

# Onda Linear e Superposição

Samuel Keullen Sales

October 6, 2025

## 1 Introdução

Ondas aparecem em diversos contextos da física, como som, luz e vibrações em cordas. Este documento apresenta de forma intuitiva o conceito de **onda linear** e **superposição** de ondas, com fórmulas matemáticas e um exemplo prático.

## 2 Onda Linear

Uma onda linear simples pode ser descrita por:

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

onde:

- $A \rightarrow$  amplitude (tamanho da onda),
- $k \rightarrow$  número de onda (relaciona-se ao comprimento de onda  $\lambda$  por  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ),
- $\omega \rightarrow$  frequência angular (relaciona-se ao período  $T$  por  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ),
- $\phi \rightarrow$  fase inicial,
- $x \rightarrow$  posição,
- $t \rightarrow$  tempo.

## Intuição

Podemos desmembrar a fórmula como:

$$y(x, t) = A \cdot \sin(kx - \omega t + \phi)$$

-  $kx$  representa a posição ao longo do espaço, -  $\omega t$  representa a evolução temporal da onda, -  $\phi$  ajusta a fase inicial da oscilação.

## 3 Superposição de Ondas

Quando duas ou mais ondas se encontram, a **superposição** determina que a onda resultante é a soma das ondas individuais:

$$y_{\text{total}}(x, t) = A_1 \sin(k_1 x - \omega_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(k_2 x - \omega_2 t + \phi_2) \quad (2)$$

O esquema é o mesmo da onda linear, porém agora consideramos a contribuição de múltiplas ondas.

### Exemplo Prático

Considerando:

$$\text{onda 1: } A_1 = 2, k_1 = 1, \omega_1 = 3, \phi_1 = 0$$

$$\text{onda 2: } A_2 = 1, k_2 = 1, \omega_2 = 3, \phi_2 = \frac{\pi}{2}$$

Queremos calcular  $y_{\text{total}}$  em  $x = 0.5$  e  $t = 1$ .

#### Passo 1: Argumentos das funções seno

$$\text{onda 1: } k_1 x - \omega_1 t + \phi_1 = 1 \cdot 0.5 - 3 \cdot 1 + 0 = -2.5$$

$$\text{onda 2: } k_2 x - \omega_2 t + \phi_2 = 1 \cdot 0.5 - 3 \cdot 1 + \frac{\pi}{2} \approx -0.9292$$

#### Passo 2: Valores das ondas

$$y_1 = A_1 \sin(-2.5) \approx 2 \cdot (-0.598) = -1.196$$

$$y_2 = A_2 \sin(-0.9292) \approx 1 \cdot (-0.801) = -0.801$$

#### Passo 3: Superposição

$$y_{\text{total}} = y_1 + y_2 \approx -1.196 + (-0.801) = -1.997$$

## 4 Conclusão e Relações com Mecânica Analítica

A análise de ondas lineares e sua superposição está relacionada com princípios fundamentais da física teórica:

- **Lagrange:** A onda pode ser derivada de uma função Lagrangiana, considerando energia cinética e potencial do sistema.
- **Euler:** As equações de Euler-Lagrange fornecem a equação de movimento para campos de onda contínuos.
- **Noether:** A simetria do sistema (por exemplo, invariância temporal ou espacial) leva a leis de conservação, como energia ou momento.

Portanto, mesmo conceitos aparentemente simples como ondas e superposição possuem uma conexão profunda com a formulação teórica da mecânica clássica e da física de campos.