

8

ÁUDIO PARTE 8 ESTRUTURA DE GANHO

Fabio Montoro

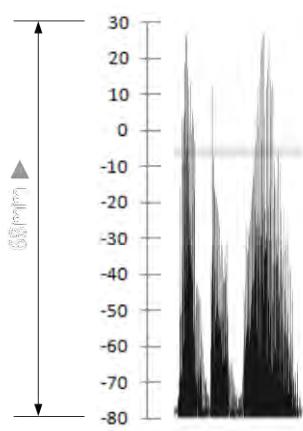
Revisado em 12-3-2015

8.1 Faixa dinâmica

Faixa dinâmica, ou *Dynamic Range* (DR) é a diferença entre o maior valor de pico e o menor valor RMS de sinal que o equipamento (ou canal) consegue operar.

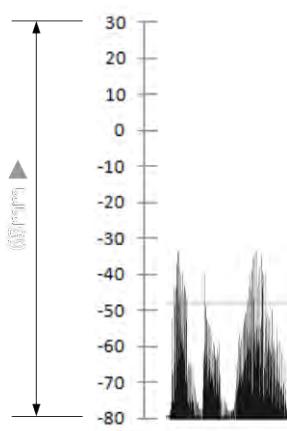
O nível máximo é aquele imediatamente abaixo do limiar da saturação.

O nível mínimo corresponde ao nível de ruído gerado pelo próprio equipamento (ou canal), também chamado de ruído residual.



Faixa dinâmica de 110 dB

(a) sinal de -8 dBu



Faixa dinâmica de 110 dB

(b) sinal de -48 dBu

Fig. 5.1: Faixa dinâmica de 110 dB:

A figura 5.1 mostra duas situações em um canal com dinâmica de 110 dB:

- O sinal ocupa toda a faixa possível, possuindo um valor médio de -8 dBu RMS

- b) O sinal não aproveita toda a dinâmica, possuindo -48 dBu RMS

Supondo que o limiar de ruído do canal seja -80 dBu RMS, as respectivas relações sinal-ruído são:

$$a) \quad SNR_a = -8 - (-80) = 72 \text{ dB} \quad [8.1]$$

$$c) \quad SNR_b = -48 - (-80) = 32 \text{ dB} \quad [8.2]$$

A primeira situação oferece a melhor relação sinal-ruído possível, pois o sinal ocupa toda a faixa, com seus picos máximos ficando logo abaixo do limiar da saturação.

Pela figura observa-se que o fator de pico da primeira situação é de 38 dBu.

8.2 O que é estrutura de ganho

A estrutura de ganho é o conjunto de ajustes de intensidade de sinal, nos equipamentos da cadeia de áudio: mixer ou mesa de som, processador e amplificador. O mixer representa o elemento principal da cadeia, com relação ao ajuste da estrutura de ganho.

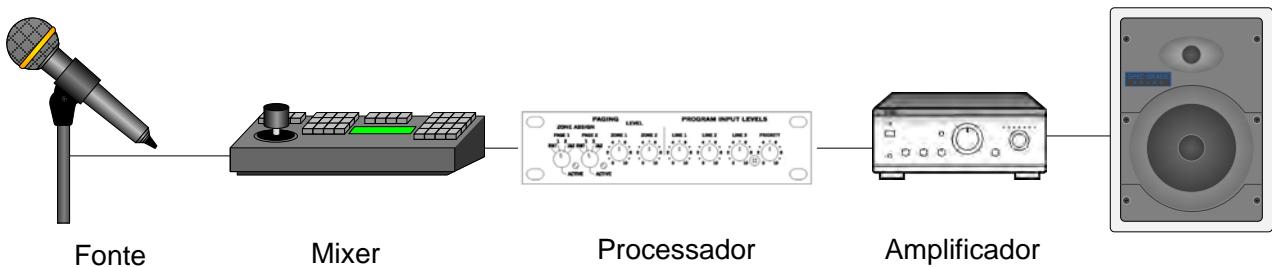


Fig. 5.2: Cadeia de áudio

O ajuste da estrutura de ganho tem quatro objetivos:

- Posicionar os controles de volume (Faders) na faixa adequada, em torno do Zero (Main Fader e Faders dos canais)
- Permitir boa leitura dos níveis nos indicadores:
 - Medidor RMS (VI) indicar 0 dB
 - Medidor de pico (PPI) indicar + 16 dB
- Reducir ao máximo o ruído na saída do mixer (otimizar a relação sinal-ruído)
- Evitar distorções devido a saturações (clippings)

O melhor resultado é obtido quando o processo de alinhamento da estrutura ajusta os sinais para o maior nível possível, desde o início da cadeia, sem saturar. Desta forma consegue-se um sistema com a melhor relação sinal-ruído possível.

8.3 O microfone

Com relação ao método de transdução, os microfones podem ser classificados como:

- **Carbono**: antigo, barato e ruim (gera muito ruído). Alto nível de saída (-20 a 0 dBV)
- **Piezoelétrico**: barato, antigo, alto nível de saída (-40 a -20 dBV), alta impedância de saída. Aplicações restritas a alguns medidores de nível sonoro
- **Dinâmico**: qualidade média, baixo nível de saída (-60 a -50 dBV). Normalmente baseado em uma bobina móvel.
- **Capacitor**: boa resposta em frequência, baixo ruído interno, robusto, precisa de um circuito ativo de alimentação. Nível de saída médio (-50 a -25 dBV)

Com relação à diretividade, podem ser:

- **Omnidirecional**: mesma captação em todas as direções (distância equivalente $D_e = 1$)
- **Bidirecional**: captação em duas direções, normalmente de carbono $D_e = 1,7$)
- **Direcional**: cardióide ($D_e = 1,7$), super-cardióide ($D_e = 1,9$), hiper-cardióide ($D_e = 2$)

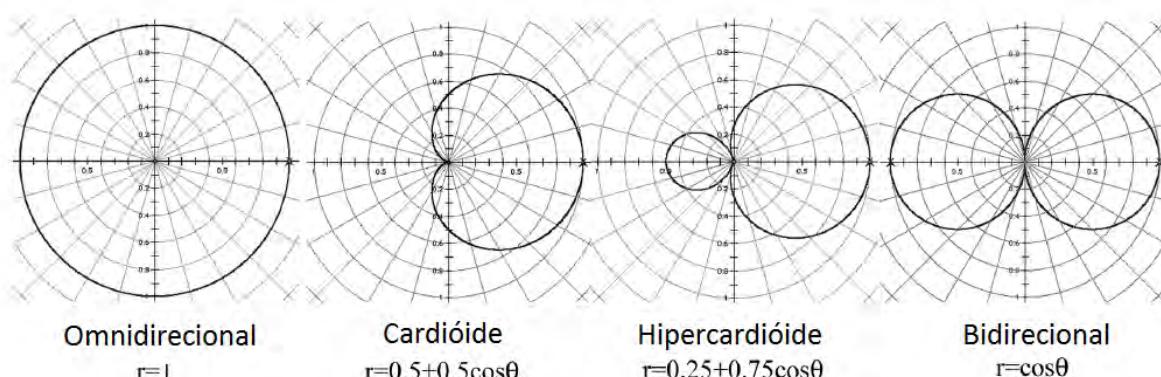


Fig. 5.3: Diagramas polares de sensibilidade de microfones

As principais aplicações para os microfones são:

- Entretenimento
- Avisos

- Gravação
- Medição

Algumas dicas de posicionamento do microfone:

- **Perto** do locutor quando o ambiente é ruidoso. **Longe** quando o ambiente é silencioso e quem fala se move
- Cuidado com superfícies planas perto do microfone, principalmente quando a fonte está afastada. Essa situação gera cancelamentos do sinal em uma determinada frequência (f_{notch}), dependendo da posição do microfone em relação à superfície:

$$f_{notch} = \frac{172}{D_r - D_d} \quad [8.3]$$

D_r = caminho percorrido pela onda refletida [m]

D_d = caminho percorrido pela onda direta [m]

- Em palestras importantes, instalar dois microfones no púlpito, posicionados em frente ao palestrante, em ângulo aproximado de 90 graus entre eles. Neste caso os dois microfones podem ficar ligados e os sinais somados na mesa, sem perigo de cancelamento de sinal. A distância do microfone ao palestrante não deve exceder 50 cm.
- Para gravação, utilizar microfone capacitivo o mais próximo possível da boca, com filtro TP (para reduzir o impacto dos sons dos "Ts" e "Ps").
- Em ambiente externo utilizar filtro contra ruído de vento.

8.4 O mixer

O mixer (misturador, mesa de som) é o dispositivo (bloco funcional) que recebe as fontes de sinal, faz a primeira amplificação, soma essas fontes e gera o sinal de saída para o próximo bloco funcional, que é o processador.

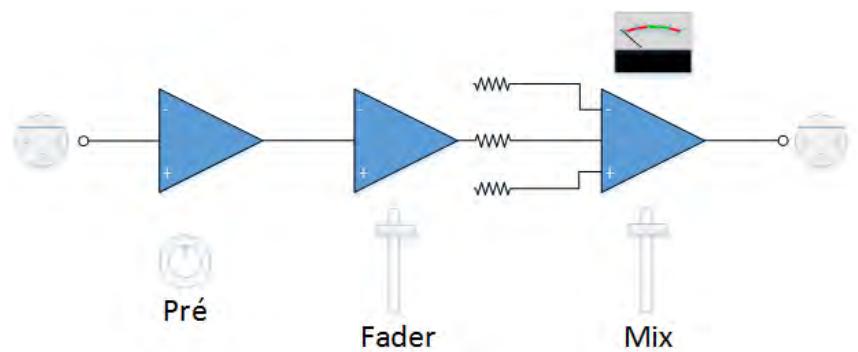


Fig. 5.4: Estágios e respectivos controles de intensidade do mixer

Normalmente o mixer possui três estágios de amplificação, como ilustra a figura 5.4, cada um com seu controle de intensidade (volume): o pré-amplificador de canal (controlado por um botão redondo), o de canal (controlado por um deslizante, ou "fader") e o principal (main ou mix, também controlado por um deslizante).



Fig. 5.5: Mesa de som Soundcraft EFX

O mixer é o primeiro responsável pela determinação da faixa dinâmica do sistema que, inicialmente, fica limitada à faixa que vai do seu ruído residual ao seu nível máximo de saída.

8.4.1 Como determinar o nível máximo de saída do mixer

O nível máximo da faixa dinâmica do mixer é dado pelo maior nível que ele consegue gerar, sem saturar. É importante conhecer esse valor. Pode ser consultado no manual do mixer, mas é sempre conveniente fazer a medida. O procedimento abaixo mostra como.

Prepare a bancada de teste:

Instrumentos necessários

- 1 Gerador de sinal senoidal com capacidade de varredura automática
- 1 Osciloscópio
- 1 Medidor de nível RMS
- 1 Terminador XLR de 150 Ω
- 1 Cabo Gerador-XLR
- 1 Cabo XLR-Osciloscópio/Medidor

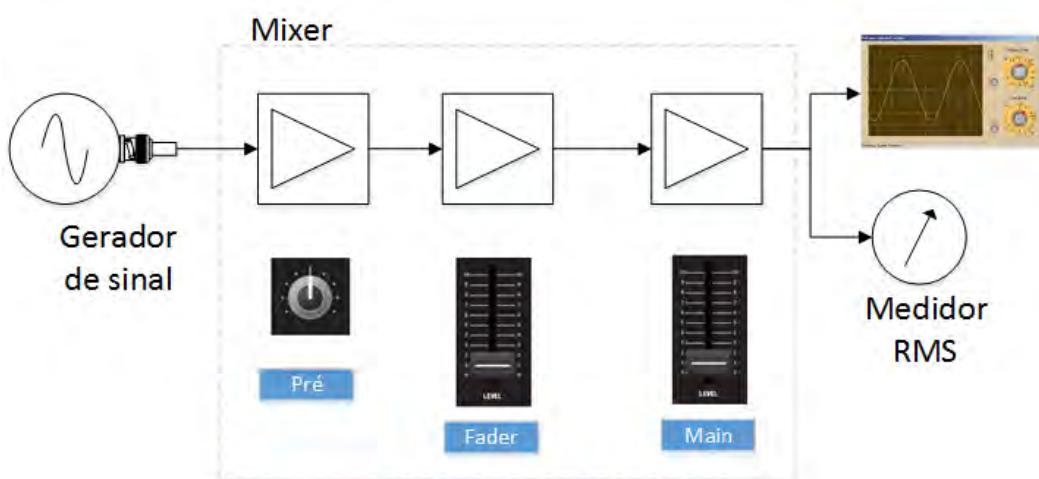


Fig. 5.6: Bancada de teste do mixer

- a. Anular (zerar) os efeitos dos filtros e equalizadores do mixer

- b. Escolher um canal do mixer
- c. Reduzir o ganho do pré-amplificador ao mínimo
- d. Conectar o gerador de sinal senoidal na entrada desse canal
- e. Conectar o osciloscópio na saída do mixer
- f. Conectar o medidor de nível RMS na saída do mixer
- g. Ajustar o deslizante do canal para -10 dB
- h. Ajustar o deslizante principal para -3 dB
- i. Injeta um sinal de 1000 Hz @ -15 dBu
- j. Aumentar o ganho do pré até o sinal de saída saturar
 - Volte o ganho e deixe-o um pouco antes da saturação
- k. Aumentar o ganho do deslizante, do canal, até o sinal de saída saturar
 - Volte o ganho e deixe-o um pouco antes da saturação
- l. Aumentar o ganho do deslizante principal até o sinal de saída saturar
 - Volte o ganho deixe-o um pouco antes da saturação
- m. Medir o nível RMS da saída. Este é o nível máximo do mixer
 - Quanto maior, melhor
 - Valor esperado: +20 a 30 dBu (teto da faixa dinâmica)
 - Bom que seja > + 26 dBu

A Rane fabricava, mas deixou de comercializar, um gerador de sinal de 400 Hz e 0 dBu e um piezo, ambos com conector XLR, próprios para esse tipo de ajuste.



Fig. 5.7: Test Set RaneGain

8.4.2 Utilizando o piezo tweeter

Em 1996, Pat Brown criou um método alternativo para determinar a saída máxima de um mixer, utilizando um piezo tweeter.

O piezo tweeter é um transdutor de alta impedância de entrada (cerca de $2\text{ k}\Omega$) que gera um sinal sonoro quando se aplica um sinal senoidal entre 1 e 20kHz em seus terminais.

Se substituirmos o osciloscópio por um piezo na saída do mixer e injetarmos uma senóide de 400 Hz (abaixo da faixa do piezo) o sinal será inaudível até que a senóide sofra saturação, quando serão geradas harmônicas acima de 1kHz a ativarão o piezo.

O procedimento é o mesmo, apenas ao invés de verificar a saturação no osciloscópio, ouve-se o piezo.

- Alternativa com piezo tweeter ($Z_{in} = 2\text{ k}\Omega$, $BW = 1$ a 20 kHz): injeta um sinal de 400 Hz @ -15 dBu;
- Utilizar um cabo de sangria para o piezo tweeter

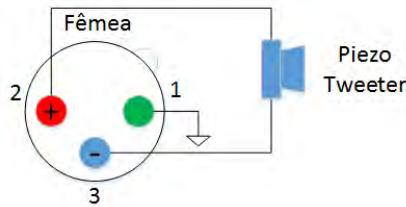


Fig. 5.8: Conexão do Piezo Tweeter

8.4.3 Utilizando o ouvido

O procedimento é o mesmo, porém na saída vamos utilizar o próprio amplificador ou uma caixa de som amplificada, porém com acesso fácil ao ganho durante o procedimento.

Executa-se o mesmo procedimento, porém nos passos "h" "i" e "j" ouve-se o som da senoide até perceber quando ele muda para um som de uma onda quadrada.

8.4.4 Como determinar o ruído residual do mixer

- Após executar o procedimento anterior, deixar os controles nas respectivas posições
- Conectar um resistor¹ de $150\ \Omega$ na entrada do mixer (entre os pinos 2 e 3 do conector)
- Medir o nível do sinal de saída. Este é o ruído residual do mixer para a máxima saída

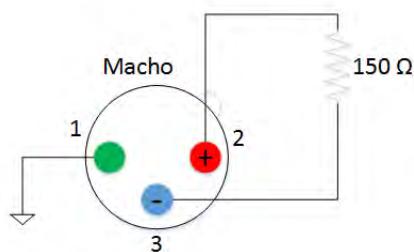


Fig. 5.9: Terminado XLR de $150\ \Omega$

8.5 Determinando a dinâmica do mixer

Após executar os dois procedimentos de teste descritos anteriormente, a dinâmica do mixer é dada pela subtração dos dois valores encontrados.

¹ Na verdade, o resistor deve ser igual à impedância de saída do microfone. O valor de $150\ \Omega$ é típico e é o valor utilizado nos testes. O resistor deve ser de qualidade, do tipo filme metálico, pois um resistor também gera cerca de -130 dBu de ruído, conhecido como ruído térmico (a 20 °C).

Exemplo: suponha que as medidas indicaram os seguintes valores: + 26 dBu como nível máximo e - 67 dBu como ruído residual. Então a dinâmica será:

$$\text{Dinâmica} = 26 - (-67) = 92 \text{ dB} \quad [8.4]$$

Um mixer de qualidade deve possuir dinâmica acima de 100 dB, sendo excelente se chegar perto de 120 dB.

A mesa da Soudcraft modelo Si3 informa em seu datasheet que a entrada de linha gera ruído < -82 dBu e o nível máximo da saída é de 20 dBu. Portanto, sua dinâmica é de:

$$\text{Dinâmica} = 20 - (-82) = 102 \text{ dB}$$



Fig. 5.10: Mesa de som Soundcraft Si3

A mesa da Soudcraft modelo Vi3000 informa em seu datasheet que a entrada de linha gera ruído < -95 dBu e o nível máximo da saída é de 22 dBu. Portanto, sua dinâmica é de:

$$\text{Dinâmica} = 22 - (-95) = 117 \text{ dB}$$

8.6 Determinando o nível de saída no zero do medidor

Injetando um sinal senoidal de 400 Hz, ajuste o ganho do pré até o medidor do mixer indicar "zero". Então é só medir o nível RMS da saída. Este é o 'nível de saída nominal do mixer, em geral, + 4 dBu.

8.7 Quando a fonte de sinal é um microfone (EIN)

Como o sinal do microfone é baixo, a relação sinal-ruído na entrada será o primeiro determinante da qualidade do sistema. A relação sinal ruído na entrada de microfone do mixer é dada pela relação entre o nível do sinal do microfone e o "ruído equivalente de entrada" ou EIN ("Equivalent Input Noise") do mixer, que é a quantidade de ruído que entra junto com o sinal do microfone.

$$S / R_{\text{Entrada}} = S_{\text{Microfone}} - EIN$$

O parâmetro EIN é dito "equivalente" porque o resultado é obtido da medida do ruído na saída do mixer, subtraindo o ganho, uma vez que a medida de níveis muito baixos é muito difícil.

Exemplo:

O mixer modelo MLM42S da Rane possui EIN de -126 dBu quando o ganho é de 50 dB, praticamente o mesmo da mesa Soundcraft Si3, que possui EIN de -126,5 dBu.

Se conectarmos um microfone gerando um sinal de -50 dBu, teremos a seguinte relação sinal-ruído:

$$S / R_{\text{Entrada}} = -50 - (-126) = 76 \text{ dB} \quad [8.6]$$

Esta equação somente permanece válida para ganhos acima 50 dB.

Alguns equipamentos não informam o EIN e isso não é bom. Na figura ao lado vemos a especificação dos mixers da série Xenyx da Behringer (Xenyx 502, ..., Xenyx 1202).

Já, para o mixer de oito canais modelo ZMX-8210 a Behringer informa um EIN de -116 dBuA.

MIC

Each mono input channel offers a balanced microphone input via the XLR connector and also features switchable +48 V phantom power supply for condenser microphones. The XENYX preamps provide undistorted and noise-free gain as is typically known only from costly outboard preamps.



1. Sempre consulte os dados técnicos dos equipamentos
2. Nunca acredite cegamente neles

8.8 Soma de canais no mixer

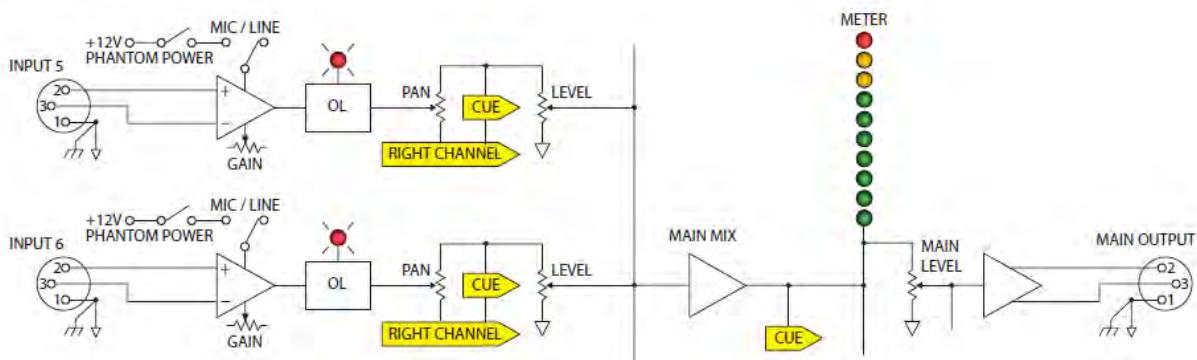


Fig. 5.8: Diagrama esquemático simplificado de um mixer

Ao se dobrar a quantidade de canais com os níveis iguais, o nível do sinal na saída sobe 3 dB.

Se temos dois canais com 0 dBu, a saída será de 3 dBu. Se dobrarmos para 4 canais com 0 dBu, a saída sobe para 6 dBu e assim por diante.

Deve ser deixada uma margem, que pode ser em torno de 10 dB se não houver mais informações sobre as fontes, para acomodar o somatório. Considerando "N" fontes, a elevação do nível do sinal de saída, em função de "N" com a mesma intensidade será:

$\Delta = 10 \cdot \log(N)$	N	10 log N	[8.7]
	2	3	
	4	6	
	8	9	

8.9 Ajuste do mixer

A posição ideal para os deslizantes é a posição "0" (zero).

A diferença entre a posição do deslizante e o limite superior do mixer (ponto de saturação) é a faixa destinada aos picos do sinal.

Como exemplo, o sinal da figura 5.1.a possui uma faixa de picos = 30 - (-8) = 38 dB.

A tabela a seguir mostra que para um determinado valor médio (RMS), cada tipo de sinal possui um valor de pico diferente. Essa relação entre o valor RMS e o de pico, ou fator de crista, deve ser definido adequadamente na estrutura de ganho.

Valor médio	V _{p-p}	dBu	Formato do sinal
0,775 V _{rms}	1,10	0	Senoidal
	1,34		Onda triangular
	5,11		Ruído gaussiano
1 V _{rms}	1,41	+ 2,2	Senoidal
	1,73		Onda triangular
	6,60		Ruído gaussiano
1,228 V _{rms}	1,74	+ 4	Senoidal
	2,13		Onda triangular
	8,10		Ruído gaussiano

8.9.1 Determine a saída do mixer com os Faders em zero

- Reconecte o gerador de sinal com uma senóide em 400 Hz. Teste para o nível de saída dos seguintes dispositivos:
 - Microfone = 1 mV_{rms} (-60 dBV)
 - CD player = 300 mV_{rms} (-10 dBV)
 - iPod = 500 mV_{rms} (-6 dBV)
 - Mixer = 1 V_{rms} (0 dBV)

$0,775 \text{ V}_{\text{rms}} = 0 \text{ dBu} = 0 \text{ dBm} @ 600\Omega$
$1,000 \text{ V}_{\text{rms}} = +2,2 \text{ dBu} = +2,2 \text{ dBm} @ 600\Omega$
$1,228 \text{ V}_{\text{rms}} = +4 \text{ dBu} = +4 \text{ dBm} @ 600\Omega$

- b) Ajuste os faders do mixer em zero
- c) A saída deve ficar no valor nominal do mixer = + 4 dBu

8.9.2 Se o mixer não conseguir elevar o nível da fonte sem acrescentar ruído, é sinal que a fonte está com o nível muito baixo ou o mixer não é do tipo profissional. Verificar nível da fonte e possibilidade de aumentá-lo. Um mixer profissional deve ter DR acima de 100 dB.

8.9.3 Procedimento de ajuste do mixer

- a. Escolha um canal
- b. Posicione todos os deslizantes, e o ganho do pré, em zero
- c. Ajuste o ganho do pré para o nível desejado, considerando a faixa da soma, digamos -10 dBu
- d. Silenciar o canal (mute)
- e. Passar ao próximo canal
- f. Após ajustar o último canal, ative todos os canais (tirar o mute)
- g. Inicie a passagem do som.
- h. Se a estrutura de ganho estiver boa, todos os deslizantes devem estar em 0 dB e o indicador de nível de saída deve estar perto do zero

8.10 Ajuste do Processador

O processamento do sinal ocorre no nível de linha, ou seja, em torno de +4 dBu, podendo ser analógico ou digital. O sinal deve sair do processador no mesmo nível, ou seja, +4 dBu.

Como o processador atuará em toda a faixa de frequência do áudio, o sinal de entrada durante o ajuste deve ocupar essa faixa.

- a. Conecte um gerador de ruído rosa na entrada do mixer
- b. Posicione todos os deslizantes e o ganho do pré em zero
- c. Aumente o ganho do pré até obter "0" no medidor de saída do mixer (+ 4 dBu)
- d. Ajuste o ganho do processador para obter +4 dBu na saída
- e. Mude a fonte de sinal para uma senóide
 - Ajuste a frequência do gerador para 400 Hz
 - Aumente o nível do sinal do gerador até o limite superior do mixer (que já deve ter sido estabelecido), digamos, 26 dBu
 - Verifique se a saída do processador satura.

- Se ela saturar antes do limiar do mixer, então teremos uma redução de faixa dinâmica devido à limitação do processador. O ideal é que o processador suporte o mesmo limite superior do mixer.
- Repita este passo para a frequência de 1000 Hz.

8.10.1 Como ajustar se a faixa dinâmica do processador é menor?

Neste caso, o sistema não acompanhará a qualidade do mixer. Algumas ações podem ser tomadas, mas todas levam a alguma perda. Como disse Don Davis: "There's no free lunch in audio".

Se for aceitável (talvez inaudíveis) que ocorram eventuais saturações do sinal, pode-se manter a situação dessa forma.

Pode-se também reduzir o nível de saída do mixer para acomodar a faixa de picos do processador, mas neste caso a perda será na relação sinal-ruído.

Outra ação possível é introduzir um circuito atenuador (pad) entre o mixer e o processador, cuja atenuação seja igual à diferença entre os máximos do mixer e do processador. A vantagem desta alternativa é que todos o sistema terá o mesmo ponto de saturação, que pode ser observado no medidor do mixer.

Para ajustar com o atenuador:

1. instale um gerador senoidal na entrada do mixer
2. ajuste a saída para um valor imediatamente inferior ao ponto de saturação
3. a saída do DSP deve estar saturando
4. vá reduzindo a amplitude da saída do gerador até a saturação desaparecer
5. a redução ocorrida (dB) é a diferença a menos da faixa dinâmica do DSP
6. acrescentar um pad igual ou maior que essa diferença

8.10.2 Atenção para as entradas de microfone

- a. Para cada entrada de microfone coloque um filtro HP com inflexão em 120 Hz e rampa de 6 ou 12 dB/oitava, para atenuar os ruídos de baixa frequência e as explosões de consoantes como "Tê" e "Pê".
 - Se o ambiente for muito ressonante nas baixas frequências, suba a frequência do filtro para 150 ou até 200 Hz.
- b. Coloque um filtro LP em cada entrada de microfone, ou após a mixagem interna, e ajuste a frequência de corte conforme o ambiente. Sendo um ambiente que reflete muito as altas frequências, ajuste o corte para 7 ou 8 kHz.
- c. Outros ajustes serão necessários e são matéria do próximo capítulo.

8.11 Ajuste do Amplificador

8.11.1 O amplificador

A única função do amplificador é amplificar a intensidade (tensão elétrica) do sinal de entrada e entregar na saída, ou seja, ele deve transferir o sinal da entrada, amplificado, de forma fiel (sem qualquer distorção) para a carga, que é o sonofletor, segundo uma relação fixa de ganho, independente da carga.

Obviamente, a definição acima é a de um amplificador ideal.

Em outras palavras, a função de transferência do amplificador ideal deve ser linear:

$$\frac{V_o}{V_i} = G \text{ (Ganho constante)}$$

O amplificador, portanto, transfere, tensão elétrica e não potência.

Podemos imaginar o circuito de saída do amplificador como um divisor de tensão, onde a tensão se divide entre a impedância interna do circuito de saída e a da carga:

$$\frac{V_{oi}}{Z_{oi} + Z_o} = \frac{V_o}{Z_o}$$

Então, a tensão na carga será:

$$V_o = V_{oi} \cdot \frac{Z_o}{Z_{oi} + Z_o}$$

Costuma-se falar em resistência de saída e resistência da carga, mas é preciso ter em mente que isto representa um modelo simplificado. Por exemplo, um sonofletor de 8Ω possui, verdade uma impedância reativa que varia com a frequência.

A eficiência na transferência da tensão depende da relação entre as impedâncias. Quanto maior a relação Z_o/Z_{oi} , maior a eficiência.

Conclui-se que a impedância de saída do amplificador deve ser bem pequena, digamos, pelo menos 20 vezes menor que a da carga.

Se a conexão entre o amplificador e a carga exigir um lance longo de cabo, a resistência do cabo se soma à da carga, reduzindo a eficiência total da transferência.

A potência na carga é dada por:

$$P = \frac{V_o^2}{Z_o}$$

O amplificador, pela definição inicial, deve fornecer uma tensão elétrica em sua saída, que seja independente da carga. Então, se a carga variar, o amplificador deve suportar isso, variando sua corrente de saída a fim de manter fixa a relação entre a tensão de entrada e a de saída (ganho do amplificador).

A figura 5.9 mostra que a impedância de um sonofletor de 8 ohms possui um pico em cerca de 50 Hz, cai para quase 12 ohms e depois cresce.

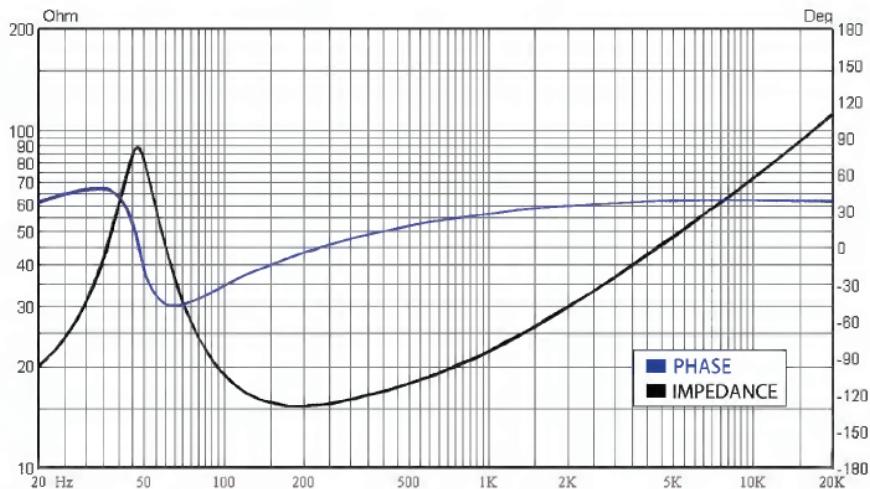


Fig. 5.9: impedância de um sonofletor de $16\ \Omega$

O ponto onde a impedância é mínima, é o ponto mais crítico para o amplificador, pois exige que ele forneça a maior corrente elétrica.

Importante lembrar que, para não haver saturação (clipping) do sinal, a potência assimilada pela carga cai quando o fator de pico (*crest factor*) do sinal sobe (capítulo 2) e que a especificação dos amplificadores comerciais se referem ao teste com uma senóide, ou seja, fator de pico igual a 3 dB, ou seja, um amplificador de 100 W deve conseguir fornecer 100 W, sem distorção com fator de pico igual a 3 dB, mas se o fator de pico subir, ele não conseguirá chegar a 100 W sem distorcer o sinal.

8.11.2 Potência IEC do alto-falante

A IEC (International Electrotechnical Commission) publicou a norma IEC-268-5, que estabelece um método de medida para definir a potência suportada por um alto-falante.

O método consiste em submeter o alto-falante a um sinal do tipo ruído rosa, com fator de pico igual a 6 dB, filtrado em 12 dB/oitava abaixo de 40 Hz e acima de 5 kHz, durante 8 horas;

Esse parâmetro do alto-falante é importante na especificação do amplificador.

8.11.3 Potência do amplificador

A JBL define três situações para escolher a potência do amplificador, a fim de resguardar os alto-falantes²:

- Em aplicações onde há um monitoramento constante e a estrutura de ganho prevê uma grande faixa de picos, pode-se utilizar amplificadores com até o dobro da potência IEC do alto-falante.

² JBL Speaker Power Requirements, revision 7-90

- Em aplicações de rotina onde também não se admite saturação mas não há monitoramento, deve-se usar amplificador de, no máximo, a potência IEC do alto-falante.
- Em aplicações onde admite-se saturação, como uma apresentação de rock, deve-se usar amplificador de, no máximo, a metade da potência IEC do alto-falante.

É importante preservar o alto-falante para garantir uma reprodução linear da intensidade do sinal em toda a sua dinâmica.

Quando a bobina do alto-falante aquece, sua resistência aumenta, reduzindo a corrente que nela circula, levando a uma relação não linear do sistema (compressão da potência). Em outras palavras, conforme o nível do sinal vai subindo, o alto-falante vai produzindo menos pressão sonora do que deveria.

Acontece que nem sempre os fabricantes de alto-falante colocam essa informação nos folhetos técnicos. Alguns informam a "potência musical" máxima, mas esse número não faz o menor sentido pois "potência musical" não é um parâmetro previsto em norma. Pode-se entender esse parâmetro como sendo a potência de pico suportada pelo alto-falante, mas isso também não acrescenta muito, já que o projeto vai definir a faixa de picos e o sistema vai trabalhar no valor médio (RMS).

Pode-se determinar em laboratório qual a máxima voltagem do alto-falante, executando um teste onde se injeta um sinal com nível cada vez maior, até a pressão sonora responder, em algum ponto da resposta em frequência, digamos, com 3 dB abaixo. Este seria o ponto máximo.

Quando se fala que um amplificador é de 100 W, por exemplo, estamos falando de sua potência RMS máxima, a maior potência RMS que ele pode fornecer.

A potência máxima de saída do amplificador, em dBW, é dada por:

$$P_0[\text{dBW}] = L_d + 20 \cdot \log(D_2) - L_s + H \quad [8.8]$$

P_0 = Potência de saída do amplificador
 L_d = Pressão sonora na posição do ouvinte
 D_2 = Distância do ouvinte até o alto-falante
 L_s = sensibilidade do alto-falante
 H = faixa de pico definida para a aplicação

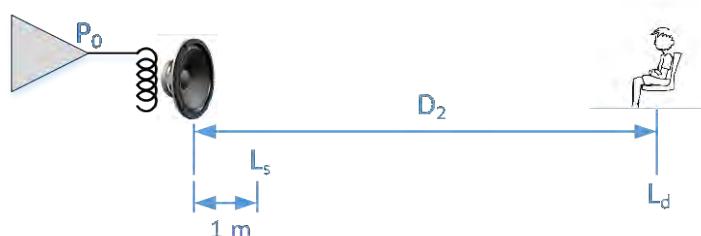


Fig. 5.9: Esquema e distâncias

A potência em watts é dada por:

$$P_0[W] = 10^{\frac{P_0[dBW]}{10}} \quad [8.9]$$

Exemplo:

Em uma apresentação musical, que potência deve ter um amplificador para que um ouvinte a 10 metros de distância do alto-falante (com sensibilidade de 85 dB SPL) perceba uma pressão de 90 dB SPL?

Solução:

Como a faixa de pico não foi especificada, vamos estabelecer 10 dB, que é o normal neste cenário:

$$P_0[dBW] = 90 + 20 \cdot \log(10) - 85 + 10 \quad [8.10]$$

$$P_0[dBW] = 35$$

$$P_0[W] = 10^{\frac{35}{10}} = 3162 \text{ Watts}$$

O controle de sensibilidade do amplificador, também chamado de "volume", regula o ganho do amplificador e não a potência de saída. A diferença é sutil, mas deve ser entendida. Se o amplificador é de 100 W ele sempre poderá fornecer 100 W, teoricamente independentemente da posição do controle de ganho, supondo, obviamente que o controle de ganho não esteja ajustado para "zero". A tensão de saída depende do ganho (A) e também do nível do sinal de entrada (V_{in}), conforme equação 8.11:

$$V_0[V] = A \cdot V_{in} \text{ volts} \quad [8.11]$$

Mesmo com um ganho baixo, mas com sinal de entrada alto, a saída pode atingir seu máximo.

8.11.4 Teste do amplificador

Assim como o processador, o amplificador deve suportar o nível máximo do sinal em sua entrada, a fim de que seu pré não sature o sinal internamente.

A programação deve entrar no amplificador com +4 dBu (1,23 V) e devem ocorrer picos conforme a faixa de pico definida para o sistema.

Então, o caso ideal é que os três equipamentos (mixer, processador e amplificador) saturem exatamente no mesmo ponto, digamos + 20 dBu.

O nível de saída do amplificador será ajustado em seu botão de sensibilidade. Antes de iniciar testes ou ajustes do amplificador, deve-se tomar as seguintes precauções:

- Os sonofletores são apropriados e estão conectados corretamente?
- O processador de sinal está configurado adequadamente?
- Manter a pressão SPL em níveis adequados durante o ajuste

O ajuste da sensibilidade do amplificador ocorre em seu estágio de pré-amplificação. O ganho do estágio de potência é fixo. A sensibilidade determina a tensão de saída do pré-amplificador e, portanto, a pressão SPL.

- a. É pré-requisito que a estrutura de ganho esteja correta até o processador
- b. Injete ruído rosa na entrada do mixer e conectar um multímetro RMS na saída do amplificador
- c. Aumente a sensibilidade até atingir a meta de SPL
 - Se o amplificador saturar antes da meta, provavelmente será necessário trocar o amplificador por um que suporte uma faixa maior (maior potência)
 - Medir a tensão de saída do amplificador. Ela não pode ultrapassar o limite máximo especificado pelo sonofletor
 - Se o alto-falante possuir entradas separadas por faixa de frequência, o ajuste deve começar pela faixa de frequências médias, em seguida as baixas e finalmente as altas.
- d. Aumente lentamente a sensibilidade do amplificador até o sinal na saída dele saturar. Esta é a máxima potência que o amplificador pode fornecer.

8.11.5 Procedimento de ajuste amplificador

- a. Certifique-se de que os alto-falantes conectados vão suportar o amplificador em plena carga (máxima potência)
- b. Prepare-se para fazer bastante barulho (qual é a potência do amplificador?)
- c. Atenção: o teste não deve demorar na situação do amplificador fornecendo sua máxima intensidade com padrões de teste, pois alguns equipamentos não suportam e podem ser danificados.
- d. Desligue o amplificador e reduza seu controle de sensibilidade a zero (volume).
- e. Conecte um gerador de teste na entrada do mixer. Conecte o mixer na entrada do amplificador. Pode haver um processador no meio, mas garanta que ele vai passar toda a dinâmica do sinal sem saturar.
- f. Use uma senóide, a 800 Hz, por exemplo.
- g. Reduza o ganho do mixer a zero para garantir que a carga será aplicada com segurança

- h. Ligue o amplificador.
- i. Aumente o ganho do mixer até a posição que vai gerar a máxima potência. Certifique-se de que não há saturação na saída do mixer.
 - Usando senóide, posicione o valor RMS da saída para o valor máximo (pico) estipulado pela estrutura de ganho menos 3 dB.
 - Usando outro sinal, posicione o valor RMS da saída para o valor máximo (pico) estipulado pela estrutura de ganho menos o fator de crista do sinal de teste.
- j. Se você garantir que o equipamento que fornecerá sinal para o amplificador durante o evento, não ultrapassará o ajuste de máxima potência (letra "h"), então é certo que o amplificador não vai saturar.
- k. Verifique se a pressão sonora na audiência está conforme planejado. Se estiver abaixo é sinal de que você precisa de um amplificador maior.
- l. Verifique se todos os alto-falantes estão operando normalmente, sem distorção

8.12 O limite do alto-falante

O alto-falante recebe sinal do amplificador e, portanto, é uma carga que dissipá energia, a maioria como calor e alguma (menos de 10%) como vibração sonora.

A potência nominal do alto-falante informada na especificação técnica é, na verdade, o limite no qual ele suporta dissipar calor. Se passar desse limite, o alto-falante sofre dano permanente.

Como o amplificador de potência é uma fonte de tensão, teoricamente a tensão elétrica em sua saída independe da carga (isso tem limite, claro, normalmente informado pelo fabricante como a faixa de impedância nominal que ele suporta).

Portanto, quanto menor a carga, maior a corrente e maior a transferência de potência.

Se um alto-falante é de alta potência isso significa primeiramente que ele tem boa capacidade de dissipar o calor (ou de se auto resfriar), mas não garante que a eficiência de transformação de energia elétrica em sonora também seja alta.

Conforme o alto-falante vai operando, ao longo do tempo a temperatura vai subindo e sua resistência DC vai aumentando. Com isso, a potência total vai sendo comprimida, ou seja, um aumento na tensão elétrica do amplificador não corresponderá a um acréscimo linear da potência SPL. O alto-falante deve operar longe desse limite. É uma boa prática operar o alto-falante no máximo com a metade da potência especificada em seus dados técnicos, o que corresponde a uma redução de 3 dB.

8.13 Norma AES-2: Teste de alto-falante

Esta norma define quais características devem constar na especificação técnica do fabricante de alto-falante profissional e descreve alguns métodos de medida.

A norma, em sua última revisão (2012) define a potência nominal do alto-falante como aquela em que o dispositivo opera por 2 horas recebendo ruído rosa, sem "mudança significante" em suas características acústicas, mecânicas ou elétricas:

The rated power of the device shall be that power the device can withstand for 2 h without significant permanent change in acoustical, mechanical, or electrical characteristics

Como se vê, a norma não define o que seria "significante". Interessante é que a versão anterior (2003) dizia que era 10%. O teste prevê aumentos sucessivos da potência fornecida ao alto-falante, após ele alcançar o equilíbrio térmico (2 horas aproximadamente).

A figura 5.10 ilustra o comportamento típico de um alto-falante quando submetido ao teste de stress para determinar sua potência nominal. A potência elétrica aplicada vai subindo e a pressão acompanha linearmente. A partir de certo ponto a pressão sonora não acompanha mais o aumento da potência elétrica. Esse ponto corresponde à pressão nominal.

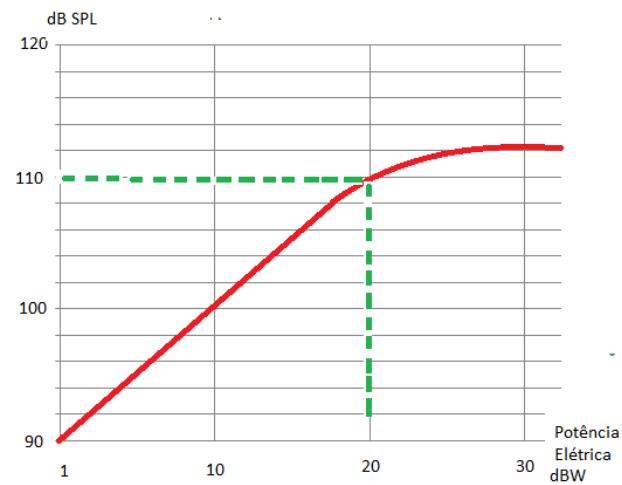


Fig. 5.10: Potência nominal de alto-falante

8.14 Ajuste da cadeia completa

O ideal é que todos os elementos da cadeia de áudio (mixer, DSP e estágio de entrada do amplificador) possuam a mesma faixa dinâmica (DR) para que o sinal passasse sem problemas de saturação, considerando que o mesmo valor nominal de linha foi ajustado em cada equipamento.

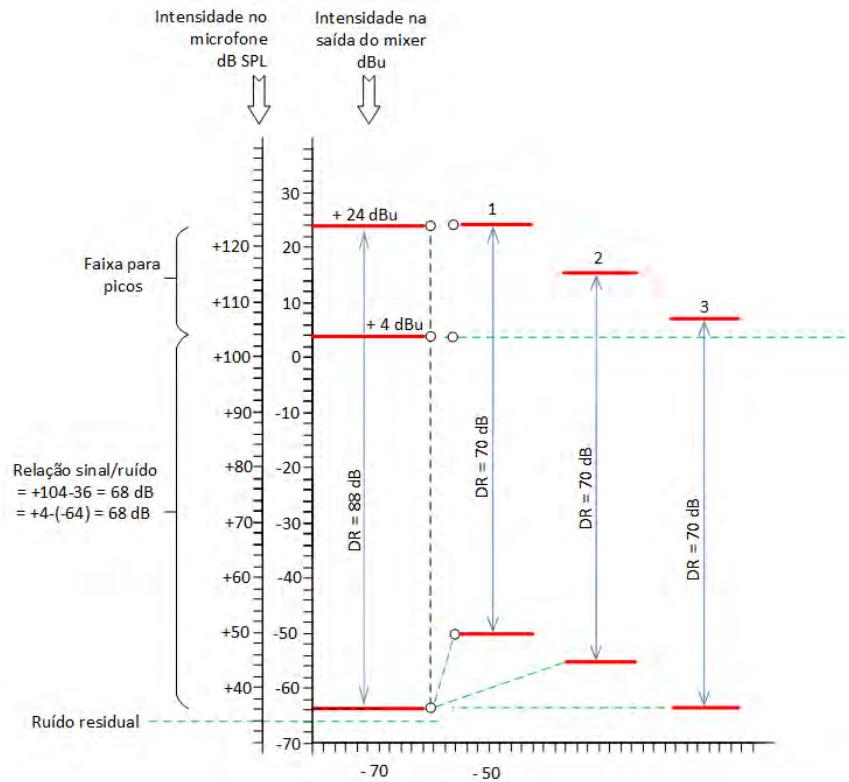


Fig. 5.11: Exemplos de conexão com equipamento que tem faixa dinâmica menor

A figura 5.11 apresenta, como exemplo, uma cadeia de áudio, com três equipamentos: um microfone, um mixer e um equipamento (que pode ser um processador), onde o mixer que tem DR = 88 dB está conectado ao equipamento que tem faixa dinâmica menor, DR = 70 dB. A figura apresenta três alternativas de alinhamento das escalas dinâmicas. A figura mostra duas réguas verticais:

- A primeira régua, à esquerda, visa mostrar o ambiente sonoro, antes do microfone, ou seja, a cenário de captação sonora do microfone, que é o início da cadeia. O microfone possui uma DR de 88 dB: suporta uma pressão máxima de 124 dB SPL e possui ruído residual de 36 dB SPL. O sinal sonoro médio é de 64 dB SPL (alguém falando ou cantando junto ao mic). Hipoteticamente, vamos supor que o local possui ruído ambiental de 36 dB SPL, igual ao limiar do microfone. Temos, portanto, no ambiente sonoro uma DR de 88 dB.
- A segunda régua, à direita, visa mostrar a saída do console mixer onde o microfone está acoplado. O mixer possui a mesma DR de 88 dB, um ruído residual abaixo de -64 dBu e uma saída ajustada para

+4 dBu RMS. A DR do mixer está perfeitamente alinhada com a do microfone, ou seja, as faixas destinadas aos picos são iguais e estão alinhadas, supondo que o ganho do pré tenha sido ajustado para isso ter ocorrido.

Em seguida a figura mostra três alternativas de alinhamento com um equipamento que possui DR de apenas 70 dB.

Qualquer que seja a escolha de alinhamento da escala dinâmica do terceiro equipamento, haverá uma perda de 18 dB na faixa dinâmica (88-70).

A primeira possibilidade é alinhar a escala com o pico da mesa, ou seja, em +24 dBu, se o equipamento suportar esse nível. Neste caso, a perda de dinâmica ficará toda em baixo, contaminando de ruído as passagens mais silenciosas do programa.

A segunda possibilidade é posicionar a escala de forma a perder um pouco em cima e um pouco em baixo. Neste caso, a faixa destinada aos picos (Crest Factor - CF) se reduz, podendo gerar saturação do sinal, portanto, distorções. No caso deste exemplo o CF foi reduzido de 20 dB para 12 dB. Ao mesmo tempo, há também uma perda na parte de baixo.

A terceira possibilidade é alinhar a escala com a parte de baixo. Neste caso não haverá perda de qualidade para as passagens mais quietas, porém haverá uma perda significativa do fator de pico, que cairá para 2 dB.

- Redução do CF pode provocar saturação do sinal
- Elevação do limite inferior da faixa pode enterrar os sinais mais baixos do programa
- A DR da cadeia ficará limitada à DR do pior equipamento, ou seja, à menor DR da cadeia.

Uma alternativa para evitar essa perda de qualidade é processar o sinal, aplicando controles dinâmicos, mais especificamente a compressão.

- O – O – O -