

Módulo 08

Física da Fala e da Audição

Percepção e Medidas de Som III

Pitch e Timbre

Prof. Edmilson Manganote

Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW)

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

mangano@ifi.unicamp.br

Pitch

Característica de um som que o determina como alto ou baixo em uma determinada escala.

É determinado, principalmente, pela **frequência**. Embora, possa se alterar com o nível sonoro.

Também depende do espectro (timbre) e da duração.

ANSI (1960) → "...atributo da sensação auditiva, no qual um som pode ser ordenado em uma escala..." → Escala Musical (?)

Pitch é uma sensação subjetiva.

Escalas de Pitch

A unidade básica em escalas musicais é a oitava (Pitágoras – séc.VI A.C.).
Cada oitava é dividida em 12 semitons.

Escalas Psicofísicas

Mel

Ao dobrar o número de mels, dobramos a frequência.
0 a 2400 mels \rightarrow 0 a 16 kHz

Bark

Uma banda crítica...
1 bark \rightarrow 100 mels

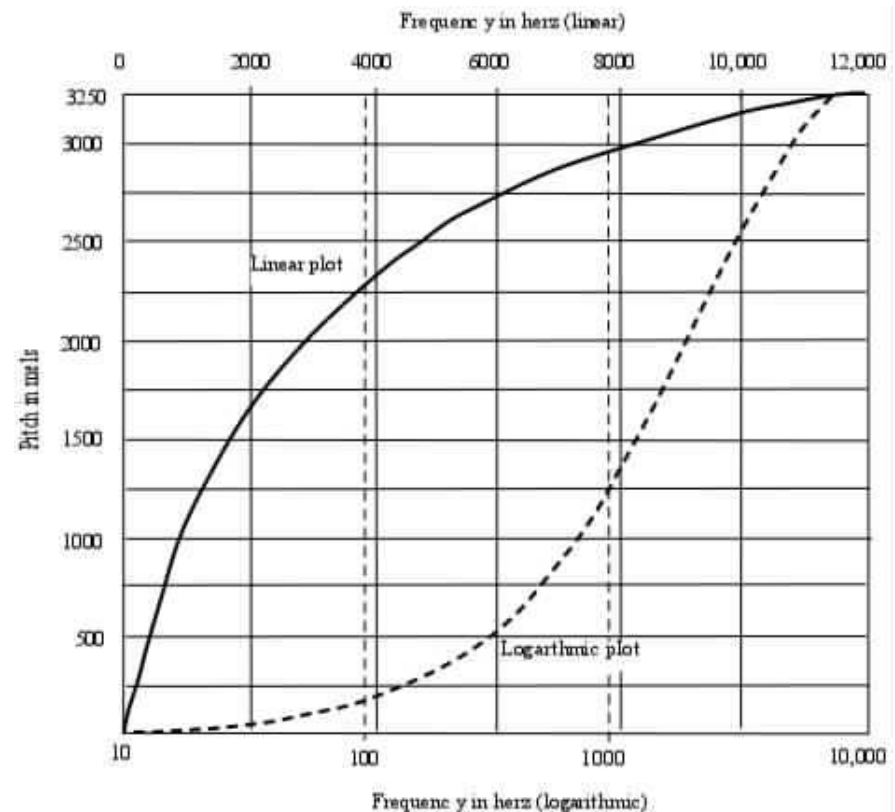


Figure 13: Pitch versus Frequency

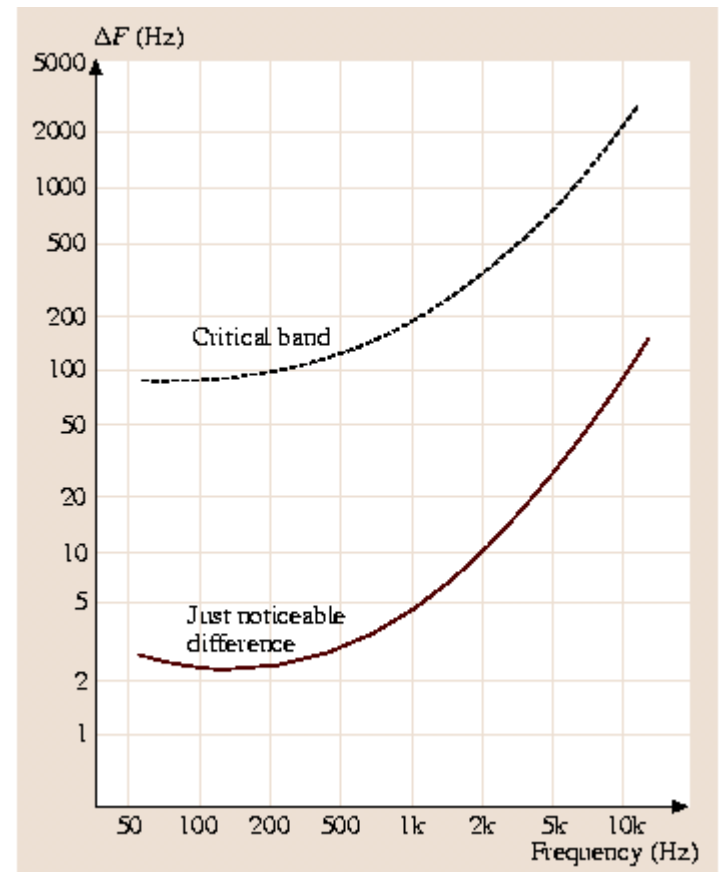
Discriminação de Pitch

jnd → "just noticeable difference" → capacidade de distinguir entre dois estímulos aproximadamente iguais. Dois estímulos são considerados "iguais" quando diferem de menos de um **jnd**.

Depende:

- Frequência
- Nível sonoro
- Duração do tom
- Rapidez na mudança da frequência
- De quem está ouvindo
- Método de medida

Provavelmente, o mesmo mecanismo é responsável pelas bandas críticas e pela discriminação de pitch.



Pitch de Tons Puros

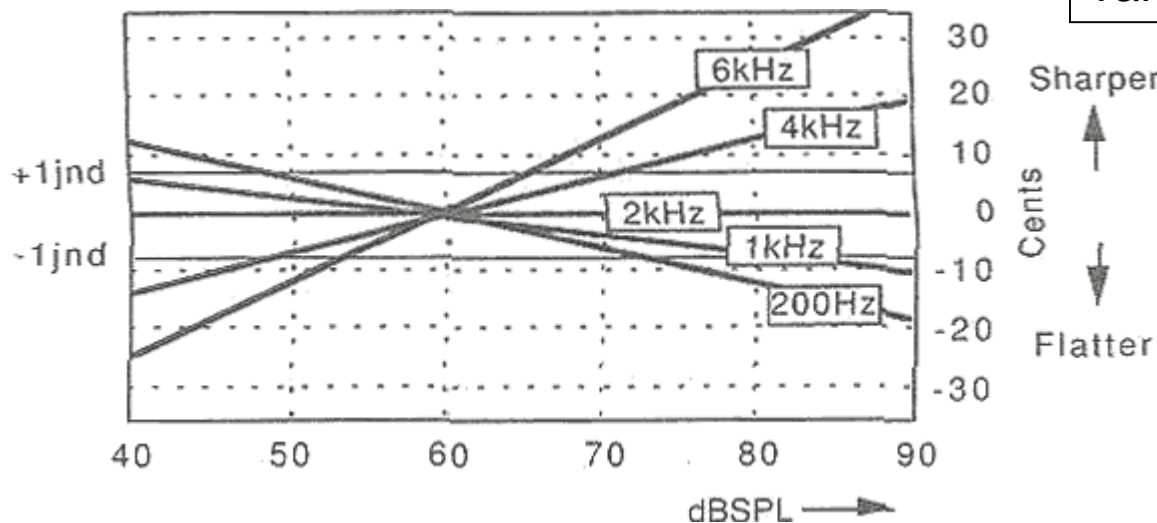
Pitch e Nível Sonoro

Primeiros estudos:

- Regra de Stevens (1935): variações de até 12%, tons de baixa frequência caem com o aumento da intensidade e os de alta frequência aumentam (em pitch).

Atualmente:

- Varia com o observador. Individualmente, podemos usar a Regra de Stevens
- Na média é um efeito pequeno...



Para tons complexos a variação é desprezível !

100 cents - 1 semitom

Pitch de Tons Puros

Pitch e Duração

Por quanto tempo devemos ouvir um tom para identificarmos um pitch?

Click - Tons muito breves...

Click → Tom - depende do nível sonoro

Princípio da Incerteza Acústica → $\Delta f \Delta t = K$

K, em condições ideais, poderia ser menor do que 0,1.

Pitch e Envelope

Rossing e Houtsma (1986) → o deslocamento do pitch depende da taxa de subida/descida do envelope do tom.

Pitch de Tons Puros

Efeito da interferência de sons...

- 1) Se o tom que interfere tem uma frequência menor do que o tom em teste, teremos um deslocamento para cima.
- 2) Se o tom que interfere tem uma frequência maior do que o tom em teste, teremos um deslocamento para baixo.
- 3) Se temos um ruído interferindo, ocorrerá um deslocamento para cima se a frequência do ruído for menor do que a do tom em teste (o contrário ocorrerá se sua frequência for maior).
- 4) O deslocamento se intensifica com a diferença em amplitude (para mais) do som que interfere em relação ao tom em teste.

Pitch de Tons Complexos

Pitch Virtual

O menor fator comum entre as frequências...

Exemplo: Um tom com parciais em 600, 800, 1000 e 1200 Hz → O pitch identificado será de 200 Hz (o fundamental "perdido"...)

Questões:

Quais harmônicas são mais importantes?

E se as parciais não são harmônicas?

Teorias de Pitch

Teoria do Lugar (Place Theory) → as vibrações das diferentes frequências excitam áreas diferentes na membrana basilar.

Teoria da Periodicidade → O ouvido realiza uma análise temporal da onda sonora (Autocorrelação).

Outras Teorias:

"Optimum Processor Theory" (Goldstein, 1973).

"Virtual Pitch Theory" (Terhardt, 1974).

Pattern Transformation Theory" (Wighthman, 1973).

Nenhuma teoria conseguiu explicar totalmente os resultados experimentais relacionados ao deslocamento do pitch, em sons complexos, frente a mudanças na intensidade, amplitude do envelope, presença de ruído, etc.

Pitch Absoluto

Capacidade de reconhecer e definir o pitch de um tom sem o uso de um tom de referência → Ouvido Absoluto.

→ 0,01% da população

Estudos tem sido feitos nos últimos 90 anos:

Teoria da Hereditariedade - a capacidade é uma herança.

Teoria da Aprendizagem - pode ser adquirida pelo treino.

Teoria da Desaprendizagem - perdemos esta capacidade, que existe na infância.

Imprinting Theory - Rápido e irreversível aprendizagem que tem lugar em uma fase específica do desenvolvimento

Padrões de Pitch



Lá 440 - A440 - *ISO 16:1975 Acoustics -- Standard tuning frequency (Standard musical pitch)*

Timbre ou Qualidade do Tom

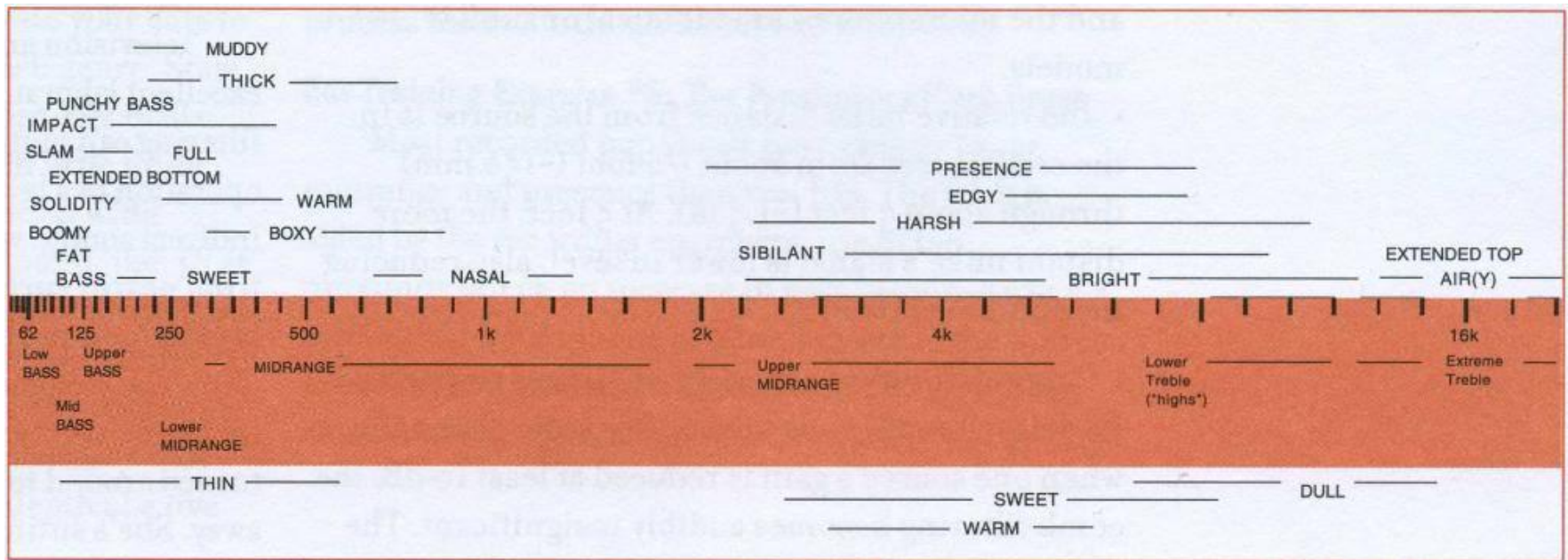
→ "A Cor do Tom"

ANSI (1960) - "...É o atributo da sensação auditiva em termos do qual um ouvinte pode avaliar dois sons similares, em loudness e pitch, como diferentes..."

Depende: do espectro do estímulo, da forma de onda, da pressão sonora, das características temporais do estímulo e da localização em frequência do espectro.

Timbre ou Qualidade do Tom

Helmholtz (1877) → os sons da maior parte dos instrumentos musicais (e também das cordas vocais) consistem de uma série de harmônicas que determinam o timbre.



Uma onda complexa...

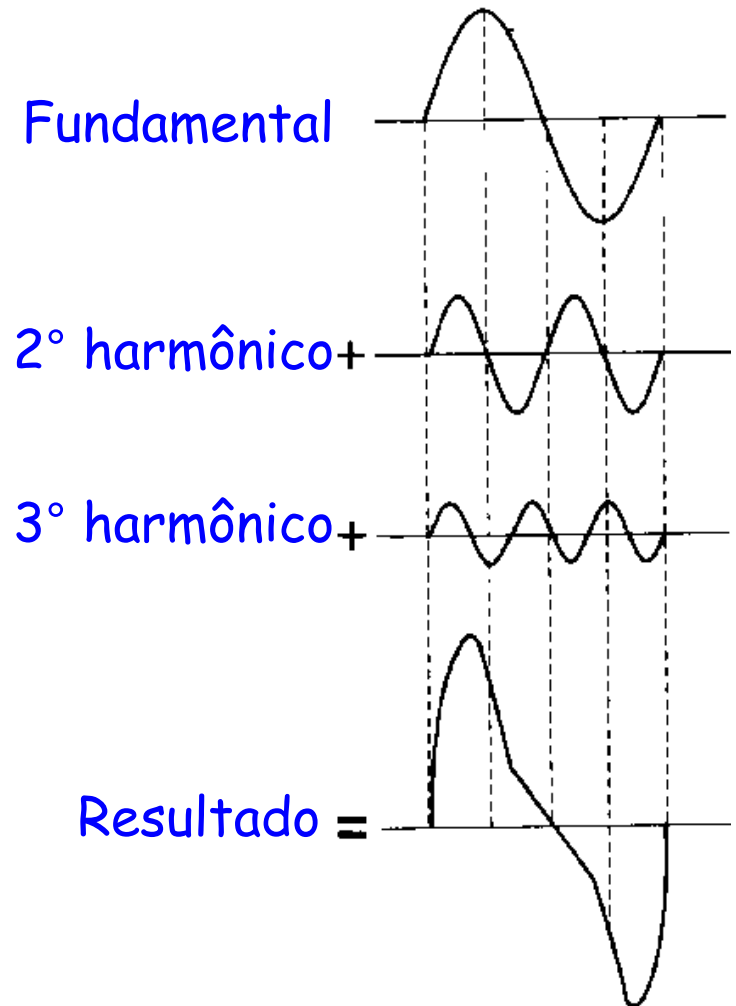
O conteúdo harmônico:

- 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

EXEMPLO:



Conteúdo Harmônico

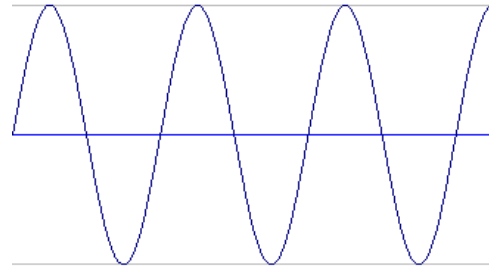
Simple (senoidal): Não existe na natureza!

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

A = amplitude

ω = frequência angular

θ = fase inicial



Complexa (composta de senoidais): **Série 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**

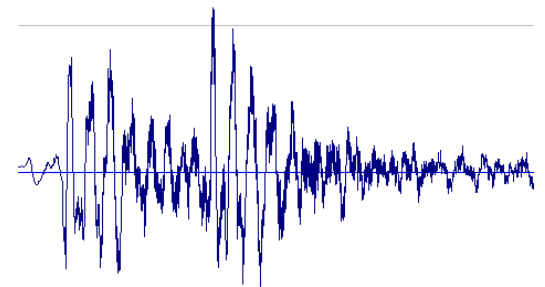
as outras são chamadas de **parciais** ou

harmônicos = parcial múltiplo de f_0

1° sobretom = 2° harmônico ou parcial

2° sobretom = 3° harmônico ou parcial

E assim sucessivamente...

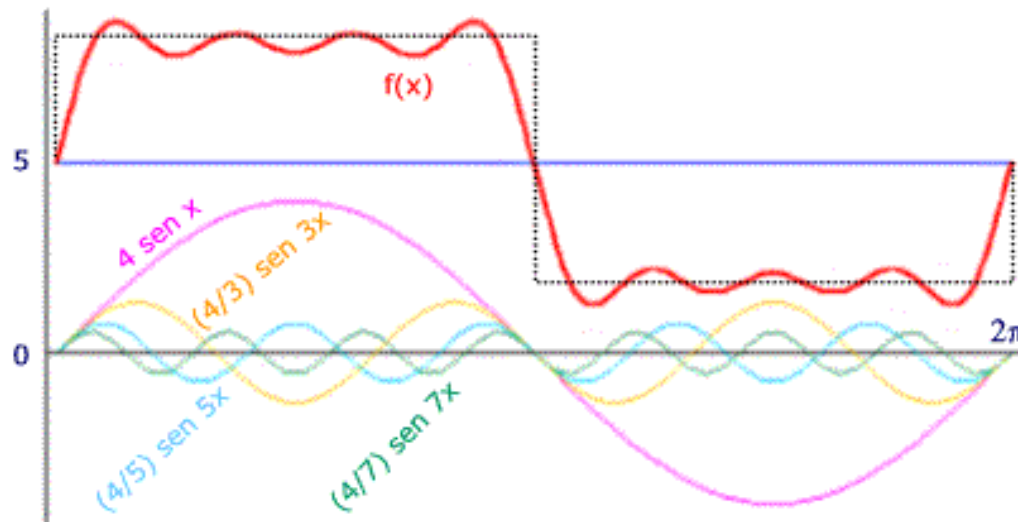


Análise de Fourier

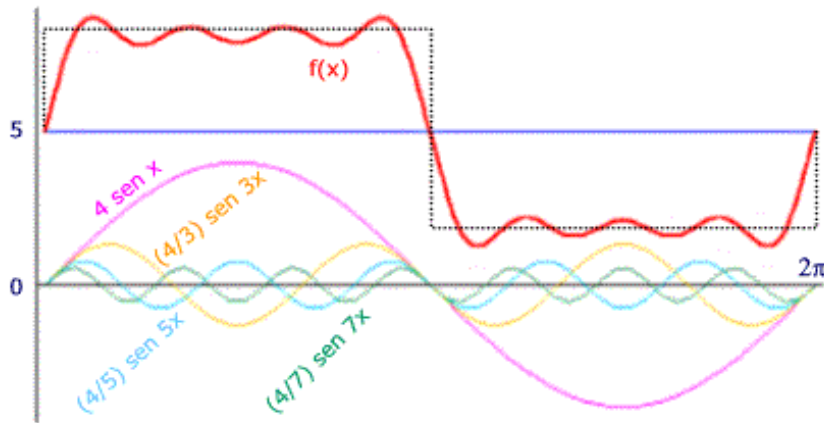
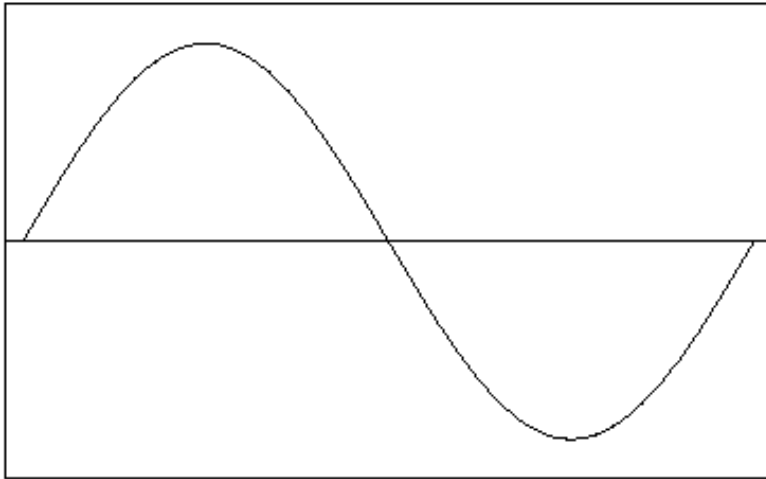
Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)

Fourier mostrou que:

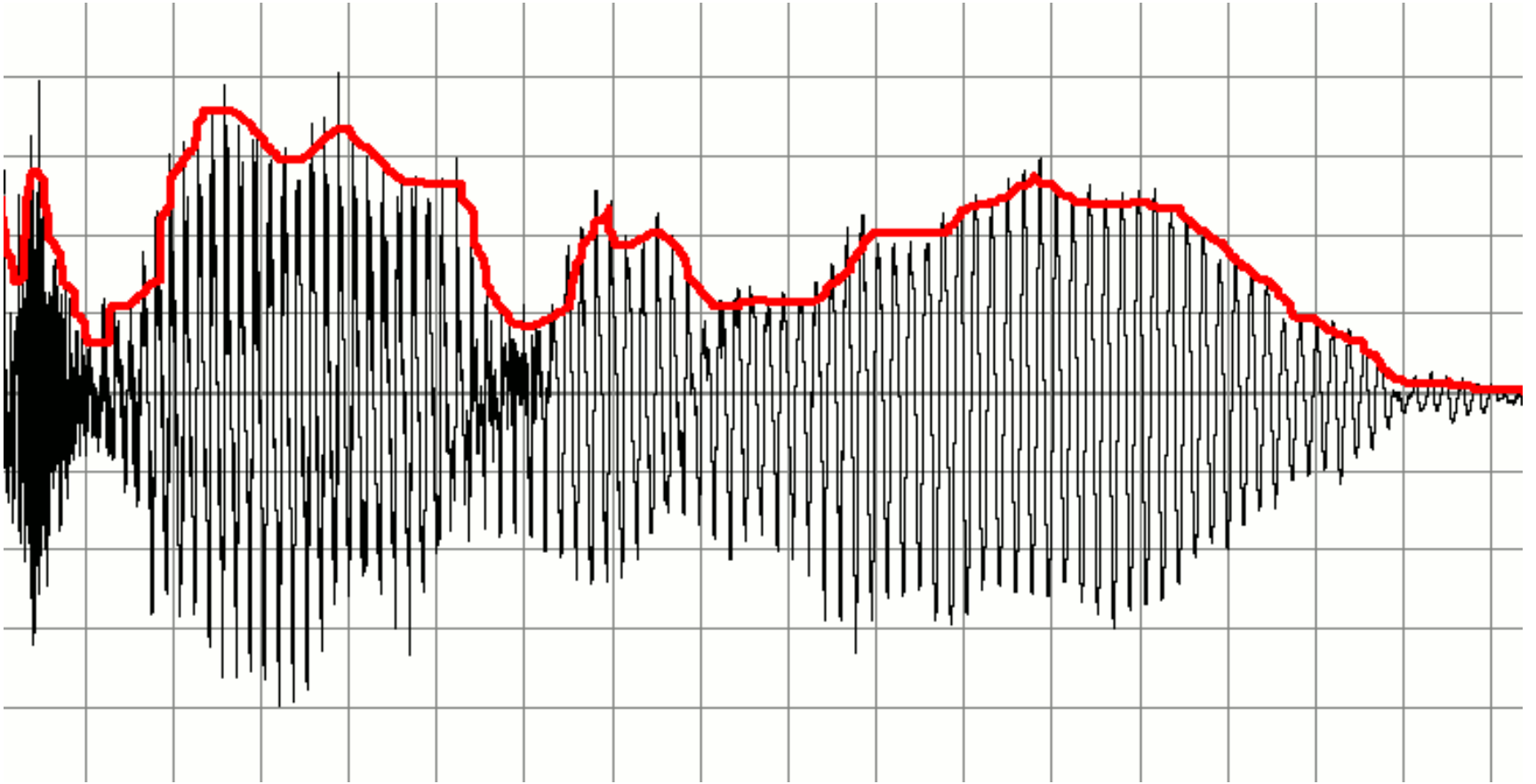
- (a) Que é possível reduzir uma onda complexa, por mais complicada que seja, em uma soma de ondas senoidais (superposição de vibrações harmônicas puras)
- (b) As únicas ondas senoidais necessárias são ondas com frequências que são múltiplos inteiros da frequência fundamental (Mas nem todas frequências precisam estar presentes!)



Análise de Fourier

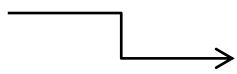


Envelope e Duração



Envelope e Duração

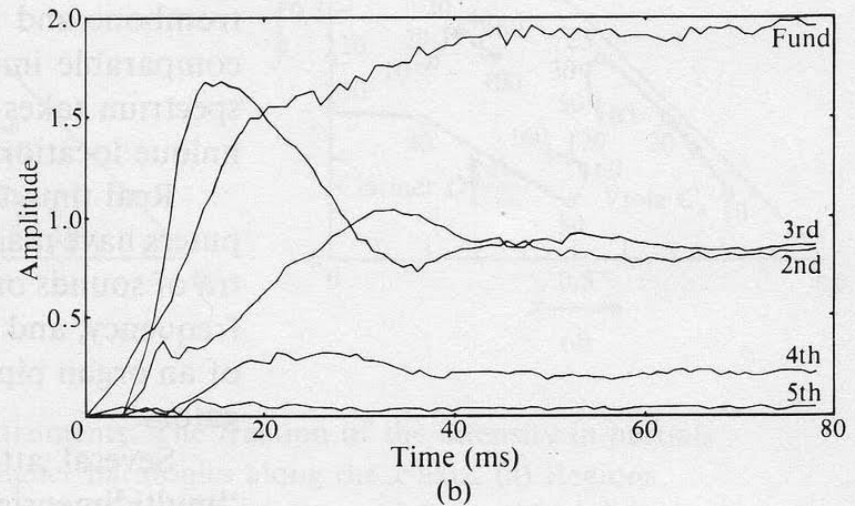
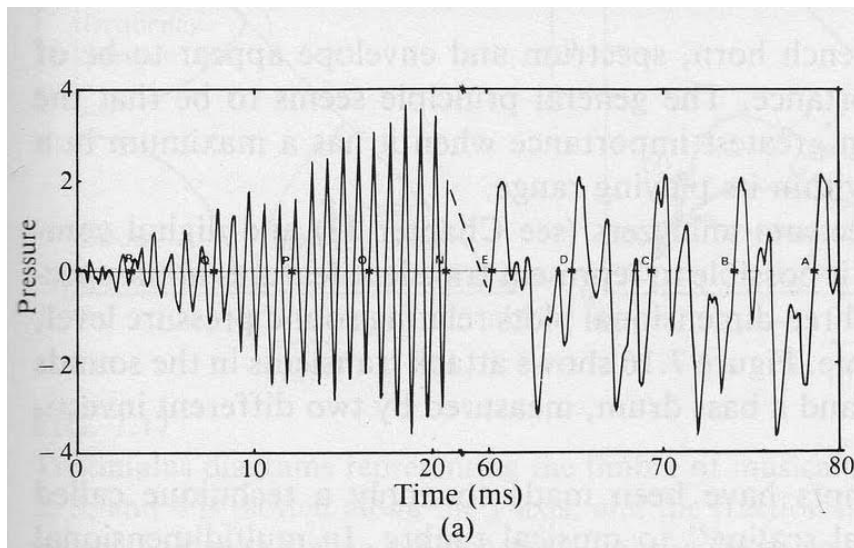
Timbre e Efeitos Dinâmicos



Transientes e outros efeitos dinâmicos desempenham um papel importante, tanto na música como na fala.

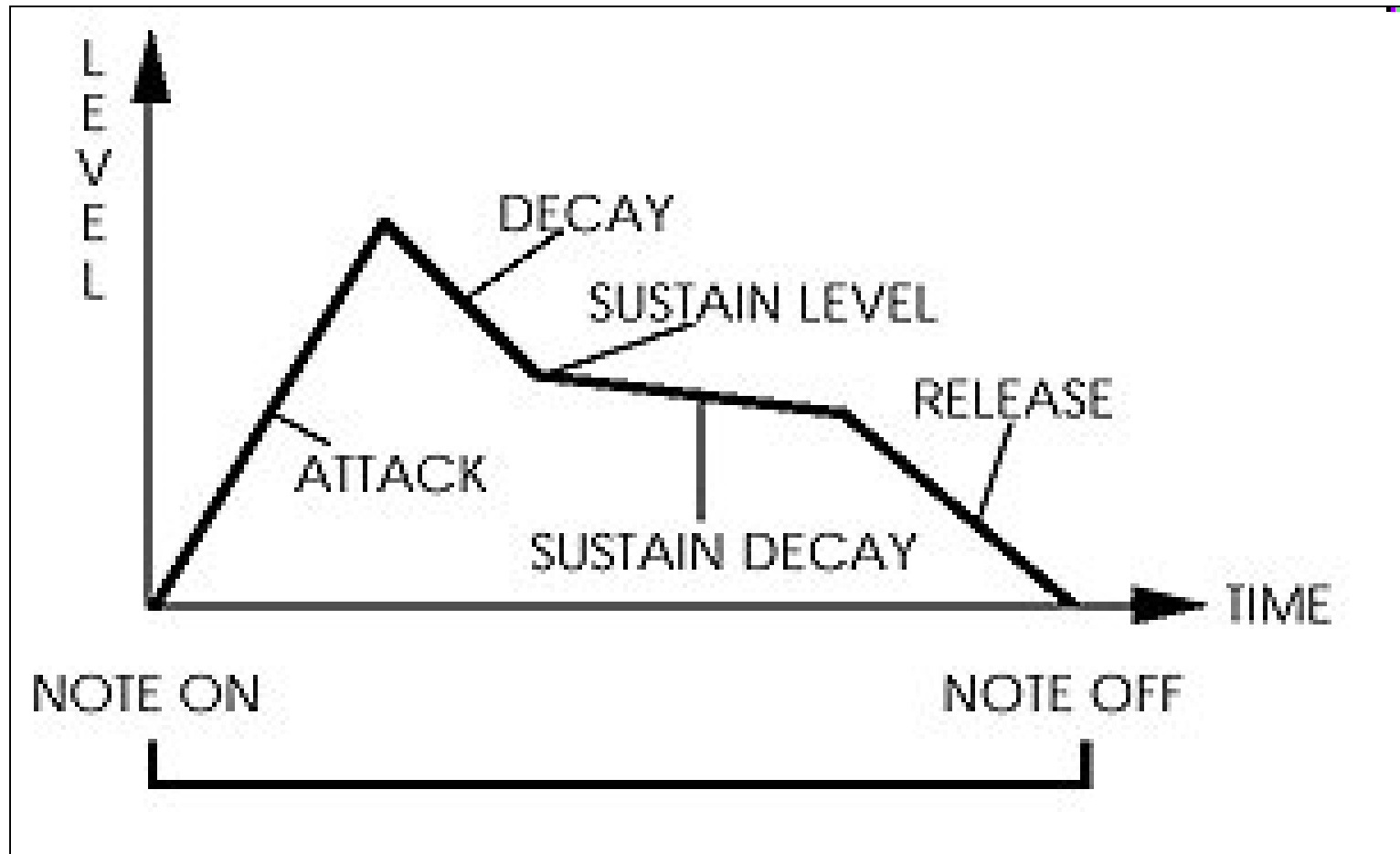
Forma de onda de um transiente de ataque

Amplitudes das 5 primeiras harmônicas de um transiente de ataque

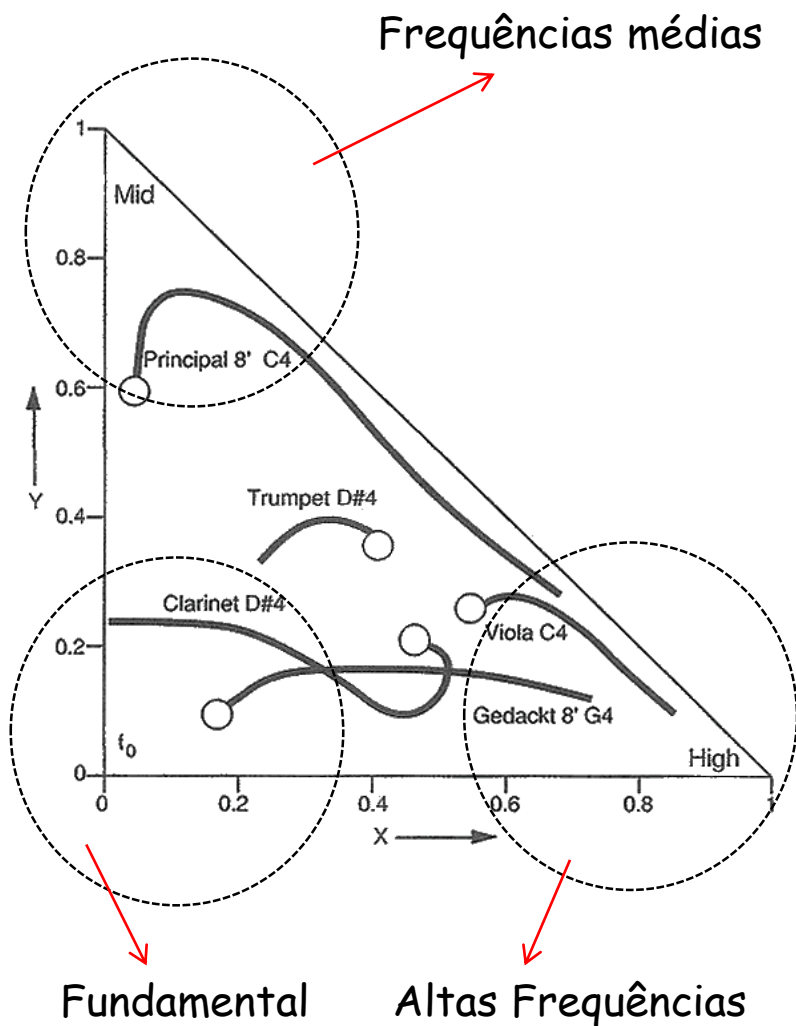


Keeler, J.S. (1972). "Piecewise-Periodic Analysis of Almost-Periodic Sounds and Musical Transients". *IEEE Trans. Audio and Electroacoustics* **AU-20**:338.

Envelope e Duração



Diagramas Tristimulus



Pollard e Jansson (1982)

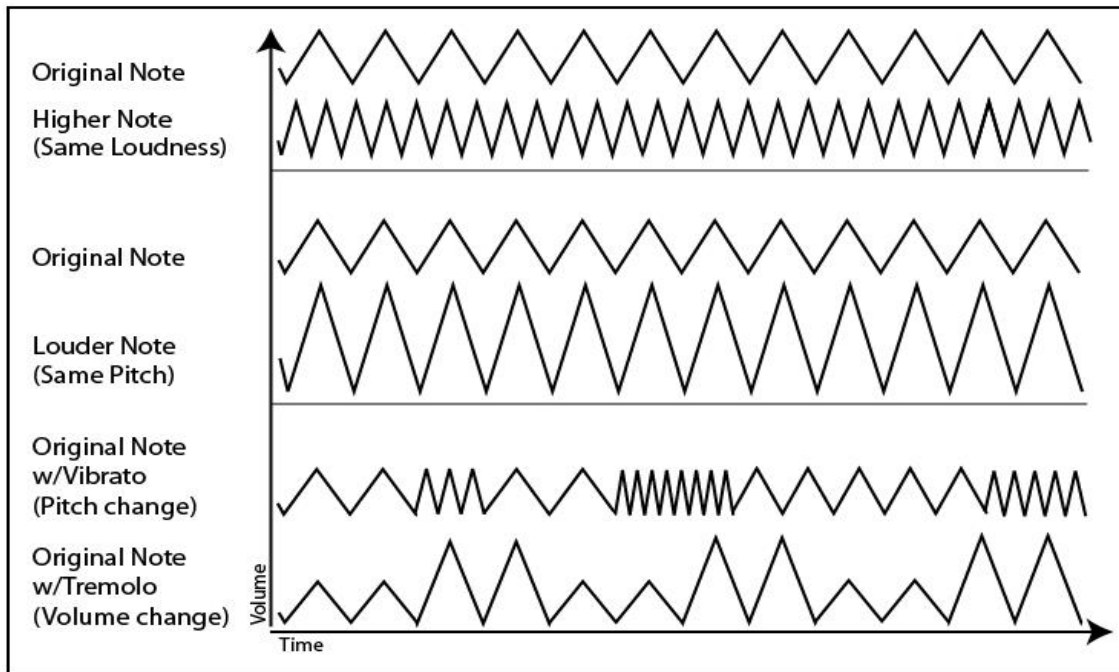
O conceito de tristimulus se origina no mundo das cores, descrevendo a forma como as três cores primárias podem ser misturadas para criar uma determinada cor.

Por analogia, no tristimulus musical mede-se a mistura de harmônicas em um determinado som, agrupadas em três seções.

A primeira região mede o peso relativo da primeira harmônica, a segunda mede o peso relativo das segunda, terceira, e quarta harmônicas tomadas em conjunto, e a terceira mede o peso relativo de todas as harmônicas restantes.

Vibrato

A técnica denominada *vibrato* consiste na oscilação de uma corda de um instrumento musical, utilizando-se um dedo, produzindo assim um som diferenciado, "vibrante", como sugere o nome. Esta técnica é também utilizada, de uma forma geral, em outros instrumentos de cordas.



A voz humana tem um vibrato natural. Este vibrato está frequentemente ausente em cantores não treinados. Um vocalista treinado pode deliberadamente alterar ou suprimir o vibrato natural para razões artísticas.

Mistura de Tons Complexos

Ouvimos:

Analiticamente - ouvimos as diferentes parciais separadamente.

Sinteticamente - focamos no som como um todo, não prestando atenção para os sons parciais.

Note-se que, um tom com várias harmônicas, cujas frequências e amplitudes relativas permaneçam constantes, é ouvido praticamente como um tom simples.

As três maneiras em que um som complexo pode ser ouvido → Erickson (1975).

