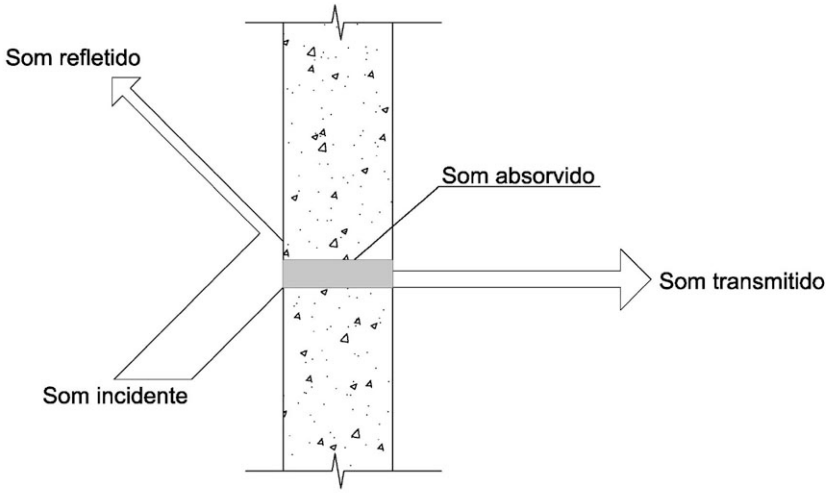
Acústica de Salas

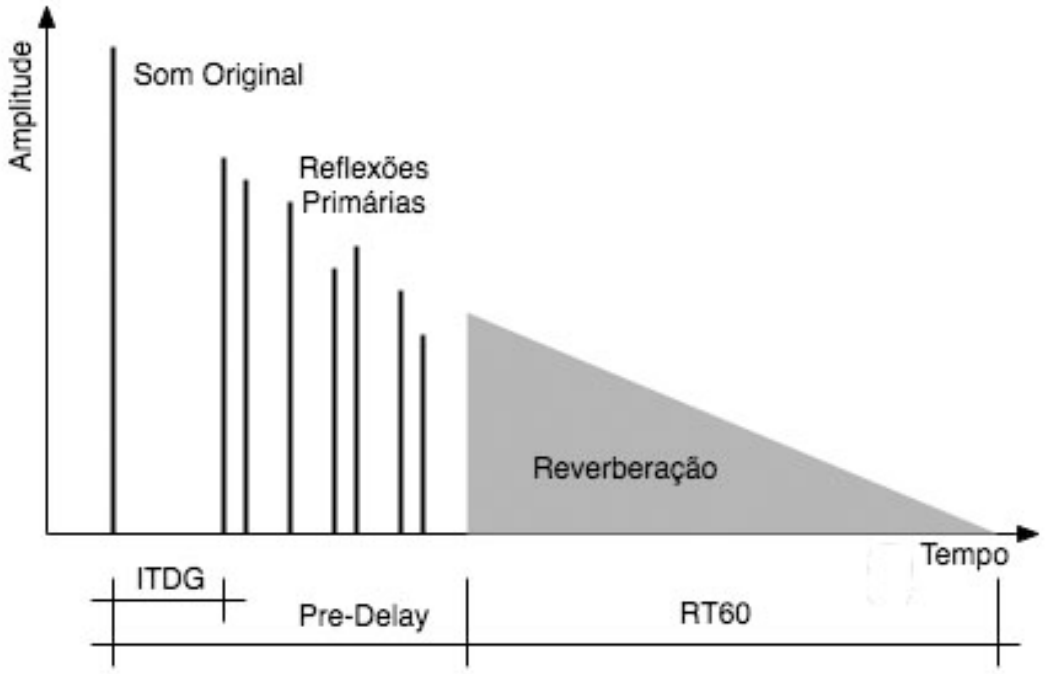
1. **Reflexão**
2. **Absorção**
3. **Difusão**
4. **Transmissão**



1. Reverberação:

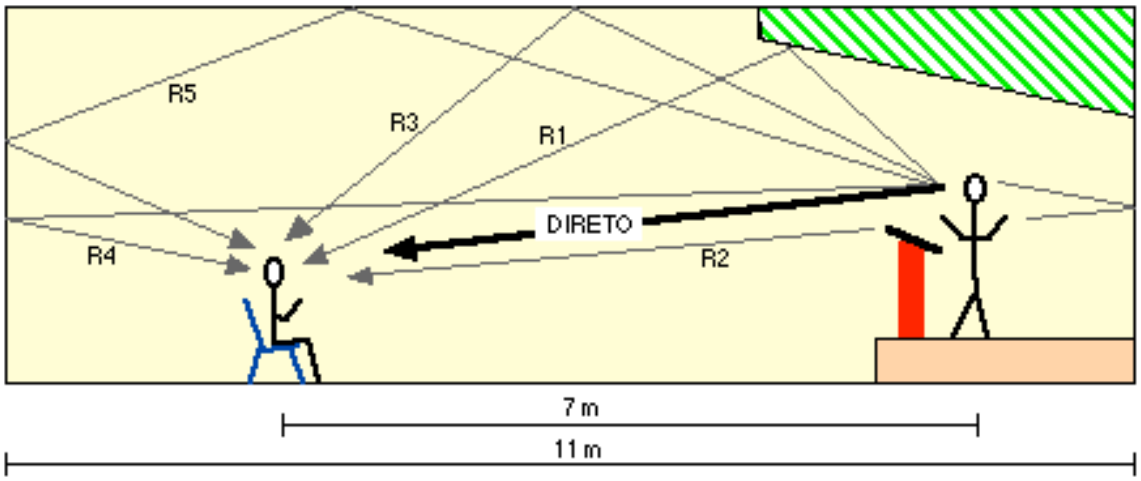
1.1. Tempo de Reverberação (RT60, *Reverberation Time,* em segundos)

É o tempo que um determinado som demora para decrescer em 60dB (1 milhão de vezes) depois que a fonte sonora é interrompida. As medidas de RT30 e RT20 são utilizadas em situações em que não se pode obter uma reação sinal/ruído adequada para medir o RT60 diretamente. Os resultados obtidos são dados para até 31 bandas de freqüência de largura de 1/3 de oitava entre 20Hz e 20KHz. O tempo de reverberação RT60 indica o quanto uma sala é viva e está relacionado ao volume da sala.



1.2. Reflexões Primárias (Primeiras Reflexões ou *Early Reflections*)

Reflexões iniciais antes de o som tornar-se difuso no ambiente. Quando a fonte está distante o nível das Reflexões Primarias é alto em relação ao nível de som direto. É uma informação importante para a determinação da sensação acústica de distância da fonte. (Numa mixagem de áudio pode-se “afastar” uma determinada voz ou instrumento acrescentando ou aumentando o tempo das Reflexões Primárias).



	Delay (ms)
DIRETO	0
R1	4.5
R2	9.0
R3	13.0
R4	14.0
R5	18.0

1.3. Retardo Inicial (ITDG, *Initial Time Delay Gap,* em ms)

Retardo Inicial é a diferença entre o instante em que o som direto chega em determinado ponto de captação (t_d) e o instante em que chega a primeira reflexão (t_r). O ITDG é importante na sensação de tamanho da sala: esse intervalo será tanto maior quanto maior for a sala.

$$ITDG = t_d - t_r$$

1.4. Pré-Retardo (*Pre-Delay,* em ms)

É o tempo decorrido entre o som original e o início da reverberação propriamente dita, ou seja, quando o som torna-se difuso e começa a se espalhar pela sala. O pré-retardo é um indicativo importante do tamanho da sala: ele é proporcional ao tamanho do ambiente, enquanto o tempo de reverberação é proporcional à qualidade acústica da sala. Desse modo, duas salas de tamanhos diferentes poderão ter o mesmo tempo de reverberação, mas terão tempos de pré-retardo diferentes.

1.5. Tempo Inicial de Decaimento (EDT, *Early Decay Time,* em ms)

Tempo de reverberação medido a partir dos primeiros 10dB de decaimento em faixas de freqüência de uma oitava de largura. Ou seja, é a extrapolação da curva de decaimento entre 0dB e -10dB. Essa medição, expressa em milesegundos, oferece uma avaliação alternativa do tempo de reverberação da sala. Pesquisas em psicoacústica demonstram que a percepção subjetiva da reverberação está fortemente correlacionada com o decaimento inicial da curva

de reverberação (curva de Schroeder), o que sugere a importância da avaliação do EDT. Ou seja, enquanto o RT é importante para a caracterização das propriedades físicas da sala, o EDT é mais importante na avaliação da percepção subjetiva da reverberação.

2. Outros Parâmetros Acústicos Objetivos:

2.1. Razão de Graves (BR - Bass Ratio) / Razão de Agudos (TR - Treble Ratio)

A Razão de Graves (*BR*) e a Razão de Agudos (*TR*) representam as contribuições relativas das faixas de freqüências graves e agudas, respectivamente em relação à energia espectral total. *BR* está ligada à impressão subjetiva de "calor" da sala e *TR* à sensação de "brilho". São calculados em relação à reverberação em faixas específicas de freqüência, conforme os índices abaixo:

$$BR = \frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}} \qquad TR = \frac{RT_{2000} + RT_{4000}}{RT_{500} + RT_{1000}}$$

2.2. Clareza (C_{50} ou C_{80}, *Clarity*, em dB)

É a razão logarítmica entre o nível de energia nos primeiros 50ms (para a fala) ou 80ms (para música) e o restante da resposta impulsiva. Portanto, numa sala com um alto índice de clareza, há uma grande quantidade de energia no início da reverberação em relação à energia total da reverberação. Este parâmetro está relacionado à clareza e inteligibilidade com que um som pode ser escutado em uma sala. A Clareza é definida por:

$$C_{80} = 10\log\left(\frac{E_{0-80}}{E_{80-\infty}}\right) \quad \text{ou} \quad C_{80} = 10\log\left[\frac{\int_0^{80ms} p^2(t)dt}{\int_{80ms}^{t_f} p^2(t)dt}\right]$$

onde p = pressão sonora (Pa ou N/m^2) e t = tempo (s).

2.3. Definição (D50 ou D80, *Definition*, em %)

É a razão entre a energia recebida durante os primeiros 50ms (para a fala) ou 80ms (para música) e a energia total da resposta impulsiva. Este parâmetro também está relacionado à inteligibilidade do som em uma sala. A Definição é dada por:

$$D_{80} = 100\%\left(\frac{E_{0-80}}{E_{0-\infty}}\right) \quad \text{ou} \quad D_{80} = 100\%\left[\frac{\int_{0}^{80ms} p^2(t)dt}{\int_{0ms}^{\infty} p^2(t)dt}\right]$$

2.4. Fator de Suporte (ST1, *Support Factor*, em dB)

O parâmetro ST1 está ligado à impressão acústica de "conjunto". Trata-se de um indicador especialmente formulado para corresponder à *performance* conjunta dos músicos no palco. Para a obtenção do valor de ST1, p(t) é a resposta impulsiva obtida num ponto de captação do palco distante 1m da fonte omnidirecional. Trata-se da diferença em decibels entre o nível de pressão sonora medido para o intervalo entre 0ms e 10ms e o intervalo entre 20ms e 100ms. Os limites de integração foram definidos a partir de experiências psicoacústicas.

$$ST1 = 10Log\left[\frac{\int_{20ms}^{100ms} p^2(t)dt}{\int_{0}^{10ms} p^2(t)dt}\right]$$

2.5. Tempo Central (CT, *Central Time*, em ms)

Pode ser entendido como o "centro gravitacional" da Resposta Impulsiva RI (em ms), indicando a concentração de energia ao longo do tempo. Um Tempo Central pequeno significa que a energia está concentrada no início da RI o que ajuda na Clareza, enquanto que um tempo Central grande significa que a energia está distribuída no tempo, dando a impressão de um espaço mais reverberante.

$$CT = \frac{\int_{0}^{\infty} t\,p^2(t)\,dt}{\int_{0}^{\infty} p^2(t)\,dt}$$

2.6. Fator de Força, Suporte (G, *Strengh Factor*)

É a razão logarítmica entre a pressão sonora da Resposta Impulsiva em relação à resposta impulsiva medida à 10 metros de distância com a mesma fonte (ominidirecional) captada em campo aberto (ou câmara anecóica). O parâmetro G é dado por:

$$G = 10\log\left[\frac{\int_0^{\tau} p^2(t)dt}{\int_0^{\tau} p_s^2(t)dt}\right]$$

onde *p(t)* é a resposta impulsiva em um ponto da sala e p_s é a resposta da fonte omnidirecional captada a 10 m de distancia em campo livre. Quando o Lw da fonte é conhecido pode-se utilizar a seguinte fórmula (ISO 3382) para obter o parâmetro G:

$$G = L_p - L_w + 31dB$$

onde Lp é o nível de pressão sonora (SPL) medido em um ponto da sala. Este parâmetro refere-se à contribuição da sala (reverberação e primeiras reflexões) para reforçar o sinal sonoro.

3. Impressão Espacial:

3.1. Fração Lateral (LF, *Lateral Fraction*, LF)

É a razão entre a energia de som lateral (captado com um microfone bidirecional, também chamado "figura 8") e a energia de som captado simultaneamente por um microfone omnidirecional. Ou seja, mede a relação entre a energia total da fonte em um determinado ponto e a energia recebida por meio da reflexões indiretas. Usualmente o intervalo medido vai de 5ms a 80 ms para o microfone bidirecional (a eleminação dos primeiros 5ms é para eliminar a inlfuência do som direto) e de 0 a 80ms para o omnidirecional. A Fração Lateral é definida por:

$$FL = \frac{\int_{5ms}^{80ms} p_8^2(t)dt}{\int_0^{80ms} p^2(t)dt}$$

Durante a mediação, a direção nula de captação do microfone bidirecional deve estar apontada para a um posição que corresponda a uma fonte sonora no centro do palco.

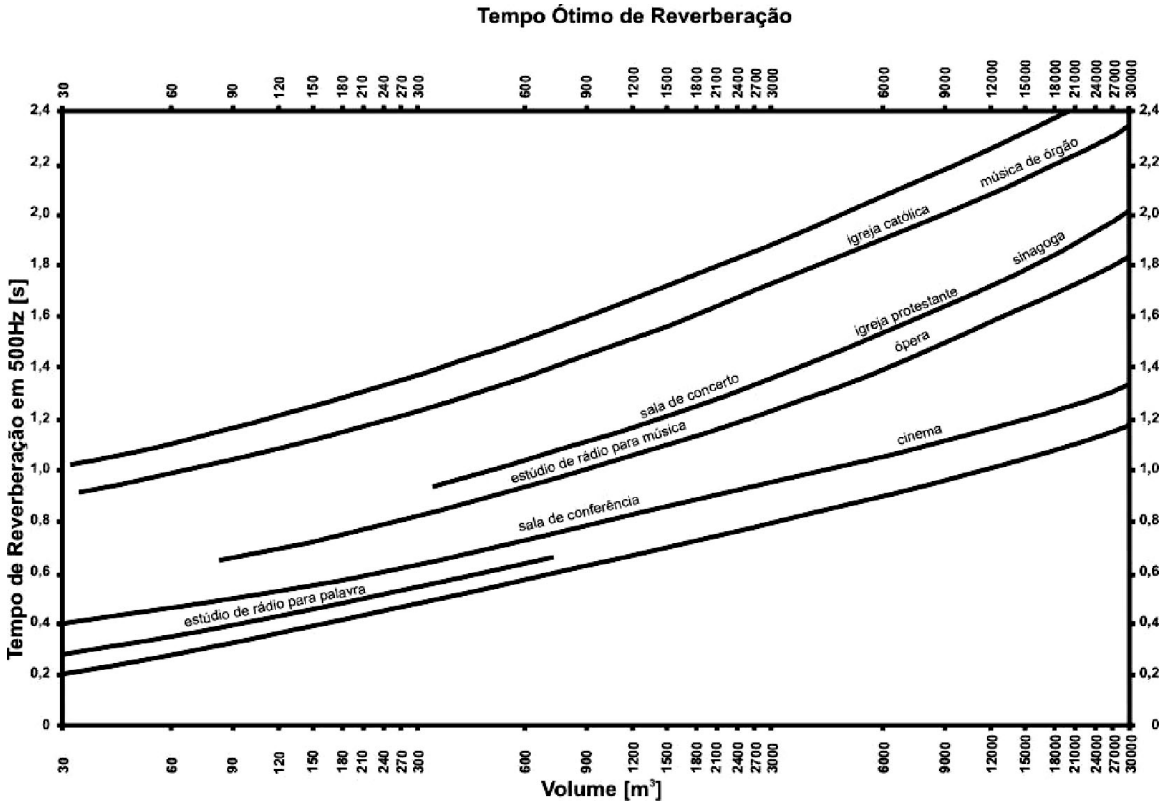
3.2. Coeficiente de Correlação Cruzada Interaural (IACC, *Interaural Crosscorelation Coefficient*)

É o valor máximo do coeficiente de correlação entre os sinais obtidos no ouvido esquerdo (p_e) e direito (p_d), e mede a dissimilaridade entre o sinal que chega em um ouvido com relação ao sinal que chega ao mesmo tempo no outro. É expressa em valores que variam entre -1 (para sinais com a mesma magnitude, mas exatamente fora de fase), 0 (para sinais totalmente diferentes), até +1 (para sinais idênticos, isto é, é com mesma fase e amplitude).

Usualmente a gravação dos sinais é realizada por uma *dummy head*, espécie de manequim que simula a anatomia da cabeça humana com dois pequenos microfones inseridos nos orifícios correspondentes aos ouvidos, e que apresenta forma e impedância acústica característica próximas às de um ser humano. O IACC é definido por:

$$IACC = \max \left| [\int p_e(t) p_d(t+\alpha) dt] \cdot [\int p_e^2(t) dt \int p_d^2(t) dt]^{-1/2} \right|$$

6. Tempo de reverberação adequados:



Cálculo do tempo de reverberação [1]

Existem várias maneiras de se calcular o tempo de reverberação de uma sala a partir de sua geometria e dos coeficientes de absorção dos

[1] Esse texto foi realizado com o auxílio da aluna Aleta Talarico Utimati.

materiais que compõem a sala. Dependendo da situação, pode-se optar pelas equações de Sabine, de Norris-Millington, ou a de Eyring.

A diferença entre as expressões, como apontado por Jorge Patrício[2], é que a primeira considera um coeficiente de absorção médio para cada banda de freqüências para todo o recinto, enquanto a segunda considera os coeficientes de absorção sonora das áreas parciais do recinto fechado. João Cândido Fernandes apresenta as seguintes recomendações para a escolha do modelo matemático a ser empregado[3]:

Deve-se usar o modelo de Sabine quando:

- o coeficiente médio de absorção seja alto (acima de 0,25);
- os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- os coeficientes de absorção não são precisos;
- não se exige grande precisão nos cálculos.

Deve-se usar o modelo de Norris-Eyring quando:

- os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- se conhece com exatidão os coeficientes de absorção;
- se exige cálculo preciso do tempo de reverberação.

Deve-se usar o modelo de Millington quando:

- não há uniformidade na distribuição dos materiais absorventes;
- as superfícies não são grandes;
- nenhuma superfície tenha grande absorção;
- se conhece com exatidão os coeficientes de absorção;
- se exige cálculo preciso do tempo de reverberação."

Expressão de Sabine:

$$T_r = \frac{0{,}161 * V}{A_t}$$

$$A_t = \sum S_n * \alpha_n$$

[2] Patrício, Jorge. Acústica nos Edifícios. 2ª edição do autor, 2003. Pg 130.
[3] Fernandes, João Cândido. Apostila acústica e ruídos, 2005.

Onde:
T_r é o tempo de reverberação em segundos
V é o volume do ambiente considerado em m^3
A_t é a absorção equivalente total[4]
S_n é a área exposta de cada da superfície em m^2
α_n é o coeficiente de absorção sonora de cada superfície

Expressão de Norris-Eyring

$$T_r = \frac{-0.16 * V}{2{,}3 * S_t * \log(1 - \alpha_m)}$$

$$\alpha_m = \frac{S_1 * \alpha_1 + S_2 * \alpha_2 + S_3 * \alpha_3 + ... + S_n * \alpha_n}{S_1 + S_2 + S_3 + ... + S_n}$$

Onde:
T_r é o tempo de reverberação em segundos
V é o volume do ambiente considerado em m^3
S_n é a área exposta de cada da superfície em m^2
α_n é o coeficiente de absorção sonora de cada superfície exposta
S_t é a área total das superfícies expostas do ambiente em m^2
α_m – coeficiente de absorção média de todas as superfícies para cada banda de freqüência

Expressão de Millington

$$T_r = \frac{-0.161 * V}{\sum S_n In_e (1 - \alpha_n)}$$

Onde:
T_r é o tempo de reverberação em segundos
V é o volume do ambiente considerado em m^3
S_n é a área exposta de cada da superfície em m^2
α_n é o coeficiente de absorção sonora de cada superfície

[4] A absorção sonora equivalente, de unidade Sabin, é o resultado da multiplicação da área da superfície pelo coeficiente de absorção da mesma.