

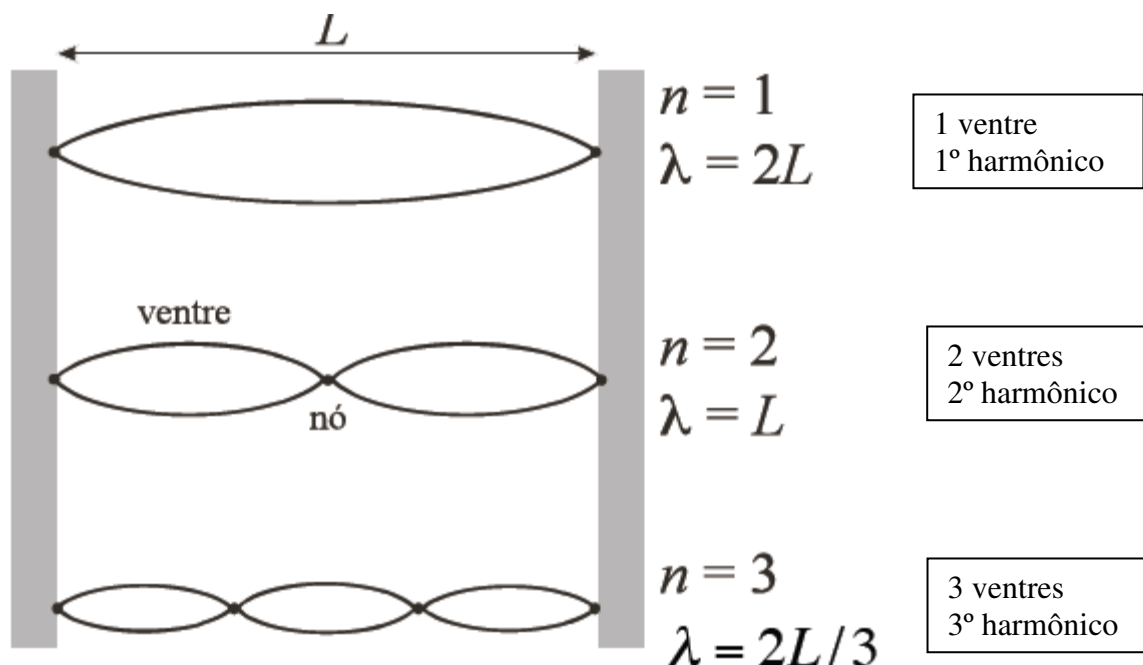
## Plano Experimento 7 – Cordas Vibrantes – aulas 11 / 12

1 - Estudaremos neste experimento as frequências de ressonância ( $f$ ) de um fio sob tensão em função do número do harmônico ( $n$ ), da tensão no fio ( $T$ ), do comprimento do fio ( $L$ ) e da densidade linear do fio ( $\mu$ ). Isto é:

$$f = Cn^{\alpha}L^{\beta}T^{\gamma}\mu^{\delta}$$

conhecida como Lei de Lagrange. Neste experimento o alto-falante oscila na mesma frequência do gerador e o fio é excitado nesta mesma frequência. A frequência de ressonância ( $f$ ) é determinada pela ocorrência da máxima amplitude de oscilação, e a frequência correspondente é lida no gerador de áudio.

Cada modo normal de oscilação tem uma frequência característica. Quando o fio é excitado em uma das frequências características a amplitude de oscilação atinge valores relativamente altos (ressonância).



2 - A proposta do experimento é estudar a dependência das frequências de ressonância com os diversos parâmetros, fazendo medidas mantendo um parâmetro livre e deixando todos os outros parâmetros fixos, estudando a comportamento da frequência de ressonância em função de deste parâmetro livre.

Neste ano as salas de aula terão cada montagem com um fio de diâmetro diferente devidamente identificado, variando desde o mais fino (0,20 ou 0,25mm) até o mais grosso (0,8 ou 0,9mm). **Os alunos não devem trocar o fio nem cortá-lo nem dar nó.**

Quando for a hora de estudar a dependência da frequência com o comprimento do fio a mola que prende o fio ao eixo do alto-falante é suficiente para segurar o fio, desde que o peso que o tensiona não seja exagerado. Portanto **não** dar nó no fio pois isto inutilizará o mesmo para medidas futuras. **Note que o comprimento L do fio vai do ponto de tangência na polia até o eixo no alto-falante. Portanto o desenho na figura 2.1, página 124, está errado.**

Quando for a hora de estudar a dependência da frequência com a densidade linear do fio as equipes farão rodízio entre as montagens. **Neste ponto a classe deve estabelecer um único valor de comprimento e todas as montagens colocadas neste comprimento.** Todos os suportes de massa foram ajustados para ter o mesmo valor, escrito em etiqueta colada no suporte. **Os suportes de massa não devem ser desmontados para pesagem.** Cada equipe pode carregar a massa que escolheu como fixa de montagem para montagem e no final devolvê-la ao conjunto inicial.

Em cada conjunto de dados os alunos não devem se esquecer de **anotar os valores dos parâmetros mantidos fixos.**

Para estabelecer a **incerteza em f** podemos, partindo da posição de ressonância do n sendo medido, diminuir f até aquele modo n começar a desaparecer e anotar esta frequência (seja f-), voltar para a ressonância e começar a aumentar a frequência até aquele modo começar a desaparecer e anotar esta frequência (seja f+). Podemos então assumir que neste intervalo temos 99% de chance de encontrar a ressonância para aquele modo e então  $\Delta f = f+ - f- = 6\sigma$ .

## Primeira aula:

### Frequência versus número do harmônico:

1 – Mantemos fixos T (m ~ 100g para fio de 0,7mm funciona bem; para outros fios tem que testar), L (~176cm funciona bem),  $\mu$  (cada equipe terá um fio diferente indicado na montagem) e variamos n. Faremos medidas de f para **n=1 até n=8. Determinar a incerteza experimental de f em cada caso.**

$$f_n = K_n n^\alpha$$

2 – Fazer o gráfico de  $f_n$  x n no papel **di-log**, fazer o ajuste de reta e obter os coeficientes angular ( $\alpha$ ) e linear ( $K_n$ ) com as respectivas incertezas.

$$\log f_n = \log K_n + \alpha \log n$$

$$y = b + ax$$

### Frequência versus tração:

3 – Agora mantemos fixos o modo  **$n=2$** ,  $L$  (~176cm é uma boa pedida) e  $\mu$ , e variamos a massa. Os alunos devem **varrer um intervalo de massas de pelo menos um fator 5** para que os pontos cubram uma região relativamente ampla no papel di-log e assim permitam diminuir a incerteza no coeficiente angular. Além disso é útil usar o papel para **planejar valores de massa que fiquem aproximadamente equidistantes na escala logarítmica. Um total de pelo menos 5 pontos é desejável.** Para o fio de 0,7mm massas de 100g a 500g dão resultado bom. Já a massa de 50g produziu ponto incompatível com os outros; provavelmente este fio ficou bambo com esta massa. É importante **não esquecer de somar a massa do suporte de massas.**

**Determinar a incerteza experimental de  $f$  em cada caso.**

A Tensão é dada por:

$$T = mg$$

Como numa escala logarítmica uma multiplicação por constante representa apenas uma translação no papel, a qual não altera o valor do coeficiente angular, podemos fazer o gráfico de  $f_n \times m$  no papel di-log sem a preocupação de multiplicar por  $g$ , e fazer o ajuste da reta e obter o coeficientes angular  $\gamma$ .

Pedir para os alunos fazerem o **gráfico na aula**, e colocar os **DADOS NA LOUSA**.  
Entregar folha de dados com  $f_n \times n$  e  $f \times m$   
Trazer os coeficientes angulares prontos na próxima aula.

## Segunda aula:

1 – Iniciaremos a aula discutindo os valores dos coeficientes angulares dos dois gráficos da aula passada. Discutir erros e se necessário refazer as medidas.

## Frequência versus comprimento do fio

2 - Novamente fixamos os parâmetros e deixamos livre apenas um: aqui variamos o comprimento. Medidas de  $f$  para  **$L$  (40 até 176cm)** para  **$n=2$** . **Escolher valores convenientes de  $L$  que fiquem equidistantes na escala logarítmica. Pelo menos 5 valores diferentes de  $L$ .**

$$f_L = K_L L^\beta$$

Novamente faremos o gráfico de  $f_L \times L$  no papel di-log. Fazer o ajuste de reta e obter o coeficiente angular ( $\beta$ ).

## Frequência versus densidade linear do fio

3 – Finalmente o último parâmetro a variar é a densidade do fio (diâmetro do fio). Como cada montagem já tem um fio de diâmetro diferente, deve-se estabelecer um comprimento único na classe e todas as montagens serem colocadas neste valor. Após, as equipes fazem rodízio pelas montagens. Cada equipe pode carregar junto a massa fixa que escolheu, devolvendo ao final para a montagem original. **Pelo menos 5 valores de diâmetro diferentes.** Caso haja na sala mais de 5 montagens, a equipe deve escolher forçosamente **o menor diâmetro** (0,2 ou 0,25mm) **e o maior** (0,8 ou 0,9mm), e escolher os valores intermediários de modo a ficarem **uniformemente espaçados** na escala logarítmica.

A proposta é fixar: **n=2**,  $L \sim 176\text{cm}$ ,  $m$  (100g dá bons resultados) e variar o fio.

$$f_d = K_d \mu^\delta$$

Como

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{\rho V}{L} = \frac{\rho \pi \phi^2}{4}$$

$$f_d = K_d' \phi^{2\delta}$$

então ao invés de fazer o gráfico di-log de  $f$  versus  $\mu$ , podemos fazer o gráfico di-log de  $f$  versus  $\Phi$  e o coeficiente angular será  $2\delta$ .

## Tabela de densidades

Os valores de  $\mu$  e diâmetro do fio estão relacionados:

D (mm)	$\mu$ (mg/m)
0,20	40,95
0,25	64,10
0,30	88,40
0,40	157,7
0,45	200,3

0,50	250,4
0,60	323,5
0,70	471,3
0,80	596,3
0.90	784,5

### Determinação da constante C

A constante C é mais facilmente determinada a partir do gráfico f versus n:

$$f = Cn^{\alpha}L^{\beta}T^{\gamma}\mu^{\delta}$$

$$\log f = \log( CL^{\beta}T^{\gamma}\mu^{\delta} ) + \alpha \log n$$

quando  $n=1$  obtemos o **coeficiente linear**, que é igual a  $CL^{\beta}T^{\gamma}\mu^{\delta}$ . Substituindo os valores usados de L, T e  $\mu$  e os valores obtidos para as potências, encontramos o valor da constante C. Entretanto é bom salientar que um pequeno desvio na potência causa um desvio amplificado no C. Um desvio de 5% em  $\delta$  causa um desvio de 20% em C. A fórmula de propagação de incerteza em C somente pode ser obtida pelas derivadas parciais, e dá um super trambolho que não vamos exigir que o aluno obtenha. Talvez o melhor seja falar para eles usarem nas potências os valores previstos pela teoria.

### Lembretes

Colocar na LOUSA os coeficientes angulares e lineares obtidos nesta aula

### **LEMBRAR DE PEDIR FOLHA DE DADOS**

**Estes cálculos de C valem a pena ser feitos se a turma conseguir desenvolver as medidas facilmente e se os gráficos forem feitos e ajustados durante a aula. Caso as turmas tenham muita dificuldade, esta parte do cálculo de C pode ser desconsiderada.**

**Reforçar que elas façam a leitura da apostila da página 63 a 69: escalas logarítmicas, gráficos mono-log e di-log.**

**Relatório:** Lembrem-se que neste experimento 7 o relatório deve ser completo: Resumo do trabalho + Introdução ao assunto + Descrição experimental + Resultados de medições, cálculos e análise de dados + Discussão final e conclusões