

# DCC192

2025/1



# Desenvolvimento de Jogos Digitais

A15: Áudio I — Síntese

Prof. Lucas N. Ferreira

# Plano de aula

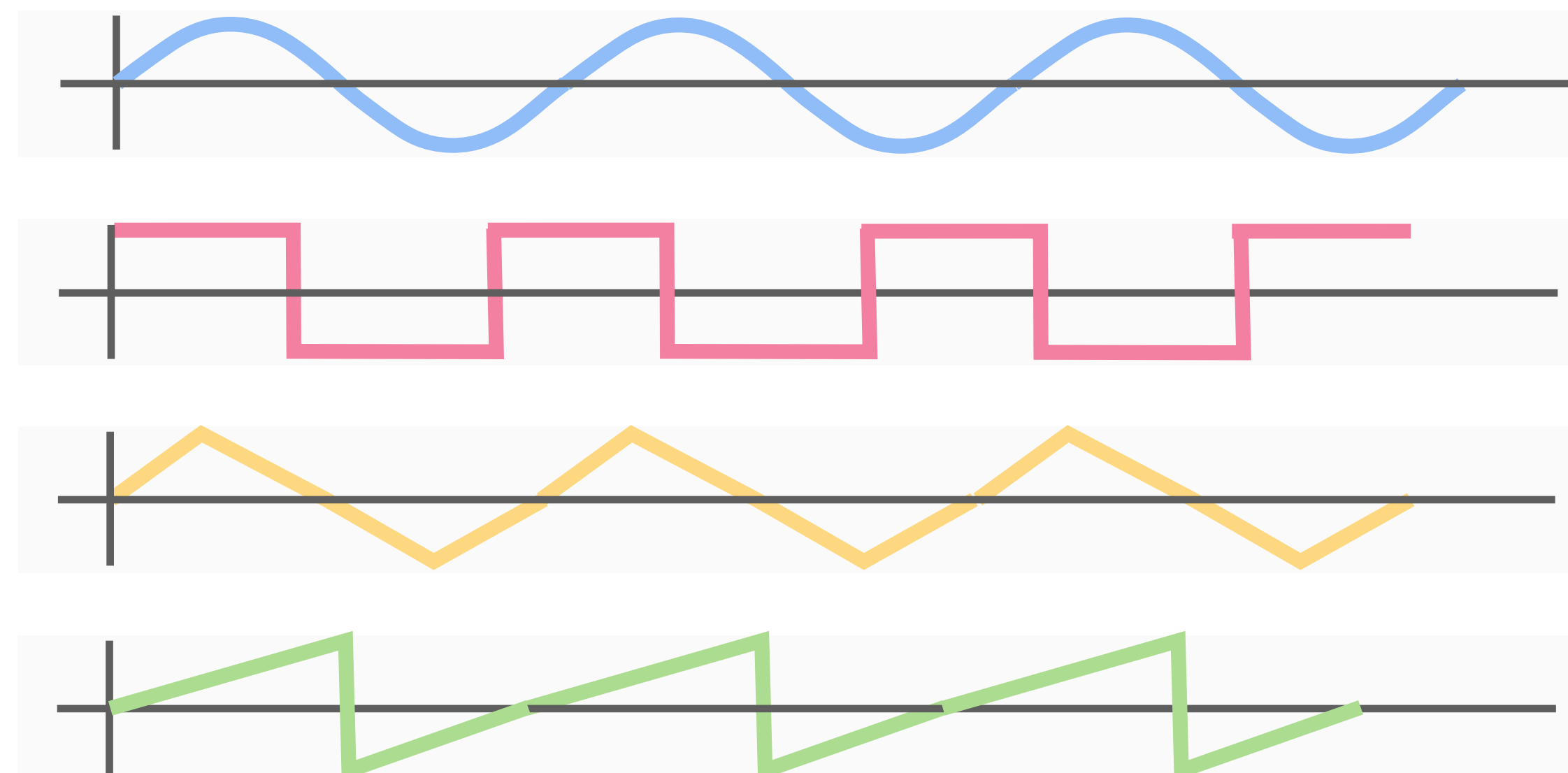


- ▶ Sinais de Áudio
  - ▶ Propriedades: amplitude, frequência e fase
  - ▶ Analógico vs. Digital
  - ▶ Sistemas de Reprodução
- ▶ Ondas Senoidais e Não-Senoidais
- ▶ Espectrogramas
- ▶ Soma de Sinais
- ▶ Sintetizando Músicas com Sequenciadores

# Sintetizadores em Video Games



Uma forma bastante comum e histórica de se adicionar música em jogos é utilizando **sintetizadores** de áudio, os quais geram ondas sonoras a partir de modelos matemáticos:



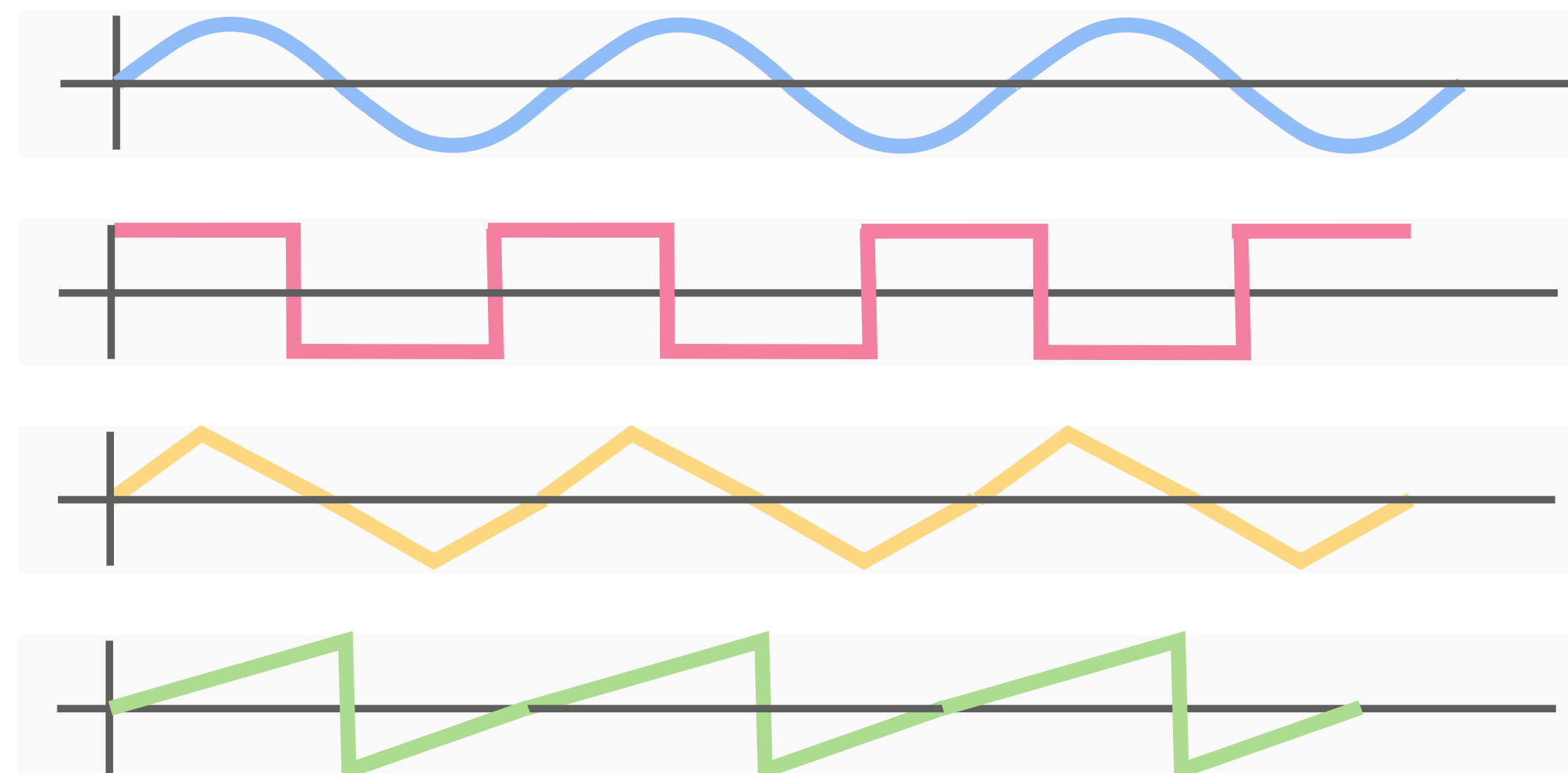
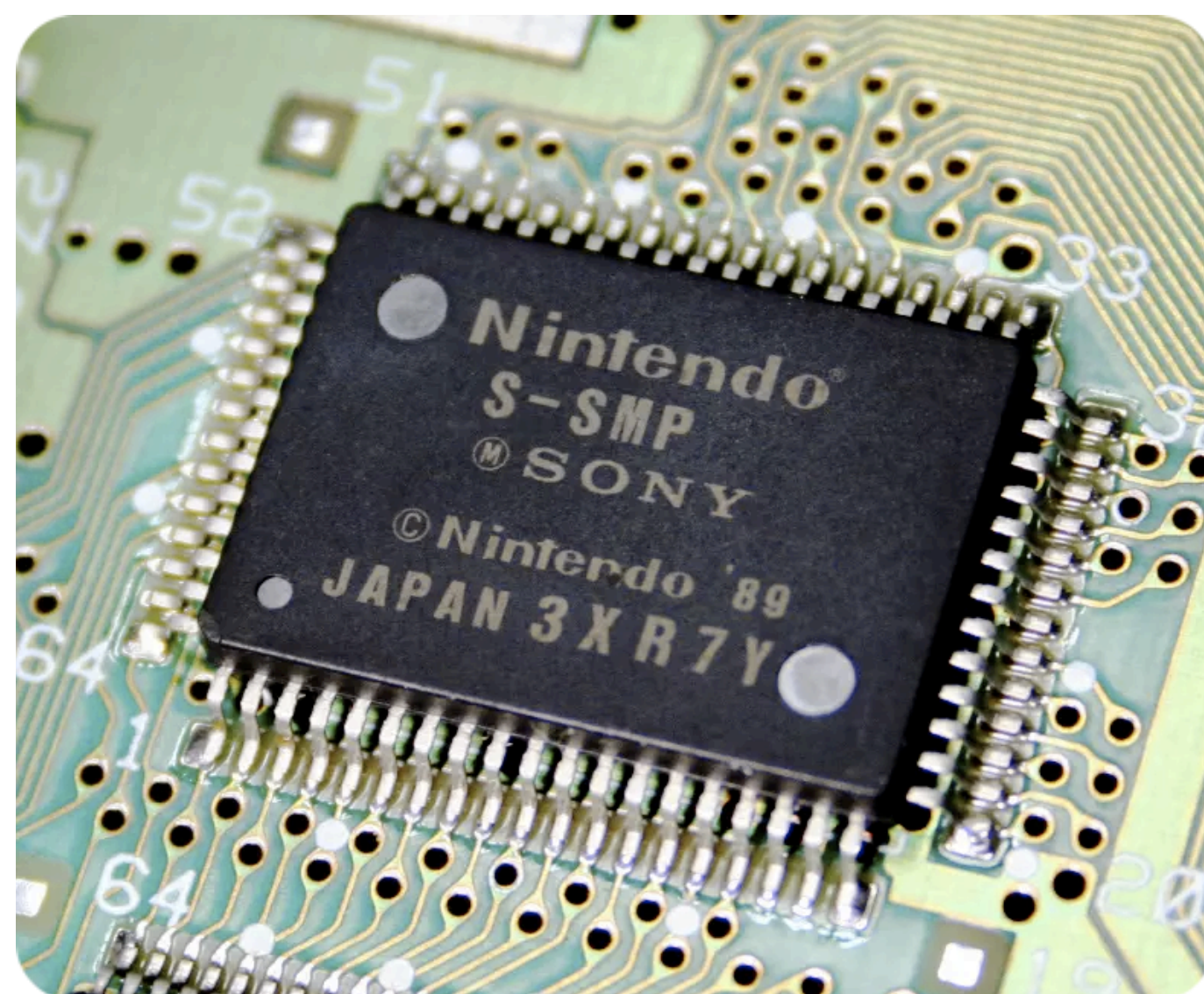
Sintetizadores são capazes de gerar diversos tipos, incluindo senoidal, quadrada, triangular e dente de serra.



# Sintetizadores em Video Games



Uma forma bastante comum e histórica de se adicionar música em jogos é utilizando **sintetizadores** de áudio, os quais geram ondas sonoras a partir de modelos matemáticos:



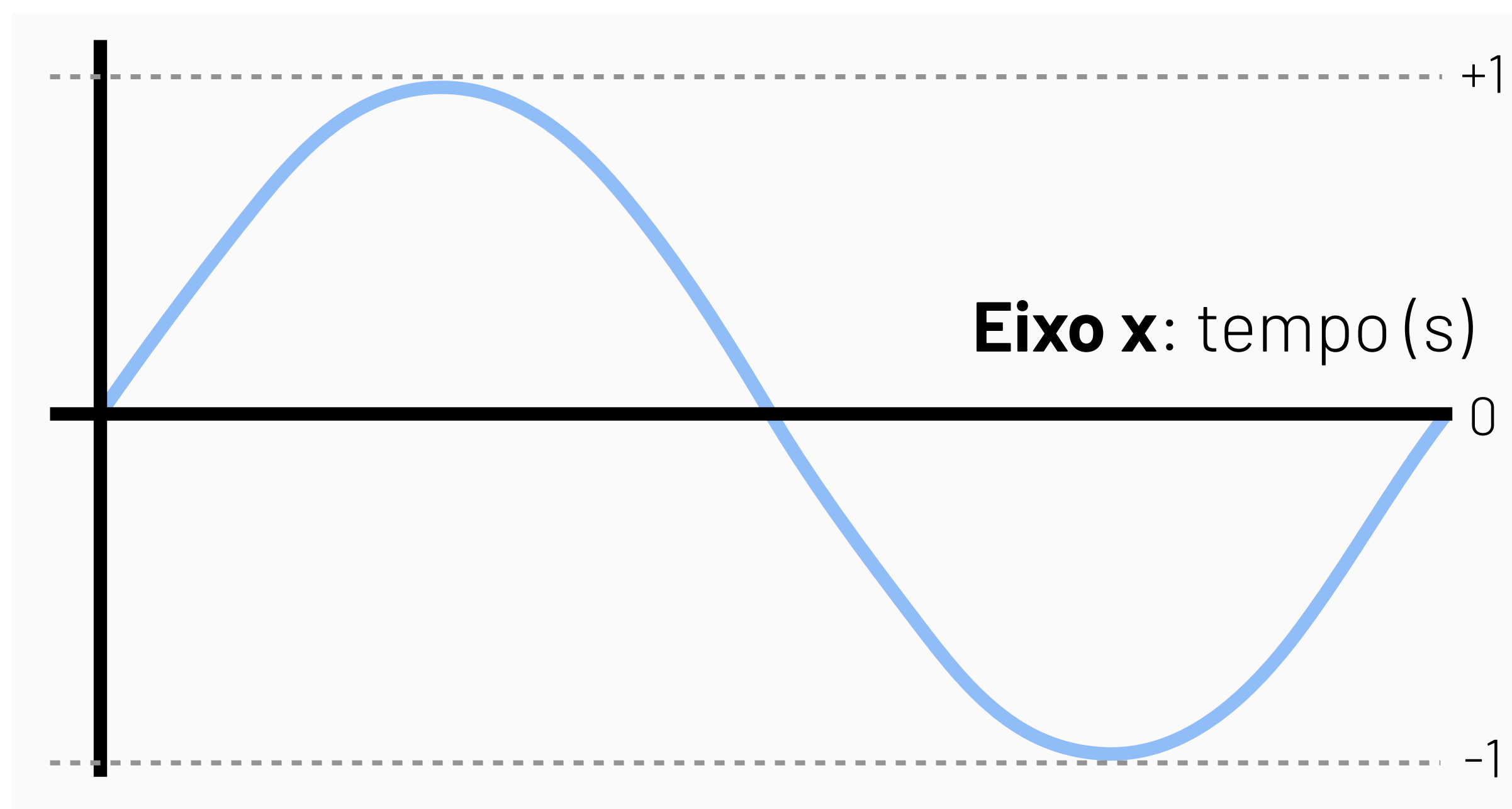
Nos consoles de 8 e 16 bits (anos 80 e 90), os sintetizadores eram embarcados no hardware e eram programados (em assembly) para sintetizar ondas em tempo real.

# Sinais de Áudio



Um sinal de áudio é uma representação elétrica ou digital de ondas sonoras ao longo do tempo:

**Eixo y:** amplitude — deslocamento de moléculas de ar (entre -1 e +1)



A amplitude está relacionada com o volume do som:

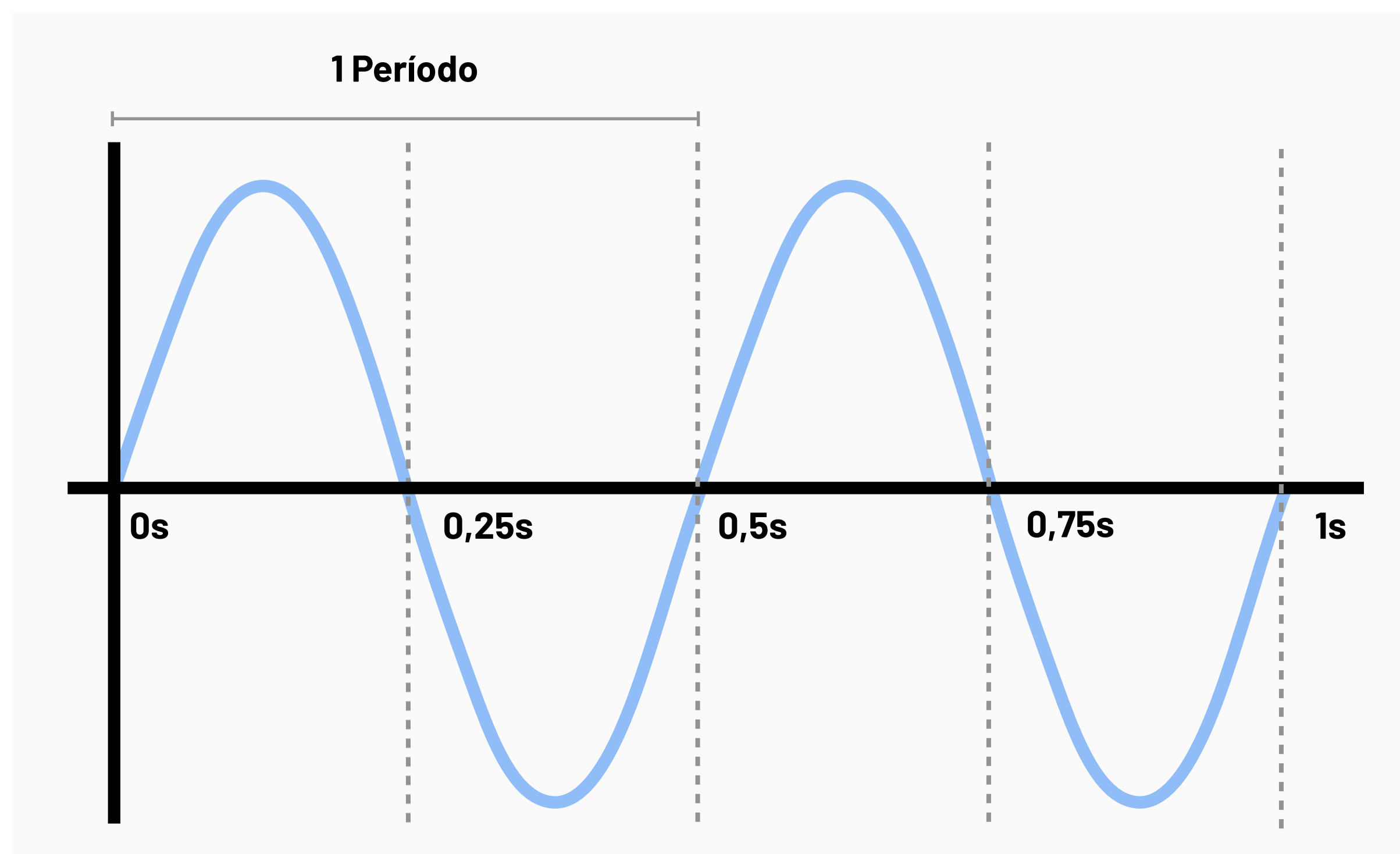
- ▶ Quanto maior a amplitude, mais alto você irá escutar o som
- ▶ Quanto menor a amplitude, mais baixo você irá escutar o som

Além da amplitude, duas propriedades importantes do sinal de áudio são a **frequência** e a **fase**

# Frequência



A **frequência** de um sinal de áudio mede (em Hz) quantas vezes ele se repete em um determinado período de tempo.



**Frequência = 2Hz**

2 períodos por segundo

A frequência está relacionada com a *altura* do som:

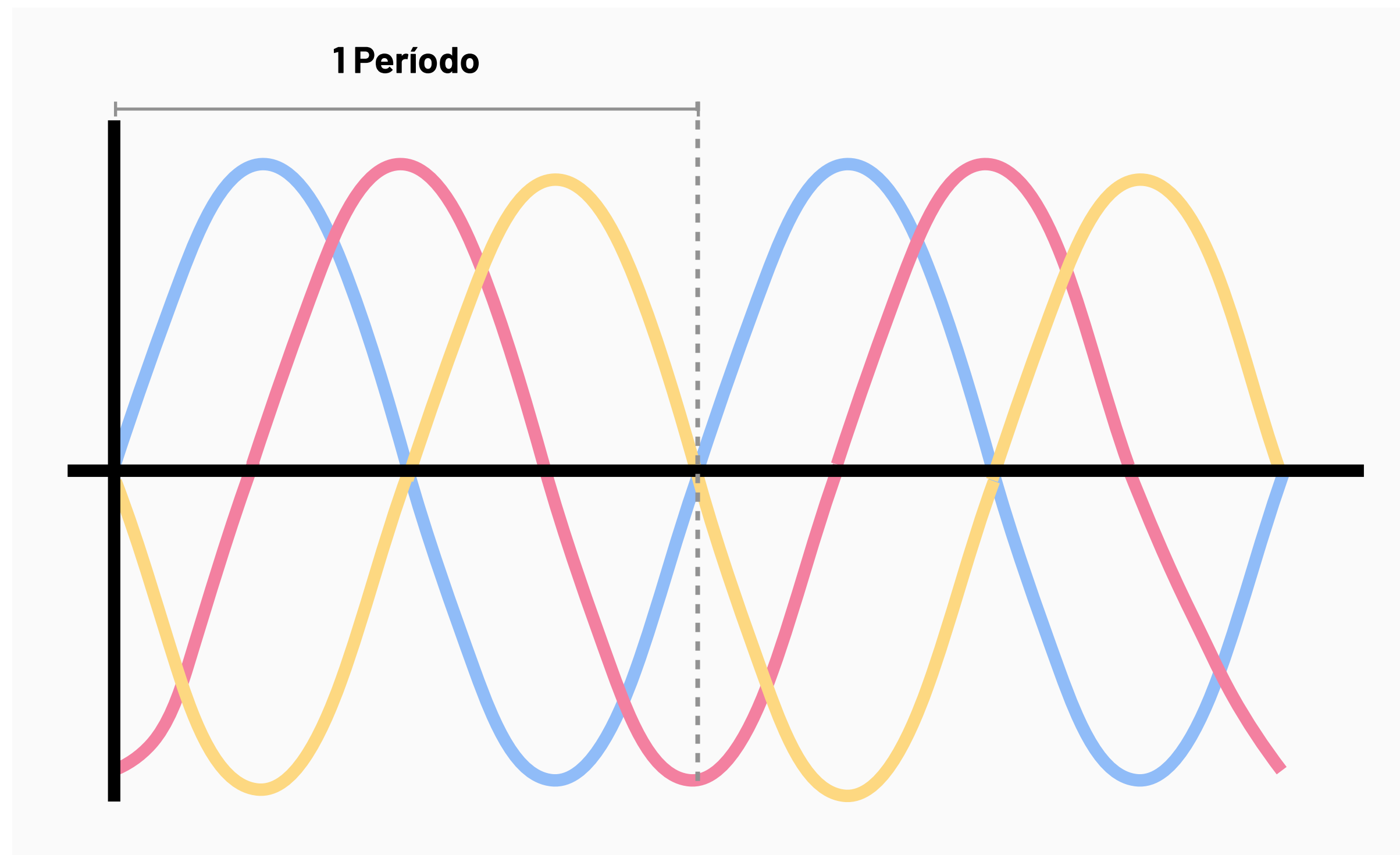
- ▶ Quanto maior a frequência, mais agudo você irá escutar o som
- ▶ Quanto menor a frequência, mais grave você irá escutar o som



# Fase



A fase é o deslocamento de um sinal, medido em graus ou radianos. Por exemplo, se um sinal está  $180^\circ$  fora de fase, isso significa que ele está atrasada em 50% do seu período:



- ▶ **Fase** =  $0^\circ$
- ▶ **Fase** =  $90^\circ$
- ▶ **Fase** =  $180^\circ$

A fase se torna importante quando dois ou mais sinais são tocados ao mesmo tempo.

- ▶ Quando dois sinais estão em fase, eles atingem seus pontos de pico e vale no mesmo tempo, resultando em uma soma construtiva.
- ▶ Se estiverem fora de fase, os sinais se anulam parcialmente ou completamente, dependendo da diferença de fase.

# Analógico vs Digital



Um sinal de áudio pode ser analógico ou digital:

## Analógico

Um sinal de áudio analógico é um sinal contínuo representado por uma tensão ou corrente elétrica.

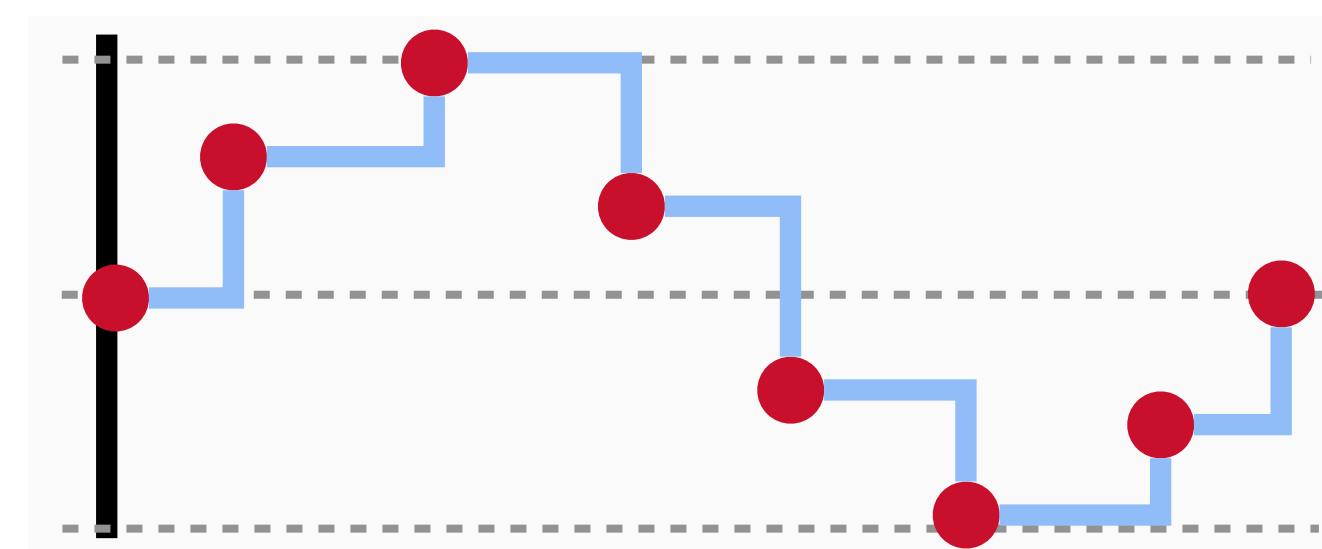
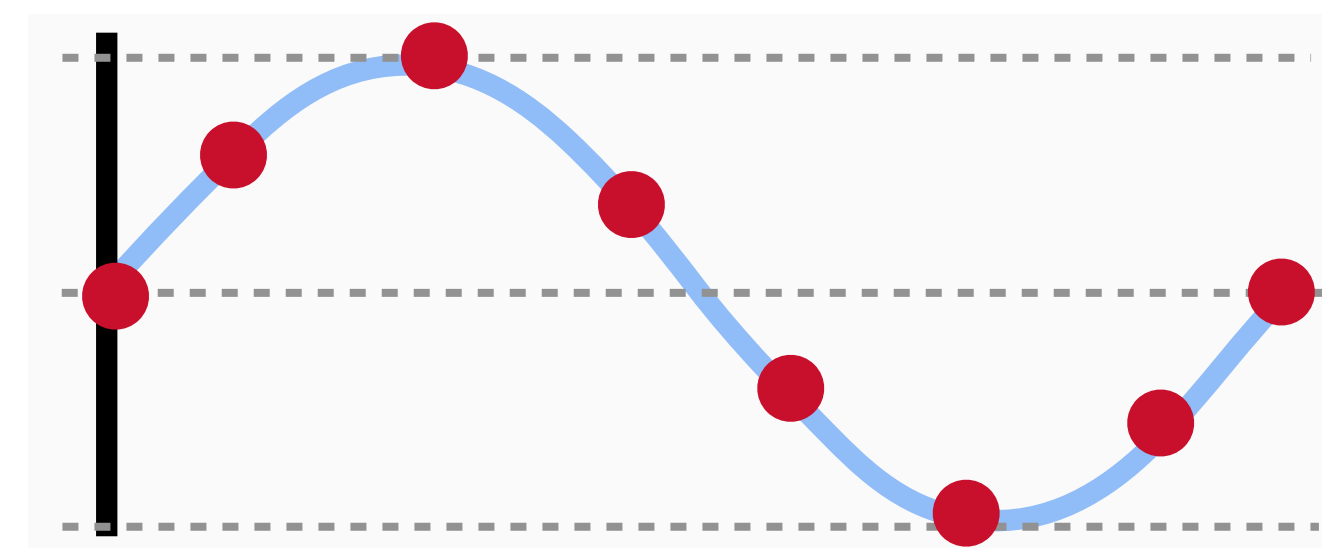
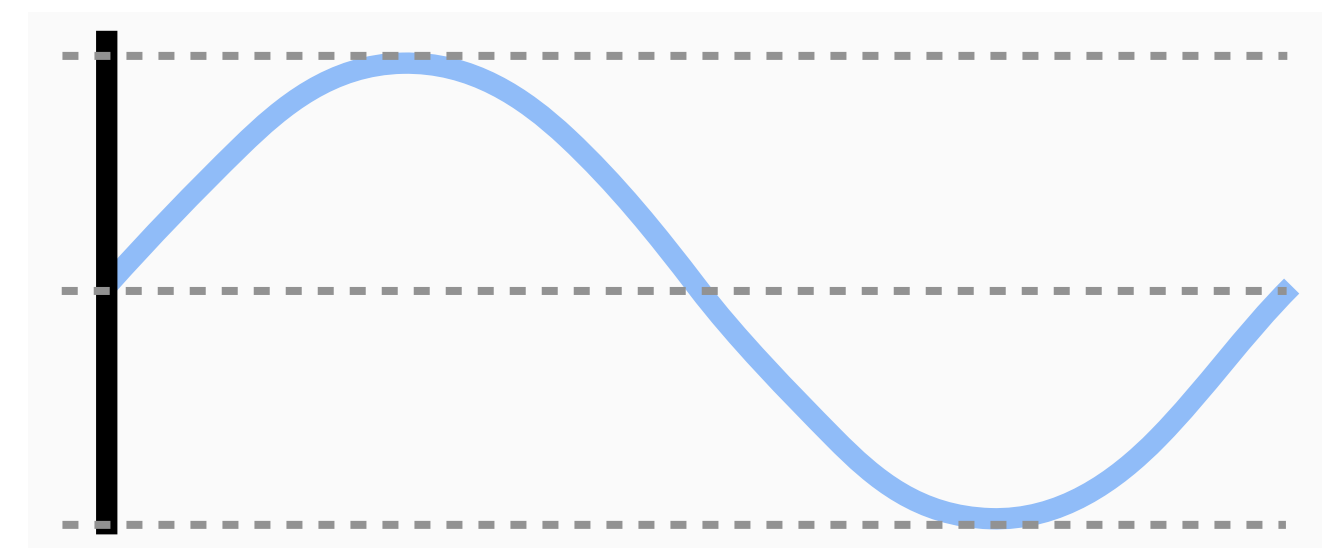


## Conversor Analógico-Digital (ADC)

Amostragem ao longo do tempo

## Digital

A representação digital expressa a forma de onda de áudio como uma sequência finita de amostras do sinal analógico



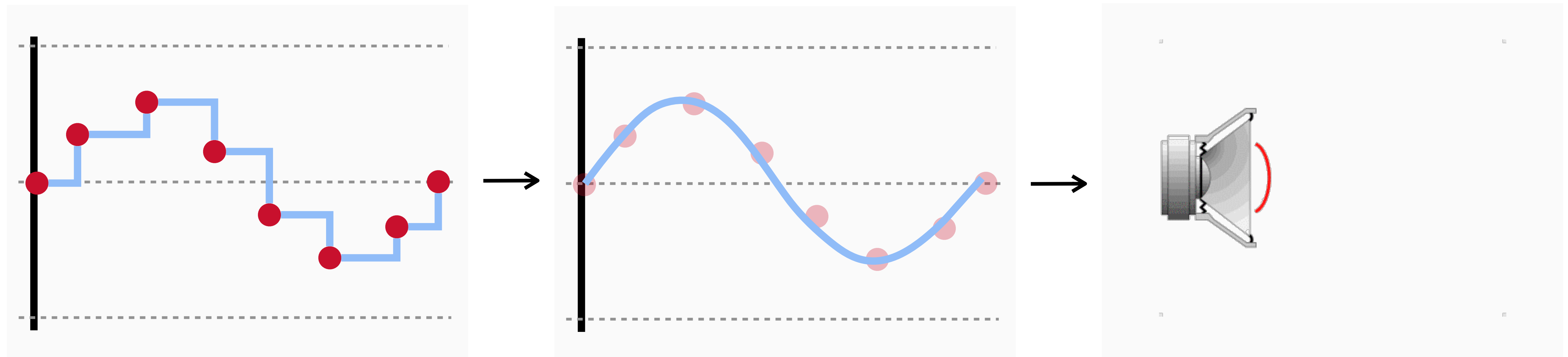


# Sistemas de Reprodução de Áudio Digital



As amplitudes de um sinal de áudio digital são convertidos em tensões em um processo de conversão analógica-digital (DAC), as quais fazem o alto-falante vibrar:

## Conversor Digital-Analógico (DAC)



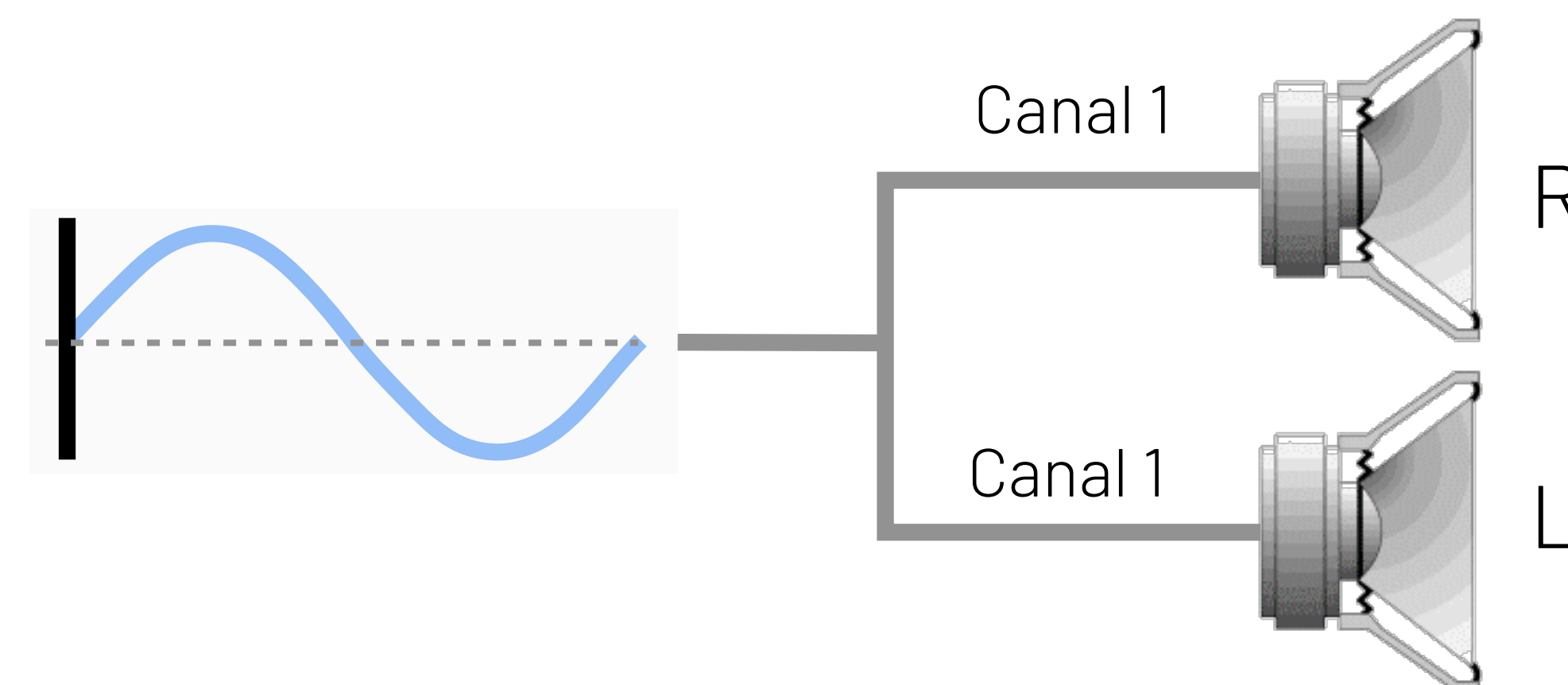
# Sinais Mono Vs. Stereo



Um sinal de áudio pode ser mono ou estéreo:

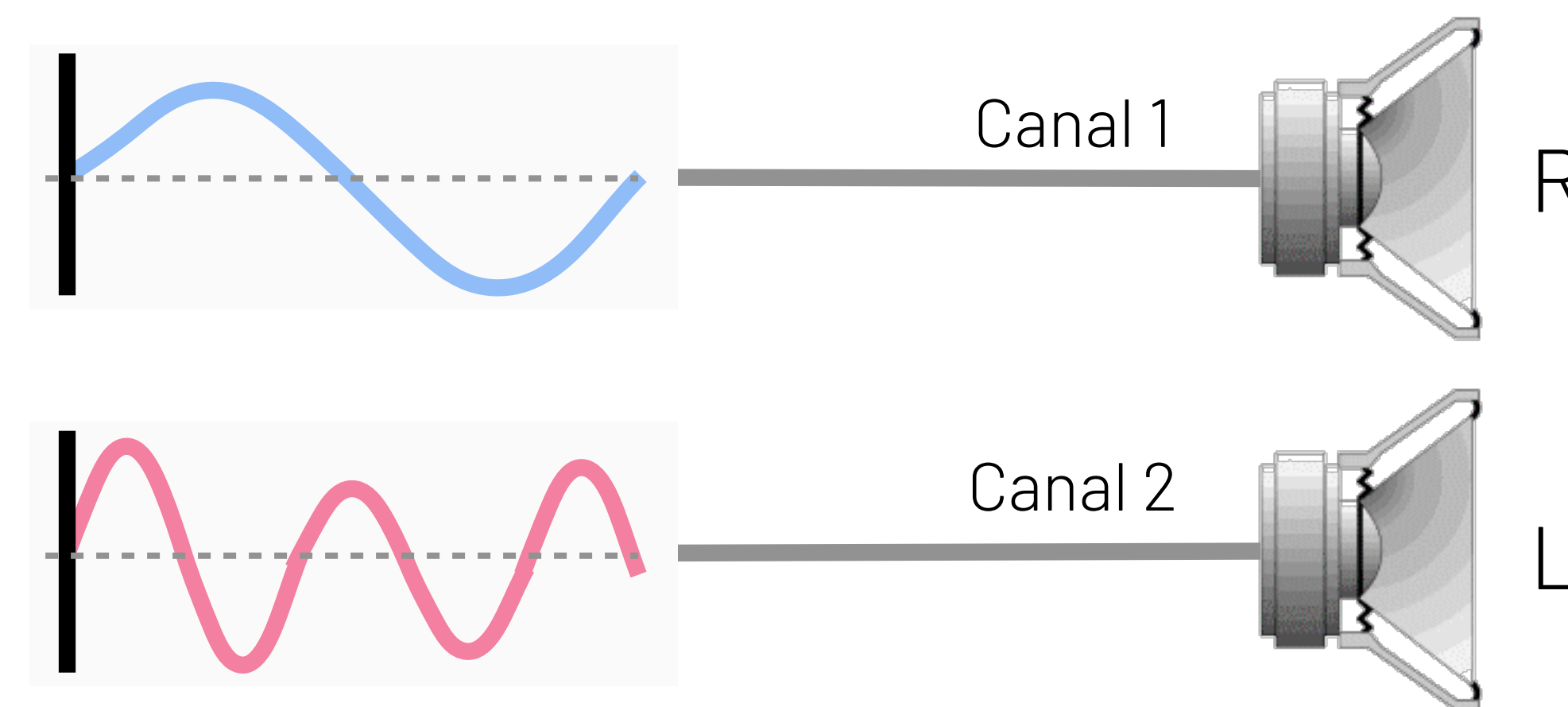
## Mono

- ▶ O sinal mono representa uma única onda sonora.
- ▶ Todos os elementos sonoros (instrumentos, vocais, etc) são misturados em um único sinal e reproduzidos igualmente em ambos os alto-falantes.



## Estéreo

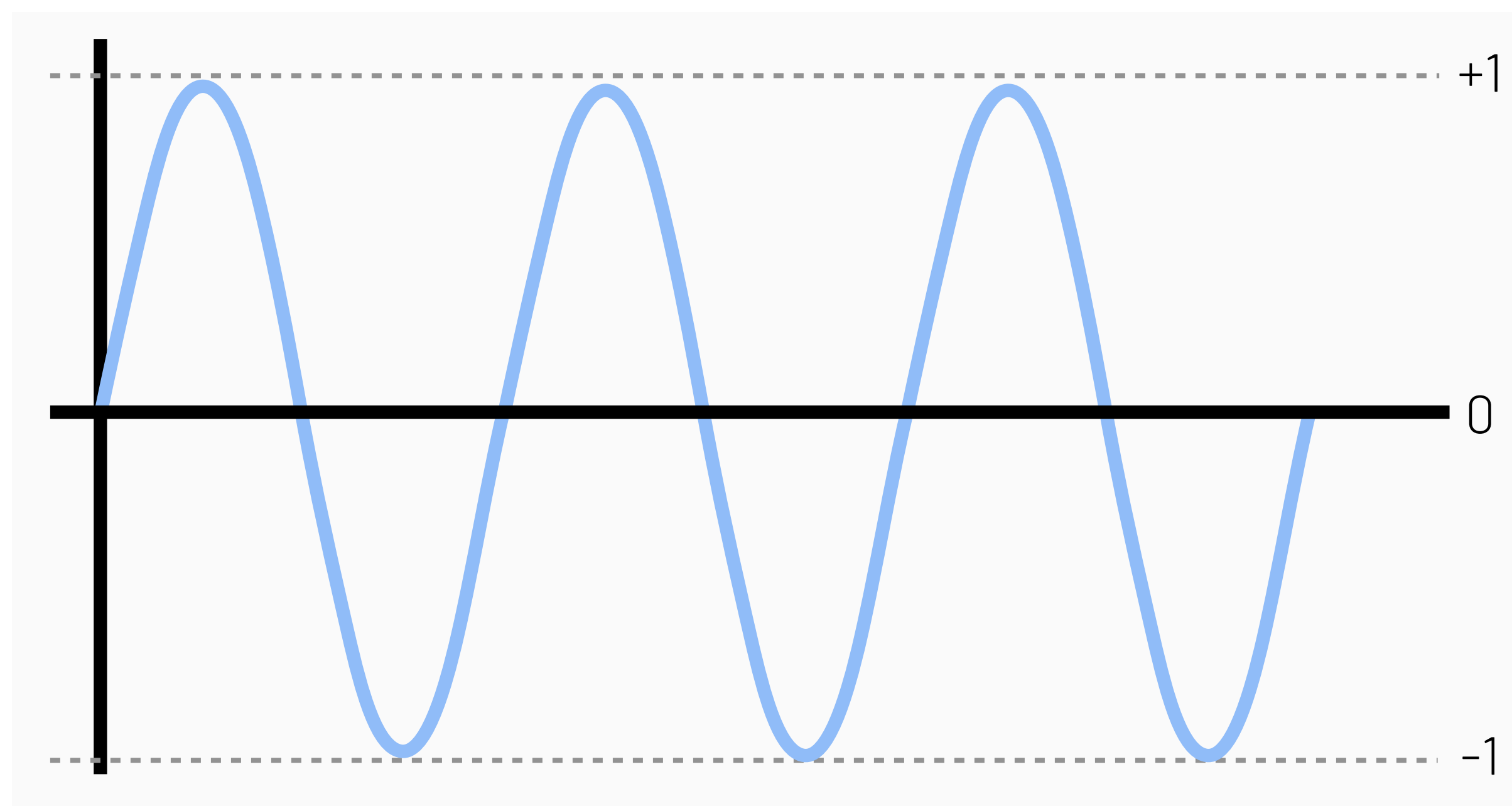
- ▶ O sinal estéreo representa duas ondas sonoras: um para o canal esquerdo e outra para o canal direito.
- ▶ É possível ouvir instrumentos ou vocais posicionados à esquerda, à direita ou no centro



# Ondas Senoidais



As **ondas senoidais** são as ondas sonoras periódicas mais simples e por isso também são chamadas de ondas fundamentais:



Podemos gerar ondas senoidais com a seguinte fórmula:

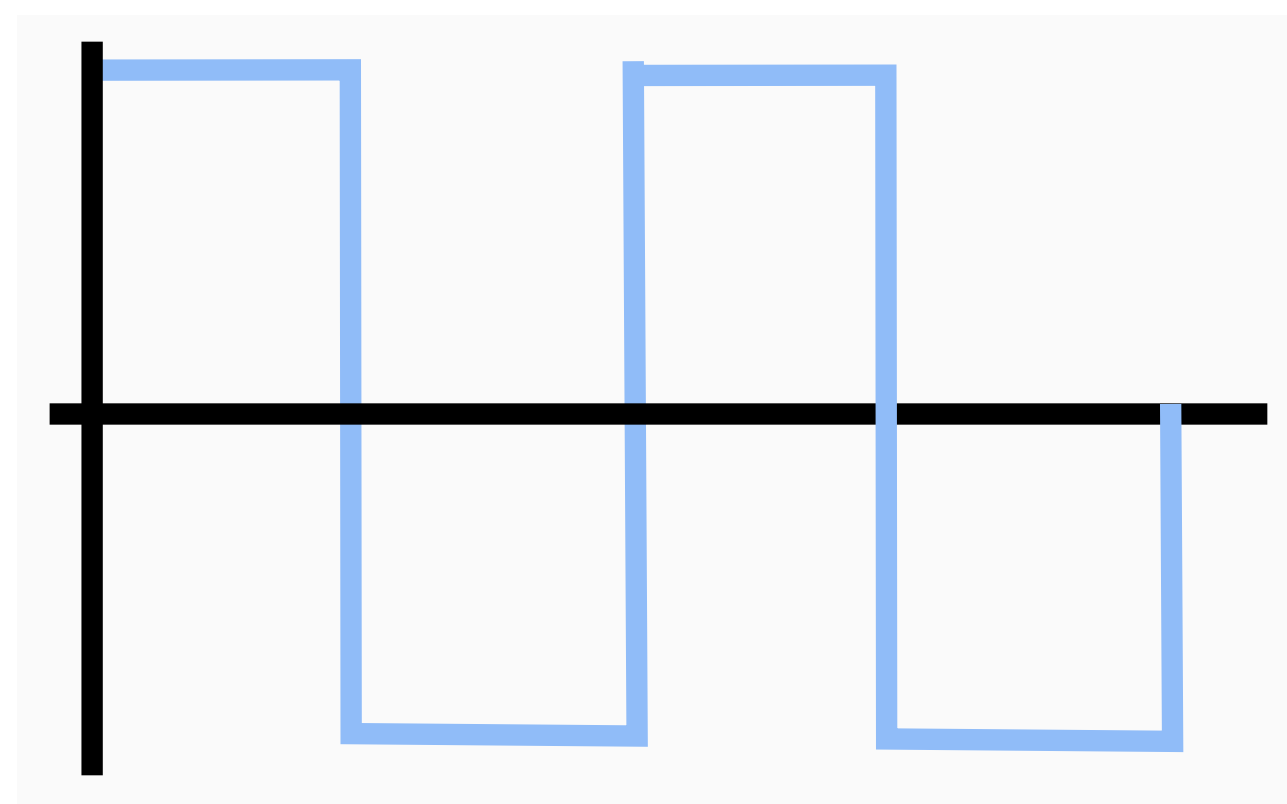
$$y(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

- ▶  $A$  é a amplitude
- ▶  $t$ : tempo em segundos
- ▶  $f$ : frequência (número de ciclos por segundo)
- ▶  $\phi$ : fase (em graus ou radianos)

# Ondas Não-senoidais

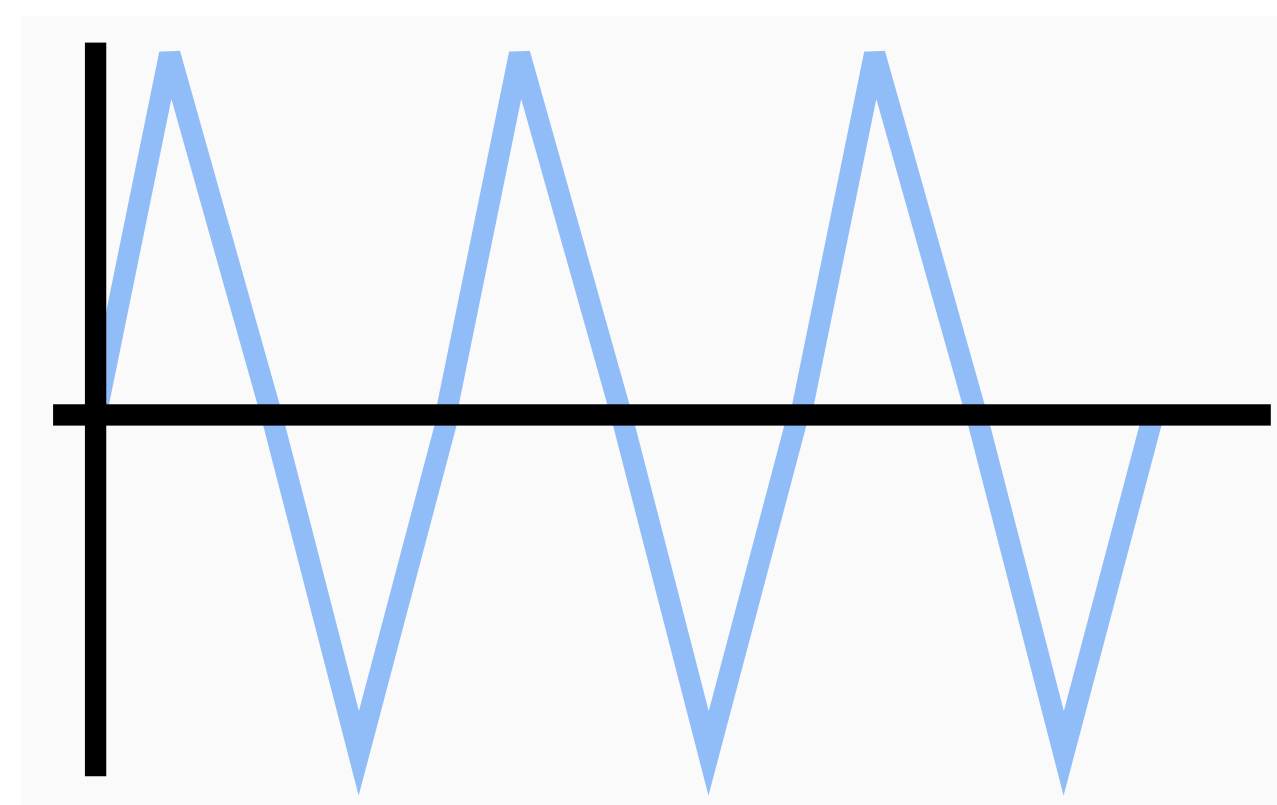


Outros formatos de onda comuns não-senoidais que podemos sintetizar matematicamente com facilidade incluem:



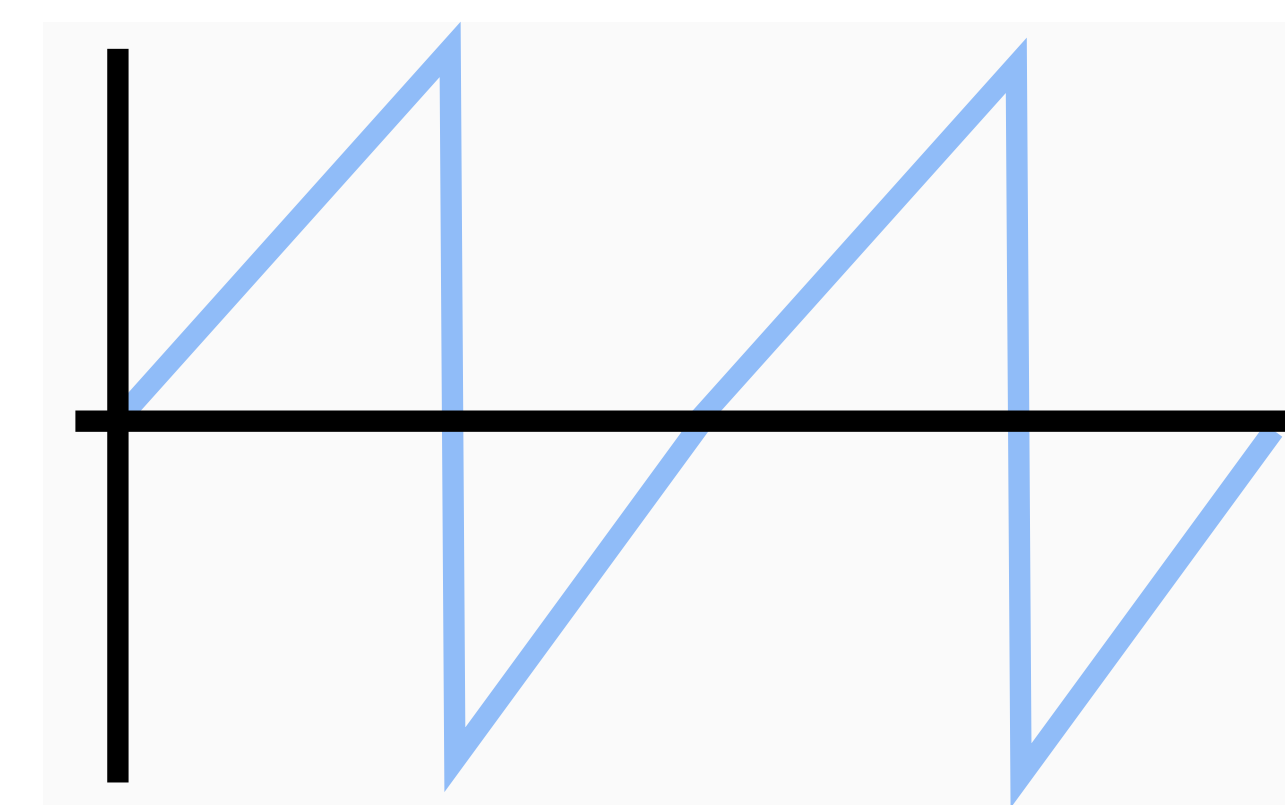
**Onda Quadrada**

$$y(t) = A \operatorname{sgn}(\sin(2\pi ft + \phi))$$



**Onda Triangular**

$$y(x) = \frac{4A}{p} \left| \left( \left( x + \frac{\phi}{2\pi} - \frac{p}{4} \right) \bmod p \right) - \frac{p}{2} \right| - A$$



**Onda dente de serra**

$$y(x) = \frac{2A}{p} \left( \left( x + \frac{\phi}{2\pi} \right) \bmod p - \frac{p}{2} \right)$$



# Sintetizando sinais de áudio em SDL



Para gerar e reproduzir sinais de áudio em SDL, podemos usar a função `SDL_OpenAudioDevice`:

```
// Áudio callback que gera uma senoide contínua
void sinusoidal(void* userdata, Uint8* stream, int len) {
    static double phase = 0.0;
    float* buffer = reinterpret_cast<float*>(stream);
    int length = len / sizeof(float);

    for (int i = 0; i < length; ++i) {
        buffer[i] = amplitude * std::sin(phase);
        phase += 2.0 * PI * frequency / SAMPLE_RATE;
        if (phase >= 2.0 * PI)
            phase -= 2.0 * PI;
    }
}

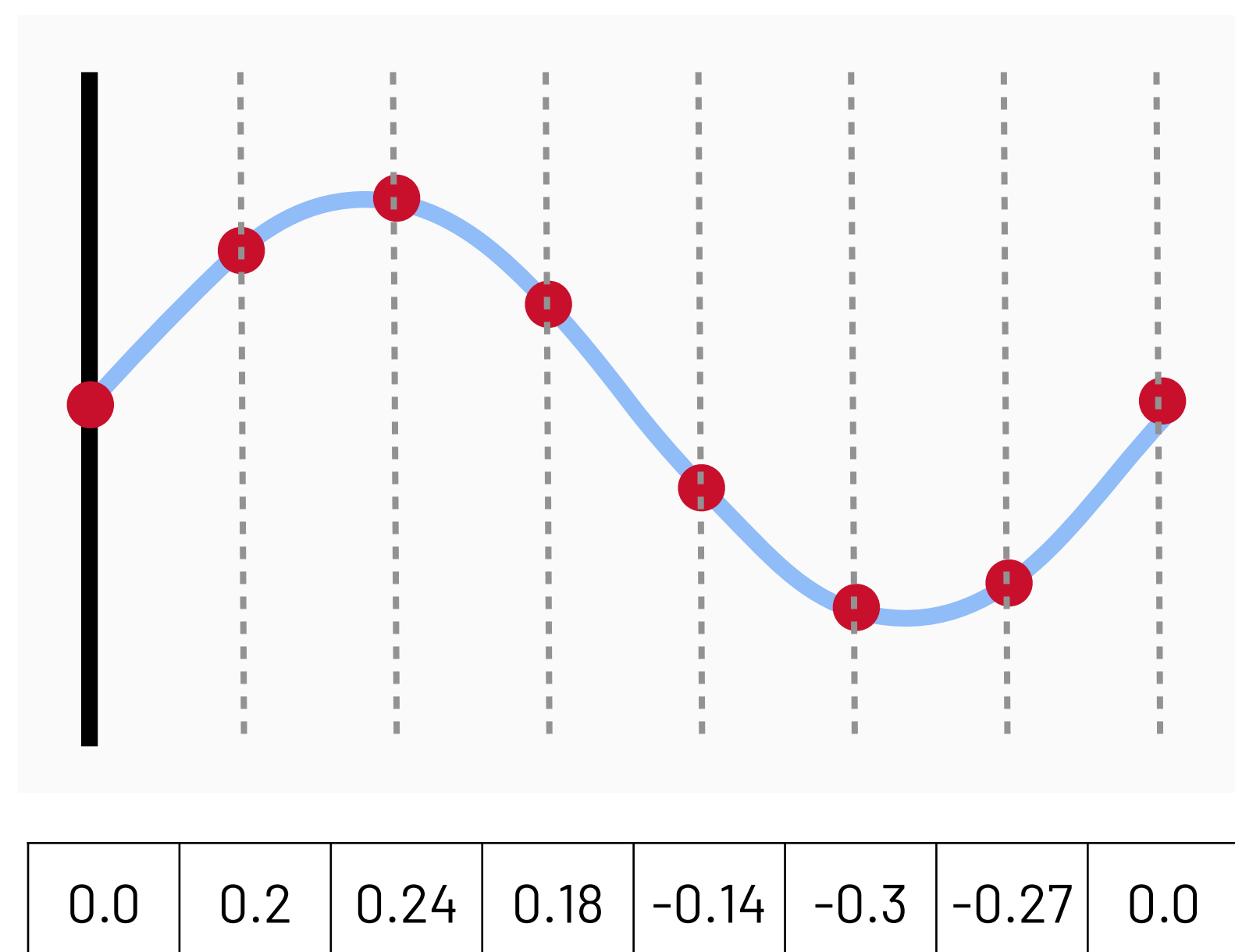
// Configurar o áudio
SDL_AudioSpec desiredSpec;
SDL_zero(desiredSpec);
desiredSpec.freq = SAMPLE_RATE;
desiredSpec.format = AUDIO_F32SYS;
desiredSpec.channels = 1;
desiredSpec.samples = 1024;
desiredSpec.callback = sinusoidal;

SDL_AudioSpec obtainedSpec;
SDL_AudioDeviceID deviceId = SDL_OpenAudioDevice(nullptr, 0, &desiredSpec, &obtainedSpec, 0);
SDL_PauseAudioDevice(deviceId, 0); // começar o áudio
```

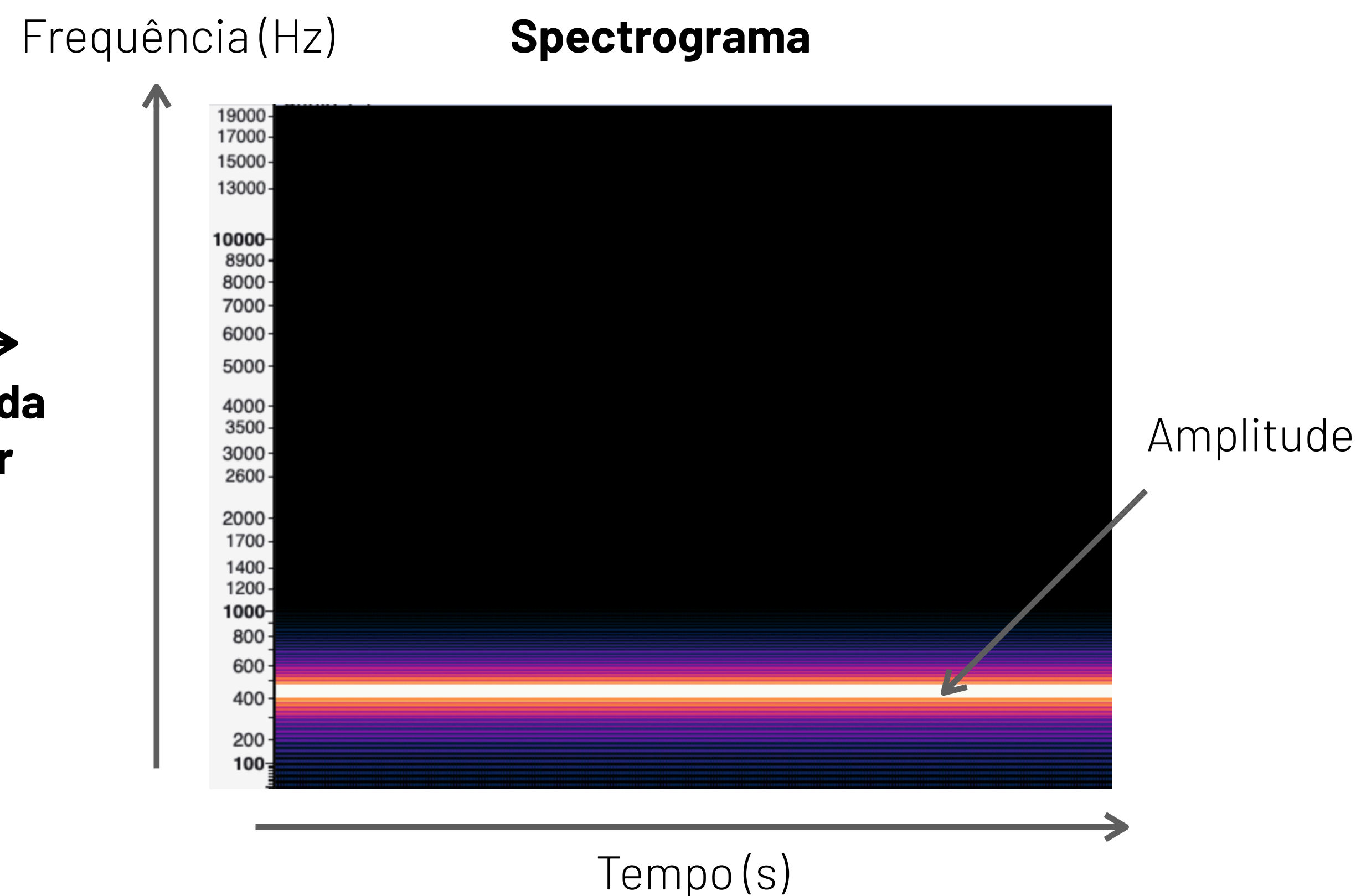
# Espectrogramas



O sinal de áudio carrega informações de **amplitude** ao longo do tempo, mas não de **frequência**. Para visualizar a frequência de um sinal, podemos aplicar uma Transformada de Fourier:



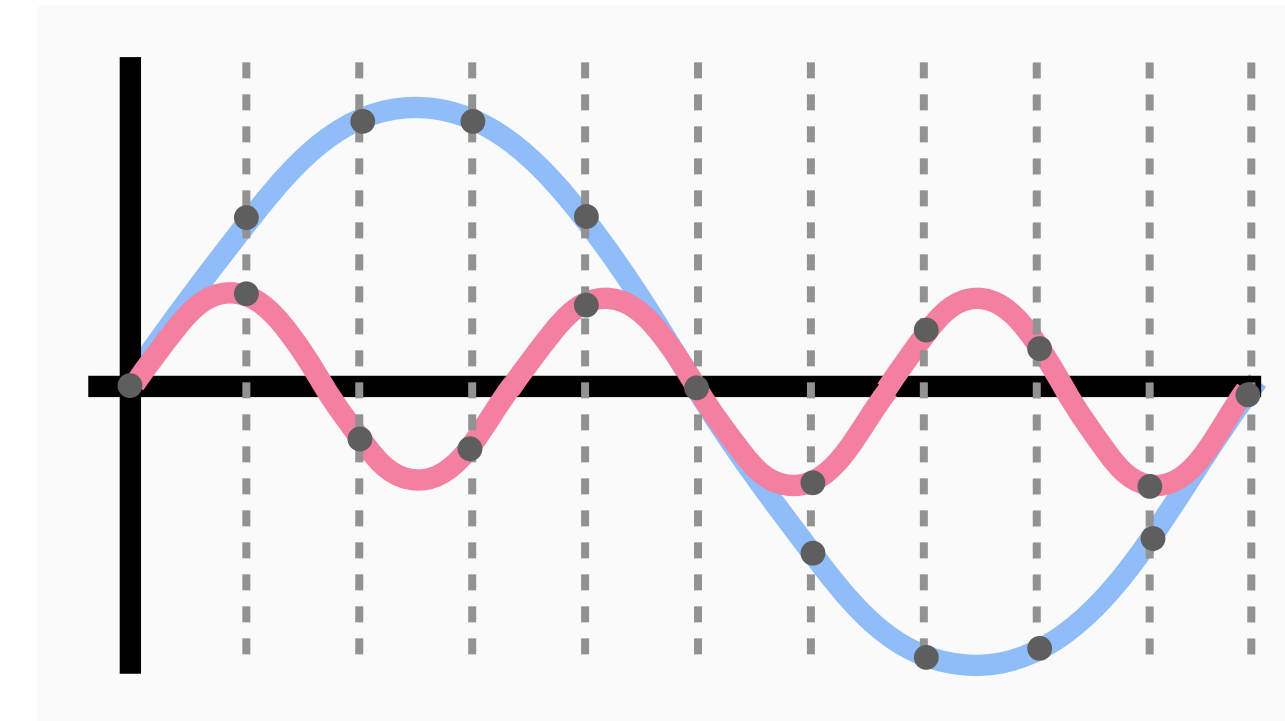
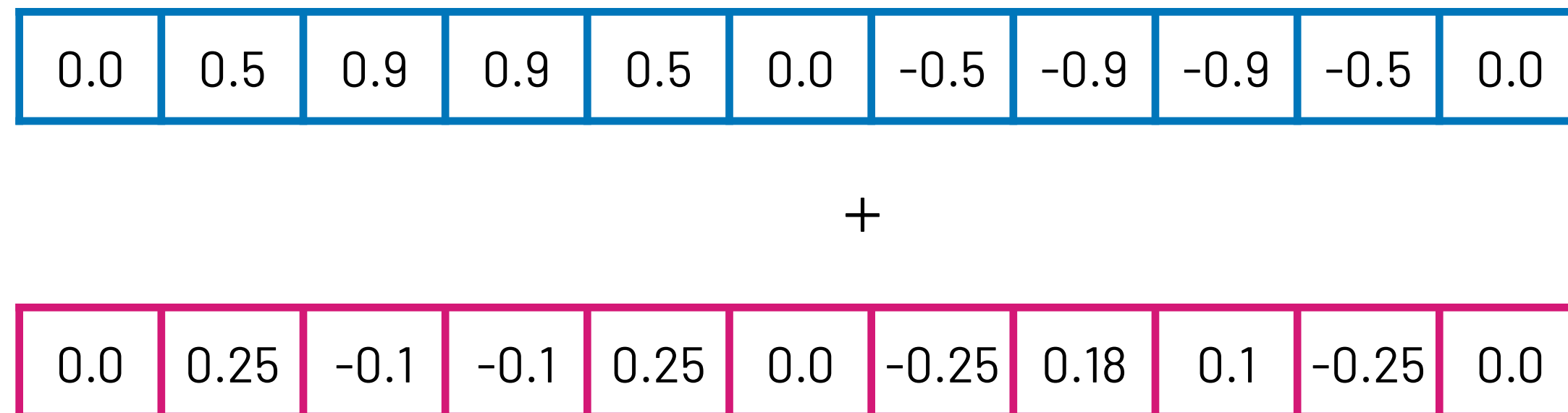
→  
**Transformada  
de Fourier**



# Somando Sinais de Áudio



Quando dois ou mais sinais de áudio são tocados ao mesmo tempo, eles são **somados formando um único sinal**:



# Somando Sinais de Áudio



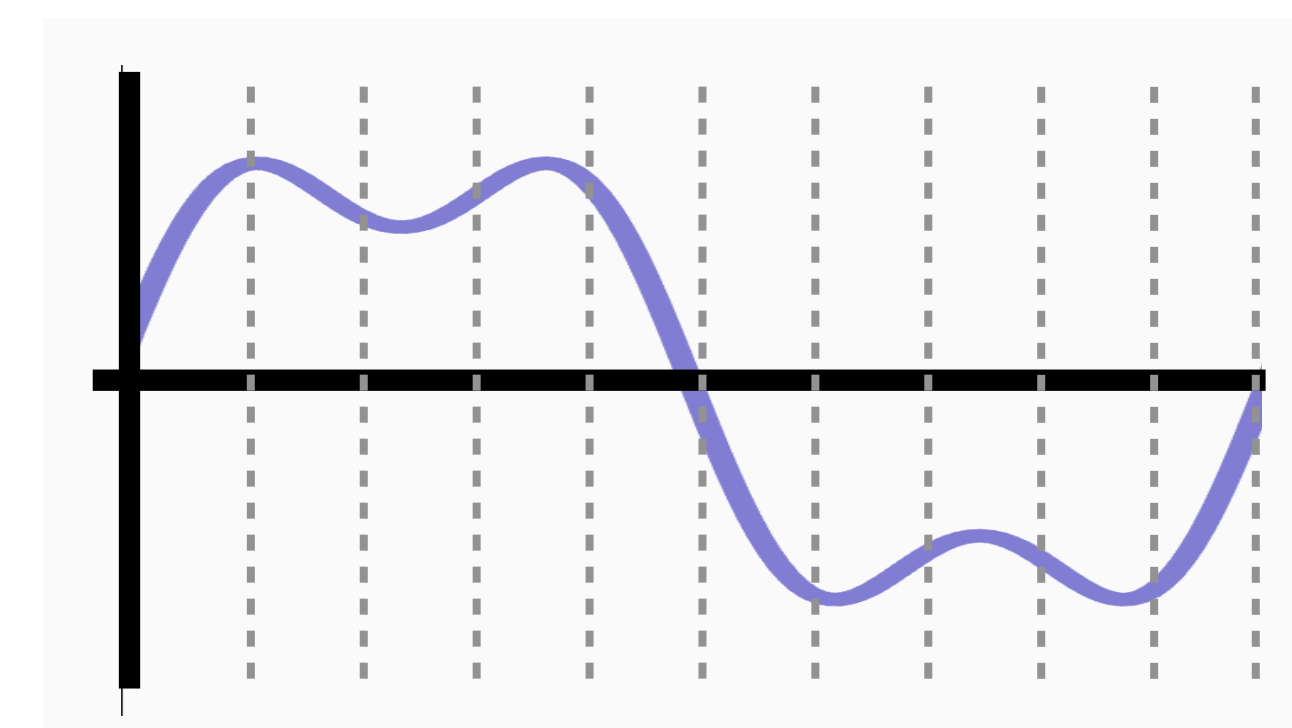
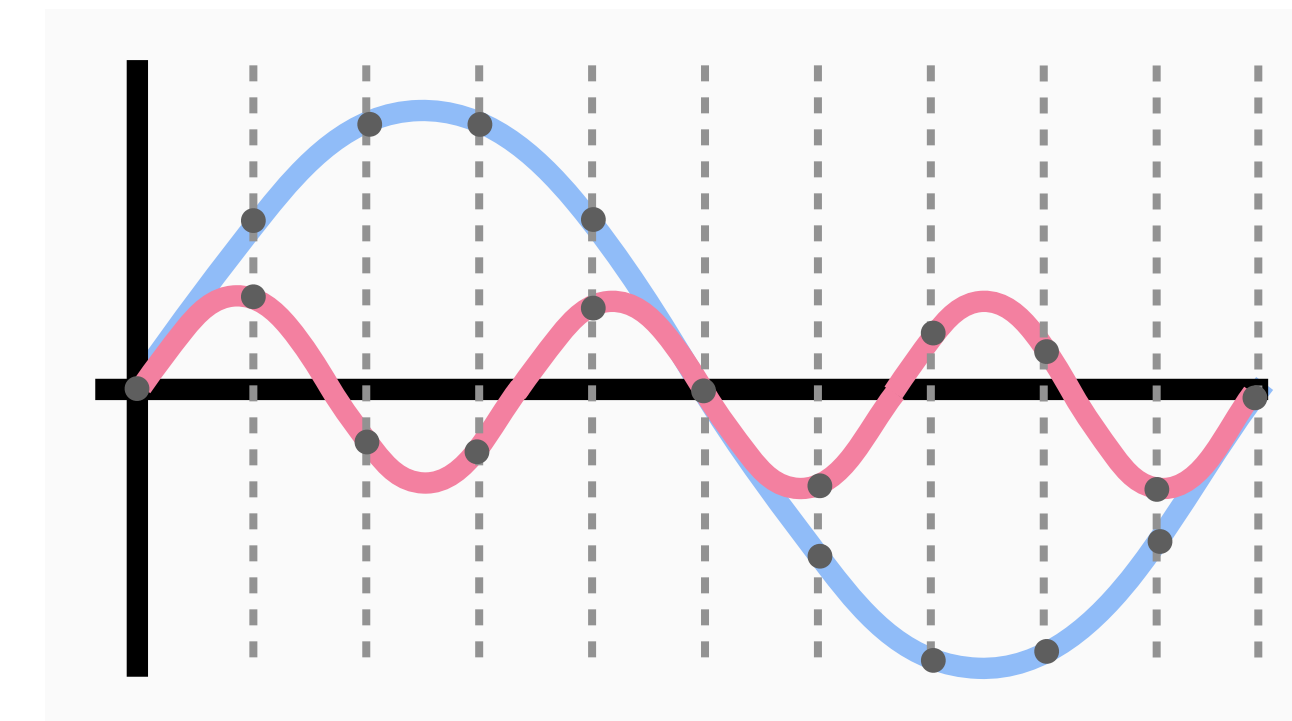
Quando dois ou mais sinais de áudio são tocados ao mesmo tempo, eles são **somados formando um único sinal**:



+



=





# Sintetizando notas musicais

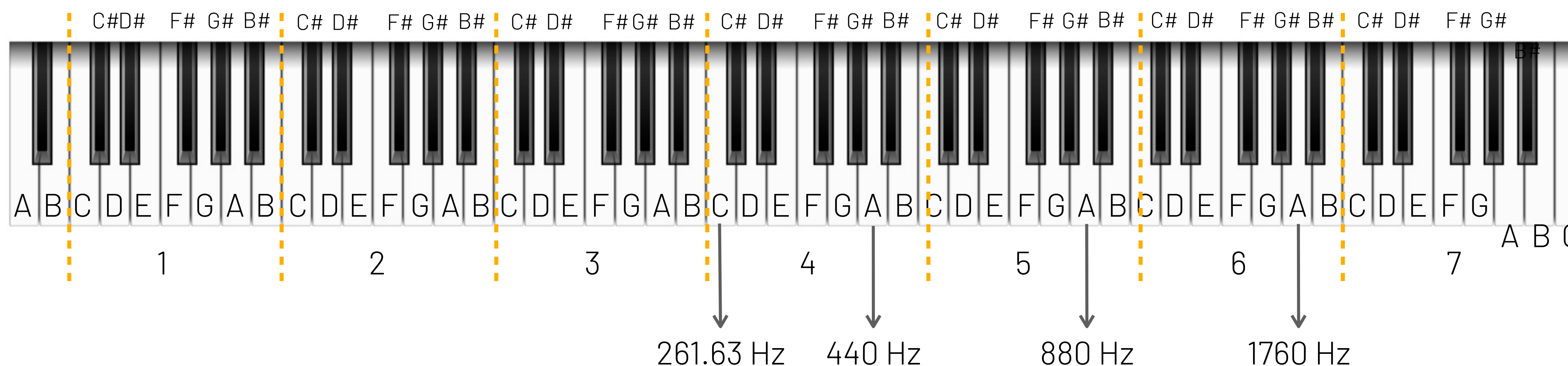


As notas musicais são símbolos que representam alturas (frequências) específicas, sendo o alfabeto fundamental da música. No sistema ocidental, temos 12 notas:

- ▶ Naturels: C, D, E, F, G, A, B
- ▶ Accidentals: C#, D#, F#, G#, A#

Oitava

As 12 notas se repetem em todas as oitavas



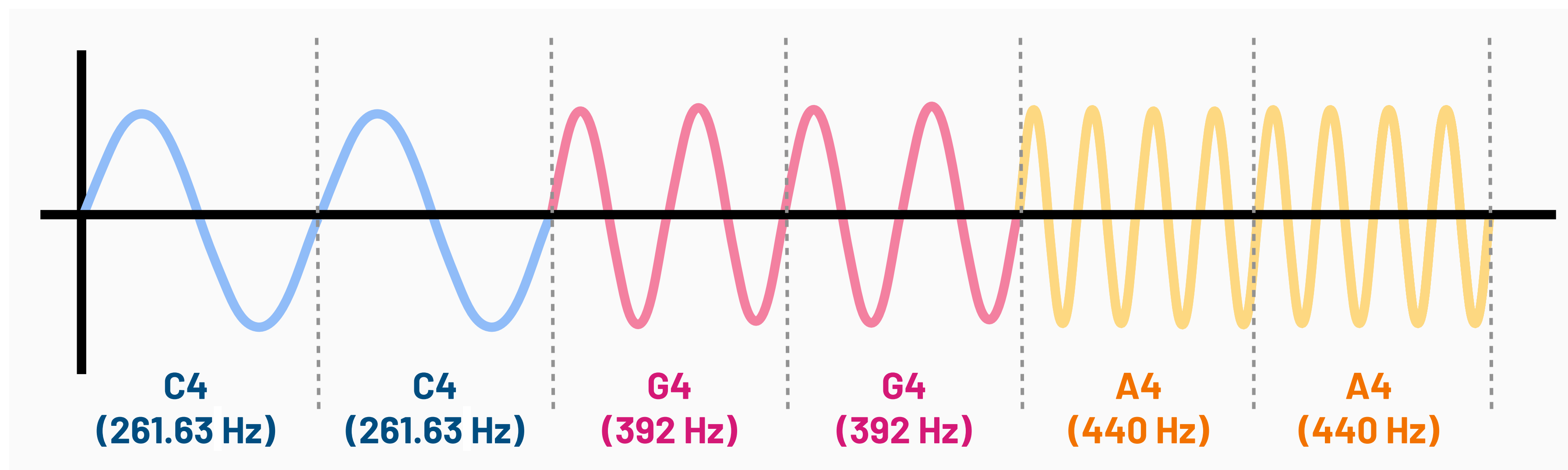
As frequências das notas dobram de um oitava para a outra! Por isso nós as percebemos como o mesmo som, apesar das frequências diferentes!

# Sequenciadores



Uma forma de sintetizar músicas é usando um **sequenciador**, que sintetiza uma sequência de notas alterando a frequência  $f$  de uma onda senoide em intervalos de tempo constantes:

Melodia: "C4 C4 G4 G4 A4 A4 G4 F4 F4 E4 E4 D4 D4"

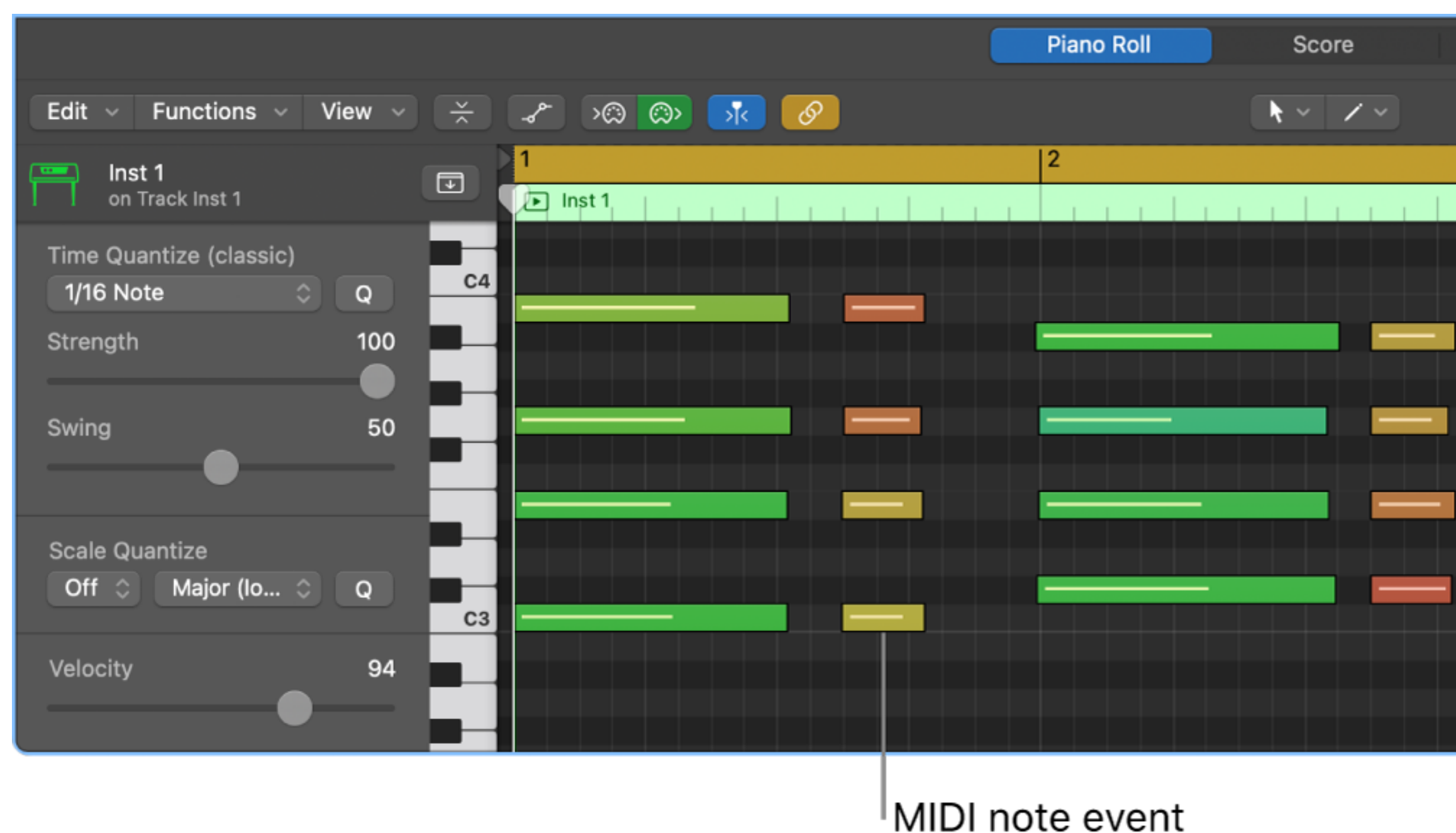


$$y(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

# Sequenciadores MIDI



A maioria dos programas de produção musical, chamadas de Digital Audio Workstations (DAWs) possuem um sequenciador MIDI, ou seja, a sequência de notas é definida pelo protocolo MIDI:



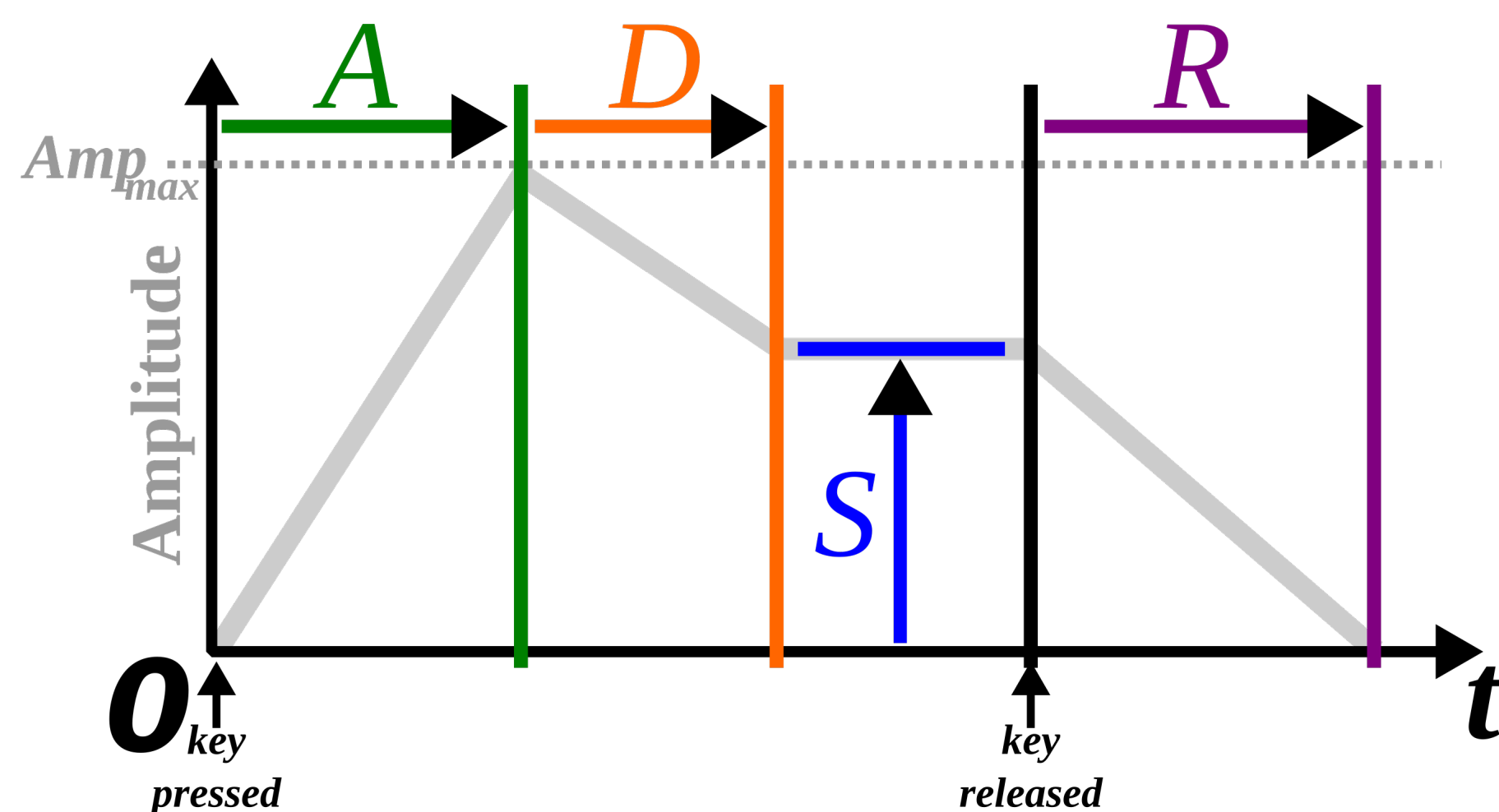
O protocolo MIDI suporta:

- ▶ Diferentes durações
- ▶ Diferentes velocidades
- ▶ Múltiplos canais (instrumentos)
- ▶ Harmonias: notas simultâneas

# Envelopes



Um **envelope** é uma curva que controla o valor de amplitude (ou outros parâmetros) de um sinal de áudio ao longo do tempo. Geralmente, um envelope divide o sinal de áudio em 4 etapas:



- ▶ **Attack (A):** A fase inicial em que o volume do som sobe de zero até seu nível máximo.
- ▶ **Decay (D):** Período em que o volume do som diminui do nível de pico para o nível de sustentação.
- ▶ **Sustain (S):** O nível em que o volume do som permanece enquanto uma nota é mantida.
- ▶ **Release (R):** A fase em que o volume do som diminui de volta a zero após a nota ser liberada.

**Envelopes são usados para sintetizar timbres diferentes!**



# Próxima aula



## A16: Áudio II – Reprodução

- ▶ Efeitos Sonoros
- ▶ Problemas de Repetição
- ▶ Músicas de Fundo
- ▶ Sistemas de Gerenciamento de Sons
- ▶ Filtros
- ▶ Música Adaptativa