



MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR

ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS MEDIANEIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL
PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Julio Cesar Norbiato

Orientador: Prof. Dr. Leandro Herculano da Silva

Medianeira - Paraná

2019

Lista de Figuras

2.1	Ilustração das dimensões e furação da chapa de MDF, utilizada como base para montagem do experimento.	3
2.2	Unidade geradora de vibração com motor (interno), pinos banana fêmea para conexão com o gerador de funções e pinos banana macho para conexão do sistema de perturbação com a base de MDF.	3
2.3	Representação do conjunto experimental para o estudo de ondas estacionária. . .	4
2.4	Conjunto experimental para o estudo de ondas estacionária:(a) gerador de funções, (b) unidade geradora de funções, (c) roldana plástica e (d) gancho (feito com raio de bicicleta) com chumbos de pesca.	4
2.5	Ilustração da observação dos harmônicos gerados pelas ondas estacionárias. . . .	5

Lista de Tabelas

3.1	Frequências dos harmônicos para diferentes valores de massa suspensa. Fonte: Autoria própria.	13
3.2	Frequências dos harmônicos para diferentes valores de comprimento da linha. Fonte: Autoria própria.	13
3.3	Frequências dos harmônicos para diferentes valores de densidade da linha. Fonte: Autoria própria.	14

Sumário

1	Justificativa e objetivo	1
2	Confecção do produto educacional	2
2.1	Materiais	2
2.2	Montagem	2
2.3	Funcionamento	4
3	Sugestão de aplicação	7
3.1	Apresentação do fenômeno	7
3.2	Execução do experimento	8
3.3	Análise dos resultados	8
3.4	Relação com o cotidiano	10
3.5	Metodologia de avaliação	10
8	Referências Bibliográficas	11
	Apêndice A	12

Capítulo 1

Justificativa e objetivo

A literatura, voltada para o ensino de Física de maneira experimental, apresenta poucos trabalhos que abordam o conceito de ondas de forma experimental. Embora a quantidade seja reduzida, existem exemplos que possuem evidente qualidade. Dentre os quais destacamos, o trabalhos de Cavalcante e colaboradores [1], o qual utiliza a saída de áudio de um computador e a análise gráfica com o software Tracker, para determinação de velocidade de propagação da onda em uma corda. Silveira e colaboradores [2], propõe alternativas para o ensino do conceito de ondas para alunos com deficiência auditiva ou visual. Um excelente exemplo de atividade experimental qualitativa, pode ser encontrado no trabalho de Toneguzzo e colaboradores [3], no qual apresenta uma maneira experimental de demonstrar a geração de ondas estacionárias.

O produto educacional, proposto neste trabalho, é voltado ao estudo experimental do conceito de ondas mecânicas, especificamente voltado à investigação do fenômeno conhecido como ondas estacionárias. Este PE diferencia-se dos existentes nas literatura, propondo a aplicação de atividades experimentais associados á conhecimentos básicos de oscilações, para que o aluno possa realizar a “obtenção experimental” da relação entre a frequência, densidade linear, tração e comprimento, para a interferência de ondas mecânicas em uma corda, gerando o fenômeno das ondas estacionária.

Dentre os motivos que nos levaram a escolher este conceito e esta metodologia, destacamos o reduzido número de materiais disponíveis na literatura voltada ao ensino médio, o que dificulta a relação deste fenômeno físico com as equações matemáticas que o representa na forma de problematização e o alto custo do conjuntos experimentais que são utilizados na realização de atividades experimentais que abordam a ondas estacionárias.

Embora muitos livros didáticos abordem, teoricamente, o fenômenos e ondas estacionárias, em geral, a formulação matemática do problema exige um maior esforço dos alunos para a abstração, quando comparado com outros conceito descritos pela Física [4–8].

Nosso objetivo geral, foi desenvolver e construir um produto educacional voltado para a realização de atividades experimentais com aprendizagem significativa do fenômeno de ondas estacionárias.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Construir um conjunto experimental para medidas quantitativas direcionado ao ensino de ondas estacionárias;
- Desenvolver uma sequência didática para facilitar a aplicação do conjunto experimental proposto.

Capítulo 2

Confecção do produto educacional

Neste capítulo, relatamos todas as etapas de confecção do produto educacional proposto. Como dito anteriormente, o PE é composto por um conjunto experimental qualitativo sobre ondas estacionárias e um sequência didática que trata como aplicar o referido conjunto experimental.

2.1 Materiais

Para confecção do conjunto experimental, que é parte integrante do PE proposto, foram utilizados os seguintes materiais:

1. Chapa de MDF com espessura de 1,5 cm.
2. Motor 12 VDC.
3. Roldana plástica, com diâmetro de 3,0 cm e acoplamento aparafusável.
4. Linha de poliamida (linha de pesca) com diferentes diâmetros.
5. Chumbos de pesca com massa aproximada de 10g.
6. Balança digital.
7. Conector pino banana macho.
8. Conector pino banana fêmea.
9. Caixa plástica para prototipagem.
10. Cabo elétrico de PVC flexível 0,75 mm e 750 V.
11. Raios de bicicleta ($300,00 \times 2,56$) mm.
12. Gerador de funções.

2.2 Montagem

A chapa de MDF foi cortada de modo a ficar com as dimensões de $(100,0 \times 10,0 \times 1,5)$ cm. Uma vez cortada, foram feitos furos de 0,5 cm de diâmetro, espaçados a cada 5,0 cm ao longo do centro da barra. Conforme representado na Figura (2.1).

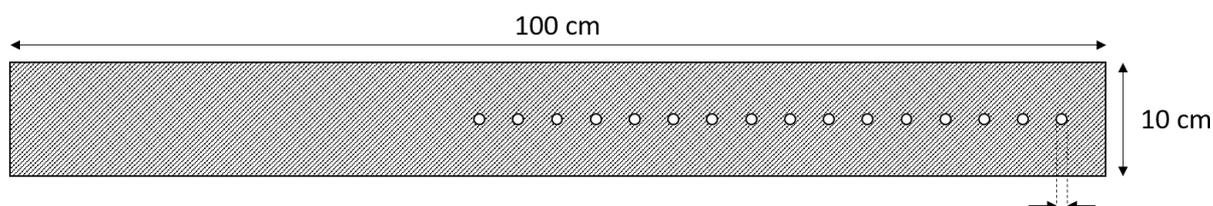


Figura 2.1: Ilustração das dimensões e furação da chapa de MDF, utilizada como base para montagem do experimento.

Fonte Autoria própria.

A função desta chapa é servir de base para a montagem do experimento. Além disso os furos, igualmente espaçados, servirão para conectar o sistema de vibração da corda e alterar o comprimento da mesma.

Em uma das extremidades da base é colocado a roldana aparafusável, de modo que uma das extremidades da roldana esteva livre para deixar que a linha de poliamida possa ficar pendurada.

Para gerar as ondas estacionárias, é necessário que a linha possua um gerador de perturbações periódicas. Para isso, confeccionamos uma unidade geradora de vibração, utilizamos um motor de 12 VCD conectado a um gerador de funções. A função do gerador é produzir uma corrente alternada, que muda periodicamente o sentido de rotação do motor. Desta forma, conectando o eixo do motor à linha, produzimos perturbações periódicas que originam as ondas estacionárias.

Com o intuito de proteger as conexões elétrica entre o gerador e o motor e facilitar o acoplamento deste sistema de perturbação com a base de MDF, o motor foi colocado dentro de um caixa plástica de prototipagem. Esta caixa, apresenta dois pinos banana fêmea, aos quais são conetados o gerador de funções e dois pinos banana machos, que são utilizados para conectar a caixa plástica com a base de MDF. Esta caixa com o motor (dentro) e os pinos banana, são mostrados na Figura (2.2).



Figura 2.2: Unidade geradora de vibração com motor (interno), pinos banana fêmea para conexão com o gerador de funções e pinos banana macho para conexão do sistema de perturbação com a base de MDF.

Fonte: Autoria própria

A unidade geradora de vibração é conectada nos furos da base de MDF. Alterando a posição da conexão, é possível alterar o comprimento “útil” da linha.

Para finalizar a configuração do experimento, basta conectar uma das extremidades da linha ao eixo do motor e a outra extremidade a um gancho (feito com os raios da bicicleta). A função do gancho é servir como suporte para se adicionar diferentes quantidade de massa. Essa variação de massa é realizada pela adição/retirada de diferentes quantidades de chumbo de pesca. A

função dessas massas é de produzir uma tração na linha. A Figura (2.3) mostra a representação esquemática do conjunto experimental proposto.

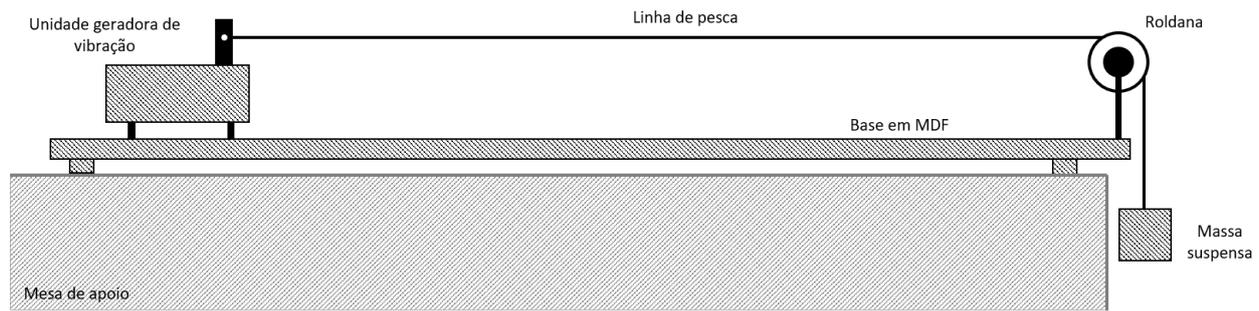


Figura 2.3: Representação do conjunto experimental para o estudo de ondas estacionária.

Fonte: Autoria própria.

O gerador de funções é o equipamento que apresenta maior custo. Para contornar isso, é possível utilizar um aparelhos celular, com aplicativo gerador de funções, conectado a um amplificador de áudio ou geradores de funções de baixo custo, que são conectados à plataforma Arduino.

A Figura (2.4) mostra uma fotografia da montagem experimental utilizada para este trabalho.

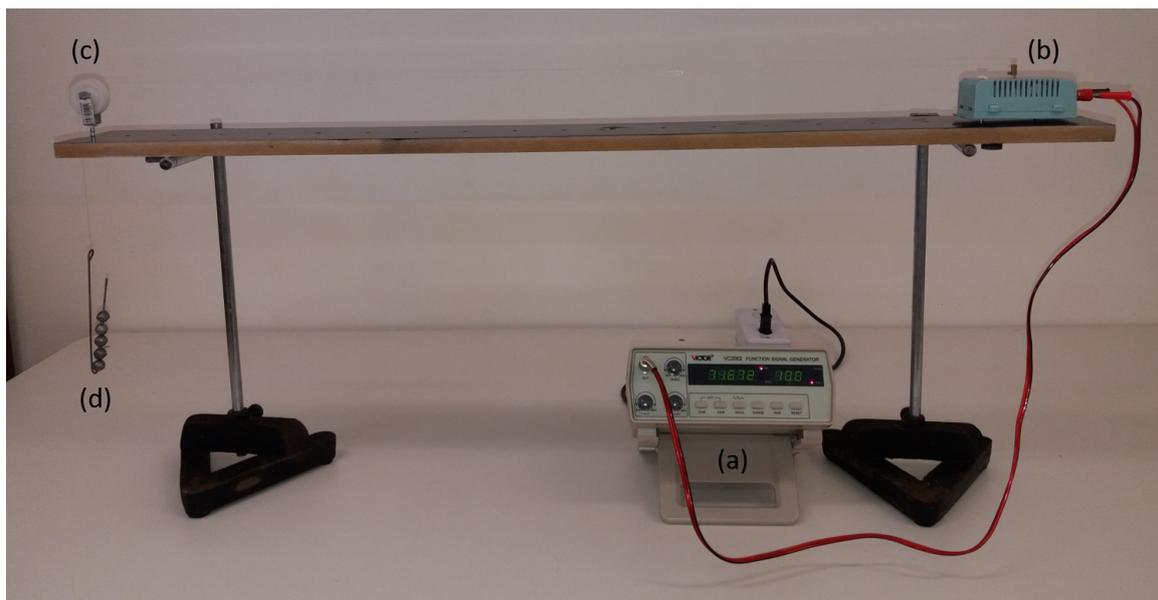


Figura 2.4: Conjunto experimental para o estudo de ondas estacionária:(a) gerador de funções, (b) unidade geradora de funções, (c) roldana plástica e (d) gancho (feito com raio de bicicleta) com chumbos de pesca.

Fonte: Autoria própria.

2.3 Funcionamento

Para o correto funcionamento do conjunto experimental, é necessário que seja seguidos a seguinte rotina:

1. Conecte o gerador de funções na rede elétrica, certificando-se que seja conectado na tensão recomendada pelo fabricante. Em nosso caso, 127V.

2. Conecte a unidade geradora de vibração à base de MDF.
3. Use o cabo BNC-banana, para conectar o gerador de funções à unidade geradora de vibração.
4. Ligue o gerador de funções mantendo o valor de amplitude (tensão de saída) igual a zero.
5. Fixe um das extremidade da linha de poliamida ao eixo do motor e a outra ao gancho. É necessário que a linha passe sobre a roldana, ficando livre, conforme mostrado na Figura (2.4).
6. Coloque o chumbo de pesca no gancho.
7. Escolha uma frequência de saída no gerador de funções.
8. Aumente a tensão de saída do gerador de funções (amplitude).

Na medida que a frequência no gerador de funções é alterada é possível verificar que, para alguns valores de frequência, surgem ondas estacionárias, conforme ilustrada pela Figura (2.5).

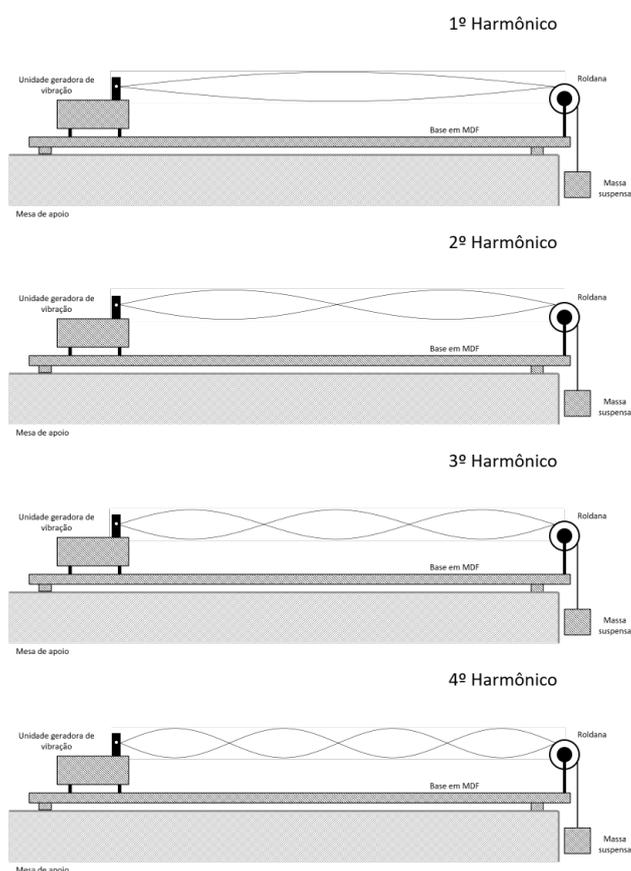


Figura 2.5: Ilustração da observação dos harmônicos gerados pelas ondas estacionárias.
Fonte: Autoria própria.

Este conjunto experimental é voltado para que os aluno ou professor possam observar o fenômeno das ondas estacionárias em cordas (linha) e analisar qualitativamente e quantitativamente os seguintes aspectos:

- Verificar que as frequências dos harmônicos são múltiplas da frequência fundamental ($n = 1$)

- Determinar a relação entre as frequências dos harmônicos e o comprimento da linha.
- Determinar a relação entre as frequências dos harmônicos e a tração na linha.
- Determinar a relação entre as frequências dos harmônicos e densidade da linha.

Os aspectos que podem ser observados, com o uso do conjunto experimental proposto, permitem que o aluno/professor possa obter “experimentalmente” a relação para a frequência dos harmônicos, ou seja a Equação (2.1).

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (2.1)$$

A maneira como o professor pode conduzir o experimento é apresentada no capítulo que descreve a sugestão de aplicação (cap. 3).

Capítulo 3

Sugestão de aplicação

Este trabalho tem como objetivo a potencialização da aprendizagem no estudo de ondas estacionárias que se propagam em cordas vibrantes, tendo a experimentação como pano de fundo. A Sequência Didática (SD) adotada busca aulas mais interessantes e motivadoras, ofertando condições para que o aluno elabore seu próprio conhecimento.

Nesse sentido, a SD foi elaborada priorizando alguns pontos importantes para o conhecimento do aluno como: a relevância de uma situação problema, a formação de pequenos grupos para a realização de experimentos e confecção de gráficos, o gerenciamento da sala feito pelo professor, a passagem de ação manipulativa para a ação intelectual, a passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica e a importância da tomada de consciência dos próprios atos para uma aprendizagem significativa. A SD compõe-se em três etapas, cada uma delas interligadas com as demais, para possibilitar aos alunos maior aproveitamento durante a execução.

3.1 Apresentação do fenômeno

Nesta etapa, o professor deve apresentar o fenômeno das ondas estacionárias. Cabe a ele, decidir se a montagem do experimento será realizada pelos alunos ou pelo professor. Aconselhamos que o professor explique brevemente qual a função de cada componente do conjunto experimental. Com o experimento já montado, seja pelos alunos ou pelo próprio professor, para apresentar o fenômeno, sugerimos as seguintes opções:

- (a) O professor deve orientar os alunos que coloque uma massa no gancho, liguem o gerador de função e variem a frequência de modo a observar o surgimento dos harmônicos.
- (b) O professor opera o gerador de funções, e ele mesmo mostra que na medida que a frequência de saída do gerador de funções é alterada, surgem harmônicos.

Dado a reduzida quantidade de conjuntos experimentais, que foram produzidas, durante a aplicação do PE, optamos por utilizar a segunda abordagem. Ou seja, o professor demonstrou o fenômeno.

Ainda na etapa de apresentação do fenômeno, o professor pode despertar a curiosidade do alunos, mostrando de forma breve e sem maiores detalhes, através de uma demonstração qualitativa que:

- Os harmônicos não ocorrem para qualquer frequência.

- O quantidade de massa pendurada e/ou o comprimento e/ou o diâmetro da linha influenciam a frequência para qual ocorre o primeiro.

O professor deve aproveitar a demonstração/observação qualitativa os conceitos de frequência, harmônicos e outros conceitos básico que julgar necessário para formar um conhecimento base, e mínimo para que os alunos possam compreender os objetivos da atividade experimental proposta. Além disso, sugerimos que o professor, durante esta etapa, avalie os conhecimentos prévio do alunos, aplicando um atividade que seja capaz de avaliar como o aluno explica o fenômeno que ele observou.

3.2 Execução do experimento

O professor deve organizar os alunos em grupo, feito isso, sugerimos que o professor apresente o objetivo da atividade experimental, que é verificar a relação entre as frequências do harmônicos e como o comprimento, tração e densidade podem influenciá-las. Para isso, sugerimos que o professor solicite que os alunos obtenham os seguintes dados:

1. Obter os valores das frequências para os quatro primeiros harmônicos. Sugerimos que estes dados sejam organizados em uma tabela. Nessa etapa, os alunos terão que anotar o valor da massa, da densidade e do comprimento, que são mantidos fixos.
2. Obter os valores das frequências para os quatros harmônicos, para diferentes valores de massa adicionada na linha. Nessa etapa, os alunos terão que anotar o valor da densidade e do comprimento, que são mantidos fixos. Para diminuir o tempo de execução desta etapa, o professor pode solicitar que os alunos meçam apenas os valores das frequências do primeiro harmônico.
3. Obter os valores das frequências para os quatros harmônicos, para diferentes valores de comprimento “útil” da linha. Nessa etapa, os alunos terão que anotar o valor da massa e da densidade, que são mantidos fixos. Para diminuir o tempo de execução desta etapa, o professor pode solicitar que os alunos meçam apenas os valores das frequências do primeiro harmônico.
4. Obter os valores das frequências para os quatros harmônicos, para diferentes valores de densidade linear da linha. Esta etapa é realizada, utilizando linhas com diâmetros diferentes. Nessa etapa, os alunos terão que anotar o valor da massa e do comprimento, que são mantidos fixos. Para diminuir o tempo de execução desta etapa, o professor pode solicitar que os alunos meçam apenas os valores das frequências do primeiro harmônico.

3.3 Análise dos resultados

Sugerimos que esta etapa seja realizada em um segundo encontro. No entanto, é importante que o professor comente com os alunos o que será realizado no próximo encontro. Ou seja, que será feita análise dos resultados e para isso os alunos confeccionarão gráficos. Para isso, o professor pode utilizar as seguintes estratégias:

- (a) Solicitar que, em casa, os alunos façam download de aplicativos que confeccionem e analisem gráficos.

- (b) Utilize o laboratório de informática, caso esteja disponível na instituição.
- (c) Utilize o conceito de linearização, ensinando para os alunos como confeccionar e analisar gráficos em papel milimetrado ou dilog.
- (d) O professor pode utilizar o próprio computador (notebook) para que confeccione os gráficos a partir dos dados que cada grupo coletou, apresentando os resultados para os alunos.

Na aplicação do PE proposto neste trabalho, optamos pela opção (b), pois a instituição, na qual foi aplicado, possui infraestrutura de laboratório de informática.

Nesta etapa, os alunos ou o próprio professor, deverão confeccionar os seguintes gráficos:

1. Frequência dos harmônicos em função do comprimento da linha.

Os gráficos obtidos nesta etapa possibilita verificar que as frequências dos harmônicos diminuem na medida que o comprimento aumenta. Ou seja, $f_n = aL^\alpha$. Além disso, o ajuste dos dados experimentais ou a linearização, permite obter o valor do parâmetro α .

2. Frequência dos harmônicos em função da tração.

A observação destes gráficos possibilita verificar que as frequências dos harmônicos aumenta na medida que a tração aumenta. Ou seja, podemos mostrar que $f_n = bT^\beta$. Além disso, o ajuste dos dados experimentais ou a linearização, permite obter o valor do parâmetro β .

3. Frequência dos harmônicos em função da densidade da linha.

Os gráficos obtidos nesta etapa possibilita verificar que as frequências dos harmônicos são influenciadas pela variação da densidade, diminuindo na medida que esta aumenta. Ou seja, $f_n = c\mu^\gamma$. Além disso, o ajuste dos dados experimentais ou a linearização, permite obter o valor do parâmetro γ .

Independente do conjunto de dados, a análise da quantização da frequência dos harmônicos pode ser demonstrada, ao solicitar que os alunos dividam o valor das frequências pelo valor da frequência do primeiro harmônico. Desta forma, o aluno verificará que as frequências dos harmônicos são múltiplas da frequência do primeiro harmônico. Ou seja, $f_n = nf_1$.

Ao final o processo de confecção e análise dos gráficos, com orientação do professor, os alunos poderão obter de forma “experimental” a equação para a frequência dos harmônicos em função do comprimento, densidade e tração na corda.

$$f_n = K \frac{n}{L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (3.1)$$

A constante de proporcionalidade pode ser obtida, substituindo os valores de f_n , n , L , T e μ para um conjunto de dados, obtidos nas etapas anteriores. Conforme mostramos no capítulo sobre os Resultados preliminares, este procedimento fornece o valor desta constante, com considerável exatidão $K = 1/2$.

Finalmente, o professor conseguirá que os alunos obtenham “experimentalmente” a relação da frequência dos harmônicos, ou seja

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (3.2)$$

Após esta abordagem experimental o professor deverá complementar o conteúdo por meio de um referencial teórico.

3.4 Relação com o cotidiano

Em seguida, sugerimos que o professor apresente as aplicações do cotidiano que estão presentes o fenômeno de ondas estacionárias, como por exemplo em instrumentos musicais. Isto pode ser realizado, comparando o experimento à nota musical emitida por um violão. Nele, todas as cordas têm o mesmo comprimento, mas possuem densidades lineares diferentes para proporcionar sons diferentes. Existe uma cavilha (tarraxa) que permite o aumento ou a diminuição da força de tração na corda, tornando o som mais grave ou mais agudo. Ao posicionar os dedos em locais diferentes no braço do violão, varia-se o comprimento da corda e dessa forma, também varia a frequência do som produzido.

3.5 Metodologia de avaliação

A avaliação pode ser realizada, por meio de mapas mentais, questões de aplicações ou produção de relatórios experimentais. Além disso, caso a instituição possua a infraestrutura necessária, o professor pode orientar os alunos na construção do experimento, uma vez que o mesmo possui baixo custo e fácil construção.

Referências Bibliográficas

- [1] CAVALCANTE M. A.; PEÇANHA R.; CASTRO A. C. Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(3):1–8, 2013.
- [2] SILVEIRA M. V.; BAARTHEN R. B.; SANTOS C. A. Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41:1 – 10, 2018.
- [3] TONEGUZZO L.; COELHO F. O. Demonstre em aula: Gerador de ondas estacionárias numa corda. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 7(3):227–231, 1990.
- [4] BONJORNO J. R.; CLINTON M. R. *Física 2: terminologia, óptica geométrica, ondulatória*. Editora FDT, São Paulo, 1992.
- [5] RAMALHO F. J.; SANTOS J. I. C.; FERRARO N. G.; TOLEDO P. A. S. *Os fundamentos da física*, volume 1. Editora Moderna, São Paulo, 3 edition, 1982.
- [6] NEWTON V. B.; DOCA R. H.; BISCUOLA G. J. *Física 2*, volume 2. Editora Saraiva, São Paulo, 1 edition, 2010.
- [7] SAMPAIO J. L.; CALÇADA C. S. *Física*. Editora Saraiva, São Paulo, 2 edition, 2005.
- [8] PENTEADO P. C. M.; TORRES C. M. A. *Física - Ciência e Tecnologia*. Editora Moderna, São Paulo, 2005.

Apêndice A: Tabelas

Neste apêndice, apresentamos as sugestões de tabelas que os alunos poderão utilizar para coleta dos dados.

A Tabela (3.1) poderá ser utilizada para anotar os valores das frequência dos harmônicos em função das diferentes quantidades de massa. Estes resultados serão utilizados na observação e determinação da relação entre as frequências dos harmônicos e a frequência fundamental (quantização das frequências) e na observação e determinação da relação entre as frequências dos harmônicos e a tração na corda.

A Tabela (3.2) poderá ser utilizada para anotar os valores das frequência dos harmônicos em função do diferentes comprimentos da linha. Estes resultados serão utilizados na observação e determinação da relação entre as frequências dos harmônicos e o comprimento da linha.

A Tabela (3.3) poderá ser utilizada para anotar os valores das frequência dos harmônicos em função da densidade da linha. Estes resultados serão utilizados na observação e determinação da relação entre as frequências dos harmônicos e a densidade da linha.

Tabela 3.1: Frequências dos harmônicos para diferentes valores de massa suspensa. Fonte: Autoria própria.

Massa (g)	Frequência (Hz)			
	1°	2°	3°	4°
-				

Tabela 3.2: Frequências dos harmônicos para diferentes valores de comprimento da linha. Fonte: Autoria própria.

Comprimento (m)	Frequência (Hz)			
	1°	2°	3°	4°
-				

Tabela 3.3: Frequências dos harmônicos para diferentes valores de densidade da linha. Fonte: Autoria própria.

Densidade (kg/m)	Frequência (Hz)			
	1°	2°	3°	4°
-				