

Pessoalícios acústicos em Tubos

18.3

Grupo: Alexandre Reis; Conceito Texeira; Pedro Oliveira
Antônio Cunha

Objetivos: - observar efeitos de fragilidade de pessoalícios acústicos em tubos fechados (com 1 e com 2 extremidades fechadas)
- determinar a velocidade de propagação do som no ar.

Pessoalíco de tubo fechado numa extremidade.

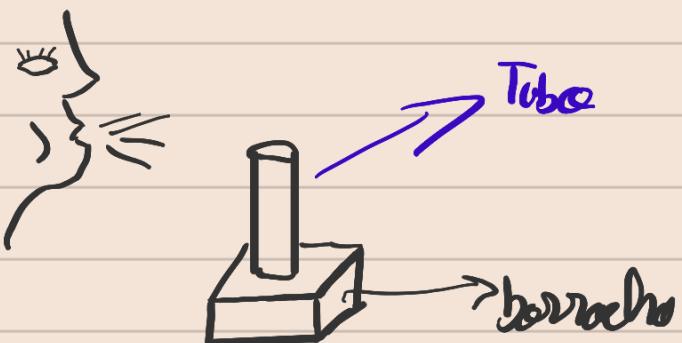


(a)



(b)

Esquema das ligações.



(furo deformável e suficiente para retardar o orifício e não vibrar consideravelmente com o ar)

Plano de ação

- experimentar o programa, o microfone e o respectivo análice espectral.
- para cada tubo, registar a temperatura T (em Kelvin), pressão de vapor de água P_{VH_2O} (mmHg)
- calcular o valor teórico de velocidade de propagação do som no ar.

- iniciar a gravação
- sair no tubo, tapando o outro extremidade.
- terminar a gravação e receber o escoço correspondente à melhor captura do som.
- receber Plot Spectrum: ampliar o painel de visualizações
→ selecionar a gama de frequências de representação do espetro usando exemplo em Tracks.
- após obter o espetro, escolher uma visualização em função da frequência numa representação:
 - logarítmica, para f baixas
 - linear; restantes f
- deslocando o cursor pelos picos, identificando a frequência respetiva.
- elaborar tabelas com, para cada tubo com um dado comprimento, cada frequência de ressonância e o correspondente nº de modo de vibração.
(apenas considerar a partir do 2º, desde o menor f)
- Verificar se o diâmetro interno é o mesmo para todos os tubos,
se medimos T e P_{VH_2O} !!

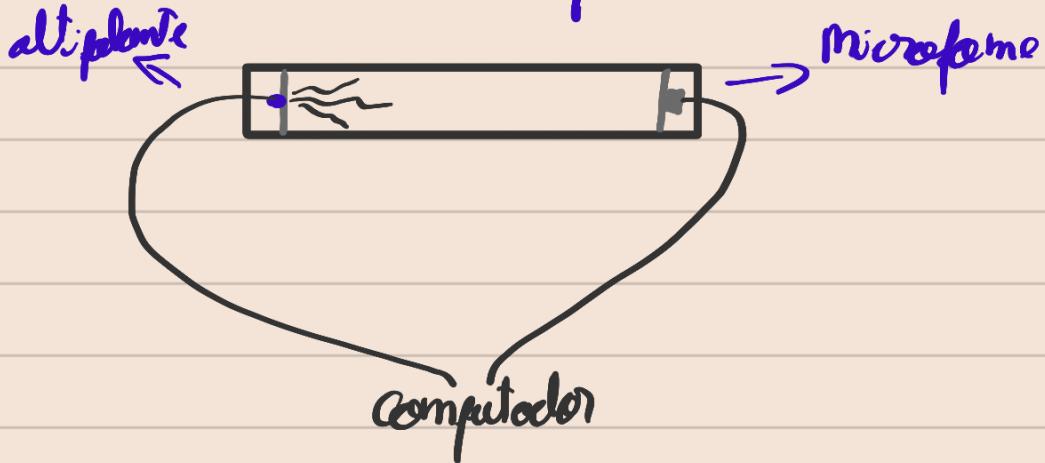
Equações Relevantes:

? P_V k e $\eta \nu^c$?

$$v = 331,1 + 0,607(T - 273,15) + 0,08 P_{VH_2O}$$

$$f = \frac{v}{2(l+\Delta y)} \cdot n + \frac{v}{\pi(l+\Delta y)} \quad ; \quad \Delta y = 0,305 \text{ D}$$

Resonância de tubos fechados nas 2 extremidades.



Plano de ação

- criar um raioz branco por alguns dezenas de segundos, enquanto o programa grava o som captado pelo microfone (atenção ao volume muito alto / grande amplitude).
- proceder da mesma forma que no método anterior.

Nota: não confundir f da ressonância próprio do conjunto microfone + altifalante $\approx 1 \text{ kHz}$, com frequência da coluna de ar

Equações relevantes

$$f = \frac{v(2n+1)}{4} \quad \frac{1}{l + \Delta y}$$

$$\Delta y = 0,305 \text{ D}$$

D → diâmetro tubo.

Amb: Tubo 3: $T = (23 \pm 0,5)^\circ\text{C}$
 $P_{\text{H}_2\text{O}} = 20 \text{ mmHg}$

$$D = (1,07 \times 10^{-2} \pm 2 \times 10^{-5}) \text{ m}$$
$$l = (2,2 \times 10^{-1} \pm 0,05) \text{ m}$$

Nota: No gráfico $\ell(f^{-1}) \Rightarrow m' = \frac{2}{\nu(n+\frac{1}{2})}$
 logo $n = \frac{2}{\nu}m - \frac{1}{2}$

Juntas
 vi gráficos
 o k
 (HB)

Nota: Segurar o tubo com papel como isolador Térmico entre os dedos e o tubo.
 Durante a 2º parte do experimento (2 orifícios fechados) tivemos alguns problemas.
 Julgamos que tenham sido causados pelo feedback do sistema microfone + altifalante. Para contornar este problema foram necessários alguns ajustes na sensibilidade do microfone e no volume do altifalante.

Análise de Dados:

T (K)	u[T] (K)	p (mmHg)	u[p] (mmHg)	v _{ref} (m/s)	u[v _{ref}] (m/s)
296,15	0,5	21,07	1,32	347,0	0,3

$$v_{ref} = 331,4 + 0,607(T - 273,15) + 0,08 p_{v_{H_2O}}$$

T (°C) + 0,5 °C	l (cm)	u[l] (cm)	l (m)	u[l] (m)	D (m) +- 2E-5m	n	f (Hz)	u[f] (Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
23	26,00	0,05	2,600E-01	5E-04	1,056E-02	2	1639	1	1649	-10
						3	2294	1	2307	-13
						4	2963	1	2965	-2
						5	3647	1	3623	24
						6	4273	1	4281	-8
						7	4947	1	4939	8
						8	5606	1	5597	9
						9	6241	1	6255	-14
						10	6927	1	6913	14
						11	7573	1	7571	2
						12	8242	1	8229	13
						13	8900	1	8887	13
						14	9511	1	9545	-34
						2	1763	1	1745	18
						3	2458	1	2460	-2
23	24,10	0,05	2,410E-01	5E-04	1,040E-02	4	3179	1	3176	3
						5	3895	1	3891	4
						6	4583	1	4606	-23
						7	5330	1	5322	8
						8	6004	1	6037	-33
						9	6716	1	6752	-36
						10	7528	1	7467	61
						2	1936	1	1933	3
						3	2714	1	2709	5
						4	3496	1	3485	11
23	22,00	0,05	2,200E-01	5E-04	1,066E-02	5	4246	1	4261	-15
						6	5020	1	5037	-17
						7	5821	1	5814	7
						8	6580	1	6590	-10
						9	7382	1	7366	16
						1	1691	1	1676	15
						2	2813	1	2807	6
						3	3907	1	3938	-31
						4	5066	1	5069	-3
						5	6197	1	6200	-3
						6	7347	1	7331	16

$$U(R) = \sqrt{(0,607 u[T])^2 + (0,08 u[P])^2}$$

Tabela 1 - Dados dos tubos fechados numa extremidade

T (°C) + -0.5 °C	l (cm)	u[l] (cm)	l (m)	u[l] (m)	D (m) +- 2E-5m	n	f (Hz)	u[f] (Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
23	12	0,05	1,200E-01	5E-04	1,010E-02	1	2054	1	2023	31
						2	3480	1	3443	37
						3	4844	1	4863	-19
						4	6220	1	6283	-63
						5	7685	43	7703	-17
						6	9046	1	9122	-76
						7	10649	1	10542	107

Tabela 1 - contínuo gōō

Para este tubo verifica-se um aumento do temperatue em relação aos anteriores.

T (K)	u[T] (K)	p (mmHg)	u[p] (mmHg)	v _{ref} (m/s)	u[v _{ref}] (m/s)
296,65	0,5	21,75	0,66	347,4	0,3

T (°C) + -0.5 °C	l (cm)	u[l] (cm)	l (m)	u[l] (m)	D (m) +- 2E-5m	n	f (Hz)	u[f] (Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
23,5	18	0,05	1,800E-01	5E-04	1,052E-02	1	1386	1	1391	-5
						2	2341	1	2343	-2
						3	3296	1	3294	2
						4	4271	1	4246	25
						5	5180	59	5197	-17
						6	6151	38	6149	2
						7	7090	1	7101	-11
						8	8039	1	8052	-13
						9	9038	1	9004	34
						10	9938	1	9955	-17
						11	10909	1	10907	2

Tabela 2.

No Tabela 1 todos os dados foram adquiridos a 296,15 K, no Tabela 2 os dados só foram adquiridos a 296,65 K.

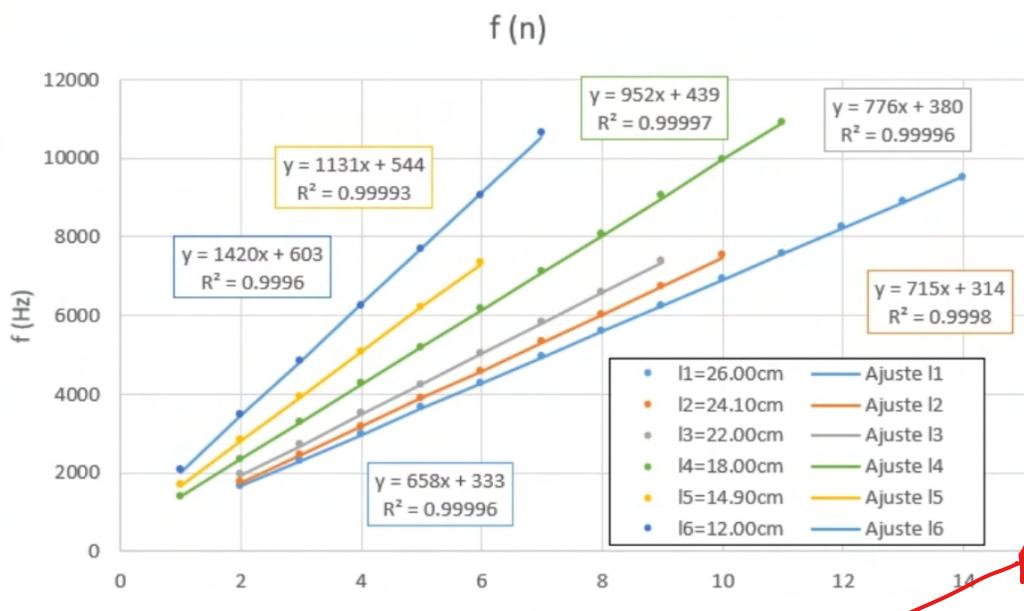
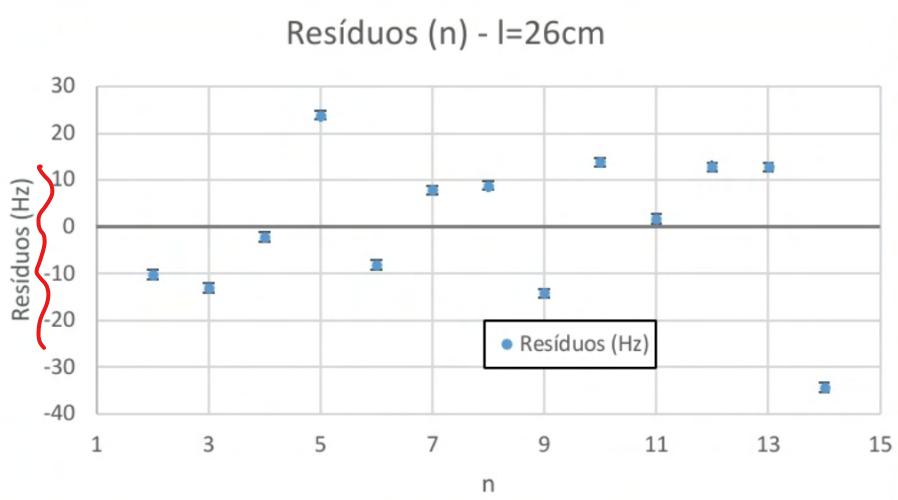


Gráfico 1 - f(n)

Neste gráfico temos o eixo linear de f em função de n, para os respetivos tubos. Com as equações das regressões nas legendas, com os comprimentos correspondentes.

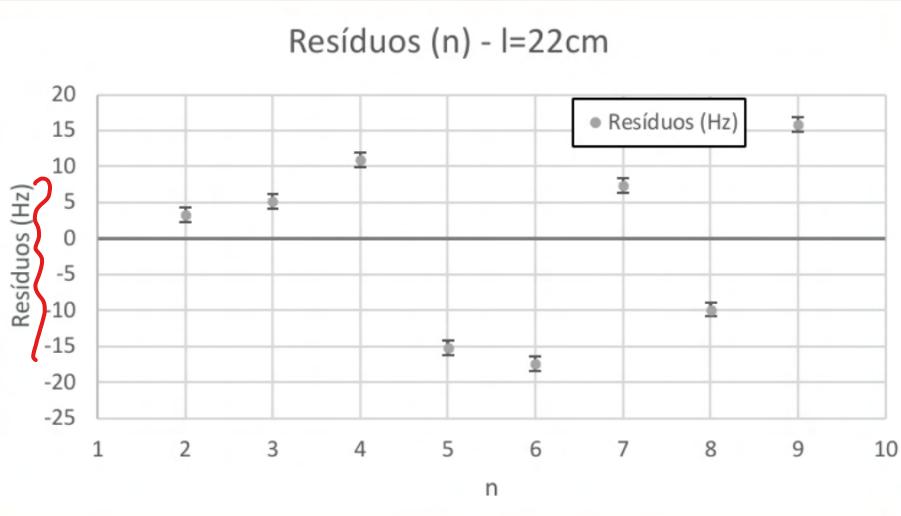
Mal formado! →
tem alg. signif. errados
apresentadas)



matriz do círculo de f(n) da
 $l = 26\text{ cm}$

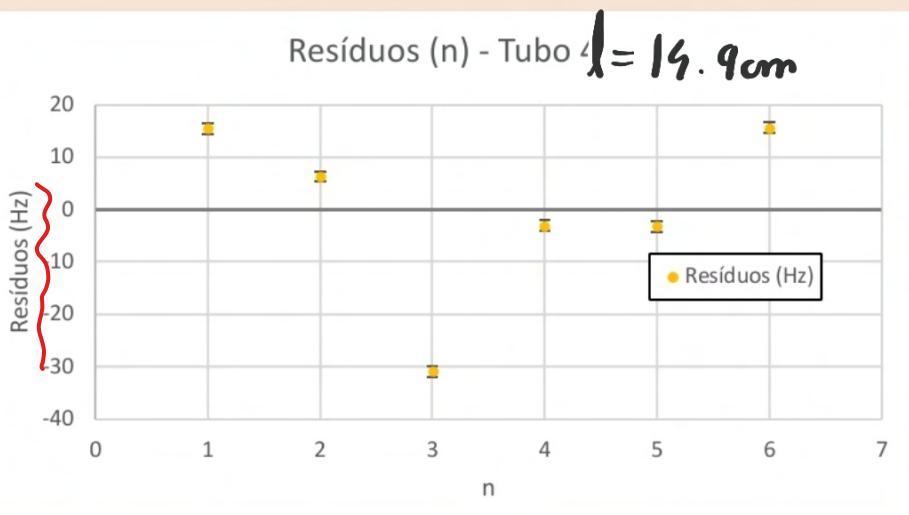
alg! signif.
 errados

Gráfico 2



matriz do círculo de f(n) da
 $l = 22\text{ cm}$

Gráfico 3



matriz do círculo de f(n) da
 $l = 14,9\text{cm}$

Gráfico 4

Resíduos (n) - $l=24.1\text{cm}$

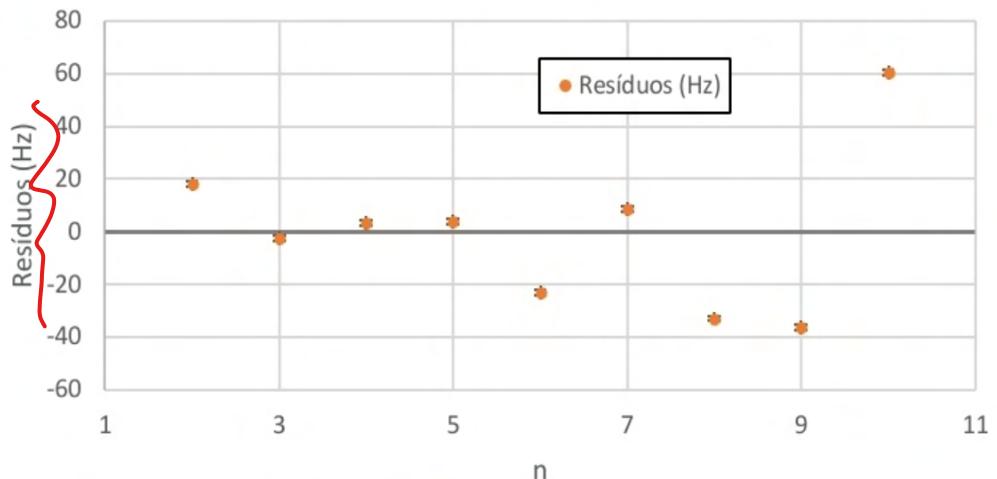


Gráfico 5

Resíduos (n) - $l=12\text{cm}$

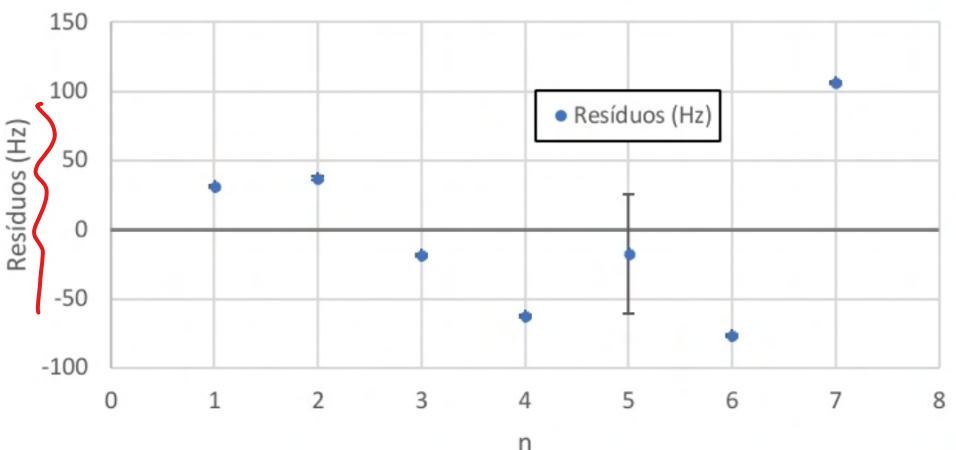


Gráfico 6

Resíduos (n) - $l=18\text{cm}$

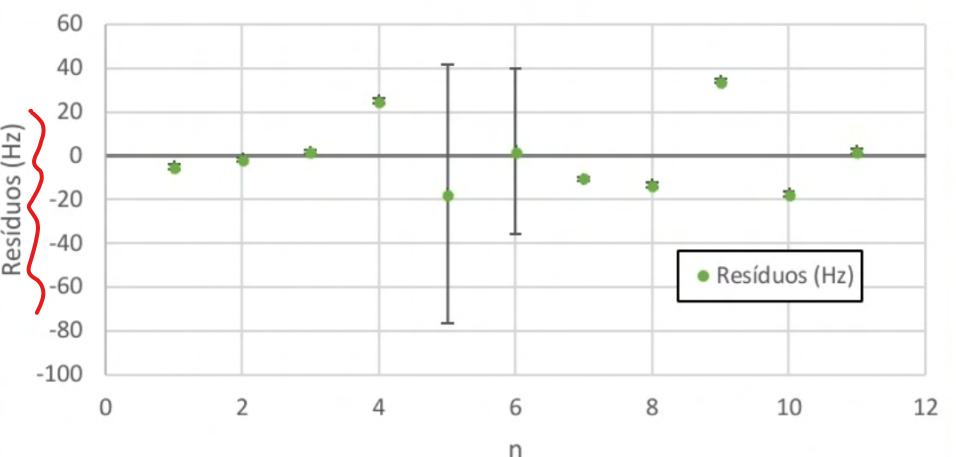


Gráfico 7

Em geral os barres de integração experimental são reduzidos pois consideramos um medidor digital que apresenta valores até à unidade logo o integração de medição = 1 Hz. Nos gráficos 6 e 7, observam-se 3 pontos com barras de integração maiores porque não se identificou claramente os picos de ressonância pelo que fizemos o valor médio e a integração a distância média.

Repare-se que não há qualquer tipo de tendência na distribuição dos resíduos de todos os tubos, portanto este devem-se a erros aleatórios. Também não foi necessário eliminar nenhum ponto da Vidaço.

Justificamos estes bons resultados com um R^2 bastante feito de 1 para todos os ajustes.

Poderemos relacionar os ajustes da reta de ajuste com o seguinte equação:

$$f = \frac{v}{2(l + \Delta y)} \cdot n + \frac{v}{g(l + \Delta y)} ; \Delta y = 0,305 \text{ D}$$

$$\text{tendo } m = \frac{1}{2(l + \Delta y)} \cdot v \quad \text{e } b = \frac{1}{g(l + \Delta y)} \cdot v$$

Para o cálculo de v , escolhemos usar o m em vez do b pois tem menor integração associada e é menos afetado por erros sistemáticos.

Usando a equação do m :

$$v = 2m(l + 0,305 \text{ D})$$

$$u(v) = 2\sqrt{(l + 0,305 \text{ D})^2 u^2(m) + m^2 [u^2(l) + (0,305 u(D))^2]}$$

Assim obtivemos os seguintes valores de v :

	$l = 26\text{cm}$	$l = 24.1\text{cm}$	$l = 22\text{cm}$	$l = 14.9\text{cm}$	$l = 12\text{cm}$	$l = 18\text{cm}$
$v (\text{m/s})$	346	349	347	344	350	349
$u[v](\text{m/s})$	1	2	1	2	4	1
Erro %	0,2%	0,7%	0,1%	0,9%	0,7%	0,4%
Incerteza %	0,3%	0,6%	0,4%	0,5%	1,0%	0,3%

Tabela 3 - resultados dos diversos tubos

O Máx. em gráfico

Nob: Para $l = 18\text{ cm}$ $v_{ref} = 347.4 \text{ m s}^{-1}$ (p/s $T = 296,65\text{ K}$)
Para os restantes $v_{ref} = 347.0 \text{ m s}^{-1}$ (p/s $T = 296,15\text{ K}$)

Para $T = 296,15\text{ K}$, $l = 22\text{cm}$ tem o menor erro relativo
, $l = 26\text{ cm}$ tem o menor incerteza relativa. Tendo em conta que os erros / e os incertezas / são muito próximos 9,8 para os 2 tubos e que obtivemos mais fontes experimentais para $l = 26\text{ cm}$, consideramos que a velocidade de propagação do som calculado é $(346 \pm 1) \text{ m s}^{-1}$ com exatidão de 99,8%
e precisão de 99,7%. Mostre os erros e inc?

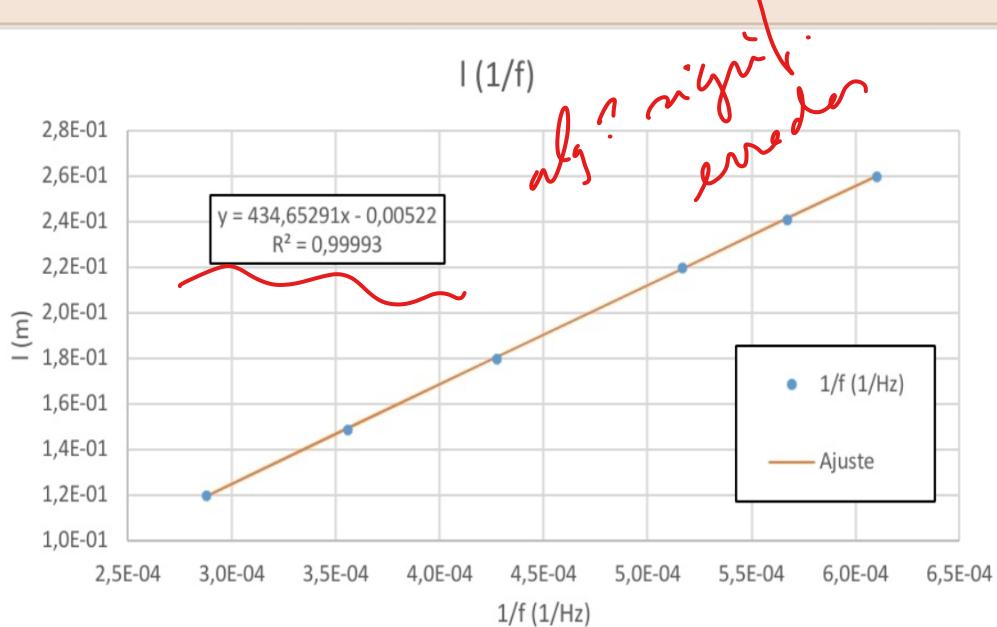
~~sem inferiores a 1%~~

Para $T = 296,65\text{ K}$ obtém-se $v = (349 \pm 1) \text{ m s}^{-1}$
com exatidão de 99,6%.

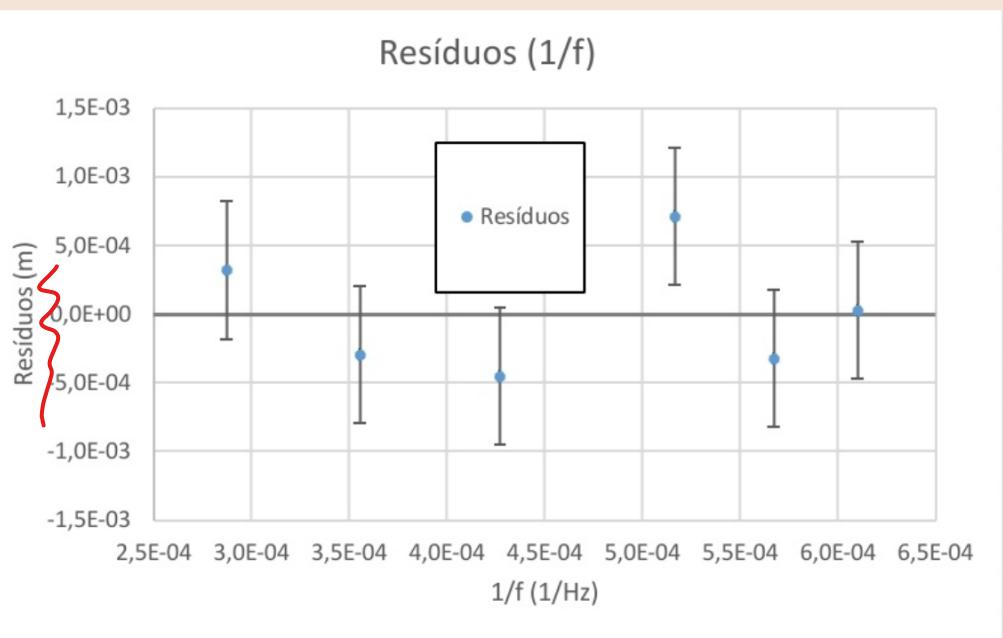
$l (\text{m})$	$u[l] (\text{m})$	$f (\text{Hz})$	$u[f] (\text{Hz})$	$1/f (1/\text{Hz})$	$u[1/f] (1/\text{Hz})$	Ajuste (m)	Resíduos (m)
2,600E-01	5E-04	1639	1	6,101E-04	4E-07	2,60E-01	2,81E-05
2,410E-01	5E-04	1763	1	5,672E-04	3E-07	2,41E-01	-3,20E-04
2,200E-01	5E-04	1936	1	5,165E-04	3E-07	2,19E-01	7,11E-04
1,490E-01	5E-04	2813	1	3,555E-04	1E-07	1,49E-01	-2,94E-04
1,200E-01	5E-04	3480	1	2,8736E-04	8E-08	1,20E-01	3,22E-04
1,800E-01	5E-04	2341	1	4,272E-04	2E-07	1,80E-01	-4,48E-04

"verd"
"inc"
"só
quantitativo"

Tabela 4 - Dados para o estudo de $\left(\frac{1}{f}\right)$
Tubos, Graf. de RESÍDUOS → falta indicar a grandeza em ordenadas



Graáfico 8



Graáfico 9

Se a numeração dos modos não corresponder ao mesmo modo em cada tubo não se observaria uma reta. Estando os modos corretamente numerados, consegu-se observar o que se encontra no gráfico 8. Os resíduos estão dispersos e são da ordem de grandeza das barras de incerteza experimental.

Apesar do último ponto pertencer ao tubo com T maior, a velocidade calculada através deste não difere muito das outras tubos, fato além disso, realizando o ajuste verifica-se que o seu resultado é o menor, pelo que não prejudicou a análise, melhorando até o incerteza dos ajustes.

Através do ajuste linear dos dados do gráfico consegue-se determinar o modo em estudo.

m	435	-5,2E-03	b
u[m]	2	8E-04	u[b]
R ²	0,99993	5E-04	Sy

Apartir de seguinte equação podemos obter n:

$$f = \frac{v}{2(l + \Delta y)} n + \frac{v}{4(l + \Delta y)} \quad (\text{com } v = V_{ref} = 343,0 \pm 0,3 \text{ ms}^{-1})$$

$$\Rightarrow l = \underbrace{\frac{v(n + 1/2)}{2}}_m \times \frac{1}{f} - \Delta y$$

$$n = \frac{2m}{v} - \frac{1}{2}$$

$$u(n) = 2 \sqrt{\left(\frac{u(m)}{v}\right)^2 + \left(\frac{m u(v)}{v^2}\right)^2}$$

Portanto $n = 2,00 \pm 0,01$

Observando o gráfico verifica-se que para o mesmo modo de vibração, a frequência é proporcionalmente inversa ao comprimento do tubo. Na equação obtida a ordenada na origem é dada por $-\Delta y$, o que apesar desta variar de tubo para tubo, esta

Variância é muito reduzida e o próprio valor de ΔY é muito menor que o respetivo δ , pelo que esta variação não afetou de forma significativa os resultados apartir do declive.

\rightarrow Mostre em gráfico, para os modos

Parte 2 - Túbo fechado nas duas extremidades

T (K)	u[T] (K)	p (mmHg)	u[p] (mmHg)	v _{ref} (m/s)	u[v _{ref}] (m/s)
296,65	0,5	21,75	0,66	347,4	0,3

I (m)	u[I] (m)	n	f (Hz)	u[f] (Hz)	Ajuste todos (Hz)	Resíduos todos (Hz)	Ajuste Partes (Hz)	Resíduos Partes (Hz)
5,00E-01	1,00E-03	3	1390	1	1325	65	1393	-3
		4	1725	1	1660	65	1732	-7
		5	2067	1	1995	72	2071	-4
		6	2408	1	2330	78	2410	-2
		7	2749	1	2665	84	2748	1
		8	3085	1	3000	85	3087	-2
		9	3416	1	3335	81	3426	-10
		10	3775	1	3670	105	3765	10
		11	4155	1	4006	149	4104	51
		12	4494	1	4341	153	4442	52
		13	4695	1	4676	19	4781	86
		14	4834	1	5011	-177	4835	-1
		15	5179	1	5346	-167	5180	-1
		16	5524	1	5681	-157	5526	-2
		17	5869	1	6016	-147	5872	-3
		18	6217	1	6351	-134	6218	-1
		19	6561	1	6686	-125	6564	-3
		20	6922	1	7021	-99	6910	12
		21	7258	1	7356	-98	7256	2
		22	7610	1	7691	-81	7602	8
		23	7963	1	8027	-64	7948	15
		24	8290	1	8362	-72	8294	-4
		25	8640	1	8697	-57	8640	0
		26	8982	1	9032	-50	8986	-4
		27	9330	1	9367	-37	9332	-2
		28	9666	1	9702	-36	9677	-11
		29	10025	1	10037	-12	10023	2
		30	10357	1	10372	-15	10369	-12
		31	10715	1	10707	8	10715	0
		32	11055	1	11042	13	11061	-6
		33	11414	1	11377	37	11407	7
		34	11748	1	11712	36	11753	-5
		35	12103	1	12048	55	12099	4
		36	12437	1	12383	54	12445	-8
		37	12788	1	12718	70	12791	-3
		38	13136	1	13053	83	13137	-1
		39	13501	1	13388	113	13483	18
		40	13827	1	13723	104	13828	-1

Tabela 5 - 1º ensaio

l (m)	$u[l]$ (m)	n	f (Hz)	$u[f]$ (Hz)	Ajuste (Hz)	Resíduos (Hz)
5,00E-01	1E-03	3	1389	1	1368	21
		4	1727	1	1715	12
		5	2066	1	2061	5
		6	2407	1	2407	0
		7	2750	1	2754	-4
		8	3087	1	3100	-13
		9	3419	1	3446	-27
		10	3768	1	3793	-25
		11	4155	1	4139	16
		12	4498	1	4485	13
		13	4833	1	4832	1
		14	5178	1	5178	0
		15	5526	1	5524	2
		16	5871	1	5870	1
		17	6200	1	6217	-17
		18	6544	1	6563	-19
		19	6911	1	6909	2
		20	7267	1	7256	11
		21	7607	1	7602	5
		22	7957	1	7948	9
		23	8296	1	8295	1
		24	8647	1	8641	6

Tabela 6 - 2º ensaio

Tendo em conta a equação,

$$f = \frac{\omega}{2l} n + \frac{b}{2l}$$

$$U(b) = \sqrt{\left(\frac{u(\omega)}{l}\right)^2 + \left(-\omega l u / l^2\right)^2}$$

e a velocidade de referência, o valor esperado de b seria

$$b = (347,4 \pm 0,8) \text{ Hz}$$

Este valor foi apenas tido em conta para numerar corretamente os módulos de oscilação.

Tubo Fechado nas Duas Extremidades

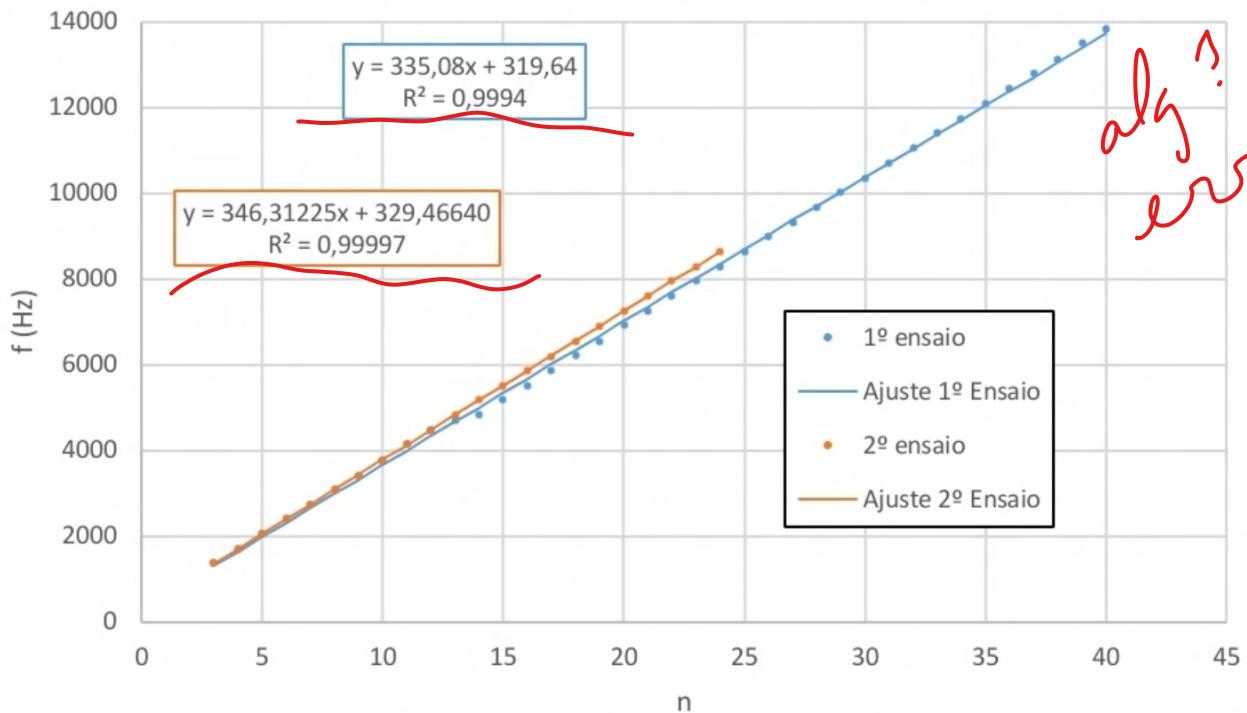
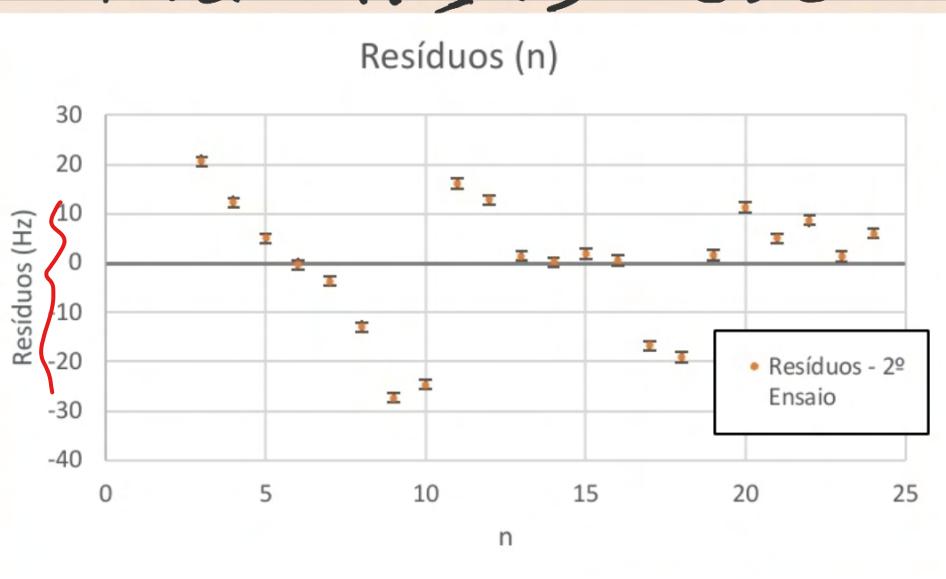


Grafico 10

Verificou-se que no segundo ensaio obteve-se um bom ajuste linear e os dados apresentam uma boa tendência linear, enquanto que no primeiro ensaio para $n \leq 13$ observa-se um comportamento linear e para $n > 13$ observou-se outro.



m	346,3	329	b
u[m]	0,4	7	u[b]
R ²	0,99997	13	Sy

matriz de ajuste $f(n)$
do 2º ensaio

Grafico 21

Os resíduos em $n \leq 10$ apresentam uma tendência linearmente decrescente, o que indica um erro sistemático no registo dos dados. Quando $n > 10$ temos apenas erros aleatóreos.

Para o cálculo da velocidade do som no ar vai-se utilizar a seguinte fórmula:

$$f = \frac{v}{2l} n + \frac{v}{2l}$$

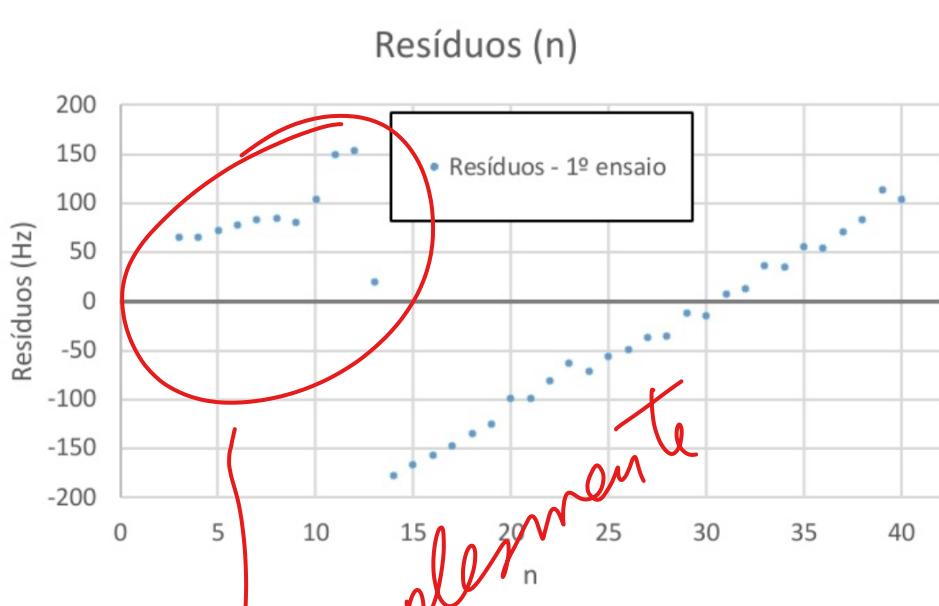
$$\rightarrow m = \frac{v}{2l} \Rightarrow v = 2ml$$

$$u(v) = \sqrt{l^2 u^2(m) + m^2 u^2(l)}$$

Com isto foram obtidos os seguintes valores:

v (m/s)	346
$u[v]$ (m/s)	1
Erro %	0,3%
Incerteza %	0,2%

Analisando agora os resíduos do 1º ensaio, assim como o ajuste tendo em conta todos os valores.



m	335	320	b
u[m]	1	34	u[b]
R ²	0,9994	95	Sy

matriz de ajuste de f(n) do 1º ensaio

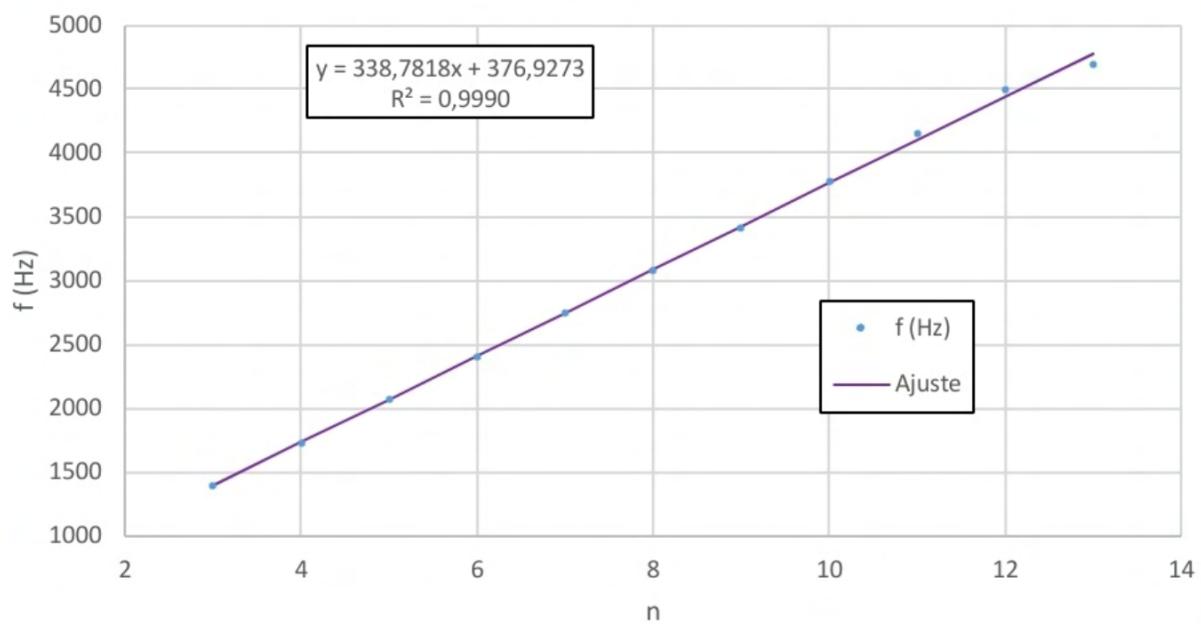
Neste consegue-se observar claramente dois comportamentos diferentes, um antes de $n = 13$ e outro depois. Desta maneira foi estudado os dados para ambas partes. Neste gráfico não foram colocadas barras de incerteza pois estas eram insignificantes comparadas com os resíduos.

Ajuste 1ª Parte		
m	339	377 b
u[m]	4	31 u[b]
R ²	0,9990	38 Sy

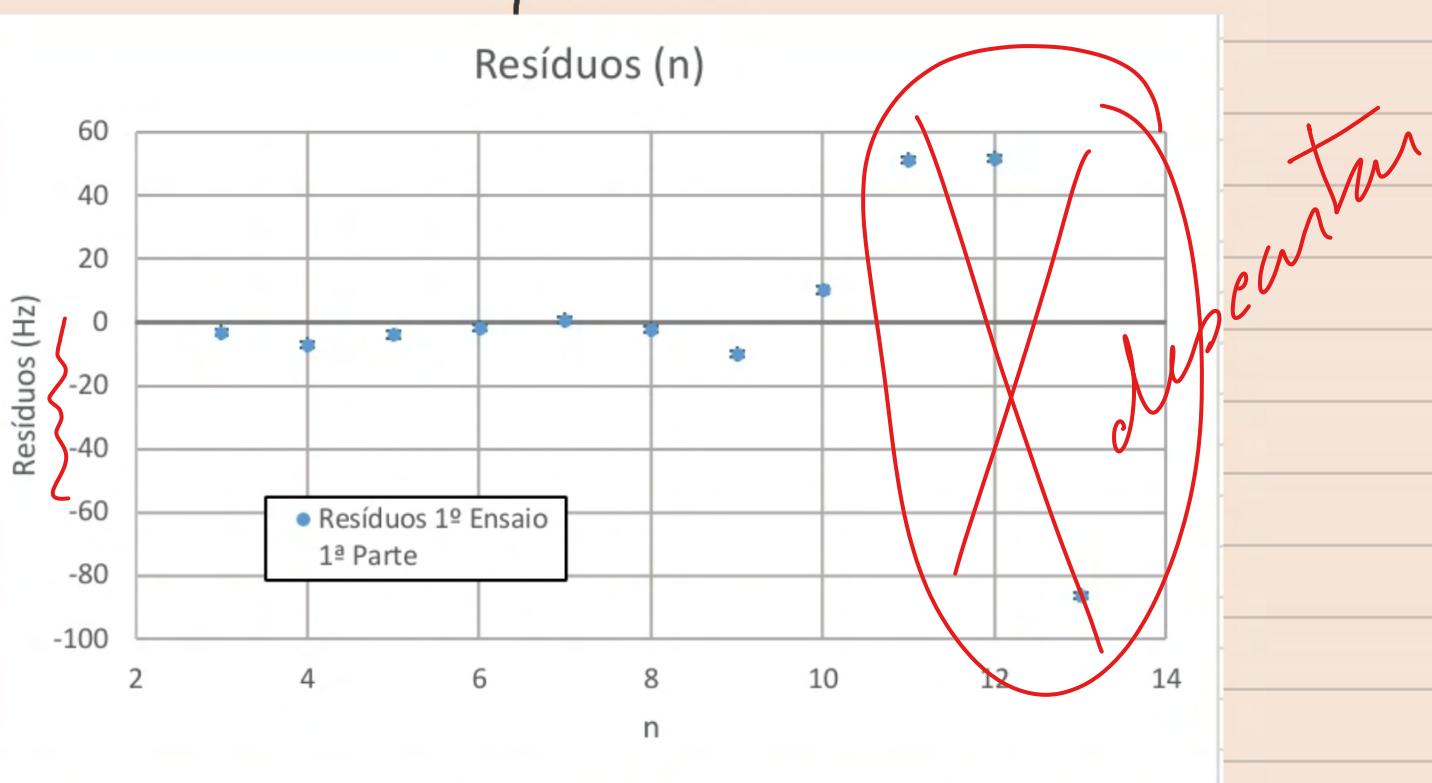
Ajuste 2ª Parte		
m	345,9	-8 b
u[m]	0,2	5 u[b]
R ²	0,999993	7 Sy

matrizes de ajuste de f(n)

1º Ensaio - 1ª Parte



Graáfico 13



Graáfico 14

Até bastante $n > 10$ observamos resíduos reduzido, no entanto para $n > 10$ temos resíduos significativos, especialmente a $n = 13$.

1º Ensaio - 2ª Parte

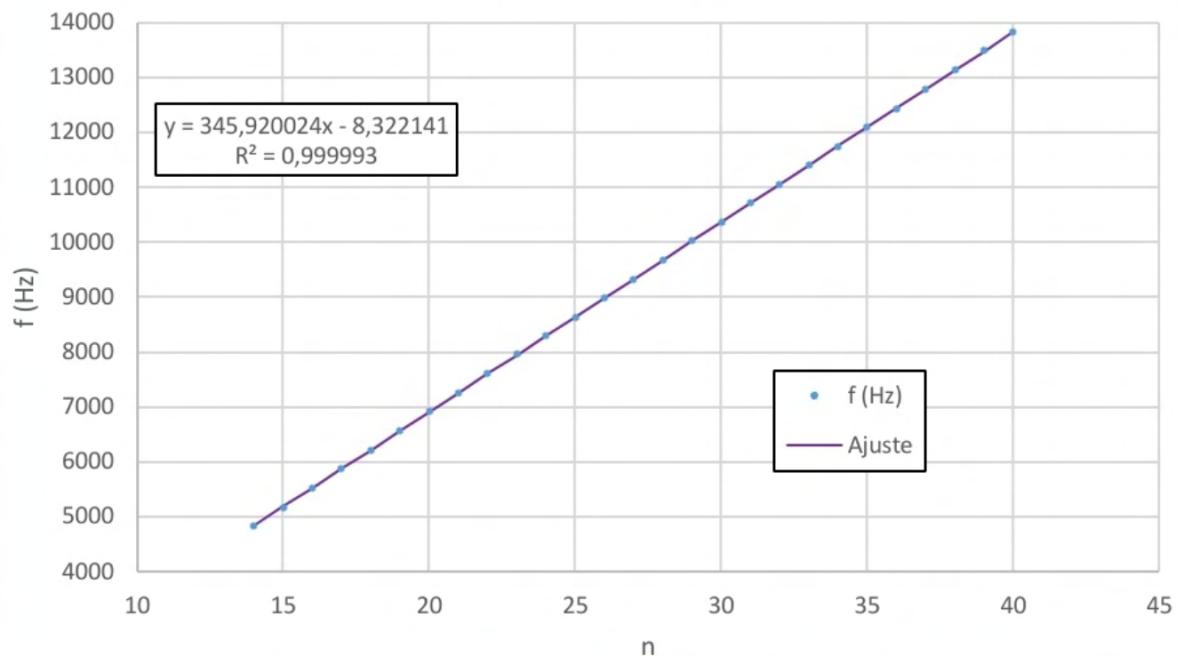


Gráfico 15

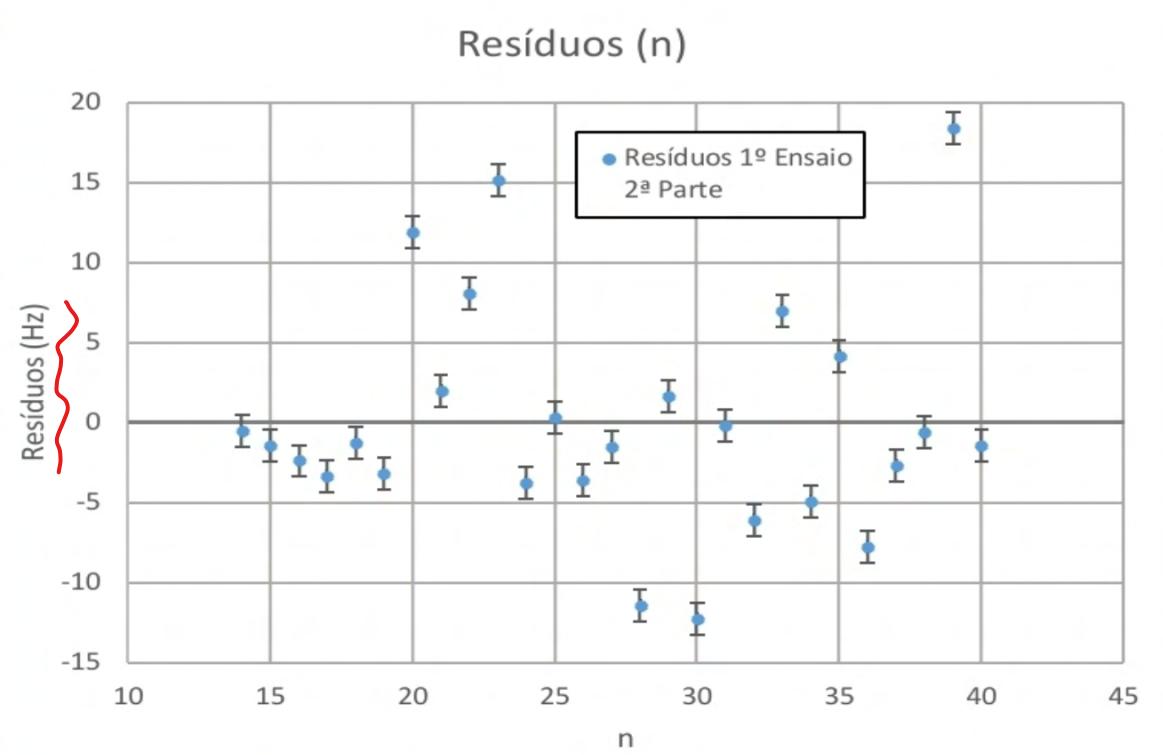


Gráfico 16

Apesar de na segunda parte se detectar um erro sistemático, devido ao deslocamento desta em relação ao segundo ensaio, os resíduos apresentam uma

distribuição mais aleatória e de dimensões menores.

Para cada parte do primeiro ensaio calculou-se a velocidade do som no ar e obteve-se:

1ª Parte

v (m/s)	339
$u[v](m/s)$	4
Erro %	2%
Incerteza %	1%

2ª Parte

v (m/s)	346
$u[v](m/s)$	1
Erro %	0,4%
Incerteza %	0,2%

Como era de esperar para a segunda parte o erro % e a incerteza percentual são menores.

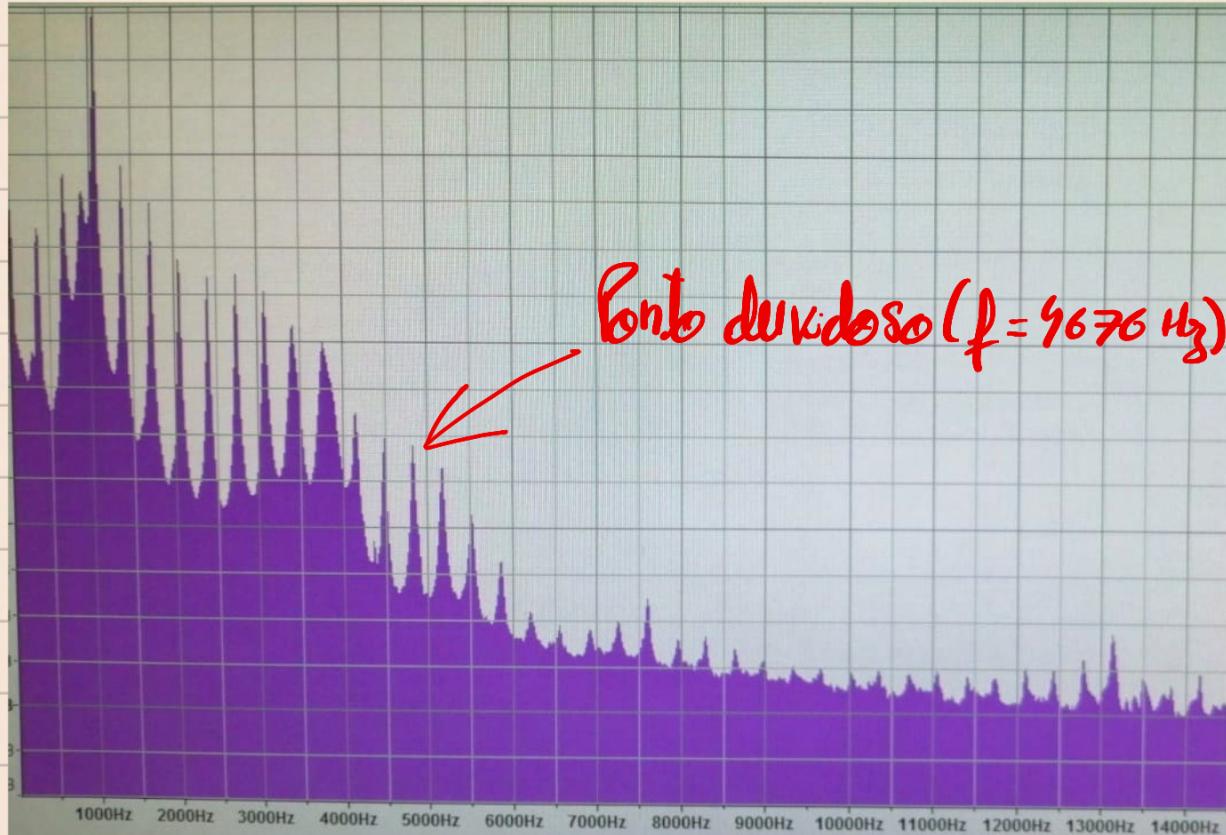


Imagem 1 → Espectro de frequência 1º ensaio

A partir da análise do espectro de frequências relativo ao primeiro ensaio

Verificou-se que o pico relativo a $n=13$ não corresponde a um dos modos de ressonância do ar, sendo este possivelmente devido a um destes motivos:

- ruído de fundo
- feedback do microfone/altifalante
- etc.

Este pico não é observável no segundo ensaio que foi realizado numa menor sensibilidade, podendo isto também explicar esta anomalia.

Por outro lado as frequências de ressonância variam $\sim 350\text{ Hz}$ de um modo para o outro no 1º ensaio, mas entre $n=12$ e $n=13$ apenas varia $\sim 200\text{ Hz}$ e entre $n=13$ e $n=14$ varia $\sim 150\text{ Hz}$. Retirando este pico do ajuste, e removendo os picos da segunda parte, obtivemos os seguintes resultados

l (m)	$u[l]$ (m)	n	f (Hz)	$u[f]$ (Hz)	Ajuste sem duvidoso (Hz)	Resíduos sem duvidoso (Hz)
5,00E-01	1,00E-03	3	1390	1	1371	19
		4	1725	1	1717	8
		5	2067	1	2063	4
		6	2408	1	2409	-1
		7	2749	1	2755	-6
		8	3085	1	3101	-16
		9	3416	1	3448	-32
		10	3775	1	3794	-19
		11	4155	1	4140	15
		12	4494	1	4486	8
		13	4695	1	4832	-137
		13	4834	1	4832	2
		14	5179	1	5178	1
		15	5524	1	5524	0
		16	5869	1	5870	-1
		17	6217	1	6216	1
		18	6561	1	6562	-1
		19	6922	1	6908	14
		20	7258	1	7254	4
		21	7610	1	7600	10
		22	7963	1	7946	17
		23	8290	1	8293	-3
		24	8640	1	8639	1
		25	8982	1	8985	-3
		26	9330	1	9331	-1
		27	9666	1	9677	-11
		28	10025	1	10023	2
		29	10357	1	10369	-12
		30	10715	1	10715	0
		31	11055	1	11061	-6
		32	11414	1	11407	7
		33	11748	1	11753	-5
		34	12103	1	12099	4
		35	12437	1	12445	-8
		36	12788	1	12791	-3
		37	13136	1	13138	-2
		38	13501	1	13484	17
		39	13827	1	13830	-3

Tabela 7

Tubo Fechado nas Duas Extremidades

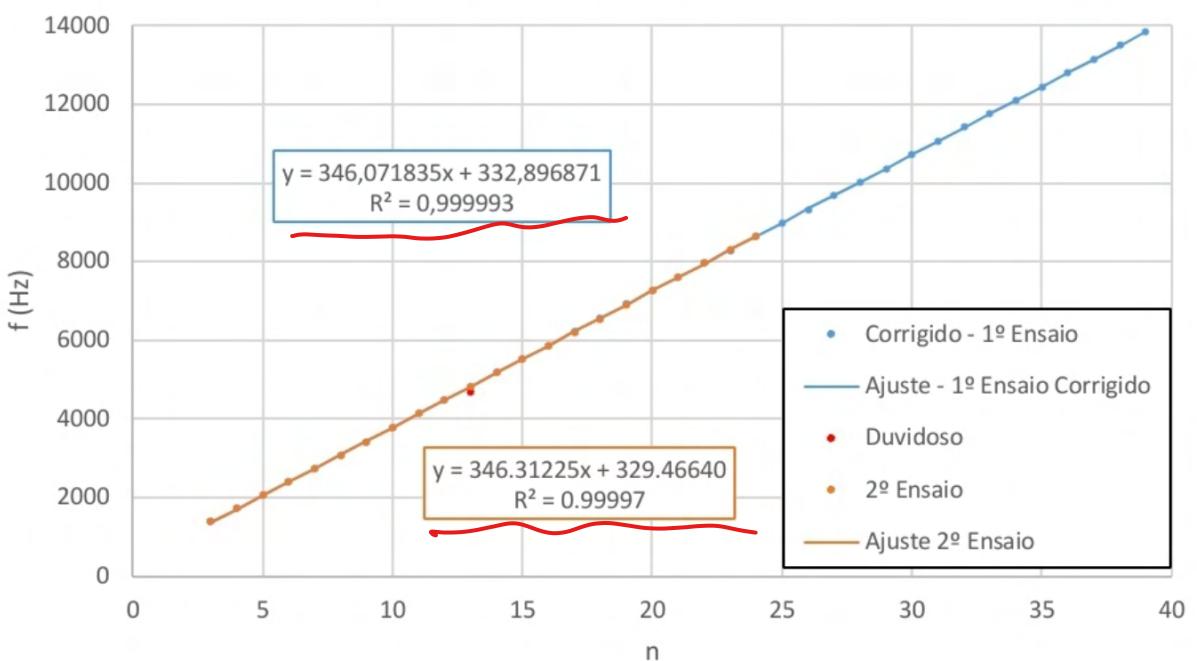


Gráfico 17

Desconsiderando o ponto duvidoso, a reta de ajuste do segundo ensaio já coincide com a do primeiro

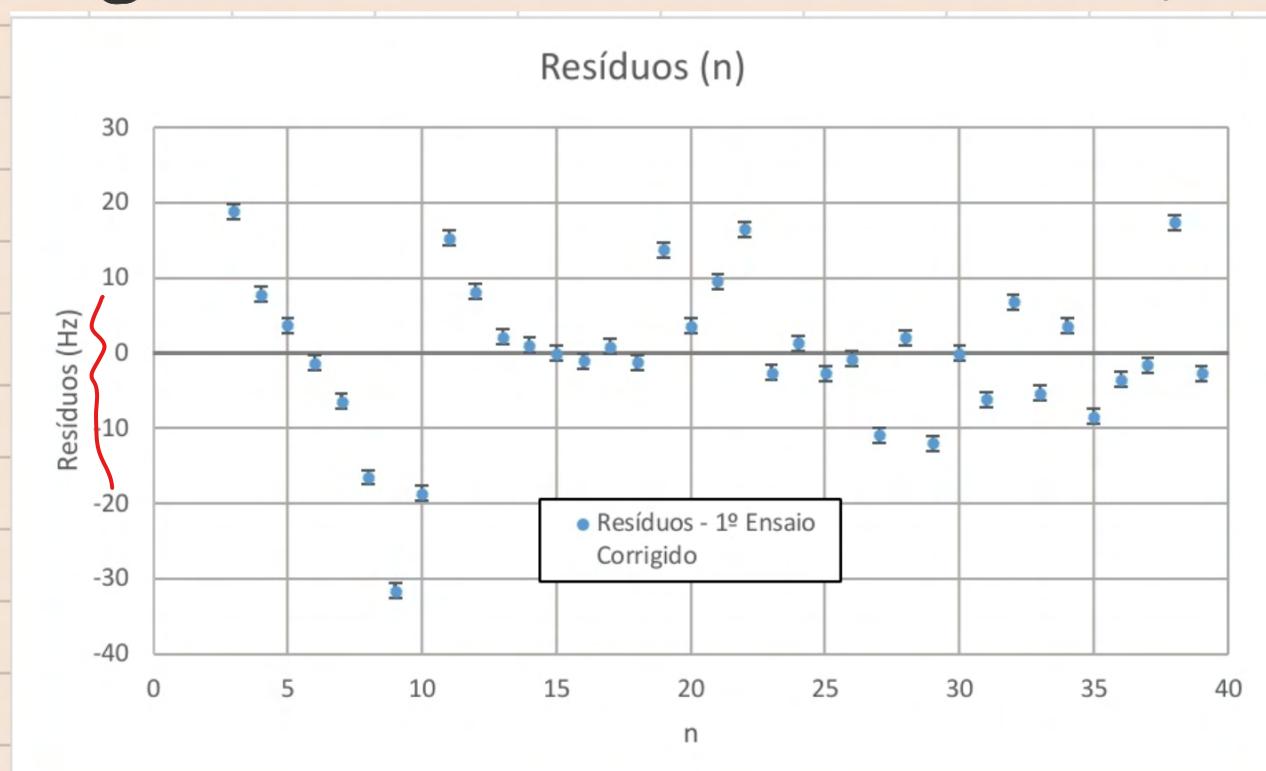


Gráfico 18

Os resíduos nos primeiros pontos assemelham-se aos do segundo ensaio, confirmendo a existência de erros sistemáticos, mas as suas dimensões são muito menores que os valores da frequência medidos, cerca 10^2 vezes menores.

m	346,1	333	b
u[m]	0,2	4	u[b]
R ²	0,999993	10	Sy

v (m/s)	346
u[v](m/s)	1
Incerteza %	0,2%
Erro %	0,4%

matriz de ajuste f(n) s/ ponto duvidoso !

Observe-se inc ^{erro} e exatidão de 99,6% e uma precisão de 99,8%. Consoante obtiveram-se os mesmos valores que no ajuste da segunda parte do 1º ensaio.

Resultados Finais

Tubo fechado numa extremidade:

$$T = (23,0 \pm 0,5)^\circ\text{C} \rightarrow v = 346 \pm 1 \text{ m s}^{-1}$$

~~exatidão = 99,8%
precisão = 99,7%~~

$$T = (23,5 \pm 0,5)^\circ\text{C} \rightarrow v = (349 \pm 1) \text{ m s}^{-1}$$

~~exatidão = 99,6%
precisão = 99,7%~~ (+)

Tubo fechado nas duas extremidades

$$T = (23,5 \pm 0,5)^\circ\text{C} \rightarrow 1^{\text{º}} \text{ ensaio } v = (356 \pm 1) \text{ ms}^{-1}$$

Não fizemos ^{um} m
ain. Não nos servido de
avançar com uma estimativa de Δy
Comparando com o valor esperado, nota:
NOTA: os tubos são iguais!

$$\text{erat} = 99,6\%$$

$$\text{proc} = 99,8\%$$

(+)

$$\rightarrow 2^{\text{º}} \text{ ensaio } v = (356 \pm 1) \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{erat} = 99,7\%$$

$$\text{proc} = 99,8\%$$

(+)

Conclusão

~~→ Conseguimos observar pelo "Audacity" os espetros do fenômeno de ressonância acústica em todos os tubos, tendo se identificado apenas 1 pico desviado no 1º ensaio do tubo fechado.~~

~~→ Conseguimos verificar as relações lineares entre f e n for o mesmo l . Também $f \propto \frac{1}{l}$ for o mesmo n .~~

~~→ Conseguimos determinar, com dados precisos e aceitáveis, a velocidade da propagação do som no ar para todos os tubos.~~

Se não concretizam com os valores de $\% \text{ inc}$ e $\% \text{ erro}$, estes juízos de valor não significam nada!

A conclusão deve poder ser lida sem ter que consultar nenhuma outra parte do trabalho!

Anexo:

Temperatura (°C)	Pressão de vapor saturado (mm Hg)	Pressão de vapor com Humidade Relativa de:					
		100%	80%	60%	40%	20%	0%
0	4.58	4.58	3.66	2.75	1.83	0.92	0
5	6.54	6.54	5.23	3.92	2.62	1.31	0
10	9.21	9.21	7.37	5.53	3.68	1.84	0
12	10.52	10.52	8.42	6.31	4.21	2.10	0
14	11.99	11.99	9.59	7.19	4.80	2.40	0
15	12.79	12.79	10.23	7.67	5.12	2.56	0
16	13.64	13.64	10.91	8.18	5.46	2.73	0
18	15.49	15.49	12.39	9.29	6.20	3.10	0
20	17.54	17.54	14.03	10.52	7.02	3.51	0
22	19.84	19.84	15.87	11.90	7.94	3.97	0
24	22.39	22.39	17.91	13.43	8.96	4.48	0
25	23.77	23.77	19.02	14.26	9.51	4.75	0
26	25.22	25.22	20.18	15.13	10.09	5.04	0
28	28.36	28.36	22.69	17.02	11.34	5.67	0
30	31.83	31.83	25.46	19.10	12.73	6.37	0
32.5	36.69	36.69	29.35	22.01	14.68	7.34	1
35	42.18	42.18	33.74	25.31	16.87	8.44	2
37.5	48.37	48.37	38.70	29.02	19.35	9.67	3
40	55.33	55.33	44.26	33.20	22.13	11.07	0

Figura 2 - Tabela usada para o cálculo de P_{VH_2O}

Por exemplo:

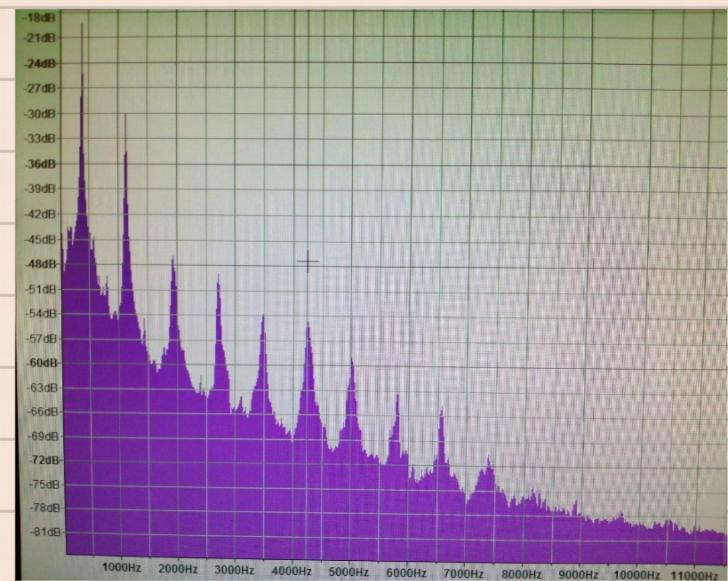
Calcular-se a velocidade do som no ar recorrendo às vibrações da coluna de ar em tubos fechados num e nas duas extremidades.

Figura 3 - Espectro de fragilância de um dos tubos fechados num orifício

extremidades. Em todos os casos os valores obtidos foram excelentes, com % inc e % erro < 1

Figura 4 - Uso de borracha como extremidade fechada.

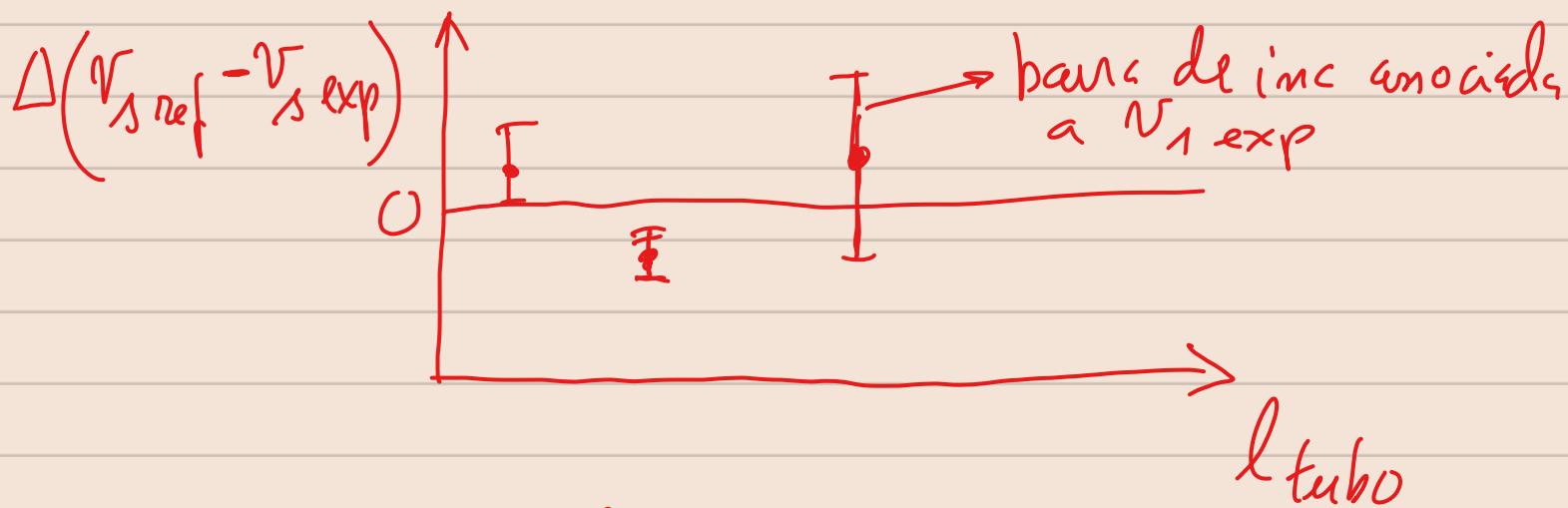
Não se detectou diferença de qualidade entre os 2 tipos de tubos



NOTA

→ INFO CLARA, COMPLETA e ÚTIL

Para $V_{\text{som}} = V_s$ devia ter apresentado:



Para o cálculo de $\Delta y \neq n^{\circ}$ modo

