

3

ÁUDIO PARTE 3 PRESSÃO SONORA

Fabio Montoro
Revisado em 12-3-2015

3.1 O som

É uma vibração mecânica das moléculas do meio de transmissão elástico. Esse meio é normalmente o ar, mas pode ser uma chapa de aço ou outro material que consiga vibrar.

No ar, o som se propaga a 344 m/s (metros por segundo), considerando que ocorre ao nível do mar e a uma temperatura ambiente de 20 °C.

Se a temperatura aumenta, a velocidade aumenta:

$$v_{som-0} = 331,4456 \cdot \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad T = \text{temperatura em graus centígrados}$$

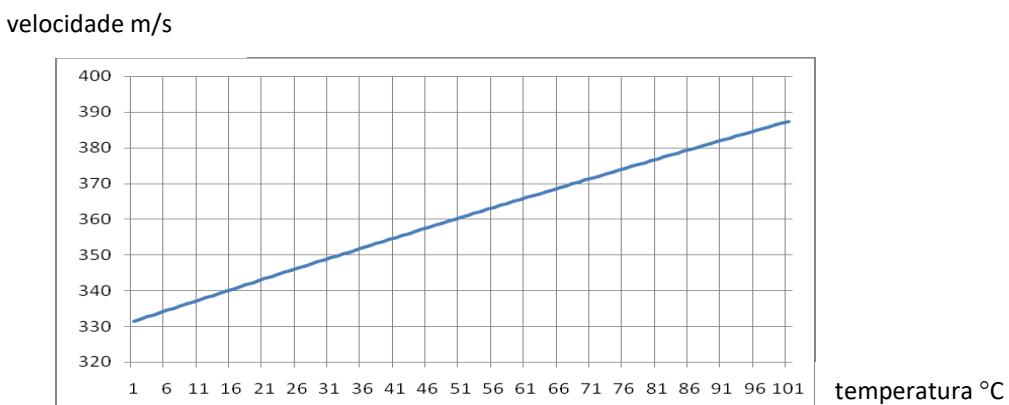


Fig. 3.1: Variação da velocidade do som com a temperatura

Para a temperatura de 20°C considera-se, para cálculos aproximados:

$$v_{som} \approx 344 \text{ m/s} = 1238 \text{ km/h}$$

A velocidade do som é utilizada para referenciar a velocidade de aeronaves. "Mach" é a relação entre a velocidade da aeronave e a velocidade do som. Aeronaves que trafegam até Mach 1 são subsônicas e aquelas que ultrapassam Mach 1 são supersônicas.

A umidade do ar, além da temperatura também afeta a velocidade do som.

A figura 3.1 mostra a variação percentual da velocidade do som em relação ao seu valor a 0 °C (331,4456 m/s), com as variações de temperatura e umidade.

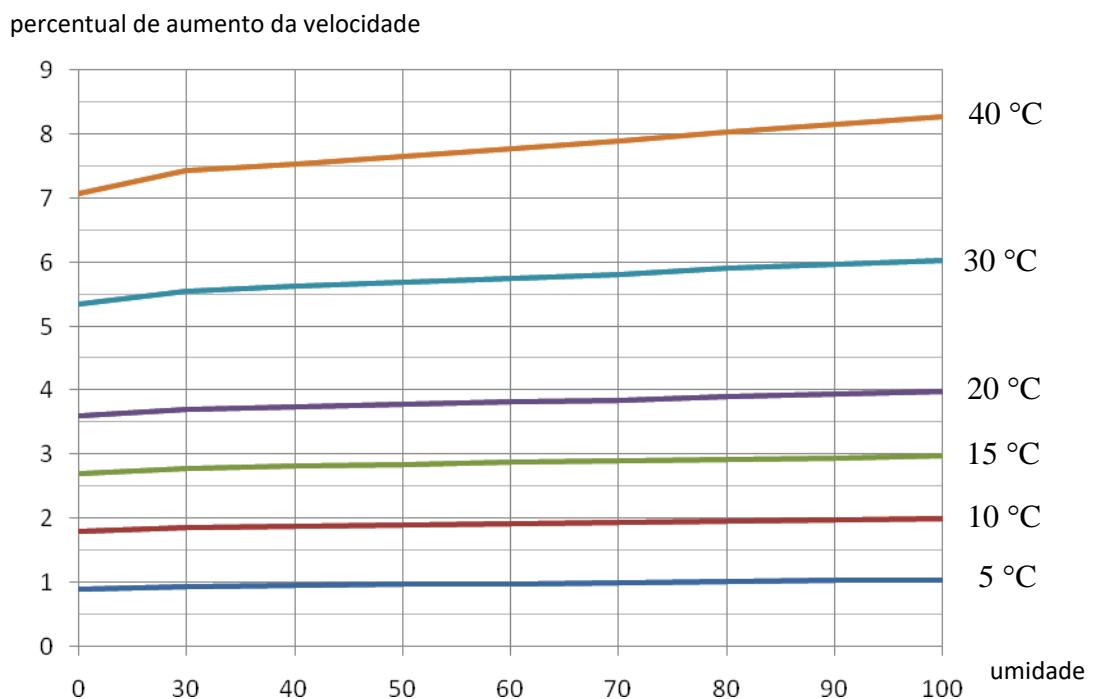


Fig. 3.2: Percentual de variação da velocidade do som com a umidade e a temperatura

3.1.1 Comprimento de onda do som

A equação básica da cinemática diz:

$$x = v \cdot t \quad \dots \text{(espaço percorrido)} = (\text{velocidade}) \times (\text{tempo gasto}) \quad [3.1]$$

O comprimento de onda é o espaço percorrido por um período da onda:

$$\lambda = v \cdot T \quad \begin{aligned} \lambda &= \text{comprimento da onda} \\ v &= \text{velocidade de propagação da onda} \\ T &= \text{período da onda} = 1/\text{frequência} \end{aligned} \quad [3.2]$$

Uma vibração sonora de 20 Hz, propagando no espaço, tem comprimento de onda

$$\lambda_{20Hz} \cong 344 \cdot \frac{1}{20} = 17,2 \text{ m}$$

Uma vibração sonora de 20 kHz, propagando no espaço, tem comprimento de onda

$$\lambda_{20kHz} \cong 344 \cdot \frac{1}{20000} = 1,72 \text{ cm}$$

O sinal de áudio se propaga em um cabo de cobre em velocidades que vão de 65% a 85% da velocidade da luz. A essa velocidade de propagação do sinal no cabo dá-se o nome de NVP, ou velocidade nominal de propagação.

3.1.2 Efeito de alterações na temperatura e umidade

Em ambientes internos, onde há reflexão, uma mudança brusca da condição ambiental pode afetar fortemente a qualidade do som, ou desajustar o sistema em relação ao que foi feito anteriormente.

Exemplo:

Seja uma fonte sonora emitido uma senoide de 10 kHz e um ouvinte a 15,24 m de distância, que recebe a onda direta e uma onda refletida por uma parede, cujo trajeto possua 42,67 m. Desconsiderando as reduções de pressão pelos trajetos e supondo que a temperatura está a 20 °C e a umidade a 30%, vamos calcular o resultado na posição do ouvinte.

Consultando a figura 3.2, constatamos que a variação da velocidade do som será aproximadamente 3,7 %.

Aplicando essa variação à velocidade referência, encontramos:

$$v_{som-1} = 331,4456 \cdot 1,037 = 343,71 \text{ m/s}$$

neste caso o comprimento de onda será:

$$\lambda_{10kHz(1)} \cong 343,71 \frac{1}{10000} = 3,4371 \text{ cm}$$

Como o ouvinte recebe duas frentes de onda (uma direta e outra refletida), vejamos com que defasagem elas chegam.

A defasagem pode ser medida pelo percentual incompleto de ciclo no instante em que as ondas chegam ao ouvinte. Portanto, vamos determinar quantos ciclos de onda acontecem em cada frente:

Onda direta:

$$N_{direta(1)} = \frac{distância}{\lambda} = \frac{15,24}{0,034371} = 443,40$$

Onda refletida:

$$N_{direta(1)} = \frac{distância}{\lambda} = \frac{42,67}{0,034371} = 1241,45$$

A diferença de fase entre as duas ondas será:

$$\Delta\Phi_{(1)} = (0,45 - 0,40) \cdot 360 = 18 \text{ graus}$$

É uma diferença pequena. As duas ondas se somam e o sinal para o ouvinte será reforçado.

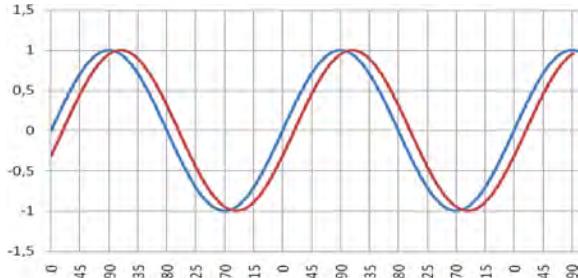


Fig. 3.3: Ondas com $\Delta\Phi=18$ graus

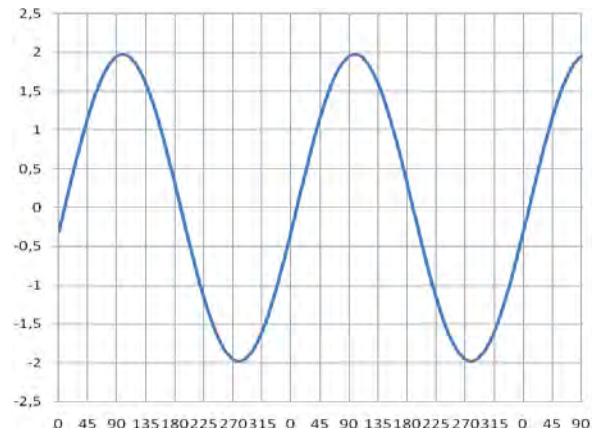


Fig. 3.4: Soma das duas ondas

Vamos supor agora que o tempo esquenta e as condições ambientais se alteram para $T=30$ °C e a umidade para 80 %.

Neste caso, consultando novamente a figura 3.2, encontramos 5,9%, então:

$$v_{som-2} = 331,4456 \cdot 1,059 = 351 \text{ m/s}$$

agora o comprimento de onda será:

$$\lambda_{10kHz(2)} \cong 351 \frac{1}{10000} = 3,51 \text{ cm}$$

Onda direta:

$$N_{direta(2)} = \frac{distância}{\lambda} = \frac{15,24}{0,0351} = 434,19$$

Onda refletida:

$$N_{direta(2)} = \frac{distância}{\lambda} = \frac{42,67}{0,0351} = 1215,67$$

A diferença de fase entre as duas ondas será:

$$\Delta\Phi_{(2)} = (0,67 - 0,19) \cdot 360 = 173 \text{ graus}$$

É uma diferença grande. As duas ondas praticamente vão se anular e o sinal para o ouvinte será quase nulo.

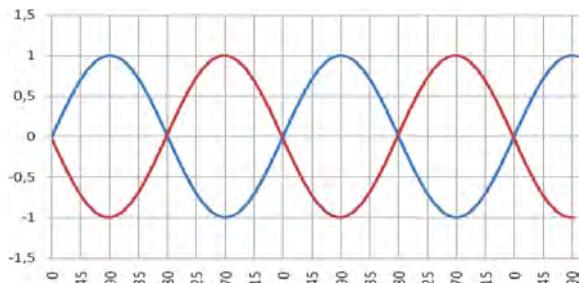


Fig. 3.5: Ondas com $\Delta\Phi=178$ graus

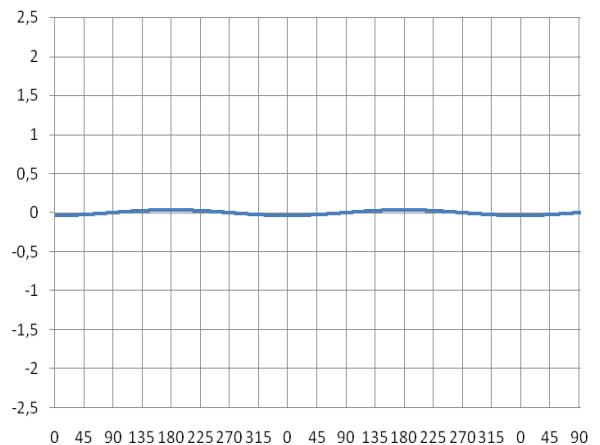


Fig. 3.6: Soma das duas ondas

3.2 Pressão sonora

Deixemos a questão da frequência da vibração sonora de lado por enquanto e vamos ao estudo da intensidade do som. As forças que movimentam a massa de ar geram uma pressão, denominada pressão sonora.

Pressão é uma grandeza física definida como sendo a divisão entre uma força e a área da superfície onde essa força está sendo aplicada, portanto:

$$L = \frac{F}{A} \quad [3.3]$$

Sendo "L" a pressão sonora, "F" a força expressa em Newtons e "A" a área em metros quadrados. A pressão será expressa em N/m^2 , também denominado Pascal e representado por "Pa".

Ficou convencionado que o limiar da audição humana (após estudos da média em pessoas jovens), com relação à pressão sonora, como sendo:

Limiar da audição humana

20 μPa

A pressão atmosférica, ao nível do mar, é cerca de 10^5 Pa, ou seja, muito maior que nosso limiar de audição. Desta forma, qualquer variação na pressão atmosférica será percebida

pelo ouvido humano, se for (teoricamente) superior ao limiar da audição humana. Então, a pressão atmosférica se comporta como um nível DC e somente as variações serão percebidas.

Essas variações representam a pressão sonora.

A pressão sonora é normalmente representada em decibéis, em relação ao limiar da audição, o que facilita bastante o trabalho:

$$L_p [dB SPL] = 20 \cdot \log \frac{\text{pressão}}{\text{pressão de referência}} = 20 \cdot \log \frac{L}{20\mu Pa} \quad [3.4]$$

Um Pascal corresponde a: $L_p = 20 \cdot \log \frac{1Pa}{20\mu Pa} = 93,98 \approx 94 dB SPL$ [3.5]

A pressão sonora representada em decibéis é também chamada de nível sonoro ou SPL (*Sound Level Pressure*). É equivalente à intensidade do sinal elétrico, medida em Volts.

Toda representação em decibel deve indicar qual é o referencial. No caso da pressão sonora escreve-se “SPL” ao lado de “dB” para indicar que referência é o limiar citado.

Se a pressão sonora estiver no limiar da percepção humana, teremos:

$$L_p [dB SPL] = 20 \cdot \log \frac{20\mu Pa}{20\mu Pa} = 20 \cdot \log(1) = 0 \quad [3.6]$$

Então, 0 dB SPL é o limiar da audição.

Pesquisas mostram que o ouvido humano consegue discernir cerca de 280 intensidades diferentes.

3.3 Pressão atmosférica

A pressão atmosférica (1 ATM) é um valor que pode ser considerado constante e corresponde a 10^5 Pascal. Como esse nível constante (DC) serve de patamar para as variações de pressão sonora. A máxima pressão sonora possível, valor de pico, sem distorção não linear, corresponde à pressão atmosférica que, em decibéis SPL é:

$$L_{p-ATM} [dB SPL] = 20 \cdot \log \left(\frac{10^5}{0,00002} \right) \quad [3.7]$$

$$L_{p-ATM} [dB SPL] = 194 dB SPL \quad [3.8]$$

3.4 Limites da pressão sonora

Por definição, o som, com relação à sua intensidade (pressão sonora), é limitado entre o limiar da audição humana e a pressão atmosférica, ou seja, uma faixa de 194 dB.

O limite superior do ouvido humano foi definido como sendo 130 dB SPL, considerado o limiar da dor. Sons acima de 110 dB SPL já causam desconforto. Um concerto de rock pode chegar a 120 dB em momentos de pico.

Outros exemplos de intensidade sonora em dB SPL são:

- 35 dB = casa de campo, silenciosa à noite
- 45 dB = residência silenciosa
- 60 dB = conversa normal entre duas pessoas a 1 m
- 75 dB = intensidade de voz em um auditório para uma boa inteligibilidade
- 85 dB = rua barulhenta com tráfego intenso
- 95 dB = concerto de música popular
- 105 dB = concerto de rock
- 140 dB = tiro com revolver .45 a 7 metros de distância
- 200 dB = explosão de 22 kg de dinamite a 3 metros de distância

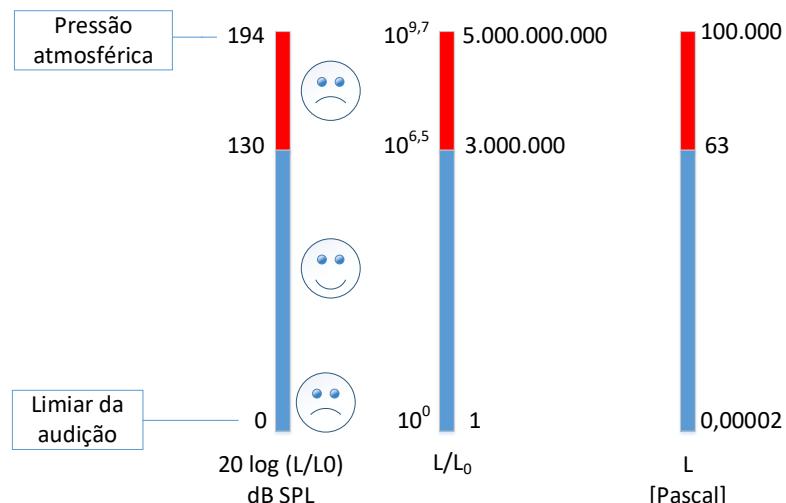


Fig. 3.7: Limites de intensidade de som

3.5 Lei do inverso do quadrado

Uma fonte sonora pontual emite sinal em todas as direções. A energia emitida exerce uma pressão total que é distribuída na superfície da esfera cujo raio (d) é a distância do ouvinte até a fonte e a área total da esfera é $A = 4\pi \cdot d^2$.

Conforme o ouvinte vai se afastando da fonte, a energia e consequentemente, a pressão, vai caindo na razão da área da esfera.

$$\Delta_{SPL}[dB] = 10 \cdot \log \left(\frac{F/(4 \cdot \pi \cdot (d_2)^2)}{F/(4 \cdot \pi \cdot (d_1)^2)} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{(d_1)^2}{(d_2)^2} \right) = -10 \cdot \log \left(\frac{(d_2)^2}{(d_1)^2} \right) \approx -20 \cdot \log \left(\frac{d_2}{d_1} \right)$$

Quando o ouvinte se afasta da fonte, a pressão SPL cai na razão do inverso do quadrado, da razão do afastamento.

$$\Delta_{SPL}[dB] \equiv -20 \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

d1 = distância antes
d2 = distância depois

[3.9]

No caso do afastamento ser até o dobro da distância (k = 2), a pressão cai 6 dB:

$$\Delta_{SPL}[dB] = -20 \cdot \log(2) = -20 \cdot 0,3 = -6 dB$$

Se o ouvinte triplicar a distância da fonte (razão 3), a pressão SPL cai cerca de 9,6 dB:

$$\Delta_{SPL}[dB] = -20 \cdot \log(3) = -20 \cdot 0,48 = -9,6 dB$$

Não confundir Pressão sonora (SPL) com potência sonora (SWL) ou com intensidade sonora:

Pressão sonora (L_p): medida em dB SPL (em relação ao limiar da audição)

Potência sonora (L_w): medida em dB SWL (em relação a 10⁻¹² Watts)

Intensidade sonora (L_i): é a potência sonora por m².

Usaremos sempre a pressão sonora, mas pra matar a curiosidade:

$$L_w = L_p + \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot (r)^2}\right)$$

onde: Q = diretividade da fonte

[3.10]

São parâmetros diferentes, portanto cuidado ao usar esses nomes. Nada de falar potência ou intensidade sonora para se referir à pressão sonora.

3.6 Ângulo sólido: esfero-radiano

Um ângulo sólido que ilumina uma superfície da esfera, quadrada, de lados igual ao raio da esfera é 1 esfero-radiano (usaremos o símbolo "Θ" para se referir ao valor do ângulo).

A esfera tem:

$$\frac{\text{área total da esfera}}{r^2} = \frac{4\pi \cdot r^2}{r^2} = 4\pi \text{ esfero-radianos}$$

[3.11]

3.7 Sensibilidade do alto-falante

A sensibilidade do alto-falante é a pressão sonora que ele gera a uma distância de 1 metro, no seu eixo principal (perpendicular à face do alto-falante), quando excitado com 2,83 volts (1 W de potência elétrica, supondo que o alto-falante possui impedância de 8 ohms), com sinal tipo ruído rosa (ruído branco filtrado a 10dB/década).

Exemplo:

Seja um sonofletor de 80 dB-SPL alimentado com 2 W de potência elétrica. Qual será a pressão sonora a 30 metros do alto-falante?

O aumento de potência na saída do amplificador em relação à 1 W é:

$$\Delta P = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{2}{1}\right) = 3 \text{ dB}$$

A atenuação entre o ponto de referência de potência do sonofletor ($d_1 = 1\text{m}$) e o ponto de 30 metros é:

$$A = 20 \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right) = 20 \cdot \log(30) = 29,5 \text{ dB}$$

Finalmente, a pressão sonora a 30 metros será:

$$L_p = \text{sensibilidade do sonofletor} + \Delta P - \text{Atenuação}$$

[3.12]

$$L_p = 80 + 3 - 29,5 = 53,5 \text{ dB SPL}$$

3.8 Resposta polar: cobertura do alto-falante

A sensibilidade definida anteriormente é no eixo principal, onde se considera zero grau. A pressão sonora gerada pelo alto-falante em outros ângulos, tanto na horizontal quanto na vertical, define sua resposta polar.

Considera-se com ângulo de cobertura do alto-falante, aquele delimitado pelos pontos de - 6 dB em relação ao eixo principal.

A figura 3.8 mostra a resposta polar da caixa modelo "Control 26C" da JBL, para frequências entre 1,25 até 2,5 kHz. Nota-se que a cobertura dessa caixa gira em torno de 160 graus ($\approx 2 \times 85$).

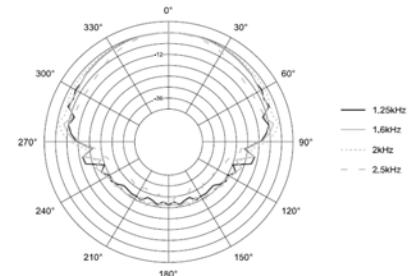


Fig. 3.8: Resposta polar

3.9 Diretividade

É a razão entre a potência sonora medida no eixo principal do elemento irradiante (a uma certa distância) e a potência nesse mesmo ponto se o elemento irradiasse omnidirecionalmente. Essa relação é equivalente a uma concentração de energia em um ângulo menor que o total (4π esferoradianos), podendo ser entendida como uma área menor iluminada pela radiação da fonte, em relação à área total da esfera. Então, o fator de diretividade pode ser dado por:

$$Q = \frac{4\pi}{\Theta} \quad [3.13]$$

O fator de diretividade expresso em "dB" é chamado de índice de diretividade (DI):

$$DI = 10 \cdot \log Q \quad [3.14]$$

$$Q = 10^{\frac{DI}{10}} \quad [3.15]$$

Uma fonte pontual que emite em todas as direções (omnidirecional), tem diretividade igual a 1:

$$Q = \frac{4\pi}{\Theta} = \frac{4\pi}{4\pi} = 1$$

3.1.1 Reflexão de fonte omnidirecional

A pressão sonora de uma fonte omnidirecional, no espaço livre, se propaga conforme especificado na equação 3.12.

Havendo, entretanto, superfícies refletoras, a pressão sonora é amplificada.

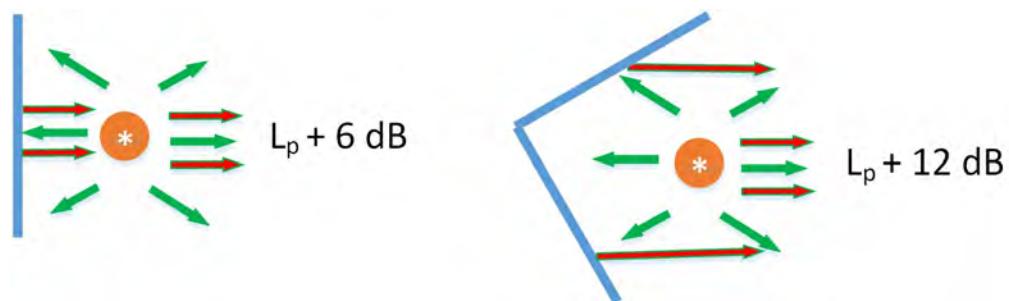


Fig. 3.9: Reflexão de uma fonte omnidirecional

3.1.2 Elemento irradiante de alta diretividade

A figura 3.5 mostra um elemento irradiante tipo corneta, da JBL, modelo 2370A, que possui um índice de diretividade $DI = 10,9$ dB. Pela equação 3.14 temos:

$$Q = 10^{\frac{DI}{10}} = 10^{\frac{10,9}{10}} = 12,3$$

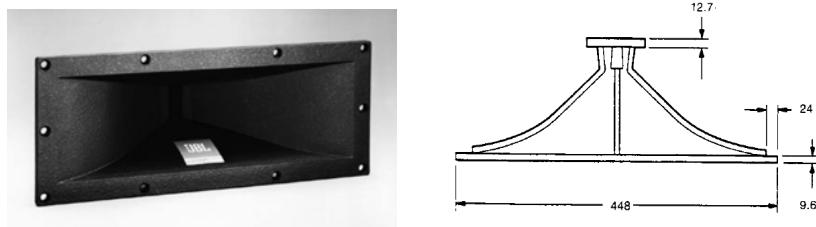


Fig. 3.10: Corneta JBL modelo 2370A

A pressão sonora em um ponto a uma distância "d" da fonte é dada pela equação 3.16 onde L_w é a potência sonora emitida, a constante "11 dB" é um valor calculado em função da impedância acústica normal:

$$L_p = L_w - 20 \cdot \log(d) - 11 + DI \quad [3.16]$$

Se o elemento irradiante for omnidirecional, então $DI = 0$ dB.

3.1.3 Utilizando a resposta polar

A partir da resposta polar do elemento irradiante, podemos calcular a pressão sonora em ângulos a partir do eixo principal.

Tomemos como exemplo uma corneta com a resposta polar da figura 3.6:

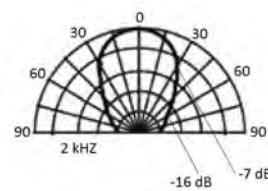


Fig. 3.11: Exemplo de resposta polar vertical

Ela possui uma resposta de -7 dB a 30 graus e -16 dB a 60 graus.

Em uma instalação onde ela fica suspensa, a resposta polar pode ser aproveitada para equalizar a pressão sonora ao longo da audiência, conforme ilustra a figura 3.7.

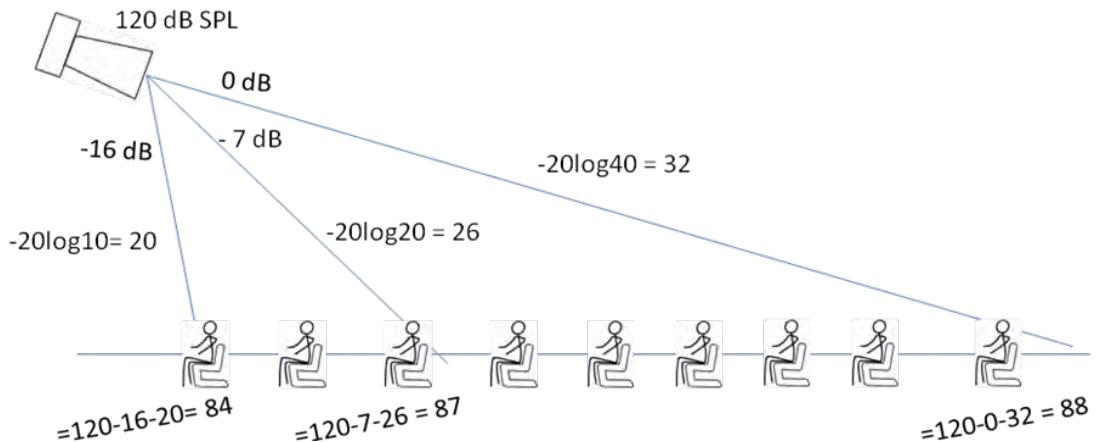


Fig. 3.12: Audiência

3.10 Sensibilidade do microfone

É a tensão elétrica que ele gera ao ser excitado com uma pressão de $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pascal} = 94 \text{ dB SPL}$.

Exemplo: um microfone com sensibilidade de 20 mV/Pa gera uma tensão de 20 mV ao receber um som com pressão de 94 dB SPL .

A tensão na saída do microfone, portanto, é função da pressão sonora recebida e da sensibilidade do microfone:



Fig. 3.13: Microfone

$$V_0 = (\text{sensibilidade}) \cdot 10^{\frac{P_i - 94}{20}} \quad P_i = \text{pressão sonora recebida} \quad [3.17]$$

Note que se P_i for igual a 94 dB SPL , a tensão de saída será igual à sensibilidade.

3.11 Ganho acústico

É o aumento de pressão sonora que ocorre na posição do ouvinte quando o amplificador é ligado.

Vamos imaginar uma situação onde não há reflexões, como o ambiente externo por exemplo.

Referindo-se à figura 3.9, vamos considerar o microfone e o alto-falante como omnidirecionais.

L_{mic} = pressão gerada pelo palestrante no microfone

L_{af} = pressão gerada pelo alto-falante a 1 m (sensibilidade)

L_{ou} = pressão resultante na posição do ouvinte

d_s = distância da boca do palestrante até o microfone

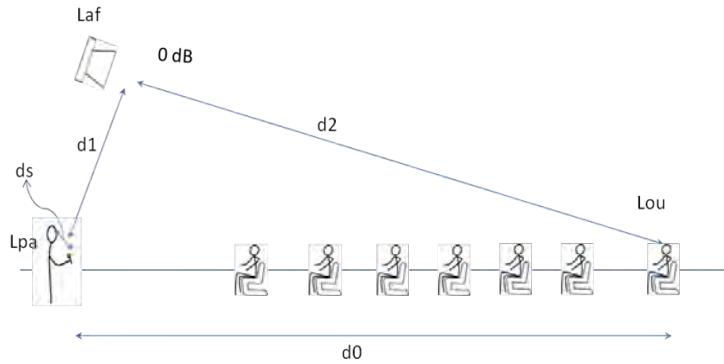


Fig. 3.14: Audiência

Situação 1: amplificador desligado

$$L_{OU(1)} = L_{mic} - 20 \cdot \log\left(\frac{d_0}{d_s}\right) \quad [3.18]$$

Situação 2: amplificador ligado:

Pela equação 3.12:

$$L_{OU(2)} = L_{af} + \Delta P - 20 \cdot \log(d_2) \quad [3.19]$$

$$\boxed{Ganho acústico = L_{OU(2)} - L_{OU(1)}} \quad [3.20]$$

O ganho ΔP do amplificador (em relação a 1 W) deve ser limitado a um certo valor de forma que a pressão gerada pelo alto-falante chegue ao microfone do palestrante com, no máximo, a potência da voz dele, a fim de evitar oscilação do sistema (microfonia). Então:

$$L_{af} + \Delta P - 20 \cdot \log(d_1) \leq L_{mic} \quad [3.21]$$

Explicitando o valor de L_{mic} na equação 3.18 e substituindo em 3.21:

$$L_{af} + \Delta P - 20 \cdot \log(d_1) \leq L_{OU(1)} + 20 \cdot \log\left(\frac{d_0}{d_s}\right) \quad [3.22]$$

Explicitando o valor de L_{af} na equação 3.19 e substituindo em 3.22:

$$L_{OU(2)} - \Delta P + 20 \cdot \log(d_2) + \Delta P - 20 \cdot \log(d_1) \leq L_{OU(1)} + 20 \cdot \log\left(\frac{d_0}{d_s}\right)$$

$$\therefore L_{OU(2)} - L_{OU(1)} \leq 20 \cdot \log \left(\frac{d_0}{d_s} \right) - 20 \cdot \log(d_2) + 20 \cdot \log(d_1)$$

$$L_{OU(2)} - L_{OU(1)} \leq 20 \cdot \log \left(\frac{d_0}{d_s} \right) + 20 \cdot \log \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$

$$L_{OU(2)} - L_{OU(1)} \leq 20 \cdot \log \left(\frac{d_0 \cdot d_1}{d_2 \cdot d_s} \right) \quad [3.23]$$

É necessário adicionar uma margem de segurança para garantir que o sistema não entre em oscilação. Digamos que seja 6 dB. Então a equação do ganho acústico fica:

$$L_{OU(2)} - L_{OU(1)} \leq 20 \cdot \log \left(\frac{d_0 \cdot d_1}{d_2 \cdot d_s} \right) - 6 \quad [3.24]$$

3.12 Considerando a resposta polar

Se considerarmos as respostas polares do alto-falante e do microfone, poderemos ter um ganho acústico maior.

(desenvolver assunto em sala)

3.13 Ambiente ruidoso

O cenário discutido considerou ambiente sem ruído.

(desenvolver assunto em sala)

(assunto do Capítulo 5)

3.14 Absorção do som

Além da perda de pressão devido ao espalhamento da frente sonora, conforme discutido anteriormente, o som sofre mais uma atenuação devido ao fenômeno chamado de "absorção". A tabela abaixo foi extraída de um trabalho de Dennis Bohn¹, diretor de engenharia da Rane na época e publicado no jornal da AES.



Dennis Bohn

¹ Bohn, Dennis A, "Environmental Effects on the Speed of Sound", J. Audio Eng. Soc., Vol. 36, No. 4", abril de 1988, apresentado na 83ª Convenção da AES, New York, em outubro de 1987

Total sound absorption in dB/km versus relative humidity as a function of frequency at 20°C (68°F).

Frequency (kHz)	Relative humidity (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2	4.14	38.2	17.4	10.9	8.34	7.14	6.55	6.28	6.19	6.21	6.29
4	8.84	102	62.3	38.9	28.0	22.2	18.7	16.6	15.2	14.2	13.6
6.3	14.9	154	135	90.6	65.6	51.3	42.5	36.7	32.7	29.8	27.7
10	26.3	202	261	205	155	123	102	87.3	77.0	69.3	63.5
12.5	35.8	224	338	294	232	187	156	134	118	106	96.6
16	52.2	250	428	423	355	294	248	214	189	170	155
20	75.4	281	511	564	508	435	374	326	289	261	238

J. Audio Eng. Soc., Vol. 36, No. 4, 1988 April

Fig. 3.7: Absorção do som

Então, a fórmula de atenuação da pressão sonora se completa com o fator correspondente à absorção:

$$\Delta_{SPL}[dB] = -20 \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right) - Absorção \quad [3.25]$$

Como a influência da absorção é pequena comparada à do espalhamento, nos projetos mais comuns de rede internas, a consideraremos como zero, mas é bom conhecer o fenômeno para eventuais casos especiais.

E em sonorizações de grandes ambientes essa parcela pode ter influência significativa. Por exemplo, em um estádio, grande auditório ou um show onde pode haver pessoas a 100 metros de distância, as componentes de 10 kHz com umidade de 30%, segundo a figura serão adicionalmente atenuadas em 20 dB. Não é pouco.

3.15 Medição da pressão sonora

A medida da pressão sonora é feita por um medidor de nível sonoro, que pode possuir 4 opções de filtragem na entrada:

- Sem filtro (resposta plana na faixa toda)
- A
- B
- C



Fig. 3.15: Medidor de pressão sonora

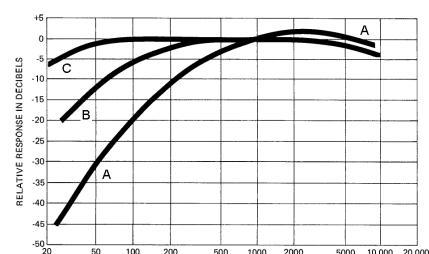


Fig. 3.16: filtros para medida

As medidas realizadas devem mencionar o filtro utilizado: dB(A), dB(B), dB(C) ou dB(Lin).

Há duas categorias de medidores de pressão sonora:

- Classe 1: uso em pesquisa e certificações
- Classe 2: uso geral

3.1.4 Inteligibilidade

A pressão sonora a 1 metro da boca do interlocutor, gerada por uma conversação gira entre 60 e 65 dBA

Para se obter uma ótima inteligibilidade, sem considerar reflexões, a fala deve estar cerca de 20 dB acima do nível de ruído do ambiente, medida em dBA

3.1.5 Nível de pressão sonora equivalente

É um parâmetro utilizado em medidas quando o intervalo de tempo é grande (minutos, horas) principalmente para avaliar a situação de ruído de um ambiente. É dado por:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p^2(t)}{p_0^2} \right) \cdot dt$$

O equipamento utilizado para executar essas medidas é chamado de dosímetro.

3.1.6 Registradores de pressão

Há softwares aplicativos para aparelhos celulares que permitem, de forma prática e conveniente, registrar a pressão acústica em função do tempo.

A figura 3.12 é o registro do som da execução de "Brothers in arms" em 1993 pela banda Dire Straits (Youtube).

O software utilizado foi o "Audio Tools" para plataforma iOS, da Studio Six Digital.

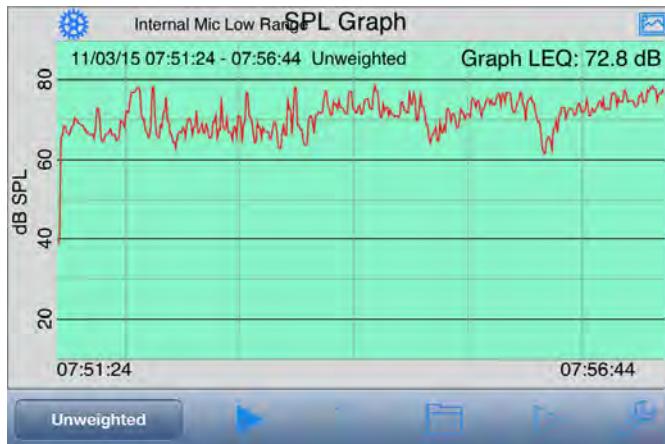


Fig. 3.17: Exemplo de registro de SPL

3.1.7 Experiência

- Medidor de pressão acústica
- Gerador de ruído branco
- Caixa amplificada
- Cabos

1 Ouvir e identificar sinais: senoide, quadrada, ruído

2 Medir pressão sonora em silêncio e com ar condicionado ligado

3 Medir pressão sonora, avaliar relação S/R e inteligibilidade

3.16 Medição de nível de sinal elétrico

O medidor de nível de sinal elétrico é comumente chamado de voltímetro.

Alguns "voltímetros" são especialmente calibrados para indicar a potência medida, como é o caso do medidor em dBm, cuja indicação correta de potência deve ser em uma medida sobre uma carga de $600\ \Omega$.

Entretanto, com relação à resposta no tempo, há três categorias de medidores utilizados em áudio:

- medidor real de pico
- medidor PPM (Peak Program Meter)

- medidor VI (Volume Indicator)

É importante que se saiba qual é o tipo do medidor para o qual estamos olhando a indicação de intensidade do sinal.

O medidor de real de pico dá respostas rápidas, acompanhando a excursão de subida do sinal e eventuais picos rápidos podem ser notados. Um exemplo é o osciloscópio.

O medidor PPM possui um tempo de subida maior, característica que o faz ficar míope aos picos mais rápidos. Em geral a diferença entre o medidor PPM e o real é em torno de 6 a 10 dB para os picos.

Os medidores, real e PPM, são normalmente utilizados em estúdios de gravação.

O medidor VI possui um tempo de subida ainda maior que o PPM, tornando-o praticamente cego aos picos. Este tipo de medidor é normalmente utilizado em apresentações ao vivo.

Volume Indicator



Fig. 3.18: Painel de medidor VI

3.17 Norma Técnica ABNT NB-95 de 1996 (história)

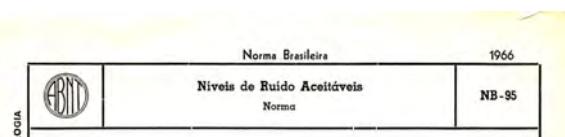


Fig. 3.19: Título da norma NB-95

3.18 Norma Técnica ABNT NBR-10152 de 1987

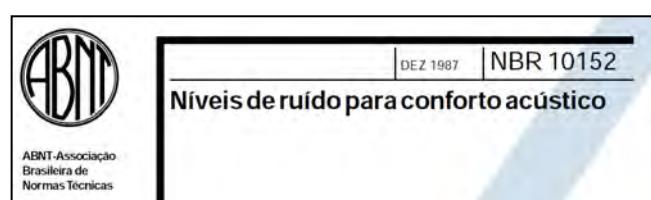


Fig. 3.19: Título da norma NBR

A norma brasileira estabelece dois valores de ruído para alguns tipos de ambientes: o primeiro indica o valor máximo para conforto; o segundo indica o valor aceitável. A norma estabelece que níveis acima são considerados de desconforto mas não implicam necessariamente em risco de danos à saúde.



Locais	dB(A)
Hospitais	
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50
Serviços	45-55
Escolas	
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45
Salas de aula, Laboratórios	40-50
Circulação	45-55
Hotéis	
Apartamentos	35-45
Restaurantes, Salas de Estar	40-50
Portaria, Recepção, Circulação	45-55
Residências	
Dormitórios	35-45
Salas de estar	40-50
Auditórios	
Salas de concertos, Teatros	30-40
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45
Restaurantes	40-50
Escritórios	
Salas de reunião	30-40
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45
Salas de computadores	45-65
Salas de mecanografia	50-60
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40-50
Locais para esporte	
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60

Fig. 3.20: Tabela de níveis sonoros - NBR-10152

3.19 Análise e discussão: caixa embutir Denon DN-104s

É uma caixa acústica de embutir (arandela) tipo two way: um cone de 4 polegadas para os graves e um tweeter de 0,25 polegadas para os agudos. Peso de 2,15 kg



SYSTEM PERFORMANCE

Frequency Range (-10dB):	100 Hz—20 kHz
Power Capacity:	60 W Peak
Nominal Sensitivity:	86dB SPL, 1W @ 1m (3.3 ft)
Nominal Dispersion:	120° Conical coverage pattern
Directivity Factor (Q):	6.7 Averaged from 100 Hz to 4 kHz
Directivity Index (DI):	7.1 Averaged from 100 Hz to 4 kHz
Rated Maximum SPL:	102dB
Nominal Impedance:	16 Ω
Transformer Taps:	Direct: 16 Ω 70V: 10W, 5W, 2.5W, 1.25W 100V: 10W, 5W, 2.5W

- vantagens da arandela fechada
- dispersão
- resposta em frequência
- sensibilidade
- taps para linhas 70v e 100v

