

Análise Harmônica do Som

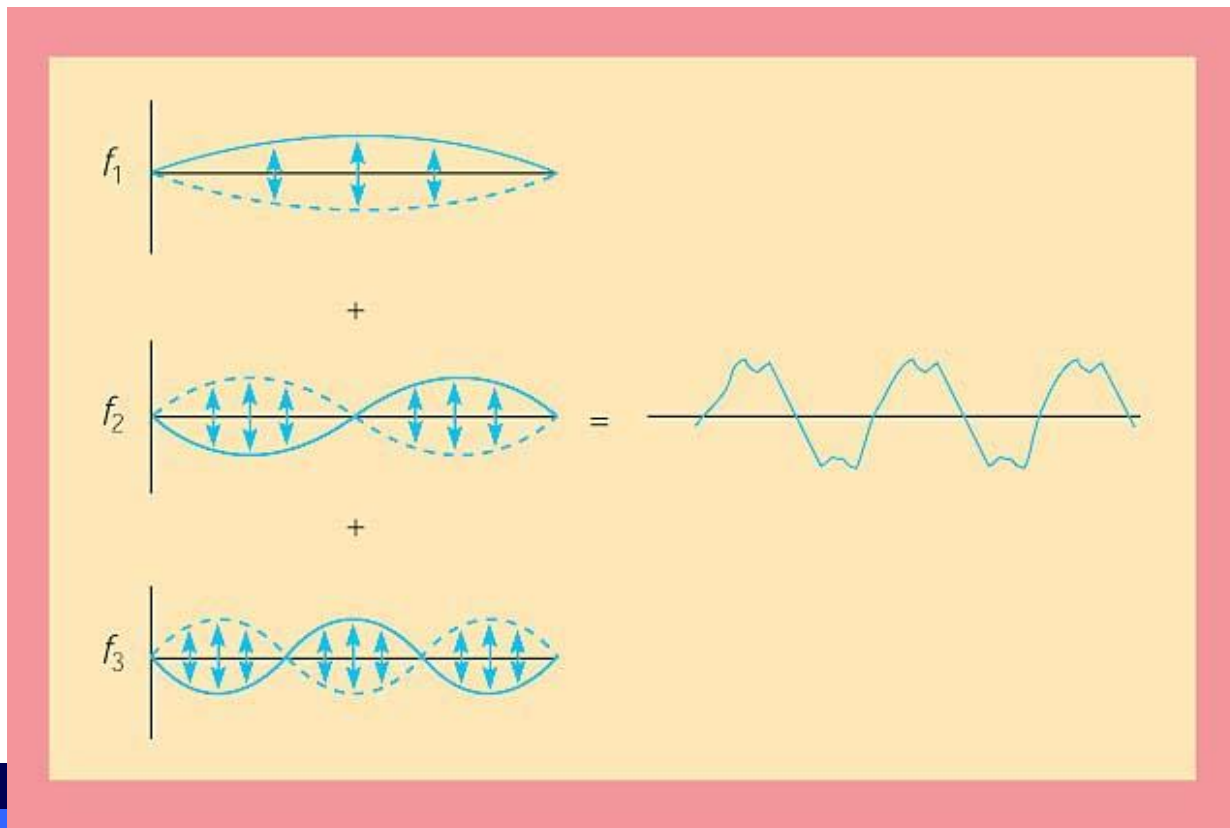
▪ **Prof. Theo Z. Pavan**

Física Acústica

Aula 9

Combinação de Frequências

- A combinação entre a frequência fundamental e sobretons produz uma forma de onda complexa, que dá a característica da qualidade sonora.



Conteúdo Harmônico

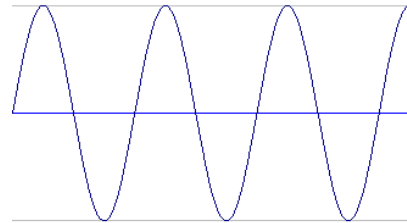
- Simples (senoidal): **Não existe na natureza!**

- $x(t) = A \text{ sen } (\omega t + \theta)$

- A = amplitude

- ω = frequência angular

- θ = fase inicial



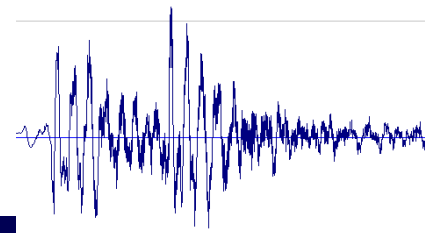
- Complexa (composta de senoidais): **Serie de Fourier**

- $f(t) = a_k + a_0 \text{ sen } \omega_0 t_0 + a_1 \text{ sen } \omega_1 t_1 + \dots + a_n \text{ sen } \omega_n t_n$

- $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ é chamada de **frequência fundamental**

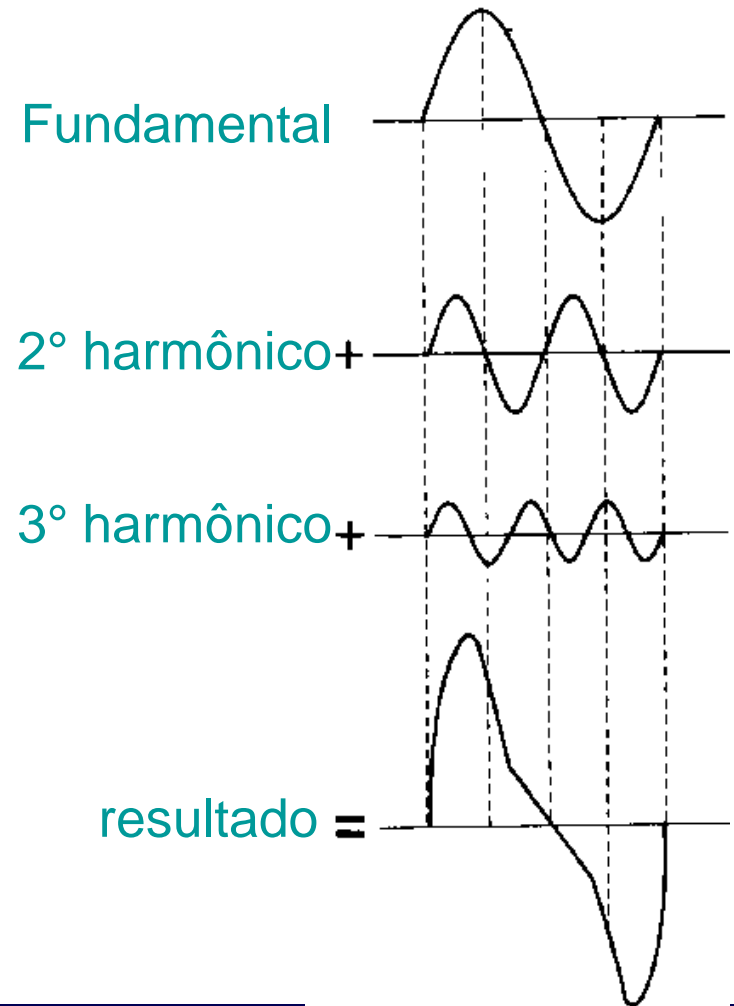
- as outras são chamadas de **parciais**

- **harmônico** = parcial múltiplo de f_0



Onda complexa: exemplo

- O conteúdo harmônico
 - é um dos responsáveis pelo **timbre** de um instrumento
 - é chamado **Resposta em Frequência** ou **Espectro**
- Síntese aditiva:
 - Toda onda pode, teoricamente, ser obtida a partir de senóides
 - Instrumentos de percussão têm parciais não harmônicas



Análise da Forma de Onda

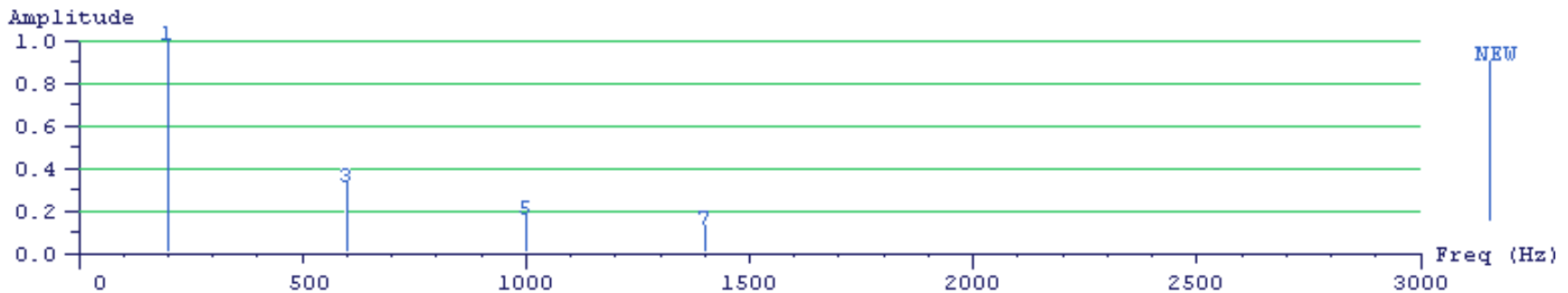
- Ondas periódicas complexas
- Conceito principal:
 - **Se** pudermos reduzir uma onda complexa periódica a uma combinação de ondas periódicas simples, **então** poderemos descrevê-las usando informação sobre a frequência, amplitude e fase de cada onda periódica simples.
- Joseph Fourier (1768-1830)

Análise Harmônica

- Fourier mostrou
 - Que é possível reduzir uma onda complexa em uma soma de ondas senoidais.
 - As únicas ondas senoidais necessárias são ondas com frequências que são múltiplos inteiros da frequência fundamental.

Análise Harmônica

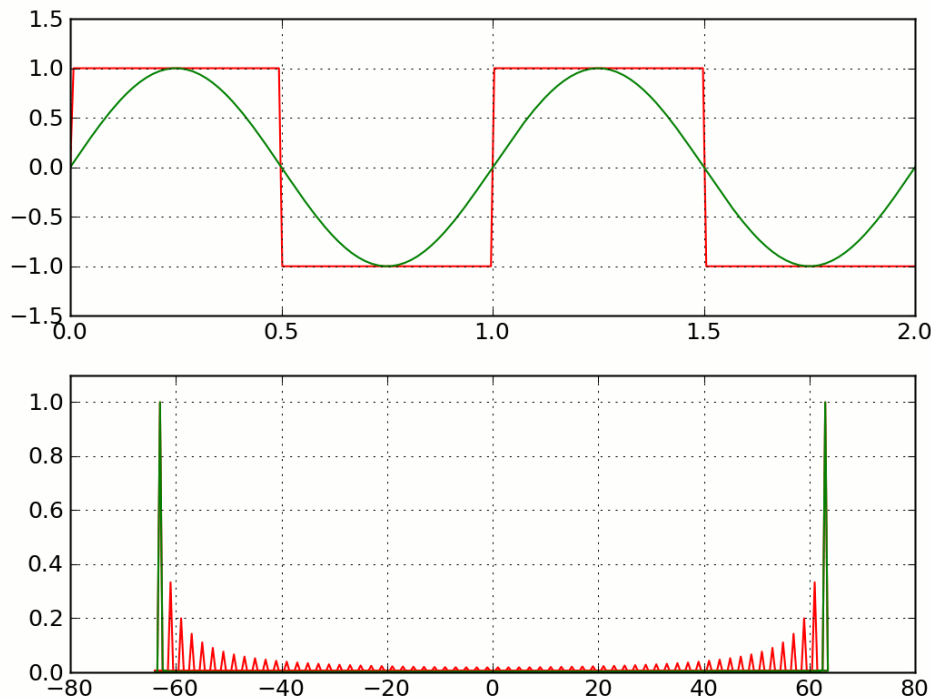
- Gráfico do resultado de uma análise harmônica
 - “Espectro”



- Frequência do Harmônico: eixo horizontal
- Amplitude do Harmônico: eixo vertical
- Fase do Harmônico: não mostrada

Série de Fourier

- Onda quadrada descrita como soma de senoides:



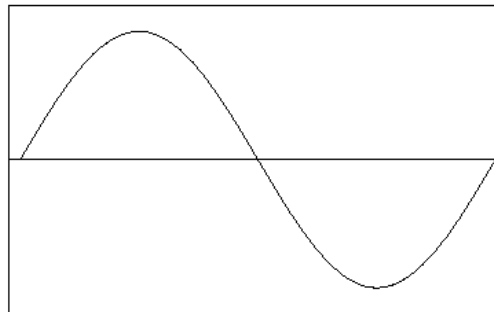
$$\sin(x) + \frac{1}{3} \sin(3x) + \frac{1}{5} \sin(5x) + \dots$$

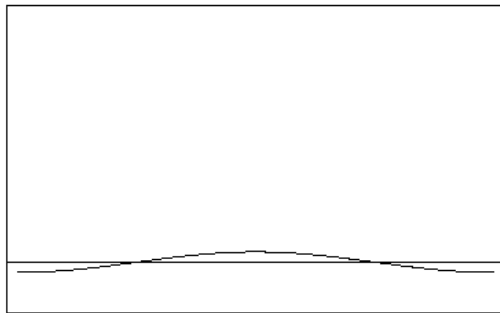
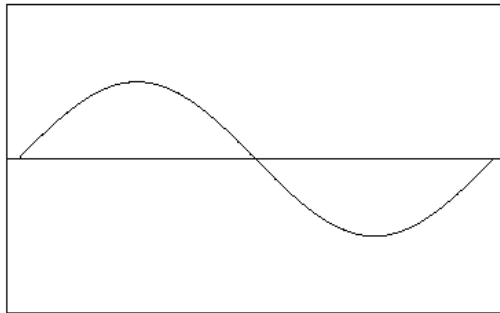
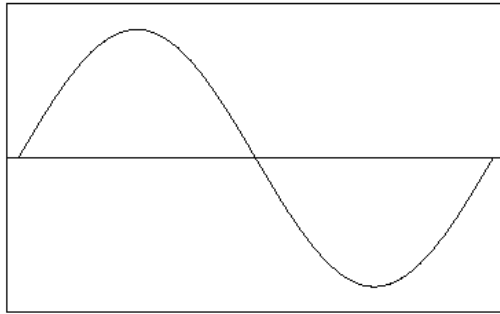
$$f(t) = c_0 + \sum a_n \cos(n\omega t) + \sum b_n \sin(n\omega t)$$

Análise Harmônica

- Podemos listar os resultados da análise
 - Para construir uma onda quadrada, pegue
 - 1.00 do Harmônico 1
 - 0.33 do Harmônico 3
 - 0.20 do Harmônico 5
 - etc...

Ou pode-se graficar o resultado:



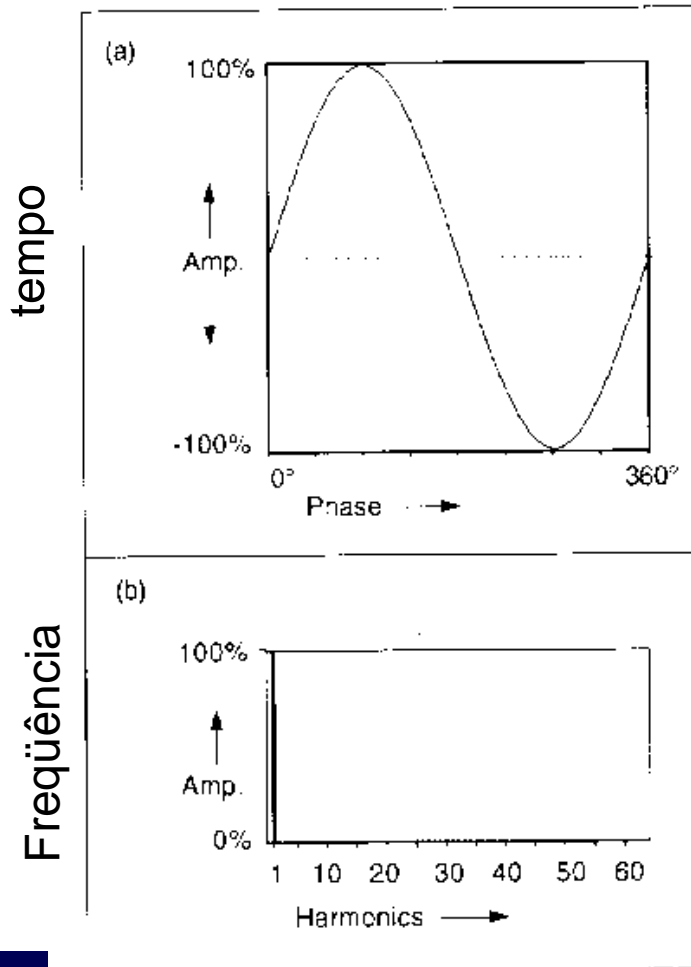


Análise Harmônica

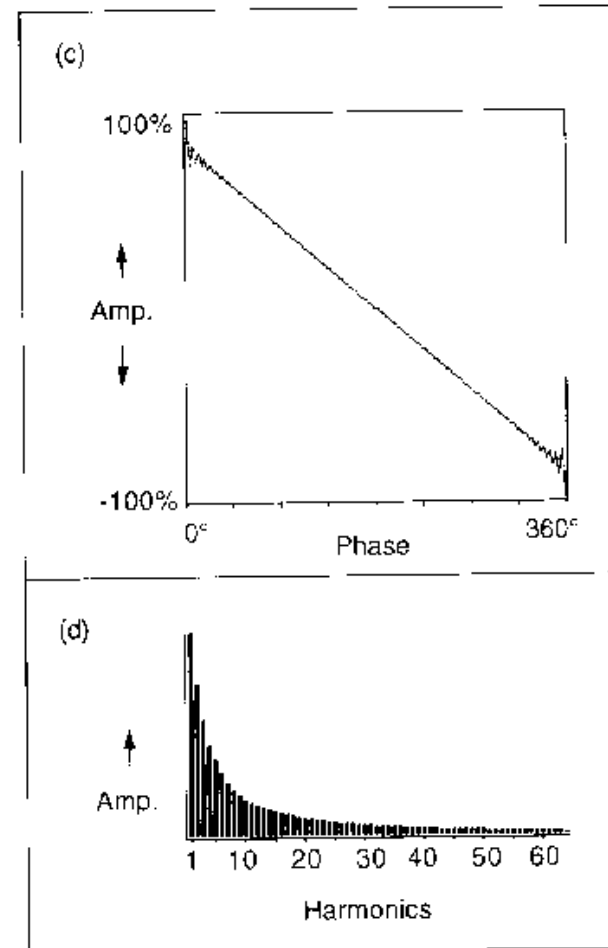
- Frequência de repetição
 - “Frequência Fundamental”
- Ondas com frequência múltiplo inteiro da frequência fundamental “Harmônicos”
- Para medir uma forma de onda complexa:
 - listar a amplitude e a fase de cada harmônico

Representação temporal e espectral

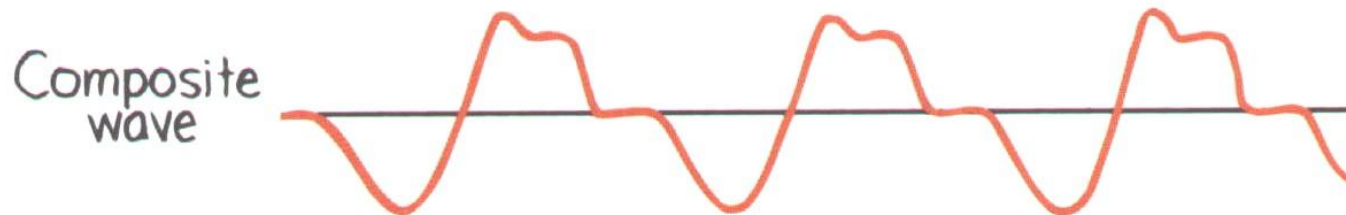
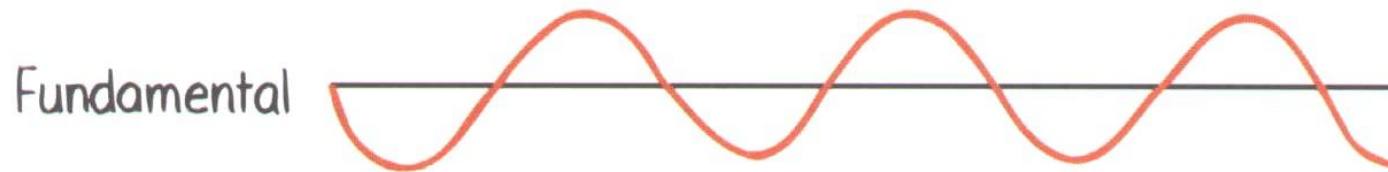
Onda senoidal



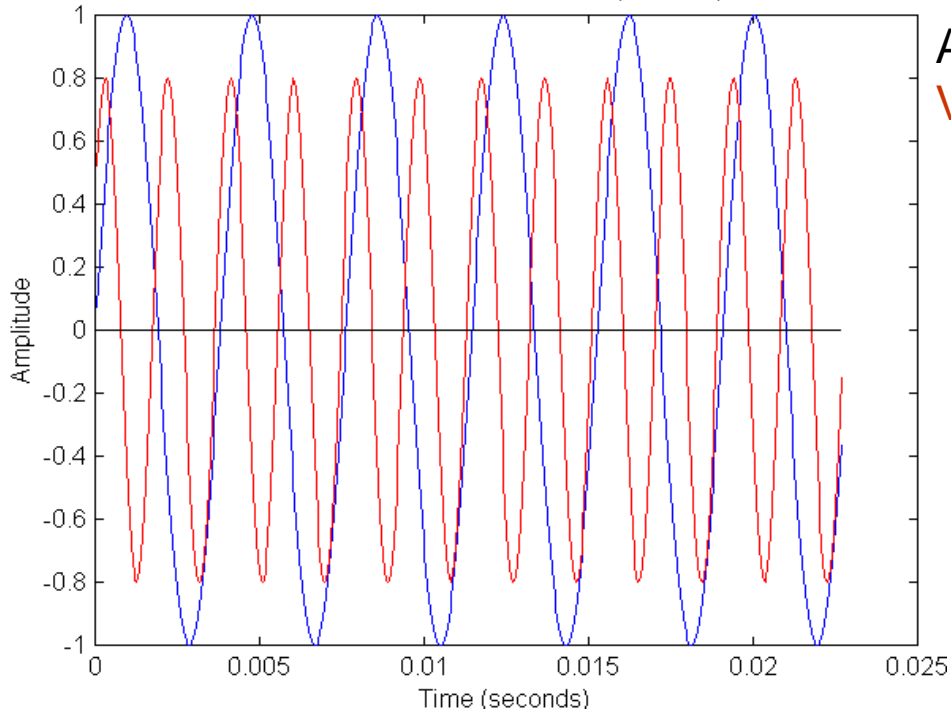
Onda dente de serra



Um onda composta



Plot of the individual harmonics: 1st-blue, 2nd-red, 3rd-black



Azul 262 Hz



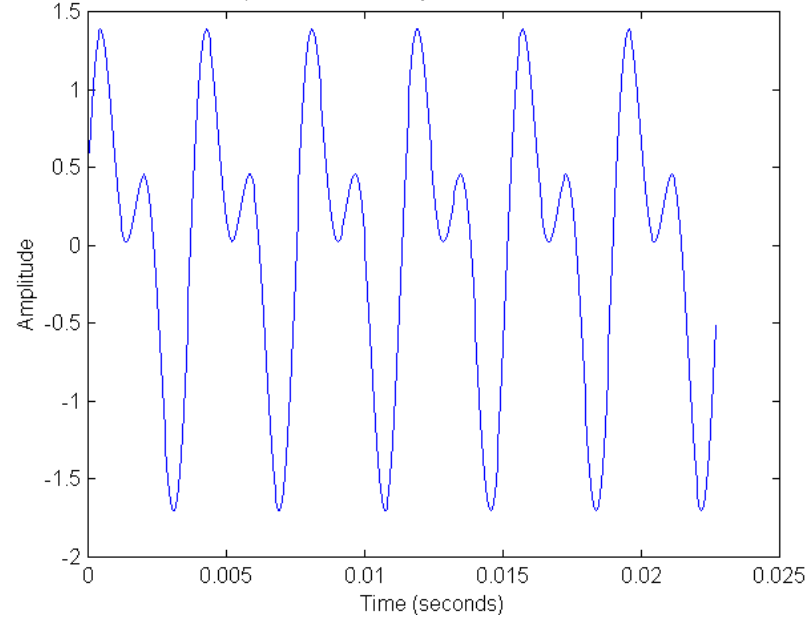
Vermelho 524 Hz



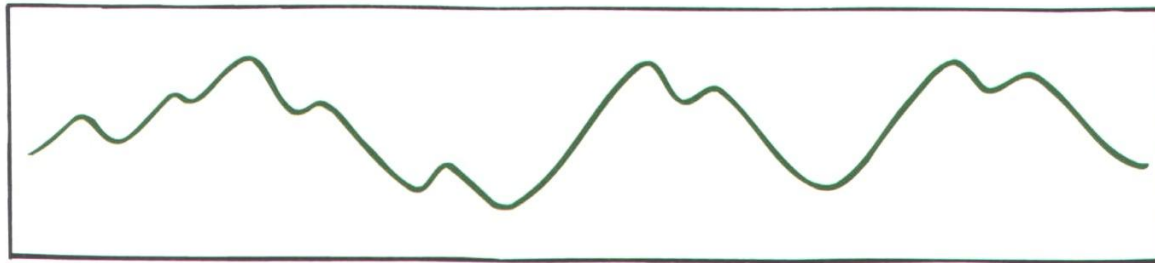
Som complexo



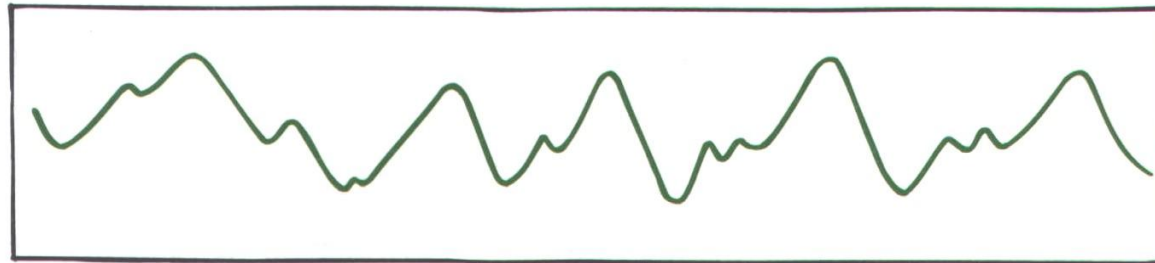
Plot of the complex tone created by the sum of the individual harmonics



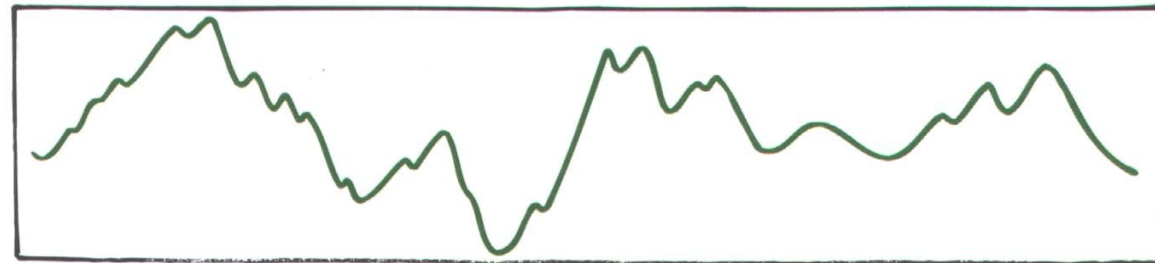
Timbre



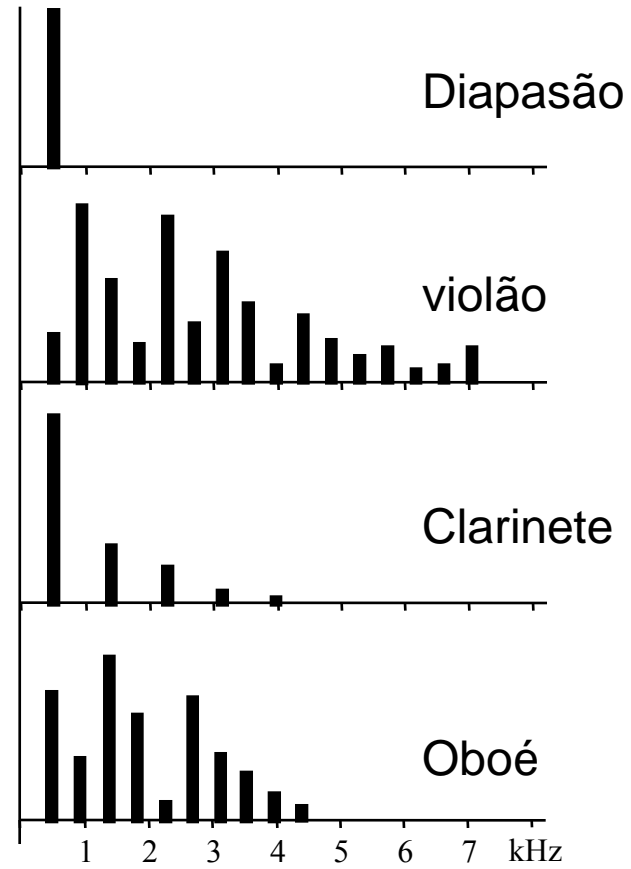
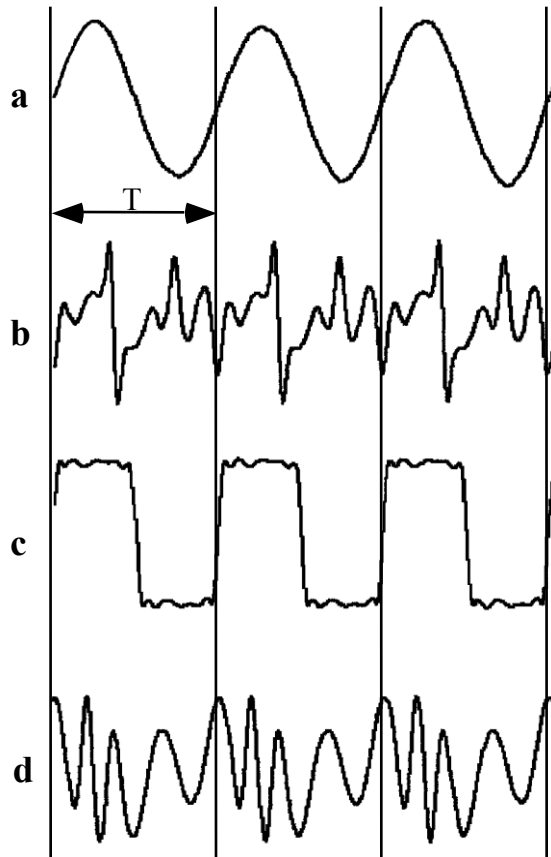
a Oboe



b Clarinet



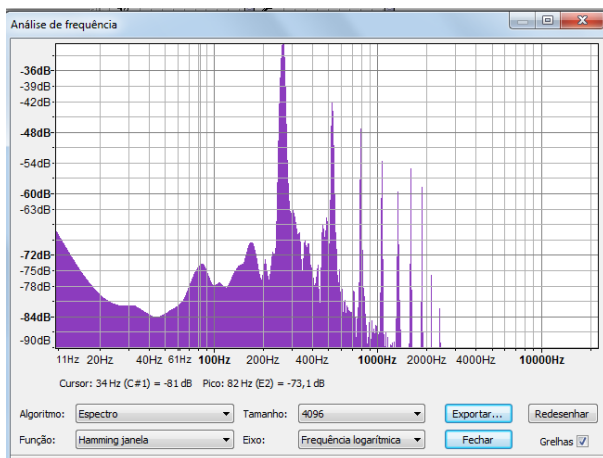
c Oboe and clarinet together



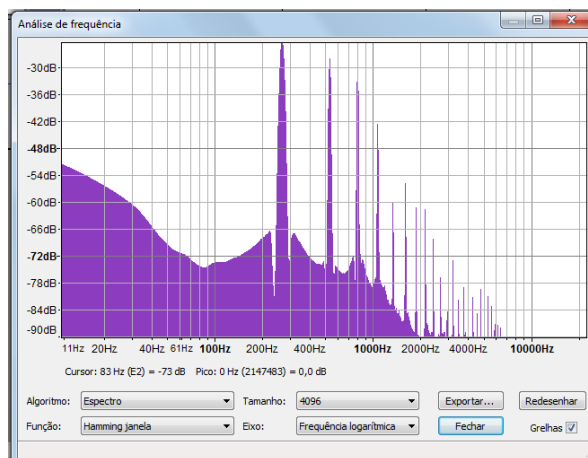
Espectro de frequência do dó C#4 de alguns instrumentos

- Dados retirados de <http://theremin.music.uiowa.ed>
 - C#4 – 1º harmônico: uma oitava acima da fundamental 262 Hz

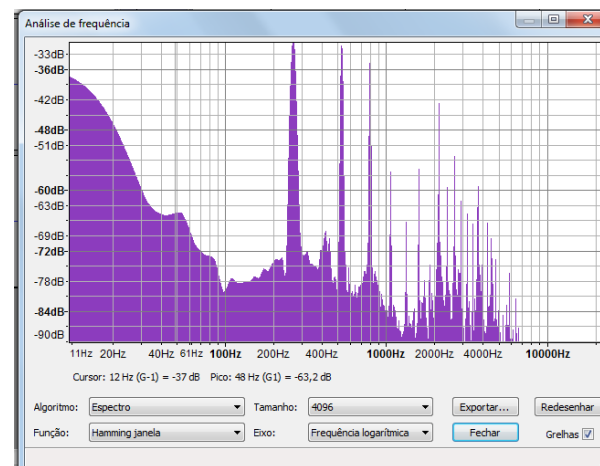
Piano



Saxofone

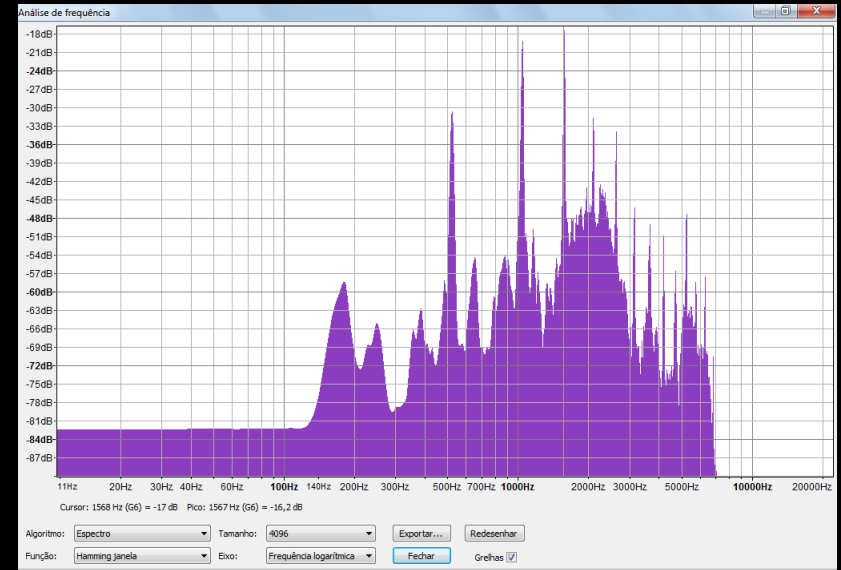
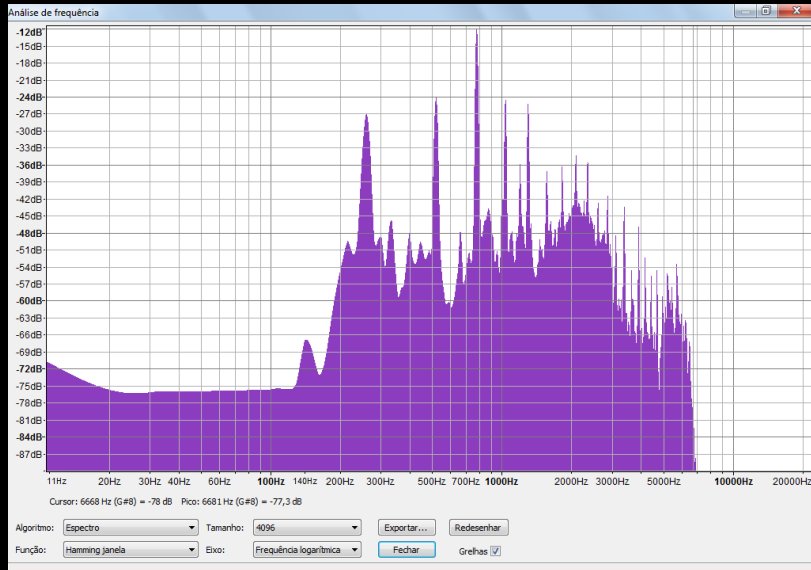


Violino



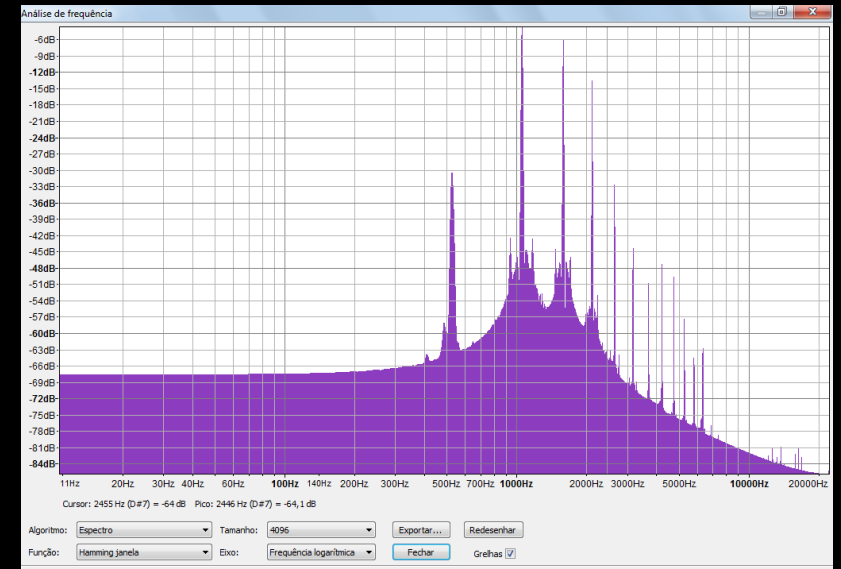
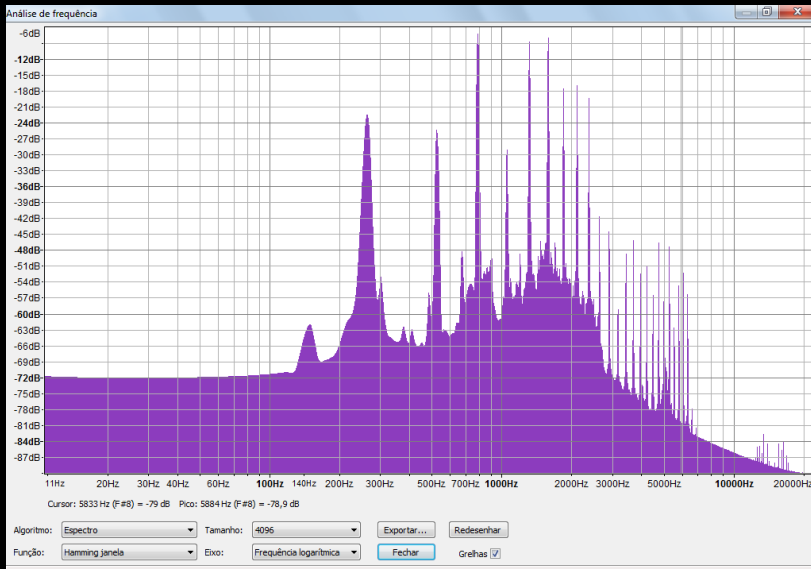
Gaita – uma oitava acima - 262 Hz

Gaita – duas oitavas acima - 524 Hz



Escaleta – uma oitava acima - 262 Hz

Escaleta – duas oitavas acima - 524 Hz

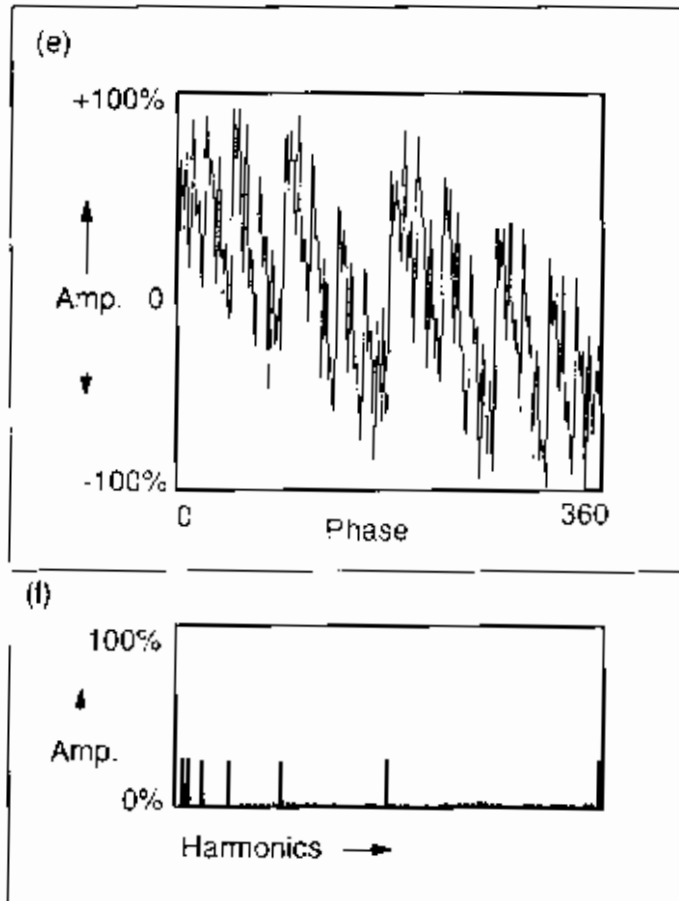


Ruído

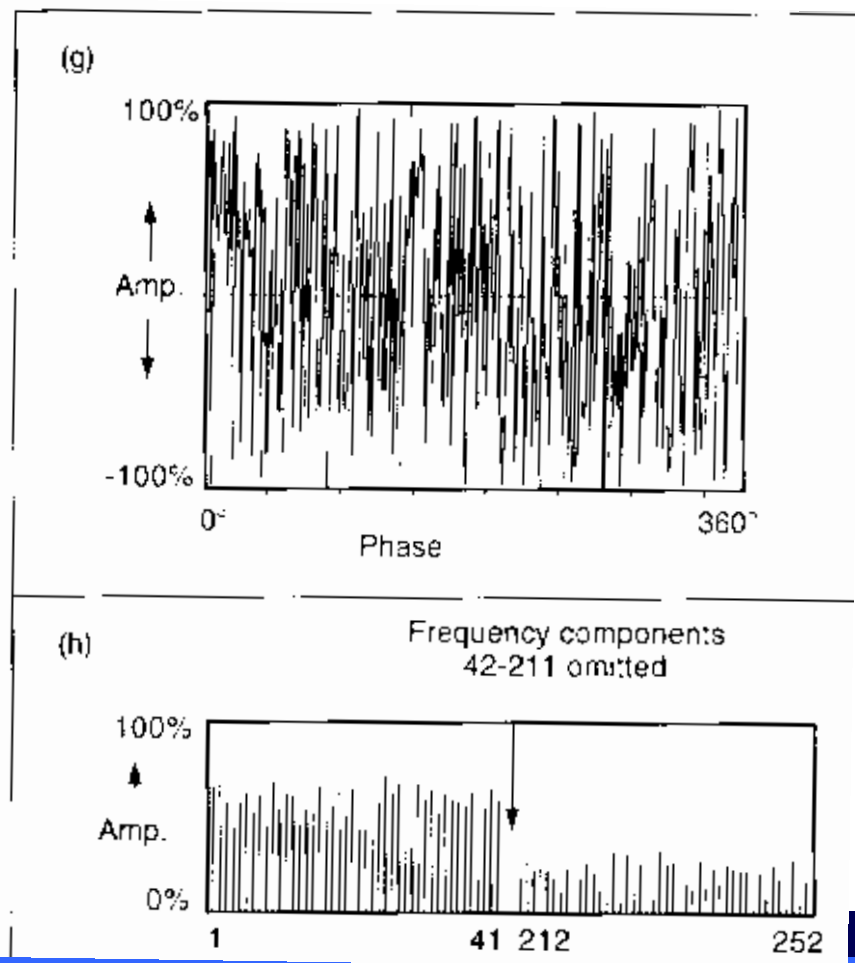
- Ruído
 - Sinal com espectro de frequência denso e pouco harmônico.
- *Faixas de frequência*
 - Ruído rosa: predominante na faixa musical (baixas 500Hz a 4kHz)
 - Ruído Branco: igual em todas faixas (100Hz a 10KHz)

Ruído: tempo e frequência

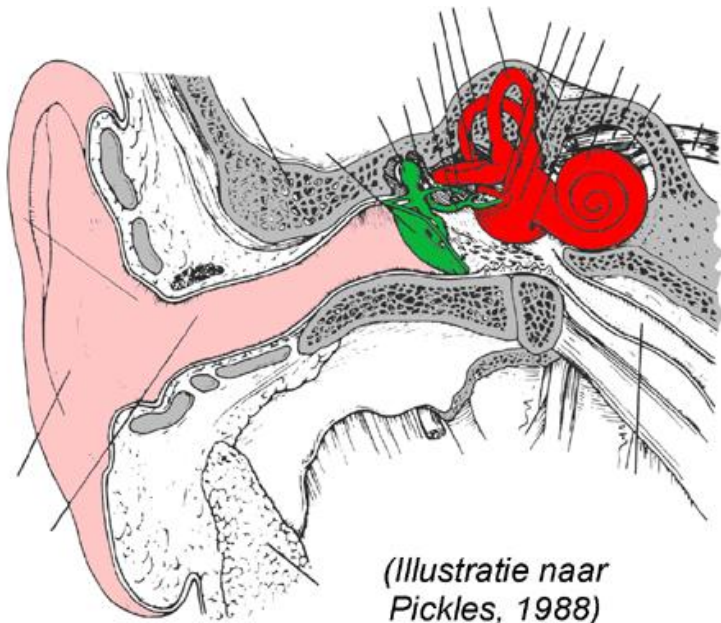
Sinal musical



Ruído



O sistema auditivo e física



Orelha externa
Ondas estacionárias e ressonância



“atuador”



Análise de Fourier

