

Plano de Aula: Ondas Estacionárias

Disciplina: Física **Público-alvo:** 2º ou 3º ano do Ensino Médio **Duração estimada:** 2 aulas de 50 minutos (100 minutos no total) **Tema:** Ondulatória – Ondas Estacionárias

1. Objetivos de Aprendizagem

Objetivo Geral: Compreender o fenômeno das ondas estacionárias, sua formação por interferência e suas aplicações práticas (como em instrumentos musicais).

Objetivos Específicos:

- Diferenciar ondas progressivas (que se propagam) de ondas estacionárias.
 - Identificar e conceituar **nós** (ou nodos) e **ventres** (ou antinodos).
 - Compreender a formação de harmônicos em cordas fixas nas duas extremidades.
 - Deduzir e aplicar as fórmulas que relacionam comprimento da corda (L), comprimento de onda (λ) e frequência (f).
 - Relacionar o fenômeno com situações do cotidiano (instrumentos de corda).
-

2. Conteúdo Programático

1. Princípio da Superposição e Interferência de ondas.
 2. Conceito de Onda Estacionária.
 3. Nós (Nodos) e Ventres (Antinodos).
 4. Cordas fixas nas duas extremidades.
 5. Harmônicos (Frequência Fundamental e múltiplos).
 6. Relações matemáticas: $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ e $f_n = n \cdot f_1$.
-

3. Recursos Didáticos

- Quadro branco e marcadores coloridos.
- **Material concreto:** Uma corda longa (de varal ou elástico grosso) fixada em uma parede ou segura por um aluno.
- **Tecnologia:** Computador, projetor (datashow) e acesso à internet para usar a simulação do **PhET** ("Onda numa Corda").

- Folha de atividades com exercícios de fixação.
-

4. Desenvolvimento da Aula (Passo a Passo)

AULA 1: Conceituação e Visualização (50 minutos)

Etapa 1: Introdução e Problematização (10 min)

- **Ação:** Prenda uma ponta da corda longa na maçaneta da porta ou peça para um aluno segurá-la com força. Comece a agitar a outra ponta ritmicamente.
- **Pergunta disparadora:** "O que acontece com a onda quando ela chega na parede (ou na mão do colega)? Ela para? Ela volta?"
- **Discussão:** Introduzir a ideia de que a onda reflete e, ao voltar, encontra as ondas que estão indo. O que acontece quando duas ondas se encontram? (Relembrar brevemente o Princípio da Superposição).

Etapa 2: Simulação Interativa (15 min)

- **Ação:** Abrir a simulação do PhET (*Wave on a String / Onda numa Corda*).
- **Configuração:** Mudar o modo de "Oscilar" para "Com Extremidade Fixa" (Fixed End). Aumentar a frequência e a amplitude até formar um padrão claro de onda estacionária.
- **Conceituação:** Apontar para os pontos que **não se movem** e nomeá-los como **NÓ (Nodo)**. Apontar para os pontos de **máxima oscilação** e nomeá-los como **VENTRE (Antinodo)**.
- *Destaque:* Explicar que a onda parece "parada" no espaço (daí o nome estacionária), mas na verdade é a interferência contínua de duas ondas idênticas viajando em sentidos opostos.

Etapa 3: Cordas Fixas e Harmônicos (25 min)

- **Ação:** Desenhar no quadro as cordas fixas nas duas extremidades.
 - Desenhar o **1º Harmônico (Modo Fundamental)**: Apenas um ventre no meio e dois nós nas extremidades. Mostrar que o comprimento da corda (L) vale meia onda ($\lambda/2$).
 - Desenhar o **2º Harmônico**: Dois ventres, três nós. $L = \lambda$.
 - Desenhar o **3º Harmônico**: Três ventres, quatro nós. $L = 3\lambda/2$.
 - **Desafio:** Pedir para os alunos deduzirem o padrão. Chegar à conclusão de que $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$, onde n é o número do harmônico.
-

AULA 2: Formalização Matemática e Prática (50 minutos)

Etapa 1: Dedução das Fórmulas (15 min)

- Partir da relação geométrica da aula anterior: $L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2} \Rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n}$
- Relembrar a Equação Fundamental da Ondulatória: $v = \lambda \cdot f$.
- Isolar a frequência e substituir o λ : $f_n = \frac{v}{\lambda_n} \Rightarrow f_n = \frac{v}{\frac{2L}{n}} \Rightarrow f_n = n \cdot \frac{v}{2L}$
- **Conclusão importante:** Mostrar que a frequência de qualquer harmônico é um múltiplo inteiro da frequência fundamental (f_1). Ou seja, $f_n = n \cdot f_1$.

Etapa 2: Atividade Prática / Investigativa (20 min)

- Dividir a turma em pequenos grupos.
- **Tarefa:** Entregar a "Folha de Investigação".
 - *Exemplo de tarefa:* "Na simulação do PhET, fixem a velocidade da onda em 2,0 cm/s e o comprimento da corda em 10 cm. Calculem qual deve ser a frequência para formar o 1º, 2º e 3º harmônicos. Ajustem a frequência na simulação e confirmem se os cálculos bateram com a imagem."
- O professor circula pela sala auxiliando e tirando dúvidas.

Etapa 3: Resolução de Problemas Contextualizados (15 min)

- Resolver no quadro um problema clássico de vestibular/ENEM envolvendo instrumentos musicais.
- *Exemplo:* "Um violão possui uma corda de 0,6 metros de comprimento. Sabendo que a velocidade de propagação da onda nessa corda é de 300 m/s, qual é a frequência fundamental emitida por ela? E qual a frequência do 3º harmônico?"
 - *Resolução guiada:* $f_1 = \frac{1 \cdot 300}{2 \cdot 0,6} = 250$ Hz.
 - $f_3 = 3 \cdot 250 = 750$ Hz.

Etapa 4: Encerramento e "Exit Ticket" (5 min)

- Recapitulação rápida dos conceitos (Nó = repouso, Ventre = agitação máxima).
- **Exit Ticket (Bilhete de Saída):** Peça para os alunos responderem em um pedaço de papel e entregarem na saída: "Por que os instrumentos de corda (como violão, piano, harpa) produzem notas musicais específicas quando dedilhados? Explique usando o conceito de onda estacionária."

5. Avaliação

A avaliação será **formativa e contínua**, baseada em:

1. **Participação:** Envolvimento nas discussões iniciais e na simulação.
 2. **Atividade em Grupo:** Desempenho e colaboração durante a investigação no PhET.
 3. **Exit Ticket:** Análise das respostas finais para verificar se a conexão entre a teoria e a aplicação prática (instrumentos musicais) foi compreendida.
-

6. Referências Bibliográficas e Recursos

- **Livro Didático:** RAMALHO, Francisco; NICOLAU, Gilberto; TOLEDO, Francisco. *Os Três da Física*. Vol. 2. Editora Atual. (Capítulo de Ondulatória).
 - **Simulação:** PhET Interactive Simulations. *Onda numa Corda*. Universidade do Colorado. Disponível em: phet.colorado.edu.
 - **BNCC:** Competência específica 1 e 2 de Ciências da Natureza (analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, utilizando modelos físicos).
-

7. Dicas Extras para o Professor

- **Analogia do "Cabo de Guerra":** Se a turma tiver dificuldade em entender por que a onda não "passa" da parede, use a analogia de que a parede "puxa" a corda para baixo no momento exato em que a onda chega, gerando a onda refletida invertida.
- **Tubos Sonoros:** Se sua ementa permitir, você pode usar esta mesma aula como base para, na aula seguinte, introduzir *Tubos Sonoros* (ondas estacionárias em tubos abertos e fechados), mostrando que a matemática é muito parecida.
- **Cuidado com a confusão comum:** Alunos frequentemente confundem "onda estacionária" com "onda que parou de existir". Reforce que a energia está lá, apenas não há *transporte* de energia ao longo da corda (a energia fica confinada oscilando entre os nós).