = 1\%$
 $Euv \% = 0,6\%$

→ Tubo 8



Tubo 8			
n	f(Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
1	469	444,1	24,9
2	1396	1394,6	1,4
3	2345	2345,1	-0,1
4	3300	3295,6	4,4
5	4206	4246,1	-40,1
6	5129	5196,6	-67,6
7	6120	6147,1	-27,1
8	7127	7097,6	28,4
9	8067	8048,1	18,9
10	8957	8998,6	-41,6
11	9964	9949,1	14,9
12	10904	10899,6	4,4
13	11861	11850,1	10,9

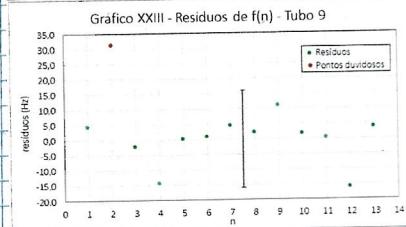
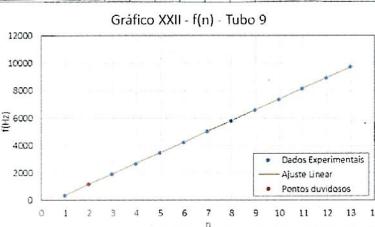
Matriz de Ajuste do Tubo 8			
m	951	-506	b
u(m)	2	15	u(b)
Δ^2	0,99996	25	u(y)

Matriz de Ajuste do Tubo 8			
m	951	-514	b
u(m)	2	18	u(b)
Δ^2	0,99994	31	u(y)

→ Refizemos o ajuste

$u(n) = 0,9\%$
 $v = (349 \pm 3) \text{ m/s}$
 $Euv \% = 0,4\%$

→ Tubo 9



Tubo 9			
n	f(Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
1	388	383,3	4,7
2	1193	1161,6	31,4
3	1938	1939,9	-1,9
4	2704	2718,2	-14,2
5	3497	3496,5	0,5
6	4276	4274,8	1,2
7	5058	5053,1	4,9
8	5834	5831,4	2,6
9	6621	6609,7	11,3
10	7390	7388,0	2,0
11	8167	8166,3	0,7
12	8929	8944,6	-15,6
13	9727	9722,9	4,1

Matriz de Ajuste do Tubo 9			
m	777,4	-387	b
u(m)	0,8	7	u(b)
Δ^2	0,999987	11	u(y)

Matriz de Ajuste do Tubo 9			
m	778,3	-395	b
u(m)	0,6	5	u(b)
Δ^2	0,999993	8	u(y)

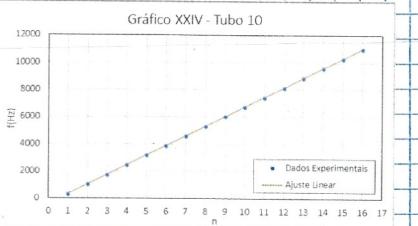
→ Removemos o ponto duvidoso e refizemos o ajuste.

$v = (347 \pm 2) \text{ m/s}$
 $u(n) = 0,6\%$
 $Euv \% = 0,1\%$

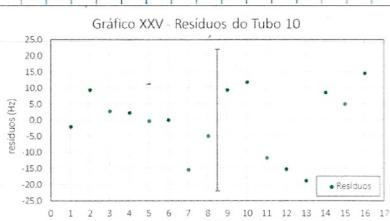
NOTAS:

- ↑ alg. signif. erros em algumas medições
- ↓ Deve ter feito uma estimativa da $u(f)$

→ Tubo 10



Tubo 10			
n	f [Hz]	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
1	333	334,8	-1,8
2	1058	1048,3	9,7
3	1765	1761,9	3,1
4	2478	2475,5	2,5
5	3189	3189,0	0,0
6	3903	3902,6	0,4
7	4601	4616,2	-15,2
8	5325	5329,7	-4,7
9	6053	6043,3	9,7
10	6769	6756,8	12,2
11	7459	7470,4	-11,4
12	8169	8184,0	-15,0
13	8879	8897,5	-18,5
14	9620	9611,1	8,9
15	10330	10324,7	5,3
16	11053	11038,2	14,8



m	713,6	-379	b
12	0,999991	6	ul(b) ul(y)

$$v = (347 \pm 1) \text{ m/s}$$

$$u(v) = 0,2\%$$

$$\text{Era \%} = 0,1\%$$

Planar hipótese o existido

Nota: $u(v)(\%) = \frac{u(v)}{v} \times 100$, incerteza relativa

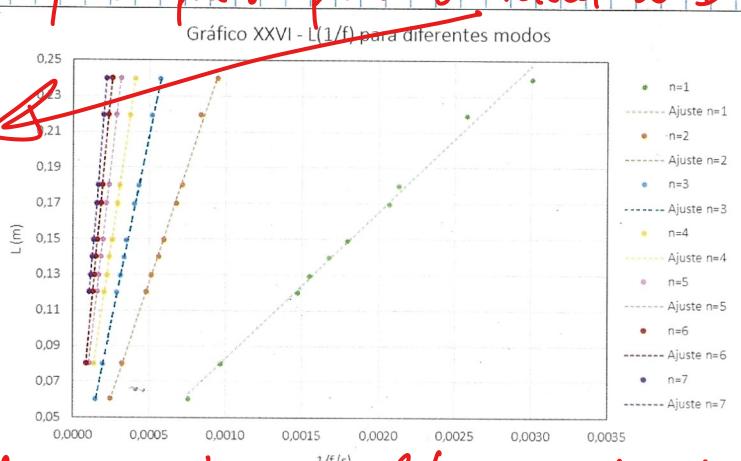
- Todos os gráficos de resíduos também os seus pontos distribuídos aleatoriamente em torno do zero, sem tendências e os valores de χ^2 estão muito próximos de 1. Logo, os ajustes lineares feitos foram adquiridos.

- Uma outra forma de determinar o valor de Δy é pelo gráfico de L em função de $\frac{1}{f}$:

$$\rightarrow L = v(2n+1) \frac{1}{4} - \frac{\Delta y}{f}$$

vai corresponder à ordemada na origem

Para os valores dos modos de vibração do 1 a 7, tirou-se o seguinte gráfico: para quê? qual os níveis de D? ?



NOTA: linhas de tendência? !... e as de ajuste?

D (m)
↓
?

$\mu(D)$
?

Tubo	L (m)	f (n=1)	1/f (n=1)	Ajuste	f (n=2)	1/f (n=2)	Ajuste	f (n=3)	1/f (n=3)	Ajuste	f (n=4)	1/f (n=4)	Ajuste	f (n=5)	1/f (n=5)	Ajuste	f (n=6)	1/f (n=6)	Ajuste
1	0,0607	1373	0,0008	0,0637	4026	0,0002	0,066	6758	0,0001	0,0617							11441	0,0001	0,0802
2	0,0806	1034	0,0010	0,0810	3105	0,0003	0,079	5215	0,0002	0,0805	7311	0,0001	0,0802	9343	0,0001	0,0807	11441	0,0001	0,0802
3	0,1207	681	0,0015	0,1221	2074	0,0005	0,121	3501	0,0003	0,1207	4911	0,0002	0,1202	6271	0,0002	0,1213	7664	0,0001	0,1209
4	0,1301	647	0,0015	0,1284	1940	0,0005	0,130	3249	0,0003	0,1302	4542	0,0002	0,1300	5868	0,0002	0,1299	7160	0,0001	0,1296
5	0,140	596	0,0017	0,1393	1779	0,0006	0,142	3000	0,0003	0,1411	4189	0,0002	0,1411	5398	0,0002	0,1413	6573	0,0002	0,1414
6	0,150	557	0,0018	0,1489	1680	0,0006	0,150	2877	0,0003	0,1472	3938	0,0003	0,1502	5079	0,0002	0,150	6237	0,0002	0,1492
7	0,170	483	0,0021	0,1714	1471	0,0007	0,172	2506	0,0004	0,1693	3457	0,0003	0,1709	4608	0,0002	0,1655	5499	0,0002	0,1695
8	0,180	469	0,0021	0,1765	1396	0,0007	0,182	2345	0,0004	0,1810	3300	0,0003	0,1796	4206	0,0002	0,1820	5499	0,0002	0,1820
9	0,220	388	0,0026	0,2130	1193	0,0008	0,214	1938	0,0005	0,2194	2704	0,0004	0,2195	3497	0,0003	0,2195	4278	0,0002	0,2188
10	0,240	333	0,0030	0,2479	1058	0,0009	0,242	1765	0,0006	0,2411	2478	0,0004	0,2397	3189	0,0003	0,240	3903	0,0003	0,2399

f(n=7)	1/f (n=7)	Ajuste
9124	0,0001	0,1209
8470	0,0001	0,1303
7832	0,0001	0,1410
7412	0,0001	0,1491
6539	0,0002	0,1691
6120	0,0002	0,1808
5058	0,0002	0,2189
4601	0,0002	0,2408

Matriz de Ajuste n=1		
m	82	0,002
u(m)	2	0,004
r ²	0,995	0,004

Matriz de Ajuste n=2		
m	260	-0,005
u(m)	4	0,002
r ²	0,998	0,003

Matriz de Ajuste n=3		
m	28	-0,002
u(m)	0,5	0,001
r ²	0,998	0,001

Matriz de Ajuste n=6		
m	1113	-0,001
u(m)	7	0,001
r ²	0,9998	0,0007

Modo	Δy (m)	$u(\Delta y)$ (m)	$u(\Delta y) \%$
1	-0,002	0,008	349
2	0,005	0,005	8
3	0,002	0,002	25
4	0,002	0,001	8
5	0,002	0,004	93
6	0,003	0,002	16
7	0,001	0,002	112

- Parte B:

#	f (Hz)	Incertezas (Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos	Ajuste * (Hz)	Resíduos * (Hz)
1	1390	30	1381,30	-1,70	1372,71	-2,86
2	1727	30	1726,33	0,67	1718,52	0,88
3	2066	30	2071,36	-5,358	2064,32	-6,81
4	2408	30	2414,39	-8,388	2410,12	-2,121
5	2730	30	2761,30	-11,418	2753,00	-5,923
6	3090	30	3071,35	-16,448	3019,73	-11,725
7	3420	50	3141,48	-31,478	3447,43	-27,527
8	3769	50	3961,51	-27,508	3793,33	-24,330
9	4156	50	4141,54	14,462	4139,13	16,868
10	4499	50	4486,57	12,432	4484,93	14,066
11	4833	50	4831,60	3,402	4830,74	4,264
12	5177	50	5176,63	0,371	5176,54	0,462
13	5530	30	5521,66	8,341	5522,34	7,659
14	5869	30	5866,69	2,311	5868,14	0,857
15	6131	90	6211,72	19,281		
16	6518	100	6556,75	-38,749		
17	6935	100	6901,78	24,221		
18	7288	110	7246,81	51,191		
19	7595	50	7591,84	4,161		
20	7987	80	7936,87	30,131		
21	8281	100	8281,90	-0,899		
22	8653	40	8626,93	32,070		
23	8965	80	8971,96	-6,960		
24	9340	60	9316,99	23,010		
25	9624	50	9662,02	-38,020		
26	10234	30	10007,05	26,950		
27	10933	70	10352,08	-39,080		
28	11724	60	10697,11	26,890		
29	11774	50	11042,14	-18,140		
30	11421	40	11387,17	23,830		
31	11575	130	11781,20	-57,300		
32	12026	30	12077,23	28,769		
33	12358	100	12411,26	-64,261		
34	12790	90	12767,29	22,709		

* valores bons/certos

Obtivemos os seguintes valores da ordemada na origem e respectivas incertezas (que correspondem a incerteza da ordemada na origem num intervalo de confiança de 95% → 10%)

→ Podemos verificarmos os valores obtidos não têm grande significado, uma vez que são da mesma ordem de grandeza das respectivas incertezas. Conseguimos verificar se afinal a ordem de grandeza destes valores é realmente a do valor da incerteza.

→ As incertezas estão medidas colocando com cuidado a fonte no ponto e fixo de forma dependendo a diferença desses dois valores a dividir por 2.

Nesta segunda parte, utilizamos um tubo fechado duas vezes em condições iguais e registramos os dados recolhidos tubo fechado.

Estão representados o tubo, as frequências correspondentes e as incertezas relativas a essas frequências. Essas incertezas devem ser consideradas a um nível bem definido, as maiores incertezas correspondem a tubo aberto quando o diafano.

$$* v_{ref} = 33,14 + 0,607 T + 0,08 P_{H2O}$$

$$* u(v_{ref}) = \sqrt{(0,607 \cdot u(T))^2 + (0,08 \cdot u(P_{H2O}))^2}$$

Agora:

$$* v = 2L/m$$

$$* u(v) = \sqrt{(2L \cdot u(m))^2 + (2m \cdot u(L))^2}$$

$$* Ero(v) = |v_{ref} - v| / v_{ref} \times 100$$

Gráfico XXVII - f(n) - Tubo com Extremidades Fechadas

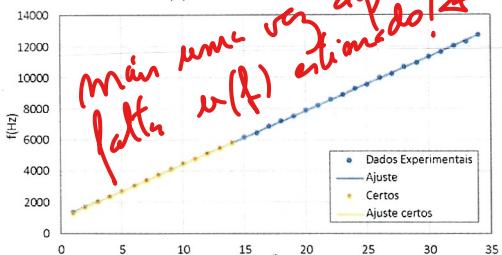
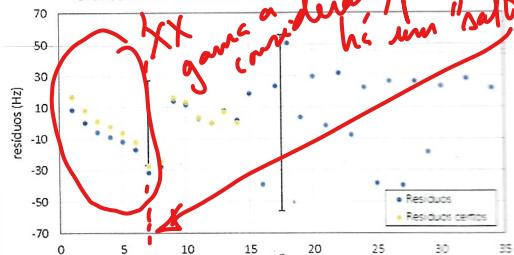


Gráfico XXVIII - Resíduos do Tubo com Extremidades Fechadas



Matriz de Ajuste			Matriz de Ajuste *		
m	1036	b	m	1027	b
u(m)	0,5	10	u(m)	0,9	u(b)
r^2	$0,999937$	28	r^2	$0,99991$	14

com todos os dados experimentais

com os dados certos

$$N = (345 \pm 2) \text{ m/s}$$

$$u(N) = 0,6\%$$

$$Euo \% = 0,6\%$$

- É de notar que o erro relativo percentual da velocidade tem magnitude de apenas 0,2%, sendo o erro relativo a todos os dados 0,8% e apenas dos "certos" 0,6%. Dado esta separação dos dados não era necessária, pois não conduziu a resultados significativamente melhores.

- Pelo gráfico de resíduos verificamos, para cada conjunto de dados, que os resíduos estão distribuídos de forma aleatória em torno do zero e estão compreendidos no respetivo limite ($\pm 2u(r)$). Logo, os ajustes realizados foram adequados.

Resultados Finais:

Resultados Finais					
tubo	v_{exp} (m.s ⁻¹)	$u(v_{exp})$ (m.s ⁻¹)	$u(v_{exp})\%$	erro %	
1	347	3	0,9	0,06	
2	349	3	0,7	0,5	
3	348	2	0,6	0,2	
4	348	1	0,4	0,2	
5	347	4	1	0,1	
6	349	4	1	0,3	
7	349	4	1	0,6	
8	349	3	0,9	0,4	
9	347	2	0,6	0,1	
10	347,1	0,6	0,2	0,1	
fechado	345	1	0,3	0,8	
certos	345	2	0,6	0,6	

média dos valores	347,4
incerteza da média	0,3
incerteza relativa %	0,1

Discussão e Conclusão:

de forma c/

(+) permite discussão
mais ampla
e escolha mais
informada!

inferior
a 1%
inc

De forma geral, obtivemos valores inferiores a v_0 , e incertezas numérica e percentualmente baixas e estáveis. Além disso, como o desvio máximo resultou da média dos valores que obtivemos para a velocidade de fuga, este é o resultado mais preciso.

Não conseguimos determinar A_f através do gráfico, pois o valor obtido é da mesma ordem de grandeza que a ordem na origem.