

Acústica e áudio High-End

A Acústica e o Áudio High-End no Topo do Pinheiro



By Knirsch Áudio & Vídeo Ltda. — www.byknirsch.com.br



Reprodução Sonora

**Hoje, já é possível
reproduzir um
acontecimento musical
como ele foi gravado "ao
vivo"**



Reprodução Sonora

- “Todo e qualquer sistema de reprodução tocará diferente em diferentes salas”
- “A sala é mais um instrumento musical que participa ativamente na reprodução sonora alterando o som original “de todos os instrumentos”

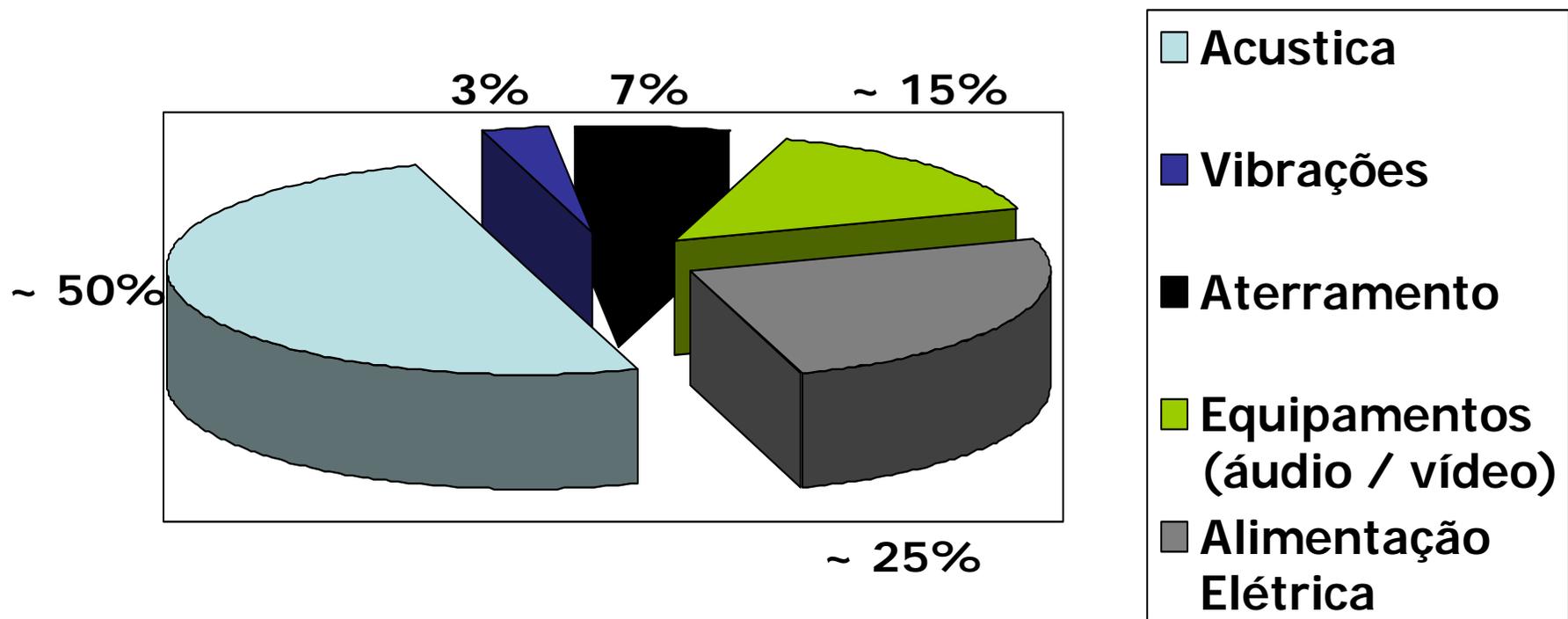


Os Elementos em Uma Reprodução Sonora

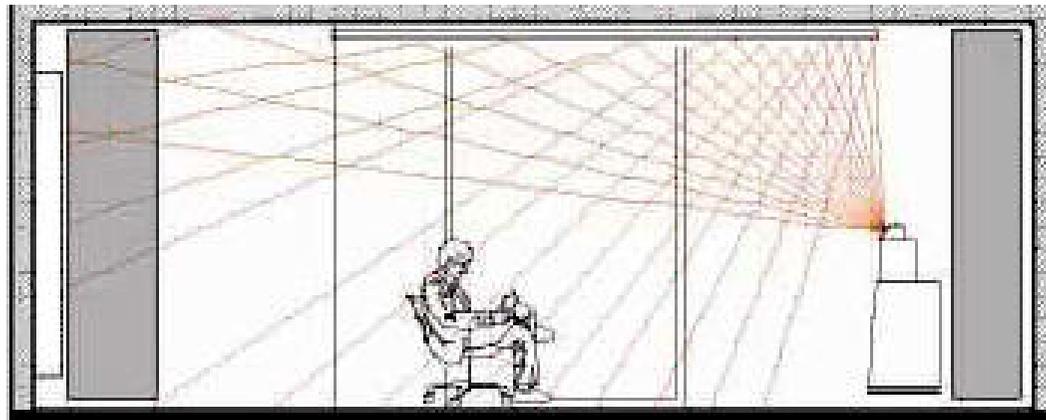
- **Acústica (sala e ambiente)**
- **Energia Elétrica**
- **Equipamentos**
- **Aterramento**
- **Vibrações**
- **Acessórios**



A Importância Relativa dos Elementos de uma Reprodução



Dicas Gerais: O Ambiente faz a Música



A acústica da sala de audição tem grande influência no resultado sonoro obtido. Influi sobremaneira no equilíbrio tonal, no palco sonoro e na dinâmica. Na região das baixas frequências, a acústica de uma sala não tratada é determinante na audição e no resultado final. Eis algumas dicas:



Dicas Gerais: O Ambiente faz a Música

- **Dê preferência a ambientes grandes** para a reprodução do som. Ambientes abaixo de 100m^3 são considerados pequenos, propiciando muitos problemas com ondas estacionárias. Ambientes acima de 200m^3 já são considerados grandes e são melhores para a reprodução de som.
- **Dê preferência a ambientes em forma de paralelepípedo, tipo "caixa de sapato"**. As três medidas, comprimento, altura e largura, são muito importantes, como também a relação entre elas, ou seja, essas medidas não devem ser múltiplas entre si nem deve haver fatores comuns entre elas. Caso vá construir a sala, consulte um engenheiro acústico para ser orientado quanto às melhores medidas para o volume disponível.
- **Evite de todas as maneiras**, no ambiente, paredes quadradas, ou côncavas, ou então **salas esféricas ou cúbicas**.



Dicas Gerais: O Ambiente faz a Música

- **Procure colocar as caixas acústicas ao longo da menor largura e o ponto de audição ao longo do comprimento.**
- **Os volumes livres, de ambos os lados de um plano imaginário vertical que passa entre as caixas acústicas e o ouvinte, devem ser iguais, para que exista simetria.** A simetria é um pré-requisito para um melhor palco sonoro.
- **O ambiente, ou sala para a reprodução de som, não deve ser vivo nem morto, mas seco,** com um tempo de reverberação recomendado abaixo de 1,0s em todo o espectro de frequências audíveis. Caso sua sala seja viva ou morta, necessitará de um tratamento acústico específico. Consulte um acústico. **Salas vivas, de forma geral, são boas para gravações acústicas. Salas secas são indicadas para audições de som reproduzido eletronicamente.** A melhor sala de audição é a Sala de Audição Crítica conforme proposta de norma *IEC 60.268-13*.



Dicas Gerais: O Ambiente faz a Música

- Evite uso abusivo de cortinas, tapetes, carpetes, espumas, isopores, colchões, etc., para não transformar a sua sala em sala morta, com ressonâncias nos graves.
- Em salas pequenas ($< 100\text{m}^3$), posicione as caixas acústicas, entre 1,0m e 1,5m da parede do fundo e entre 0,5 e 1,3m das paredes laterais. Caso deseje saber a melhor posição para as suas caixas, consulte um engenheiro acústico, que poderá determinar o local exato, através de cálculos, em função do comprimento, largura e altura da sua sala, reduzindo em muito o problema com ondas estacionárias.
- A melhor posição do ouvinte deve ficar em um vértice de um triângulo equilátero, onde os outros dois vértices são formados pelas caixas acústicas. O ouvinte poderá ficar até um metro para trás daquela posição (agora no vértice de um triângulo isósceles), sempre dentro do plano vertical imaginário.



Dicas Gerais: O Ambiente faz a Música

- O ouvido do ouvinte deve ficar na mesma altura dos alto-falantes dos agudos das caixas acústicas. Faça ajustes alterando a altura das caixas acústicas ou a altura do assento do ouvinte.
- De forma geral, afastar as caixas frontais do chão, colocando alguma base ou *spikes*, assim como afastá-las do fundo da sala e/ou das paredes laterais pode reduzir graves.
- Ajuste o equilíbrio tonal dos agudos aplicando *toe-in* nas caixas acústicas frontais. Verifique as recomendações do fabricante das caixas.
- Tenha o hábito regular de ouvir muita música ao vivo (sem eletrônica) para ter uma percepção musical mais equilibrada e poder ajustar melhor seu sistema.



Dicas Gerais: O Ambiente faz a Música

- Estes pontos acima arrolados melhoram o resultado sonoro do seu sistema de reprodução de áudio de forma determinante, independente de seu valor
- Ao divulgar comparações de equipamentos, se sua sala não for tratada, seria importante mencionar o volume do ambiente e os equipamentos usados. O resultado sonoro poderá variar muito de sala para sala e de sistema para sistema. Para se fazer comparações idôneas e embasadas, com bom fundamento sonoro, a sala deve se aproximar de uma Sala de Audição Crítica (*Balanced Listening Room*) conforme proposta de norma *IEC 60.268-13*.



O Ar e o Ambiente

- <http://positron.ps.uci.edu/~dkirkby/music/html/demos/PlaneWave/StillAir.html>

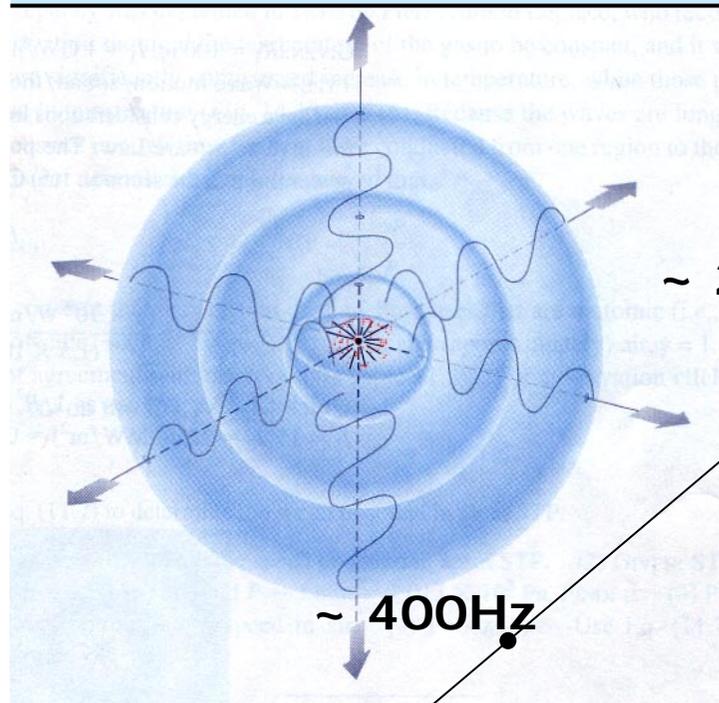


Onda Sonora

- <http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/waves/wavemotion.html>



Onda Sonora - Difração



Esférica

Baixa Frequência

Raio
(óptica)

Alta Frequência

~ 2000 Hz

Transição

~ 400Hz

$$v_s = lf$$

v_s = velocidade do som

$$v_s = 332 \sqrt{\frac{1 + T (^{\circ}\text{C})}{273}}$$

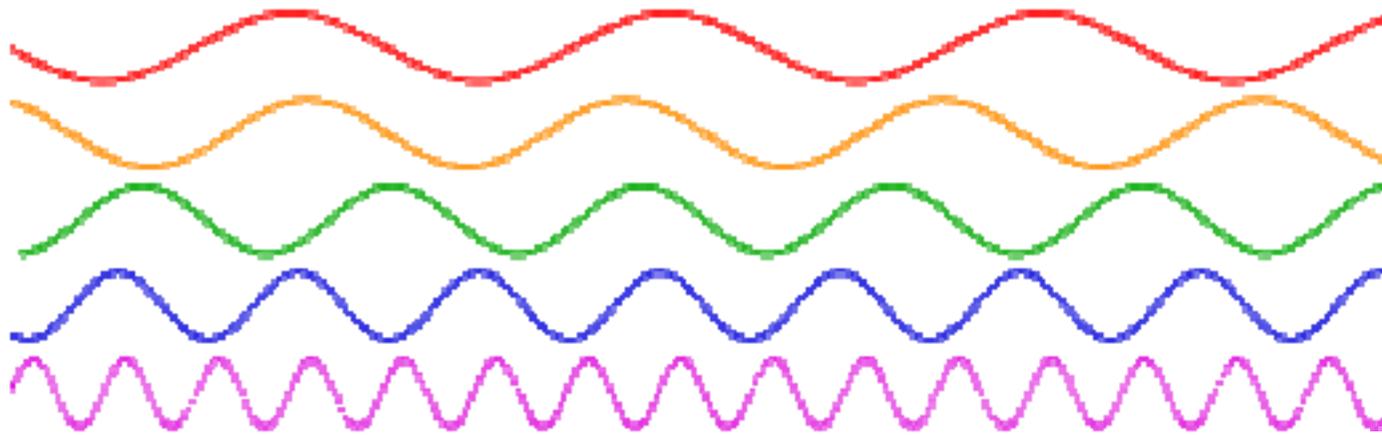
$T = 20 ^{\circ}\text{C}$ $v_s = 344 \text{ m/s}$

l = comprimento de onda (m)

f = frequência (Hz, ciclos/s)



Frequência



Período

$$T = 1 / f$$



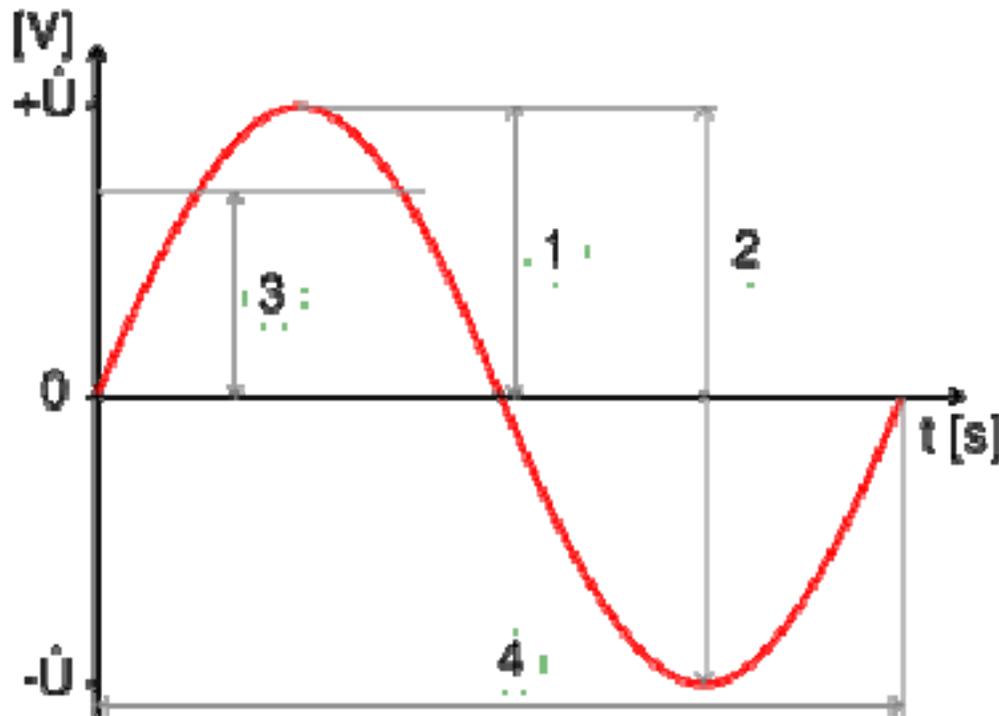
Comprimento de Onda

$$v = \lambda * f$$

λ (m)	17.200	1.720	0.170	0.017
f (Hz)	20	200	2.000	20.000



Amplitude de Onda

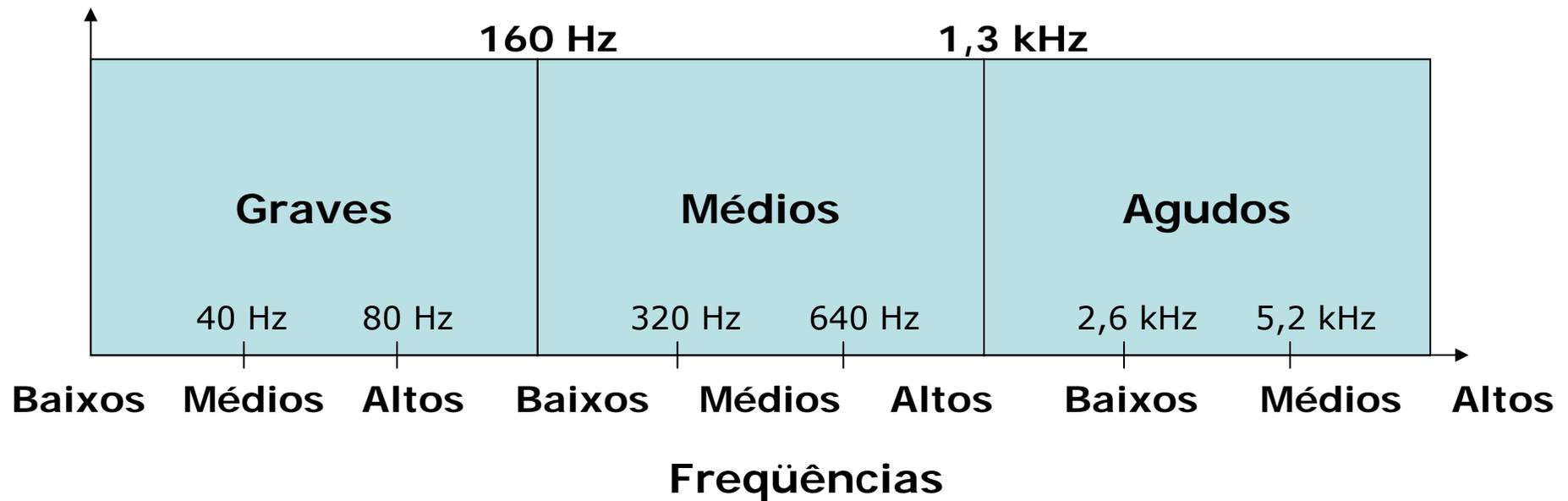


1	Amplitude
2	Pico a Pico
3	RMS



Graves, Médios e Agudos

Volume

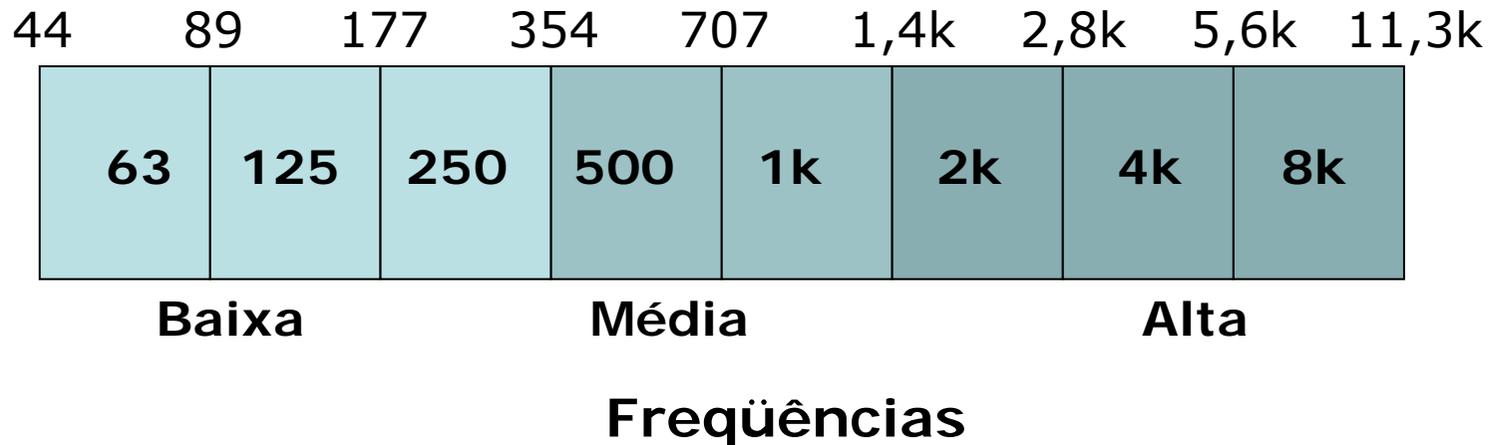


O Espectro Sonoro

As Oitavas

$$f_c = \frac{\sqrt{2}}{f_u}$$

$$f_c = \sqrt{2} \cdot f_s$$



O Espectro Sonoro

Centro das Terças de Oitava

$$f_2 = \sqrt[3]{2} \cdot f_1$$

$$\sqrt[3]{2} = 1,26$$

50	800
63	1,000
80	1,250
100	1,600
125	2,000
160	2,500
200	3,150
250	4,000
315	5,000
400	6,300
500	8,000
630	10,000



Pressão Sonora

$$p = F / A$$

$$SL = SPL \text{ (dB)} = 20 \log_{10} (p / p_{\text{ref}})$$

$$p_{\text{ref}} = 20\mu\text{Pa}$$

$$1 \text{ Pascal (N/m}^2\text{)} = 94 \text{ dB}$$



Intensidade Sonora

Potência / m² → W / m²

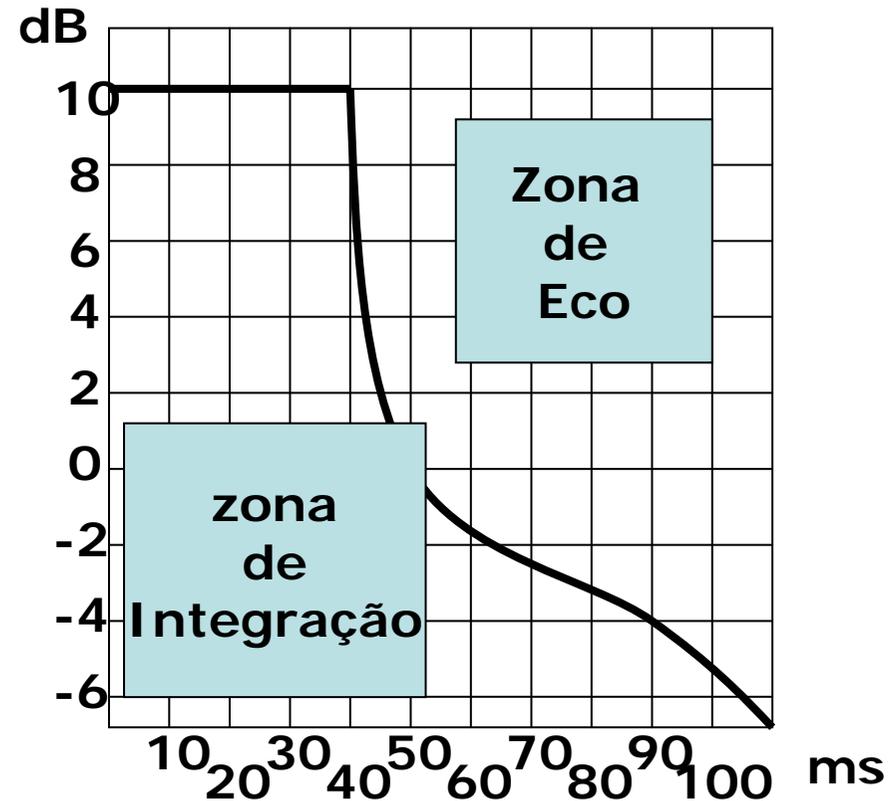
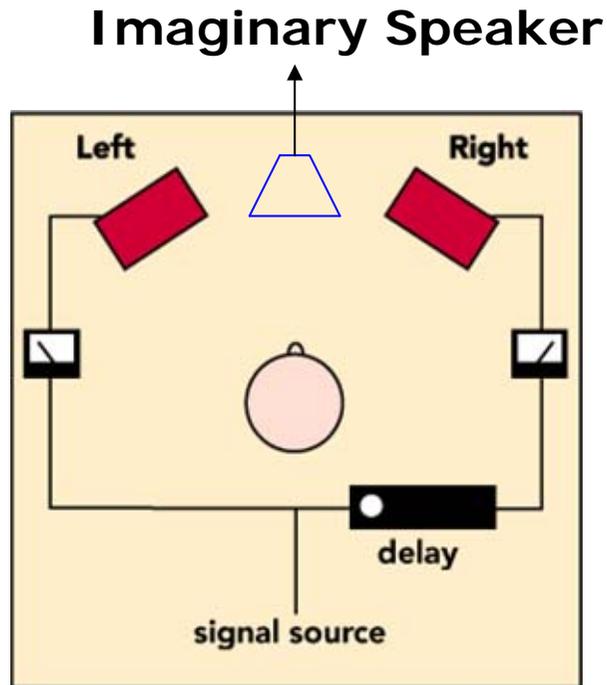
$$I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Nível de Intensidade Sonora

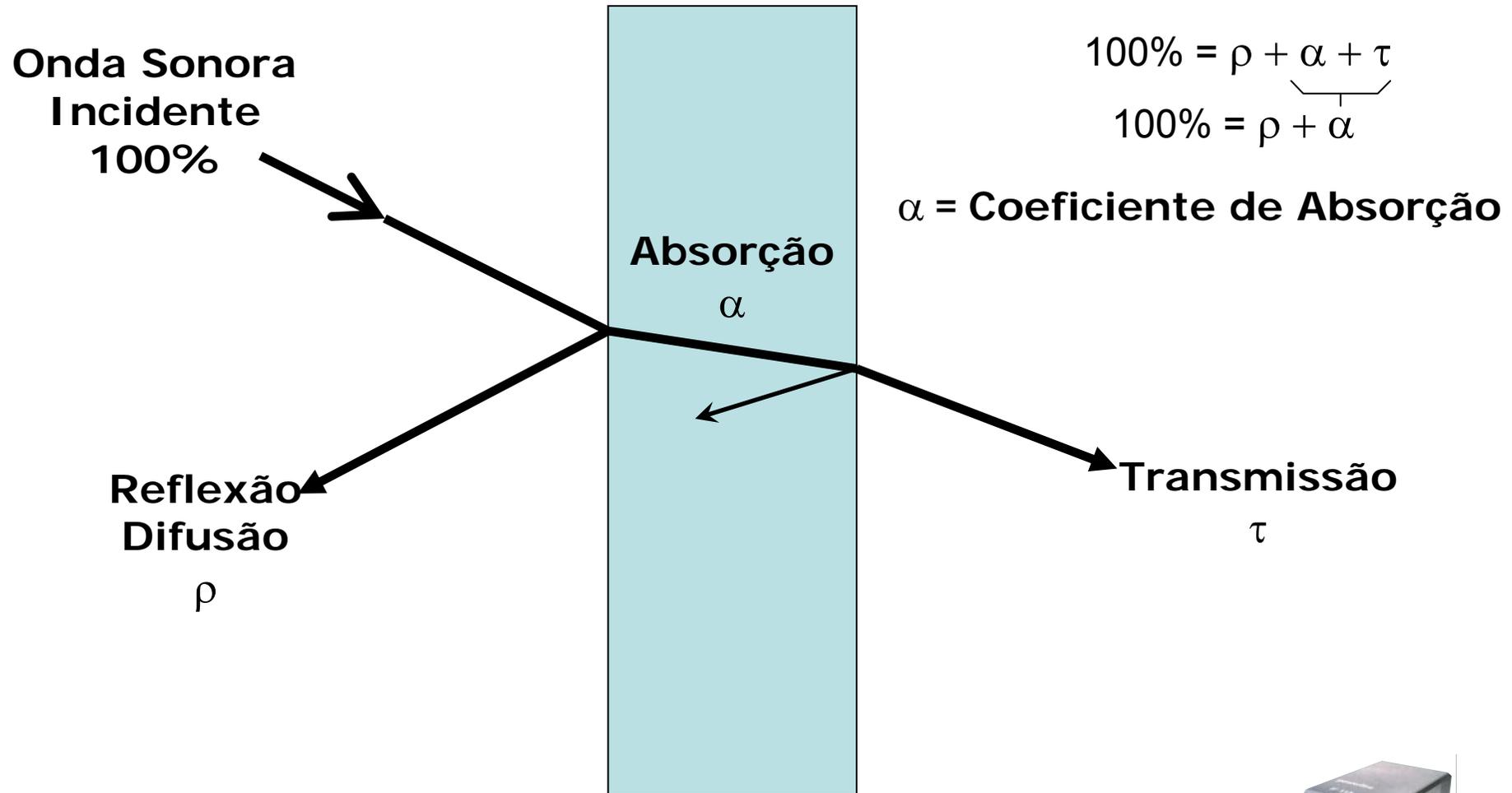
$$IL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{\text{ref}}} \text{ (dB)}$$



Efeito Haas



Comportamento Acústico



Acústica

→ **Isolação (T2)** $\frac{1 - \tau}{\rho + \alpha}$ $\left(\begin{array}{l} \text{O que não} \\ \text{passou} \end{array} \right)$

→ **Tratamento Acústico**

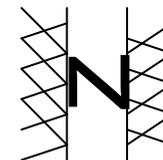
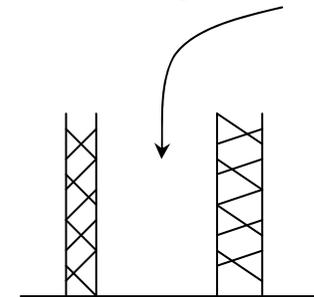
$1 - \rho$ (o que foi absorvido)
 $\alpha + \tau$ (o que não refletiu)



Isolação: Conceitos

1. Massa (Kg/m³)
2. Mistura de Massas
3. Desacoplamento (espessuras diferentes)
4. Flutuação (Box in the Box)
5. Canais Resilientes
6. Paredes Heterogêneas

Espaço livre



Tratamento Acústico

- Ondas Estacionárias (RM)
- Tempo de Reverberação (RT)



Ondas Estacionárias

Dependem das dimensões da sala:

Quanto maior a sala menor as estacionárias!!

Existem três tipos de RM (Room Modes):

- **Axiais**
- **Tangenciais**
- **Obliquas**



Ondas Estacionárias Axiais

$$f_r = \frac{v_s \cdot N}{2d}$$



$$L, W, H = d$$

$$N = 1, 2, 3, \dots$$



Ondas Estacionárias Tangenciais e Oblíquas

$$f_r = \frac{v_s}{2} \sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2 + \left(\frac{q}{W}\right)^2 + \left(\frac{r}{H}\right)^2}$$

$$p = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$q = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$r = 0, 1, 2, 3, \dots$$



Como Analisar uma Sala

L : W : H

$$\frac{L}{H} : \frac{W}{H} : \frac{H}{H}$$

1 : 1,6 : 2,6

Golden Ratio

V (m³)



Estudiosos das Ondas Estacionárias

Bolt
(2 : 3 : 5)

Louden
(1 : 1,4 : 1,9)

Gilford
(20 Hz)

Walker

Knudsen

Olson

Trevor Kox
(AES junho / 2004)

Bonello



Critérios de Bonello

1. Cada terço de oitava deve ter mais ressonâncias do que o terço de oitava anterior
2. Não deverá existir ressonâncias duplas (<5%). Ressonâncias duplas serão toleradas se no terço de oitava tiver 5 ou mais ressonâncias

Experimentalmente é aceitável que dois terços de oitava adjacentes tenham a mesma densidade modal, maior que 1 (um)



Até que Frequência analiso as ressonâncias

Frequência de Schröder

$$f_s = K \sqrt{\frac{RT}{V}}$$

$K = \text{Constante} = 2000$

$RT = \text{Tempo de reverberação (s)}$

$V = \text{Volume (m}^3\text{)}$



Trevor Kox

- Procura as medidas de sala que tem como resposta uma frequência modal mais plana possível
- Resposta a transientes nos graves
- Há pequenos desvios em relação a Bonello
- As medidas de sala são dependentes do volume da sala (50m³, 100m³ e 200m³)
- A melhor relação das dimensões independente do volume



Trevor Kox

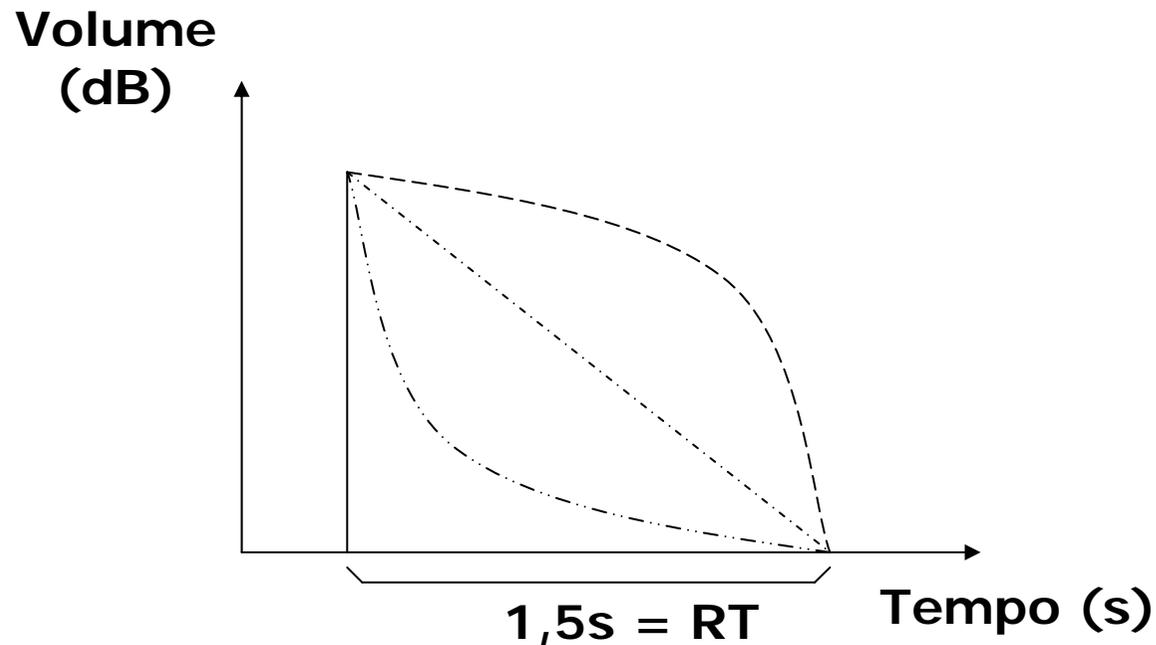
**A melhor relação de medidas de sala para
volumes acima de 50m³ e até 200m³**

1 : 2,19 : 3,00



Tempo de Reverberação

Tempo, medido em segundos, em que um sinal sonoro cai a um milionésimo da sua intensidade inicial (- 60dB)



Tempo de Reverberação

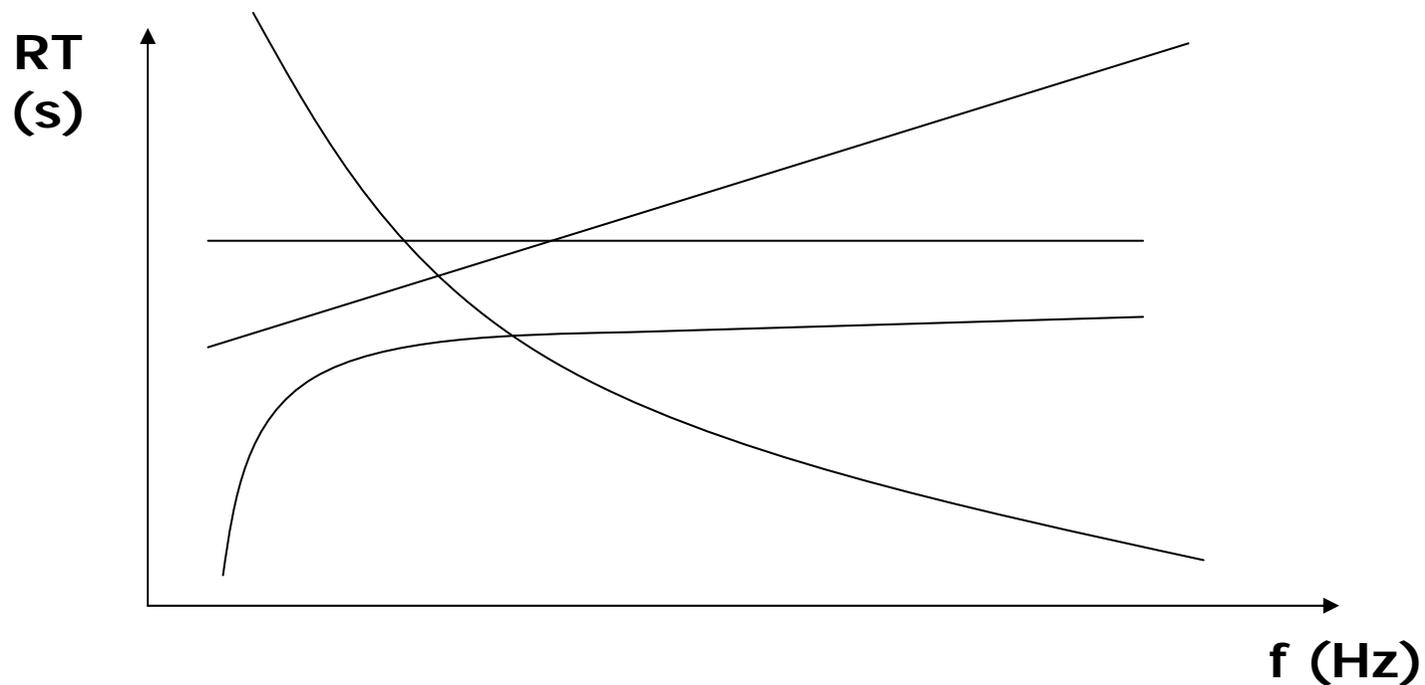
$$RT \propto \frac{V}{A}$$

V = Volume

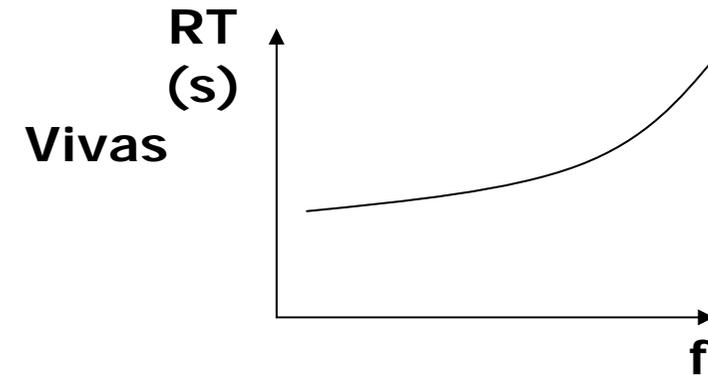
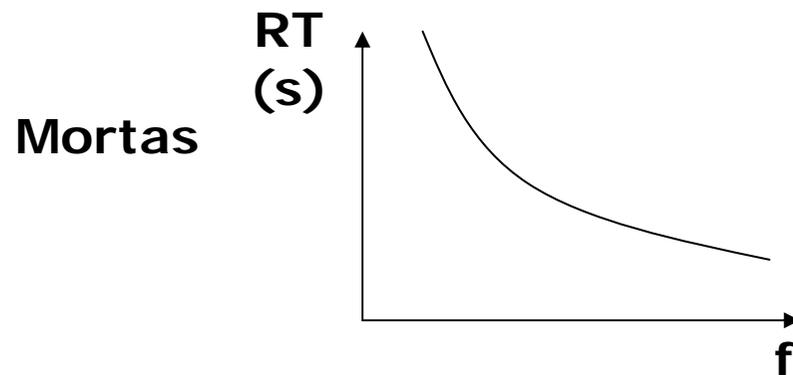
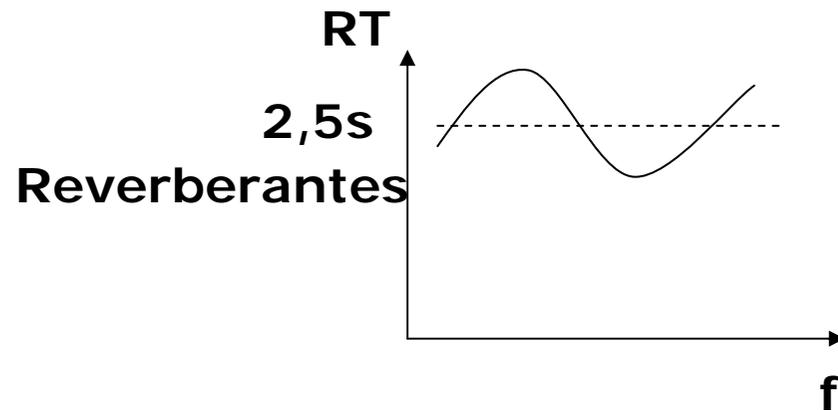
A = Absorção (coeficiente de Sabine)



Tempo de Reverberação e Freqüência

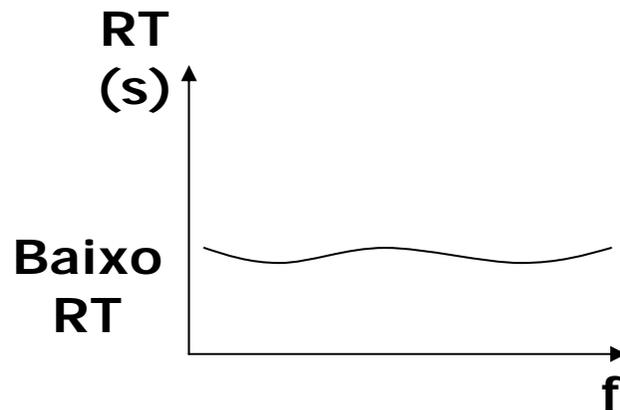


Tipos de Salas

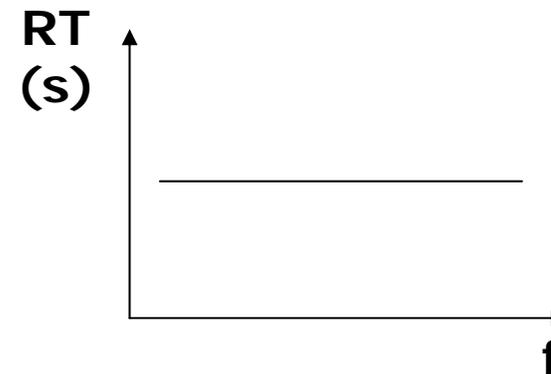


Tipos de Salas

Secas



Planas



Os Diversos Ambientes

Igrejas

Auditórios

Salas de Aula

Home Theater

Técnicas de Gravação

Estúdios

Teatros

Salas de Audição

Salas de Masterização

**Salas de Audição Crítica
(BLR – Balanced Listening Room)**

Salas de Concertos

Salões de Culto



Sistemas de Absorção

Existem fundamentalmente quatro tipos de aparelhos de absorção

Absorção porosa

Absorção de membrana

Absorção de volume

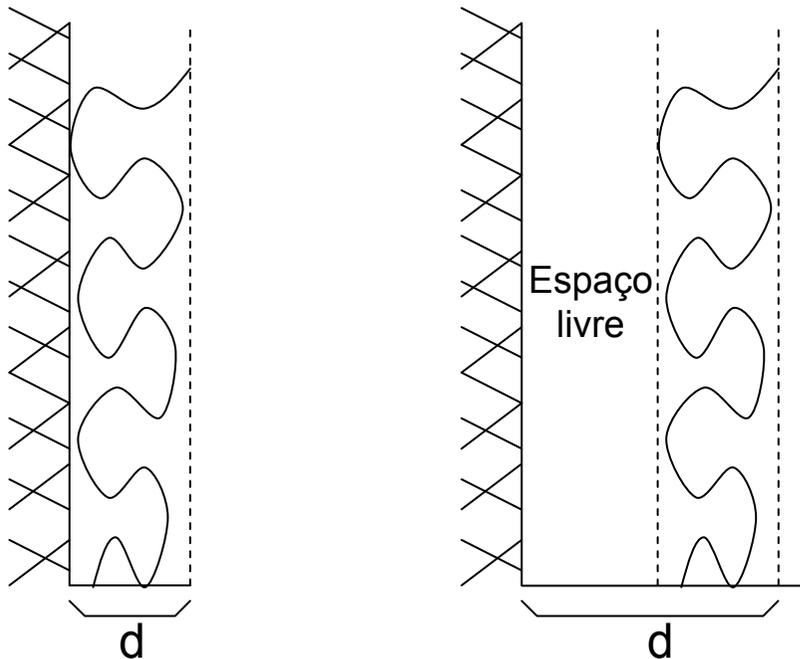
Absorção banda larga



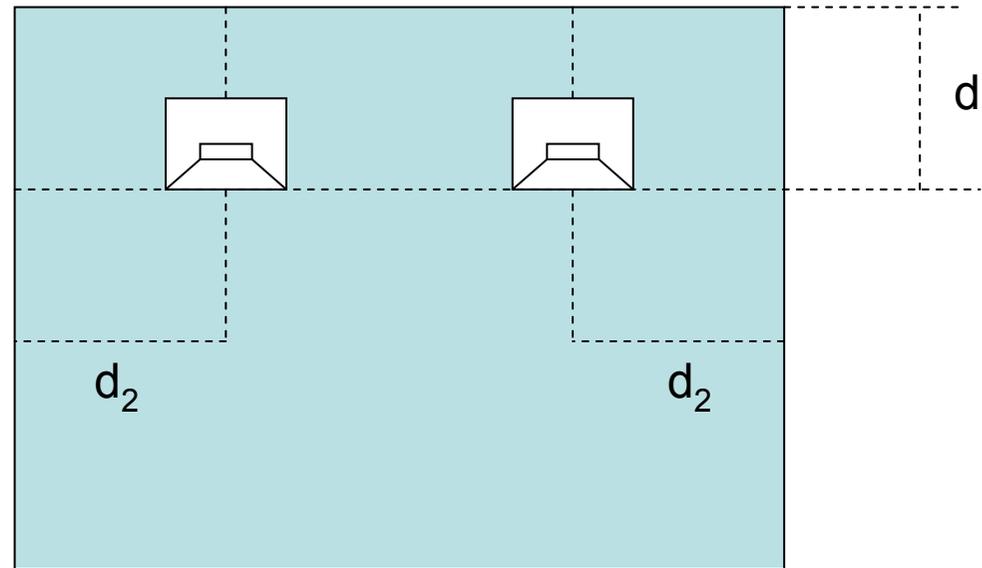
Absorção Porosa

Absorção acima de

$$f \longrightarrow \frac{v_s}{4d} = f_c$$



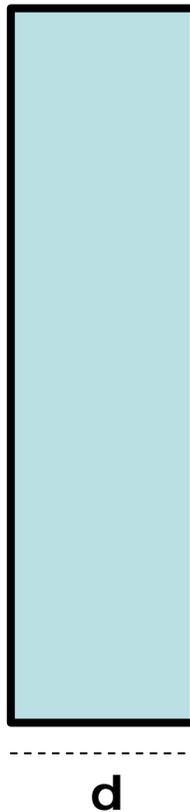
Posicionamento de Caixas Acústicas



A frequência emitida a um quarto do comprimento de onda por uma caixa acústica da parede do fundo e da laterais é atenuada



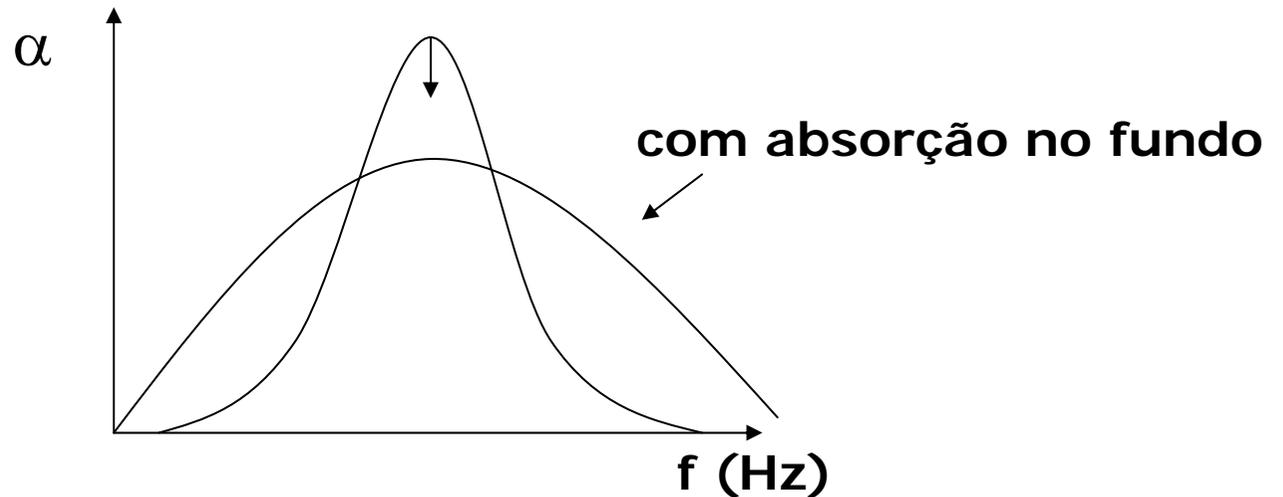
Absorção de Membrana



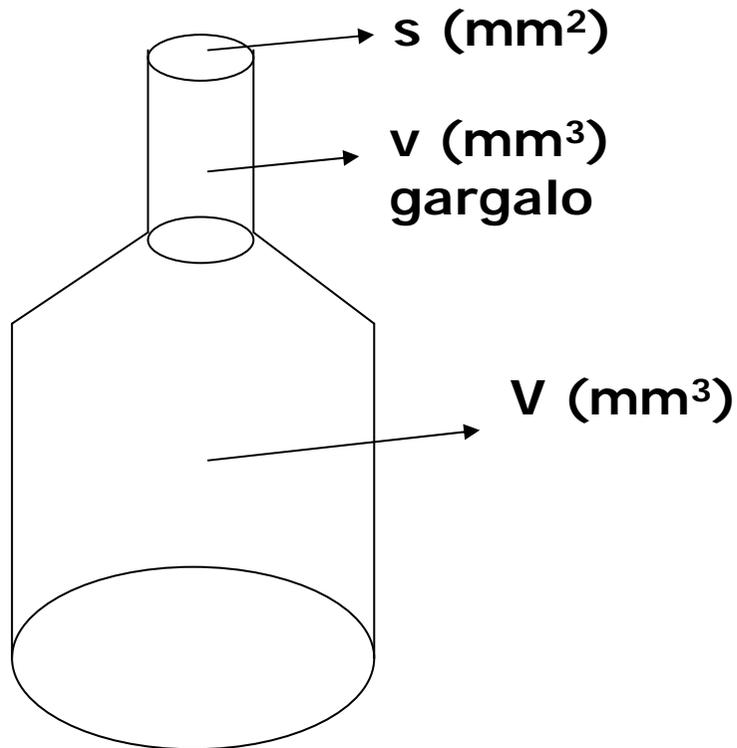
$$f_r = \frac{1900}{\sqrt{m \cdot d}}$$

$$m = \text{Kg} / \text{m}^2$$

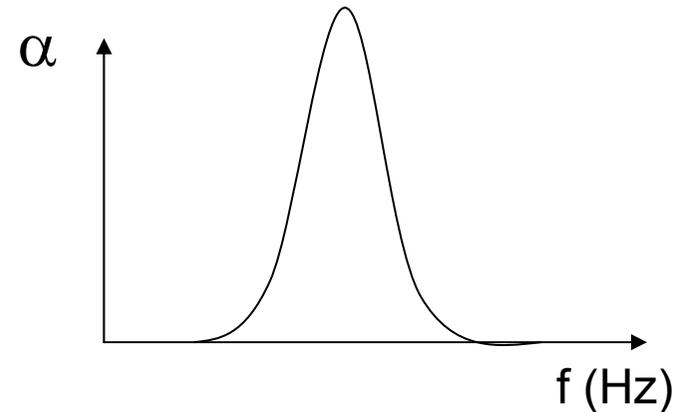
$$d = \text{vão livre (mm)}$$



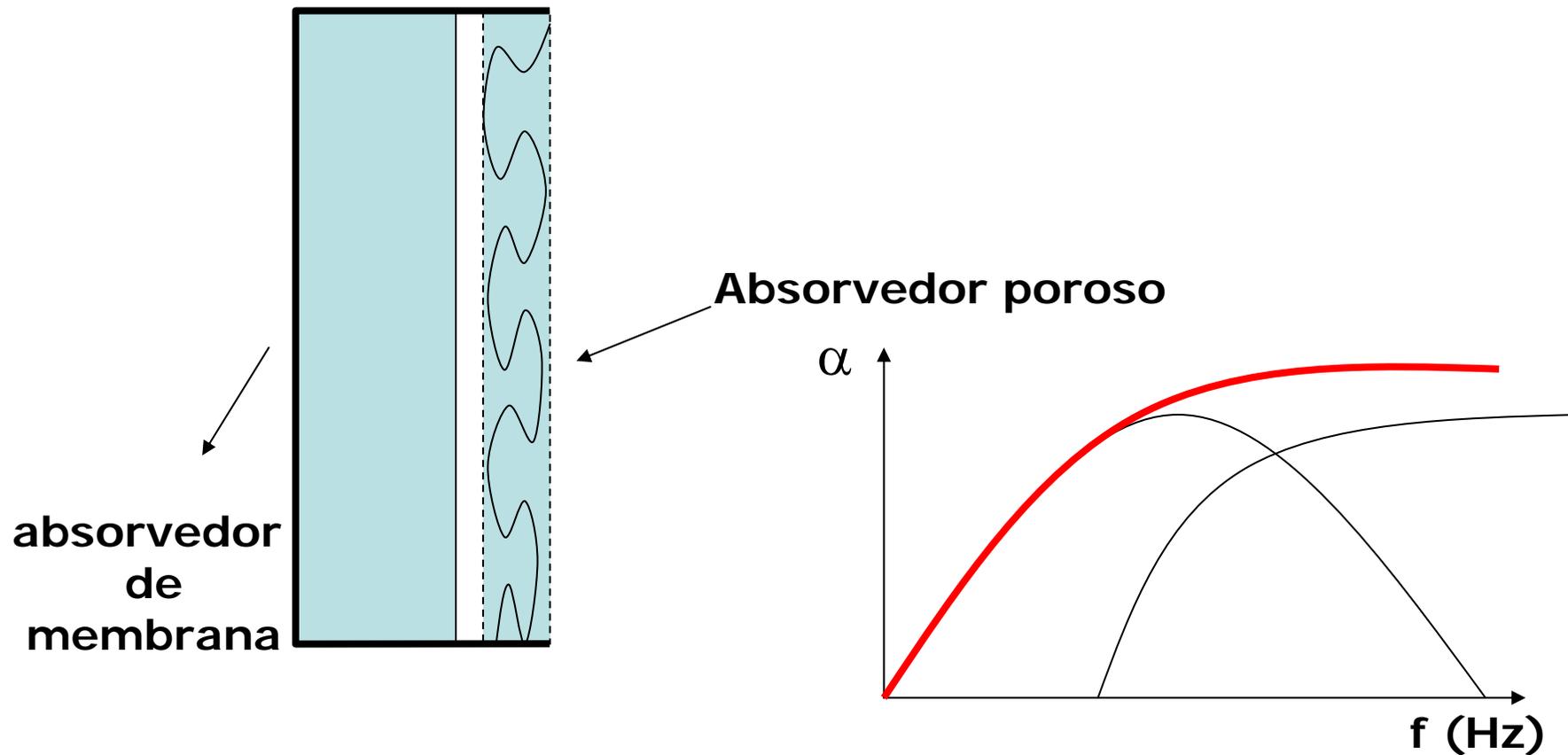
Absorção de Volume



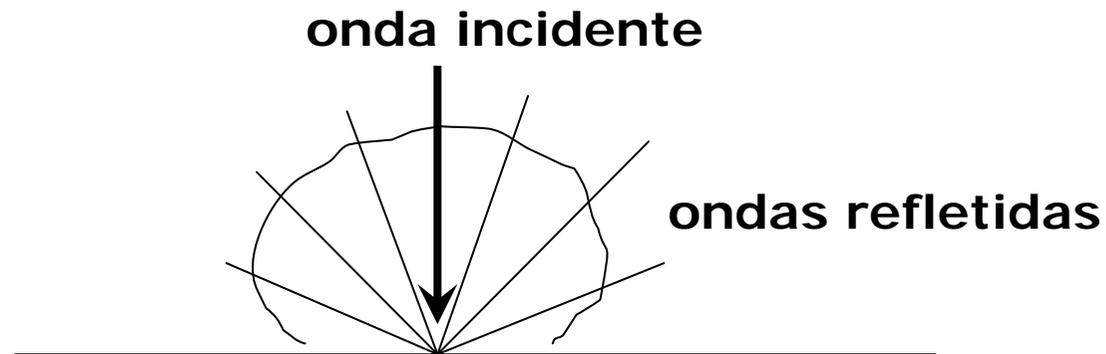
$$f_r = \frac{55000 \cdot s}{\sqrt{v \cdot V}}$$



Absorção de Banda Larga



Difusão



Difusores

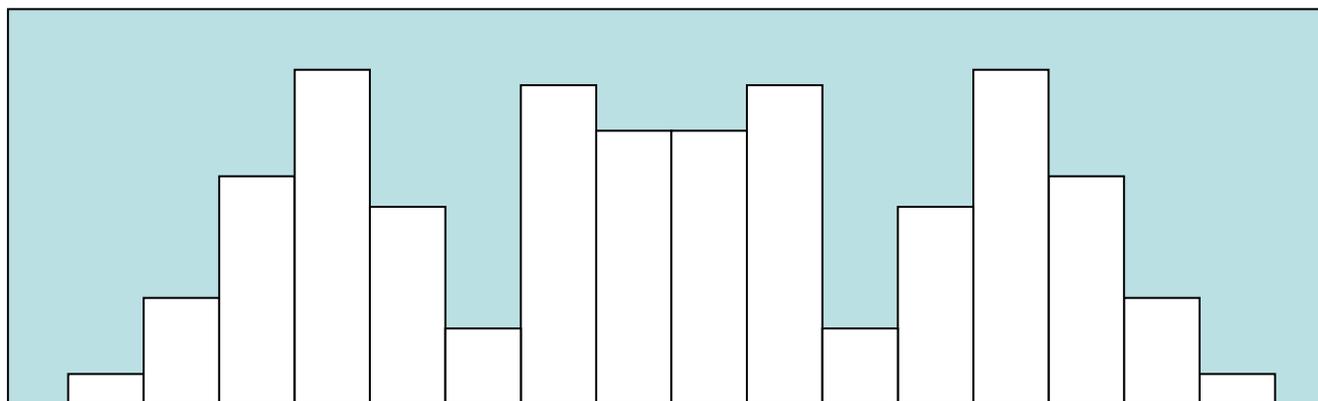
Simétricos - Difusores de Schröder ou Quadráticos Residuais

Assimétricos



Difusores de Schröder

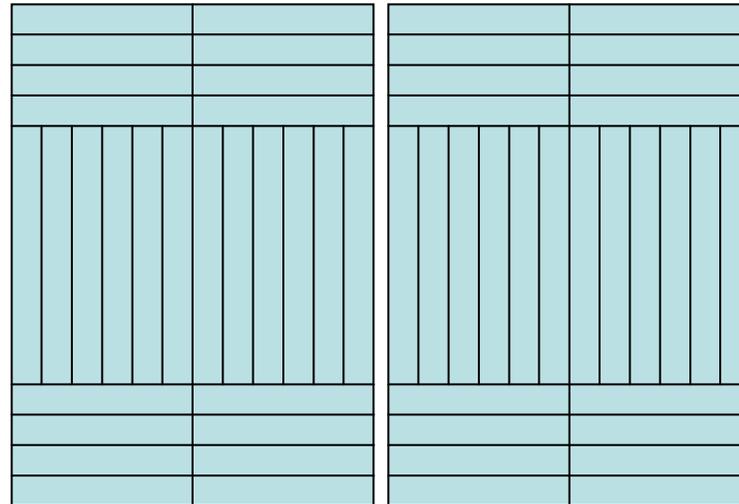
período



Difusor de Schröder de 17 cavidades



Painel de Difusores de Schröder

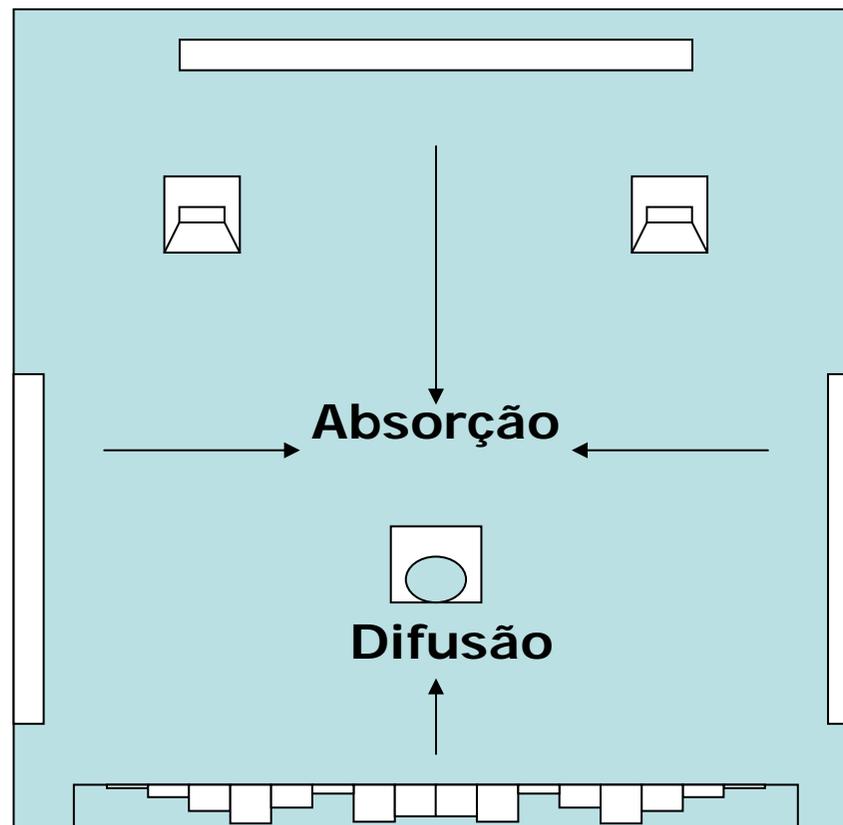


**Painel de difusores de Schröder
horizontais e verticais**



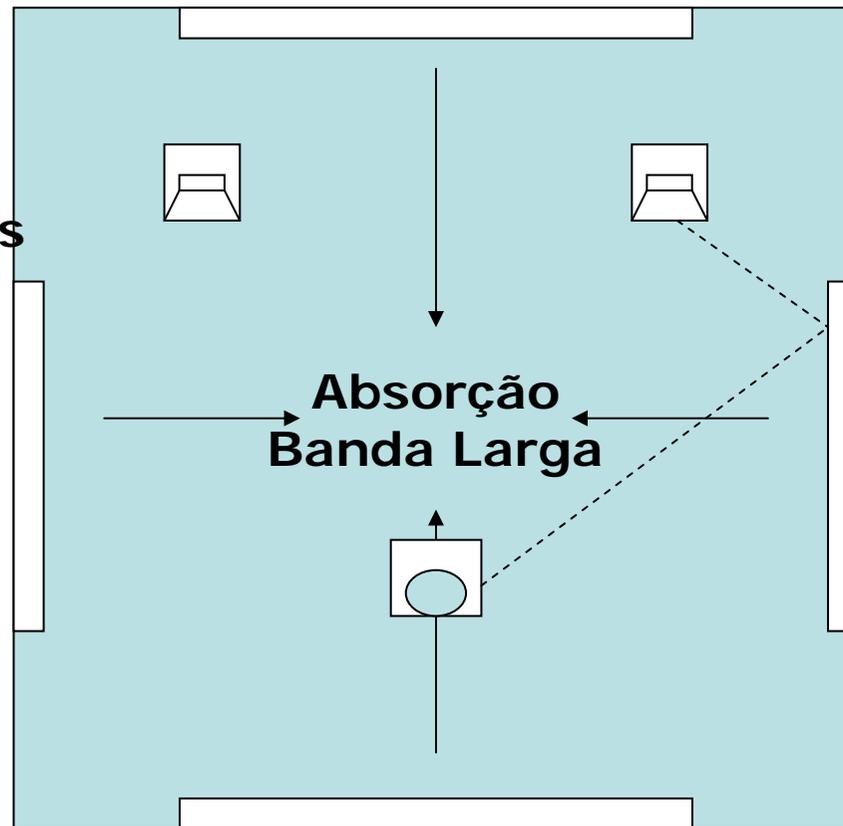
Salas de Home Theater

$0,8s < RT < 1,5s$



Salas de Audição Crítica

$0,3s < RT < 0,6s$



Proposta de Norma
IEC 60.268 - 13

