

Módulo 07

Física da Fala e da Audição

Percepção e Medidas de Som II

Loudness

Prof. Edmilson Manganote

Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW)

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

mangano@ifi.unicamp.br

Sound Pressure Level

Nível de Pressão Sonora - Sound pressure level, dB

$$L_p = \text{SPL} = 10 \log [(P/P_{\text{ref}})^2] = 20 \log (P/P_{\text{ref}})$$

$$\text{onde } P_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

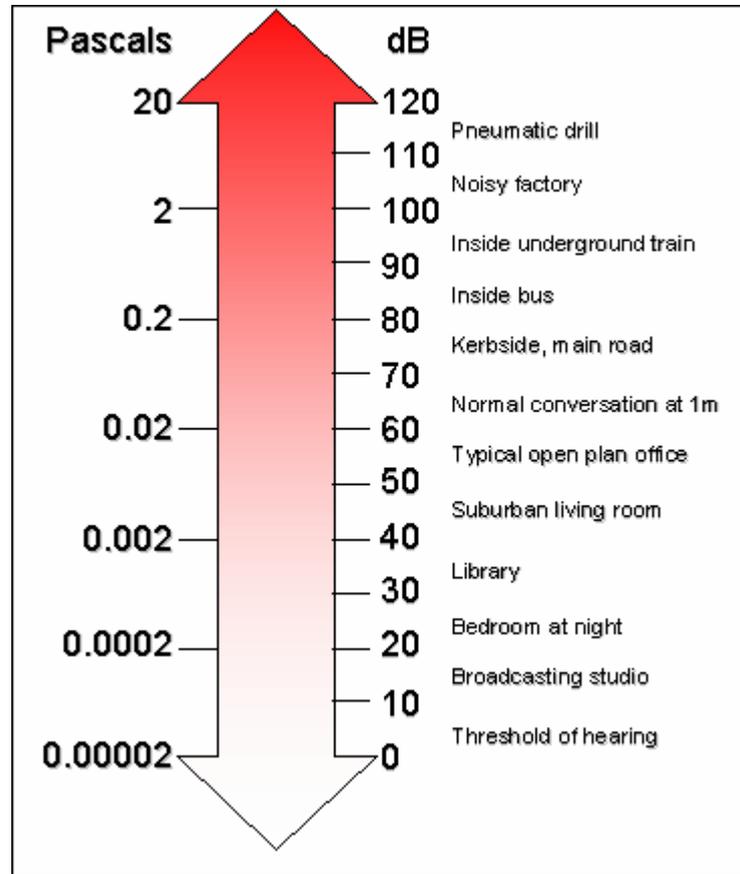
Limiar da Audibilidade

O Limiar da Dor corresponde a uma pressão 10^6 vezes maior...

Mas ainda 1000 vezes menor do que a pressão atmosférica

É o que medimos, as outras grandezas são encontradas a partir desta...

Sound Pressure Level



Intervalo Dinâmico

Sound Intensity Level / Sound Power Level

Nível de Potência Sonora - Sound power level, dB

$$L_W = SWL = 10 \log (W/W_{ref})$$

$$\text{onde } W_{ref} = 10^{-12} \text{ Watts}$$

Identifica a potência sonora total emitida por uma fonte em todas as direções

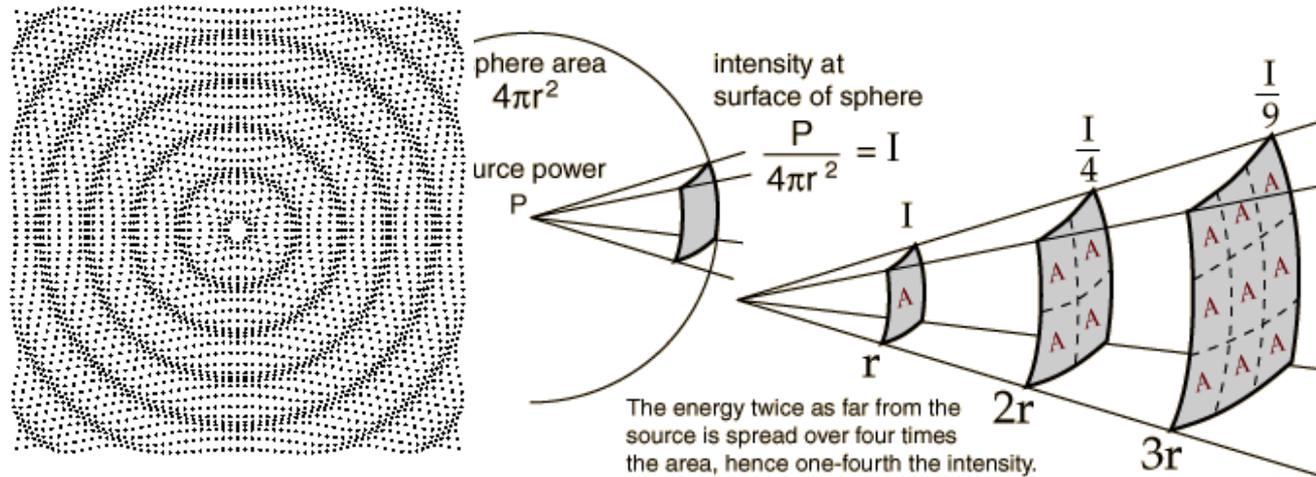
Nível de Intensidade Sonora - Sound intensity level, dB

$$L_I = SIL = 10 \log (I/I_{ref})$$

$$\text{onde } I_{ref} = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$$

Identifica a potência sonora por unidade de área

Sound Intensity Level / Sound Power Level



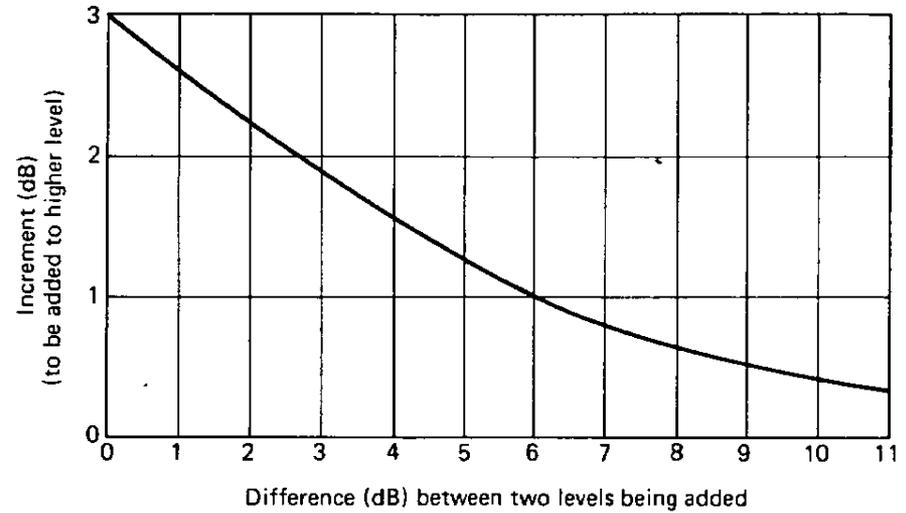
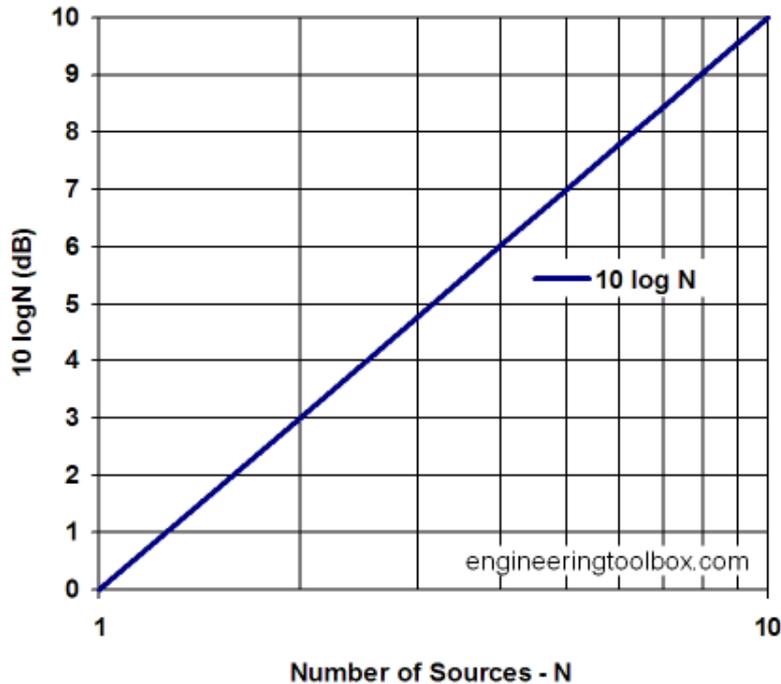
$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

→ O Nível de Intensidade Sonora diminui 6 dB cada vez que a distância é duplicada

Múltiplas Fontes

Regra Prática,
Fontes diferentes

Adição de fontes iguais,
não correlacionadas



Diferença entre sons (dB)	Somar ao maior
0 a 1	3
> 1 a 4	2
> 4 a 9	1
Mais que 9	0

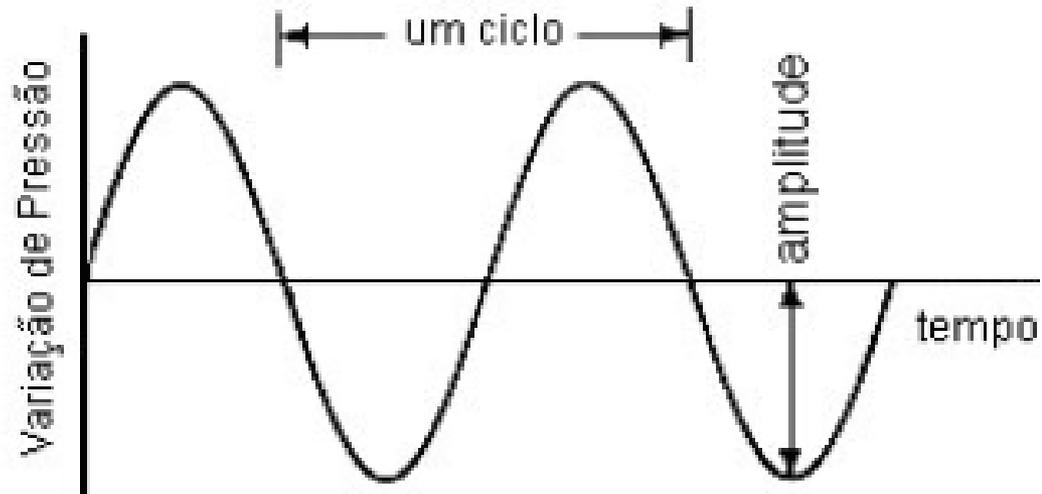
Múltiplas Fontes

Exercícios:

- 1) Se a pressão sonora, devida a uma fonte 1, num certo ponto é P_1 e a pressão sonora devida a uma fonte 2 é P_2 , qual será o nível de pressão sonora devido a ambas as fontes no mesmo ponto?
- 2) Quando um violino está sendo tocado, observa-se que o nível de pressão sonora em um certo local é de 50 dB, se tivermos três violinos tocando juntos (com a mesma intensidade) qual será o nível de pressão sonora no mesmo ponto?

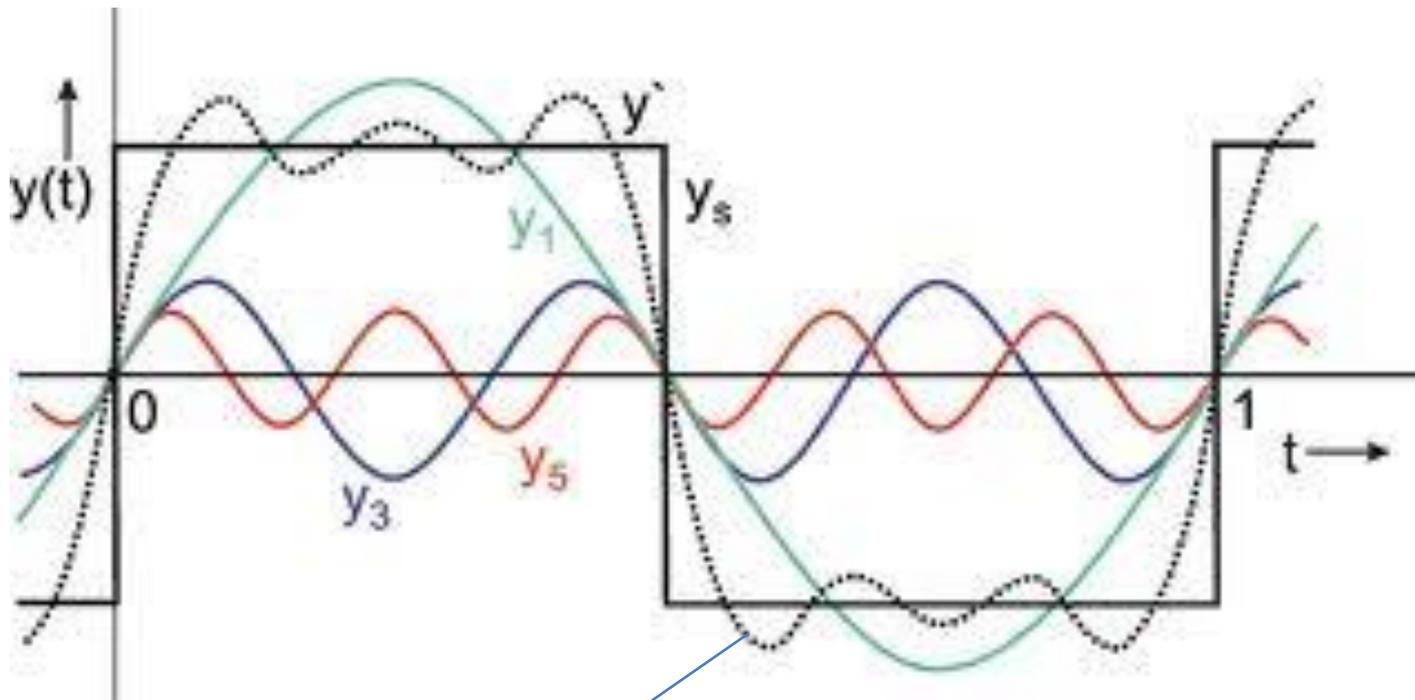
Espectro Sonoro

Um tom puro (ou tom senoidal) possui apenas uma componente espectral



Espectro Sonoro

Um tom complexo é o resultado de uma vibração complexa, é a somatória de vibrações simples



É o resultado da soma: $y_1 + y_3 + y_5$

Loudness

O que é? Sensação Auditiva?

O ouvido humano não é igualmente sensível para todas as frequências! Por quê?

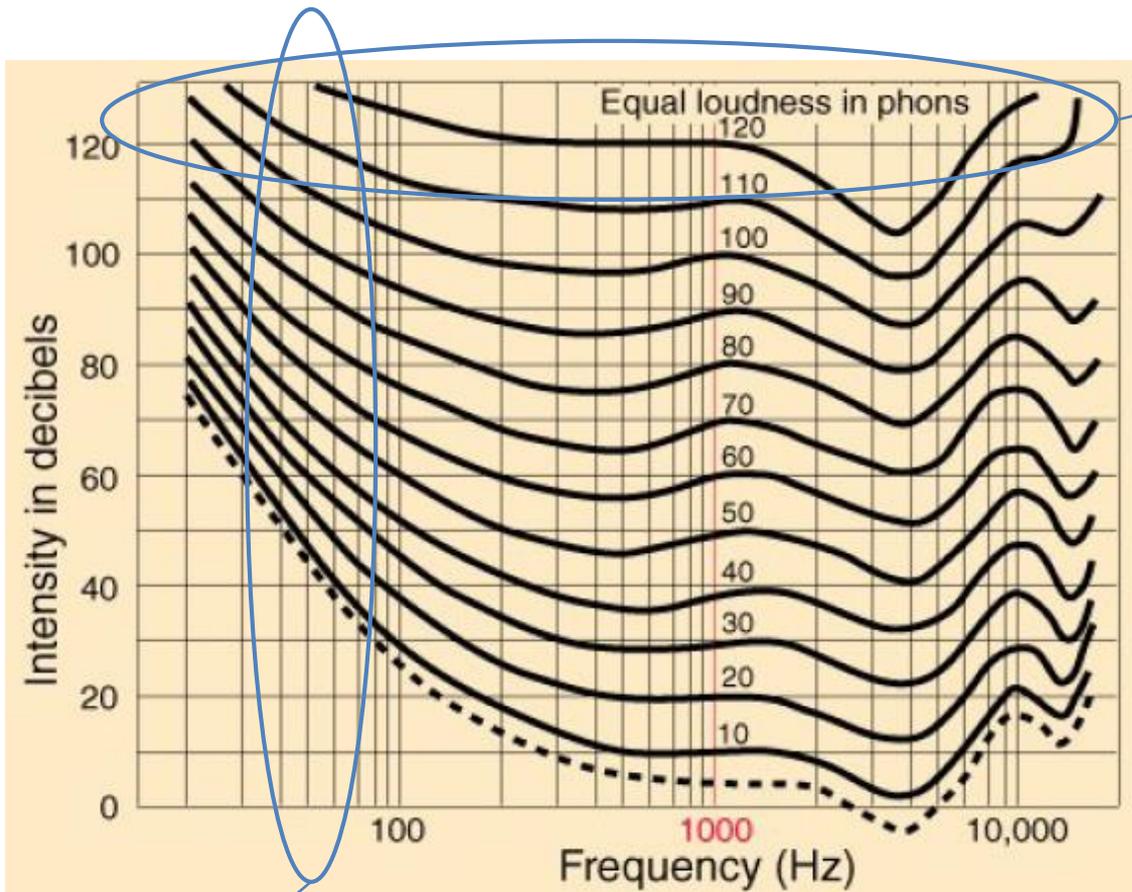
Quais são as relações existentes entre as alterações nas propriedades físicas das vibrações sonoras (intensidade, frequência) e as correspondentes alterações subjetivas na sensação auditiva (loudness)?

Curvas Isoaudíveis ou Isofônicas

Loudness X frequência

- Curvas Isoaudíveis ou Isofônicas de Fletcher e Munson (1933)
- Determinaram em quais intensidades, tons de diferentes frequências seriam percebidos com o mesmo *loudness* de um tom de 1000Hz tomado com referência
 - Essas curvas representam o resultado de um grande número de experiências psicoacústicas feitas em diferentes condições
 - As curvas finais obtidas representam o resultado da média estatística das pesquisas feitas sobre um grande número de pessoas jovens, entre 18 e 25 anos, em condições normais (grupo de indivíduos otologicamente normais)

Curvas Isoaudíveis ou Isofônicas

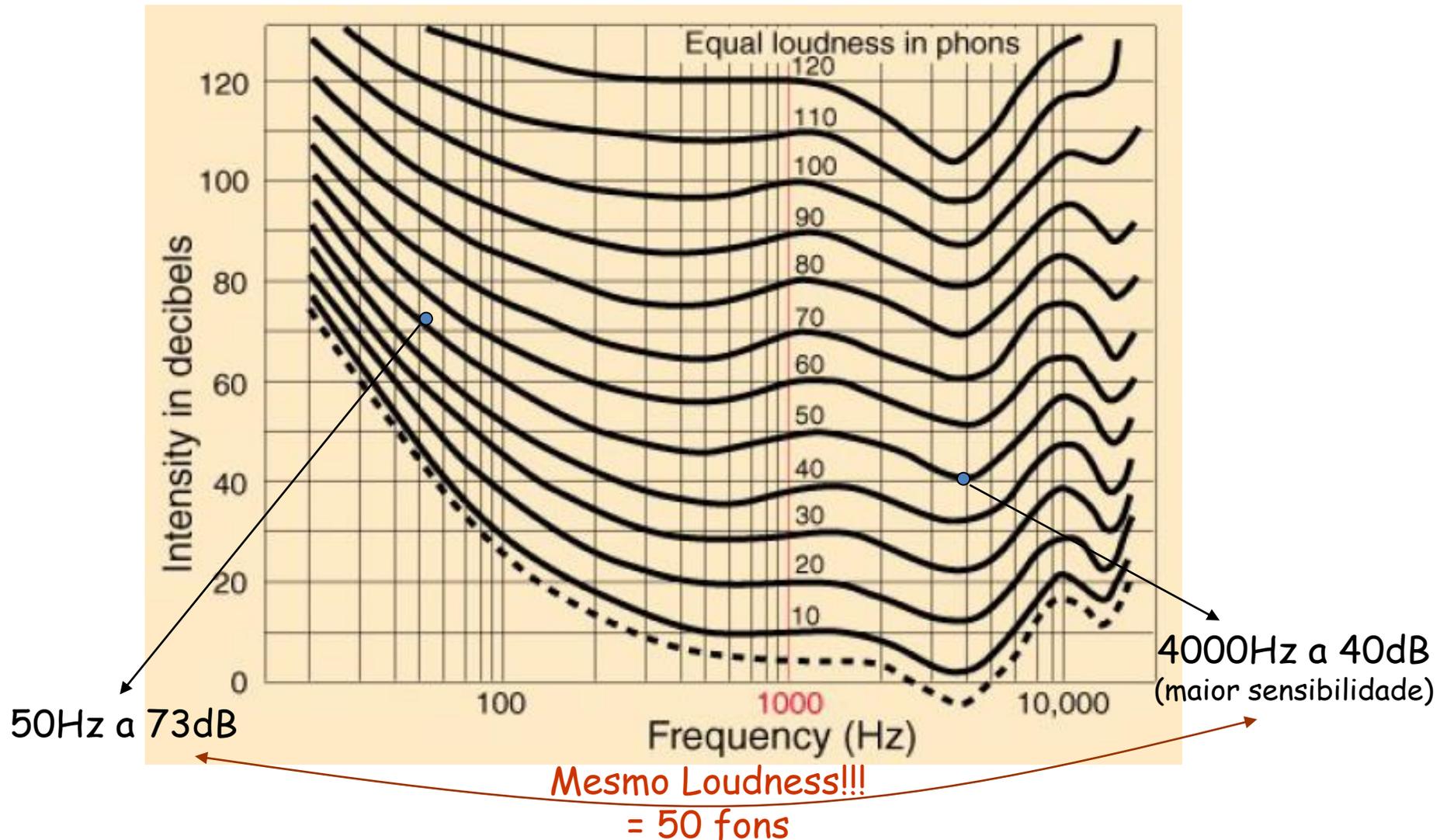


Curvas tendem a se achatarem à medida que a intensidade aumenta

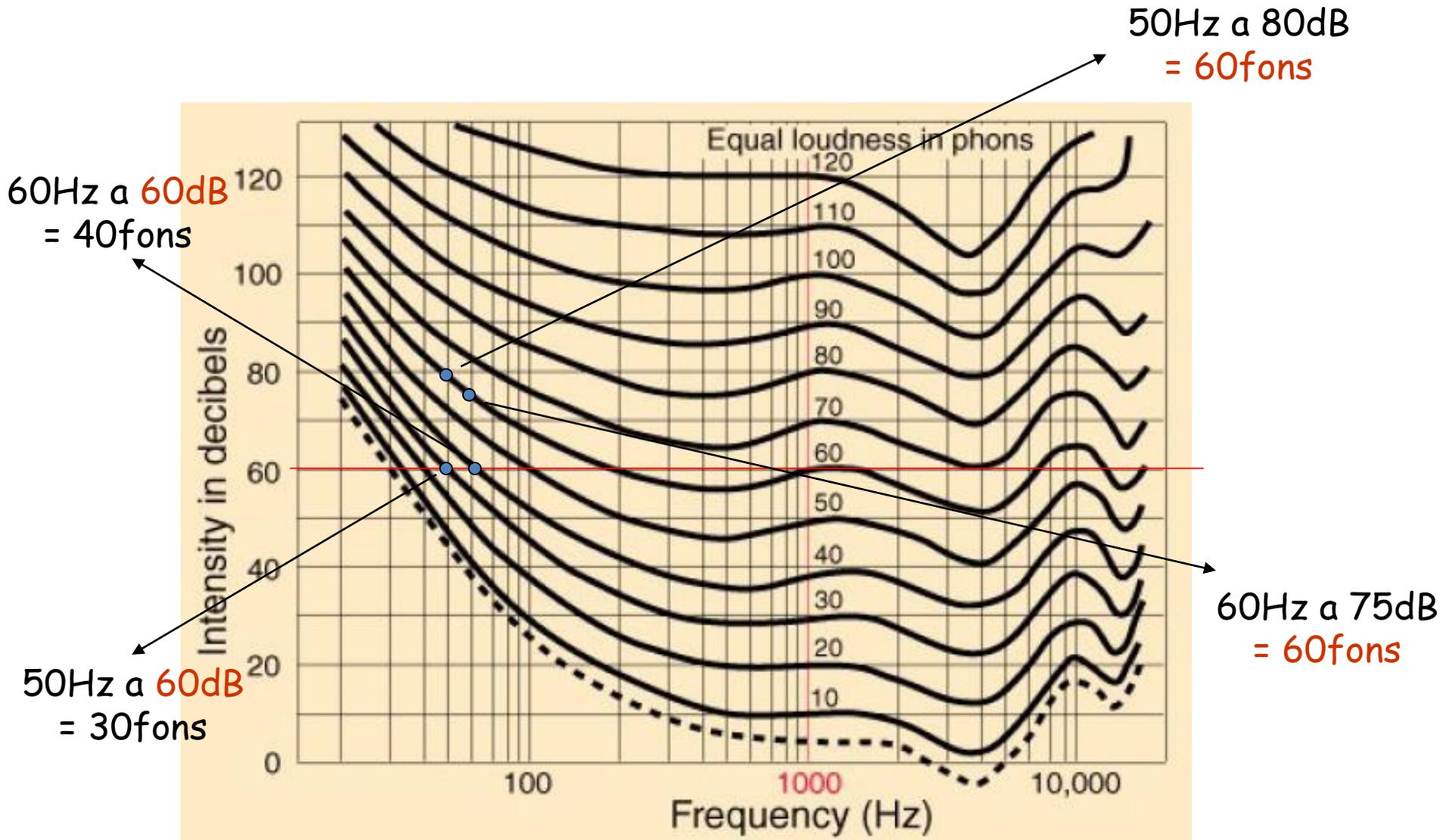
Mostram o contorno dos níveis de *loudness* ou contornos isoaudíveis, e expressam como a sensação subjetiva de como intensidade de um tom puro de determinado nível de pressão sonora varia com a frequência

Sensibilidade diminui com as baixas frequências

Curvas Isoaudíveis ou Isofônicas

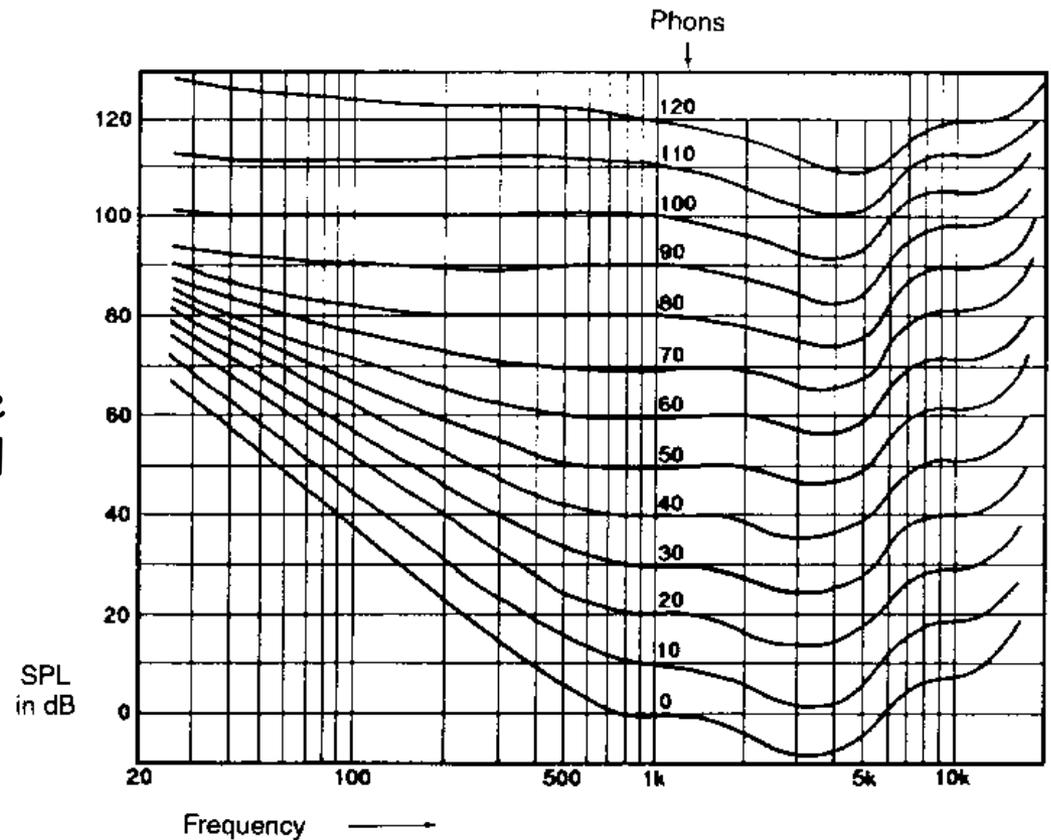


Curvas Isoaudíveis ou Isofônicas



Exercício

Considere a Figura ao lado, que representa as curvas de igual audibilidade ou isofônicas.



- Qual é o intervalo dinâmico aproximado (em dB) em 30 Hz e em 5000 Hz?
- Ao ouvir um tom puro de 40 dB, qual é a sensação de intensidade (loudness) que uma pessoa tem caso esse tom tenha frequências de 90 Hz e 1000 Hz, respectivamente?
- Um tom puro de 3 kHz deve ter aproximadamente que nível de pressão para parecer com o mesmo loudness de um tom puro de 200 Hz que tem um nível de pressão de 30 dB? Quantos fons isso representa? E quantos sons?

Loudness de Tons Puros: Sones

Lei de Fechner: Escala logarítmica para Sensação X Estímulo

Sone: Loudness de um sinal de 1000Hz num nível sonoro de 40 dB (40 fons)

As grandezas acústicas costumam ser indicadas em decibéis. Por exemplo, para dobrar o volume de um som de 1 kHz, aumenta-se a pressão acústica em 10 dB-SPL

No entanto, ao invés de se falar "aumentar 10 dB", alguns podem preferir a frase "dobrar o volume". O Sone é uma maneira de expressar uma grandeza em *número de vezes o valor de referência*, estabelecida em 40 dB-SPL

Loudness de Tons Puros: Sones

Para níveis de loudness de 40 fons ou mais, a loudness em sones será dada, segundo recomendação da ISO (International Standard Organization) por:

$$S = 2^{(L_L - 40)/10}$$

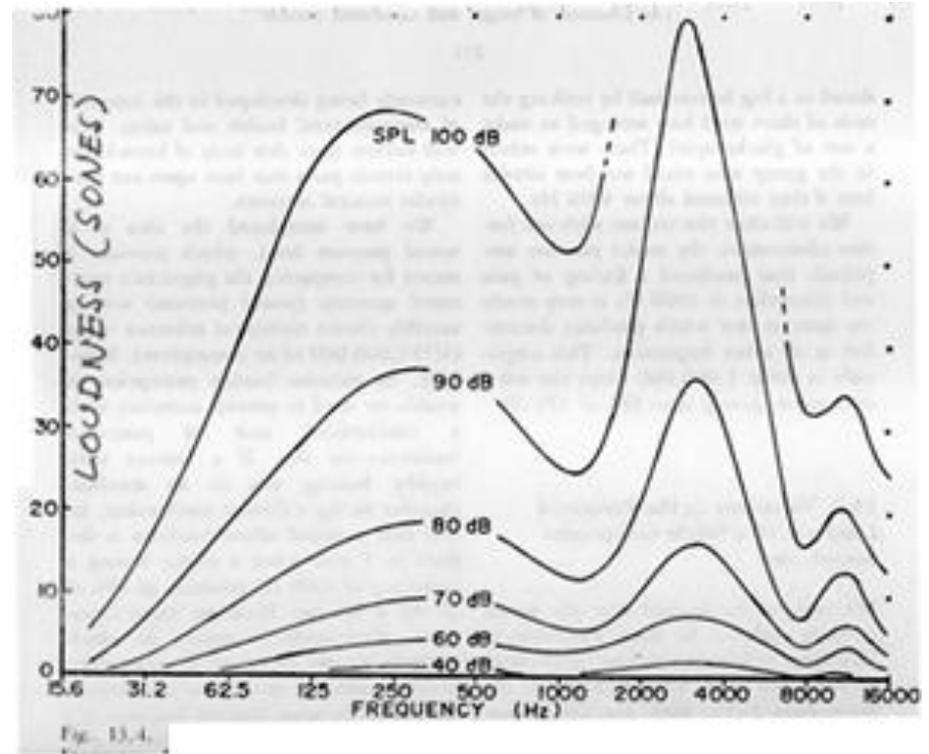
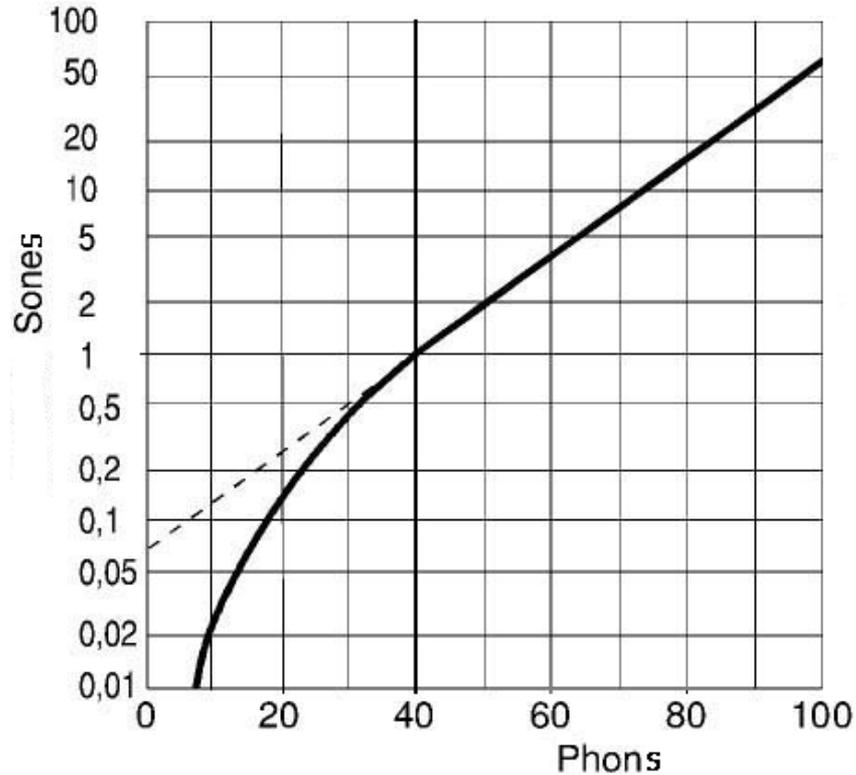
L_L : nível de loudness em fons

Expressões equivalentes:

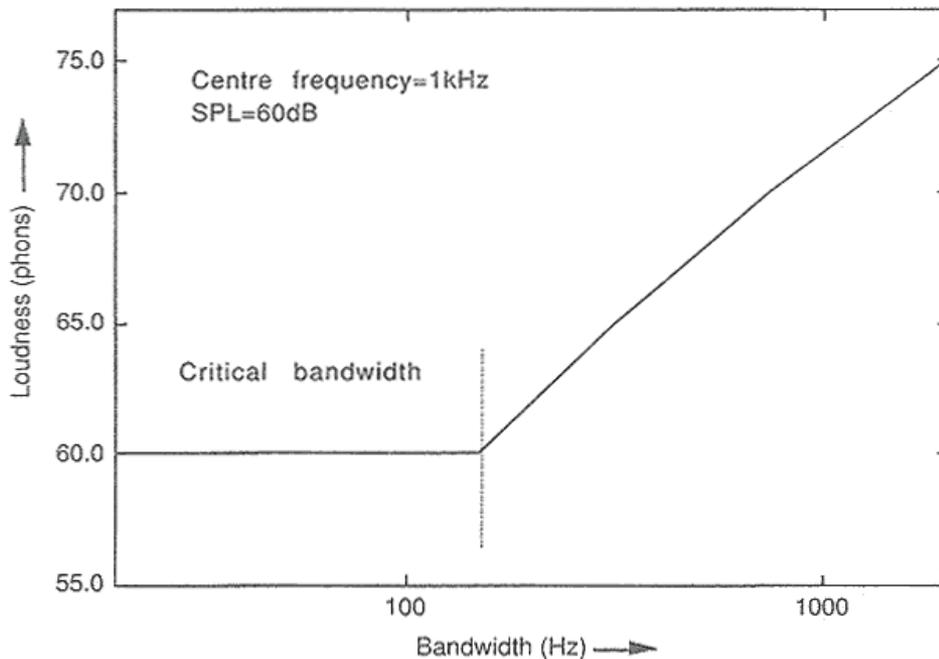
$$S = Cp^{0,6}$$

$$S = K(p - p_0)$$

Loudness de Tons Puros: Sones



Loudness de Tons Complexos



Nosso intervalo auditivo é coberto por cerca de 24 bandas críticas. Cada uma correspondendo, aproximadamente, a 1.3 mm na membrana basilar. Sua largura varia com o valor da frequência central.

Ao ouvir dois sons puros, mas cuja separação em frequência vai aumentando, observamos que quando esta separação excede a banda crítica a Loudness começa a aumentar...Por quê? O estímulo estende-se por mais de uma banda...

Dinâmica Musical e Loudness

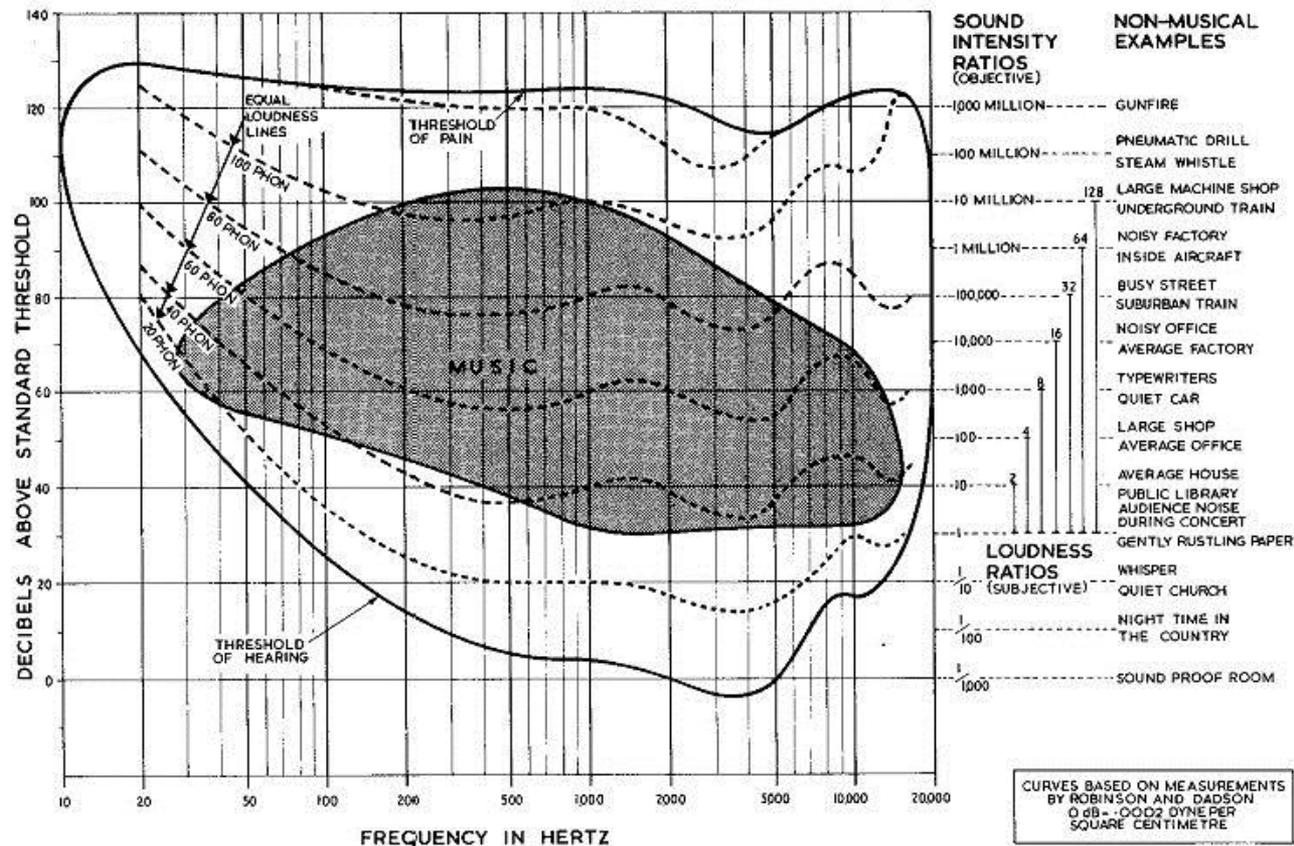


Fig. 7 Place of music within the sensitivity range of human hearing. All limits are approximate and statistically determined.

Dinâmica Musical e Loudness

Intervalo dinâmico é a diferença entre o som de menor intensidade e o som de maior intensidade que pode ser medido.

Padrões

fff as fortissimo as possible

ff fortissimo (very loud)

f forte (loud)

mf mezzo forte (moderately loud)

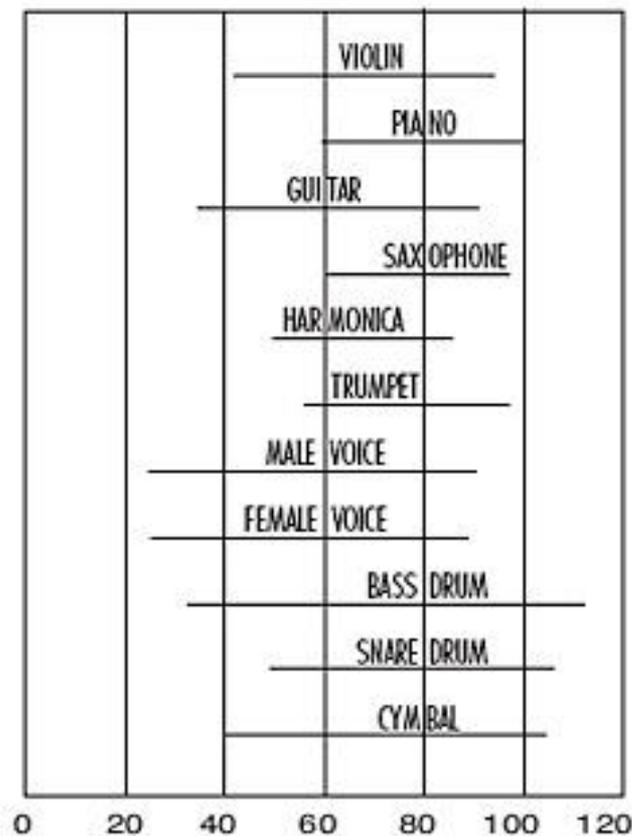
mp mezzo piano (moderately soft)

p piano (soft)

pp pianissimo (very soft)

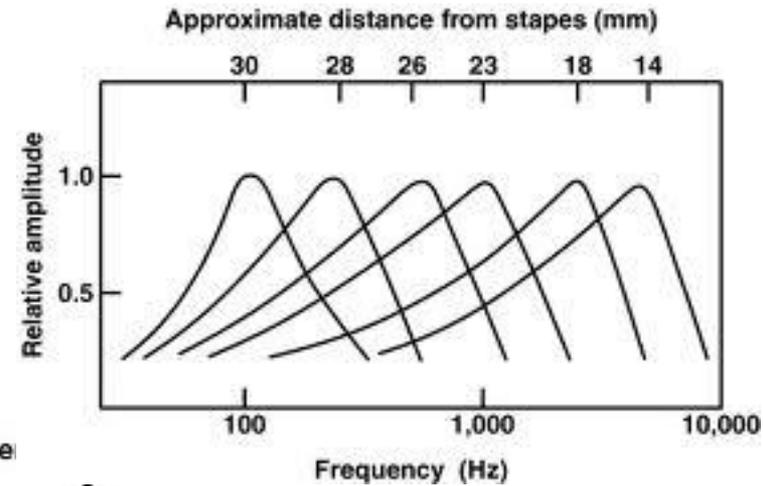
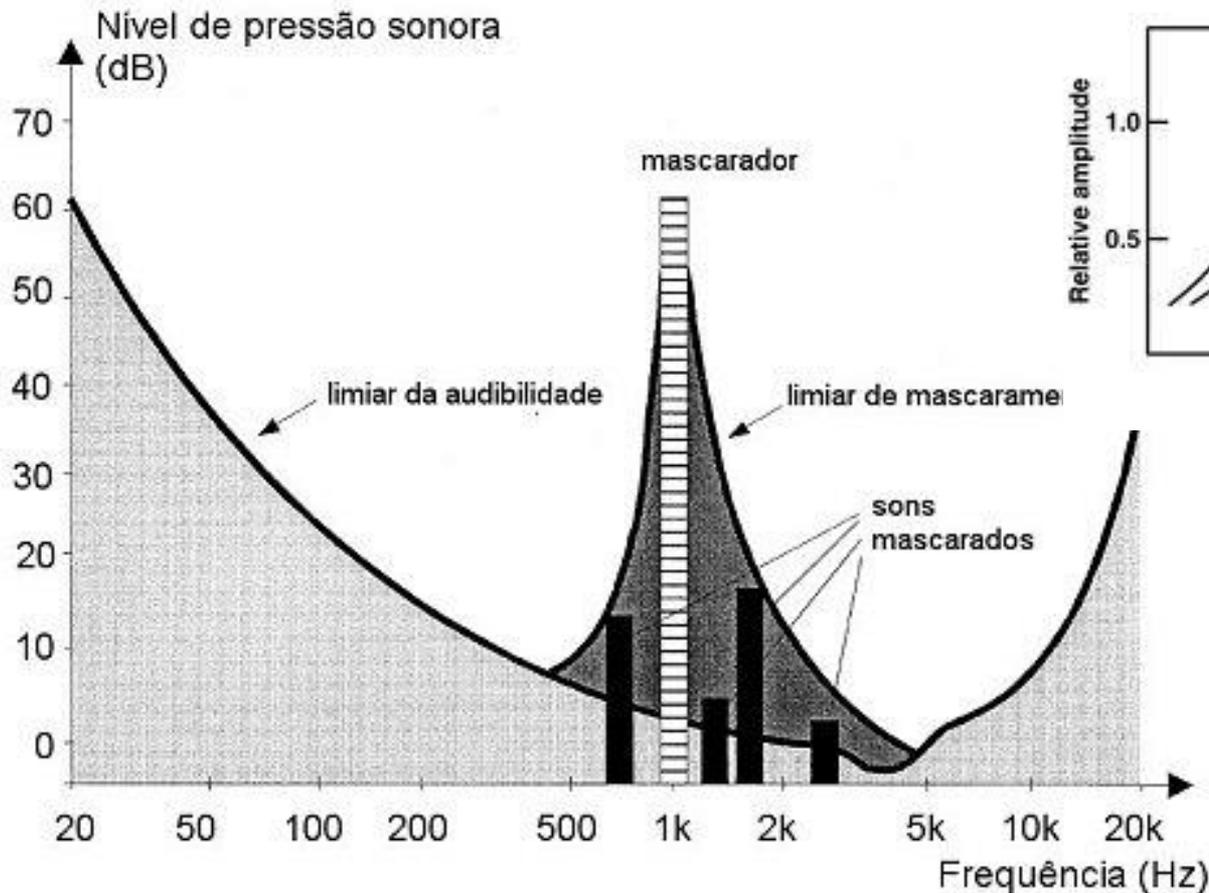
ppp as pianissimo as possible

Intervalos Dinâmicos



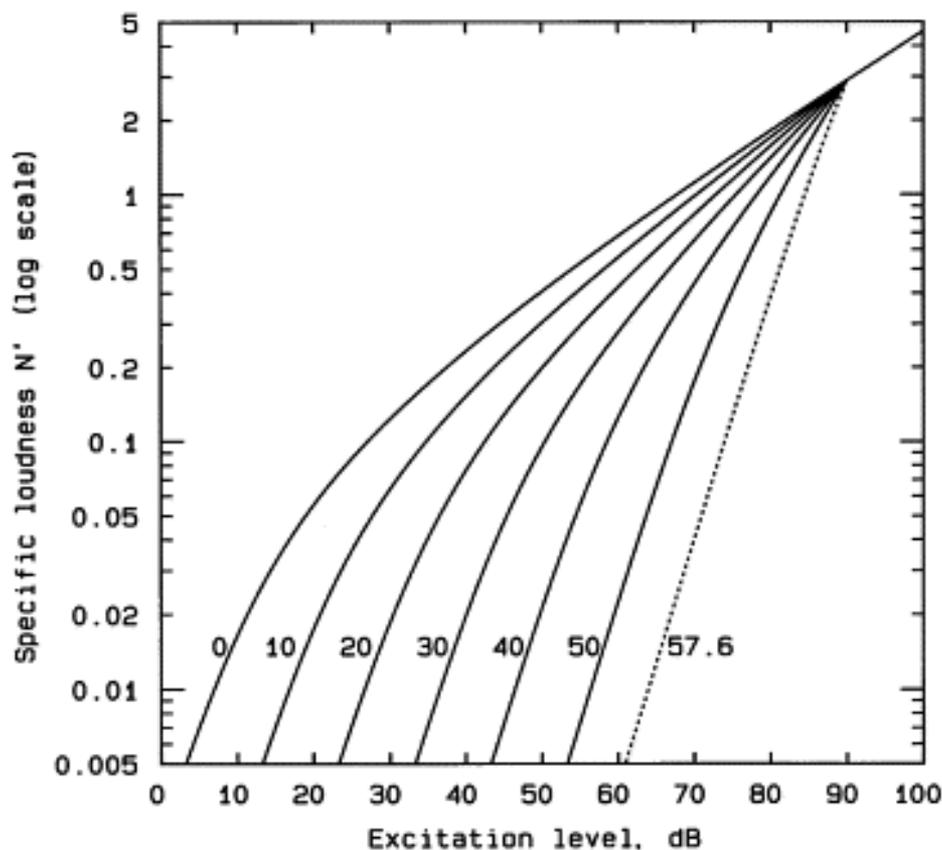
Mascaramento

Quando somos expostos a dois ou mais tons diferentes, um pode mascarar o outro – dependendo das frequências dos tons e de suas loudness.

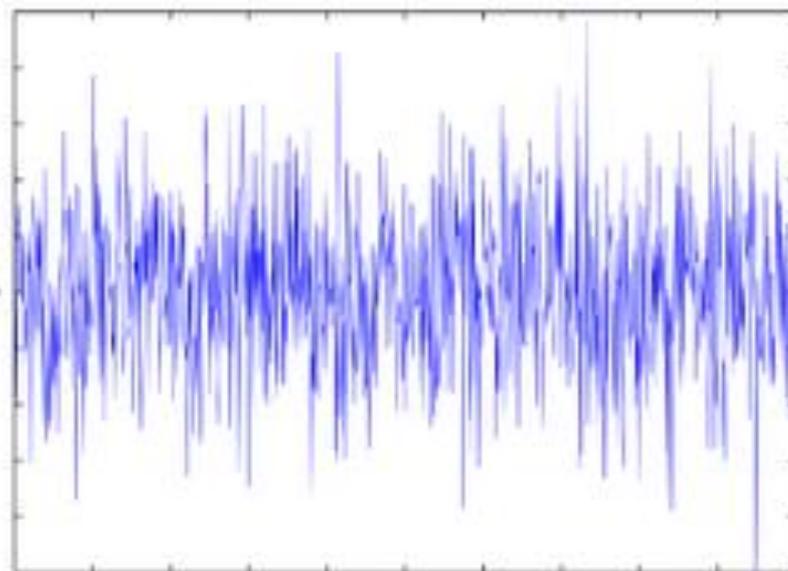


Redução de Loudness por Mascaramento

A presença de outros sons aumenta o limiar de audibilidade para um dado som e, também, reduz sua loudness.



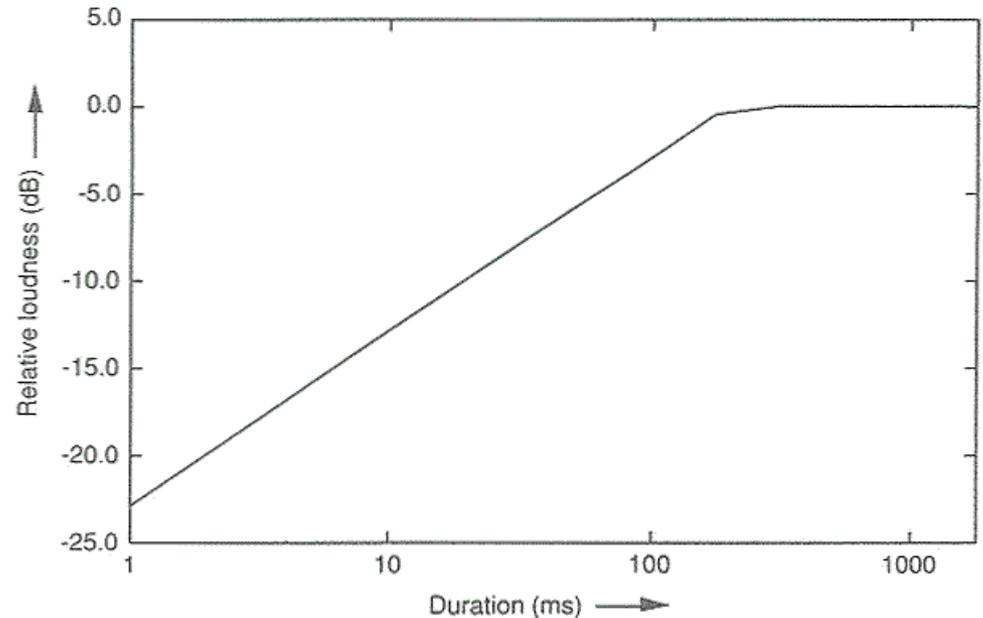
O **ruído branco** é um tipo de ruído produzido pela combinação simultânea de sons em todas as frequências.



Sons Impulsivos e Adaptação

Para sons que excedem 85 dB temos o **Reflexo Acústico**.

Inicia-se 30-40 ms após o início da sobrecarga sonora e não se repetirá num intervalo de 150 ms, ou mais...



Adaptação: A Loudness diminui com o estímulo prolongado.

Fadiga: A exposição a sons muito intensos afeta a nossa capacidade de ouvir outros sons na sequência.

Exercícios:

- 1) Que nível de pressão sonora é necessário para produzir um som audível em 50, 100, 500, 1000, 5000 e 10000 Hz?
- 2) Se dois sons diferem, em nível, de 46 dB, qual é a razão entre suas pressões sonoras? E entre suas intensidades?
- 3) Encontre a pressão sonora e a intensidade de um som com $L_p = 50$ dB.