Universidade de Brasília
Instituto de Física
Disciplina: Física 2 Experimental Turma J
2º semestre 2019

Data de realização: 23/08/2019

Grupo 13:
Gustavo Pereira Chaves – 19/0014113
Luigi Paschoal Westphal de Oliveira – 19/0062894
David Gonçalves Mendes – 19/0056967

Relatório do Experimento 1 – Ondas

Objetivos:

Este experimento almeja verificar a velocidade de propagação da onda na corda através da relação entre a tensão e a densidade linear, buscando mostrar que produto do comprimento de onda pela frequência é constante.

Introdução teórica:

A propagação de ondas ocorre em todos os sistemas físicos e, no caso das ondas eletromagnéticas, chegam a se propagar até na ausência de sistemas físico(vácuo). Como a maior parte dos fenômenos ondulatórios não dependem do tipo de sistema físico em que oscilam, entender bem um sistema serve como base pare entender os fenômenos de um modo geral.

Nesse experimento, será analisado o movimento de uma onda transversal em uma corda elástica esticada(ondas nas quais as oscilações são perpendiculares à direção de sua propagação).

Nos parâmetros fundamentais, uma onda é definida por amplitude, frequência e velocidade de propagação. O comprimento de onda(λ) é o numero de oscilações por segundo, quanto maior a velocidade, maior será o comprimento de onda, que pode ser descrito pela equação fundamental da onda:

$$V=\lambda.f \qquad \textbf{(1)}$$

No experimento, foi controlada a frequência de oscilação da corda(com extremidades fixas) de modo a alcançar as ondas estacionárias, que se formam a partir da superposição de duas ondas idênticas mas em sentidos opostos. Essa onda é caracterizada por apresentar pontos fixos, denominados nodos, nos quais a onda não oscila e pontos de máximo e mínimo, denominados antinodos, que estão sempre entre 2 nodos. As frequências em que esse comportamento é observado é chamado de frequência de ressonância, e a menor frequência de ressonância é denominada frequência fundamental e produz um padrão de onda estacionária chamada de primeiro harmônico. Nesse harmônico haverá apenas 2 nodos, que serão as extremidades em que a corda estará presa, e, consequentemente apenas 1 antinodo. Desta forma, o comprimento da onda será igual ao dobro do comprimento da corda. De modo geral:

$$\lambda_n = \frac{2.L}{n} \qquad \textbf{(2)}$$

Onde n e L representam a n-ésima harmônica e o comprimento da corda, respectivamente.

Materiais utilizados:

- Excitador de ondas PASCO modelo (WA-9857);
- Gerador de ondas senoidais PASCO (WA-9867);
- Balança de precisão (0,1g);
- Corda elástica;
- Fio de nylon;
- Conjunto de pesos com suporte;
- 2 suportes de fixação;
- Poste com roldana;
- Trena milimetrada

Procedimentos:

Primeiramente, mediu-se o comprimento da corda elástica utilizando a trena e o seu peso com a balança de precisão, afim de determinar a sua densidade linear. Após isso, mediu-se um pedaço da corda, agora pendurado nela um conjunto de pesos de aproximadamente 300g, e realizou-se a pesagem apenas dessa tira, de forma a calcular a densidade linear da corda distendida.

Em um segundo momento, mantendo os mesmos pesos, a corda foi amarrada no oscilador de frequências e ajustada na roldana. No aparelho foi-se aumentando gradualmente a frequência (partindo de 0 Hz), de forma a obter ondas estacionárias com a maior amplitude possível para os harmônicos (n) de 1 até 8, anotando também o comprimento de onda de cada um.

Figura 1: Imagem do experimento montado e funcionando

Por fim, substitui-se a corda elástica por um fio de nylon para analisar o comportamento da onda para pequenas distensões. Então, iniciando com um peso de 100g, de forma semelhante a realizada na corda elástica, ajustou-se a frequência para a obter n = 2. Foi adicionando então cerca de 50g por vez aos pesos e feito o mesmo processo, até atingir aproximadamente 450g.

Dados Experimentais:

Após as medições da corda elaśtica, obteve-se:

L_t = 162,11 ± 0,05 cm.
M_t = 6,6 ± 0,1 g.

- L_t: Comprimento total da corda.
- M_t: Massa total da corda.

Foi pesado então um pedaço da corda, e este, por sua vez, foi distendido por um conjunto de pesos de 304,7 ± 0,1 g e medido o seu comprimento:

L_{pd} = 96,52 ± 0,05 cm.
M_{pd} = 3,2 ± 0,1 g.

- L_{pd}: Comprimento do pedaço distendido
- M_{pd}: Massa do pedaço distendido.

Os valores obtidos para as frequências e comprimentos de onda em cada harmônico, utilizando a corda elástica, podem ser analisados na tabela 1:

Tabela 1 – Frequência e Comprimento de Onda

Harmônico	Frequência(± 0,1 Hz)	Comprimento de onda(± 0,05 cm)
1	18,8	162,42
2	38,6	81,27
3	58,1	54,56
4	77,8	40,31
5	97,1	32,32
6	116,7	27,58
7	135,7	23,40
8	154,9	20,84

Os valores obtidos para as frequências em função da tensão aplicada no fio de nylon estão representados a seguir na tabela 2:

Tabela 2 – Frequência e Massa

Massa pendurada(± 0,1 g)	Frequência(± 0,1 Hz)
105,5	80,6
155,5	98,3
218,4	117,1
274,0	138,9

332,8	145,4
392,3	145,8
454,1	146,1

Análise de dados:

De posse da massa e do comprimento da corda elástica, torna-se possível calcular a densidade linear (μ) através da fórmula a seguir, que possui como incerteza:

$$\mu=\frac{L}{M} \quad \textbf{(3)} \quad \delta\mu=\mu\left(\frac{\delta M}{M}+\frac{\delta L}{L}\right) \quad \textbf{(4)}$$

Tabela 3: Densidade linear da Corda Elástica

Densidade linear da corda não distendida (μ_{nd})	Densidade linear da corda distendida (μ_d)
0,0407 ± 0,0006 g/cm	0,0332 ± 0,001 g/cm

Adotando-se que a massa da corda é distribuída uniformemente pelo corpo, é possível determinar o comprimento total da corda distendida e sua respectiva incerteza:

$$\mu_d=\frac{M_t}{L_{td}} \rightarrow L_{td}=\frac{M_t}{\mu_d} \quad \textbf{(5)} \quad \delta L_{td}=L_{td}\left(\frac{\delta M_t}{M_t}+\frac{\delta\mu_d}{\mu_d}\right) \quad \textbf{(6)}$$

- μ_d: Densidade linear da corda não distendida
- M_t: Massa total da corda
- L_{td}: Comprimento total da corda distendida

E portanto, determinar o quanto a corda se distendeu (ΔL_d) e sua incerteza:

$$\Delta L=L_{td}-L_t \quad \textbf{(7)} \quad \delta\Delta L=\delta L_t+\delta L_{td} \quad \textbf{(8)}$$

Tabela 4: Comprimento da corda e distensão

L_t (± 0,05 cm)	L_{td} (± 9 cm)	ΔL_d (± 9 cm)
162,11	199	37

Considerando que a densidade linear varia linearmente de acordo com a distesão, será utilizada a equação da reta para determinar uma função que relacione as duas grandezas:

$$Y-Y_o=m(X-X_o) \quad \textbf{(9)} \quad m=\frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad \textbf{(10)}$$

Substituindo Y por μ, Y_o por μ_d, X por ΔL e X_o por ΔL_d, obtém-se a densidade em função da distensão:

$$\mu_{(\Delta L)} = \frac{3}{14800} * (\Delta L + 37) + 0{,}0332$$

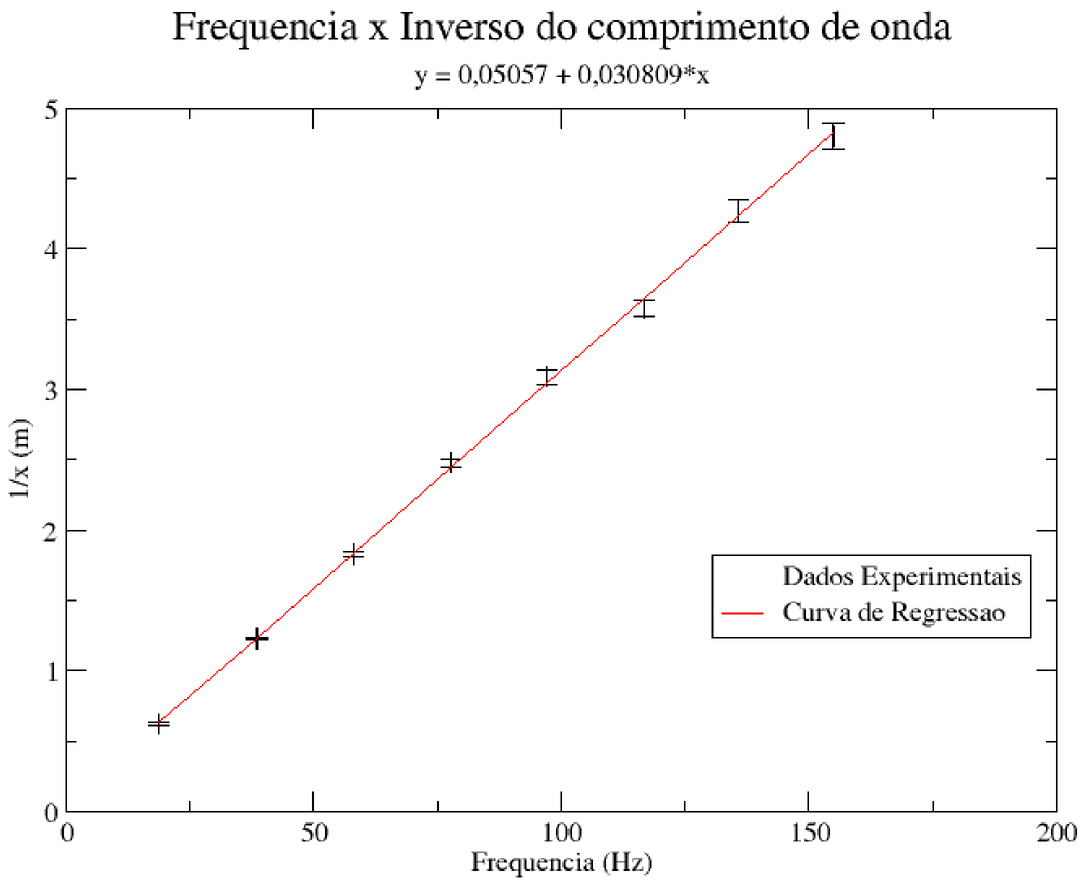
Além disso, é possível calcular a velocidade de propagação da onda e sua incerteza através das fórmulas:

$$V = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \quad \textbf{(11)} \quad \delta V = V\left(\frac{\delta\tau}{\tau} + \frac{\delta\mu}{\mu}\right) \quad \textbf{(12)}$$

Em que τ é a tensão na corda, que equivale a força peso do conjunto adotanto a aceleração da gravidade como 9,8 m/s^2.

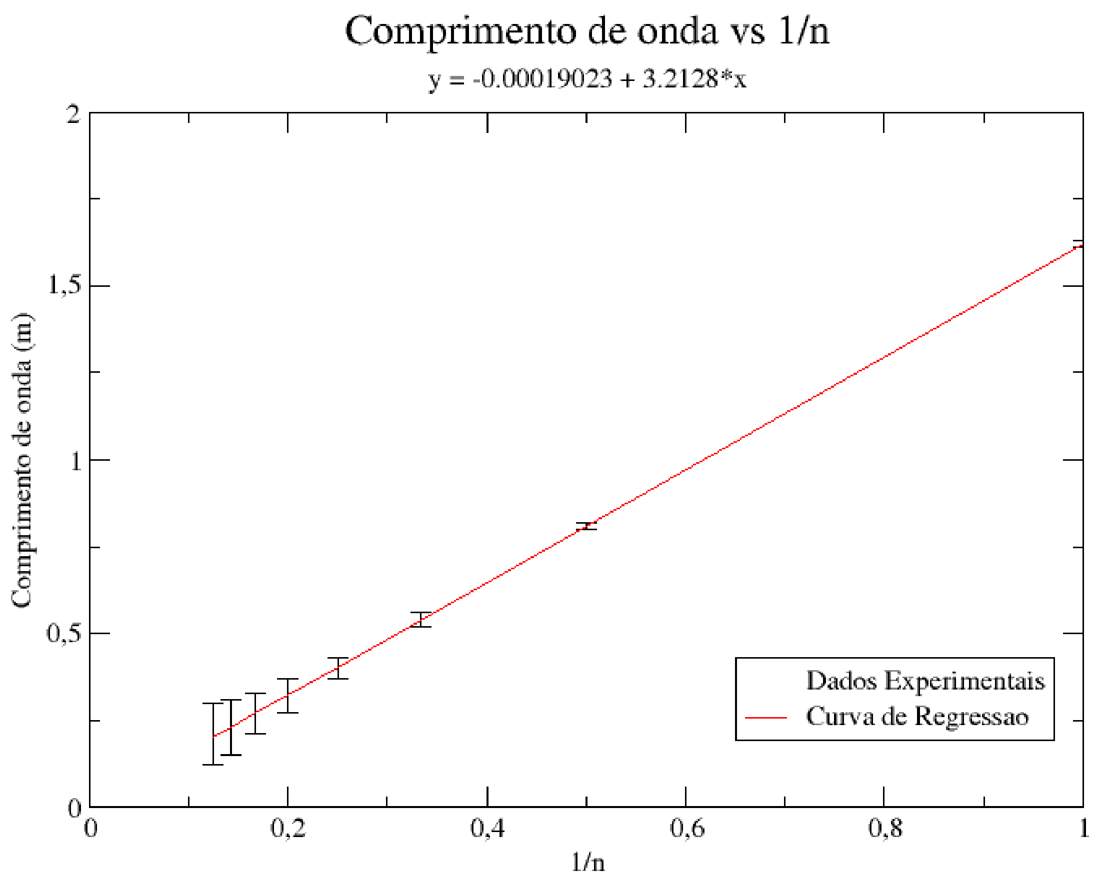
Melhor estimativa da velocidade: V = 0,03 ± 0,01 m/s.

Secundariamente, com os valores da tabela 1, é possível fazer um gráfico (através do programa Grace) da frequência em função de 1/λ:



Pela curva de regressão, o programa já calculou o coeficiente angular da função, que foi estimado como 0,0308 ± 0,0003. Comparando esse valor com a velocidade anteriormente calculada, conclui-se que elas são iguais, dentro da margem de incerteza, o que possibilita afirmar que f ∝ 1/λ.

Também utilizando os dados da tabela 1, é possível fazer um gráfico de λ em relação a 1/n:



Tirando o coeficiente angular com 3,2128 com a incerteza dada por 0,0006, conclui-se, dentro do grau de incerteza, que o coeficiente angular da reta corresponde a 2L, comprovando que somente são aceitos comprimentos de onda dados por $\lambda = 2L/n$.

Ademais, com os dados das tabela 2, é possível calcular a velocidade e a tensão para cada conjunto de pesos utilizados:

Massa(± 0,1 g)	105,5	155,5	218,4	274,0	332,8	392,3	454,1
Velocidade(± 0,1 m/s)	65,3	79,6	94,9	112,5	117,8	118,1	118,3
Tensão(± 0,01 N)	1,03	1,52	2,14	2,69	3,26	3,84	4,45

Portanto, a velocidade é proprocional a raiz quadrada da tensão.

Conclusão:

Com este experimento foi possível analisar o comportamento de ondas estacionárias em diferentes condições, levando em conta densidade linear, frequência e tensão.

Além disso, a partir da comparação entre os cálculos teóricos e os valores medidos na prática, foi possível verificar, dentro das incertezas experimentais, a veracidade das fórmulas 1, 2 e 3, utilizadas no movimento ondulatório.

Bibliografia:

Young, H. D.; Freedman, R. A.; Física 2 Termodinâmica e Ondas , 12ª ed., Pearson, 2008.

Halliday, Walker e Resnick, Fundamentos de Física - 2, Editora LTC.