

INSTITUTUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
DIRETORIA DE ENSINO
DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES, LETRAS E CIÊNCIAS

MATERIAL DIDÁTICO PARA O ENSINO DA FÍSICA:
ONDAS ESTACIONÁRIAS EM UMA CORDA
GLAUCO NOGUEIRA RESENDE

TERESINA-PI

Maio/2017

GLAUCO NOGUEIRA RESENDE

**MATERIAL DIDÁTICO PARA O ENSINO DA FÍSICA:
ONDAS ESTACIONÁRIAS EM UMA CORDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Campus Teresina Central, sob a orientação do professor Ayrton Vasconcelos Lima.

TERESINA-PI

Maio/2017

RESUMO

Esse trabalho propõe desenvolver um material didático para o ensino das ondas estacionárias no ensino médio do tipo experimental e quantitativo. Na intenção de contribuir para o ensino de ondas, foi desenvolvido um material utilizando um vibrador que oscila com uma frequência de 60hz, gerando pulsos que se propagam em uma corda esticada, com um ponto fixado no outro lado. A corda é o meio em que o pulso será propagado, formando padrões harmônicos que poderão ser mensurados, observados e modificados. A modificação dos harmônicos se dá pela mudança das massas aplicadas na extremidade da corda, mudando a tensão e a densidade linear da corda. Dessa forma, calculamos a velocidade do pulso e como ela se comporta quando mudamos os valores das massas. Além dos cálculos, são observados os fenômenos físicos, o porquê desse tipo de onda ser chamado de ondas estacionárias e também mostrar que este conteúdo pode ser trabalhado de forma diferenciada relacionando a teoria com a prática. Segundo Halliday e Resnick, “Se duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda se propagam em sentidos opostos em uma corda, a interferência mútua produz uma onda estacionaria.” Halliday, D.Resnick(2012. P.135).

PALAVRA-CHAVE: Material didático. Ondas estacionárias. Ensino médio.

ABSTRACT

This work proposes to develop a didactic material for the teaching of physics for high school of the experimental and quantitative type.

In order to contribute to the teaching of waves, a material was developed using a vibrator that oscillates with a frequency of 60 Hz, generating pulses that propagate in a stretched rope, with a point fixed in the other side. The string is the medium in which the pulse will be propagated, forming a harmonic pattern that can be measured, observed and modified.

The modification of the harmonics occurs by changing the applied masses at the end of the string, changing the tension and the linear density of the string. In this way, we calculate the speed of the pulse and how it behaves when we change the values of the masses.

¹Graduando do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Teresina Central glauco.guitarra@gmail.com

²Professor mestre do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí Campus Teresina Central- e Secretaria municipal de Educação e da Prefeitura Municipal de Teresina. ayrton.vasconcelos@ifpi.edu.br

In addition to the calculations, physical phenomena are observed, why this type of wave is called standing waves and also show that this discipline can be worked in a differentiated way relating the theory to the experimental practice.

According to Halliday and Resnick, "If two sine waves of the same amplitude and even wavelength propagate in opposite directions on a string, mutual interference produces a stationary wave." Halliday, D. Resnick (2012. P135).

KEYWORDS: Courseware. Stationary waves. High school.

INTRODUÇÃO

Em física, dizemos que a onda se origina em meios elásticos como nas cordas, na superfície da água e etc. Sendo assim, definimos uma onda como sendo movimento oscilatório que se propaga num meio; onde nesses movimentos apenas energia é transferida, isto é, não há transporte de matéria. Sabemos, com base nos meios de propagação, que existem dois tipos de ondas as mecânicas, que se propagam em meios materiais, e as eletromagnéticas, se deslocam tanto nos meios materiais como também no vácuo. Onda estacionária é uma combinação de pulso de ondas que se interfere destrutivas e construtivamente formando um padrão que pode se observar nós e antinós (ventres), isto é, uma combinação dos fenômenos de reflexão e interferência. Neste estudo esses pulsos são produzidos por uma fonte vibratória que se propagam em uma corda – meio material - e são refletidos pelo ponto preso a polia. Tem-se então as interferências entre os pulsos que propagam pela corda antes e depois de serem refletidos. Toda onda possui características como velocidade e comprimento de onda, que pode ser afetada dependendo da densidade do meio de propagação, e frequência que é constante. Em função de o estudo das ondas, notadamente quando se trata das ondas tridimensionais, levar a uma grande abstração, percebe-se a necessidade construir instrumentos capazes tornar esse estudo mais palpável e mais compreensível no ensino médio. Neste trabalho queremos dar nossa contribuição para que professores do ensino médio tenham recursos educacionais que facilitem o entendimento dos aspectos conceituais dos conteúdos de ondas estacionárias?

Partindo do pressuposto de que exista uma larga deficiência de material didático que possibilite um maior entendimento da física, é de suma importância a produção desses tipos de materiais, principalmente para estudantes de ensino médio. Com esse pensamento o objetivo desse trabalho é desenvolver um material para melhor compreensão do tema ondas estacionárias.

“Faz-se ciência com fatos, como se faz uma casa com pedras; mas uma acumulação de fatos não é uma ciência, assim como um montão de pedras não é uma casa.” Henri Poincaré (1902.P25). Acreditamos, para que os alunos aprendam, faz-se é necessário que os mesmos se sintam parte do processo de aprendizagem.

Segundo Terrazan (1997), "Isto nos coloca diante de um enorme dilema, qual seja, como ensinar uma ciência que consideramos importante para a formação da cidadania, quando os jovens, futuros cidadãos, não a apreciam e nem a consideram relevante".

Não podemos deixar de colocar que é imprescindível que o professor proporcione uma imagem correta do trabalho científico. Ele deve fazer com que o aluno aproxime-se das complexas relações ciência/tecnologia/sociedade, rompendo com a ideia de que fazer ciência é só para os cientistas. Temos que formar mentes que possam ser críticas, que possam verificar. Temos de ser capazes de resistir individualmente, de criticar, de distinguir entre o que foi provado e o que não foi. Portanto, precisamos de alunos que sejam ativos, que aprendam cedo a descobrir por si próprios. A utilização de experimentos de Física permite uma maior visualização, interação, percepção, questionamento, abstração e análise, possibilitando uma melhor compreensão dos conceitos abordados no conteúdo curricular.

UMA BREVE REVISÃO TEORICA SOBREA O ESTUDO DAS ONDAS

O principio de superposição

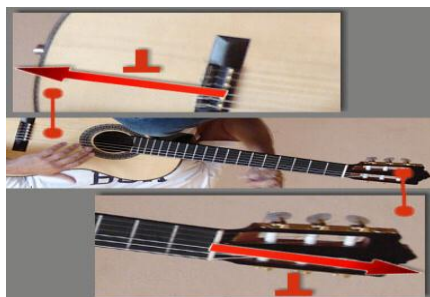
Frequentemente acontece que duas ou mais ondas passam simultaneamente pela mesma região. Quando ouvimos um concerto ao vivo, por exemplo, as ondas sonoras dos vários instrumentos chegam simultaneamente aos nossos ouvidos.

“Quando duas ondas se superpõem deixamos de perceber as ondas separadamente e percebemos apenas a onda resultante.” Halliday, D.Resnick(2012.P129)

Equação de Taylor e a Velocidade da onda

A velocidade da onda em um meio depende das propriedades do mesmo. Vamos dar um exemplo. Suponha que tenhamos uma corda de violão de massa por unidade de comprimento μ e que esteja esticada por uma força de tensão τ (fig. 1).

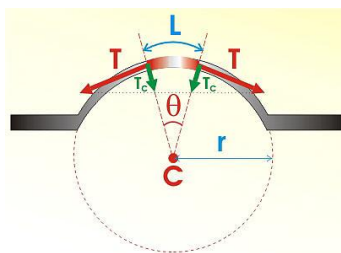
Figura 1. Corda de esticada sendo dedilhada



Fonte: http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2006-05-21_2006-05-27.html

A Fig. 2, a seguir mostra um elemento da corda onde há propagação da onda produzida ao ser perturbada (dedilhado). Investiguemos um elemento da corda,

Figura 2. Elemento de corda tensionado



Fonte: http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2006-05-21_2006-05-27.html

Este elemento, de comprimento Δl , na parte mais elevada da onda, está sujeito à tensão da corda nos dois sentidos de propagação da onda. Podemos desenhar um círculo de raio r , onde r também é a amplitude da onda. Este elemento da corda, considerado bem pequeno, está num dos lados de um triângulo cujo ângulo oposto é θ . Instantaneamente, é como se este elemento de corda estivesse se movimentando em uma trajetória circular de raio r , com velocidade v ; a velocidade da onda. Portanto, é como ele estivesse sujeito a uma força centrípeta dada por:

$$T = \frac{\Delta m v^2}{r} = \frac{\mu \Delta L v^2}{r} \quad (1)$$

Esta força resulta da componente das tensões no sentido para o centro do círculo. Logo:

$$F = 2T \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \approx T\theta \quad (2)$$

onde usamos o fato do ângulo θ ser muito menor que a unidade, assim, $\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \approx \frac{\theta}{2}$. Porém

observando o triângulo notamos que $\theta \approx \frac{\Delta L}{r}$, levando esse valor na equação (2) temos,

$$F \sim \frac{T\Delta L}{r} \quad (3)$$

usando as identidades (1) e (3) temos

$$\frac{\mu\Delta Lv^2}{r} = \frac{T\Delta L}{r} \quad (4)$$

onde obtemos a velocidade de propagação da onda, ou seja

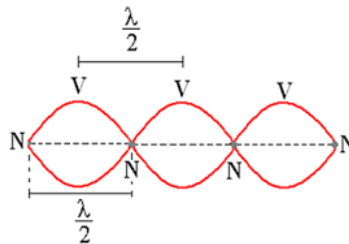
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (5)$$

A Eq. (5), conhecida como equação de Taylor, mostra que a velocidade de uma onda na corda depende da força de tração e da densidade linear. Quanto menor a densidade linear da corda, maior será a velocidade de propagação da onda. Este resultado é válido para qualquer comprimento de onda, ou frequência da onda, para um fio inextensível (mantém suas propriedades para toda sua extensão).

Equação dos harmônicos para ondas estacionárias

A figura 3 é a representação de uma onda estacionária e seus elementos

Figura 3. Onda estacionária



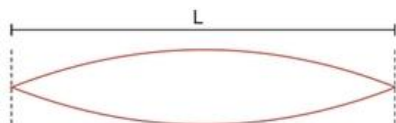
<https://www.google.com.br/search?q=onda+estacionaria&source>

onde λ é o comprimento de onda, V representa os ventres e N os nós.

Uma onda estacionária apresenta um conjunto de frequências denominadas de harmônicos. Esses harmônicos podem ser obtidos como segue: seja uma corda de comprimento L (fig. 4) cujas as extremidades se encontram fixas. A velocidade de propagação da onda é dada por

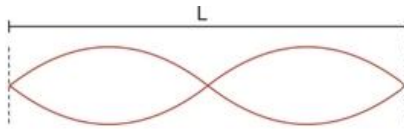
$$V = \lambda f \quad (7)$$

Figura 4a. Primeiro harmônico.



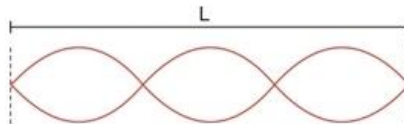
$$\lambda_1 = 2L, \quad f_1 = \frac{V}{\lambda_1} = \frac{V}{2L}$$

Figura 4b segundo harmônica



$$\lambda_2 = L = \frac{2L}{2}, \quad f_2 = \frac{V}{\lambda_2} = \frac{2V}{2L} = \frac{V}{L}$$

Figura 4c. Terceiro harmônico



$$\lambda_3 = \frac{2L}{3}, \quad f_3 = \frac{3V}{2L}$$

http://fexp.fisica.blumenau.ufsc.br/files/2015/03/Experiencia_4_Ondas_Estacionarias.pdf

Prosseguindo com esse raciocínio encontraremos a uma generalização para todos os harmônicos dado por

$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad (8)$$

das equações (5) e (8) obtemos

$$f_n^2 = n^2 \frac{T}{4L^2 \mu} \quad (9)$$

ou

$$T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{n^2} \quad (10)$$

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este trabalho é de natureza experimental e com abordagem qualitativa.

I - Gerador vibratório

Componente responsável pela geração de pulsos transferidos para corda, funciona de forma oscilatória, com repetições periódicas de movimentos para cima e para baixo.

Composto por um fio de cobre esmaltado enrolado a um Trafo responsável pela polarização fazendo com que o ímã seja atraído e repulsado periodicamente respeitando a frequência de oscilação da rede elétrica.

II - Fio ou corda

Encontrado em banner, pesando 1g e será o meio em que será propagado o pulso.

III - Conjuntos de Pesos

Pesos padrões de diferentes valores

IV - Suporte para pesos

Local para depositar os pesos das amostras, o mesmo feito com uma capinha de celular.

V - Roldana

Tem como função diminuir o máximo do atrito da tensão da corda no ponto fixo, quando colocar os pesos.

VI - Balança

Para finalidade de aferir os pesos, figura 5.

VII - Trena ou régua

Com finalidade de realizarmos medições de distancias da corda, do ponto em que o pulso é gerado ao ponto que é refletido, ponto fixo.

VIII – Pesos padrão, figura 6.

Figura 5. Balança de 500g



Fonte: Autor

Figura 6. Pesos



Fonte: Autor

MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Foi utilizado 1 pedaço de madeiras MDF de espessura 13 cm, altura de 44 cm e largura 14 cm para segurar o motor vibrador, 1 madeira de MDF de espessura 13 cm, largura de 8 cm e 71 cm que separa o lado de onde será gerado os pulsos na corda, ao ponto fixo, de onde o pulso será refletido.

Foi utilizada uma corda de 80 cm, encontradas em banner, uma roldana e uma base para colocar os pesos.

Para diminuir vibrações externas e efeitos que possam prejudicar o experimento, foi necessário colocar uma barra de ferro de uma extremidade a outra, dessa forma, a corda não perderá sua tensão ao colocar os pesos e assim não interferindo no fenômeno.

Instalado um painel de LEDs para melhor iluminação e visualização do efeito do pulso na corda.

A descrição do experimento (O funcionamento)

O aparelho gera vários pulsos periódicos, através de um motor vibrador, feito por um enrolamento de fio de cobre esmaltado enrolado ao núcleo. Ao ligar na tomada, ele gera ondas eletromagnéticas que impulsiona um ímã que está fixado em uma posição inicial, por uma borracha flexível.

Como na rede elétrica, sua frequência é de 60Hz, ou seja, ela oscila com uma frequência de 60 vezes por segundos, o ímã vai vibrar na mesma frequência que a da rede. Como a corda está ligada a parte vibratória, isto é, no ímã, o mesmo vai transferir a vibração à corda, gerando pulsos de 60Hz na corda. Esse pulso gera uma onda que interfere destrutiva e construtivamente formando um padrão onde é possível se observar nós e antinós (ventres), isto é, uma combinação dos fenômenos de reflexão e interferência, entre as ondas incidentes e refletidas.

A utilização dos pesos modifica a tensão da corda, para mudar as características do fenômeno e assim poder realizar-se os testes.

Procedimentos de medição

1º Passo: O material inicialmente está com a corda fixada ao gerador no lado direito e na roldana do lado esquerdo, que está ligada à base, dos pesos.

2º Passo: coloque-se o material em um local plano e com um peso padrão, confira o valor do 1º peso na balança, para certificar-se do valor medido, de preferência, comece com o peso o de menor valor.

3º Passo: Ligue-o na tomada e ligue os refletores de LEDs se necessário, caso não consiga observar as ondas estacionárias.

4º Passo: Observe quantos “ventres” e “nós” o fenômeno formará e anote, o número de harmônico é a mesma quantidade de ventre formada.

5º Passo: Calculando matematicamente a densidade da corda, Tensão e Velocidade de propagação do pulso.

Medição

1ª amostra: Onde ocorre 4 nós e 5 ventres 5º harmônico

Figura 7. Ocorre o 5º harmônico.



Fonte: Autor

Calculando a densidade linear da corda:

$$\text{Massa (m)} = 29,2\text{g} = 0,029\text{kg}$$

$$\text{Comprimento (L)} = 61\text{cm} = 0,61\text{m}$$

$$\text{Frequência (f)} = 60 \text{ Hz}$$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0,029}{0,61} = 0,0478 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Calculando a tensão da corda: usando a equação (10)

$$T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{(n+1)^2}$$

$$T = \frac{4(0,62)^2 (60)^2 0,0478}{5^2} = 10,18 N$$

Calculando a velocidade de propagação do pulso: usando a equação de Taylor

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

$$v = \sqrt{\frac{10,14}{0,0478}} = 14,6 \frac{m}{s}$$

2º amostra: Onde ocorre 3 nós e 4 ventres – 4º harmônico

Figura 8. Ocorre o 4º harmônico.



Fonte: Autor

Calculando a densidade linear da corda:

$$\text{Massa (m)} = 42,4g = 0,0424kg$$

$$\text{Comprimento (L)} = 61cm = 0,61m$$

$$\text{Frequência (f)} = 60 \text{ Hz (frequência da tensão elétrica 220v)}$$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0,0424}{0,61} = 0,0695 \frac{kg}{m}$$

Calculando a tensão da corda:

$$T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{(n+1)^2}$$

$$T = \frac{4(0,61)^2 (60)^2 0,0695}{4^2} = 23,10 N$$

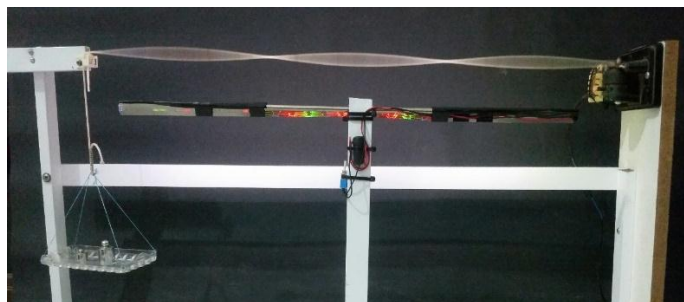
Calculando a velocidade de propagação do pulso:

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

$$v = \sqrt{\frac{23,10}{0,0695}} = 18,2 \frac{m}{s}$$

3º amostra: Onde ocorre 2 nós e 3 ventres – 3º harmônico

Figura 7. Ocorre o 3º harmônico.



Fonte: Autor

Calculando a densidade linear da corda:

$$\text{Massa (m)} = 87,5\text{g} = 0,087\text{kg}$$

$$\text{Comprimento (L)} = 61\text{cm} = 0,61\text{m}$$

$$\text{Frequência (f)} = 60\text{ Hz (frequência da tensão elétrica 220v)}$$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0,0875}{0,61} = 0,143 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Calculando a tensão da corda:

$$T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{(n+1)^2}$$

$$T = \frac{4(0,61)^2 (60)^2 0,143}{10^2} = 84,90\text{N}$$

Calculando a velocidade de propagação do pulso:

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

$$v = \sqrt{\frac{84,90}{0,143}} = 24,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4º amostra: Onde ocorre 1 nó e 2 ventres – 2º harmônico

Figura 7. Ocorre o 2º harmônico.



Fonte: Autor

Calculando a densidade linear da corda:

$$\text{Massa (m)} = 217,5\text{g} = 0,217\text{kg}$$

$$\text{Comprimento (L)} = 61\text{cm} = 0,61\text{m}$$

$$\text{Frequência (f)} = 60 \text{ Hz (frequência da tensão elétrica 220V)}$$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0,217}{0,61} = 0,355 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Calculando a tensão da corda:

$$T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{(n+1)^2}$$

$$T = \frac{4(0,61)^2 (60)^2 0,356}{2^2} = 474,8\text{N}$$

Calculando a velocidade de propagação do pulso:

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

$$v = \sqrt{\frac{474,8}{0,356}} = 36,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

CONCLUSÃO

Concluimos que quanto maior for a tensão aplicada na corda, menor será a quantidade de “nós” e “antinós” e maior será a velocidade de propagação do pulso, conforme indica a tabela a seguir. É importante salientar que podemos observar os dois nós nas extremidades da corda, a formação dos harmônicos e uma ótima visualização dos fenômenos.

Os dados puderam ser obtidos através de uma metodologia simples, de fácil manuseio e com resultados eficazes. Sendo uma importante ferramenta para o ensino da física.

Além disso, há diversos conceitos abordados no ensino médio que podem ser explorados através desta metodologia.

	μ	T	V
Amostra 1	0,0478 kg/m	10,18 N	14,6 m/s
Amostra 2	0,0695 kg/m	23,10 N	18,2 m/s
Amostra 3	0,1430 kg/m	84,90 N	24,3 m/s
Amostra 4	0,3560 kg/m	474,8 N	36,5 m/s

Tabela 1

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, D., RESNICK, R. **Fundamentos da Física 2**. Rio de Janeiro: LTC. 2012, 300p.

THOMAZ, M. F. **A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.17, n.3: p.360-369, 2000.

TERRAZAN, E. A. **Ciência, conhecimento e cultura**. Centro de Educação, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 1997.

HENRI POINCARÉ; **La science et l'hypothèse (1902)**: Volume 607 de Annales littéraires de l'Université de Besançon, Yves Gilli, Editora Presses Univ. Franche-Comté, 1996, 104 páginas. Tradutora: Vera Ribeiro, 1988.

.VILLANI, C. E. P.; NASCIMENTO, S. S. do. **Os dados empíricos e a produção de significados no laboratório didático de física**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4., 2003, Bauru. **Atas... Bauru: ABRAPEC**, 2003. 1 CD-ROM.

Sites:

<http://fexp.fisica.blumenau.ufsc.br/files/2015/03/Experiencia4OndasEstacionarias.pdf>

<https://www.google.com.br/search?q=onda+estacionaria&source>

http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2006-05-21_2006-05-27.html