



Universidade de Brasília
Instituto de Física
Física 2 Experimental

Relatório 01:

Movimento Ondulatório: Onda na Corda

Turma 12

Grupo: 10

Mat:

Francisco Ribeiro de Souza Campos

Mat:22/2014590

Luís Eduardo Dalle Molle Bacelar Carvalho Santana

Mat:24/1034059

Professora:

Leticia Goncalves Nunes Coelho

5 de abril de 2025

1 Objetivos

Observar e discutir ondas reais utilizando ondas estacionárias geradas em uma corda.

2 Materiais

1. Excitador de ondas PASCO modelo (WA-9857),
2. Gerador de ondas senoidais PASCO (WA-9867),
3. Balança de precisão (0,1g),
4. 1m de corda elástica,
5. 1m de fio de nylon,
6. Dois conjuntos com 8 pesos (total aproximado de 400g) com suportes,
7. 2 suportes de fixação,
8. Poste com roldana,
9. Excel,
10. Python.

3 Introdução

A propagação de ondas em meios materiais é um fenômeno amplamente estudado na física, sendo essencial para a compreensão de diversos sistemas oscilatórios. Uma onda mecânica pode ser descrita matematicamente pela equação da onda, dada por:

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \phi), \quad (1)$$

onde A é a amplitude da onda, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ é o número de onda, λ é o comprimento de onda, $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular e ϕ é a fase inicial. Essa equação descreve uma onda progressiva que se propaga ao longo de um meio, como uma corda tensionada.

Quando uma onda se propaga em uma corda fixa em ambas as extremidades e submetida a uma tensão, forma-se uma onda estacionária devido ao fenômeno da interferência. Nessas condições, observa-se a formação de nós (pontos de amplitude nula) e ventres (pontos de amplitude máxima), cujos padrões são determinados pela equação:

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad (2)$$

onde L é o comprimento da corda e n representa o número de modos normais de vibração. O fenômeno de ondas estacionárias ocorre devido ao princípio da superposição, onde duas ondas de mesma frequência, amplitude e velocidade propagam-se em sentidos opostos, resultando em padrões fixos de interferência construtiva e destrutiva.

Além disso, a velocidade de propagação da onda em uma corda tensionada é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}, \quad (3)$$

onde T é a tensão aplicada à corda e μ é a densidade linear de massa, definida como $\mu = \frac{m}{L}$. Essa relação mostra que a velocidade de propagação depende diretamente da raiz quadrada da tensão e inversamente da densidade linear, o que pode ser verificado experimentalmente variando a massa suspensa na extremidade da corda.

No presente experimento, serão investigadas as propriedades das ondas estacionárias em cordas elásticas e de nylon, analisando a relação entre a velocidade da onda, a frequência de oscilação e a tensão aplicada. Os dados obtidos permitirão verificar empiricamente as equações fundamentais da propagação de ondas e a influência dos parâmetros físicos envolvidos no sistema [Resnick e Halliday 2002].

4 Procedimentos

O experimento foi dividido em quatro partes principais, sendo as três primeiras realizadas com o uso de uma corda elástica e a última com uma corda de nylon. A seguir, são descritas as etapas executadas em cada parte do experimento.

4.1 Parte 1 — Determinação da Velocidade de Propagação da Onda na Corda Elástica

Nesta etapa, buscou-se determinar a velocidade de propagação v das ondas na corda elástica, a partir da obtenção da tensão T e da densidade linear μ efetiva da corda. Para isso, foi montado um sistema no qual uma extremidade da corda era presa ao excitador de ondas por meio de um nó, enquanto a outra extremidade passava por uma polia e era conectada a um conjunto de massas.

Considerando a natureza elástica da corda, observou-se que sua forma e comprimento sofriam variações conforme a tensão aplicada. Portanto, foi necessário determinar a densidade linear real da corda sob diferentes condições de distensão. Para isso, marcaram-se na corda distendida intervalos de 10 cm a partir da extremidade fixa, utilizando uma caneta, como é visto na figura 1. Em seguida, retirou-se o conjunto de massas e mediu-se a distância correspondente entre os pontos marcados com a corda em repouso. A diferença entre os comprimentos forneceu dados para o cálculo da densidade linear corrigida.

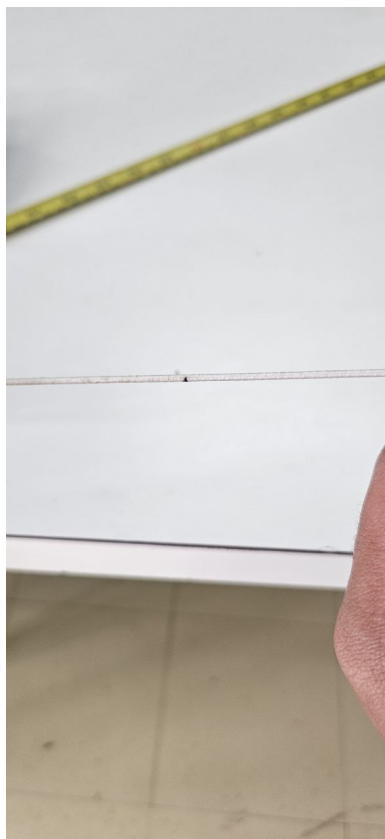


Figura 1: Marca para comparação

O procedimento foi repetido com diferentes valores de massa no conjunto de pesos, possibilitando a coleta de dados com distintas intensidades de distensão para a obtenção da função regente entre densidade (μ) versus distensão.

Parte 2 — Estudo dos Modos Normais de Oscilação na Corda Elástica

Nesta parte do experimento, investigou-se a relação entre a frequência de excitação e os modos normais de oscilação estabelecidos ao longo da corda elástica. Para isso, com o sistema de excitação montado conforme a Parte 1, variou-se a frequência do excitador de ondas e, quando necessário, ajustou-se a amplitude para facilitar a visualização dos padrões de vibração.

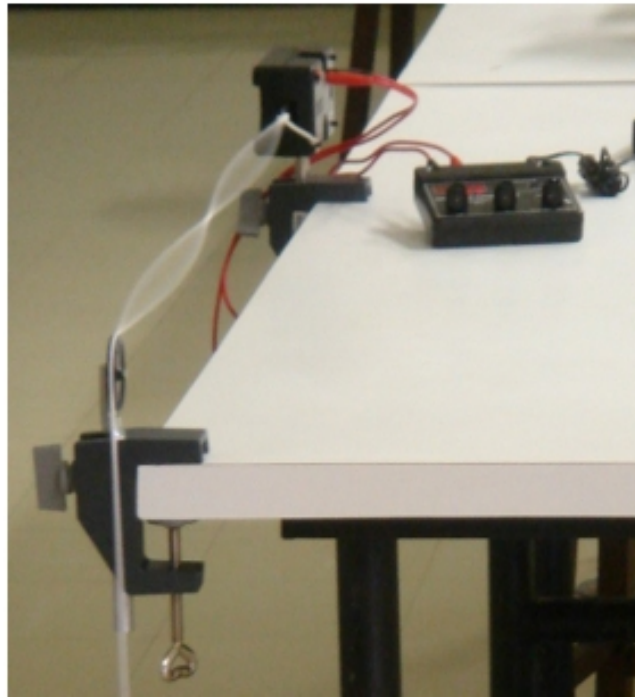


Figura 2: Ação do Excitador de Ondas [IF-UnB]

Foram observados os diferentes modos estacionários, desde o primeiro modo ($n = 1$) até o décimo segundo ($n = 12$). A identificação de cada modo foi realizada visualmente, com base na contagem de nós e ventres formados ao longo da extensão da corda. Com a coleta dessas observações, concluiu-se a Parte 2.

Parte 3 — Verificação Gráfica da Relação $\lambda = 2L/n$

A terceira etapa consistiu na verificação gráfica da relação entre o comprimento de onda λ , o comprimento total da corda L , e o número de modos n , conforme a equação $\lambda = 2L/n$. Essa parte não exigiu a realização de novos procedimentos práticos, sendo exclusivamente voltada à análise gráfica baseada nos dados obtidos na Parte 2. A abordagem teórica e os cálculos correspondentes estão descritos na seção de análise de dados.

Parte 4 — Verificação da Proporcionalidade entre Velocidade e \sqrt{T} (Corda de Nylon)

Na última etapa do experimento, foi utilizada uma corda de nylon, cujas propriedades inelásticas permitiram considerar sua densidade linear constante durante todo o processo. O objetivo foi verificar experimentalmente a relação de proporcionalidade entre a velocidade de propagação da onda v e a raiz quadrada da tensão \sqrt{T} .

Para isso, a corda de nylon foi montada de modo análogo à corda elástica: uma de suas extremidades foi conectada ao excitador de ondas, enquanto a outra passou por uma polia e foi presa a um conjunto de massas. Inicialmente, o valor do conjunto de massas foi fixado em 100 g. Em seguida, a cada nova coleta, foram adicionadas massas alternadamente em incrementos de 50 g e 100 g até atingir o total de aproximadamente 400 g.

Para cada valor de massa, ajustou-se a frequência do excitador até que o modo de oscilação da corda correspondesse a $n = 2$, mantendo assim a uniformidade do parâmetro em todas as medições. As frequências correspondentes foram registradas para posterior análise e cálculo da velocidade, finalizando assim os procedimentos experimentais.

Análise de Dados

A seguir, são apresentados os cálculos e interpretações dos resultados obtidos nas quatro etapas do experimento, com base nos dados coletados e nos princípios físicos envolvidos.

Parte 1 — Cálculo da Tensão, Densidade Linear e Velocidade de Propagação

Nesta etapa, determinou-se a velocidade de propagação da onda na corda elástica a partir do cálculo da tensão T e da densidade linear efetiva μ . A tensão foi obtida considerando apenas a força peso exercida pelo conjunto de massas suspenso. Para isso, utilizou-se a equação:

$$T = P = m \cdot g,$$

em que m representa a massa total suspensa (em quilogramas) e g é a aceleração da gravidade, considerada igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

Em seguida, determinou-se a densidade linear efetiva μ da corda, considerando a porção da corda realmente envolvida na propagação da onda. Para isso, subtraiu-se do comprimento total da corda a parte utilizada apenas para fixação, a qual não participava da vibração. Da mesma forma, a massa correspondente a essa porção inativa foi desconsiderada. A densidade linear efetiva foi então obtida pela razão entre a massa útil da corda e seu comprimento efetivo:

$$\mu = \frac{m_{\text{útil}}}{L_{\text{útil}}}.$$

Com os valores de T e μ determinados, foi possível calcular a velocidade de propagação da onda por meio da fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}.$$

Conforme é apresentado na tabela 1:

τ (kg · m)	μ (kg/m)	v (m/s)
2.2	0.0034	25.4

Tabela 1: Dados do Primeiro Procedimento

Além disso, os dados coletados no procedimento experimental, envolvendo a marcação e a medição de distensões da corda em diferentes condições de carga, foram utilizados para estabelecer uma função empírica que relaciona a densidade linear μ com a distensão da corda. Essa função foi obtida por meio da plataforma SciDavis [Team 2024], utilizando a ferramenta de regressão para ajustar uma curva aos pontos experimentais.

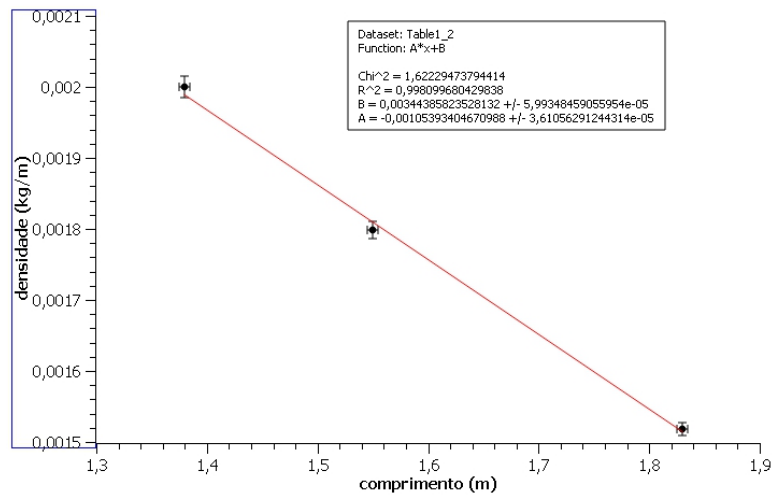


Figura 3: Gráfico Relação Procedimento 1

Parte 2 — Relação entre Frequência e Comprimento de Onda

Na segunda parte, analisou-se a relação entre a frequência de excitação f e o comprimento de onda λ correspondente aos diferentes modos normais de vibração da corda. As frequências foram fornecidas pelo excitador de ondas, enquanto o comprimento total da corda vibrante L foi medido desde a extremidade fixa até o ponto médio da polia, que se manteve estável durante as oscilações.

A partir da relação entre o comprimento de onda e o número de modos n , foram utilizados os valores:

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad \text{com } n = 1, 2, \dots, 12.$$

Com os dados de λ e f , foi possível plotar o gráfico da função $f(\lambda)$ na plataforma SciDavis. O comportamento obtido foi compatível com uma hipérbole, o que confirma a relação inversa entre frequência e comprimento de onda. A função ajustada ao gráfico apresentou um coeficiente angular que, ao ser comparado com o valor da velocidade v obtido no primeiro procedimento, forneceu um indicativo de consistência dos resultados experimentais.

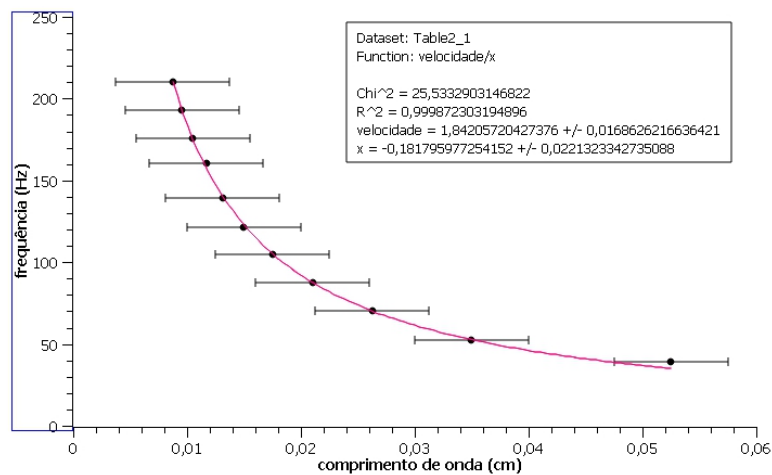


Figura 4: Gráfico Relação Procedimento 2

Parte 3 — Verificação da Relação $\lambda = 2L/n$

A terceira parte consistiu na análise gráfica da relação entre o comprimento de onda λ e o inverso da quantidade de modos $1/n$. Esperava-se que o gráfico representasse uma função linear, já que a equação $\lambda = 2L/n$ pode ser reorganizada como:

$$\lambda = 2L \cdot \frac{1}{n}.$$

Os valores de λ foram calculados como na Parte 2, com L fixo e n variando de 1 a 12. O gráfico de λ em função de $1/n$ foi gerado na plataforma SciDavis [Team 2024]. O coeficiente angular da reta obtida foi comparado com o valor teórico $2L$, servindo como uma confirmação adicional da consistência dos dados coletados.

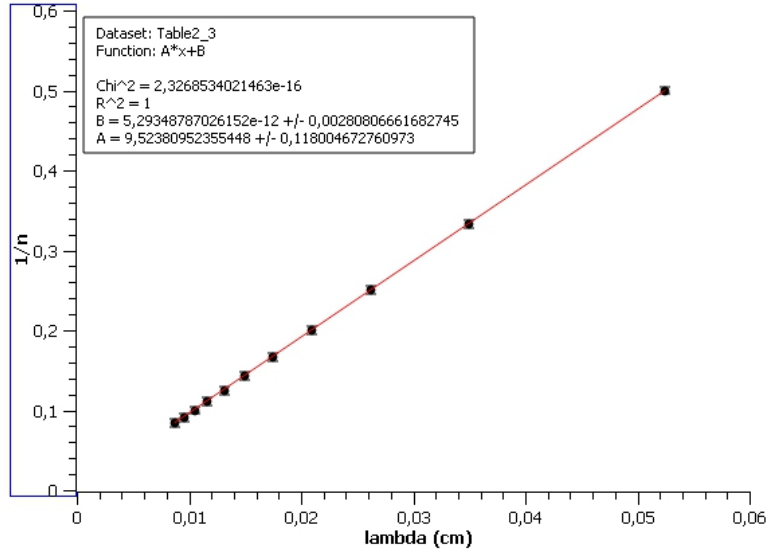


Figura 5: Gráfico Relação Procedimento 3

Parte 4 — Relação entre Velocidade e Raiz da Tensão (Corda de Nylon)

Na etapa final, verificou-se experimentalmente a relação de proporcionalidade direta entre a velocidade de propagação v e a raiz quadrada da tensão T em uma corda de nylon, cuja densidade linear μ pôde ser considerada constante.

Com o número de modos $n = 2$ mantido fixo em todas as medições, foram registradas as frequências correspondentes às diferentes massas aplicadas, variando de 100 g a 400 g em incrementos alternados de 50 g e 100 g. Para cada configuração, calculou-se a tensão exercida pelo conjunto de massas por meio da equação $T = m \cdot g$ e a velocidade de propagação da onda a partir da equação:

$$v = \lambda \cdot f,$$

em que λ foi mantido constante pela manutenção do mesmo modo vibracional. Os dados obtidos permitiram a elaboração de um gráfico de \sqrt{T} em função de v , confirmando experimentalmente a relação esperada entre essas grandezas.

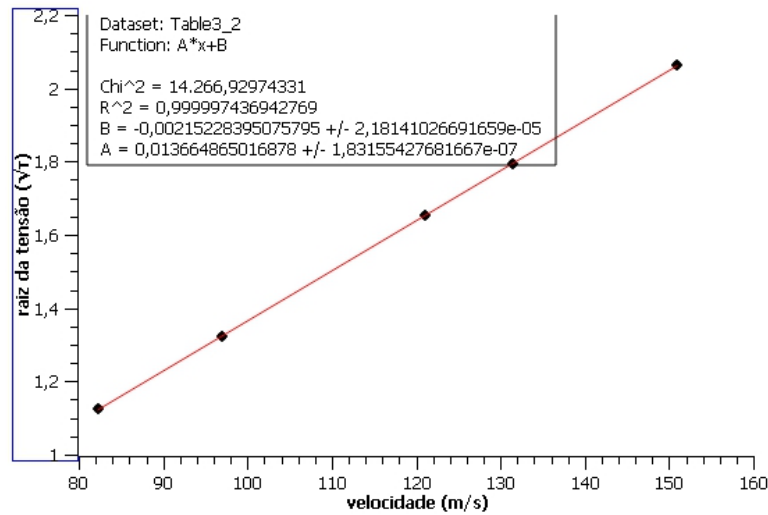


Figura 6: Gráfico Relação Procedimento 4

Para ilustração dos dados, a tabela 2 demonstra a relação entre a frequência (f), a velocidade (v), a massa do conjunto de massas (m) e a tensão (τ).

f (Hz)	v (m/s)	m (g)	τ (N)
77.2	82.4	128.9	1.3
92.5	97	178.6	1.7
114.2	121	278.3	2.7
125.6	131.5	328.3	3.2
132.1	151.1	433.9	4.3

Tabela 2: Dados do Procedimento 4

5 Conclusão

Conclusão

O experimento permitiu uma análise abrangente da propagação de ondas em uma corda, com foco na determinação da velocidade como principal grandeza física envolvida. No primeiro procedimento, a velocidade de propagação obtida a partir dos valores de tensão e densidade linear foi de aproximadamente 25 m/s. No entanto, ao se utilizar o método experimental baseado na análise da relação entre frequência e comprimento de onda (Procedimento 2), a velocidade correspondente ao coeficiente angular da função ajustada foi de aproximadamente 18 m/s.

Teoricamente, ambos os métodos deveriam fornecer resultados coincidentes, já que se referem à mesma grandeza física. A discrepância observada sugere a presença de incertezas experimentais, possivelmente relacionadas a erros de medição, irregularidades na distribuição da massa da corda, deformações na corda ou limitações nos instrumentos utilizados.

No terceiro procedimento, observou-se a validade da relação $\lambda = 2L/n$ por meio da obtenção de uma função linear entre λ e $1/n$, com coeficiente angular compatível com a previsão teórica. Este resultado reforça a consistência do modelo de ondas estacionárias em cordas fixas e evidencia a adequação da metodologia empregada para a verificação de relações harmônicas.

Já no quarto procedimento, foi confirmada a proporcionalidade entre a velocidade e a raiz quadrada da tensão aplicada na corda, conforme previsto pela equação $v = \sqrt{T/\mu}$. A linearidade do gráfico obtido fornece forte evidência experimental da validade dessa relação e contribui para reforçar os conceitos fundamentais abordados na teoria ondulatória.

Dessa forma, apesar das limitações práticas e das variações observadas nos valores obtidos, o experimento mostrou-se eficaz no reconhecimento e na caracterização dos fenômenos físicos relacionados à propagação de ondas em cordas. As observações empíricas permitiram a identificação de padrões coerentes com os modelos teóricos, além de promover reflexões críticas sobre os fatores que podem influenciar a precisão dos resultados experimentais.

Referências

[IF-UnB]IF-UNB.

[Resnick e Halliday 2002]RESNICK, R.; HALLIDAY, D. *Física*: Vol. i. 5^a. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora (LTC), 2002.

[Team 2024]TEAM, S. D. *SciDAVis: Software para Análise e Visualização de Dados Científicos*. Versão 1.27. Online: SciDAVis Community, 2024. Disponível gratuitamente sob licença GPL. Disponível em: <<https://scidavis.sourceforge.net/>>.