

## Mecânica e Ondas

### Guia das Ondas em Cordas

Trabalho laboratorial sobre Ondas estacionárias em fios.

### Introdução, Objectivos e Equipamento

Pretende-se com este trabalho laboratorial levar os estudantes ao contacto experimental com o estudo da propagação de ondas mecânicas num fio:

- ❖ adquirir e analisar a frequência fundamental e harmónicas.
- ❖ cálculo da velocidade de propagação da onda num fio.
- ❖ Relacionar os diferentes parâmetros que os interligam: Tensão, comprimento e densidade do fio.

#### Equipamento

1 base: inclui uma escala graduada, braço e parafuso que permitem regular e ajustar a tensão na corda

2 suportes

Fios metálicos (cordas de guitarra) com as seguintes características:

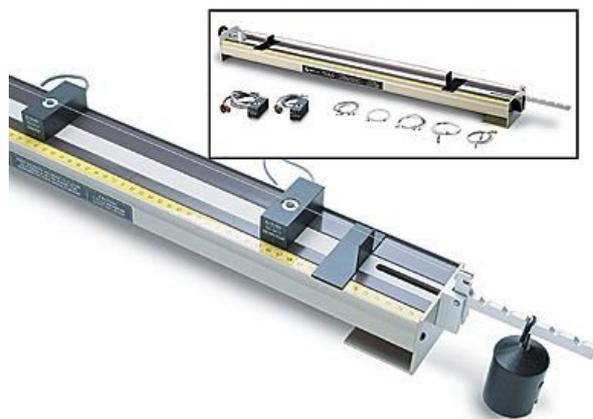
1. densidade linear 0.39 g/m
2. densidade linear 0.78 g/m
3. densidade linear 1.12 g/m
4. densidade linear 1.50 g/m
5. densidade linear 1.84 g/m

1 bobina:

“DRIVER”, que permite induzir oscilações na corda e excitar os seus modos de vibração

massas de valor conhecido

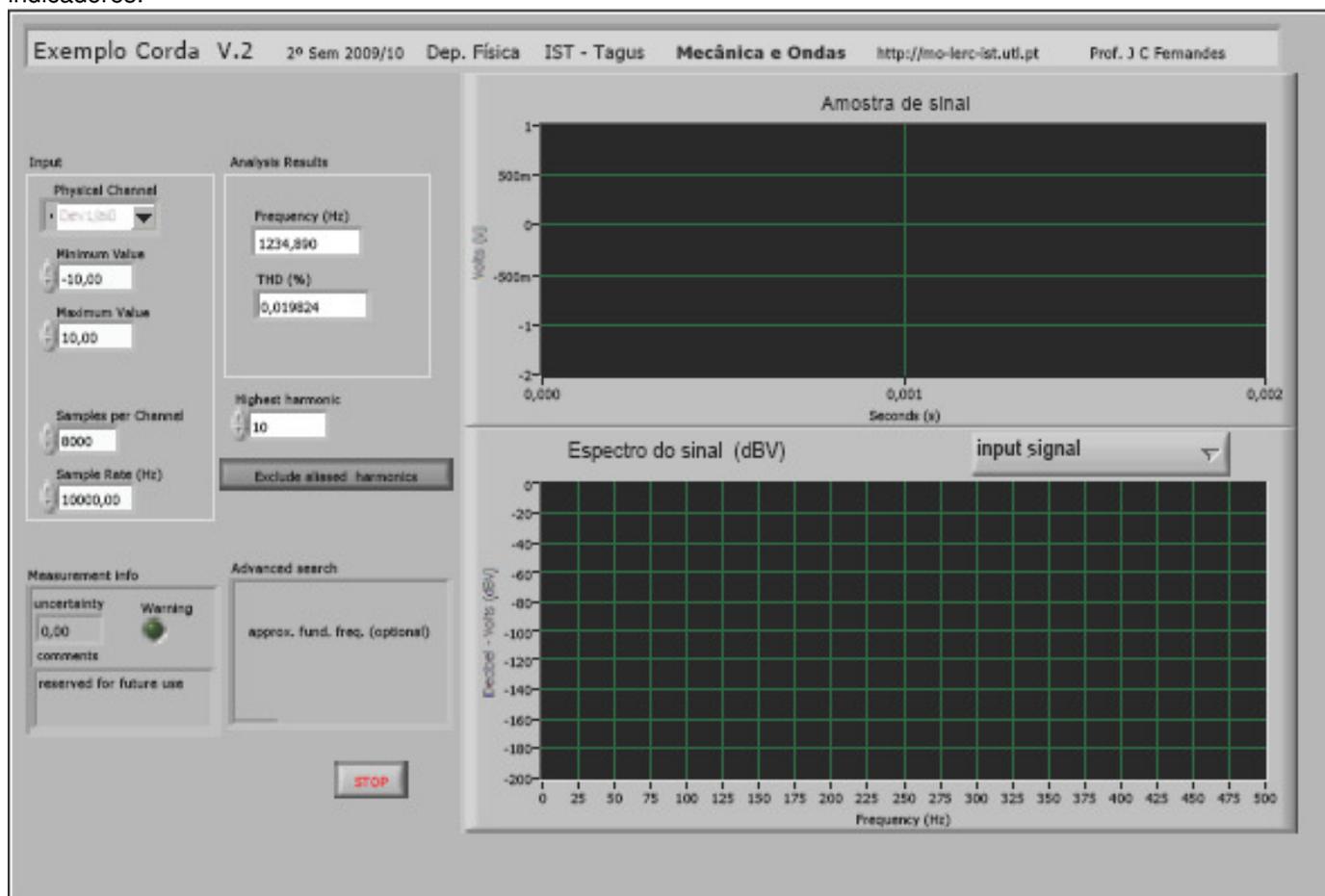
1 placa de digitalização NI DAC (USB 6008)



## Parte I – Procedimento experimental e aquisição de dados.

Comece por criar na sua área de aluno um directório para receber o ficheiro executável deste trabalho. Vá à página da cadeira em <http://mo-lerc-tagus.ist.utl.pt> entre em **laboratório** ⇨ **3º trabalho de Laboratório**. Aparece-lhe o ficheiro: **Executável CordaV2** que deve copiar para a sua área fazendo **Save to disk** para o directório que acabou de criar no seu **Ambiente de trabalho**. Faça o winzip dessa file para extrair a executável **CordaV2.exe**. Está pronto a iniciar.

O programa faz um run inicial, sem experiência. Vai encontrar um painel frontal com vários indicadores.



Dois visores gráficos:

1. O superior simula um ecrã de osciloscópio, recolhe o sinal directamente do fio. Tem uma base de tempo horizontal em segundos e uma escala vertical em Volts.
2. O inferior contém o espectro do sinal observado em cima. A escala horizontal indica a frequência em Hz enquanto a vertical mede a amplitude em dBV.
3. Um botão central permite escolher qual o tipo de sinal a observar. **Input signal**, para o sinal total, **fundamental only** só para a fundamental, **harmonics only**, só para as harmónicas.

Lateralmente encontra 5 botões de **input** que usualmente devem ficar no seu valor de default:

**Physical Channel** – Deve activar o canal “0” que é de facto aquele que recolhe o sinal analógico proveniente do detector colocado junto à corda. Para isso escolha **Dev1/ai0**.

**Minimum value** – O valor mais baixo da tensão. Mantenha o default **-10,00 V**.

**Maximum value** – O valor mais alto da tensão. Mantenha o default **+10,00 V**.

**Samples per channel** – O nº de digitalizações por amostra. Mantenha o default **8000,00**.

**Sample rate (Hz)** – A frequência de digitalizações. Mantenha o default **10000,00**.

Na parte inferior do painel frontal encontram-se os indicadores numéricos dos resultados obtidos.

**Frequency** – A frequência fundamental detectada.

**THD (%)** -- A distorção harmónica total obtida na amostra.

Na barra superior do programa existem vários botões, mas só lhe interessa o **Run** representado por uma seta ⇒. Ao clicar nele uma vez o programa arranca e colhe sucessivas amostras de sinal. Cada amostra contém 8000 pontos adquiridos a uma frequência de 10Khz. Pode manter o programa a correr durante todo o trabalho ou fazer **STOP** a qualquer momento.

Cada vez que se percute a corda, **levemente** e na sua zona central, pode fazer uma aquisição e tomar nota no quadro respectivo dos dados do fio e respectiva frequência fundamental encontrada.

Vamos agora sintetizar todo o procedimento.

1. Começamos por instalar no suporte uma das cordas, ( por ex. a nº 1).
2. **Estimativa do erro experimental.**

Colocamos o peso 1 no braço 5. Ajustamos o comprimento do fio em 65cm (início em 10cm final em 75cm). Fazemos 5 aquisições, preencha o QUADRO 1.

**Nota importante:** Na 1ª montagem e aquisição não sabemos qual o erro associado à medida da frequência obtida pelo software. Para o sabermos devemos fazer (**só na 1ª montagem**), pelo menos, umas 5 aquisições sempre do mesmo valor para podermos tirar um valor médio e estimar o erro associado. Isto será importante para poder fazer uma análise crítica comparativa dos resultados obtidos.

3. **Estudo da variação da frequência com o comprimento.** Mesma corda e a mesma tensão.

Coloque o peso 1 no braço 5. Ajustamos o comprimento do fio em 65cm (início em 10cm final em 75cm). Fazemos 8 aquisições a 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35 e 30cm. Preencha o QUADRO 2. Ficará no total com 8 aquisições.

4. **Estudo da variação da frequência com a tensão.** Mesma corda e o mesmo comprimento.

A tensão no fio é numericamente igual ao momento da força. Este é dado pelo produto força, o peso usado, pelo braço do peso, 1, 2, 3, 4 ou 5.

Coloque o comprimento em 50cm e use 8 combinações de peso e braço do peso. Por exemplo, peso 1 e braço de 1, 2, 3, 4 e 5 seguido de peso ½ e braço 1, 3 e 5 . Obterá assim as 8 aquisições. Preencha o QUADRO 3.

5. **Estudo da variação da frequência com a densidade.** Mesma tensão e o mesmo comprimento mas diferentes cordas.

Vamos agora mudar de corda. Utilize a corda 2. Ajuste o comprimento em 50cm, o braço em 5 e use o peso 1. Faça a aquisição. Preencha o QUADRO 4. Repita este ponto para 3 cordas diferentes disponíveis no Laboratório. Obterá assim mais 3 aquisições.

## Parte II – Análise e tratamento dos dados experimentais.

Na **Parte I** fez a aquisição de vários conjuntos de dados, reunidos nos quadros do Relatório. Podemos construir uma tabela de dados, usando o programa ORIGIN que tem instalado no seu computador em **All programs** ⇒ **Development** ⇒ **Origin6.1**.

O modelo teórico em que nos baseámos permite relacionar a **frequência própria** (fundamental) com as 3 grandezas variáveis utilizadas: **tensão, comprimento e densidade**.

Por um lado sabemos que a velocidade é dada pelo produto da frequência pelo comprimento de onda  $v = f\lambda$ . Por outro sabemos que se a corda tem dois pontos fixos o seu comprimento corresponde a meio comprimento de onda  $L = \frac{\lambda}{2}$ , o que nos permite obter a relação:  $f = \frac{v}{2L}$ .

A velocidade pode ser obtida directamente da equação de propagação:

$$v = \sqrt{\frac{\text{Tensão}}{\text{densidade}}} = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Obtém-se assim uma função de 3 variáveis:  $f = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

A tensão no fio é obtida experimentalmente usando uma pequena alavanca. Uma vez que o braço do fio tem 1 unidade, no equilíbrio a tensão vem dada pelo produto do peso pelo braço do peso  $T = P.b$ .

Podemos dividir a nossa análise em 3 tipos de testes.

1) No 1º tipo, QUADRO 2, mantivemos constante a tensão e a

densidade linear da corda. Obtemos a variação de f com o comprimento do fio:  $f = \frac{v/2}{L}$ .

Podemos usar o Origin para representar estes pontos do QUADRO 2 e fazer um ajuste usando a função **Origin Basic Functions > Allometric 1** ( $y = Ax^b$  com b = -1 fixo)

O modelo de fit utilizado permitiu-lhe determinar a constante A do modelo  $y = \frac{A}{x}$ .

Como sabemos que  $A = v/2$  podemos calcular velocidade v experimental, da onda no fio.

Por outro lado podemos calcular v usando os valores do fabricante  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ .

Pede-se que compare os dois valores. Coloque nomes nos eixos do gráfico e identifique-o fazendo de seguida um print necessário para o relatório. (Veja o exemplo 1 neste protocolo)

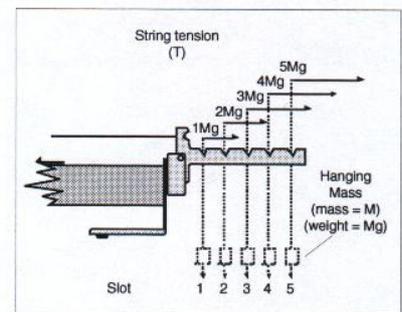
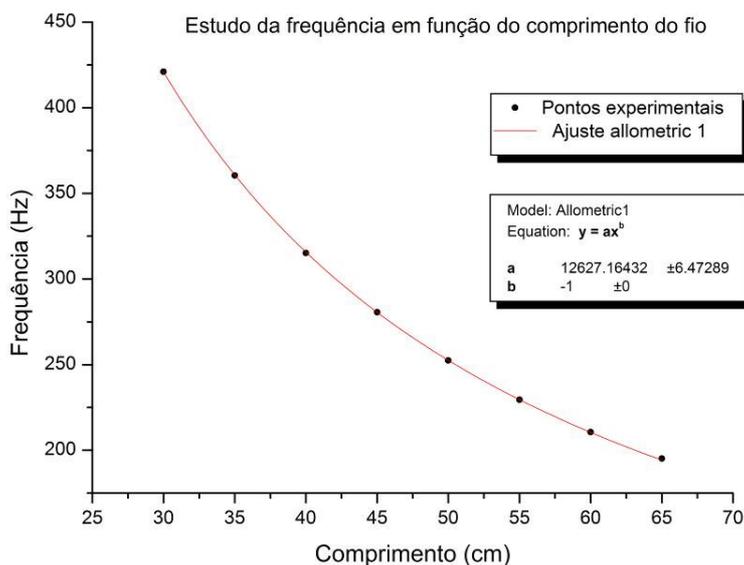


Figure 2.2 Setting the Tension

**Exemplo 1**

2) No 2º tipo, QUADRO 3, mantivemos constante o comprimento e a densidade linear da corda.

Obtemos a variação de  $f$  com a tensão do fio  $f = \frac{1}{2L\sqrt{\mu}}\sqrt{T}$

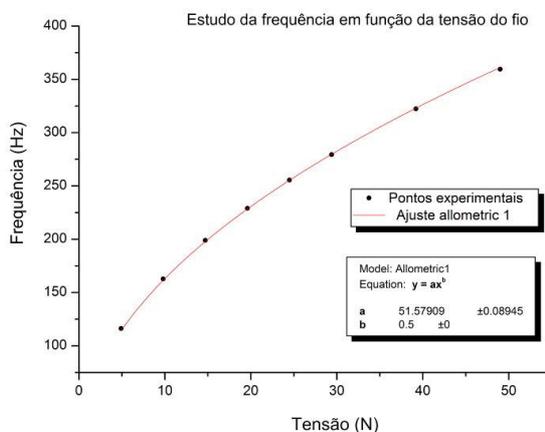
Podemos usar o Origin para representar estes pontos dos QUADROS 3 + 4 e fazer um ajuste usando a função **Origin Basic Functions > Allometric 1** ( $y = Ax^b$  com  $b = 1/2$  fixo)

(nota: a unidade usada para a tensão deve ser coerente com a usada para a densidade linear).

O modelo de fit utilizado permitiu-lhe determinar a constante  $A$  do modelo  $y = A\sqrt{x}$ . Como sabemos que  $A = \frac{1}{2L\sqrt{\mu}}$  podemos calcular a densidade experimental do fio. Sabemos o valor do fabricante.

Pede-se que compare os dois valores. Coloque nomes nos eixos do gráfico e identifique-o fazendo de seguida um print necessário para o relatório. (Veja o exemplo 2 neste protocolo)

## Exemplo 2



3) No 3º tipo, QUADRO 5, mantivemos constante o comprimento e a tensão da corda.

Obtemos a variação de  $f$  com a densidade linear do fio  $f = \frac{\sqrt{T}}{2L} \frac{1}{\sqrt{\mu}}$

Invertendo esta equação podemos obter a densidade conhecida a frequência  $\mu = \frac{T}{4L^2 f^2}$ .

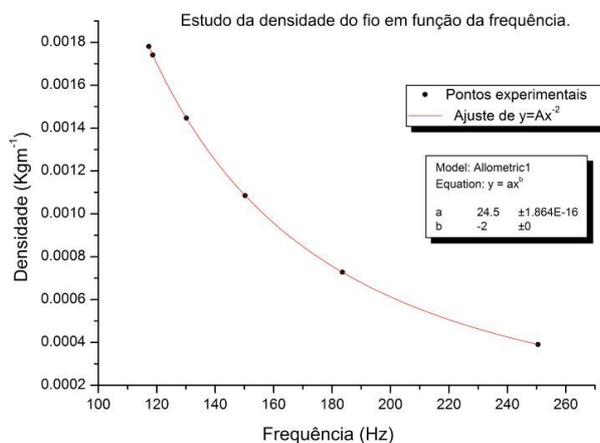
Podemos e devemos comparar estes valores calculados experimentalmente com os dados pelo fabricante.

Faça uma tabela comparativa para as 3 cordas.

Podemos também usar o Origin para representar estes pontos e fazer um ajuste usando a função **Origin Basic Functions > Allometric 1** ( $y = Ax^b$  com  $b = -2$  fixo)

O modelo de fit utilizado permitiu-lhe determinar a constante  $A$  do modelo.

Como sabemos que  $A = \frac{T}{4L^2}$ . Podemos comparar os valores teórico e experimental. (Veja o exemplo 3 neste protocolo).

**Exemplo 3**

4) Comente os resultados obtidos, nomeadamente:

- A eficiência geral do método na detecção da frequência fundamental da corda.
- O erro estimado para a velocidade de propagação da onda no 1º teste.
- A confiança que podemos ter nas densidades das cordas fornecidas pelo fabricante.