

Relação entre Escala e Espectro

- **Parte I)** Conceitos básicos de Escala e Espectro
- **Parte II)** Psicoacustica
- **Parte III)** Patch de PD

William Sethares

- Tuning, Timbre, Spectrum, Scale

Afinação - Timbre, Espectro Sonoro - Escala

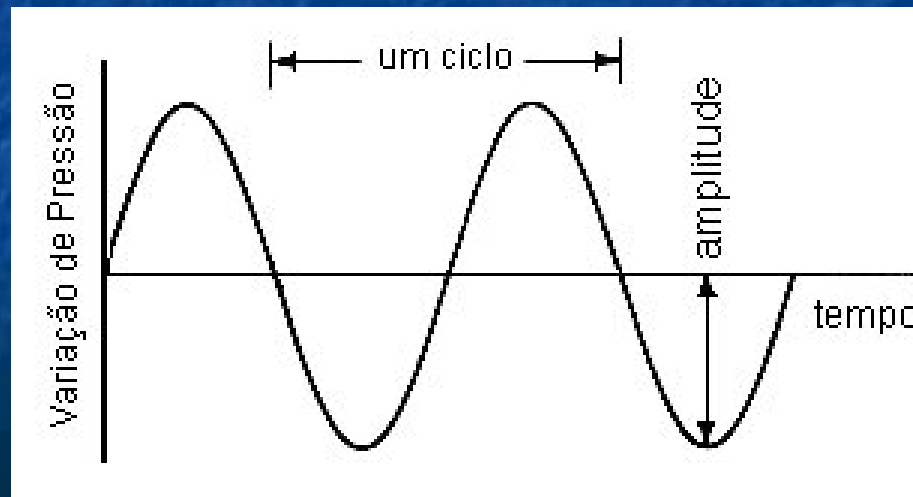
(Afinação / Escala) & (Timbre / Espectro Sonoro)

Parte I) Conceitos Básicos

- 1) Espectro
- 2) Afinação

1) - O Que é Espectro sonoro?

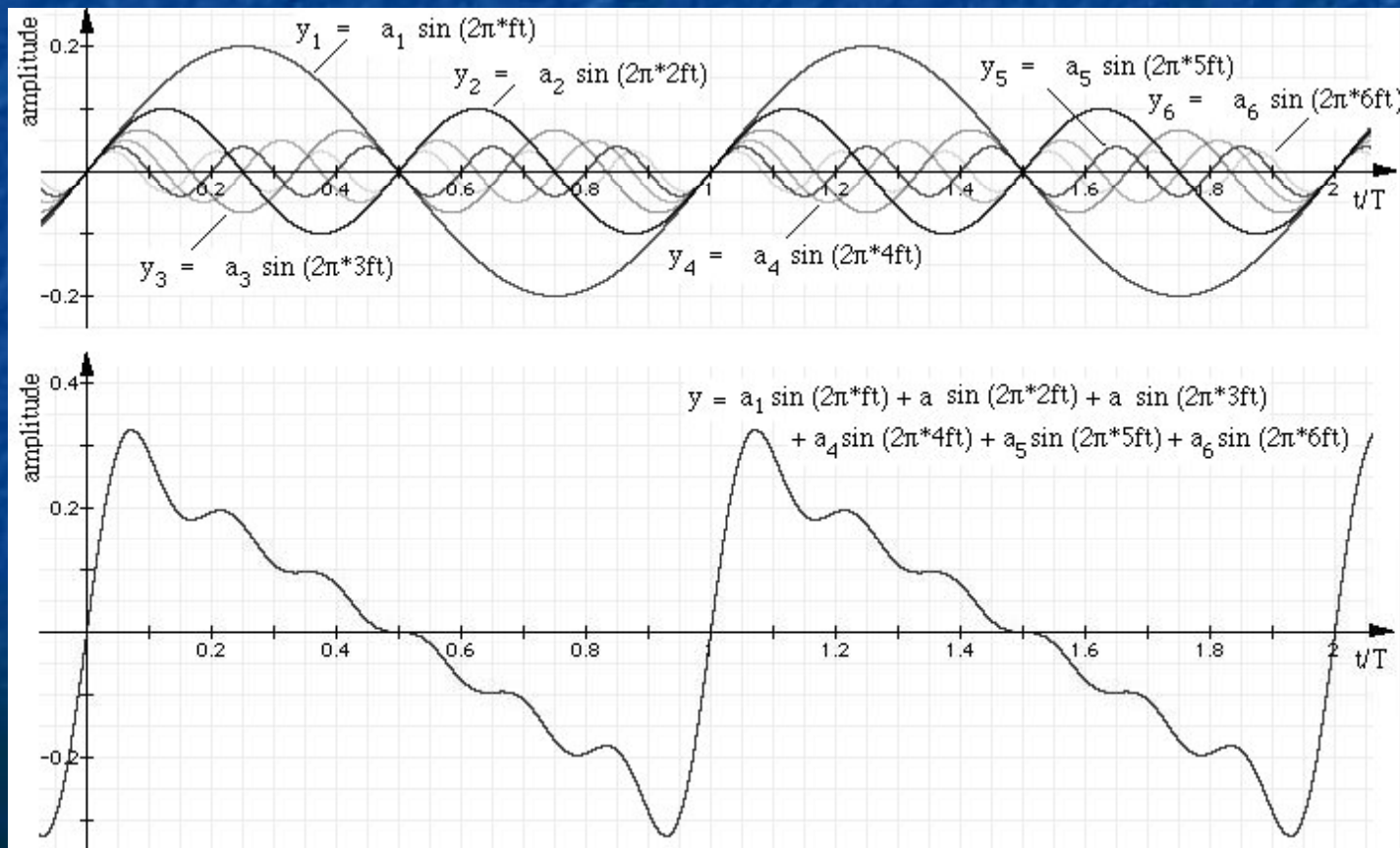
- Um Tom puro (ou Tom Senoidal) possui apenas um componente espectral (ou parcial).
- Resultado de uma vibração Simples

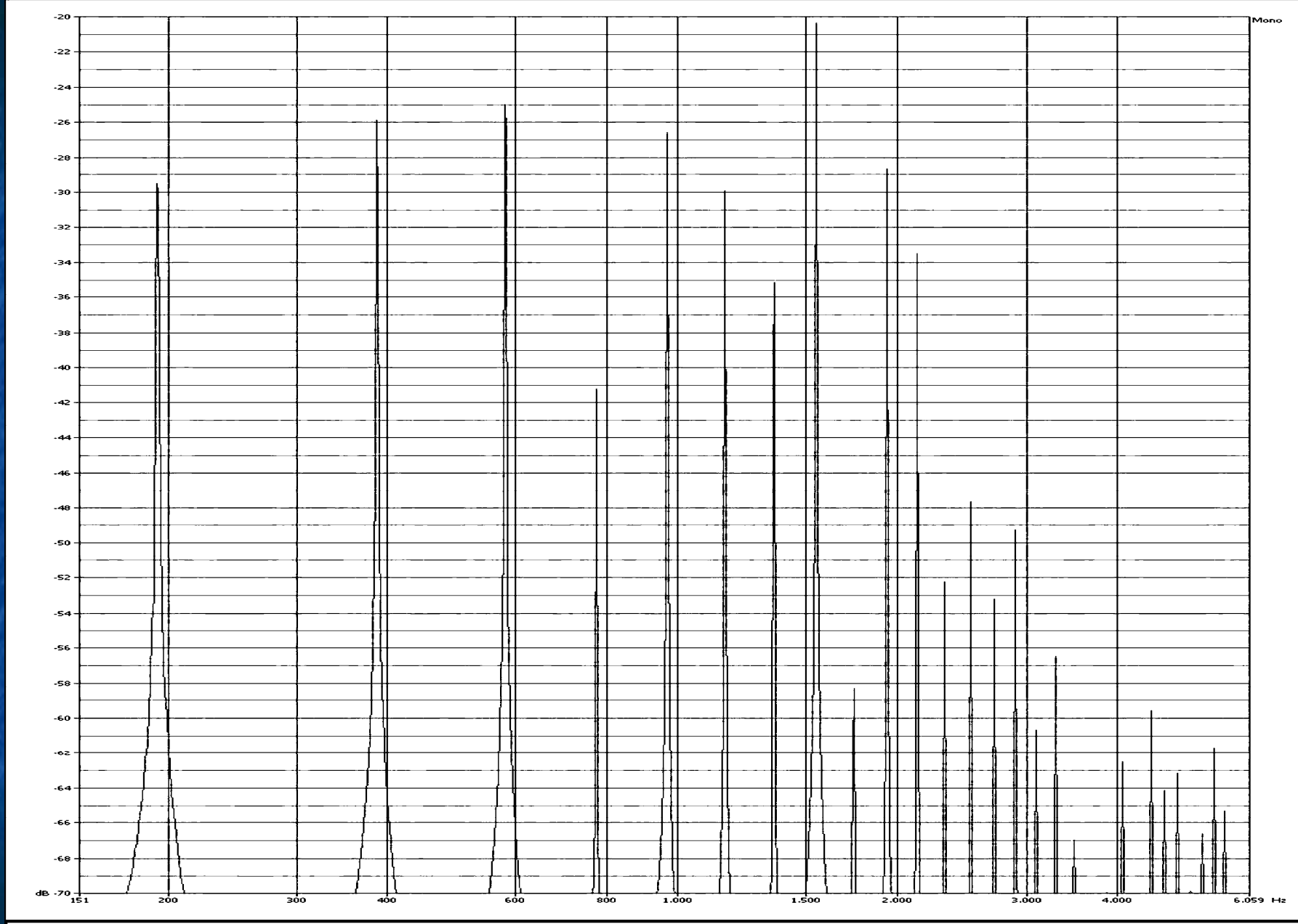


Exemplo no patch

Tom Complexo

Resultado de Uma Vibração Complexa, ou seja, somatória de vibrações simples, Como dos instrumentos musicais, e pode ser descrito por uma somatória de vibrações simples (somatória de senóides).





Prominent Frequency: -20 dB at 1,547 Hz (Note: G7)
FFT Size: 65,536 Slices: 1 Overlap: 75%
Hanning; Log; Mono Samples: 0 to 47,424

Espectro da nota sol de um harmônico obtido no programa Audacity

Um tom complexo pode ser:

- Harmônico: Todos os parciais estão em relação harmônica (de números inteiros)
- Inarmônico: relação entre os parciais não podem ser representados por números inteiros
- Simplificadamente, o Espectro Influencia a percepção de Timbre:
 - Espectros harmônicos – Instrumentos Musicais
 - Espectros Inarmônicos – Sinos, percussão.

Tons Harmônicos

- Também Compreendidos como “Tons Musicais”, “Notas Musicais”, evocam uma sensação clara de *Altura*.
- *Altura* (ou *Pitch*) é o nome de uma qualidade perceptiva do som, que nos permite distingui-los do grave ao agudo.

Sistemas de Afinação

- Um Sistema de Afinação é uma “Sistematização de Alturas”
- A percepção de altura é correlacionada ao Espectro Sonoro.

O processo de percepção de *Altura* (visto na II Parte – **Psicoacústica**) é importante para explicar como percebemos Sistemas de Afinação.

Sistemas de Afinação / Escalas / Modos

- Um Sistema de Afinação normalmente se repete em oitavas. Dividas, por exemplo, em 12 notas.
- Uma escala é um subconjunto de um sistema de afinação, como a escala diatônica (Escala de 7 notas), menor melódica, menor harmônica.
- Dependendo do ponto de partida da escala diatônica, eu tenho um modo diferente (Jônio, dórico, frígio, lídio, etc...)

II Parte – Percepção e Psicoacústica

PSICOACÚSTICA:

- Estudos de Qualidades Perceptivas de ordem “Inferior”.

Atributos Perceptivos do som, correlatos fisiológicos de atributos acústicos.

Psicoacústica Clássica

- *Quantitativo > Qualitativo* → Relação entre aspectos experimentais físicos do som e sensações (percepção de ordem *Inferior*), ao invés de pensamentos ou emoções, (percepção de ordem *Superior*)
- Números determinados por medidas; dados analisados estatisticamente
- Principais aspectos investigados:
 - Pitch (Altura), Loudness (Percepção de Intensidade), Timbre, duração aparente (subjativa).

Físico x Psicofísico

- Acústica, fenômeno físico:
 - Oscilações de moléculas de ar
- Psicoacústica, fenômeno psicofísico:
 - Som
- Estudo de Atributos Perceptivos do som
 - Físico – Medido por Instrumentos
 - Psicofísico – Medido por Testes psicológicos experimentais
- Correlação entre Fisiologia (Percepção Inferior) e aspectos físicos

Exemplo: Percepção de Altura (20hz e 20khz)

DISTINGUIR QUANTIDADES FÍSICAS DE QUALIDADES PERCEPTIVAS

Não depende apenas de um físico correlato

- Pitch (Altura) - Hertz
- Loudness - (dB)
- Timbre – **Espectro Sonoro** e seu envelope dinâmico

- *Interação de todos parâmetros físicos*

Objetivo: medir e explorar essas dependências.

Ex; pitch também é afetado por (dB), outros tons simultâneos, ruídos.

Rudimentarmente Falando

- Música (tradicional):
 - Intensidade, Ritmo, Melodia, Harmonia, Timbre.

Percepção disso (psicoacústica e psicologia da música)

Níveis da Experiência Musical (objeto):

- Nattiez (1990)
 - Poiético, Neutro, Estésico
- Expansão de Emmerson (1992):

"NEUTRO"

Poiético → → → Prescritivo → → → Sinal → → → Estésico

!----- Antrop. M -----!

!--- Psic. Mús. ---!

!--- Crít. Perf. -----!

!----- Mimética -----!

! ----- Crit. Interpr. -----!

! ----- Psicologia Social da Estética -----!

Prod. Estética → → → Análise Part. → → → Acústica e → → → Recep. Estética

Poiética

Psicoacústica

Relação entre os Níveis

(Neutro) – Psicoacústica (inferior) – Psicologia da
Música (superior) – Estésico

* A psicoacústica como elo entre o nível Neutro e o Estésico.

Definição básica de Elementos da Música e Som

- Intensidade, Melodia, harmonia, Ritmo e Timbre
- Atributos perceptivos do Som (Volume, Altura, Timbre)



Psicoacústica (Loudness, Pitch, Timbre*)

* Lata de lixo de todos os atributos Perceptivos que não *Loudness* e *Pitch* (Bregman 1990).

Relevância Psicoacústica

- Investigar a percepção de elementos da Música (parâmetros tradicionais)
- Investigar Outros Parâmetros, Ampliar, Música Contemporânea, Eletroacústica.

O Parâmetro Altura em Música tradicional

- 'É o mais importante" (Música tradicional).
Instrumentos musicais produzem tons musicais
(i.e. notas musicas / *Alturas*)
- Construimos melodias
- Temos Escalas. Sistemas de Afinação.
- Ouvimos relações entre alturas (intervalos musicais). Criamos harmonias.

Psicoacústica da Afinação

- **A) Percepção de Altura: Como Percebemos alturas no contexto de tons complexos.**
 - Fusão Tonal (Virtual Pitch e Toneness)
- **B) Como Discriminamos diferentes alturas em uma escala musical.**
 - “Place Theory e Time Theory”, JND, Percepção Categórica / Proximidade de Pitch, e Dissonância Psicoacústica
- **C) Como Relacionamos alturas de uma escala por meio de mecanismos perceptivos vinculados à consonância versus dissonância.**
 - Dissonância Psicoacústica: Rugosidade & Fusão Tonal (Virtual Pitch e Toneness)

Conceitos Principais da Psicoacústica

- a) Clareza de Percepção de Altura:

Como um tom complexo evoca uma sensação nítida de altura

- Espectro Sonoro

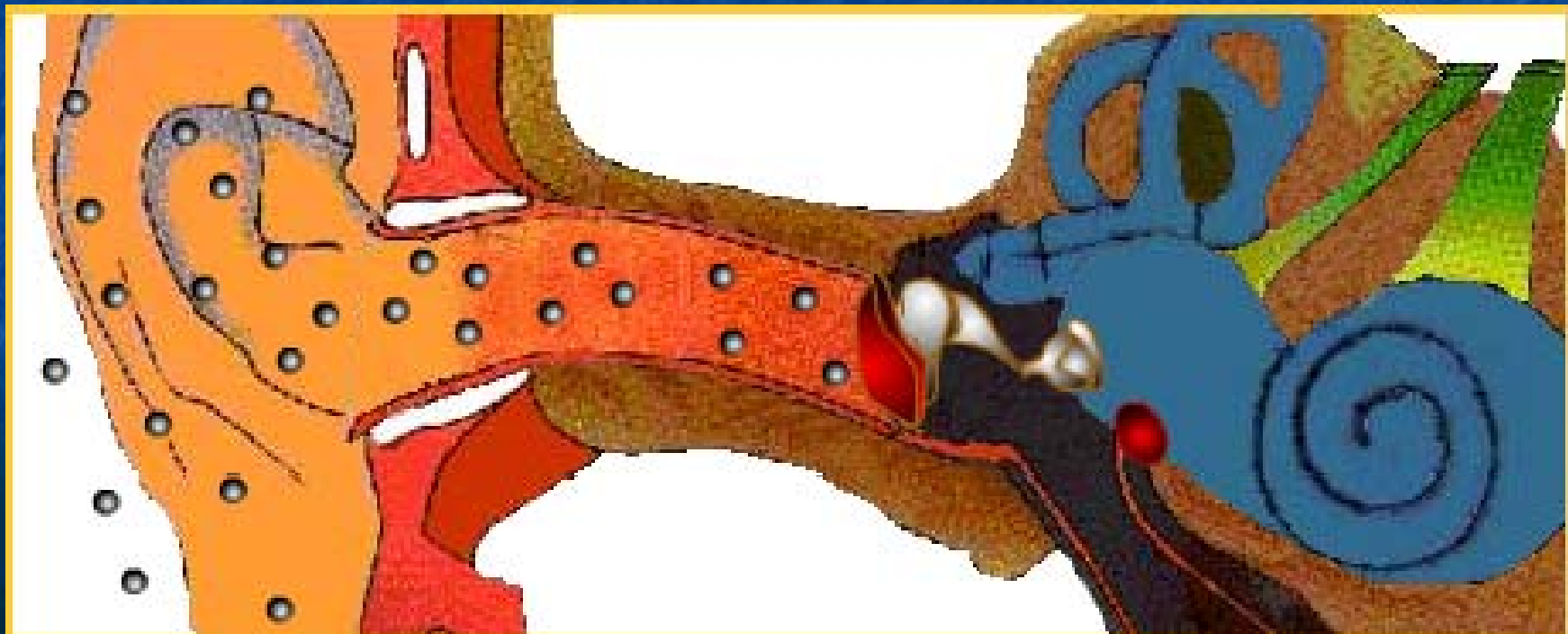
- B) Batimentos/Rugosidade e Banda Crítica

- Afinado e Desafinado

Percepção de Altura

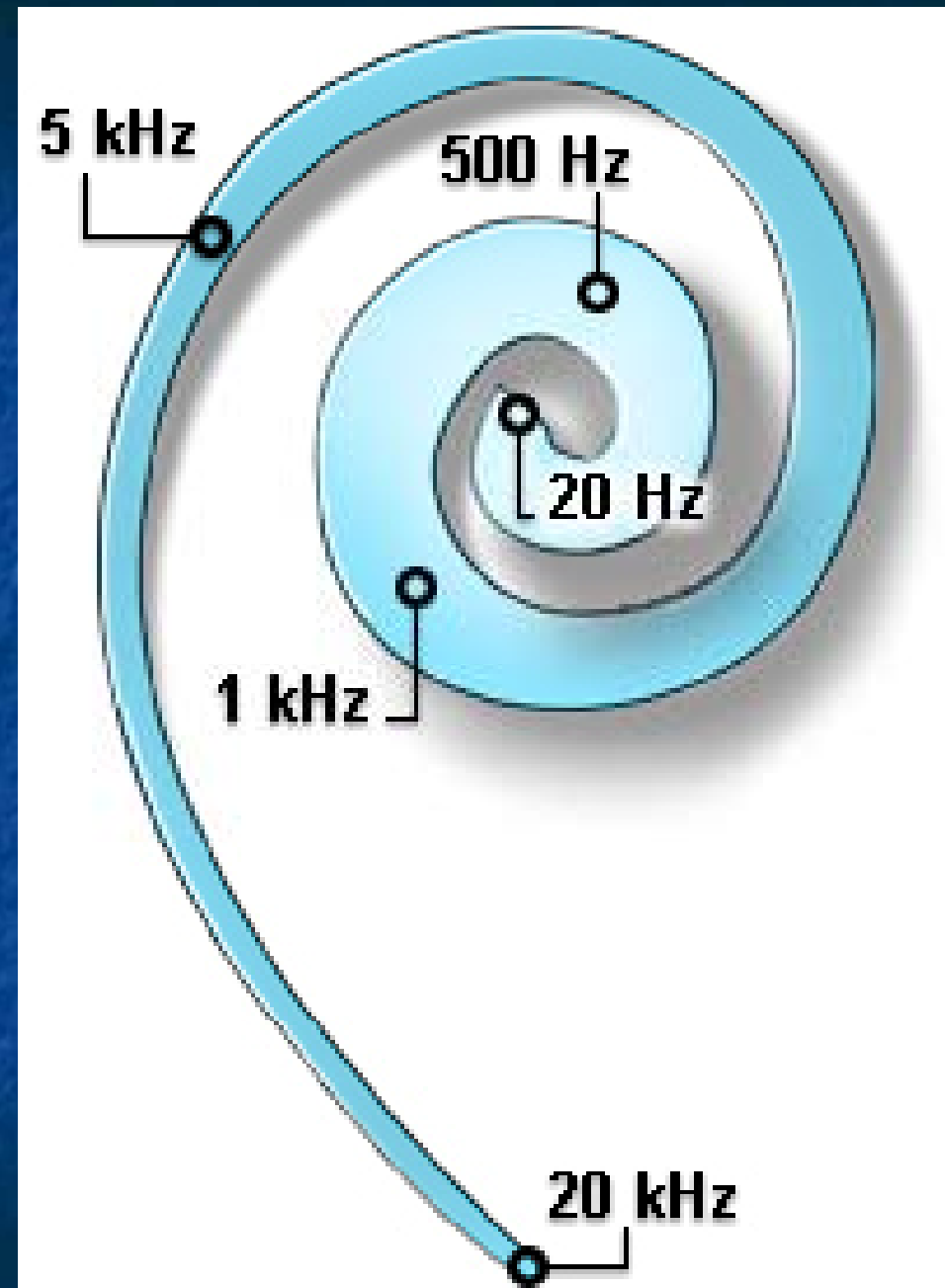
<http://www.blackwellpublishing.com/matthews/ear.html>

http://telecom.inescn.pt/research/audio/cienciaviva/principio_audicao.html

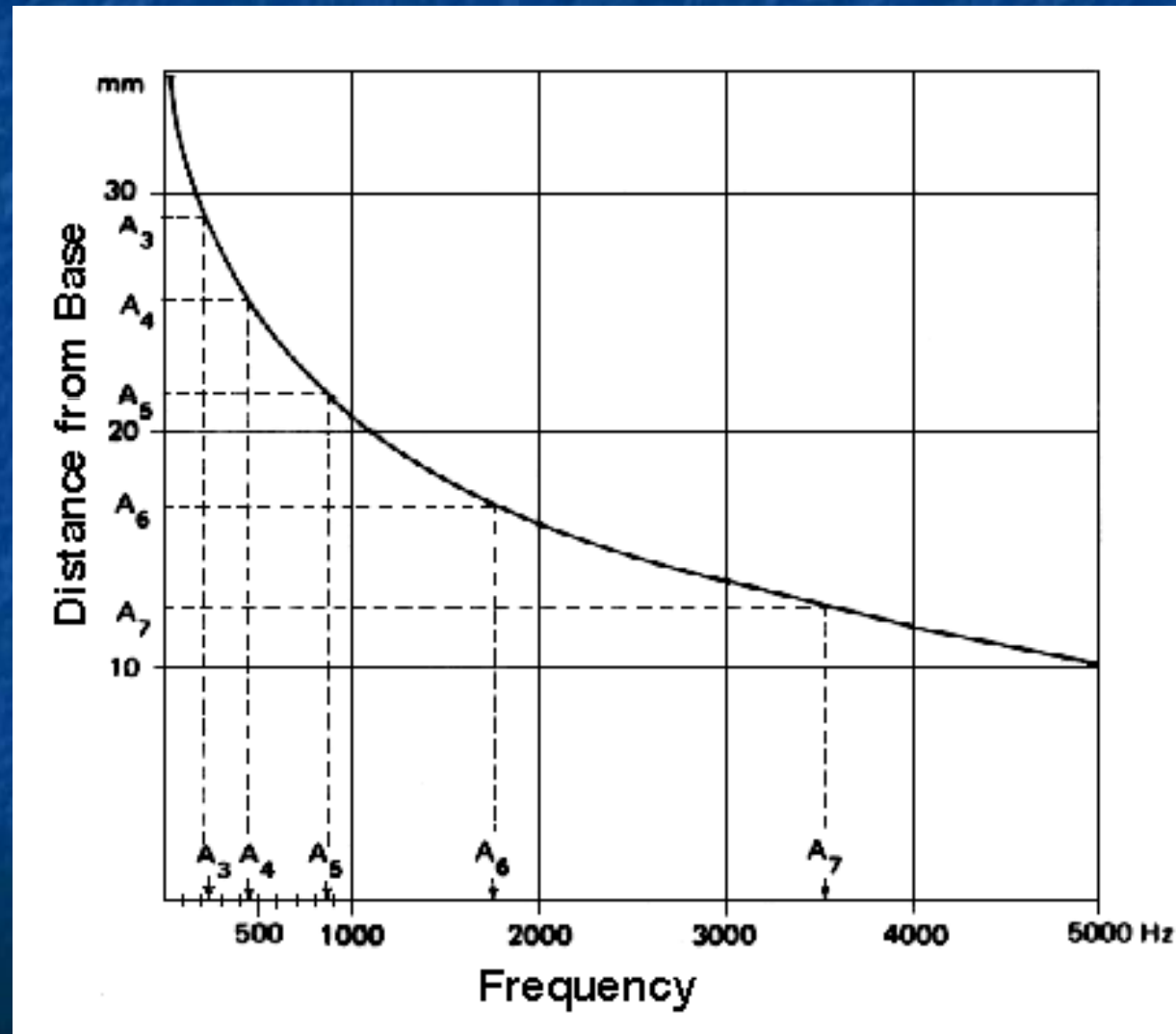


Membrana Basilar & “Place Theory”

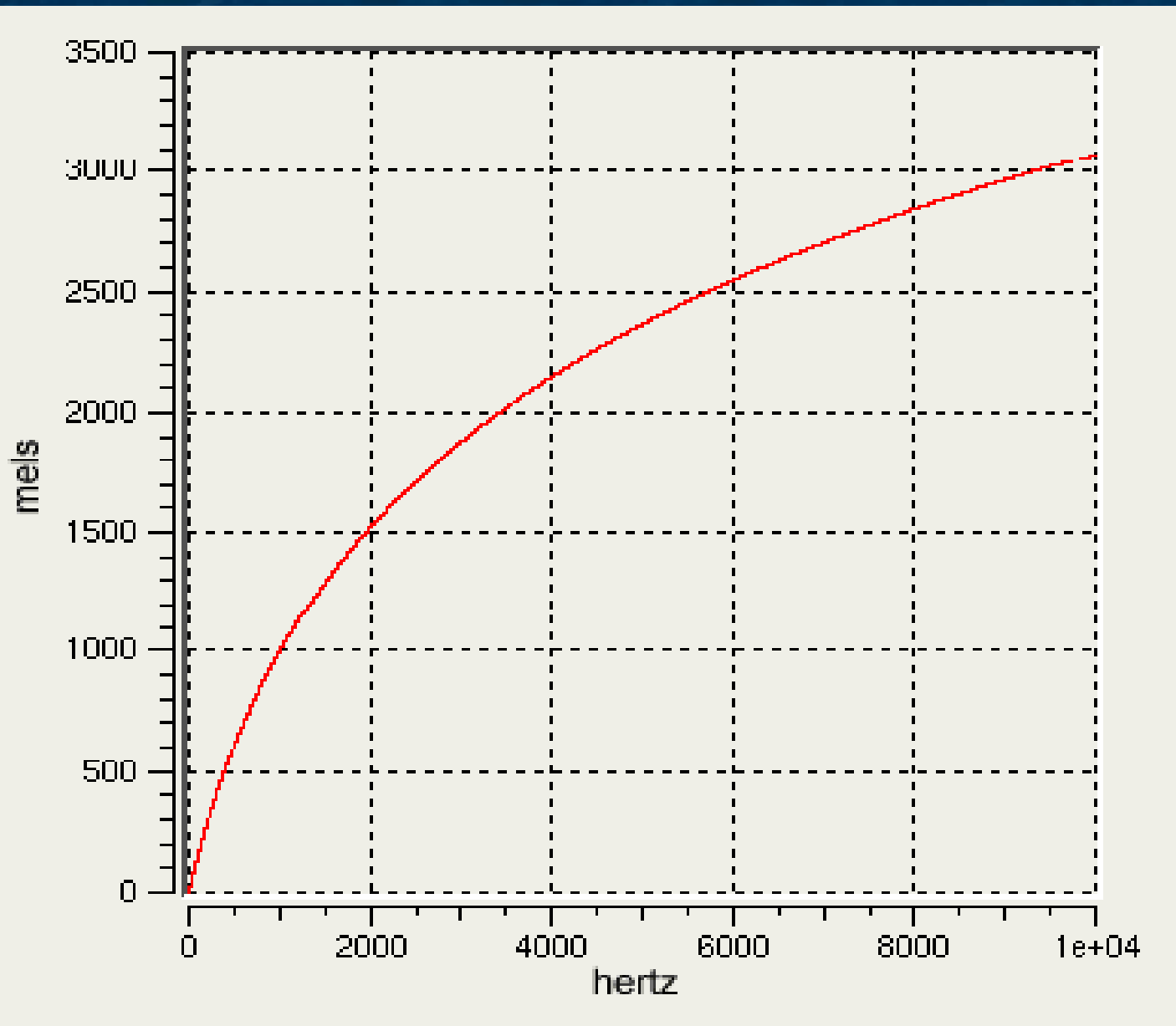
Tonotopia da Cóclea E do Córtex Cerebral



Relação entre Membrana basilar e Percepção de Alturas



Mel - Hertz



Definição de Altura

- ANSI: “Atributo pelo qual sons podem ser ordenados em uma escala do grave ao agudo” (TERHARDT 2000B)
- Um som pode evocar mais de uma única altura (desde que não seja um tom senoidal)
- Para tons complexos harmônicos (instr. Musicais) uma sensação de altura (correspondente à fundamental do tom musical) é mais proeminente e dita como a “altura” do tom.
- ‘Spectral Pitch’ (i.e. altura espectral) e ‘Virtual Pitch’ (i.e. altura virtual).

Virtual Pitch

- Spectral Pitch (Senóides)
- Virtual Pitch (tons complexos)

FUSÃO TONAL Stumpf (1890).

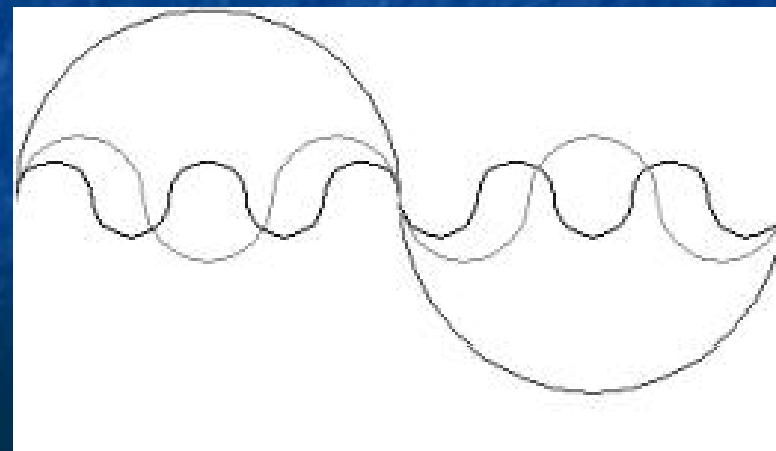
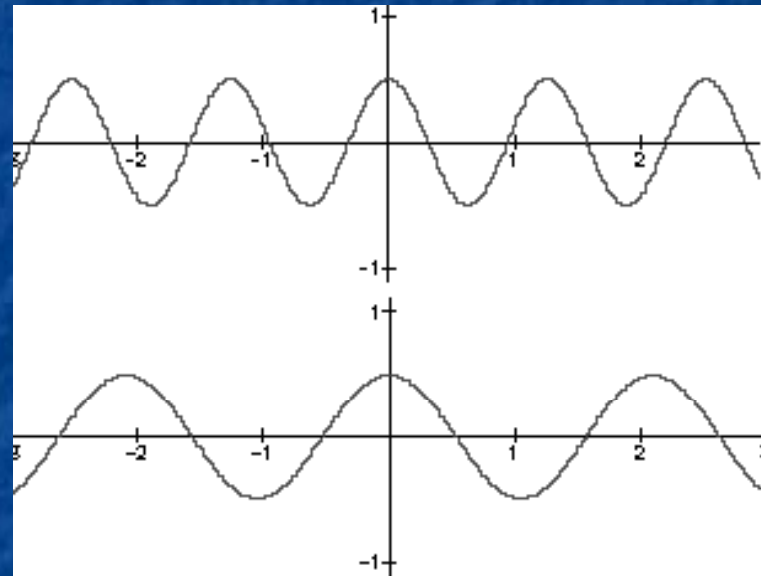
Intervalo	Oitava	Quinta	Quarta	Terça	Trítono	Segunda
% de Erro	75%	50%	33%	25%	20%	10%

Periodicidade

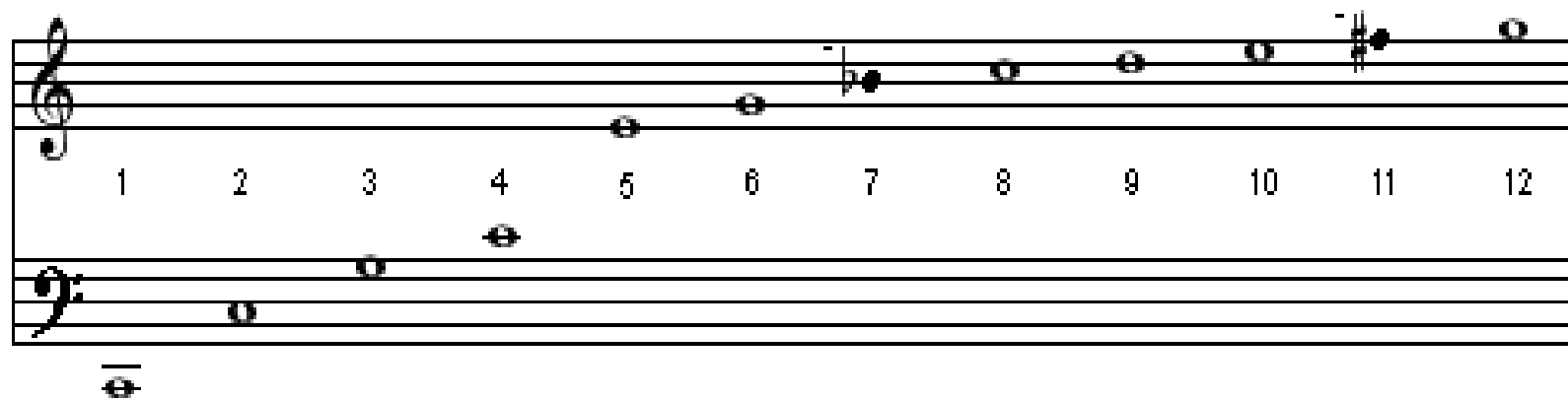
- Sensível à periodicidade -
Relações Harmônicas
Máximo divisor comum.

“Time Theory”

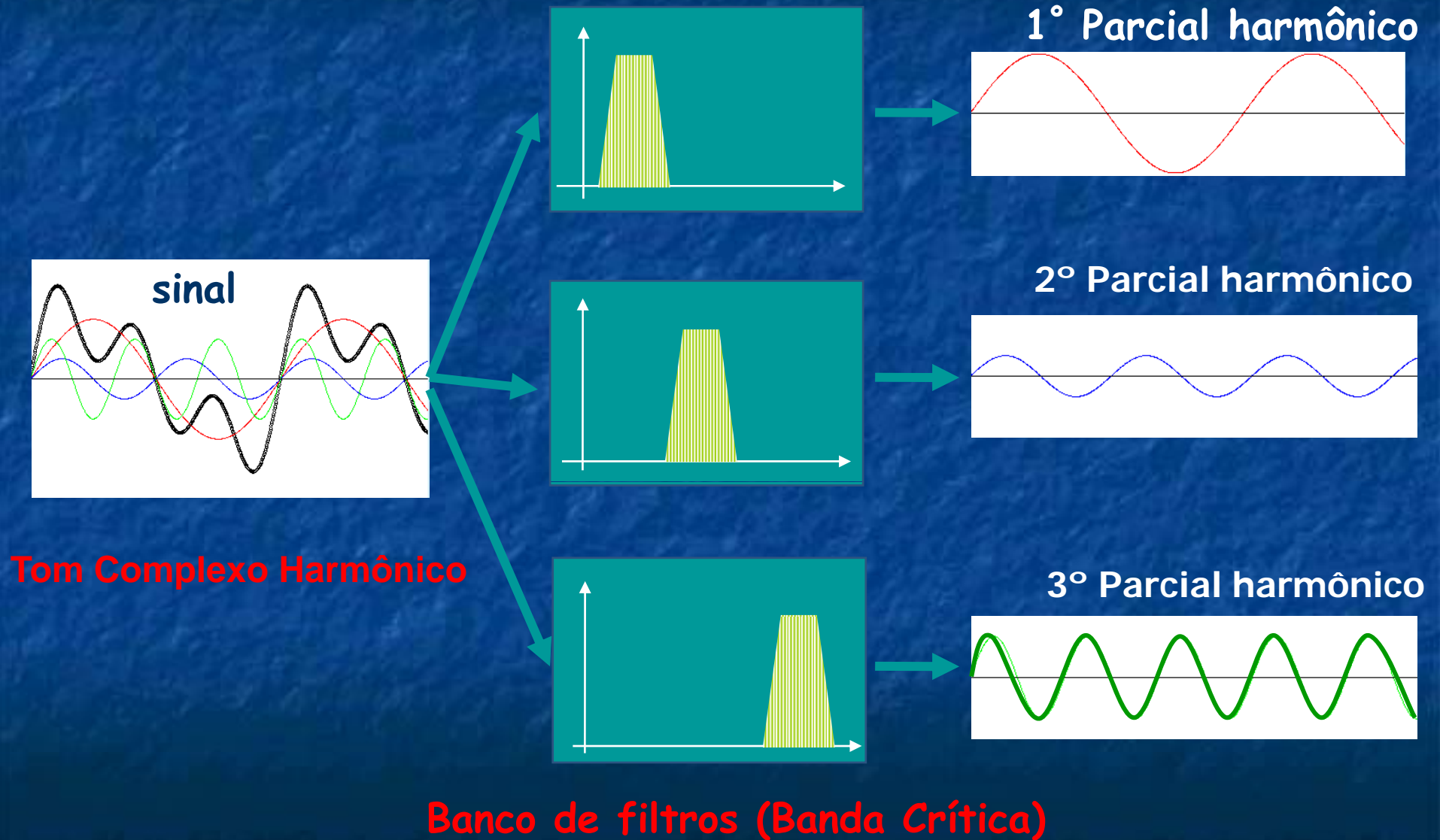
- [5:3], enquanto uma
vibração oscila 5 vezes, a
outra oscila 3 vezes.



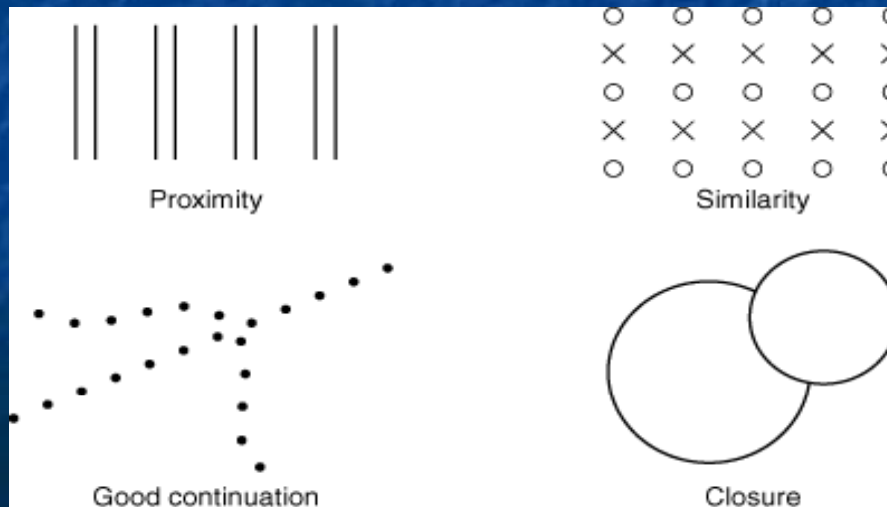
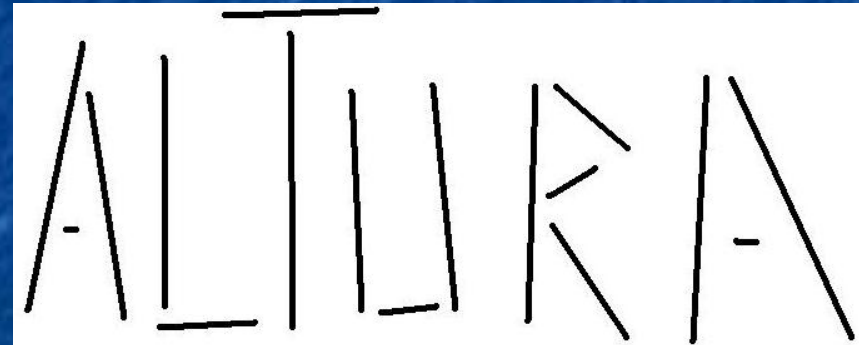
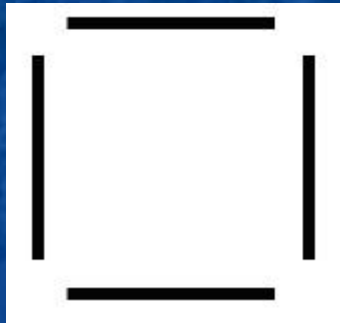
Série Harmônica



FFT da Cóclea → Cérebro



O Cérebro e a Fundamental Ausente



Percepção de um Tom Harmônico Complexo

- Corresponde geralmente ao parcial mais grave ou fundamental. Caso contrário:
 - A) o pitch exato de um tom puro depende de sua amplitude (+dB / - Hz)
 - *B) virtual pitch* "missing fundamental".

Segundo Terhardt 2000a

- A percepção de altura de um tom complexo, no conceito de 'Virtual Pitch', não depende apenas do conteúdo espectral, mas sim de mecanismos cognitivos de ordem superior.
- Fato científico comprovado em conversa de telefone
 - "Na vida real, percepção de 'virtual pitch' está longe de ser um fenômeno raro e exótico, ou ainda um tipo de ilusão. Pelo contrário, percepção de 'virtual pitch' é mais uma regra do que uma exceção (...) qualquer tipo de som, não importa como foi criado, estimulará o mecanismo auditivo de 'virtual pitch' a olhar por 'subharmônicos' que correspondam a uma possível altura fundamental (...) periodicidade é uma forte pista para um objeto sonoro (...) é assim que a teoria de 'virtual pitch' dá conta da determinação de altura e segregação de objetos sonoros. (...) 'virtual pitch' é um rótulo que caracteriza um certo tipo de objeto sonoro, os chamados periódicos, incluindo "supostos" periódicos. Segregação e identificação de objetos sonoros é naturalmente uma das funções fundamentais de qualquer órgão da escuta."

- Terhardt (1974) conecta o conceito de 'Virtual Pitch' ao conceito da 'totalidade' da psicologia Gestaltiana que depende de um processo de aprendizado prévio (Lei Gestaltiana da Experiência Passada). O aprendizado prévio do modelo de componentes espectrais harmônicos como um conjunto único, segundo Terhardt, se explica por ser essencial na habilidade de identificar sons da fala, formada por relações harmônicas.
 - "Por diversas décadas, altura tem sido subestimada; primeiramente no que tange sua importância em comunicação auditiva; e, por segundo, no que diz respeito às dificuldades em compreender sua percepção. No que concerne a comunicação auditiva, foi claramente compreendido que em música altura é a mais importante "portadora de informação". Entretanto, pouca atenção foi dada para a possibilidade que também na "vida ordinária", i.e., em comunicação pela fala, e em análise auditiva e reconhecimento de uma imensa variedade de sons impingindo sobre nossos ouvidos na vida cotidiana, altura pudesse ser um elemento chave".

Percepção de Tons Complexos Inarmônicos

- Evoca mais que um Pitch.
 - Se cada ora um – Ambíguo
 - Se mais de um - Múltiplo

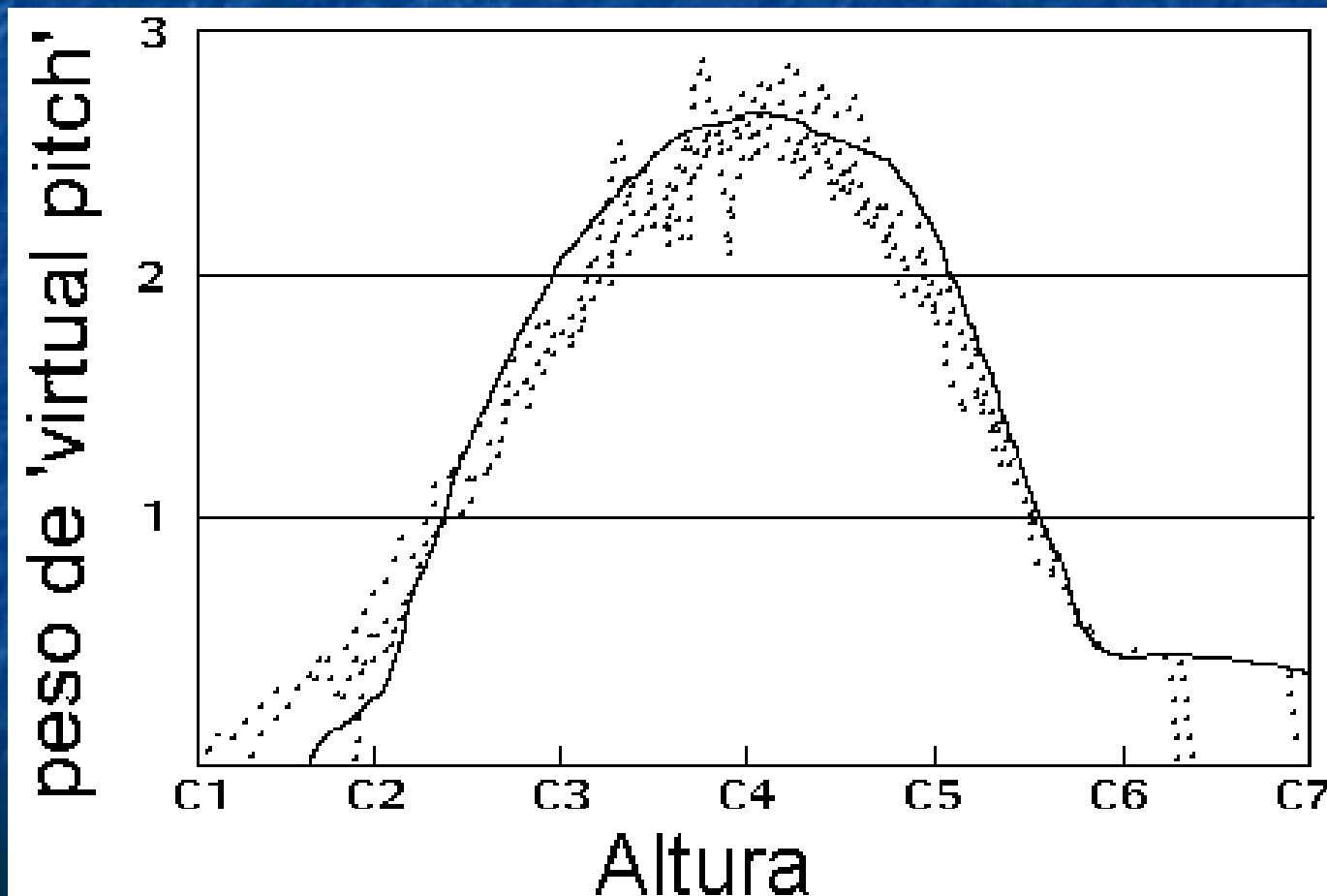
Percepção de Tons complexos

- **1: Análise espectral.**
- **2: Percepção Holística (Stumpf, 1883; Terhardt, 1976)**
 - Um Tom complexo harmônico é normalmente percebido como uma entidade singular:
 - Sensação de tom complexo com pitch (VP), timbre, e loudness.
 - Quando parciais são salientes, um Tom Complexo é percebido como mais de uma coisa:
 - *Sensações de tons puros, amíguas ou múltiplas, e timbre.*

Toneness (Clareza de Percepção de Altura)

- O fenômeno da percepção de tons complexos harmônicos como uma altura única define a qualidade de um tom musical. Essa qualidade perceptiva tem sido discutida e alguns termos têm sido apresentados para denominá-la e defini-la. Huron (2001) usa o termo “toneness” que pode ser descrito como um termo psicoacústico para “clareza da percepção de um tom musical” – ou seja, a qualidade de um tom complexo harmônico evocar uma sensação subjetiva clara de altura – e expõe uma maneira de medi-lo a partir do modelo de ‘virtual pitch’.
 - “A clareza da percepção de alturas tem sido simulada sistematicamente em um modelo de percepção de altura formulado por Terhardt, Stoll e Seewan (1982a, 1982b). Para ambos tons puros e complexos, o modelo calcula um ‘peso de altura’, que pode ser entendido como um índice da clareza de altura e, portanto, uma medida de ‘toneness’. Para alturas evocadas por tons puros (tão-chamados ‘alturas espectrais’), a sensibilidade é mais aguçada na região de ‘dominância espectral’ – ampla região próxima de 700 Hz. Alturas evocadas por tons complexos (tão-chamados ‘alturas virtuais’) tipicamente denotam o maior ‘peso de altura’ quando a altura evocada ou a fundamental verdadeira encontra-se em uma ampla região centrada próxima de 300 Hz – mais ou menos Ré logo acima do Dó central (C4) (Terhardt, Stoll, Schermbach, & Parncutt, 1986) (...).

Peso de Virtual pitch (Altura Virtual)



Continuando...

- Imagens auditivas fortes são evocadas quando tons exibem um alto grau de 'toneness'. Uma impressão clara de um tom musical (como uma imagem nítida) possui um alto grau de 'toneness', e uma impressão difusa possui um grau baixo de 'toneness'. Uma medida útil de 'toneness' é provida pelo 'peso de altura'. Tons possuindo os maiores 'pesos de altura' são tons complexos harmônicos centrados na região entre F2 e G5. Tons que possuem parciais inarmônicos produzem percepções de 'alturas virtuais' que competem entre si, e então evocam imagens auditórias mais difusas"

Hora de Exemplos Musicais!!!

- Virtual Pitch e Missing fundamental
- Clareza de Percepção de Altura

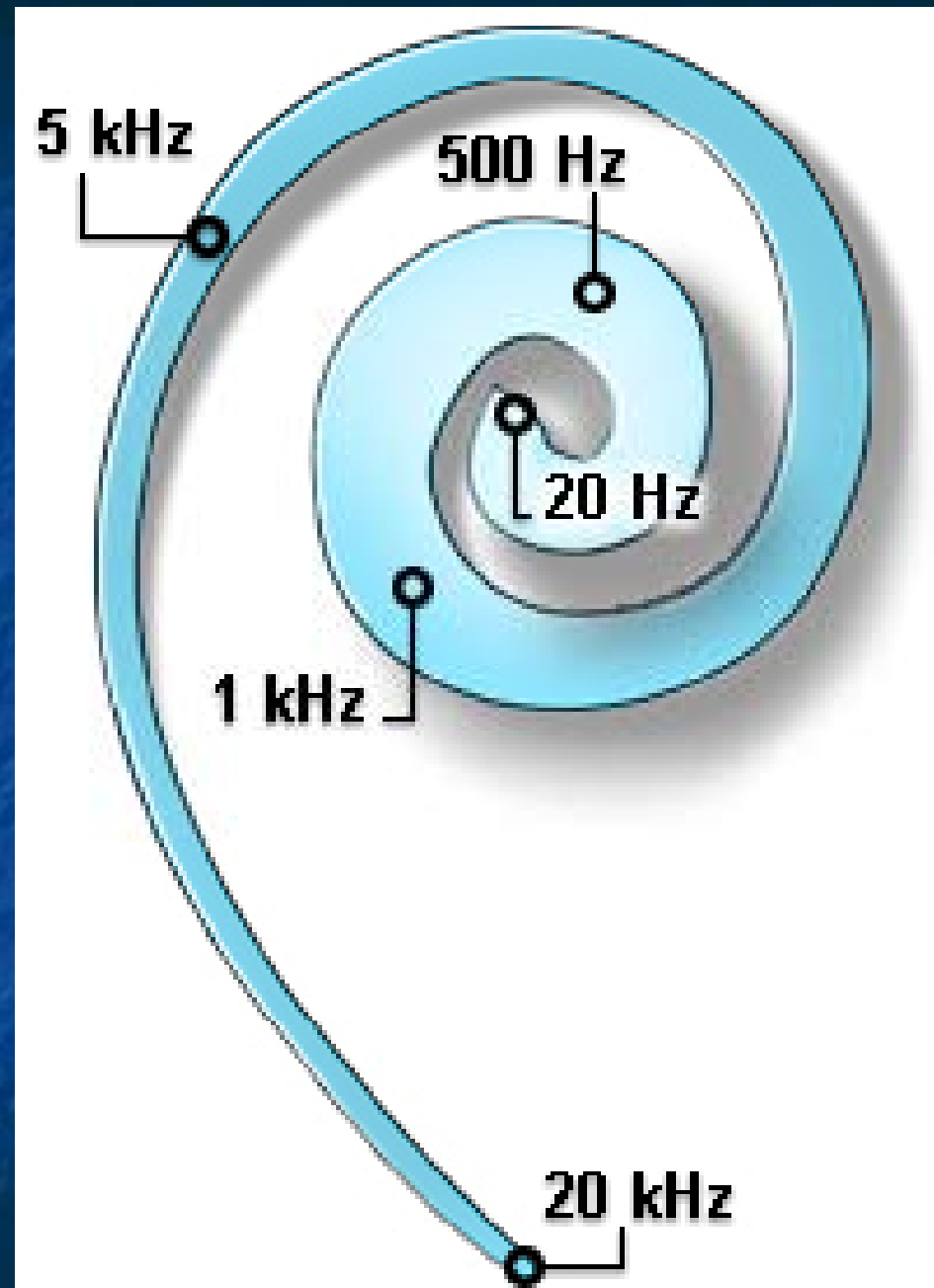
Recapitulando os conceitos

- Percepção de altura tonotópica (membrana Basilar)
- Fusão Tonal
- Virtual Pitch
- Toneness

b) Afinação e BANDA CRÍTICA

- Batimentos e Rugosidade
- Mascaramento
- Loudness (percepção de Intensidade)

Membrana Basilar



Banda Crítica

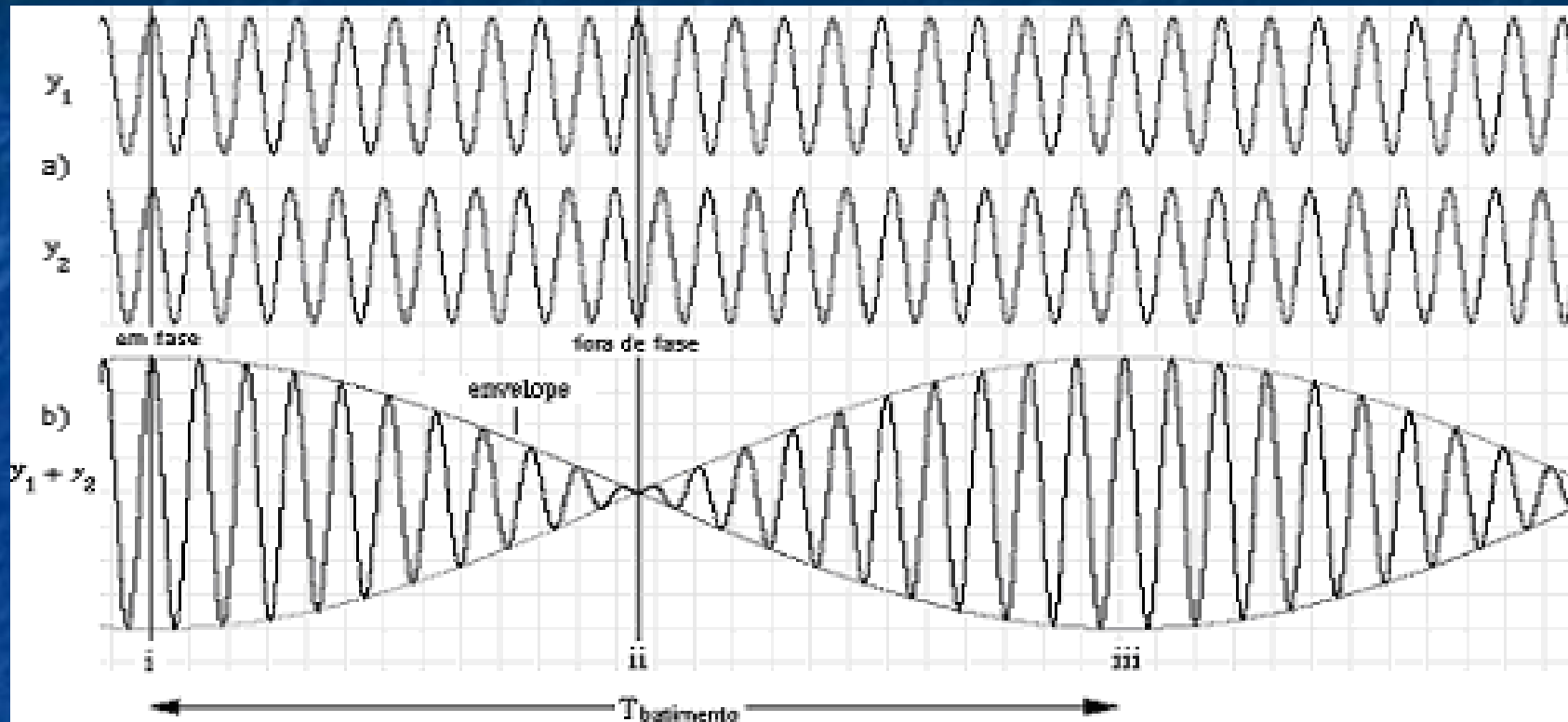
A Banda Crítica varia de acordo com o registro. Não é linear com a escala de frequências em Hertz, nem com a escala musical (geométrica).

- Corresponde rudimentarmente com a Escala Mel e a membrana basilar, pois corresponde a trechos iguais da membrana basilar

Propriedades

- Faixa de frequência onde a percepção de rugosidade desaparece.
 - Análogo ao JND (Limiar da capacidade de percepção de dois tons distintos).
- Faixa de Frequência onde ocorre o Mascaramento.

BATIMENTOS E RUGOSIDADE



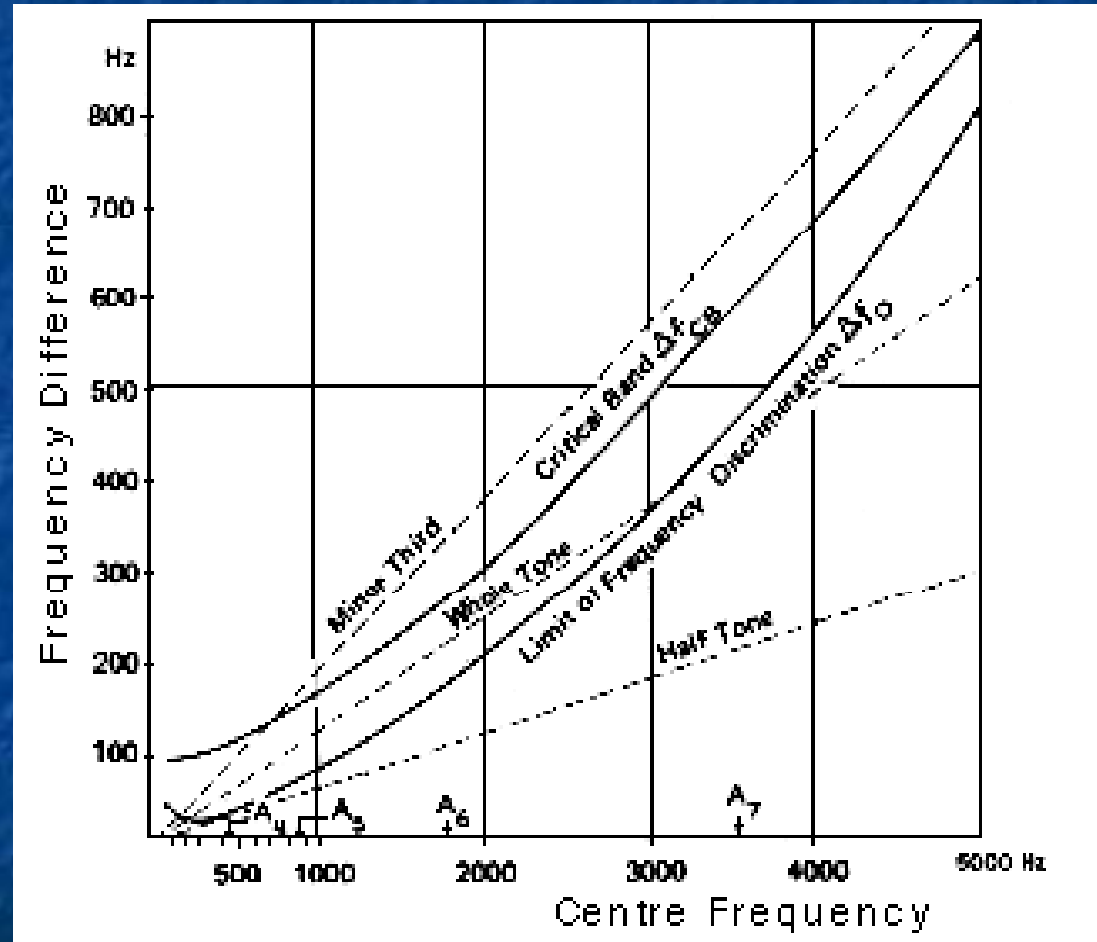
FLUTUAÇÕES DE AMPLITUDE

Batimentos < 20 Hz

Rugosidade entre 20 Hz & 1 Bark

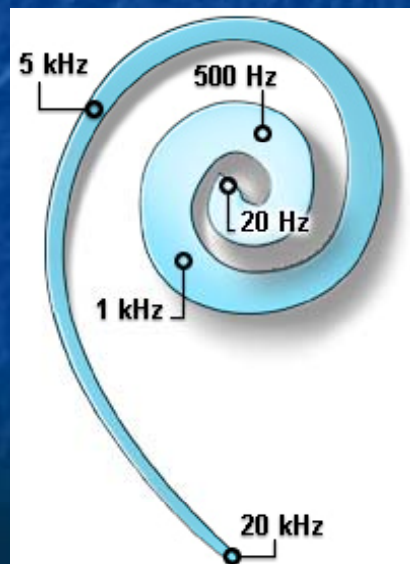
Escala Bark

- É a escala da banda crítica, cada bark correspondendo a uma banda crítica, ao todo, existem em torno de 24 bandas críticas.



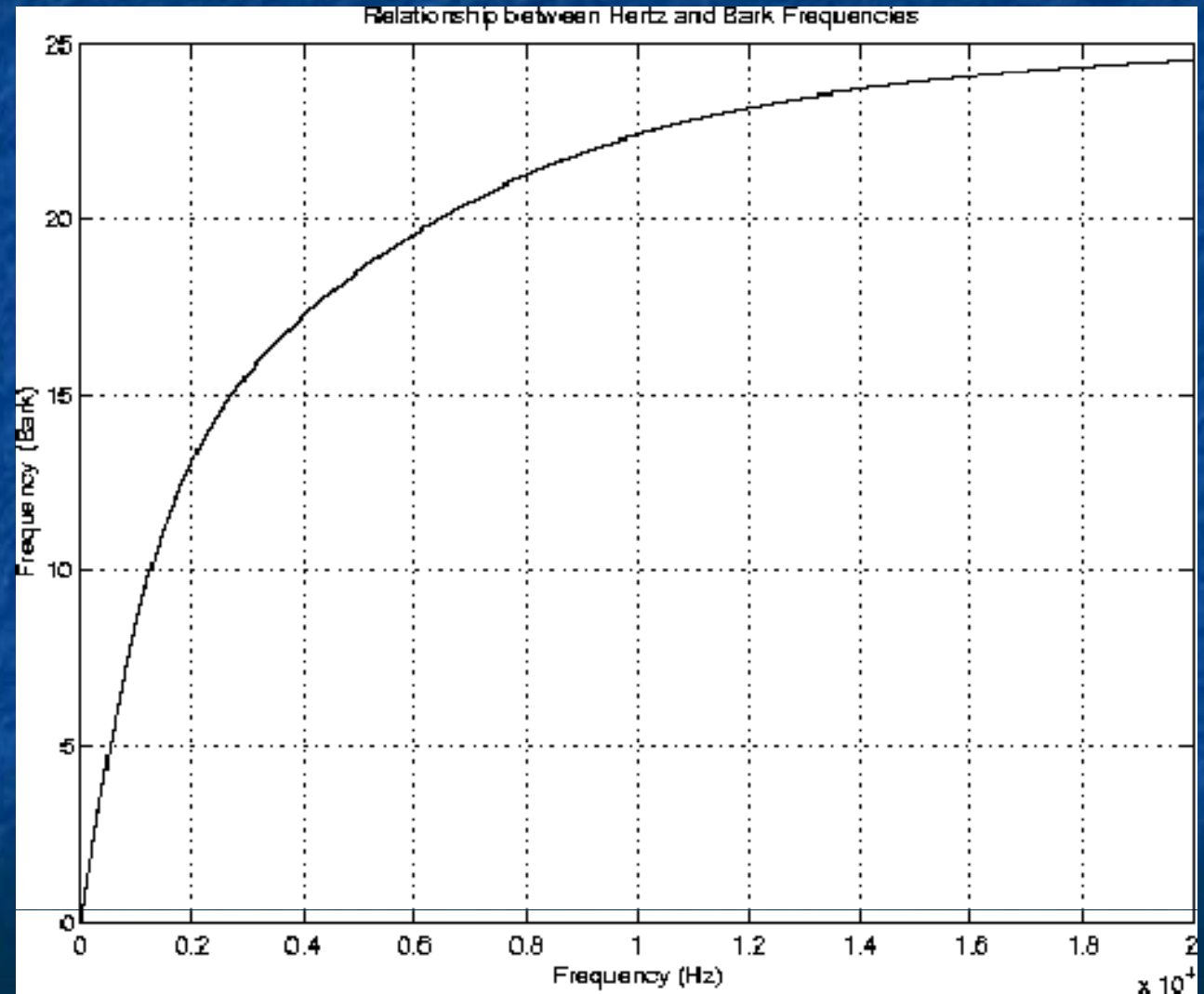
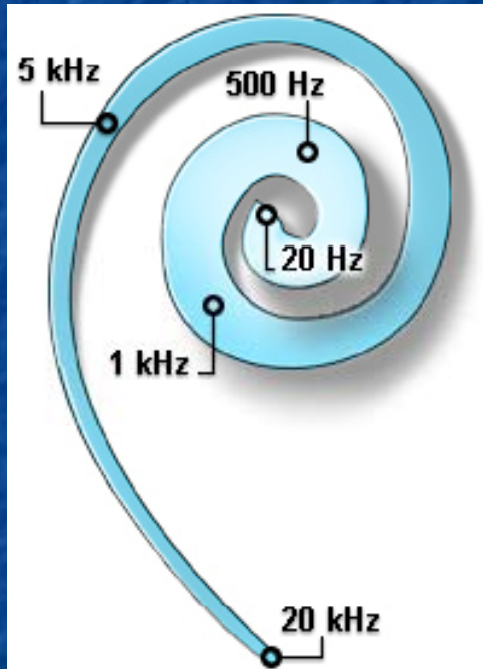
Relação da Escala Bark (Banda Crítica) & Frequência

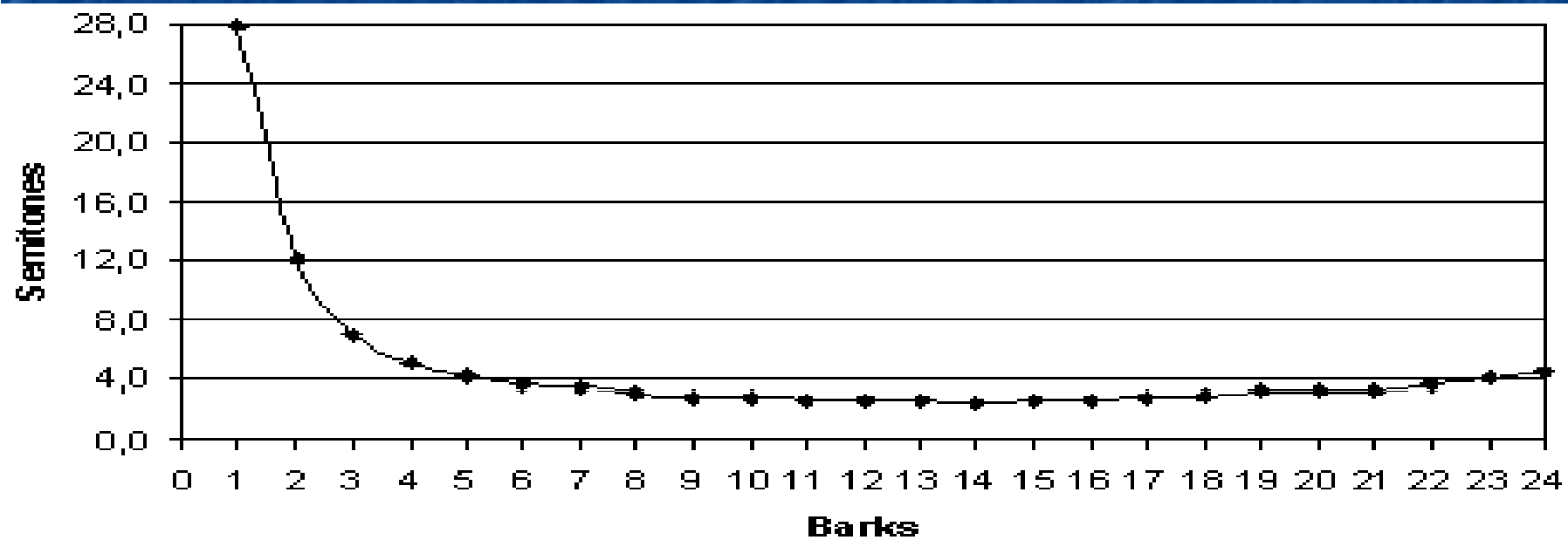
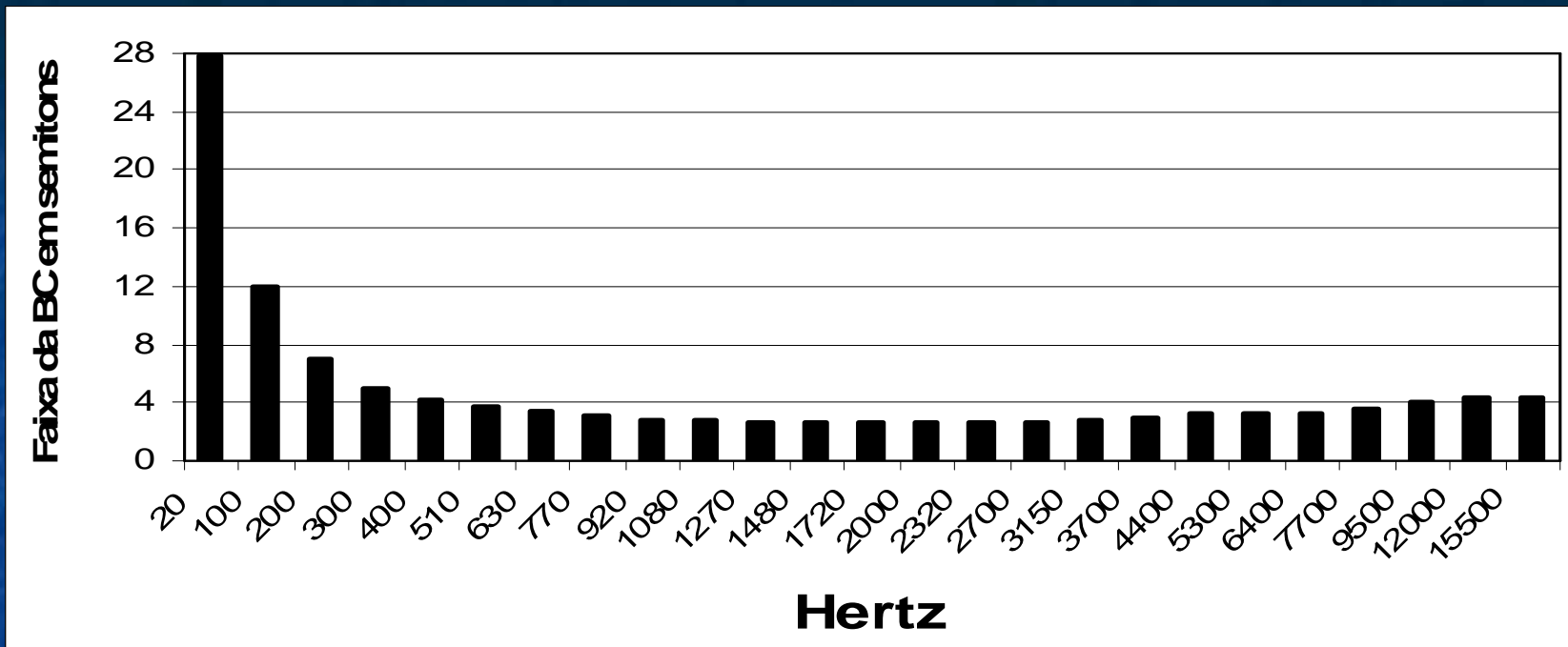
Zwicker (1961)



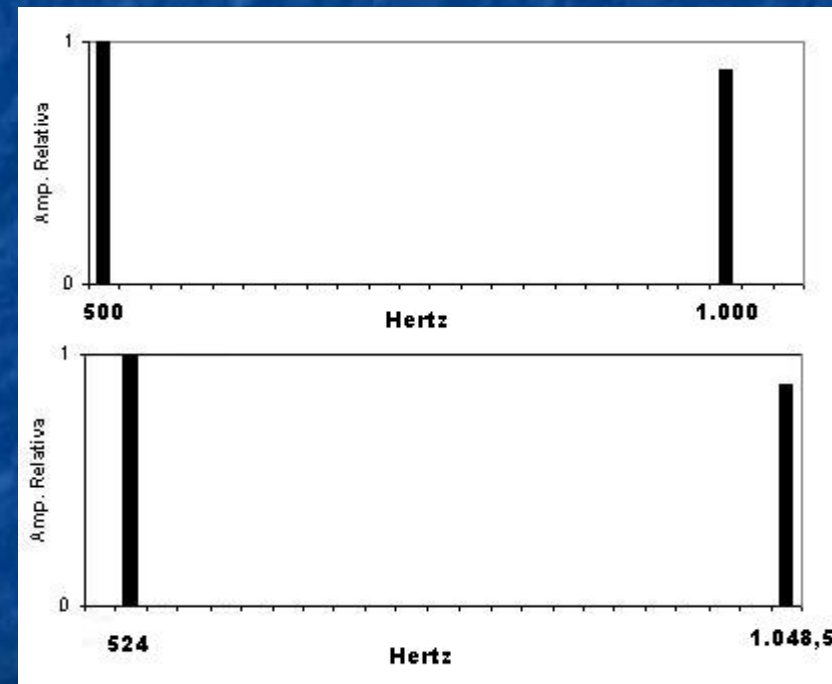
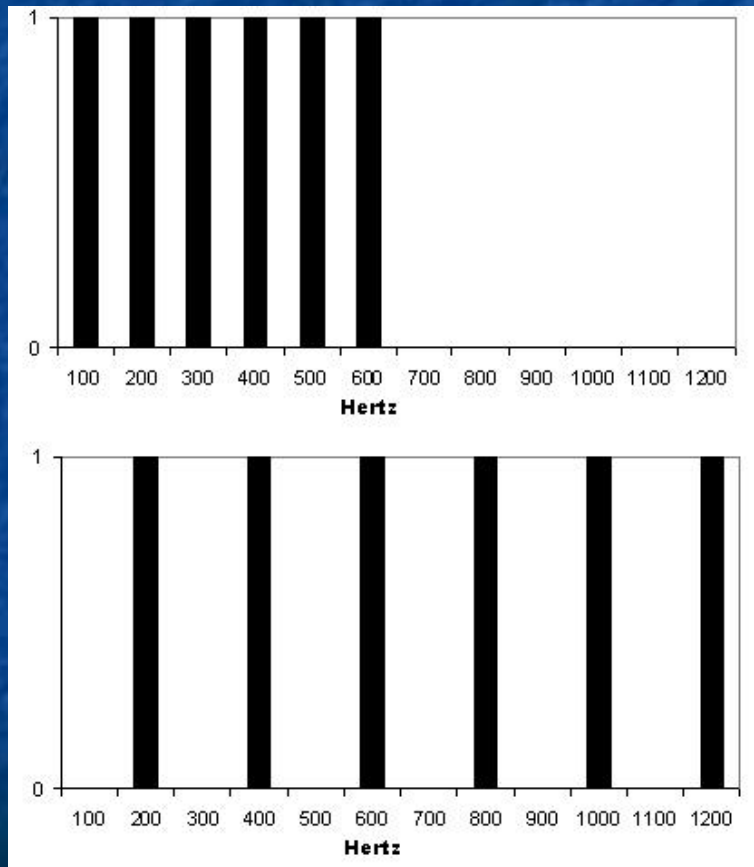
Bark	Hz	Faixa da BC em Hz	Frequência Central em HZ
0	20	80	60
1	100	100	150
2	200	100	250
3	300	100	350
4	400	110	455
5	510	120	570
6	630	140	700
7	770	150	845
8	920	160	1.000
9	1.080	190	1.175
10	1.270	210	1.375
11	1.480	240	1.600
12	1.720	280	1.860
13	2.000	320	2.160
14	2.320	380	2.510
15	2.700	450	2.925
16	3.150	550	3.425
17	3.700	700	4.050
18	4.400	900	4.850
19	5.300	1100	5.850
20	6.400	1300	7.050
21	7.700	1800	8.600
22	9.500	2500	10.750
23	12.000	3500	13.750
24	15.500	4500	17.750

Bark e Hz

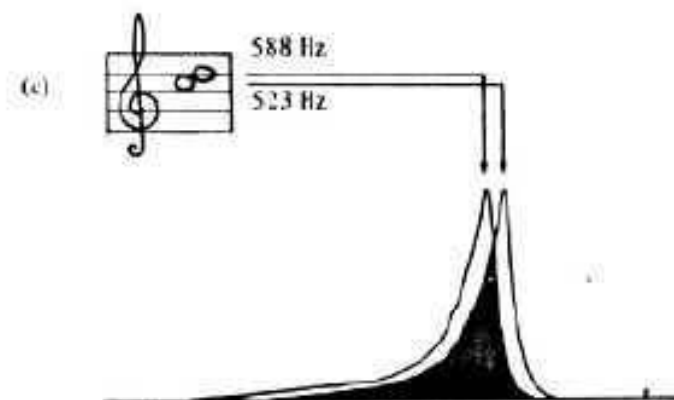
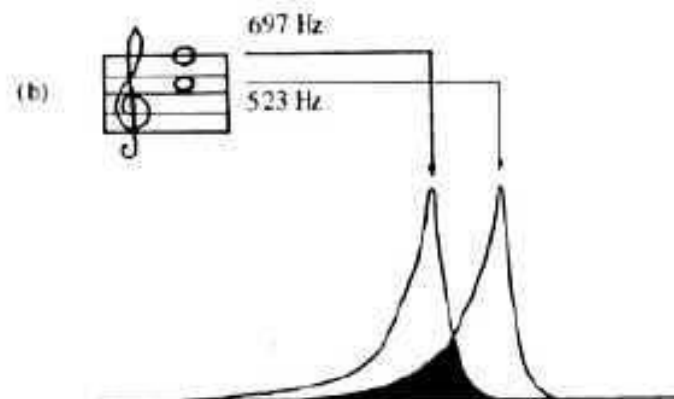
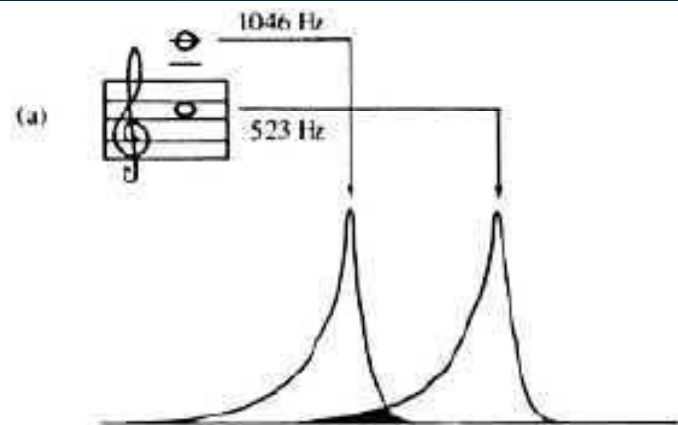




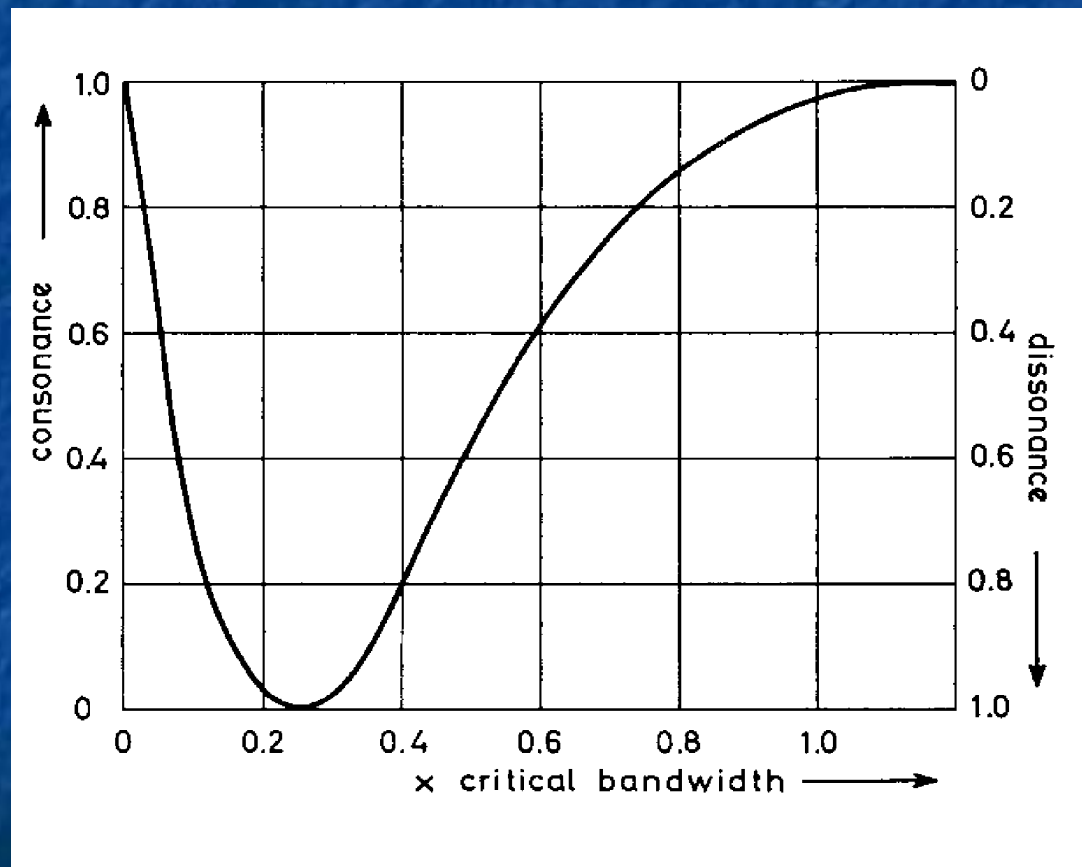
Rugosidade Como Elemento de Dissonância Sensorial



“Desalinha- mento” de parciais



Medida de "Consonância Tonal" Plomp & Levelt (1965)



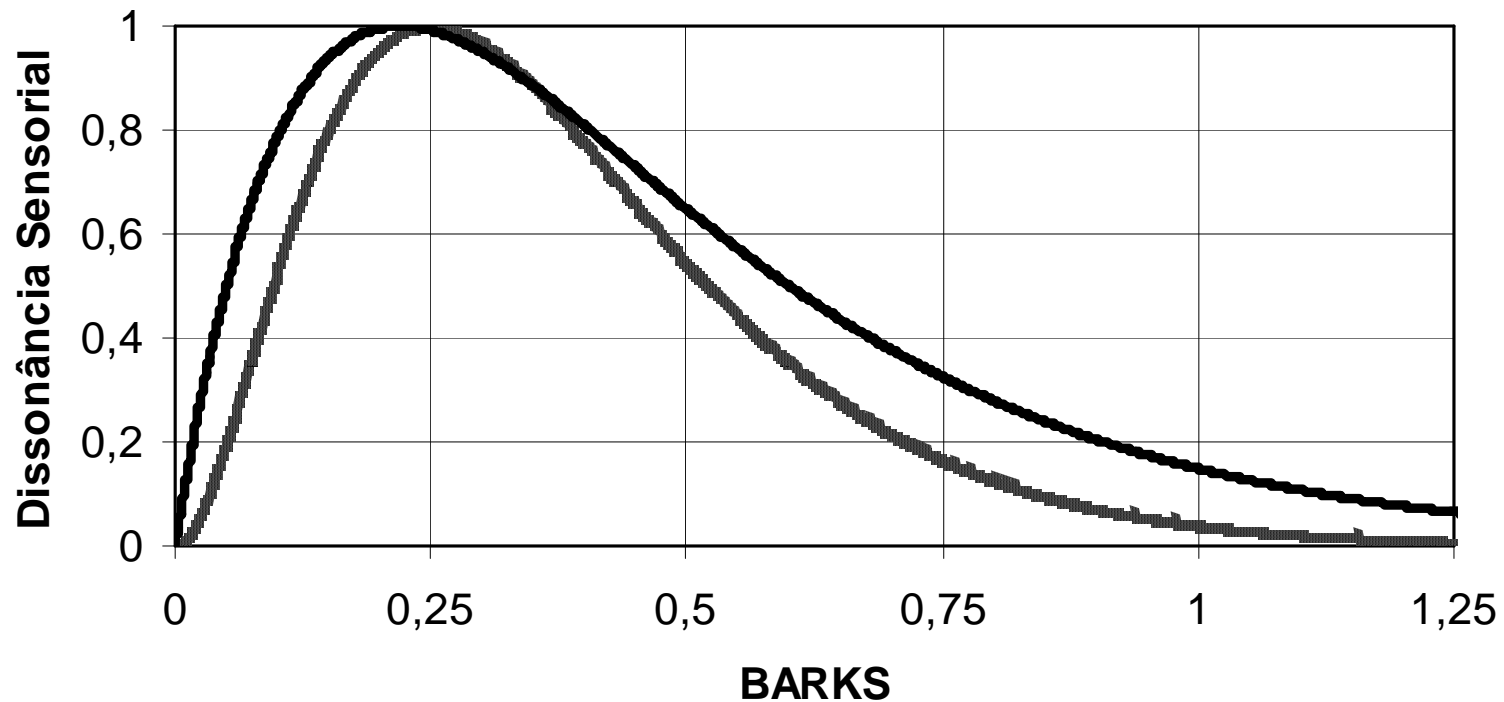
Para um par de Tons Senoidais Iguamente *Loud*

Parte III - Um modelo de Rugosidade e sua implementação em Puredata

- Pegue um par de tons puros em hertz
- Use uma Função que converte Hertz em Barks
- Pegue a diferença em Barks desse par de tons puros
- Use uma Função que aproxima a Curva de Plomp & Levelt (1965) e encontre o valor de Rugosidade/Dissonância Sensorial.

Sethares (Não acurada) Parncutt (Melhor)

Aproximações da Curva de Plomp & Levelt (1965)



— Parncutt (1993) — Sethares (2005)

Peso de Amplitudes, 2 procedimentos

- P&L Apenas testaram tons igualmente *Loud*.
 - Implementação de uma função de Vassilakis de acordo com o grau de flutuação de amplitude
- nP&L Não contabilizaram a variação de loudness de acordo com o registro.
 - Implementação das curvas de Iso-Loudness [Fletcher & Munson] por uma tabela de referência.

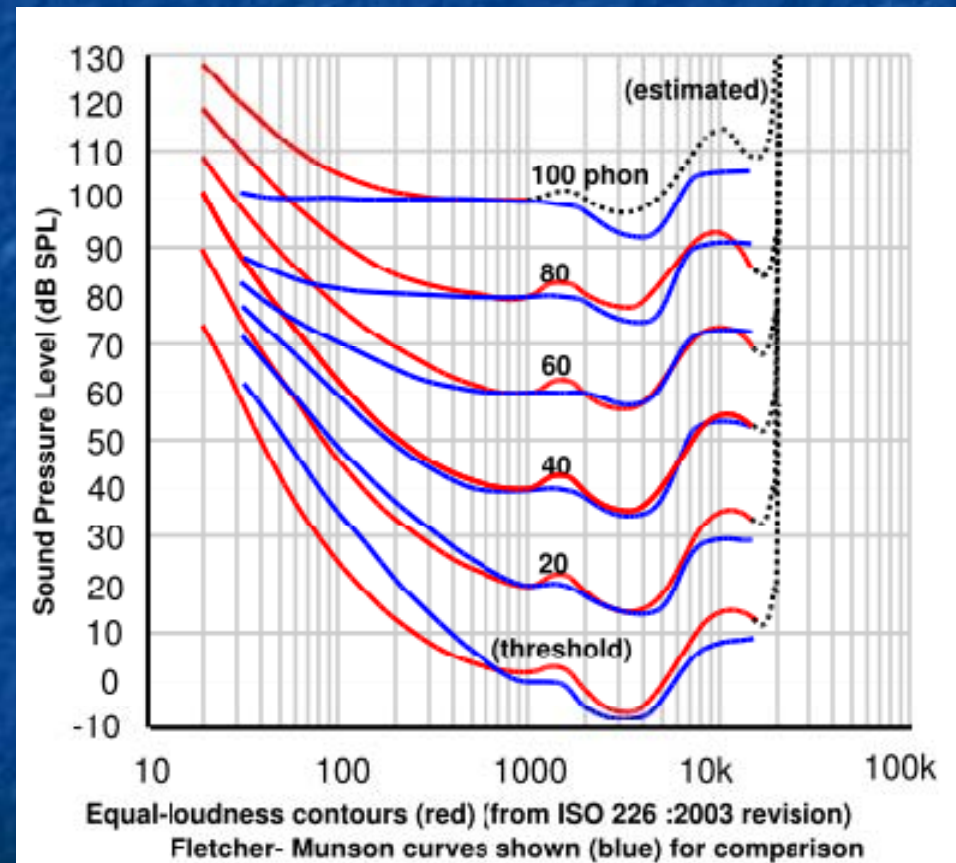
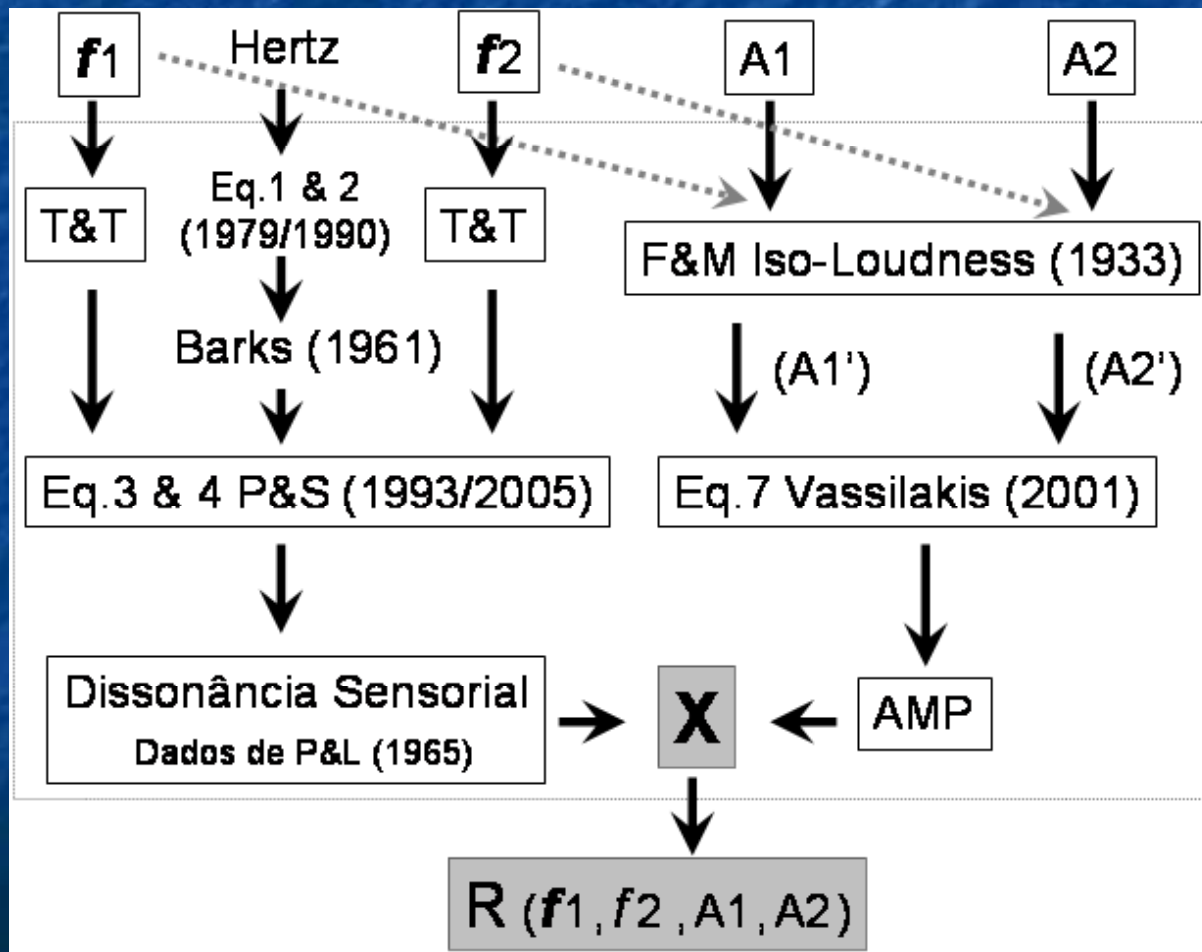
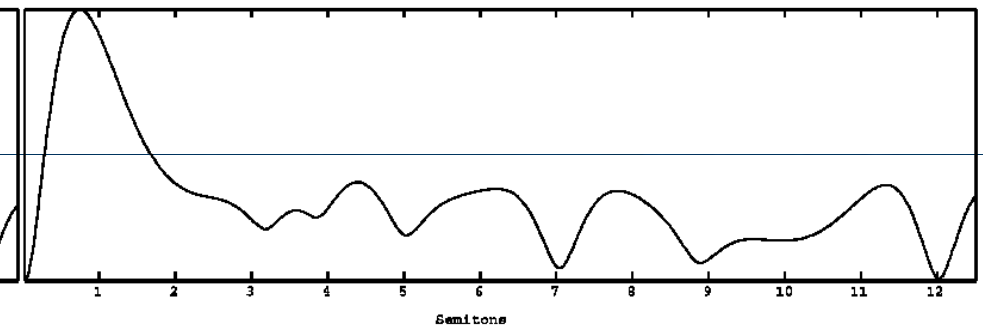
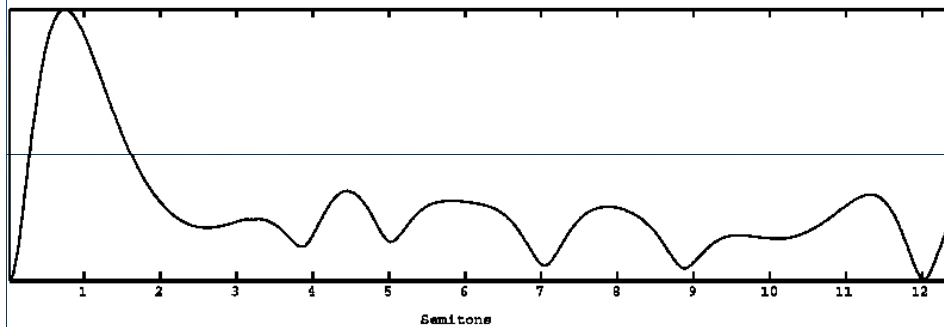
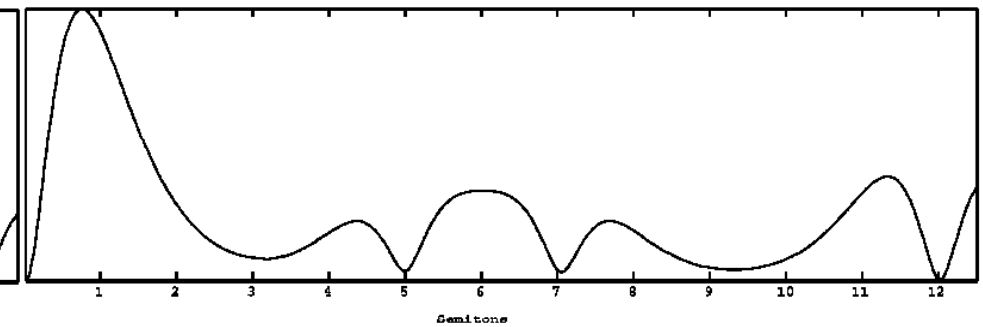
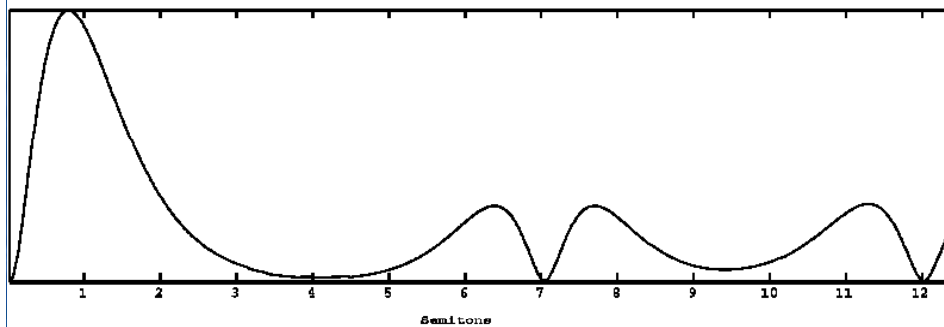
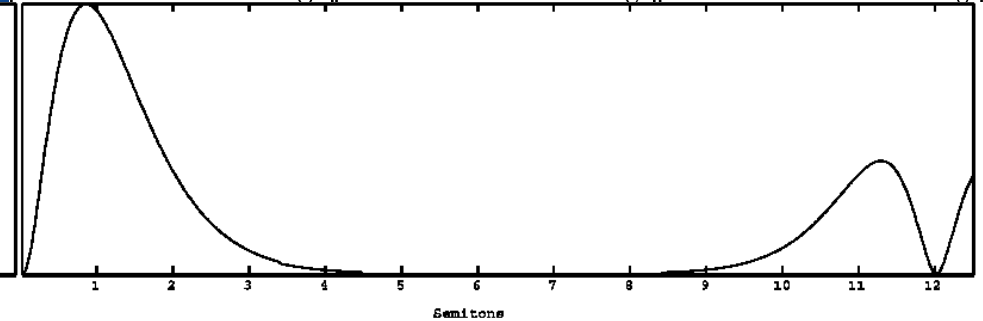
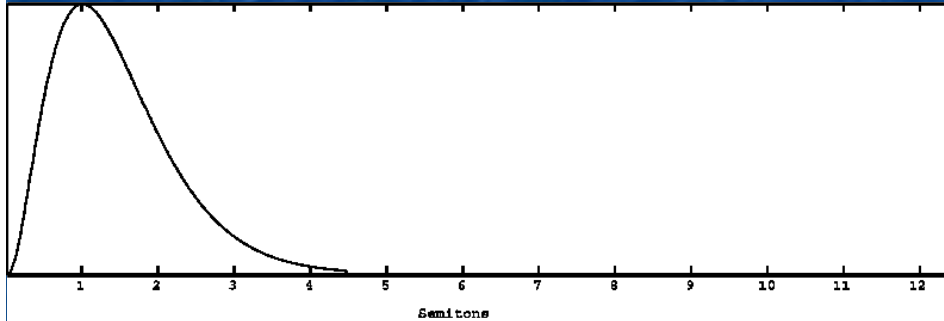
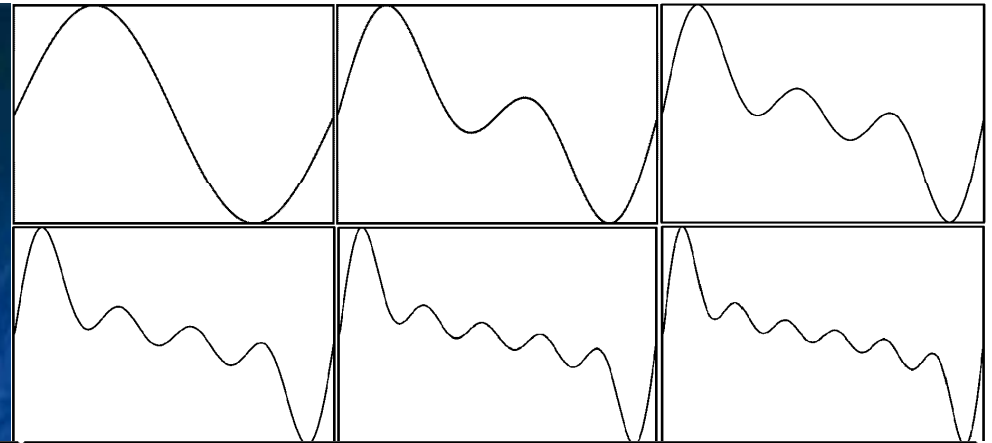


Diagrama de Fluxo do Modelo de Rugosidade



“Curvas de Rugosidade /
Dissonância Sensorial de
sons harmônicos,
ou periódicos”

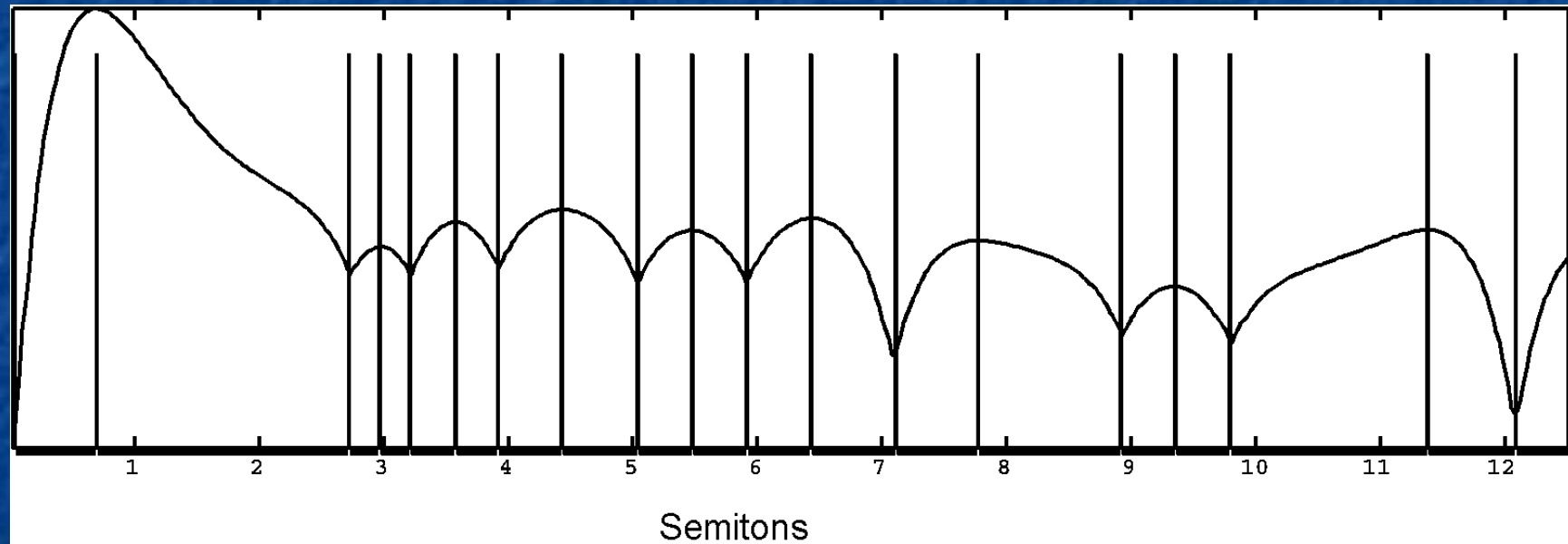


Coincidência de Parciais Harmônicas em Intervalos Harmônicos

The image displays a musical staff with two systems of staves. The upper system is a treble clef staff with 12 numbered positions (1-12) marked below it. The lower system is a bass clef staff. The notes represent the first 12 harmonics of a string instrument. The notes are: 1 (G2), 2 (B1), 3 (D3), 4 (E2), 5 (G2), 6 (B1), 7 (D3), 8 (E2), 9 (G2), 10 (B1), 11 (D3), and 12 (E2). The notes for 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, and 12 are: G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2. The notes for 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, and 12 are: G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2. The notes for 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, and 12 are: G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2. The notes for 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, and 12 are: G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2, G2, B1, D3, E2.

Exemplos de Sethares

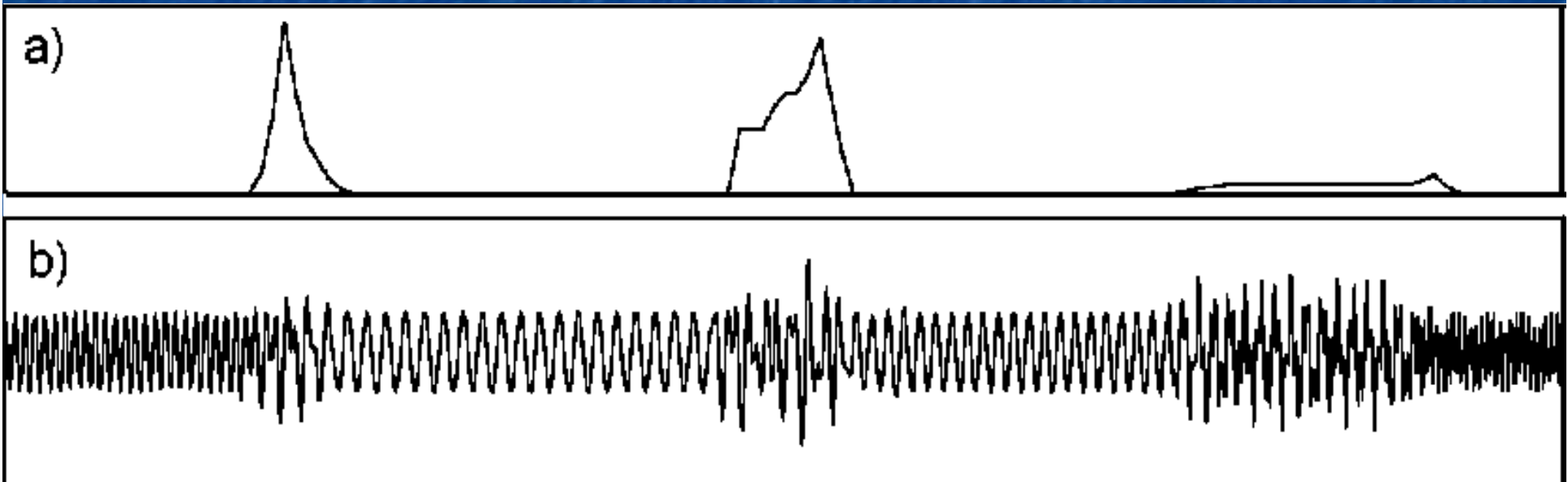
Relação de Escala/Afinação e Espectro



Espectro Ligeiramente Inarmônico

Análise de rugosidade

- Análise de Intervalos Musicais (Sistemas de Afinação)
- Análise de Sinal sonoro



Huron 2001: Fusão Tonal (Virtual Pitch e Toneness) Dissonância Sensorial (Rugosidade)

- 3 classes de intervalos harmônicos:
 - Consonâncias perfeitas (uníssonos, oitavas, quartas e quintas)

Dissonância Sensorial Baixa & Fusão Tonal Alta

- Consonâncias imperfeitas (terças e sextas maiores e menores)

Dissonância Sensorial um pouco menos Baixa & Fusão Tonal
Comparativamente baixa

- Dissonâncias (segundas e sétimas maiores e menores e o trítono).

Dissonância Sensorial Alta & Fusão Tonal Baixa

- (Não há intervalo no sistema temperado que exiba Alta dissonância sensorial e Alta fusão tonal, apesar desse efeito poder ser gerado usando uníssonos, oitavas ou quintas desafinados grotescamente.)

Sistema(tização)s de Altura(Afinação).

- Percepção de Altura e Dissonância
- Percepção de Dissonância está ligado à percepção de Altura.
 - Percepção de Altura está correlacionada aos Tons Complexos Harmônicos (Modelo Série Harmônica)
 - Modelo que se Converte para produzir uma Clara Percepção de Altura (Toneness)

Impertinência de Sistemas de Afinação

Fora do Paradigma de Percepção de Altura

- Música Textural
- Música eletroacústica (trabalho com timbre)