

SONORIZAÇÃO AMBIENTAL VOLUME 3

1 – PROJETOS DE SISTEMAS SONOROS.

Iniciar um projeto de sistemas sonoros abertos ou fechados deixa-nos um tanto confusos, quanto ao que levar em consideração, como base para estes cálculos.

Neste volume já estamos aptos a analisar um projeto considerando três pontos:

- a) – Em relação ao ouvinte (SPL REQ), em recintos abertos ou fechados.

Para este caso usamos Kirchoff para a fórmula já estudada no Volume 2:

$$\text{SPL REQ} = S1 - 20 \log D1 + DI + 10 \log W1$$

SPL REQ = Nível de Pressão sonora no último ouvinte

S1 = Sensibilidade do Alto Falante em dB SPL W/m.

D1 = Distância entre a fonte sonora e o último ouvinte

W1 = Potência elétrica necessária para sonorizar o ambiente

DI = Índice de diretividade das cornetas e projetores sonoros

- b) - Em relação às normas estipuladas pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente temos:

$$80 \text{ dB} = S1 - 20 \log D1 - (\text{Tratamento Acústico}) - AT + 10 \log W1$$

Onde:

80 dB SPL = SPL REQ **no Passeio Público** de acordo com a S.M.M.A.

Tratamento Acústico = Revestimento de paredes e painéis de atenuação

Dados em - dB

AT = Atenuação aproximada em portas e janelas - 20 dB SPL.

- c) - Em relação à equalização:

Em função das dimensões do ambiente, curvas de resposta das caixas de som, e curvas de resposta dos microfones, atenuadores passivos (revestimentos).

Para isto vamos levar em consideração três grandes fatores:

- 1) – A curva de resposta do microfone (s) usado (s).
- 2) – A curva de resposta da(s) caixa(s) de som utilizada(s).
- 3) – A curva de resposta do ambiente a ser sonorizado.

A curva final de um sistema sonoro em recinto fechado é o somatório das três curvas anteriores.

Em alguns casos, em determinadas frequências, temos até a anulação das mesmas, lembrando sempre que quando se anulam, na realidade estão equalizadas de modo passivo, isto é, não houve necessidade de se usar qualquer reforço ou atenuação pelos meios eletrônicos (equalizador gráfico, paramétrico, etc.).

Durante os testes de equalização, o melhor processo ainda é o de feed back, quando todo o sistema está ligado, e um gerador de áudio de amplitude linear varre o espectro de áudio.

Todo o processo pode ser monitorado por quaisquer equipamentos de medidas visuais lineares (osciloscópio, voltímetro eletrônico), ou não lineares (decibelímetro). Quando o cursor do gerador passa pela frequência de áudio crítica ou ressonante, uma correção se faz necessária no equalizador gráfico de forma a manter constantes todos os níveis destas frequências.

OBS: Todos os controles de graves médios e agudos da mesa de mixagem, bem como do amplificador de potência devem se manter em “flat” (sem atuação, em 0 dB), o microfone do crooner não pode estar conectado à mesa de mixagem, pois a equalização do mesmo se fará posteriormente usando-se para isto, os filtros da mesa de mixagem, pelo processo de limiarização da frequência ressonante (Já estudado no Volume 2).

Com isto, assegura-se que todo o sistema eletro acústico estará em 0 dB SPL, totalmente equalizado, e quaisquer sinais provenientes das diversas fontes sonoras que serão conectadas à mesa de mixagem, só usarão os filtros da mesma para as devidas correções, tanto por limiarização, como dinâmica dos CDs, Tape Decks ou Toca Discos.

Como pudemos observar, foi caracterizado em primeiro lugar, a correção das variáveis ressonantes (caixa acústica e recinto a ser sonorizado), deixando-se por último o microfone a cargo dos filtros da mesa de mixagem.

Somente em último caso, não haja tempo hábil para se usar os equipamentos de medidas para uma apresentação ao vivo, também se é possível equalizar todo sistema utilizando-se o processo de limiarização da frequência ressonante, usando para isto somente os filtros da mesa de mixagem, desprezando-se, neste caso, o uso do equalizador gráfico. Este procedimento já foi visto no volume 2.

2 – VAMOS INICIAR UM PROJETO.

a) - Recintos fechados:

Na maioria dos casos o recinto fechado é o maior vilão do projetista.

Se você está projetando um sistema para P.A , a sua maior preocupação deverá ser a qualidade e a intensidade do sinal que irá chegar ao seu ouvinte mais crítico, isto é o último de uma platéia, por exemplo, níveis acima dos 90 dB SPL já começam a ser prejudiciais ao aparelho auditivo. Pesquisas feitas com todos os componentes envolvidos em trios elétricos, comprovam a surdez irreversível dos mesmos num período de três anos, isto, se continuarem expostos aos níveis absurdos dos 130 dB SPL, incluindo também os motoristas que os conduzem.

Vetorize todo o processo. Ande de braços dados com os atrasos de fase, caso esteja usando sistema setorizado de caixas distribuídas para recintos longos. Todas as caixas principais deverão estar dirigidas para o centro e em diagonal de cada setor (no caso de recintos retangulares). O final do ambiente também deverá ser o local ideal para a sua mesa de controle. Nunca isole a cabine com vidro, pois o operador deverá, como último ouvinte, estar atento às alterações ocorridas no programa. Cabines isoladas são típicas de estúdios de gravação. Evite as realimentações ativas ou passivas (As caixas de serviço deverão estar sempre localizadas à frente dos microfones de costas para os mesmos, exceto

as de retorno que deverão ter seus procedimentos de ajuste independentes e deverão ser as últimas a serem equalizadas). Separe a área de serviço de palco da área destinada à platéia, estipule limites para deslocamento dos microfones para evitar microfônias, pois as mesmas têm muito a ver com suas proximidades com os alto falantes, ou paredes ativas (caso não tenham sido tratadas acusticamente). Eduque os usuários dos microfones sobre qual é a posição correta para uso. Use código de cores para identificar os microfones à distância. A distância máxima entre a mesa e o palco, em recintos fechados de muito grande extensão, está determinada pela capacidade do operador de observar, e realmente, monitorar o que acontece visual e acusticamente, de forma que seja de fato um ouvinte privilegiado. Nunca ponha sua cabine fora do centro do campo do ângulo de dispersão sonora, sob risco de estar monitorando somente somatório de ondas sonoras refletidas, e não a realidade.

A potência elétrica parcial só poderá ser determinada a partir da distância (D1) entre o último ouvinte e a caixa de som mais próxima, considerando 90 dB (SPL REQ) o nível médio de SPL. O próximo passo será determinar a potência elétrica nesta caixa, deve-se ter a mão a sensibilidade do alto falante usado (S1). A potência elétrica (W1) parcial será então:

$W1 = 10^{\frac{(SPL REQ - S1 + 20 \log D1)}{10}}$
--

A potência elétrica total (e também do amplificador a ser usado) será o somatório das potências elétricas das caixas envolvidas na setorização.

Caso não tenha optado pela setorização, e usado apenas duas caixas frontais, a fórmula usada é a mesma. Lembre-se que duas caixas imprimindo 100 dB SPL + 100 dB SPL não é 200 dB SPL, e sim, 103 dB SPL, duas caixas de som imprimindo a mesma potência elétrica também é + 3 dB em potência elétrica e + 3 dB SPL também, (já demonstrado no Volume 2), neste caso, 90 dB é o nível total das duas caixas frontais, então, 90 dB – 3 dB = 87 dB SPL para cada caixa (NO LOCAL DO OUVINTE) não considerando a distância entre elas e o ouvinte. O máximo SPL suportado pelo nosso aparelho auditivo, não pode passar do 140 dB SPL, sob risco da ruptura da membrana timpânica. Se voce estiver usando caixas projetoras, considere o índice DI da mesma no cálculo de potência, pois painéis ativos e angulares são reforçadores passivos consideráveis de SPL.

Em seguida usar os procedimentos de equalização ambiental descritos no Volume 2.

Caso tenha optado pela setorização, faça o seguinte procedimento:

1 – Determine em primeiro lugar a área destinada ao serviço de púlpito e palco.
 2 – As caixas de som destinadas ao público ouvinte deverão ser instaladas a partir desta área para frente, de costas para a área de serviço.

3 – A altura das mesmas devem ser de pelo menos de 2,20 metros, dirigidas em diagonal com o setor a que foi destinada, e voltada ligeiramente para baixo de forma que fique dirigida ao último ouvinte do setor na posição sentado. Uma altura maior poderia comprometer o sistema, pelo fato do campo de dispersão angular da caixa atinja a parede oposta, gerando ecos. Em alguns casos se faz necessário o uso de material atenuador acústico nas paredes opostas, justamente por estas caixas estarem instaladas em alturas superiores. Quando voce dirige as caixas para os ouvintes, voce estará automaticamente evitando ecos, tirando proveito pela absorção natural da massa humana.

Use sempre um número par para distribuição de caixas para facilitar a associação paralelo, série, ou série-paralelo. Nunca posicione as caixas laterais uma em frente da outra, pois assim voce estaria automaticamente gerando ondas refletidas em grande quantidade.

Exemplo de Etapa de projeto para recintos fechados setorizado:

Comprimento do recinto: 20 metros

Largura = 10 metros

SPL REQ= Nível médio de pressão sonora = 100 dB SPL.

Calcular:

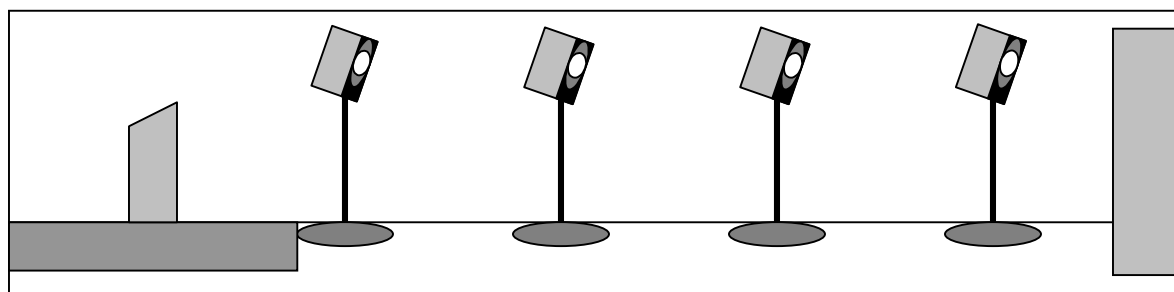
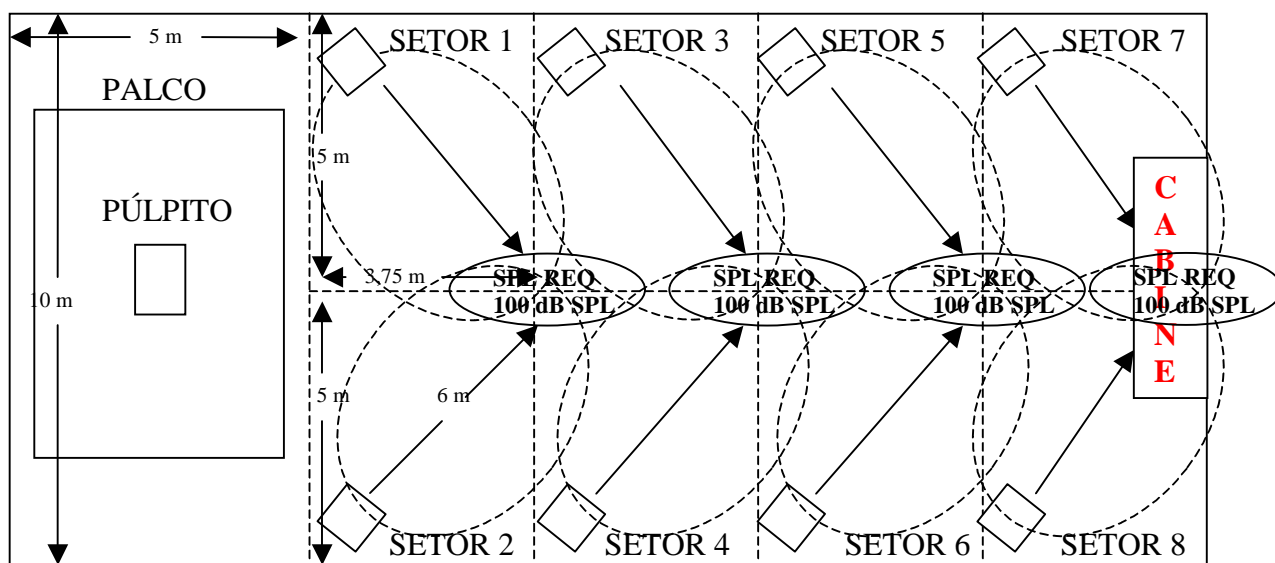
1 - SPL na caixa de som (use caixas profissionais de 96 dB SPL W/m ou mais).

2 - Potência elétrica de cada caixa.

3 - Potência elétrica necessária do amplificador utilizado.

Solução:

Neste caso, foram usadas 8 caixas em 8 setores com a finalidade de minimizar o SPL por setor, isto minimiza o risco de ondas refletidas. Poderiam ser usadas 4 caixas também em 4 setores, mas o SPL impresso por caixa seria maior, o que poderia incomodar o ouvite mais próximo das mesmas. O uso de 2 caixas apenas, estaria descaracterizando o serviço distribuído para um sistema centralizado, aumentando o risco de ondas refletidas. Para fixação das caixas, use pedestais ou suportes de parede que permitam que voce as posicione em todos os angulos necessários. Suportes usados para televisores são bem adequados para este fim. A associação mais adequada para esta rede de alto falantes é a série-paralelo para o setor ímpar (esquerdo), idem para o setor par (direito).



SPL na caixa de som:

SPL REQ = 100 dB SPL por dupla de setor (Ex: setor 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6, 7 e 8)

Se temos 100 dB por somatório de duplas, então o SPL impresso por cada caixa é -3 dB em relação ao SPL REQ total. Então temos, 100 dB - 3 dB = 97 dB SPL REQ para cada setor.

Distância (D1) entre a caixa de som e o local do ouvinte de cada dupla de **setor = 6 metros** (no exemplo da pág anterior, medido *em diagonal*, subtraindo os 5 metros para o palco, teríamos 8 setores de 5 metros de largura por 3,75 metros de comprimento cada).

Perda de SPL = 20 log D1

Perda de SPL = 20 log 6 metros

Perda de SPL = 20 x 0,77

Perda de SPL = - 15,5 dB SPL

OBS: Para compensar, devemos somar SPL REQ à Perda de SPL

SPL na caixa de som = SPL REQ + Perda de SPL (na distância)

SPL na caixa de som = 97 dB + 15,5 dB

SPL na caixa de som = **112,5 dB SPL**

Potência Elétrica em cada caixa:

Resta-nos agora calcular a potência elétrica necessária para produzir os **112,5 dB SPL na caixa de som**. Para isto devemos ter em mãos as características técnicas da caixa de som escolhida, em relação à sensibilidade (S1). Normalmente, as caixas para o serviço profissional estão em torno dos 96 dB SPL W/m.

Se esta fôr a caixa escolhida, podemos observar que, com 1 Watt apenas, já temos os 96 dB SPL (característica dada pelo fabricante). O restante, 112,5 dB - 96 dB = 16,5 dB SPL, fica a cargo do amplificador de potência.

Então temos:

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10^{\frac{(112,5 - 96)}{10}}$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10^{\frac{(16,5)}{10}}$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10^{1,65}$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 45,3 \text{ WRMS}$$

Potência Elétrica necessária do amplificador:

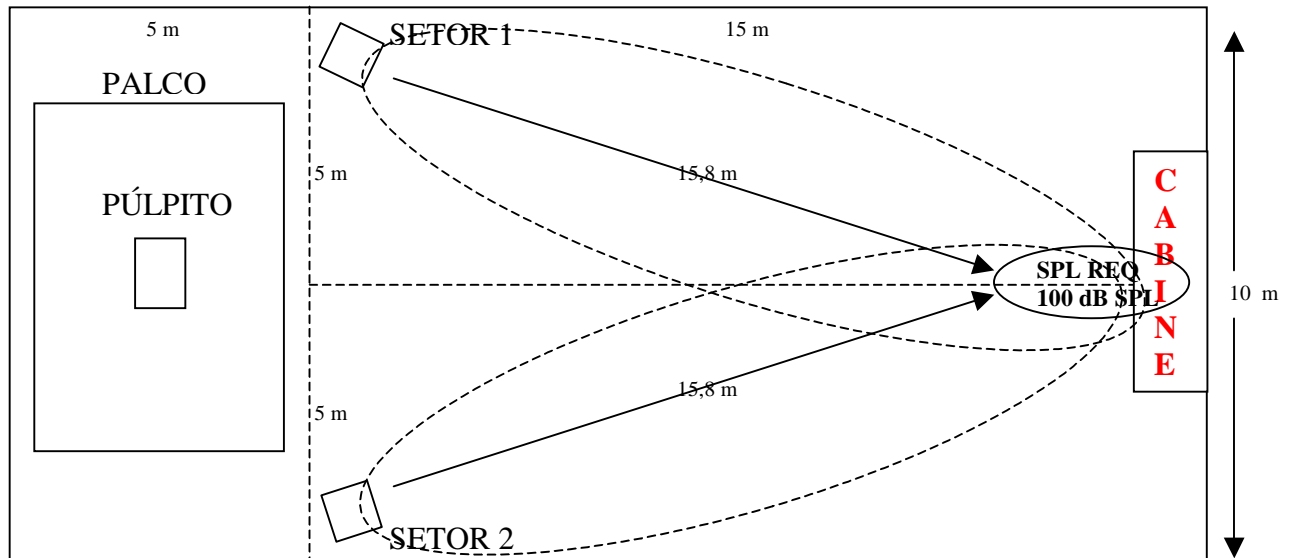
$P_{tot} = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7 + P8$ ou $P_{tot} = P1 \cdot \text{Número de caixas}$

$P_{tot} = 45,3 \text{ WRMS} \cdot 8 \text{ caixas da setorização} = \underline{362 \text{ WRMS}}$

Como vimos, numa setorização não é necessário grandes potências para sonorizar um grande recinto, **considerando um SPL médio de 100 dB por dupla na setorização.**

Agora, por curiosidade vamos ver como ficaria uma sonorização usando apenas duas caixas frontais, posicionadas à frente da área de serviço. Vamos supor que a área

destinada ao serviço seja de 5 metros. Isto, reduzirá o comprimento da sala a ser sonorizada para $20 - 5 = 15 \text{ m}$. Então teremos largura = 10 m, comprimento = 15 m.



Como as duas caixas estão posicionadas em diagonal com dois setores de 5 m de largura por 15 m de comprimento, temos;

$$\text{Comprimento da diagonal}^2 = \text{largura}^2 + \text{comprimento}^2$$

$$\text{Comprimento da diagonal}^2 = 5^2 + 15^2$$

$$\text{Comprimento da diagonal}^2 = 25 + 225$$

$$\text{Comprimento da diagonal}^2 = 250$$

$$\text{Comprimento da diagonal} = \sqrt{250} = 15,8 \text{ metros}$$

SPL na caixa de som:

SPL REQ = 100 dB SPL por dupla de setor (Ex: setor 1 e 2)

Se temos 100 dB por somatório de duplas, então o SPL impresso por cada caixa é -3 dB em relação ao SPL REQ total. Então temos, $100 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 97 \text{ dB SPL REQ}$ para cada setor.

Distância (D1) entre a caixa de som e o local do ouvinte da dupla de setor = 15,8 metros (medido em diagonal).

$$\text{Perda de SPL} = 20 \log D1$$

$$\text{Perda de SPL} = 20 \log 15,8$$

$$\text{Perda de SPL} = 20 \times 1,19$$

$$\text{Perda de SPL} = - 23,9 \text{ dB SPL}$$

OBS: Para compensar, devemos somar SPL REQ à Perda de SPL

$$\text{SPL na caixa de som} = \text{SPL REQ} + \text{Perda de SPL (na distância)}$$

$$\text{SPL na caixa de som} = 97 \text{ dB} + 23,9 \text{ dB}$$

$$\text{SPL na caixa de som} = 120,9 \text{ dB SPL}$$

Potência Elétrica em cada caixa:

Resta-nos agora calcular a potência elétrica necessária para produzir os 130,9 dB **SPL na caixa de som**. Para isto devemos ter em mãos as características técnicas da caixa de som escolhida, em relação à sensibilidade (S1). Normalmente, as caixas para o serviço profissional estão em torno dos 96 dB SPL W/m.

Se esta for a caixa escolhida, podemos observar que, com 1 Watt apenas, já temos os 96 dB SPL (característica dada pelo fabricante). O restante, $120,9 \text{ dB} - 96 = 24,9 \text{ dB SPL}$, fica a cargo do amplificador de potência.

Então temos:

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10^{\frac{(120,9 - 96)}{10}}$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10^{\frac{(24,9)}{10}}$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10^{2,49}$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 309 \text{ WRMS}$$

Potência Elétrica necessária do amplificador:

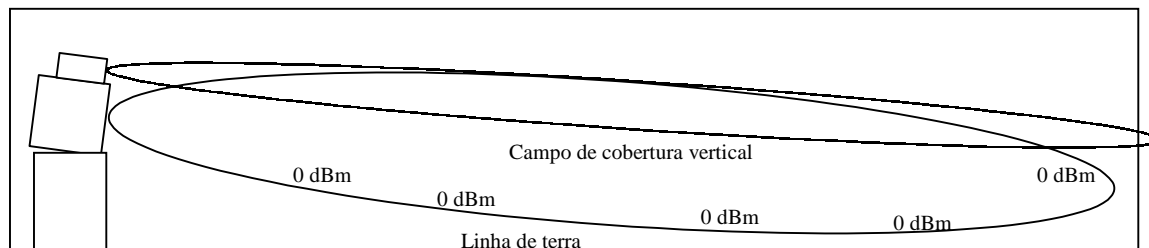
$$P_{tot} = P_1 + P_2 \text{ ou } P_{tot} = P_1 \cdot \text{Número de caixas}$$

$$P_{tot} = 309 \text{ WRMS} \cdot 2 \text{ caixas da setorização} = \underline{\underline{618 \text{ WRMS}}}$$

Notamos uma diferença de 362 para 618 WRMS com a mudança da característica do serviço de setorizado para centralizado, praticamente o dobro da potência ou + 3 dB SPL. Lembrando sempre que em recintos fechados, às vezes, o SPL REQ fica limitado aos 90 dB SPL devido ao fato de haver risco de microfônias por ondas refletidas principalmente quando o recinto está vazio.

b) - Recintos abertos:

Normalmente usam-se sistemas centralizados, este P.A usa a mesma fórmula geral para cálculo de potências, mas o procedimento de equalização das frequências audíveis é mais fácil, pois não existem paredes ativas para comprometer o sistema. As caixas de serviço são posicionadas nas laterais e à frente do palco. A maior preocupação é em direcionar as caixas de curta, média e longa distâncias. Estas caixas deverão ser montadas em andaimes como suportes. Devem ser observados os campos de dispersão angular *vertical*, para coincidir os limites de atenuação do campo de cobertura vertical em paralelo com a linha de terra. Pois os limites do campo estão sempre em **0 dBm** (*nome dado ao valor referencial usado para delinear o campo de cobertura. Pode ser qualquer valor, desde que se mantenha constante nos limites do campo*). Desta forma, não será necessário setorizar um show ao ar livre. Salvo em desfiles de escolas de samba, que operam com caixas setorizadas, mas usando equipamentos retardadores ou delays para compensar os atrasos de fase naqueles setores. As caixas de graves devem ser empilhadas em primeiro lugar, seguindo as de médio e longo alcances.



OBS: Na fabricação de uma corneta ou projetor sonoro, no processo de determinação dos limites do campo das mesmas, se utiliza um decibelímetro determinando em que ângulo se tem a mesma queda em decibéis. Desta forma, é desenhado o limite do campo, tanto vertical como o horizontal.

Como serão associados vários grupos de alto falantes em redes mixtas (série, paralelo, série paralelo, etc), deve-se ter à mão o manual de seu(s) amplificador(es) de potência para se fazer uma análise sobre qual a menor carga suportada (2, 4, 8 ou 16 ohms) pelo(s) mesmo(s). Lembre-se, nunca trabalhe sobre um regime mínimo de carga (2 ohms por exemplo) pois seu(s) amplificador(es) estariam comprometido(s) em qualidade de som por sobreaquecimento progressivo.

Como divisores de frequências para as redes de agudos, médios e graves, recomendam-se divisores ativos, ou filtros cross-over.

c) – Fábricas, firmas, supermercados, hospitais e hotéis:

Para este projeto, devemos ter à mão um decibelímetro, ele será usado para medir o nível de ruído local. Todos os recintos ou setores a ser sonorizados deverão ser medidos, utilizando a modalidade “Hold” para memorizar os níveis de ruído máximos.

Determinado o local mais crítico (o mais barulhento), o nível do som ambiente deverá ser + 6 dB SPL maior que o maior nível de ruído encontrado no local do ouvinte (SPL REQ). Esta será a base para cálculo das potências elétricas das caixas de som instaladas em cada sala, setor, dormitório etc. Calcule agora a perda em decibéis entre o local do ouvinte e a caixa de som instalada. O cálculo para determinar esta perda é:

- 20 x log (Distância em metros).

Exemplo de etapa de projeto:

Ruído (N) no local do ouvinte = 70 dB (medido no decibelímetro)

SPL REQ = 70 dB (medido no decibelímetro) + 6 dB (acrécimo para superá-lo)

SPL REQ = 76 dB SPL

Distância (D1) entre a caixa de som e o local do ouvinte = 5 metros (por exemplo)

Perda de SPL = 20 log D1

Perda de SPL = 20 log 5

Perda de SPL = 20 x 0,69

Perda de SPL = - 13,8 dB SPL

OBS: Para compensar, devemos somar SPL REQ à Perda de SPL

SPL na caixa de som = SPL REQ + Perda de SPL (na distância)

$$SPL \text{ na caixa de som} = 76 \text{ dB} + 13,8 \text{ dB}$$

$$SPL \text{ na caixa de som} = 89,8 \text{ dB SPL}$$

Resta-nos agora calcular a potência elétrica necessária para produzir os 89,8 dB **SPL na caixa de som**. Para isto devemos ter em mãos as características técnicas da caixa de som escolhida, em relação à sensibilidade (S1). Normalmente, em sua maioria está em torno dos 85 dB SPL W/m.

Se esta fôr a caixa escolhida, podemos observar que, com 1 Watt apenas, já temos os 85 dB SPL. O restante 4,8 dB SPL, fica a cargo do amplificador de potência.

Então temos:

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10 \frac{10^{(4,8)}}{10}$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 10$$

$$(W1) \text{ Potência elétrica necessária} = 3,0 \text{ WRMS}$$

IMPORTANTE: Se o valor de S1 (Sensibilidade do alto falante) for igual ou maior que o valor de **SPL na caixa de som**, poderá ser considerado apenas 1 WRMS como potência elétrica suficiente para este ambiente. A potência elétrica total do sistema, será o somatório das potências elétricas de todas as caixas distribuídas.

$$W_{tot} = W1 + W2 + W3 + \dots + Wn$$

Lembre-se que o sistema utilizado nestes locais é o de linha de transmissão de áudio, para evitar perdas durante o longo trajeto. Cada caixa deverá possuir, ou não, seu potenciômetro de ajuste, de acordo com a modalidade do sistema de linha necessário. Este sistema é descrito com detalhes no Volume 2.

Estaremos lançando para o próximo volume, técnicas para instalação de revestimento acústico em templos, auditórios e fábricas.

Esperamos que todos os assuntos abordados nestes volumes sejam de grande valia no sentido conceitual, para concepção e análise de sistemas sonoros. O objetivo principal foi a capacitação do projetista, aumentando horizontes de forma que se houvesse base para aquisição de novos conhecimentos.

Cordialmente,