

FONTES DIRECIONAIS PARA USO EM GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE
ÁUDIO

Marcelo Leitão Queiroz

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Jules Ghislain Slama, D.Sc.

Prof. Webe João Mansur, Ph.D.

Prof. Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto, Dr.Ing.

Prof. José Antonio Fontes Santiago, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

SETEMBRO DE 2007

QUEIROZ, MARCELO LEITÃO

Fontes Direcionais para Uso em
Gerenciamento de Sistemas de Áudio [Rio de
Janeiro] 2007

XIII, 131 p., 29,7 cm (COPPE / UFRJ,
M.Sc., Engenharia Civil, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do
Rio de Janeiro, COPPE

1. Caixa Acústica Dipolar
2. Controle de Ruído Urbano

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Este trabalho é afetosamente dedicado aos meus amados pais, que pela ajuda e incentivo contribuíram para a realização de um sonho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela vida.

Ao meu orientador, professor Jules Slama, não somente pelo conhecimento compartilhado, mas por todo apoio e confiança na realização deste trabalho.

Ao professor Webe Mansur, que nos momentos mais difíceis, solucionava meus problemas com muita serenidade. Obrigado por me transmitir sua tranquilidade.

Ao professor Fernando Castro Pinto, pela prontidão e apoio no desenvolvimento da parte experimental desta dissertação. Muito obrigado por toda a ajuda com a correção da dissertação e com os conselhos que jamais serão esquecidos.

Ao professor José Antônio Santiago, por aceitar prontamente participar desta banca.

À minha amiga, professora Susana de Souza Barros, do Instituto de Física da UFRJ, pelo incentivo na busca de maiores conhecimentos. Obrigado por nossas brigas. Sem elas não seria possível descobrir o significado de uma amizade verdadeira.

Aos professores Ricardo Musafir, Moyses Zindeluk, Roberto Tenenbaum, além dos já citados Jules Slama e Fernando Castro Pinto, que participaram diretamente na descoberta de novos conhecimentos.

Ao professor Heitor Derbli de Carvalho, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, por entender a importância deste mestrado em minha formação.

À Mariana de Andrade Bello, Gerente de Fiscalização Ambiental da Coordenadoria de Controle Ambiental, da Secretaria de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro, pelos relatórios oficiais apresentados neste trabalho. Obrigado pelas reuniões, onde discutimos problemas desta maravilhosa cidade.

À minha mulher, Luzia Faria Queiroz, pelo amor, compreensão, apoio e pelas noites de sono sozinha.

Aos amigos de mestrado, Manuel Alberto Fernandes e Dirce Pereira, pelas dúvidas esclarecidas, pelas conversas sempre produtivas e pelos momentos de descontração compartilhados com vocês durante esta caminhada.

Ao meu amigo e cunhado, Bruno Gili, o “advogado mais engenheiro” que conheci até hoje. Assim como eu, um amante de caixas acústicas. Obrigado pela poeira inspirada e pelas centenas de parafusos apertados.

Aos funcionários do Programa de Engenharia Civil e em particular ao Jairo Leite, por tentar compreender e me auxiliar na resolução de problemas administrativos, sempre com muita cordialidade.

Meu agradecimento especial ao Anderson Pessoa de Souza, engenheiro do Laboratório de Acústica e Vibrações, por tanto me ajudar no ensaio do experimento. Obrigado pela experiência transmitida, pelas dúvidas levantadas e por tantas outras solucionadas. Obrigado por estar sempre disponível.

Agradeço ainda a todos os meus familiares que, de uma forma ou de outra, foram grandes incentivadores no decorrer da realização deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

FONTES DIRECIONAIS PARA USO EM GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE ÁUDIO

Marcelo Leitão Queiroz

Setembro / 2007

Orientadores: Jules Ghislain Slama

Webe João Mansur

Programa: Engenharia Civil

Neste trabalho é apresentado o estudo e a construção de uma caixa acústica dipolar, na tentativa de amenizar a emissão de ruído excessivo, quando da utilização de caixas acústicas em espetáculos e na sonorização de estabelecimentos comerciais.

Além disso foi possível apresentar a problemática da geração do ruído urbano por meios de entretenimento, demonstrando ainda quais regiões da Cidade do Rio de Janeiro possuem o maior número de reclamações destinadas aos órgãos de fiscalização.

Os resultados experimentais observados provaram a viabilidade teórica da implementação deste tipo de fonte dipolar no controle da poluição sonora, responsável por importante degradação ambiental.

Abstract of Dissertacion presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DIRECTIONAL SOURCES FOR USE IN MANAGEMENT OF AUDIO SYSTEMS

Marcelo Leitão Queiroz

September / 2007

Advisors: Jules Ghislain Slama

Webe João Mansur

Department: Civil Engineering

This work present the study and the construction of a dipole speaker, in the attempt to reduce the emission of extreme noise, when these speakers are used in spectacles and also when this are used in sound equipment in commercial establishments.

Here it is also analyzed the generation of urban noise due to activities of entertainment, showing which regions of Rio de Janeiro City have more claims directed to the fiscalization agencies.

The experimental results proved the theoretical viability of the implementation of this type of dipole source in noise pollution control, responsible for important environmental degradation.

SUMÁRIO

FONTES DIRECIONAIS PARA USO EM GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE ÁUDIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	O ALTO-FALANTE	05
2.1	Introdução	05
2.2	Fontes de radiação	05
2.2.1	Fonte monopolar – a esfera pulsante	05
2.2.2	Fonte dipolar	07
2.3	Fator de qualidade	08
2.4	O alto-falante: gerador eletrodinâmico	09
2.5	Componentes e funcionamento do alto-falante	11
2.5.1	O motor eletromagnético	11
2.5.2	Configuração do circuito magnético/bobina	14
2.5.3	O diafragma ou cone	16
2.5.4	A suspensão acústica	18
2.5.4.1	A borda	18
2.5.4.2	A centragem	19
2.6	Técnicas de caracterização de alto-falantes	20
2.6.1	Condições de medição	21
2.6.2	Curva de resposta	22
2.6.3	Distorção harmônica	23
2.6.4	Curvas polares	25
2.6.5	Curva de impedância	26
2.6.6	Parâmetros tradicionais e de Thiele-Small	28
2.6.6.1	Parâmetros tradicionais	29
2.6.6.2	Parâmetros de Thiele-Small	30
2.6.7	Potência elétrica	32
3	SISTEMAS DE CAIXAS ACÚSTICAS	34
3.1	Introdução	34
3.2	Sistema de caixa fechada	35
3.2.1	Componentes acústicos da caixa fechada	36

3.2.2	Circuito equivalente para a caixa fechada	39
3.2.3	Seleção do alto-falante e determinação do volume da caixa	40
3.2.4	Comportamento para altas frequências	41
3.3	Sistema de caixa aberta ou refletora de graves	42
3.3.1	Circuito equivalente para a caixa refletora de graves	44
3.3.2	Alinhamento	44
3.3.3	Determinação do volume, sintonia e cálculo do duto em caixas refletoras de grave	45
3.4	Sistema de caixa dipolar	46
4	PROJETO E CONSTRUÇÃO DA CAIXA DIPOLAR	50
4.1	Introdução	50
4.2	A escolha do alto-falante	50
4.3	O projeto	52
4.4	Resultados simulados pelo BASSBOX	55
4.4.1	Curva de resposta	55
4.4.2	Curva de resposta adaptada	56
4.4.3	Deslocamento do cone	56
5	TESTE DA CAIXA DIPOLAR	59
5.1	Objetivo	59
5.2	Condições gerais de ensaio	59
5.3	Equipamentos utilizados	60
5.4	Procedimento do ensaio	60
5.5	Resultados obtidos	68
5.6	Resultados finais: curvas polares de diretividade	69
5.6.1	Curva polar de diretividade a 1 metro de distância do centro da caixa	69
5.6.2	Curva polar de diretividade a 2 metros de distância do centro da caixa	70
5.6.3	Análise das curvas polares por faixa de frequência	72
6	RIO DE JANEIRO: DIVERSÃO E RÚIDO	75
6.1	Introdução	75
6.2	Ruído por áreas de planejamento	75
6.3	Exemplo de aplicação prática da caixa dipolar	80
6.4	Espectáculos ao ar livre	80
6.4	Bares, praças e quiosques	82
7	CONCLUSÕES	84

Anexo A – Curvas Polares de Intensidade	86
Anexo B – Manual do alto-falante 8PW3 SELENIUM	97
Anexo C – Relatórios do Programa de Controle da Poluição Sonora da Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro	100
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fonte monopolar	06
Figura 2.2 – Representação de um cone de um alto-falante atuando como fonte dipolar	07
Figura 2.3 – Corte transversal de um alto-falante	09
Figura 2.4 – Desvios de linhas de campo magnético	12
Figura 2.5 – Mudança de meio	13
Figura 2.6– Conformação do campo magnético para diferentes geometrias de peças polares	13
Figura 2.7 – Geometria da bobina curta e da bobina longa	14
Figura 2.8 – Bobina montada na fôrma	15
Figura 2.9 – Modos de vibração do cone	17
Figura 2.10 – Suspensão acústica de um alto-falante	18
Figura 2.11 – Gráfico deslocamento x força de uma centragem	20
Figura 2.12 – Curva de resposta	22
Figura 2.13 – Harmônico fundamental, 2° e 3° harmônicos	24
Figura 2.14 – Forma de onda distorcida devido a 3° harmônico	25
Figura 2.15 – Curva de resposta polar de um tweeter	26
Figura 2.16 – Curva de impedância de um alto-falante	27
Figura 3.1 – Diagrama simbólico de caixa fechada	39
Figura 3.2 – Circuito elétrico equivalente de uma caixa fechada	39
Figura 3.3 – Circuito RLC simplificado para baixas frequências	40
Figura 3.4 – Diagrama simbólico da caixa refletora de graves	44
Figura 3.5 – Circuito elétrico equivalente de uma caixa refletora de graves	44
Figura 3.6 – Caixa dipolar dutada (bass reflex)	47
Figura 3.7 – Modelo de radiação dipolar	48
Figura 4.1 – Curvas polares do sistema falante + caixa	52
Figura 4.2 – Projeto da caixa dipolar	54
Figura 4.3 – Caixa dipolar no LAVI/COPPE	54
Figura 4.4 – Curva de resposta de cada câmara da caixa dipolar	55

Figura 4.5 – Curva de resposta adaptada	56
Figura 4.6 – Deslocamento do cone na caixa dipolar com 100W aplicados	57
Figura 4.7 – Deslocamento do cone na caixa dipolar com 1W aplicado	57
Figura 5.1 – Círculos de 1 metro e 2 metros riscados no chão do LAVI	61
Figura 5.2 – Caixa dipolar posicionada no centro dos dois círculos	61
Figura 5.3 - Vista superior da colocação da caixa no LAVI	62
Figura 5.4 – Microfone posicionado na marca de 330°	62
Figura 5.5 - Receiver e RTA posicionados em cima da caixa dipolar	63
Figura 5.6 - Crossover incorporado ao sistema	63
Figura 5.7 - Ruído rosa gerado pelo RTA 2900 Larson Davis	64
Figura 5.8 – Ruído rosa filtrado em 10KHz com corte de 48dB/oit	64
Figura 5.9 – Sinal de calibração do microfone	65
Figura 5.10 – Esquema das conexões executadas no ensaio	66
Figura 5.11 – Ruído de fundo medido no LAVI	66
Figura 5.12 – Aquisição de dados a 0° no eixo do alto-falante	68
Figura 5.13 – Resposta da caixa acústica dipolar medida a 1 metro e a 0°	69
Figura 5.14 – Gráfico polar a 1 metro de distância da caixa acústica dipolar	70
Figura 5.15 - Gráfico polar a 2 metros de distância da caixa acústica dipolar	71
Figura 5.16 – Curva polar de 25 Hz a 1 metro de distância	73
Figura 5.17 – Curva polar de 80 Hz a 1 metro de distância	73
Figura 5.18 – Curva polar de 800 Hz a 1 metro de distância	74
Figura 5.19 – Curva polar de 8 KHz a 1 metro de distância	74
Figura 5.20 – Curva polar de 800 Hz a 2 metros de distância	74
Figura 5.21 – Curva polar de 10 KHz a 2 metros de distância	74
Figura 6.1 – Áreas de planejamento da Cidade do Rio de Janeiro	76
Figura 6.2 – Registro de reclamações por AP por ano	77
Figura 6.3 – Registro de reclamações por fonte que utiliza caixa acústica	78
Figura 6.4 – Registro de reclamações por atividade	78
Figura 6.5 – Modelo de palco instalado na praia	81
Figura 6.6 – Região (simbólica) onde níveis de intensidade seriam atenuados	82

1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos da acústica, sob o ponto de vista da interferência no comportamento da civilização, ainda requerem muito estudo e conseqüente equacionamento.

Os almejados avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas foram também responsáveis por uma severa degradação do meio-ambiente.

Para interromper este processo, as indústrias deverão produzir sem poluir, considerar qualquer impacto que possam causar ao meio-ambiente e rever seus métodos de fabricação, considerando, por exemplo, o uso e a conservação do solo e da energia, a não produção de odores, de ruído e de resíduos, e a garantia da saúde ocupacional (CONDE, 1995).

A poluição sonora, dentre diversas outras formas de degradação ambiental, tem conduzido à deterioração da qualidade de vida nas grandes cidades. O próprio desenvolvimento sócio-econômico da sociedade é afetado pela incapacidade de compreender e reagir contra seus acusticamente poluídos meios urbanos, industriais e de lazer, piorados pela alta densidade populacional (PIMENTEL-SOUZA, 1992).

A presença de um som em um ambiente é fato comum, podendo ser desejável ou não. Quando este passa a ser perturbador, passa a ser chamado de ruído. E não é fácil apresentar uma definição de ruído que possa ser considerada plenamente satisfatória. Em acústica, o problema da definição de ruído não se confina ao domínio da física simplesmente, devendo ser tomadas considerações de natureza biológica e psicológica. Segundo a definição mais aceitável, ruído é todo som indesejável que possa causar distúrbios à tranqüilidade e ao aparelho auditivo (SILVA, 2002). Porém, este é classificado de maneira extremamente subjetiva, dependendo, por exemplo, de preferências pessoais e de aspectos culturais. Por esse motivo, uma classificação mais específica do ruído, sob o ponto de vista de origem e duração, torna-se tarefa árdua de muita experimentação.

Estudos recentes e observações científicas provaram que a exposição a ruídos intensos pode provocar alterações em atividades normais do ser humano, chegando ainda a causar distúrbios como surdez temporária ou permanente, danificando de forma irreversível o mecanismo fisiológico da audição, hipertensão arterial, perturbações do sono, interferência na comunicação oral, irritabilidade e até mesmo tumor no nervo auditivo, chamado de neurinoma acústico (O GLOBO, 2006).

Sistemas eletrônicos, trânsito urbano, indústrias, igrejas, casas noturnas, shows ao ar livre são alguns exemplos de fontes de ruídos mais comuns encontrados em nossa sociedade. E com o advento da tecnologia e da indústria do entretenimento, não é difícil nos depararmos com eventos que prezam a alta potência emitida pelo seu sistema de áudio como trunfo de marketing. A falta de locais específicos para a realização de espetáculos, transforma áreas públicas como praias, parques, canteiros de obra e, até mesmo, galpões sem uso, o local perfeito para a realização de shows, que utilizam equipamentos capazes de gerarem altíssimas potências. E a vizinhança é sempre a mais afetada.

Devido às controvérsias relacionadas à dosagem suportável de barulho, o maior problema, do ponto de vista legal, consiste na dificuldade da medida. Uma maneira racional de medir ruído não deve levar somente em consideração aspectos sensoriais, mas também medidas objetivas quanto à intensidade, frequência e faixa espectral, levando inclusive a criação de normas específicas de caracterização e controle.

Para garantir a integridade da saúde e o conforto ambiental das comunidades, legislações nacionais e internacionais procuram estabelecer limites sonoros a serem aplicados em diversas atividades. O controle da poluição sonora nos centros urbanos deve envolver medidas que garantam a manutenção de níveis sonoros para diferentes situações, horários e locais, seja fiscalizando, legislando ou executando atividades relacionadas a este tema (ALVES e PIZZUTTI, 1998).

O controle do ruído urbano somente terá resultados satisfatórios quando existir, tanto por parte das autoridades, quanto por parte da própria sociedade, um trabalho de conscientização ambiental. O combate à poluição sonora requer, assim, soluções técnicas, educativas e legais (BERISTAIN, 1998), já que o ruído é resultado da combinação das diversas fontes existentes em uma comunidade (RIVAS, 1994),

sendo uma função aleatória e variável (SLAMA e NIEMEYER, 1998), o que dificulta seu controle.

Segundo dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro, através do seu Programa de Controle de Poluição Sonora (PCPS), referentes ao período de fevereiro de 2002 a novembro de 2003, a fonte poluidora denominada “*entretenimento*”, representa a grande maioria das reclamações feitas à secretaria, ultrapassando a marca de 50 % das queixas. Grande parte da poluição sonora a que somos expostos é atribuída à má educação da classe média apegadas aos “fetiches da vida”. A cidade tem múltiplas funções, e o lazer não pode ser menosprezado como tal. Torna-se inevitável: enquanto uns querem dormir, outros querem conversar; se uns pretendem trabalhar, outros escolhem ouvir música (PIMENTEL-SOUZA, 1992).

O objetivo principal desta dissertação de mestrado é apresentar o projeto e a construção de uma caixa acústica que utiliza sonofletores de forma dipolar, como proposta para minimizar o nível de intensidade sonora emitido por pequenos, médios e grandes sistemas de áudio utilizados, principalmente, por estabelecimentos comerciais e por produções de espetáculos ao ar livre. A proposta visa à instalação destas caixas acústicas para adequar a utilização de locais, públicos ou particulares, destinadas ao entretenimento, sem que estes causem incômodo excessivo na comunidade que os cerca.

Para tentar viabilizar o projeto, foram executadas medições do nível de intensidade sonora no entorno da caixa acústica dipolar, provando a redução da emissão nas laterais da mesma. Fez-se ainda uma formulação de possíveis recomendações na instalação de palcos para a realização de shows, assim como um estudo das áreas mais afetadas por ruídos provenientes de meios e estabelecimentos comerciais ligados a produção de entretenimento.

Esta dissertação está estruturada em 4 partes. A primeira, correspondente aos capítulos 2 e 3, fornece uma noção básica sobre alto-falantes, tipos de caixas acústicas e fontes de radiação sonora. A segunda parte, capítulos 4 e 5, descreve a parte prática da pesquisa, como a técnica da construção da caixa acústica dipolar, os testes realizados e possíveis aplicações. Na terceira parte, capítulo 6, temos uma descrição da problemática da geração de ruído por estabelecimentos comerciais e outras fontes ligadas ao entretenimento.

Finalizando a última parte, no capítulo 7, formaliza-se o término da dissertação, com a discussão dos resultados e conclusões.

2 O ALTO-FALANTE

2.1 Introdução

Para que possamos entender o projeto e o funcionamento de um alto-falante e seu comportamento quando afixado em caixas acústicas, é necessária a compreensão de alguns conceitos teóricos simples, assim como ter uma noção das várias partes que compõe esta fonte eletromecânica.

2.2 Fontes de radiação

As fontes sonoras de ordem zero, ou monopulares, são aquelas que mantêm seu centro de gravidade estacionário. O exemplo típico é a esfera pulsante, onde o raio da mesma aumenta e diminui à medida que a frequência de pulsação varia, permanecendo o seu centro de gravidade estacionário (NEPOMUCENO, 1968). Já o dipolo acústico é o exemplo clássico de uma fonte sonora de primeira ordem. Neste, o centro de gravidade não é estacionário, mas sim oscila sobre uma reta imaginária fixa. De um lado do dipolo, forma-se uma área de depressão e do outro uma área de compressão, alternando-se os dois processos com o tempo. As ondas emitidas não têm a mesma intensidade em todas as direções, mas o diagrama de radiação apresenta a “forma de oito”.

2.2.1 Fonte monopolar – a esfera pulsante

A esfera pulsante é o exemplo mais simples de uma fonte monopolar. Como esta irradia uniformemente em todas as direções, o seu diagrama de radiação será isotrópico, não havendo variação segundo θ e ϕ . Então, já vimos que a pressão vale:

$$P(r,t) = \frac{A}{r} e^{j\omega t} \cdot e^{-jKr} = \frac{A(\omega)}{r} e^{-jkr} = Ae^{j\omega t} \quad (2.1)$$

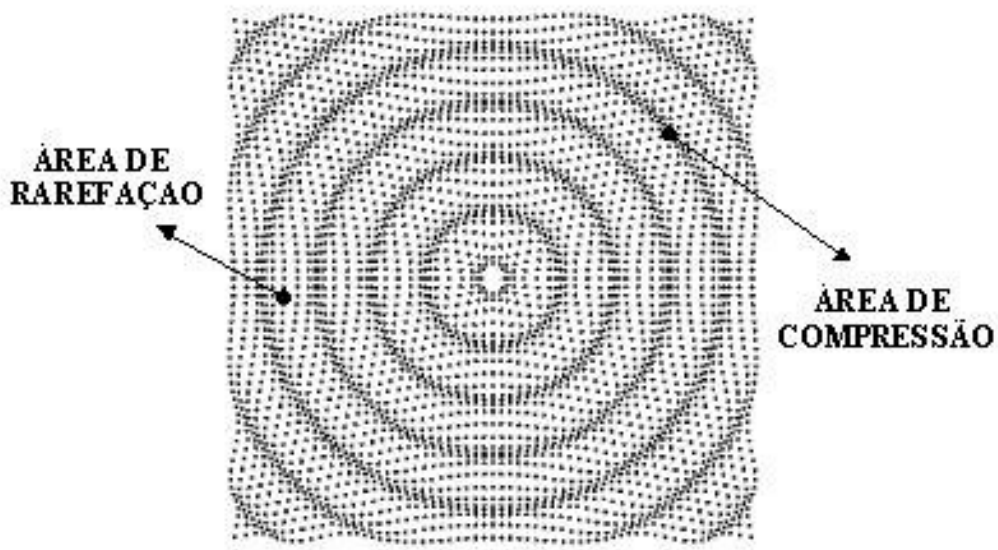


Figura 2.1 – Fonte monopolar.

A velocidade vale:

$$v(r,t) = \left(\frac{A}{Z_c r} \right) e^{j(\omega t - Kr)} \quad (2.2)$$

onde Z_c é a impedância acústica característica do meio, que, para o ar, vale 415 Kg/m²s.

A intensidade acústica da fonte monopolar vale:

$$I = P v = \frac{A^2}{\rho c r^2} e^{Z_j(\omega t - Kr)} \quad (2.3)$$

Logo, a impedância acústica de uma fonte de raio r vale:

$$Z = \frac{Z(r)}{4\pi r^2} \quad (2.4)$$

2.2.2 Fonte dipolar

Uma fonte dipolar consiste de duas fontes monopulares iguais, separadas por uma pequena distância, comparada com o comprimento de onda gerado e vibrando em fases opostas, com a mesma amplitude. Porém, em casos mais simples, o ar pode simplesmente mover-se para frente ou para trás da fonte sem que haja mudança no volume desta. O exemplo clássico consiste no cone de um alto-falante, onde o volume de ar empurrado para fora por um lado do cone é exatamente compensado por um novo volume que é puxado por este. Vale antecipar que fontes dipolares são relativamente ineficientes, do ponto de vista de pressão e intensidade acústica (HALL, 1987).

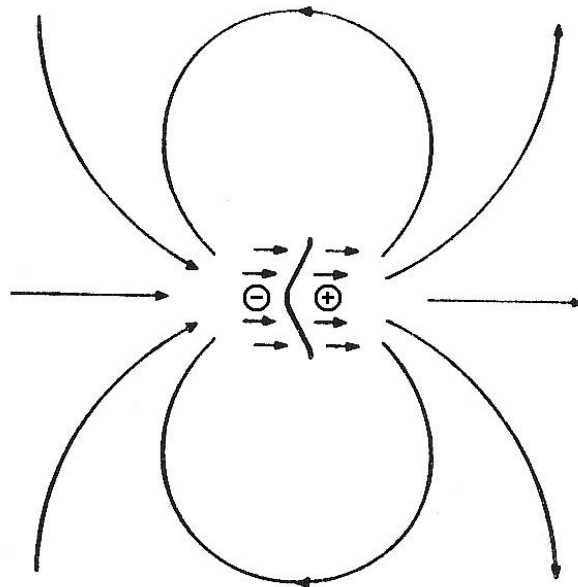


Figura 2.2 – Representação do cone de um alto-falante atuando como fonte dipolar.

Logo, a pressão vale:

$$p(r, \theta) = \left(1 + \frac{1}{jKr}\right) \left(\frac{A \cos \theta}{r}\right) \quad (2.5)$$

A velocidade radial vale:

$$v_r(r, \theta) = \left(\frac{1+2}{jKr} - \frac{2}{K^2 r^2}\right) \left(\frac{A \cos \theta}{\rho_0 cr}\right) \quad (2.6)$$

A intensidade vale:

$$I(\theta) = \frac{A^2 \cos^2 \theta}{2\rho_0 cr^2} \quad (2.7)$$

2.3 Fator de qualidade

Em engenharia, o termo fator de qualidade pode possuir diversos significados e equacionamentos. Porém, para este trabalho, o nome fator de qualidade Q_a tem origem na intenção de quantificar a idéia de um “bom oscilador”. O bom oscilador é aquele que, recebendo uma certa quantidade de energia, vibra por um tempo longo (muitos ciclos). De fato, a definição de fator de qualidade indica que, se o seu valor é grande, a energia dissipada num ciclo é pequena em relação à energia armazenada no oscilador. Isto é desejável para certos instrumentos, como diapasones e sinos, por exemplo. Já para alto-falantes freqüentemente é desejável um Q_a baixo, o que não significa que o alto-falante seja de baixa qualidade, mas sim que apresenta amortecimento elevado. O fator de qualidade acústico vale:

$$Q_a = \frac{1}{\omega C_a R_a} \quad (2.8)$$

2.4 O alto-falante: gerador eletrodinâmico

Na figura 2.3 está esquematizado, em corte longitudinal, um alto-falante, tecnicamente conhecido como gerador eletrodinâmico. O termo eletrodinâmico significa dizer que a onda sonora é gerada a partir de um sinal elétrico de entrada nos bornes do mesmo.

Quando se aplica uma corrente alternada à bobina móvel, um campo eletromagnético é produzido perpendicularmente ao fluxo de corrente e ao campo do ímã permanente. A força mecânica resultante obriga o diafragma (ou cone) a deslocar-se em um movimento perpendicular ao campo magnético do local chamado entre-ferro (ou gap), movimentando o ar em ambos os lados do cone.

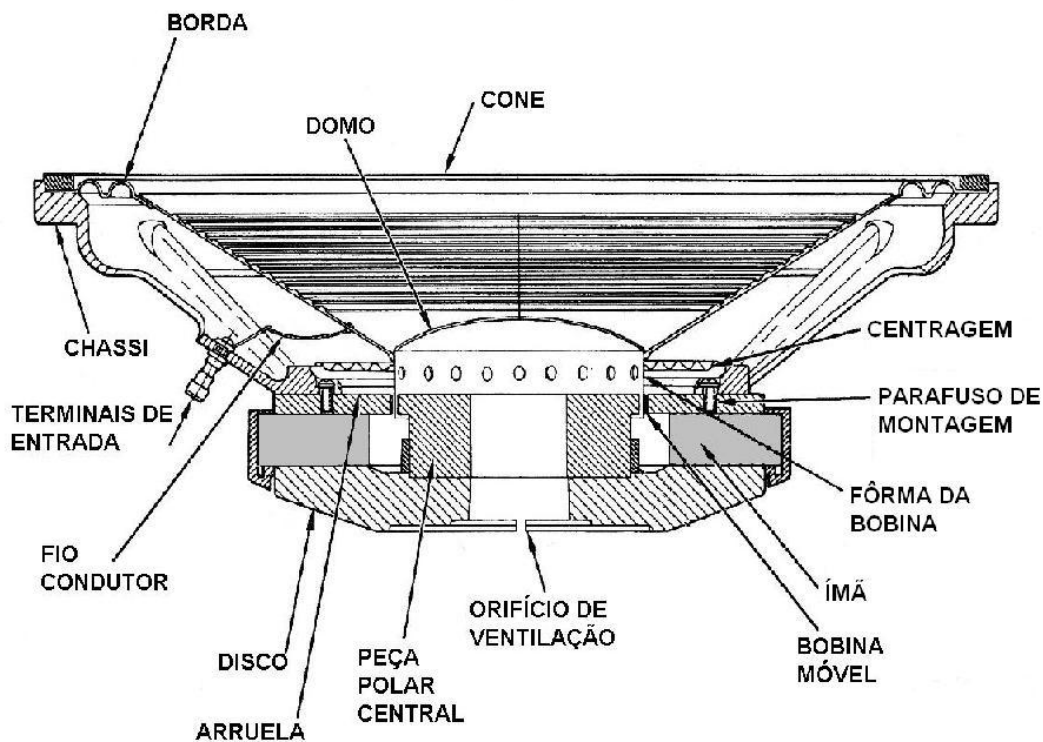


Figura 2.3 – Corte transversal de um alto-falante.

Quatro sistemas distintos, mas interligados entre si, operam em uníssono em um alto-falante:

. O funil ou chassi: composto de uma armadura rígida, em geral metálica, que serve de suporte mecânico para todas os outros componentes. Geralmente moldado em ferro fundido, chapa de aço estampada ou alumínio;

. O sistema motor ou circuito magnético: constituído de ímã permanente, peças polares (disco, pino e arruela) de ferro-doce¹, dispostas num circuito fechado, exceto por uma pequena região cilíndrica, chamada de entre-ferro (ou gap);

. O diafragma ou cone: membrana na forma de um tronco reto de cone circular², idealmente (e teoricamente) rígido, construído de um compósito de fibras de celulose, material plástico ou metal. Alguns cones já são produzidos com fibras de carbono, Kevlar^{®3} e até madeira de lei. O perímetro da base maior é fixado ao funil por um tipo de suspensão flexível, denominada centragem (ou aranha). Estas suspensões, além de manterem o diafragma centralizado, são as fontes da força restauradora (compliância);

. A bobina móvel: bobina na forma de um solenóide cilíndrico, enrolado com um fio condutor sobre um suporte isolante e resistente às temperaturas altas (cerca de 200 °C), presa à base menor do diafragma. A bobina irá operar na região do gap, coaxialmente com este e, ao ser atravessada por uma corrente elétrica alternada e na presença do campo magnético, será a fonte externa responsável pelo movimento do cone.

Em geral os alto-falantes são montados em caixas acústicas, as quais podem apresentar características ressonantes próprias, que podem mudar substancialmente a resposta de frequência destes.

Os instrumentos musicais, assim como a voz humana, emitem sons cujas frequências vão desde algumas dezenas até milhares de Hertz, cobrindo uma faixa de cerca de oito oitavas. Assim, pensando-se no alto-falante como um instrumento destinado a reproduzir voz humana e música, ele deve ser capaz de cobrir este intervalo de resposta em frequências. Seria extremamente difícil construir um alto-falante que cubra toda a faixa de frequência citada sem introduzir graves distorções harmônicas. Faz-se necessário, então, o desenho de geradores independentes para as regiões de baixa, média e altas frequências, de forma que, operando conjuntamente, possam estender a banda de resposta, a fim de reproduzir o som com razoável fidelidade.

¹ É o metal praticamente puro, obtido do minério através de fusão sob forte corrente de ar.

² Outras formas de diafragma podem ser utilizadas, dependendo do projeto do alto-falante, se este for aplicado para geração de frequências baixas ou altas.

³ Fibra sintética de aramida registrada pela DuPont, podendo ser cinco vezes mais resistente que o aço.

2.5 Componentes e funcionamento do alto-falante

Para que se possa entender o funcionamento de um alto-falante, é necessário compreender, mesmo que de forma simplificada, o funcionamento de cada parte do mesmo. O objetivo principal de um alto-falante é transmitir o sinal elétrico aplicado nos terminais para que o cone os transforme em ondas sonoras.

2.5.1 O motor eletromagnético

O motor eletromagnético é composto pelo circuito magnético e pela bobina. Sua função é produzir a força eletromagnética, dada pela equação:

$$\overline{F}_{mag} = (B\ell)\overline{I} \quad (2.9)$$

onde \overline{F}_{mag} é a força que move a bobina axialmente, dada em Newton (N), B é o valor do campo magnético em Tesla (T), ℓ é o comprimento do enrolamento do fio da bobina imerso no campo magnético em metros (m), e \overline{I} é o valor da corrente alternada aplicada na bobina, dada em ampéres (A).

O objetivo do circuito magnético é conduzir e concentrar as linhas de campo na região onde a bobina será instalada. Essa região, conforme citado, chama-se entreferro ou gap. Este circuito é desenhado de forma a ser o menor possível para um dado campo projetado. Para isso, deve-se levar em consideração a forma do circuito e os materiais utilizados na fabricação.

As placas polares – arruela e disco – e o pino devem conduzir as linhas de campo até o gap. Para isso, é desejável que tenham alta permeabilidade magnética. A indústria geralmente fabrica estas peças com ferro-doce, ferro fundido ou até mesmo aço-doce (aço com baixo teor de carbono).

Para o imã permanente, três tipos de materiais são utilizados: os de alnico⁴, os cerâmicos, como ferrite, e os de terras raras⁵. Atualmente os imãs mais utilizados são as ferrites de bário e estrôncio, produzidos a partir de metalurgia do pó.

A forma do circuito influenciará no confinamento do campo magnético no gap. Se o campo magnético ficasse perfeitamente confinado no estreito espaço do gap, a simetria do campo estaria garantida. Entretanto, as linhas de força do campo magnético podem extravasar a área do entre-ferro que produzem campos magnéticos espúrios, levando à distorção harmônica (LIAN, 1988). Conforme o desenho do circuito magnético, pode-se perder intensidade do campo devido ao desvio de linhas de campo para fora do gap, como mostra a figura 2.4.

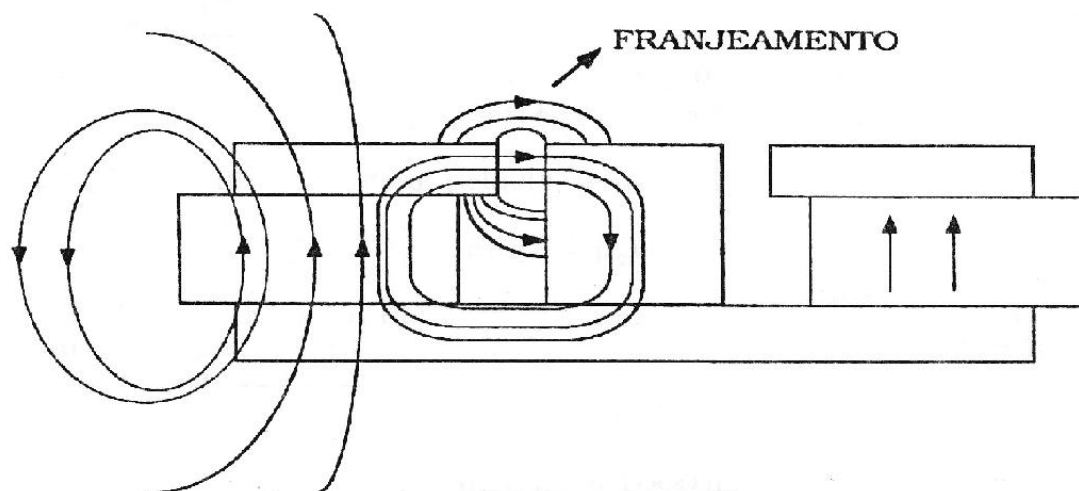


Figura 2.4 – Desvio de linhas de campo magnético.

As peças do circuito magnético geralmente são coladas: arruela e disco no imã e o pino no disco. Quando o imã é magnetizado, esta magnetização orienta-se paralelamente ao eixo de simetria do imã, como mostra a parte direita da figura 2.4. Porém, como o imã está inserido no circuito magnético, as linhas de campo tendem a segui-lo. Estas linhas passam do imã para a arruela, ou seja, mudam de meio material, com permeabilidades magnéticas diferentes, e mudam a sua direção, como mostra a figura 2.5.

⁴ Liga de alumínio, níquel e cobalto.

⁵ Mistura de 17 metais, tipicamente macios e maleáveis – lantâneo, cério, praseodímio, neodímio, promécio, samário, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio, lutécio, escândio e ítrio.

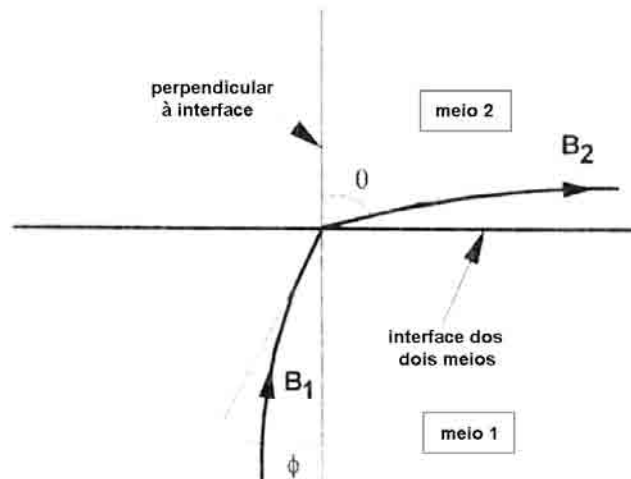


Figura 2.5 – Mudança de meio.

O campo magnético deveria ser constante em toda região do gap. Porém, ele se dispersa quando sai da região delimitada pela espessura da arruela, formando um franjeamento, que pode causar distorção harmônica. Vários métodos são normalmente empregados para garantir a simetria desse campo, e estão ilustrados na figura 2.6.

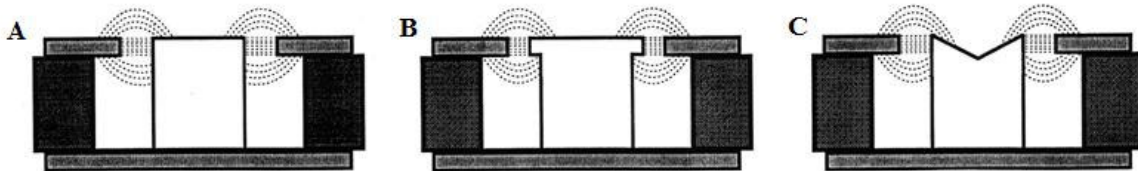


Figura 2.6 – Conformação do campo magnético para diferentes geometrias de peças polares.

A figura 2.6B mostra a obtenção de um campo relativamente simétrico através de um recorte na peça polar. Já na figura 2.6C pode ser observado o efeito de um chanfro oblíquo efetuado na peça polar, que também resulta em maior simetria do campo magnético (LIAN, 1988).

2.5.2 Configuração circuito magnético/bobina

Quando a bobina é colocada no gap, e uma corrente elétrica alternada passa por esta, surge a força $B\ell\bar{I}$, que move axialmente a bobina. Dependendo da espessura da arruela e do comprimento do fio sob ação do campo magnético esta força terá intensidades diferentes.

Dois geometrias básicas envolvendo a bobina móvel e o entre-ferro são comumente utilizados em alto-falantes: a bobina curta e a bobina longa. A figura 2.7 mostra estes dois tipos, sendo a de bobina longa a mais comum.

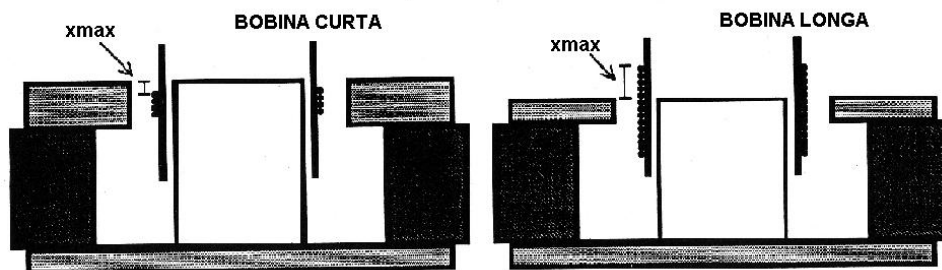


Figura 2.7 – Geometria da bobina curta e da bobina longa.

A distância denominada **Xmax**, no diagrama, representa o percurso em que a bobina pode deslocar-se, mantendo (ou tentando manter) constante o número de espiras no gap.

A bobina curta propicia grande linearidade para pequenos deslocamentos. A bobina longa possui a vantagem de apresentar uma linearidade razoável com melhor eficiência (a despeito da maior massa), o que justifica sua popularidade junto aos fabricantes (DICKASON, 1995).

Em termos da distorção, o limite para o pico do deslocamento da bobina é geralmente obtido aumentando o Xmax em aproximadamente 15%. A excursão máxima admissível pode ser determinada com o auxílio de um medidor de distorção, ajustado para detectar a terceira harmônica, à mediada em que se aumenta a tensão aplicada na bobina (BIRT, 1990).

Quanto à bobina propriamente dita, ela é formada a partir de um corpo que pode ser de papel kraft, alumínio, Kapton®⁶, Nomex®⁷. O corpo de papel é muito utilizado em alto-falantes de baixa potência elétrica, pois seu limite de temperatura gira em torno de 100 °C. Com Nomex este limite cresce para 150 °C. O uso do Kapton com isolamento e adesivos adequados, pode-se chegar até temperaturas em torno dos 350 °C.

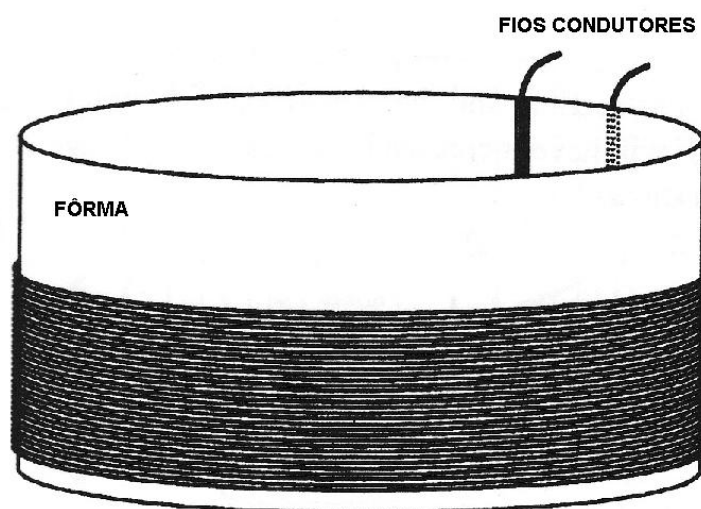


Figura 2.8 – Bobina montada na fôrma.

A análise térmica da bobina é de suma importância. O aquecimento da bobina e sua possível queima são limitadores do funcionamento do alto-falante. O limite térmico está relacionado ao material do corpo e do fio, incluindo isolantes e adesivos, ao diâmetro do fio e à transferência de calor da bobina. Esta última determina a temperatura final da bobina e a sua resistência elétrica. O aumento da resistência em decorrência do aumento da temperatura tem sérias implicações. Se a temperatura aumenta, a resistência também aumenta, fazendo com que o alto-falante perca eficiência. Alguns alto-falantes de tecnologia mais avançada utilizam no interior do gap um líquido magnético condutor de calor denominado ferrofluido. Geralmente é uma substância coloidal com partículas suspensas de Fe_3O_4 . Cada partícula possui um momento magnético permanente e quando submetida a um campo magnético, este se alinha, fazendo com que o fluido adquira um momento magnético único, permanecendo suspenso no gap (GANDER, 1981). O ferrofluido não chega a interferir significativamente no campo magnético ou mesmo no funcionamento do alto-falante. Seus principais efeitos são a melhora de transferência de calor para o ferro e conseqüente

⁶ Fita sintética de aramida, registrada pela DuPont.

⁷ Fibra com características de grande resistência à chamas e altas temperaturas, registrada pela DuPont.

aumento da capacidade da bobina em suportar maiores potências elétricas (sua condutividade térmica é de 6 a 10 vezes maior que a do ar) e o aumento do amortecimento mecânico, devido a sua viscosidade, o que diminui o fator de qualidade mecânico do alto-falante.

O ferrofluido geralmente é mais utilizado em alto-falantes com baixa excursão de bobinas, como drivers e tweeters, embora já existam ferrofluidos desenvolvidos para serem utilizados em alto-falantes destinados à reprodução de sons mais graves (woofers).

2.5.3 O diafragma ou cone

Com o circuito eletromagnético consegue-se a primeira conversão de energia: energia elétrica em mecânica. Para transformar a energia mecânica em energia acústica, deve-se acoplar à bobina um diafragma (ou cone) que irá se movimentar no sentido axial ao falante, deslocando o ar em a sua frente e para trás, produzindo assim ondas sonoras.

A primeira idéia quando se pensa num diafragma funcionando como um pistão rígido é utilizar um disco plano. Porém, a massa necessária para torná-lo suficientemente rígido seria muito grande, o que diminuiria a eficiência do alto-falante. A solução encontrada foi fazer um diafragma em forma de cone, cuja rigidez é maior, permitindo diminuir a massa até obter uma membrana bem leve.

Na realidade, os cones não são totalmente rígidos e irão deformar-se de algum modo, em algum momento, dependendo das características do material de que foram construídos. A deformação do cone exerce um efeito crítico na eficiência em altas frequências, no nível de pressão sonora (L_p) e na resposta polar do alto-falante.

Como os materiais não são totalmente rígidos e possuam massa, a velocidade de propagação de ondas pelo material é finita. Dependendo do tamanho e material do cone, até determinada frequência, o cone funciona como um “pistão rígido”, ou seja, todos os seus pontos possuem mesma velocidade e mesmo deslocamento. Ultrapassada esta frequência, ocorre o que tecnicamente (ou vulgarmente) denomina-se a “quebra do cone”, com certas áreas oscilando em determinadas frequências próprias do sistema, que não coincidem, necessariamente, com a frequência da força

motriz. Estas áreas constituem os **modos vibracionais**. Eles se formam devida às ondas que se propagam no cone partindo da bobina, subindo até a periferia do cone (borda) e retornando novamente até a bobina, formando ondas estacionárias no corpo do cone. As formas e materiais, tanto do cone, quanto da borda, influenciarão na formação destas ondas estacionárias. A figura 2.9 ilustra os modos vibracionais mais comuns que podem surgir nos cone.



Figura 2.9 – Modos de vibração do cone.

Os modos radiais se estendem do centro do cone em direção à borda, ocorrendo principalmente em baixas frequências. Os modos concêntricos formam um conjunto de ondas que se propagam a partir do centro do cone (BERANECK, 1954). Os modos vibracionais, em suma, interferem no som produzido, podendo aumentar ou diminuir o nível de pressão sonora em certas frequências, formando vales e picos na curva de resposta final do alto-falante, que veremos mais tarde.

Duas formas de diafragmas são mais comuns: os retos e os curvos (ou exponenciais). A diferença básica entre os dois é que os diafragmas curvos possuem menos modos vibracionais que os cones retos. Portanto, possuem curvas de resposta mais plana. Em contrapartida, estes não suportam potências elevadas em baixas frequências, na região de “pistão rígido”, quanto os cones retos.

Outra forma de diminuir a formação de modos vibracionais é a colocação de frisos colados na parte central do diafragma. Dependendo do número, tamanho e espessura da parede do diafragma, os frisos conseguem dissociar a parte central da extremidade em termos de modos vibracionais.

A partir do momento em que a frequência aumenta, todos os alto-falantes tornam-se mais direcionais, a ponto das altas frequências tenderem a formar um fecho estreito de propagação, tal como um farol de automóvel. Nas frequências onde o comprimento de onda é grande em comparação com a circunferência do cone, a irradiação é esférica. Quando a frequência aumenta até o ponto onde o comprimento de onda é igual ou menor que a circunferência, o lóbulo de irradiação torna-se cada vez mais estreito.

2.5.4 A suspensão acústica

O sistema de suspensão de um alto-falante é composto por dois elementos básicos: a borda (ou anel de suspensão) e a centragem (ou aranha). A borda, geralmente feita de borracha, espuma ou mesmo linho tratado, desempenha algumas funções simultaneamente: ajuda a manter o cone centrado e fornece parte da energia restauradora responsável pelo retorno do cone à posição de repouso. A centragem, normalmente produzida de linho corrugado, mantém a bobina centralizada na peça polar e fornece o restante da energia restauradora.

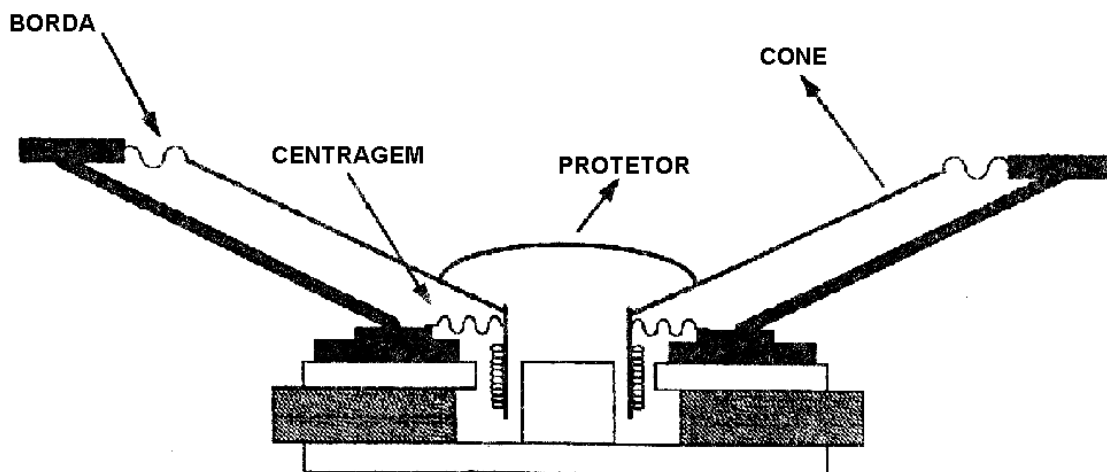


Figura 2.10 – Suspensão acústica de um alto-falante, composto de borda e centragem.

2.5.4.1 A borda

A borda pode ser um prolongamento do cone, fabricado de massa celulósica ou de diversos outros tipos de materiais, como borracha e tecido resinado, por exemplo. Sua função é limitadora da excursão do alto-falante. Outra função da borda é o

amortecimento dos modos vibracionais do cone. Esta habilidade para amortecer vibrações, impedindo que sejam refletidas de volta ao cone, modifica tanto a amplitude como a fase dos modos de ressonância, fazendo dela uma importante peça no projeto do alto-falante e uma ferramenta eficaz para a configuração da curva de resposta.

2.5.4.2 A centragem

A centragem é produzida, normalmente, de tecido banhado com resina fenólica⁸, na forma de um disco com ondas concêntricas. A compliância da centragem pode ser variada mudando-se a densidade da resina no banho ou mesmo variando o tipo de tecido utilizado. Esta compliância também depende do diâmetro, do número e do tamanho de suas ondas (ou rugas).

A finalidade principal da centragem é proporcionar a maior parte da força restauradora ao alto-falante, funcionando como um amortecedor ao movimento do cone. É um importante fator determinante na frequência de ressonância do alto-falante. Vale ressaltar que esta frequência de ressonância depende não somente da compliância, mas também da totalidade da massa móvel em movimento, sendo dada por:

$$F_s = \left[6,28 \left(\sqrt{C_s \times M_D} \right) \right]^{-1} \quad (2.10)$$

onde F_s é a frequência de ressonância do alto-falante ao ar livre, C_s a compliância e M_D a massa móvel deslocada pelo alto-falante (incluindo o cone, a bobina, a centragem, a borda de suspensão e a massa de ar deslocada).

No caso de fadiga elástica, se a centragem não volta para sua posição normal, ou seja, se a bobina não estiver centralizada em relação à arruela, haverá perda do fator de força $B\ell$ do alto-falante e conseqüente diminuição da sensibilidade, assim como um aumento do fator de qualidade total Q_t .

⁸ Este tipo de resina é obtida pela reação de condensação (reação esta que condensa dois compostos para dar lugar a um terceiro) e polimerização entre um fenol e um aldeído.

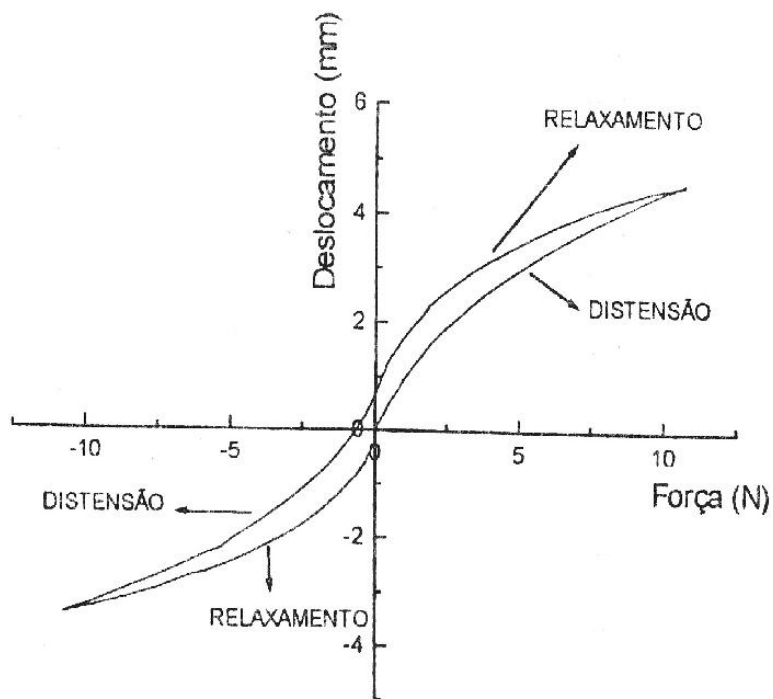


Figura 2.11 – Gráfico deslocamento x força de uma centragem.

2.6 Técnicas de caracterização de alto-falantes

Existem diversas técnicas de caracterização de alto-falantes. Estas se baseiam em medições elétricas e acústicas que permitem ao projetista avaliar o protótipo pesquisado e identificar o desempenho dos componentes, assim como permitem ao fabricante medir e calcular as especificações técnicas necessárias de seus produtos e avaliar se estes estão em conformidade com as especificações projetadas.

Para tanto, são necessários equipamentos de alta qualidade e precisão, na ordem de ± 1 dB. Outro fator fundamental é a correlação entre as medições técnicas e a audição, ou seja, a avaliação subjetiva do alto-falante. Esta avaliação é o teste final para a aprovação do projeto.

Serão discutidas a seguir as principais medições realizadas em alto-falantes e como seus componentes e montagem podem influenciar nas suas características. Serão analisadas também as principais especificações técnicas dos alto-falantes.

2.6.1 Condições de medição

As medições podem ser elétricas e/ou acústicas. A medição acústica é realizada em ambiente de campo livre (*free field*), campo difuso (reverberante) ou ambiente comum (semi-reverberante).

As medições da curva de resposta, distorção harmônica total e curvas polares devem ser feitas em campo livre. Neste tipo de ambiente não existem reverberações. Realizar estas medições em campo aberto seria possível, mas os testes ficariam sujeitos aos agentes externos, como vento, umidade, temperatura adversa, ruído, entre outras. O meio encontrado de tentar sanar este problema foi a construção de salas que simulassem tais campos abertos: as salas anecóicas (ou semi-anecóicas). Suas paredes, teto e piso são forrados por materiais que absorvam as ondas sonoras. Desta forma, as únicas ondas sonoras que atingirão o microfone que irá capturar a resposta do alto-falante serão aquelas emitidas pela parte posterior do falante.

Para isolar as ondas emitidas pela parte anterior do cone, as medições são realizadas com o alto-falante montado em uma caixa acústica ou “*baffle*” padronizado. Este *baffle* é feito de madeira com dimensões seguindo a norma NBR 5308 da ABNT.

Os instrumentos utilizados na medição não devem exceder o limite de ± 1 dB. São estes:

- Gerador de sinais ligado a um amplificador que aplica um sinal elétrico senoidal ao alto-falante. A potência aplicada geralmente é de 1 Watt. O sinal elétrico tem sua frequência variada de 20 Hz a 20 kHz (*sweep*);
- Microfone calibrado que mede o nível de pressão sonora, instalado a 1 metro de distância do centro do cone. O microfone é ligado em um processador de sinais que grava e mostra as medições em uma tela de computador.

2.6.2 Curva de resposta

A curva de resposta é a medição do nível de pressão sonora, em dB, em função do logaritmo da frequência aplicada. Com isso, gera-se um gráfico semelhante ao demonstrado na figura 2.12.

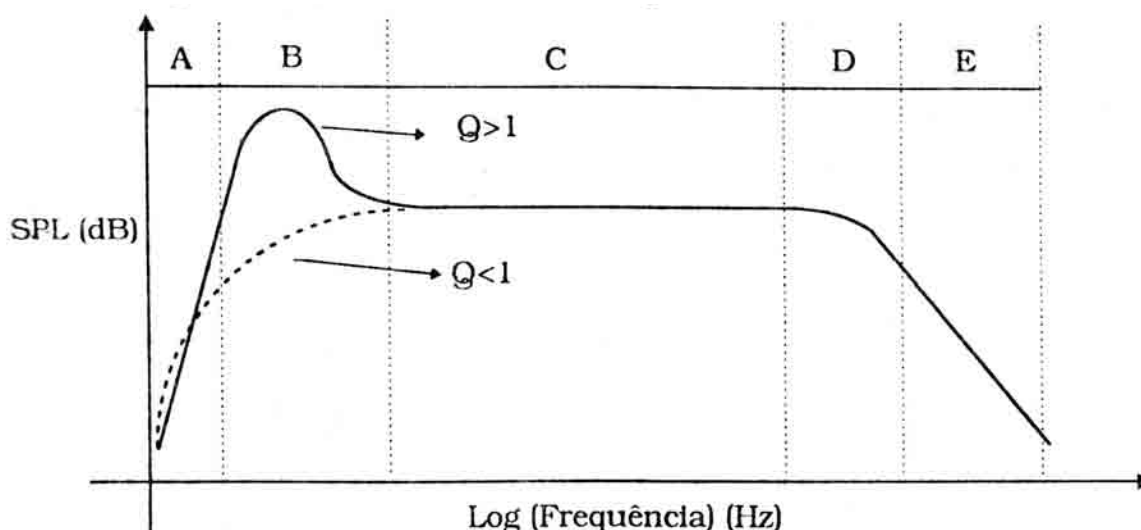


Figura 2.12 – Curva de resposta.

A região **A** é a região anterior à frequência de ressonância. É controlada basicamente pela rigidez da suspensão acústica do alto-falante. Na região **B** encontra-se a frequência de ressonância. Um pico pode ocorrer na ressonância para fator de qualidade maior que 1 (Q_{ts}). Após a frequência de ressonância, a curva de resposta tende a se estabilizar em um patamar. É a região **C**. O valor deste patamar dependerá da resistência elétrica da bobina, da massa do sistema móvel, do fator de força $B\ell$ e da área efetiva do cone. Já a região **D** é aquela onde uma possível segunda ressonância aparece. Finalmente, na região **E**, a impedância acústica torna-se grande e a curva tende a cair com uma ordem de 12 dB por oitava.

A partir da curva de resposta do alto-falante, duas especificações técnicas muito importantes são extraídas: a resposta em frequência e a sensibilidade do alto-falante.

A resposta em frequência é a faixa onde o alto-falante responderá de modo otimizado ao estímulo elétrico. Ela corresponde, de modo geral, às regiões **B**, **C** e **D**

da curva de resposta. Mais precisamente falando, corresponde à área que vai desde a frequência de ressonância do alto-falante até o ponto onde a curva decai 10 dB em relação ao patamar da região **C** (NBR 5308).

O tipo de alto-falante é determinado pela resposta em frequência que reproduzem, e podem ser divididos em:

- Woofers: respondem de 20 Hz até 300 Hz;
- Médios (*mid ranges*) e *drivers*: respondem de 300Hz até 2 KHz; e
- Tweeters: respondem de 2KHz até 20 Khz.

A sensibilidade do alto-falante é a média do nível de pressão sonora na resposta em frequência do alto-falante. Ela é medida em dB/W/m, ou seja, a medida deve ser feita com o microfone a 1 metro de distância do centro axial do alto-falante, com 1 watt de potência aplicada neste. Esta medição é normatizada pela norma NBR 5308 da ABNT. Ela corresponde ao nível médio de patamar da região **C** da curva de resposta.

2.6.3 Distorção harmônica

As condições da medição da distorção harmônica (THD – *total harmonic distortion*) são as mesmas que as da curva de resposta. Na verdade, a curva de resposta é o harmônico fundamental (ou primeiro harmônico) do alto-falante. Quando o sinal elétrico alternado é aplicado nos terminais, formam-se ondas sonoras com a mesma frequência do sinal. Porém, por causa das não-linearidades do alto-falante, formam-se algumas distorções no sinal sonoro, que, por análise de Fourier, podem ser decompostas em harmônicos da frequência fundamental. Assim, se a fundamental vale 440 Hz (nota musical lá fundamental), o segundo harmônico superior terá uma frequência de 880 Hz, ou seja, o dobro da fundamental (no caso da primeira harmônica inferior, o valor será a metade da fundamental); o terceiro de 1320 Hz, e assim sucessivamente. Quando se mede a distorção, medem-se também as curvas dos outros harmônicos (2º, 3º, etc). O gráfico da figura 2.13 demonstra as medições dos harmônicos fundamentais, 2º e 3º de um alto-falante de 12 polegadas de diâmetro. A THD é calculada como segue na equação abaixo;

$$THD = \frac{\sqrt{a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + \dots}}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots}} \times 100 \quad (2.11)$$

onde a_n = amplitude do n-ésimo harmônico.

A formação de harmônicos que provocam distorção no alto-falante deve-se às não-linearidades dos mesmos. São elas:

- Não-linearidade elástica da suspensão acústica: a modelagem estabelecida para o alto-falante, ou seja, um oscilador harmônico forçado, estabelece que a compliância da suspensão acústica (mola) é uma constante. Porém, como visto na figura 2.11, a centragem não possui linearidade elástica para grandes deslocamentos. Quando deslocamentos de grande amplitude são realizados pela bobina, a força restauradora deixa de ser uma função linear (OLSON, 1957). A introdução da não-linearidade elástica provoca a formação de um 3º harmônico no movimento da bobina. As figuras 2.13 e 2.14 mostram as formas de onda do sinal acústico de saída do alto-falante. Nota-se na figura 2.14 que a onda sonora produzida fica distorcida da sua forma senoidal original. Esse efeito, dependendo da amplitude do 3º harmônico, equivale a 15% da amplitude da fundamental, o que pode ocasionar um ruído audível, prejudicando a reprodução do som pelo alto falante;

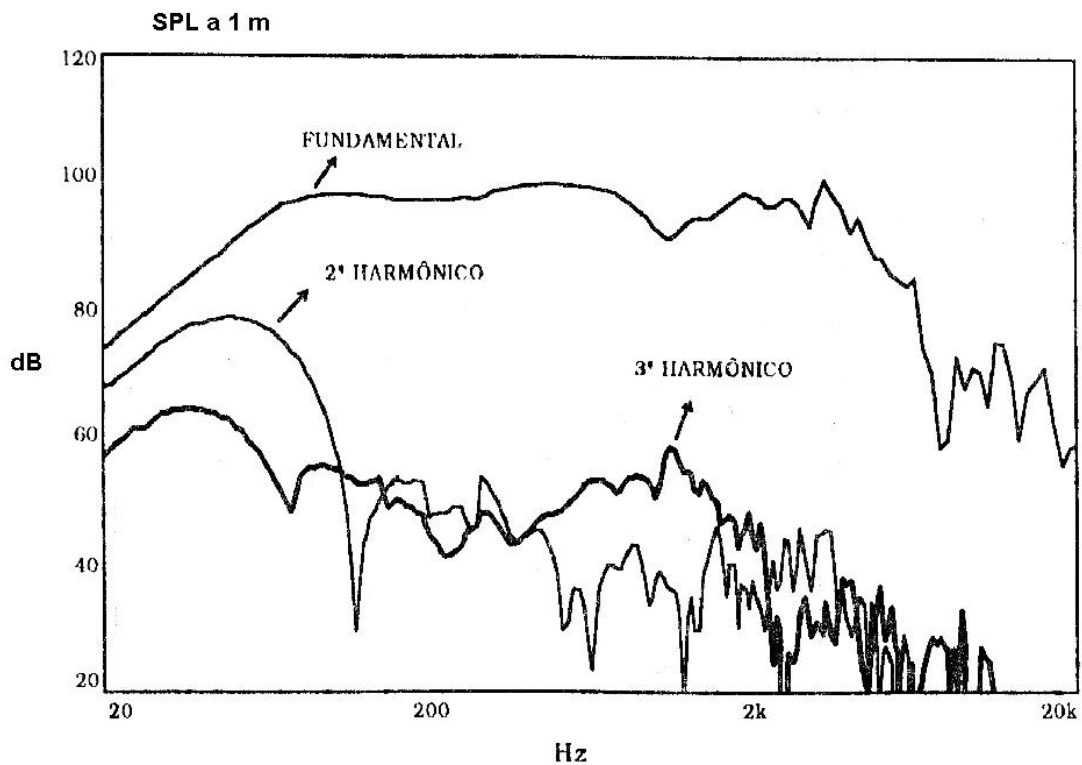


Figura 2.13 – Harmônico fundamental, 2º e 3º harmônicos.

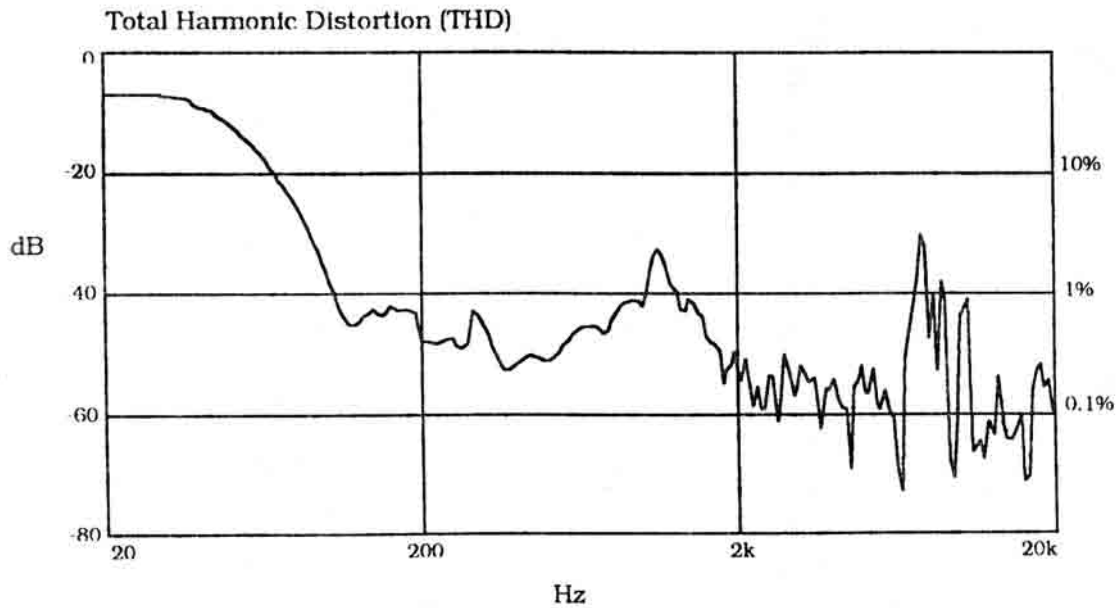


Figura 2.14 – Forma de onda distorcida devido a 3º harmônico.

- Não-linearidade do campo magnético sentido pela bobina: a modelagem da força eletromagnética aplicada ao sistema móvel adota o fator de força $B\ell$ como constante. Porém, como já foi visto, o campo magnético apresenta um franjeamento acima e abaixo da região determinada pela espessura da arruela. Devido a este franjeamento, o valor do campo diminui com o afastamento do gap. Para grandes deslocamentos, a bobina atinge a região de franjeamento, sentindo os efeitos de um campo variável (OLSON, 1957). Da mesma forma que para o caso da não-linearidade elástica, formam-se harmônicos no movimento da bobina, dependendo da variação do valor do campo magnético.

Não existe normatização para o mínimo da THD média de um alto-falante. Os fabricantes adotaram um máximo de 3% para alto-falantes de baixa potência e 10% para aqueles de alta potência.

2.6.4 Curvas polares

Como já foi visto, o som possui diretividade em frequências médias e altas. Portanto, um modo de estudar esta diretividade é através das curvas polares. Na verdade, possuem este nome porque são simplesmente representações gráficas, em

forma polar, da intensidade sonora em função do ângulo entre o eixo do alto-falante e o microfone utilizado, para uma determinada frequência.

As condições de medição são as mesmas que as outras já citadas. Realiza-se, por exemplo, uma medição a 0° do eixo axial do alto-falante. Gira-se este 15° ou 30°, e faz-se uma nova medição. E assim sucessivamente até atingir 360°. As curvas polares são plotadas na frequência desejada como mostra a figura 2.15. Pode-se notar que o SPL (*sound press level*) é maior próximo a 0°, para todas as frequências.



Figura 2.15 – Curva de resposta polar de um tweeter a 2,5 KHz, 5 KHz e 10 KHz.

A curva polar é de suma importância para a sonorização de ambientes. Quando tweeters e alto-falantes de média frequência são utilizados em um sistema de áudio, deve-se saber qual é o nível de pressão sonora para cada posição do ambiente. A partir daí, pode-se escolher os pontos de fixação das caixas acústicas para que todo o ambiente receba a mesma informação no nível mais linear possível.

2.6.5 Curva de impedância

Esta é uma medida elétrica do módulo da impedância e de sua fase em função da frequência. Não são necessárias as condições de campo livre e nenhum baffle.

Existem duas maneiras de se medir a curva de impedância: tensão constante ou corrente constante. Nos dois casos, usa-se um gerador de sinal senoidal ligado ao amplificador, que aplica o sinal em um circuito, formado pelo alto-falante com uma resistência elétrica (ou mesmo mecânica) em série. No caso da tensão constante,

mede-se a corrente que passa pelo resistor e a voltagem aplicada ao alto-falante. Calcula-se, então, a impedância do alto-falante em cada frequência. Já no caso de corrente constante, a resistência possui um valor alto, muito maior que a impedância do alto-falante, de forma que a corrente que passa pelo alto-falante seja mínima e seu valor mantenha-se aproximadamente constante. A figura 2.16 demonstra uma curva de impedância típica de um woofer. Pela curva, nota-se que a impedância varia bastante em toda a faixa de frequência aplicada. No início, ela tem um pico, cai a um valor mínimo e depois inicia uma curva ascendente, que depende da indutância da bobina. O pico da impedância elétrica é o valor mínimo da impedância mecânica (OLSON, 1957).

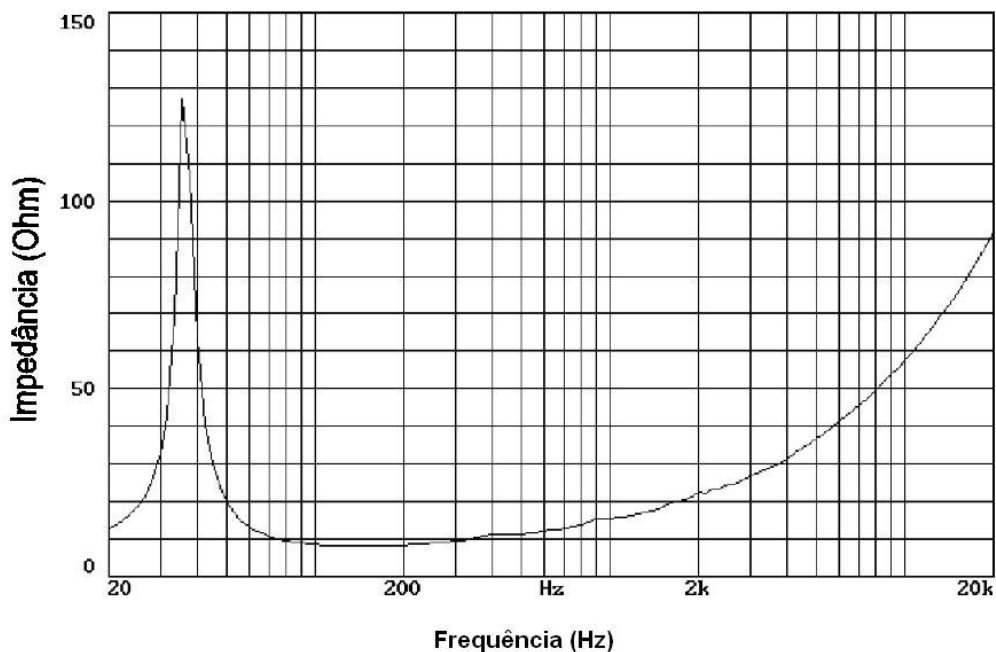


Figura 2.16 – Curva de impedância de um alto-falante.

Da curva de impedância, podem-se extrair duas especificações técnicas do alto-falante: a frequência de ressonância e a impedância nominal.

- Frequência de ressonância: é aquela onde ocorre o mínimo da impedância mecânica, ou seja, é onde ocorre o pico da curva de impedância elétrica. A frequência de ressonância depende do somatório das massas do cone, da bobina e da suspensão acústica (centragem + borda) do alto-falante. Quanto

maior a massa e maior a compliância da centragem e da borda, menor a freqüência de ressonância; e vice-versa;

- Impedância nominal: quando varia-se a freqüência, a impedância do alto-falante cresce, tem um pico e depois cai até um determinado valor mínimo. Este valor mínimo depois do pico será a impedância nominal do falante, segundo NBR 5308. O valor da impedância nominal dos alto-falantes está normatizada pela NBR 5254 em 2Ω , 4Ω , 6Ω , 8Ω , 16Ω , 25Ω , 50Ω , 100Ω , 400Ω , 800Ω , em função do valor da impedância de saída dos amplificadores.

2.6.6 Parâmetros tradicionais e de Thiele-Small

O cálculo dos parâmetros de Thiele-Small (T-S) foi proposto por A. N. Thiele da Australian Broadcasting Commission e aprimorado por Richard H. Small da Universidade de Sydney, em trabalhos publicados durante a década de 1970. Estes trabalhos visavam o projeto de caixas acústicas do tipo aberta (*vented box*), modelo este que não possuía nenhum tipo de domínio teórico. Os parâmetros foram estudados e conseqüentemente calculados com base em analogias entre circuitos elétricos das partes mecânica e acústica do alto-falante (THIELE, 1971).

Tanto os parâmetros tradicionais quanto os de T-S são obtidos através de medições elétricas da impedância do alto-falante. O método mais tradicional utiliza duas curvas de impedância: uma medida de forma tradicional e outra com massa conhecida agregada ao diafragma, que fará a freqüência de ressonância se deslocar para valores menores. Comparando-se as duas curvas e conhecendo o valor da resitência elétrica da bobina e a área efetiva do cone, pode-se calcular todos os parâmetros. Um outro modo mais sofisticado de medição utiliza a curva de impedância e a curva de velocidade do diafragma x freqüência. Para isso é necessário o uso de um acelerômetro ou outro método interferométrico com laser, capaz de medir a velocidade de deslocamento do diafragma. A utilização dos valores de impedância e velocidade permitem calcular os parâmetros. Porém, nos dois casos, os cálculos só valem para medições feitas com sinais de baixa potência e baixa freqüência.

Os parâmetros tradicionais e suas unidades são:

- M_{ms} : massa mecânica total (Kg);
- C_{ms} : compliância mecânica total (m/N);

- R_{ms} : resistência mecânica (Kg/s);
- S_d : área efetiva do diafragma (m²);
- $B\ell$: fator de força (T.m); e
- R_e : resistência elétrica (Ω).

Os parâmetros de Thiele-Small e suas unidades são:

- f_0 : frequência de ressonância (Hz);
- V_{as} : volume acústico equivalente (m³);
- Q_{es} : fator qualidade elétrico;
- Q_{ms} : fator qualidade mecânico;
- Q_{ts} : fator qualidade total; e
- η_0 : eficiência.

A seguir, cada um dos parâmetros tradicionais e de T-S serão analisados e suas relações com os componentes e funcionamento do alto-falante serão estabelecidas.

2.6.6.1 Parâmetros tradicionais

- a) Massa mecânica total - M_{ms} : refere-se à massa do sistema móvel do alto-falante, composto por diafragma, bobina e suspensão acústica, e à massa de ar equivalente à impedância acústica. Tanto os parâmetros tradicionais como os T-S são obtidos, geralmente, através de medições do tipo “*free air*”, onde as ondas sonoras emitidas pelas partes frontal e posterior do diafragma interferem e, portanto, a M_{ms} é descrita por:

$$M_{ms} = M_{md} + M_{ms} \quad (2.12)$$

onde: M_{md} é a massa do sistema móvel e M_{ms} é o valor da massa acústica;

- b) Compliância mecânica total - C_{ms} : corresponde à compliância da suspensão (centragem e borda associados). Na modelagem análoga ao oscilador harmônico, ela corresponde à compliância de uma mola.

- c) Resistência mecânica - R_{ms} : é a resistência mecânica da suspensão. No oscilador harmônico, corresponde à resistência de amortecimento do movimento. A resistência mecânica está relacionada ao transiente do alto-falante, ou seja, ao tempo necessário para atingir o regime estacionário de seu movimento. Este parâmetro está relacionado ao amortecimento do movimento, ou seja, parte da energia mecânica de oscilação do alto-falante é transformada em calor pela resistência mecânica;
- d) Área efetiva do diafragma - S_d : corresponde à área projetada do diafragma, como se ele fosse um pistão. Seu valor é calculado como:

$$S_d = \pi r_d^2 \quad (2.13)$$

onde r_d é o raio da base efetiva do cone, do eixo até metade da borda;

- e) Resistência elétrica - R_e : é a resistência elétrica da bobina. Não é calculada pela curva de impedância. Seu valor deve ser medido através de um ohmímetro, e incluído para o cálculo dos parâmetros de T-S; e
- f) Fator de força - B_ℓ : é calculado da curva de impedância. Corresponde ao campo magnético no gap multiplicado pelo comprimento do fio da bobina imerso neste campo. O fator de força é extremamente importante, já que junto com a corrente elétrica alternada, é responsável pela movimentação do sistema móvel.

2.6.6.2 Parâmetros de Thiele-Small

- a) Frequência de ressonância - f_0 : A frequência de ressonância é aquela descrita anteriormente. Ela é calculada pela equação:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{ms}C_{ms}}} = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (2.14)$$

onde ω_0 vale a freqüência angular de ressonância. Para que se altere num projeto a freqüência de ressonância de um determinado alto-falante, deve-se alterar a compliância da suspensão e/ou a massa do sistema móvel;

- b) Volume acústico equivalente - V_{as} : corresponde ao volume de ar que teria a mesma compliância acústica que a suspensão do alto-falante, e é calculado através da equação:

$$V_{as} = \rho_0 c^2 C_{ms} S_d^2 \quad (2.15)$$

onde ρ_0 é o valor da densidade do ar e c a velocidade do som no ar em CNTP. Este parâmetro é um dos mais utilizados para o projeto de uma caixa acústica;

- c) Fator qualidade mecânico - Q_{ms} : Já descrito anteriormente, pode ser calculado através de parâmetros mecânicos tradicionais:

$$Q_{ms} = \frac{M_{ms} \omega_0}{R_{ms}} = \sqrt{\frac{M_{ms}}{C_{ms}}} \frac{1}{R_{ms}} \quad (2.16)$$

- d) Fator qualidade elétrico - Q_{es} : analogamente ao fator de qualidade mecânico, pode-se calcular o elétrico. Temos:

$$Q_{es} = \sqrt{\frac{M_{ms}}{C_{ms}}} \frac{R_e}{(B\ell)^2} \quad (2.17)$$

- e) Fator qualidade total - Q_{ts} : para calcular os efeitos totais das perdas elétricas e mecânicas, calcula-se o fator total, dado por:

$$\frac{1}{Q_{ts}} = \frac{1}{Q_{ms}} + \frac{1}{Q_{es}} \quad (2.18)$$

Substituindo (2.16) e (2.17) em (2.18) tem-se:

$$Q_{ts} = \sqrt{\frac{M_{ms}}{C_{ms}}} \frac{R_e}{(B\ell)^2 + R_e R_{ms}} \quad (2.19)$$

- f) Eficiência – η_0 : a eficiência é a razão entre a potência acústica irradiada pela potência elétrica aplicada ao alto-falante, na ressonância. Ela é dada geralmente em porcentagem. Quanto maior a eficiência do alto-falante, melhor este se comporta enquanto transdutor. O valor da eficiência em termos de parâmetros tradicionais vale, em porcentagem:

$$\eta_0 = \frac{\rho_0 S_d^2 (B\ell)^2}{2\pi c M_{ms}^2 R_e} \times 100 \quad (2.20)$$

Para que se possa aumentar a eficiência de um determinado alto-falante em um projeto, deve-se diminuir a massa móvel do sistema, diminuir a resistência elétrica da bobina, aumentar o campo magnético na região de gap e aumentar a área efetiva do cone, de maneiras individualizadas ou mesmo combinadas, até a otimização do projeto.

2.6.7 Potência elétrica

Outro tipo de caracterização associada ao falante é a potência elétrica eficaz máxima que este pode suportar. O teste é normatizado pela norma NBR 10303 da ABNT. Deve-se aplicar um ruído rosa⁹, filtrado em baixas e altas frequências, no alto-falante e monitorar a tensão RMS (*root mean square*) aplicada através de um voltímetro. De duas em duas horas, aumenta-se a tensão, até que a bobina se queime ou o alto-falante não esteja funcionando perfeitamente. A última potência suportada por duas horas sem apresentar problemas, será a potência máxima admitida para dado falante. Esta é a potência RMS. Existem outras potências, como a PMPO (*peak music power output*) e musical, utilizadas pelos fabricantes. Estas, na verdade, são múltiplos aleatórios da potência RMS, mas os coeficientes desta multiplicação não estão normatizados, de forma que não há um controle sobre estas informações. A indústria utiliza estas informações como trunfo de marketing, tentando vender ao consumidor leigo um produto de alta potência, talvez nunca alcançada.

⁹ Ruído rosa é um sinal complexo, produzido pela superposição aleatória de uma grande gama de frequências, sendo a intensidade de cada tom puro inversamente proporcional à frequência. Resulta que a intensidade média por oitava é constante, podendo ser obtido a partir de um sinal de ruído branco atenuado a 3dB por oitava. O ruído rosa tem mais energia em baixas frequências.

A potência RMS indica qual a potência máxima aplicada pelo amplificador que o alto-falante suporta. Porém, como já foi descrito, apenas uma parte bem pequena desta potência é transformada efetivamente em som. Um bom alto-falante não deve apenas suportar uma potência elétrica alta, mas também conseguir transformar eficazmente esta potência em potência sonora, ou seja, possuir alta eficiência (η_0).

3 SISTEMAS DE CAIXAS ACÚSTICAS

3.1 Introdução

Normalmente, os alto-falantes são utilizados no interior de caixas acústicas das mais variadas, com uma ou mais aberturas, por onde a onda sonora sai de seu interior. Geralmente, mas não como uma regra, uma das aberturas corresponde ao diafragma do alto-falante, através da qual há radiação direta para o ouvinte. A outra (ou outras) abertura, de alguma maneira, é responsável pela radiação indireta proveniente da parte traseira do falante. Para audição doméstica ou em ambientes públicos (PA – *public adress*) estas caixas acústicas podem apresentar diversas formas e tamanhos, dependendo do projeto a que se destina. Para freqüências baixas, a forma da caixa é pouco relevante, pois se entende como freqüências baixas aquelas cujos comprimentos de onda que geram são muito maiores que as dimensões da caixa em si.

A caixa desempenha, além de um papel puramente estético, três funções precípuas:

- Impedir que as radiações para frente e para trás, em oposição de fase, interajam de maneira destrutiva, diminuindo sensivelmente a intensidade do som irradiado, apesar desta ser a intenção deste estudo especificamente;
- Servir fisicamente de suporte mecânico do alto-falante, facilitando o seu manuseio e transporte, protegendo contra possíveis danos materiais; e
- Alterar significativamente a curva de resposta original do alto falante, tanto na largura de banda quanto no nível de pressão sonora emitido.

O fato de que a presença da caixa modifica consideravelmente a impedância acústica percebida pelo alto-falante, a sua curva de resposta fica, necessariamente, dependente desta. Não se pode mais falar de alto-falante e caixa acústica como

objetos estanques, mas de uma nova entidade denominada sistema de caixa acústica, ou simplesmente, sistema.

Existem no mercado os mais variados sistemas de caixas acústicas. Este trabalho detalhará três tipos de caixas acústicas, duas bem conhecidas no mercado e uma que é o objeto principal desta dissertação:

1. sistema de caixa fechada (*closed box*, em inglês): constituído de uma caixa fechada em todas as faces com uma única abertura, onde é instalado o alto-falante. A única comunicação entre o exterior e o interior da caixa é através do diafragma do alto-falante;
2. Sistema de caixa aberta (*vented box*) : além da abertura onde instala-se o alto-falante, outra abertura adicional é construída, em geral de forma cilíndrica, que também irradia para o exterior. A comunicação com o exterior se dá através do falante e do pórtico; e
3. Sistema de caixa dipolar: tipo de caixa acústica derivada de uma das anteriores, onde existe um cancelamento da onda frontal com a traseira, defasadas em 180° , que produz uma área de anulação de resposta lateral, do lado da borda do falante, como uma “forma de oito”.

3.2 Sistema de caixa fechada

A caixa fechada (*closed box*) é o sistema mais simples de todos, formado por um volume de ar enclausurado em uma caixa hermeticamente fechada e por um alto-falante instalado numa das paredes da caixa. Sua popularização se deu na década de 1950. Ainda é freqüentemente utilizada pelos fabricantes de caixas acústicas.

Para desenvolver-se a análise de um sistema, deve-se, a princípio, tentar equacioná-lo fisicamente. Esse equacionamento permite descrever de forma analítica o seu comportamento acústico e sua conseqüente curva de resposta. É possível analisar o sistema acústico utilizando diagramas de circuitos elétricos equivalentes e, de posse deste, avaliar a performance esperada. A seguir, demonstram-se os componentes acústicos de uma caixa fechada a fim de construir-se o diagrama elétrico equivalente.

3.2.1 Componentes acústicos da caixa fechada

Considerando que na geração de ondas sonoras de baixas frequências, a maior dimensão da caixa acústica pode ser considerada muito menor do que o comprimento de onda de radiação, podemos detalhar os principais parâmetros de uma caixa acústica do tipo fechada. São estes:

F_3 : frequência de corte a -3 dB (ponto de meia-potência; determina o início da queda na resposta de baixa frequência);

F_s : frequência de ressonância do alto falante;

F_c : frequência de ressonância do sistema de caixa fechada;

Q_{ts} : fator de qualidade total do alto-falante na frequência de ressonância;

Q_{tc} : fator de qualidade total do sistema de caixa fechada, na F_c ;

V_{as} : Volume de ar que possui a mesma compliância da suspensão do alto-falante;

V_{ab} : volume de ar que possui a mesma compliância acústica da caixa;

X_{max} : deslocamento máximo linear do alto-falante, sem distorções;

S_d : área efetiva do diafragma do alto-falante;

V_d : volume máximo deslocado pelo alto-falante;

V_b : volume interno da caixa acústica;

α : razão entre as compliâncias – $V_{as}/V_b = C_{as}/C_{ab}$;

C_{as} : compliância acústica da suspensão do alto-falante;

C_{ab} : compliância acústica do volume de ar na caixa;

R_{ab} : resistência acústica do volume de ar da caixa; e

m_{ab} : massa acústica de radiação do pistão.

Na região de baixas frequências a pressão no interior da caixa pode ser considerada uniforme, comportando-se como uma compliância acústica C_{ab} proporcional ao volume interno líquido da caixa V_b (HALL, 1987), dada por:

$$C_{ab} = \beta \frac{V_b}{\rho c^2} \quad (3.1)$$

onde ρ é a densidade do ar, c a velocidade do som no ar e β é um fator de acréscimo da compliância cujo valor teórico máximo é $\beta = 1,4$. O valor correto para β só pode ser determinado experimentalmente, dependendo da geometria externa da caixa bem como da forração interna das paredes ou do enchimento do volume interno com material poroso. Para caixas completamente vazias, $\beta = 1$.

Numa cavidade contendo ar, existe sempre absorção da energia acústica devido à transferência de energia às paredes internas. A forração, bem como o preenchimento do volume interno com material absorvente, alterará significativamente estas perdas nas cavidades. A determinação exata da resistência equivalente é bastante complicada, pois depende de diversos parâmetros (BERANEK, 1954).

Vale ressaltar ainda que nesta mesma região de baixas frequências a caixa se comporta como uma fonte monopolar.

Na situação em que a área a da superfície, onde é instalado o alto-falante é bem maior que a área do cone, na região de baixas frequências, a resistência interna da caixa R_{ab} pode ser considerada como:

$$R_{ab} = \frac{\rho c}{2S_d} (Ka)^2 \quad (3.2)$$

Quando S_d for pequena comparada à área das paredes internas, pode-se considerar a massa equivalente como a massa acústica de radiação do pistão m_{ab} (BERANEK, 1954), dado por:

$$m_{ab} = \frac{(8/3)\rho a^3}{(\pi a^2)^2} \cong 0,27 \frac{\rho}{a} \quad (3.3)$$

Para uma caixa fechada, a impedância para trás do alto-falante pode ser escrita por:

$$\bar{Z}_{ar2} = R_{ab} + j \left(\omega m_{ab} - \frac{1}{\omega C_{ab}} \right) \quad (3.4)$$

onde os valores das componentes R_{ab} , m_{ab} e C_{ab} já foram demonstrados.

O diagrama simbólico do sistema de caixa fechada está demonstrado na figura 3.1, onde o gerador de pressão acústica é \bar{p}_g e \bar{Z}_{as} é a impedância total do alto-falante (elétrica e mecânica) excluída a impedância de radiação. A equação para o sistema de caixa fechada escreve-se como:

$$\bar{P}_g = (\bar{Z}_{as} + \bar{Z}_{ar1} + \bar{Z}_{ar2}) \cdot \bar{q}_d \quad (3.5)$$

onde :

\bar{P}_g : pressão acústica

\bar{Z}_{as} : impedância total do alto-falante;

\bar{Z}_{ar1} : impedância de radiação para frente do alto-falante;

\bar{Z}_{ar2} : impedância da caixa acústica (para trás do falante); e

\bar{q}_d : velocidade volumétrica.

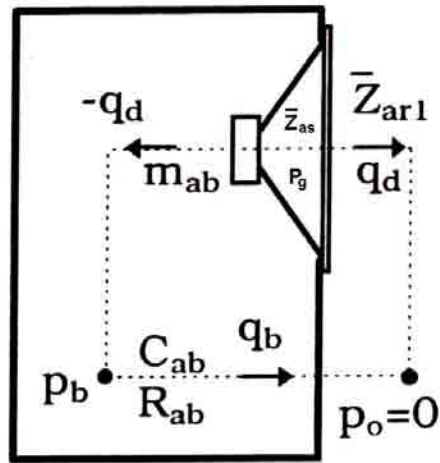


Figura 3.1 – Diagrama simbólico de caixa fechada.

3.2.2 Circuito equivalente para a caixa fechada

O circuito elétrico equivalente em termos de componentes acústicos é mostrado na figura 3.2:

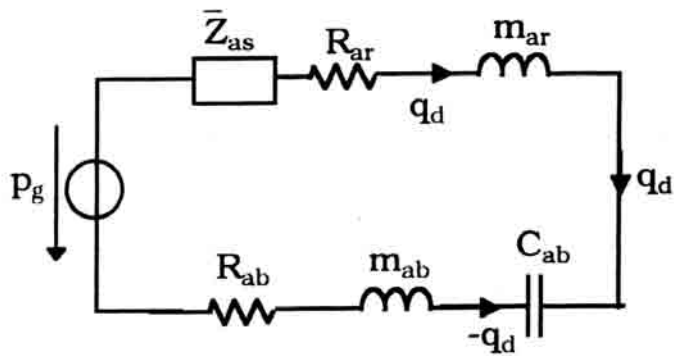


Figura 3.2 – Circuito elétrico equivalente de uma caixa fechada.

Para baixas frequências, é possível aproximar o circuito para um outro do tipo RLC simples, como visto na figura 3.3.

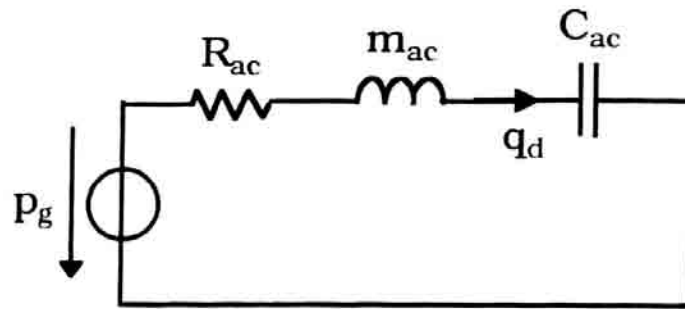


Figura 3.3 – Circuito RLC simplificado para baixas frequências.

A potência útil é totalmente irradiada para frente, e vale:

$$P_a = R_{ar} \cdot q_d^2 \quad (3.6)$$

Como se viu, o sistema consiste do alto-falante, do ar confinado na caixa e da própria caixa. Este ar hermeticamente selado na caixa tem uma certa compliância que tem uma ação de controle da excursão do cone, resultando em menor distorções.

3.2.3 Seleção do alto-falante e determinação do volume da caixa fechada

Os alto-falantes mais indicados para utilização em caixas do tipo fechado caracterizam-se por possuírem baixa frequência de ressonância F_s , um cone relativamente pesado e bobina longa.

Um critério de escolha muito utilizado em projetos, denominado *Efficiency Bandwidth Product* (EBP) (SMALL,1973), e é dado por:

$$EBP = \frac{F_s}{Q_{ts}} \quad (3.7)$$

onde, como já definimos anteriormente, F_s é a frequência de ressonância do alto-falante cujo fator de qualidade é o Q_{ts} . Se o resultado do $EBP \approx 50$, o alto-falante é adequado para caixas seladas. Se for da ordem de aproximadamente 100 ou mais, o tipo mais adequado de caixa acústica é a *bass reflex*, que será detalhada a seguir.

A determinação do volume da caixa do tipo fechada é relativamente simples, assim como o cálculo da frequência de ressonância do sistema F_c :

- Cálculo do volume da caixa, em litros:

$$V_b = \frac{V_{as}}{\left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}\right)^2 - 1} \quad (3.8)$$

- Cálculo da frequência de ressonância do sistema, em Hertz;

$$F_c = \left(\frac{\left(\frac{Q_{tc} F_s}{Q_{ts}} \right)}{F_s} \right) \cdot F_s \quad (3.9)$$

3.2.4 Comportamento para altas frequências

Na região de frequências altas, o comprimento de onda da radiação sonora passa a ser comparável às dimensões da caixa. O problema reduz-se ao de radiação no interior de um ambiente fechado. As ondas refletidas nas paredes interagem com as ondas incidentes, dando origem a um padrão de interferências destrutivas complicadas para se equacionar. Os modos naturais da caixa irão determinar a impedância traseira sentida pelo diafragma, impedância esta que varia fortemente com

a frequência, ocorrendo máximos e mínimos exatamente nas frequências normais (de ressonância) da caixa. A consequência disto é o aparecimento, na curva de resposta do sistema, de vales e picos indesejáveis.

Tomando como exemplo uma caixa vazia, cujo comprimento de sua maior dimensão seja $L=0,5$ m, o primeiro modo normal ocorreria para $f = \frac{c}{2L}$, ou seja, exatamente 340 Hz. Acima desta frequência a resposta do sistema apresentaria oscilações nos múltiplos desta frequência, bem como nos modos normais oriundos das outras dimensões (OLSON, 1957). Esta região corresponde a uma banda importante de emissões do alto-falante.

Há pouca coisa a fazer além de amortecer fortemente as emissões nesta região, a fim de regularizar a resposta. Esta é, certamente, uma das fortes razões para forrar ou preencher as caixas acústicas com material altamente absorvente, mesmo no caso de caixas grandes onde não haja interesse em ampliar sua compliância acústica.

3.3 Sistema de caixa aberta ou refletora de graves

O sistema de caixa aberta (*bass reflex* ou *vented box*) é parecido com o sistema de caixa fechada, porém mais sofisticado. Em relação ao sistema selado, tem-se o acréscimo de uma abertura, chamada de duto, que permite a comunicação da radiação traseira do falante com a parte dianteira. Num sistema bem projetado, a radiação direta do alto-falante recebe um reforço, numa banda limitada de baixas frequências, da radiação do duto.

Este duto nada mais é que um tubo colocado, geralmente, na parte dianteira da caixa acústica, podendo ter seção reta de diferentes formas, como cilíndrica, retangular, etc. Pode também, dependendo dos parâmetros do projeto, ser apenas um simples furo em uma das paredes da caixa acústica. A massa associada ao duto e à compliância da cavidade formam um Ressorador de Helmholtz, que pode ser sintonizado, manipulando-se adequadamente suas dimensões. Desta forma, consegue-se um maior controle da curva de resposta do sistema, comparada com a caixa fechada. Consegue-se uma maior potência na região de baixa frequência, com

um corte (*cut-off* – decaimento da curva de resposta) mais pronunciado, da ordem de 24 dB/oitava.

Em comparação com o sistema de caixa fechada, o refletor de graves possui algumas características bem particulares:

1. Reduzida excursão do cone do alto-falante nas proximidades da frequência de ressonância da caixa, com maior capacidade de potência. Porém, abaixo da frequência de ressonância, elevadas excursões podem acontecer, devido ao cone e o duto trabalharem em oposição de fase, no que diz respeito à radiação sonora. O resultado é um maior aquecimento da bobina e o surgimento de distorções;
2. Como são abertas, tem vantagens na utilização em sistemas de sonorização profissional, também chamado de PA (*public adress*), favorecendo a dissipação de calor produzido pela bobina do alto-falante;
3. Em tese, 3 dB a mais de eficiência do que uma caixa fechada com mesmo volume e mesmo alto-falante.

A figura 3.4 mostra uma seção reta da caixa acústica refletora de graves. Assim como mostrado no esquema da caixa fechada, estão indicados valores de pressão e velocidades volumétricas. Vale ressaltar que a impedância deste tipo de caixa é constituída pelos mesmos elementos de impedância das caixas fechadas. A diferença é a presença da impedância do duto de saída, que é composta por m_{ap} e R_{ap} , sendo Z_{ar_2} a impedância de radiação da abertura. Outro componente importante é a velocidade volumétrica que entra na caixa, $-\bar{q}_d$, que é tomada igual àquela gerada para frente pelo alto-falante, porém defasada em 180°. Assim, a que sai pelo duto é representada por \bar{q}_p . Por esse motivo, as caixas refletoras de graves são também chamadas de “caixas inversoras de fase”. Não se deve esquecer que essa inversão somente ocorre para frequências maiores ou iguais à frequência de ressonância da caixa.

A potência acústica irradiada provém tanto do diafragma como do duto, cujo centro está separado do centro do diafragma por uma certa distância. Para comprimentos de onda maiores que as dimensões da caixa, podem-se considerar as aberturas como coincidentes (ROSSI, 1986), como se houvesse uma única fonte sonora.

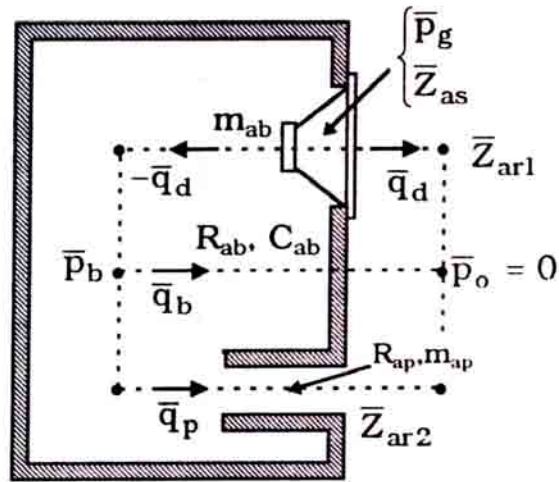


Figura 3.4 – Diagrama simbólico da caixa refletora de graves

3.3.1 Circuito equivalente para a caixa refletora de graves

O circuito elétrico equivalente em termos de componentes acústicos é representado pela figura 3.5, onde \bar{z}_{ar2} representa a impedância da parte traseira do cone, e \bar{z}_{ar1} representa a impedância de radiação para frente deste cone.

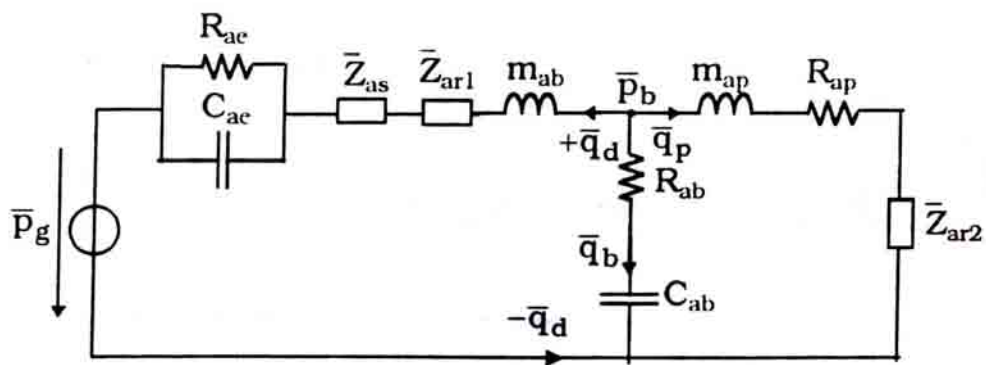


Figura 3.5 – Circuito elétrico equivalente da caixa refletora de graves.

3.3.2 Alinhamento

Para que se determine o volume da caixa refletora de graves, o alinhamento deve ser escolhido de forma adequada a satisfazer os critérios do projeto, ou ditados pela limitação do alto-falante utilizado. O conceito de alinhamento é fácil de ser compreendido. Este consiste em um conjunto de parâmetros que, determinando uma combinação de volume da caixa e frequência de sintonia F_b , proporcionarão uma resposta plana e com graves bem extensos.

3.3.3 Determinação do volume, sintonia e cálculo do duto em caixas refletoras de grave

Para o cálculo do volume da caixa refletora de graves, a melhor solução é recorrer a algum software específico, que leva em consideração, de forma muito mais rápida e precisa, os tipos de alinhamento requeridos e até mesmo os parâmetros do alto-falante. Mas se isso não for possível, uma maneira de se projetar o volume de forma a conseguir respostas bem razoáveis, é utilizar a mesma formulação da caixa fechada. Porém, devemos escolher um valor de Q_{tc} que varie de 0,4 até 0,6. Para as caixas fechadas, podemos escolher valores até o limite de 1,5.

Outro fator que podemos calcular de forma bem razoável, é a frequência de sintonia. Na verdade o termo calcular não está correto, pois os valores podem ser atribuídos a partir do mesmo valor da frequência de ressonância do alto-falante. Tudo dependerá da escolha do projetista. Essa escolha vai interagir de forma direta no tamanho do duto. Por isso, se não existir a ferramenta computacional, a melhor maneira é atribuir valores e compará-los, escolhendo assim, o que for melhor e mais fácil para construir.

Para o cálculo do duto, que geralmente é apresentado de forma circular e montado rente com a parede da caixa, o comprimento é dado por:

$$L_v = \left(\frac{94387R^2}{F_b^2 V_b} \right) - 1,463R \quad (3.10)$$

onde L_v é o comprimento do duto em centímetros; F_b é a frequência de sintonia em Hz; V_b é o volume da caixa em litros e R é o raio do duto em centímetros.

Uma vez que, praticamente, toda a potência é irradiada pelo duto na frequência de sintonia do sistema, um volume mínimo deve ser garantido, para evitar elevadas pressões no corpo do duto (ENGBRETSON, 1984). Esse cálculo é dado por:

$$D_v \geq 31,62 \sqrt{\frac{4,1125V_d}{(F_b)^2}} \quad (3.11)$$

onde D_v é o diâmetro mínimo do duto em centímetros, F_b é a frequência de sintonia em Hz e V_d é o volume deslocado pelo alto-falante, em litros.

3.4 Sistema de caixa dipolar

Existe uma grande diferença na diretividade produzida por sistemas de caixas acústicas destinadas às altas e baixas frequências. Sabe-se que sistemas de caixas acústicas, fechadas ou refletoras de graves, comportam-se como fontes monopulares em baixas frequências.

Essa emissão monopolar pode, em alguns casos particulares, como shows, gerar problemas na vizinhança, como vibrações de janelas e grades. Isso se dá, obviamente, porque o sistema monopolar não emite o som apenas na direção axial ao palco, mas sim em todas as direções.

Uma alternativa para atenuar este problema é a utilização de caixas acústicas do tipo dipolar, que é o tema principal desta dissertação. A caixa dipolar pode ser construída de duas formas distintas:

- a) com apenas um alto-falante, instalado numa caixa aberta no fundo (*unbaffled*), onde as radiações frontais e traseiras são iguais em intensidade, porém defasadas em 180° (EARGLE, 2003). Esta configuração possui a grande desvantagem de ser extremamente ineficiente (BOONE, OUWELTJES, 1997);

- b) com dois alto-falantes, instalados em uma mesma caixa, separados herméticamente por uma parede divisória, e um deles também irradiando em oposição de fase, como mostra a figura 3.6. Este foi o modelo escolhido para ser estudado nesta dissertação, pelo fato de ser mais eficiente.

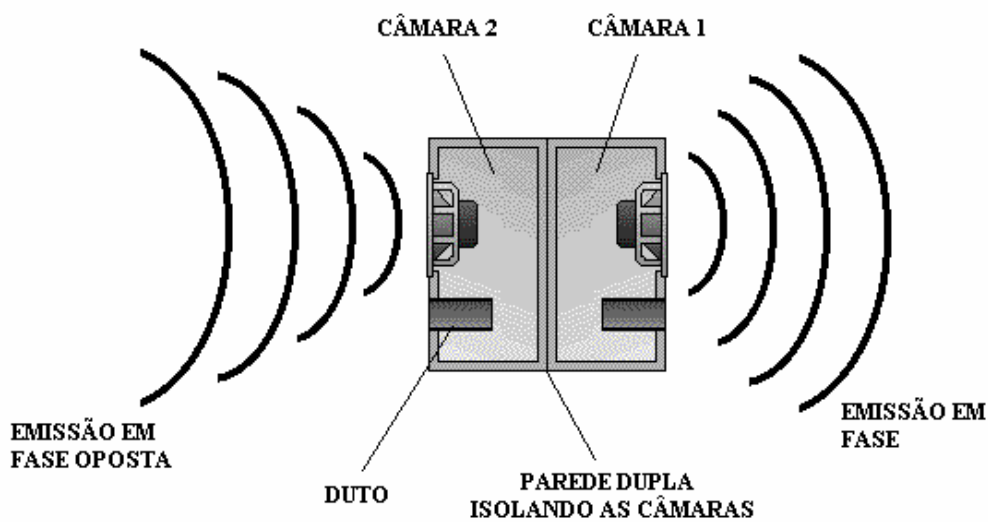


Figura 3.6 – Caixa dipolar dutada (bass reflex).

Já vimos anteriormente, da equação (2.1), que a pressão sonora de uma fonte monopolar pode ser escrita como:

$$P_m(r, \theta, \omega) = \frac{A(\omega)}{r} e^{-jKr} \quad (3.12)$$

Já o valor da pressão sonora de uma fonte dipolar, no campo afastado, simplificando a equação (3.12), vale:

$$P_d(r, \theta, \omega) = \frac{A(\omega)}{r} e^{-jKr} \cos \theta \quad (3.13)$$

O modelo de diretividade de uma caixa dipolar pode ser demonstrado com duas fontes pontuais, como alto-falantes, por exemplo. Alimentando estes com sinais senoidais $A_1(\omega)$ e $A_2(\omega)$, respectivamente, a pressão sonora vale:

$$P(r_0, \theta) = A_1(\omega) \frac{e^{-jKr_1}}{r_1} + A_2(\omega) \frac{e^{-jKr_2}}{r_2} \quad (3.14)$$

onde r_1 e r_2 são as distâncias dos alto-falantes até um ouvinte no campo afastado. Será expresso r_1 e r_2 por r_0 , como sendo a distância do centro entre os falantes e o receptor, e o ângulo θ , como mostra a figura 3.7:

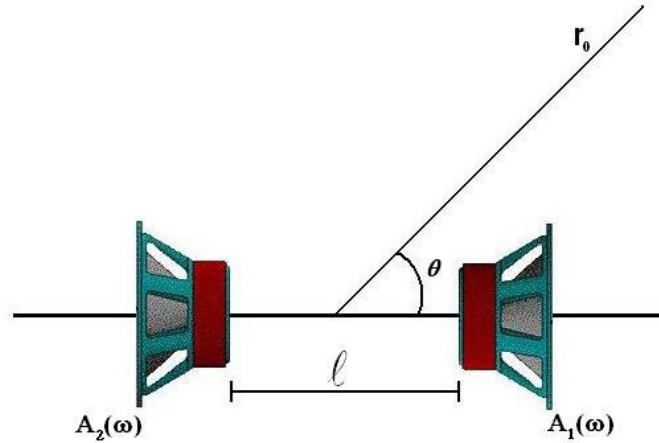


Figura 3.7 – Modelo de radiação dipolar.

Para $l \ll r_0$, a equação pode ser escrita como:

$$P(r_0, \theta) = \frac{e^{-jKr_0}}{r_0} (A_1 e^{jK\Delta r} + A_2 e^{-jK\Delta r}) \therefore$$

$$\therefore P(r_0, \theta) = \frac{e^{-jKr_0}}{r_0} (A_1 \cos K\Delta r + jA_1 \text{sen}K\Delta r + A_2 \cos K\Delta r - jA_2 \text{sen}K\Delta r) \quad (3.15)$$

sendo $\Delta r = \frac{l}{2} \cos \theta$. Se $K\Delta r \ll 1$, a expressão pode ser reduzida para (BOONE, OUWELTJES, 1997):

$$P(r_0, \theta) = \frac{e^{-jKr_0}}{r_0} \left(A_1 + A_2 + jK \frac{1}{2} (A_1 - A_2) \cos \theta \right) \quad (3.16)$$

Quando cada fonte emitir um sinal (ou impulso) ao mesmo tempo, no campo afastado r_0 serão medidos dois impulsos diferentes, separados pelo intervalo de tempo $T = \frac{l}{v}$, onde v é a velocidade do som (aproximadamente 343 m/s). Logo, o impulso percebido será a combinação dos impulsos em fase e em fase oposta. O impulso vai se estreitando pela função $\cos \theta$ e tenderá a zero para $\theta = 90^\circ$ fora do eixo axial. Daí o nome “forma de oito” da curva polar da resposta em frequência da caixa dipolar.

A decisão de qual tipo de caixa, selada ou dutada, que irá compor o esquema da caixa dipolar, irá depender de fatores como disponibilidade de alto-falantes no mercado, eficiência destes e, obviamente, o custo. Nesta dissertação foi escolhido o sistema de caixa dipolar elaborado a partir de duas caixas acústicas do tipo dutada por dois motivos:

- a) a maioria quase absoluta de alto-falantes, denominados pela indústria como “profissionais”, encontrados no mercado destina-se à construção de caixas do tipo *bass reflex*; e
- b) a comprovada eficiência superior deste tipo de caixa acústica em relação ao tipo de caixa fechada.

Obviamente, os circuitos equivalentes da caixa dipolar, assim como a escolha do alto-falante e dos possíveis alinhamentos desta, já foram descritos de formas individuais nos sistemas aberto e fechado.

4 PROJETO E CONSTRUÇÃO DA CAIXA DIPOLAR

4.1 Introdução

Como descrito anteriormente, esta dissertação apresentará o projeto e a construção de um tipo de caixa acústica dipolar e a realização de testes simples aplicados a esta.

Neste capítulo será demonstrada a técnica de construção, detalhando os materiais utilizados no projeto.

4.2 A escolha do alto-falante

Para o projeto desta caixa, foi escolhido um alto-falante tipo woofer de oito polegadas de diâmetro, modelo 8PW3, da marca Selenium. As especificações do alto-falante, segundo o manual do fabricante (em anexo) são:

I) Especificações técnicas:

- Diâmetro nominal205 mm
- Impedância nominal8 Ω
- Potência RMS (NBR 10.303)125 W
- Sensibilidade (2,83V@1m)92 dB SPL

II) Parâmetros de Thiele-Small:

- F_s (frequência de ressonância)69 Hz
- V_{as} (volume equivalente do falante)32 L
- Q_{ts} (fator de qualidade total)0,66
- Q_{es} (fator de qualidade elétrico)0,71

- Q_{ms} (fator de qualidade mecânico)10,68
- η_0 (eficiência de referência)1,47 %
- S_d (área efetiva do cone)0,0250 m²
- V_d (volume deslocado)58,75 cm³
- X_{max} (deslocamento máximo linear)2,35 mm
- X_{mec} (deslocamento mecânico max.)8,0 mm

III) Parâmetros adicionais:

- βl 7,3 Tm
- Diâmetro da bobina32 mm
- Temperatura máxima da bobina.....250 °C
- R_e (resistência elétrica da bobina)2,3 Ω
- M_{ms} (massa móvel)14,4 g
- C_{ms} (compliance mecânica)369,9 $\mu\text{m/N}$
- R_{ms} (resistência mecânica da suspensão)0,6 Kg/s

IV) Parâmetros não-lineares:

- $L_e @ F_s$ (indutância da bobina na ressonância)1,458 mH
- $L_e @ 1\text{KHz}$ (indut. da bobina em 1 KHz)0,632 mH
- $L_e @ 20\text{KHz}$ (indut. da bobina em 20 KHz)0,247 mH

V) Informações adicionais

- Material do ímãFerrite de bário
- Peso do ímã560 g
- Diâmetro x altura do ímã115 x 14 mm
- Material do fio da bobinacobre
- Material da fôrma da bobinaKapton®
- Material do coneCelulose de fibra longa
- Volume ocupado pelo falante numa caixa0,6 L

VI) Curvas de resposta polar na caixa de teste¹⁰ em câmara anecóica:

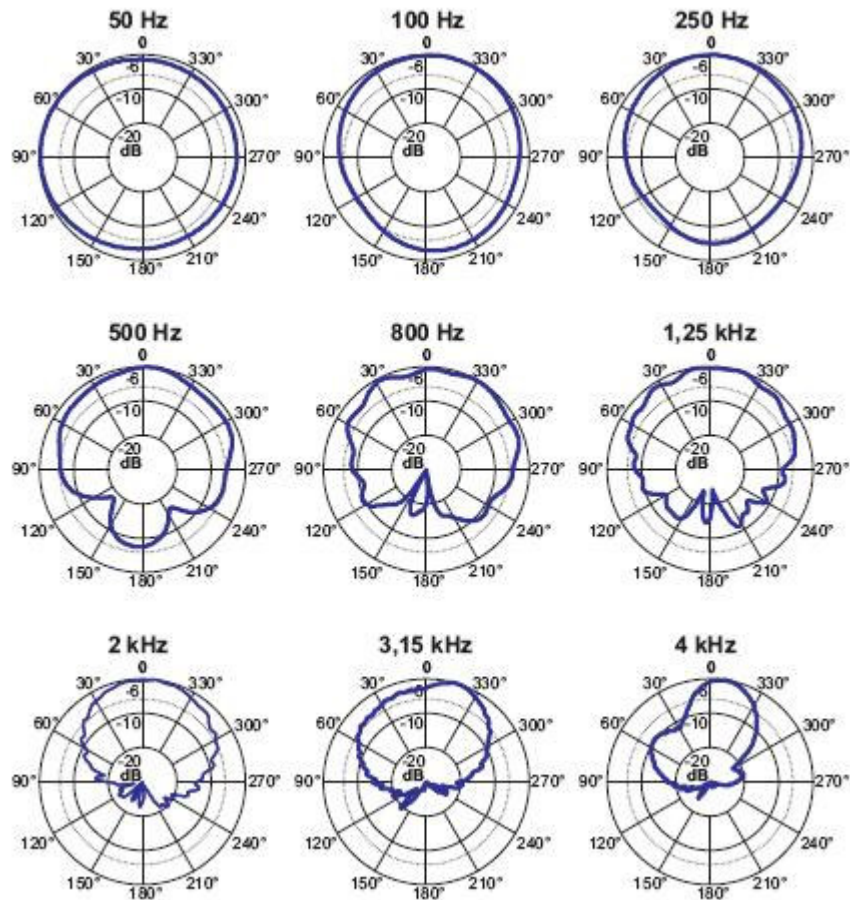


Figura 4.1 – Curvas polares do sistema alto-falante+caixa medidas em câmara anecóica.

Vale ressaltar que o custo baixo e a fácil disponibilidade no mercado varejista foram os fatores que influenciaram na escolha deste modelo da Selenium. Em nenhum momento fez-se qualquer cálculo primário que influenciasse na decisão.

4.3 O projeto

Para o desenvolvimento da caixa utilizou-se o software BASSBOX da empresa Harris Technologies Inc., situada em Michigan, EUA. Este programa é utilizado para o projeto de caixas acústicas destinadas a reproduzir os sons graves e médio-graves. Para isso, os parâmetros eletromecânicos e de Thiele-Small são introduzidos na rotina do programa e este calcula as dimensões ideais para a resposta desejada. Outra

¹⁰ Caixa bass reflex com 1 duto Ø 7,5 cm e 5 cm de comprimento; volume interno de 19 litros.

particularidade do programa é a análise gráfica da resposta de amplitude, excursão máxima do cone, impedância do sistema, entre outras, que facilita bastante no desenvolvimento do projeto. Com isso é possível prever o comportamento do sistema alto-falante/caixa acústica com razoável fidelidade.

Ao entrar com os parâmetros do woofer 8PW3 no BASSBOX, este calculou automaticamente o EBP e informou que a melhor caixa acústica para o modelo seria a dutada (*bass reflex*). Feito isso, o próximo passo foi o cálculo das dimensões da caixa e do duto, assim como a análise inicial dos gráficos de resposta. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Tipo da caixaVented box
- FormatoRetangular
- V_b (volume de cada câmara)81,05 Litros
- F_b (frequência de sintonia).....50 Hz
- F_3 43,4 Hz
- Número de dutos.....1
- Ø Diâmetro do duto101,6 mm
- Comprimento do duto18,0 mm

A caixa acústica foi construída em MDF (*medium density fiberboard*) de 18 mm de espessura, que é uma chapa fabricada a partir da aglutinação de fibras de madeira, geralmente pinus, com resinas sintéticas, com densidade de 740 Kg/m³ (TRUPAN – ARAUCO). As paredes foram afixadas com cola específica para madeira e parafusos auto atarrachantes. Todas as junções das partes da caixa foram seladas com borracha de silicone, evitando assim qualquer tipo de vazamento acústico. O alto-falante foi fixado por parafusos auto atarrachantes. Foi aplicada uma fita de poliuretano entre a caixa e o chassi do falante, evitando assim, perdas por possíveis frestas na junção dos mesmos. As dimensões da caixa estão especificadas na figura 4.2.

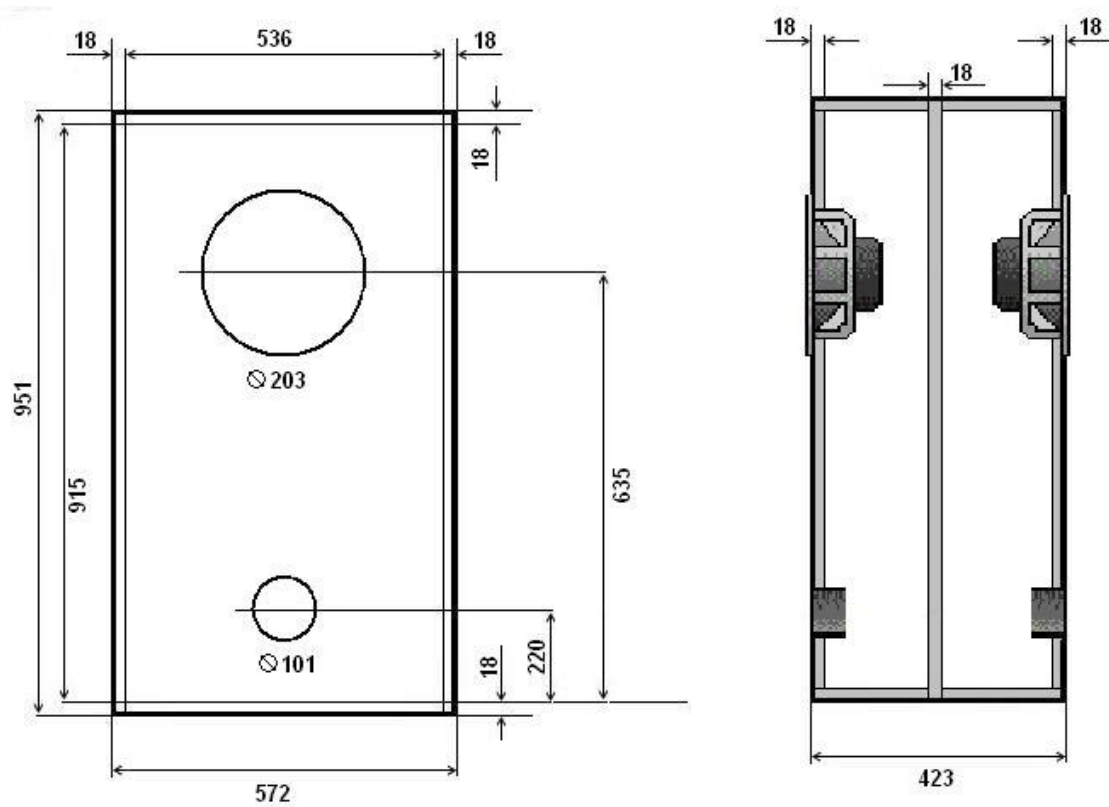


Figura 4.2 – Projeto da caixa dipolar. Dimensões em milímetros.



Figura 4.3 – Caixa dipolar no Laboratório de Acústica e Vibrações da COPPE.

Vale demonstrar, ainda, os resultados obtidos pelo software, lembrando que estes são resultados estatísticos, calculados a partir dos parâmetros inseridos no mesmo.

4.4 Resultados simulados pelo BASSBOX

A seguir, serão apresentados, na forma de gráficos, os resultados simulados pelo software. Vale ressaltar que estes são somente resultados obtidos por cálculos internos do software e que, geralmente, simulam que a caixa encontra-se em ambiente ideal, livre de ruídos externos. Todas as simulações levam em consideração o valor teórico de 1 Watt/m¹¹ aplicado na entrada da caixa acústica.

4.4.1 Curva de resposta

O gráfico que demonstra a curva de resposta também pode ser chamado de resposta de frequência. Este simula a resposta do sistema caixa acústica/alto-falante quando excitados por um sinal de entrada. É extremamente válido para que se possa ter uma noção razoavelmente correta do comportamento do falante. Abaixo, a figura 4.4 demonstra a curva de resposta de cada câmara da caixa dipolar.

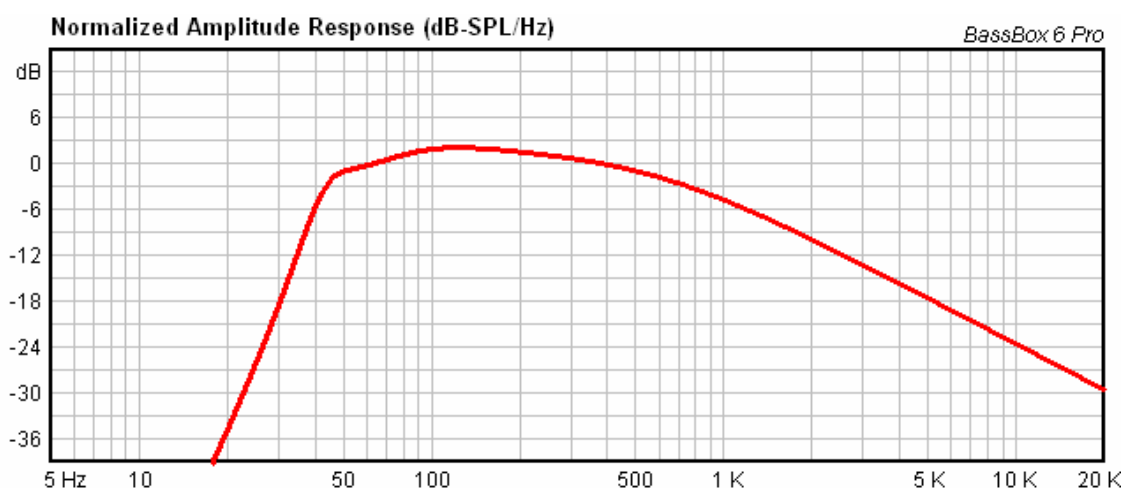


Figura 4.4 – Curva de resposta de cada câmara da caixa dipolar.

¹¹ 1 Watt/m é o sinal de 1Watt elétrico aplicado na caixa e medido o resultado por um microfone a um metro de distância do centro do cone.

4.4.2 Curva de resposta adaptada

Neste gráfico é possível avaliar a eficiência do projeto em questão. É necessário entrar com o valor em Watts para que o software simule a resposta em dB/Hz @ 1m. O gráfico ilustra o valor de SPL na distância de 1 metro do centro do falante com a potência elétrica de 1 Watt aplicado.

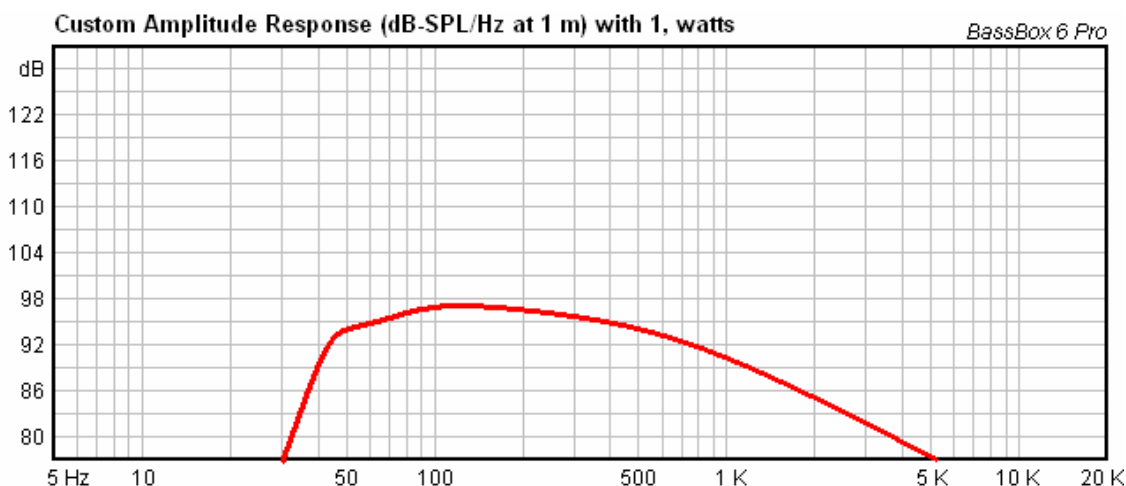


Figura 4.5 – Curva de resposta adaptada.

4.4.3 Deslocamento do cone

O gráfico apresentado na figura 4.6 mostra o quanto o cone se desloca, em milímetros, a partir do valor do sinal de entrada. É possível notar que a linha que demonstra o deslocamento do cone aparece com duas intensidades diferentes. A parte mais escura da linha demonstra que o alto-falante excedeu seu limite de excursão, ou seja, o X_{max} (2,35 mm). O ideal é que toda linha esteja clara, demonstrando que o alto-falante está movendo-se dentro do limite de excursão. O software traçou o resultado de um sinal de 100 Watts aplicado na caixa dipolar, como pode ser visto na figura 4.6. É fácil perceber que o modelo do falante utilizado está longe daquilo que é especificado em seu manual. A excursão do cone nas frequências abaixo de 100 Hz é extremamente elevada, podendo levar à queima da bobina precocemente.

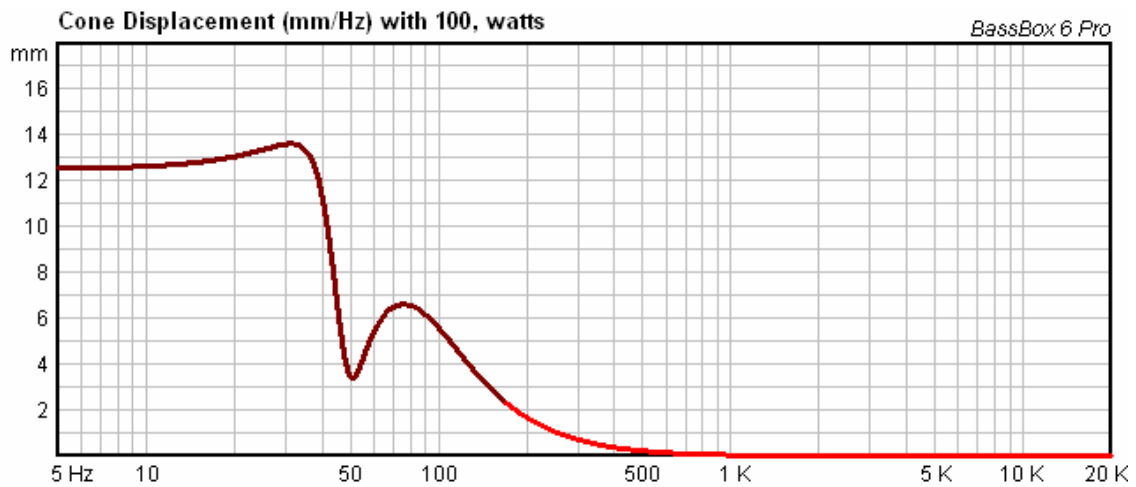


Figura 4.6 – Deslocamento do cone na caixa dipolar com 100 Watts aplicados.

Como nesta dissertação não está sendo avaliada a performance da caixa acústica em alta potência, a figura 4.7 mostra a curva do deslocamento do cone com 1 Watt aplicado. Percebe-se com isso que, para não danificar a vida útil do falante, a potência máxima suportada, especificada pelo manual, não deve ser aplicada.

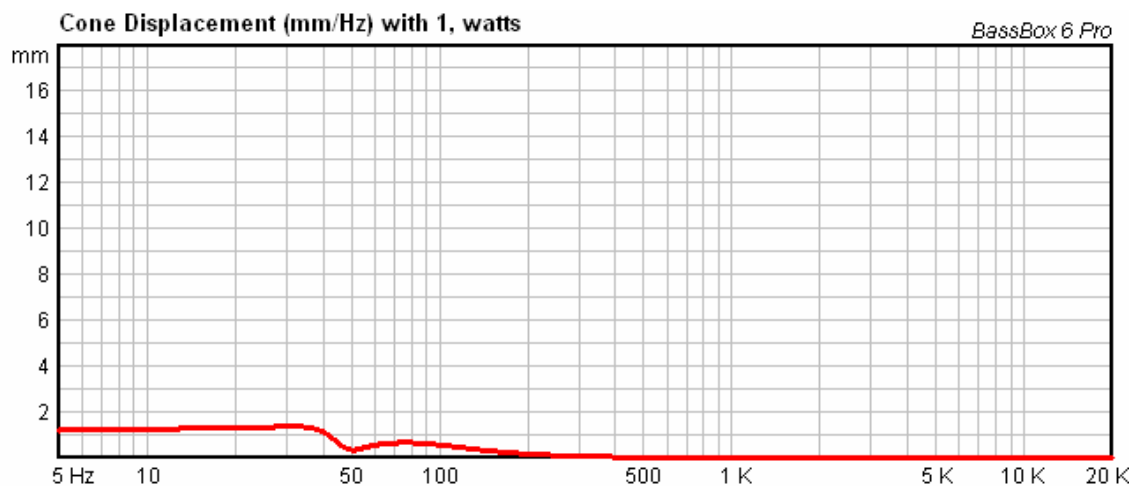


Figura 4.7 – Deslocamento do cone na caixa dipolar com 1 Watt aplicado.

Na tentativa de mascarar possíveis problemas que o falante possa apresentar, fabricantes não demonstram em seus manuais nenhuma curva da performance do

alto-falante com a potência máxima aplicada. Limitam-se em apresentar as curvas de resposta e as curvas polares de diretividade por frequência, porém, nem sempre cumprindo a norma NBR 5308, que rege tais ensaios.

5 Teste da caixa dipolar

5.1 Objetivo

O objetivo principal deste capítulo consiste em demonstrar o ensaio realizado na caixa acústica construída, a fim de provar a funcionalidade prática de uma fonte dipolar. Após medir o decaimento do nível de pressão sonora na área de “nulo” da resposta, ou seja, nos lados da borda do alto-falante, os dados foram analisados e com os resultados foi possível a construção de curvas polares de intensidade sonora.

5.2 Condições gerais do ensaio

Para fazer as medições acústicas recorreremos à norma NBR 5308, tentando segui-la o mais fielmente possível. Porém nos deparamos com um problema. A norma cita que os testes deverão ser feitos em condições que se aproximem das condições ao ar livre. O ideal é a realização do ensaio em câmara anecóica, onde os erros de medição não excedam $\pm 5\text{dB}$.

Foi feita uma solicitação ao INMETRO do Rio de Janeiro, para que este pudesse ceder alguns minutos e equipamentos para ensaiarmos a caixa acústica em sua câmara anecóica. Infelizmente o Instituto não pode atender nossa solicitação, devido ao uso exclusivo da câmara para a calibração de transdutores e pesquisas com o projeto Selo Ruído. Montar todo o instrumental em um ambiente ao ar livre também tornou-se inviável, devido ao problema da alimentação elétrica para os diversos aparelhos envolvidos no ensaio.

Não nos restou outra alternativa senão realizar os testes na parte externa ao Laboratório de Acústica e Vibrações da COPPE (LAVI). Mesmo apresentando paredes que refletiriam consideravelmente o sinal emitido pela caixa, foi possível observar o

comportamento principal da caixa acústica dipolar, ou seja, o surgimento de uma área de atenuação no nível de pressão sonora nas laterais da caixa.

5.3 Equipamentos utilizados

Os seguintes equipamentos foram utilizados no ensaio:

- a) RTA modelo 2900 da Larson Davis;
- b) Filtro passa-baixa (crossover) modelo 3202 da marca Krohn-Hite;
- c) Calibrador de microfone modelo CAL 200 Acoustical Calibrator da Larson Davis;
- d) Microfone modelo 4165 Condenser Microphone da Brüel & Kjær;
- e) Receiver com amplificador integrado modelo SR 5200 da Marantz; e
- f) Cabos e conectores fornecidos pelo próprio LAVI.

5.4 Procedimento do ensaio

Após a instalação dos alto-falantes, a caixa acústica dipolar foi encaminhada à parte externa do LAVI, onde foi posicionada praticamente no meio do laboratório. A norma cita que as medições devem ser executadas com o microfone posicionado a 1 metro do centro do alto-falante. Como a caixa possui dois alto-falantes, distantes 42 cm um do outro, o microfone foi posicionado a 1 metro do centro geométrico da caixa. Como anteriormente mencionado, o ensaio não foi realizado seguindo exatamente a norma, o que nos permitiu fazer algumas adaptações que julgamos viáveis e cabíveis de análise.

Para garantir que o microfone estaria sempre posicionado a 1 ou 2 metros do centro da caixa em qualquer ângulo de análise, dois círculos, um com 1 metro de diâmetro e outro com 2 metros de diâmetro, foram riscados no chão do laboratório com giz. Um fio inextensível de cobre serviu como compasso. Nestes, delimitados os ângulos de análise, a partir do eixo axial ao falante: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300° e 330°. O alto-falante de referência para o direcionamento dos pontos de análise foi aquele conectado em fase com o sinal inserido. Em suma, tivemos a oportunidade de medir os resultados não somente a 1 metro, mas também a 2 metros do centro de referência.

As figuras 5.1 e 5.2 mostram o posicionamento da caixa acústica e os círculos delimitados no chão do laboratório, assim como as marcas que indicavam a angulação dos pontos de medição.



Figura 5.1 – Círculos de 1 metro e 2 metros riscados no chão do LAVI.



Figura 5.2 – Caixa dipolar posicionada no centro dos dois círculos.

As distâncias em relação às paredes do laboratório estão representadas no desenho abaixo, com perspectiva visual superior:

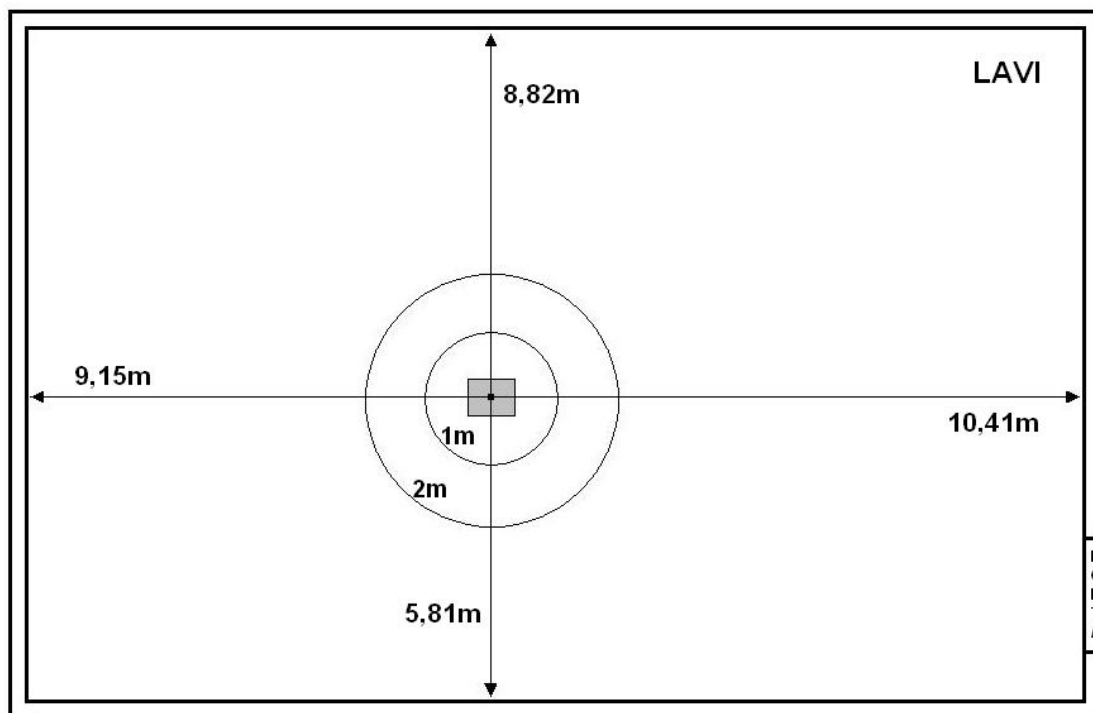


Figura 5.3 – Vista superior da colocação da caixa no LAVI.

Após a colocação da caixa no centro dos dois círculos, marcações referentes aos ângulos de medição foram traçadas, com o auxílio de um transferidor e do mesmo fio inextensível de cobre. As marcações podem ser visualizadas na figura 5.4:



Figura 5.4 – Microfone posicionado na marca de 330°.

A seguir, o restante dos equipamentos foi instalado em cima da caixa, para não interferirem no campo acústico direto a ser medido, como mostra as figuras 5.5 e 5.6:



Figura 5.5 – Receiver e RTA posicionados em cima da caixa dipolar.

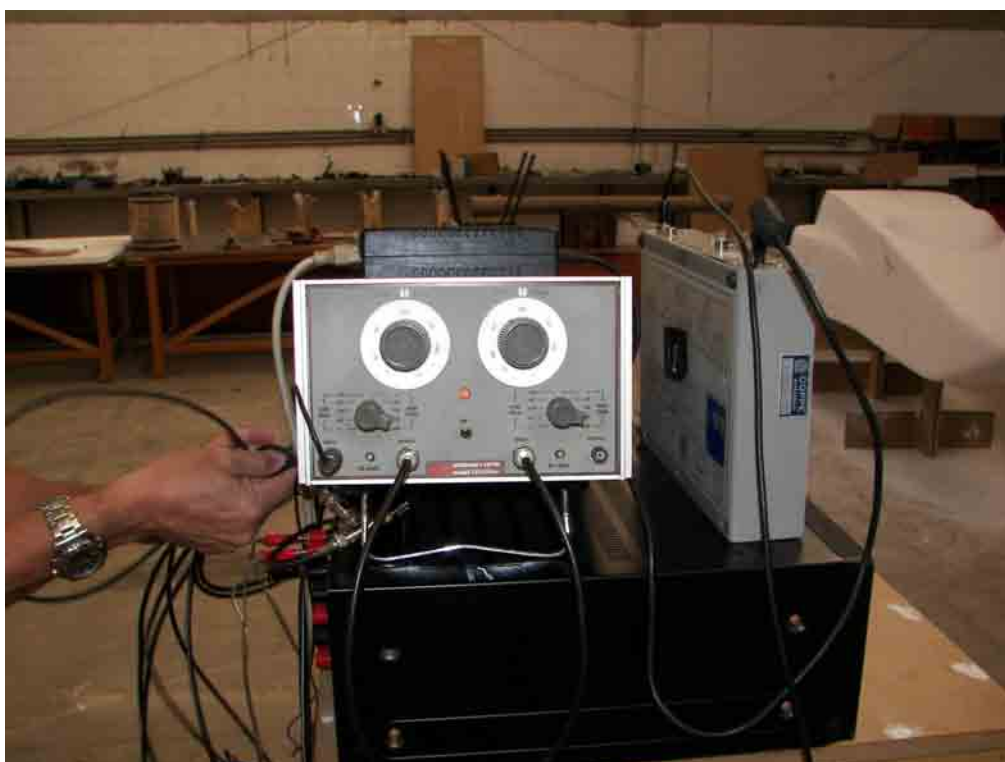


Figura 5.6 – Crossover incorporado ao sistema.

Antes de começarmos o ensaio, fizemos alguns testes nos equipamentos, com o intuito de nos certificarmos que nenhum erro pudesse comprometer a qualidade do teste. O primeiro passo foi gerar o ruído rosa no RTA e selecionar no filtro um corte de 48dB/oitava na frequência de 10 KHz. A escolha do ponto de corte foi devido ao altofalante ser extremamente ineficiente para altas frequências e observar no manual do mesmo que o valor da sensibilidade foi retirado por uma média entre 100 Hz e 6000 Hz. Logo, o corte em 10 KHz ainda daria uma boa margem de análise para médias e altas frequências. Os sinais de ruído rosa e ruído rosa filtrado estão representados pelas figuras 5.7 e 5.8.

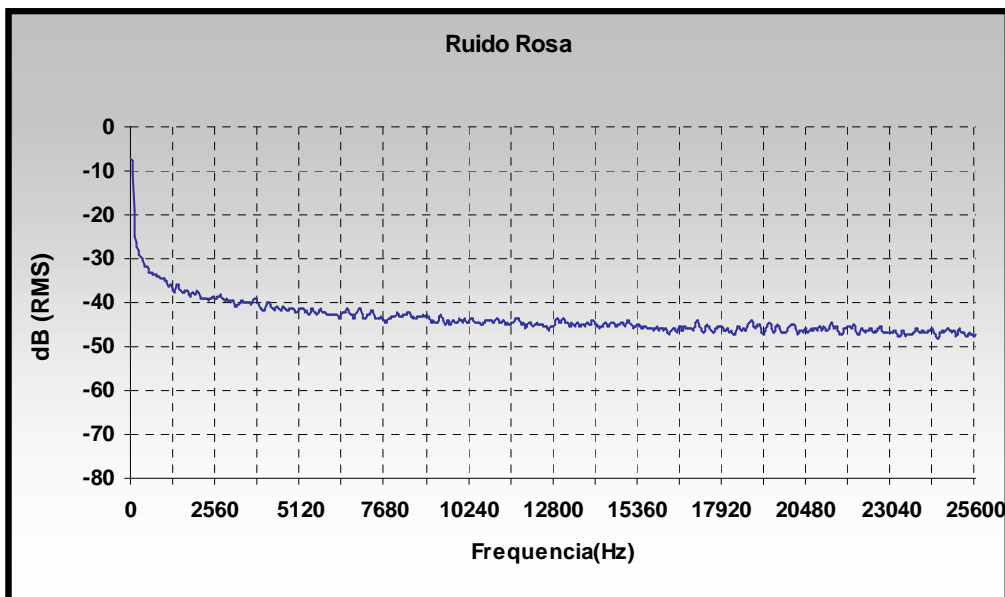


Figura 5.7 – Ruído rosa gerado pelo RTA 2900 Larson Davis.

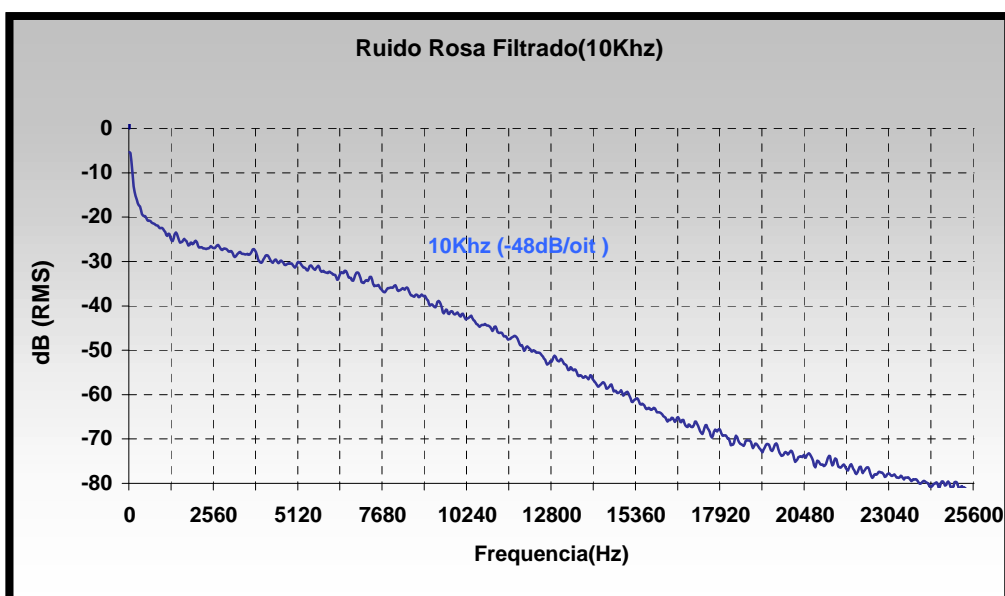


Figura 5.8 – Ruído rosa filtrado em 10KHz (low pass) com corte de 48dB/oit.

Em seguida calibramos o microfone com o calibrador CAL 200. O sinal de calibração foi de 114 dB a 1Khz. Gravamos na memória do RTA o sinal de calibração, que está demonstrado na figura 5.9.

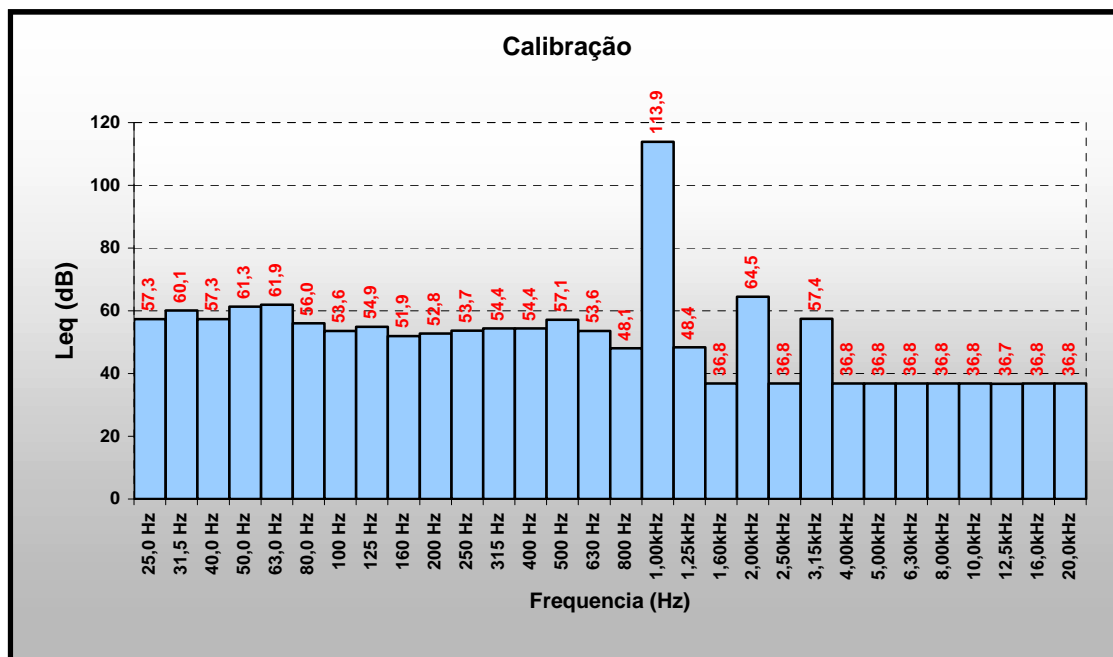


Figura 5.9 – Sinal de calibração do microfone em 1 KHz.

O procedimento do teste constituiu-se da seguinte forma: um ruído rosa foi gerado pelo RTA e filtrado pelo divisor. Este sinal filtrado foi enviado ao amplificador por cabos com conectores do tipo RCA. As duas saídas do amplificador foram conectadas na caixa acústica por fios paralelos normais, específicos para uso em sonorização. A inversão de fase de um dos falantes foi executada dentro da caixa, na solda, para que não houvesse erro na ligação externa dos bornes da caixa. A resposta emitida pela caixa foi captada pelo microfone, posicionado a 67 cm do nível do chão, correspondente à altura do centro do cone do alto-falante em relação ao solo. O sinal captado foi devolvido ao RTA, para que este fizesse a análise espectral e de intensidade sonora. Um esquemático do procedimento está representado na figura 5.10.

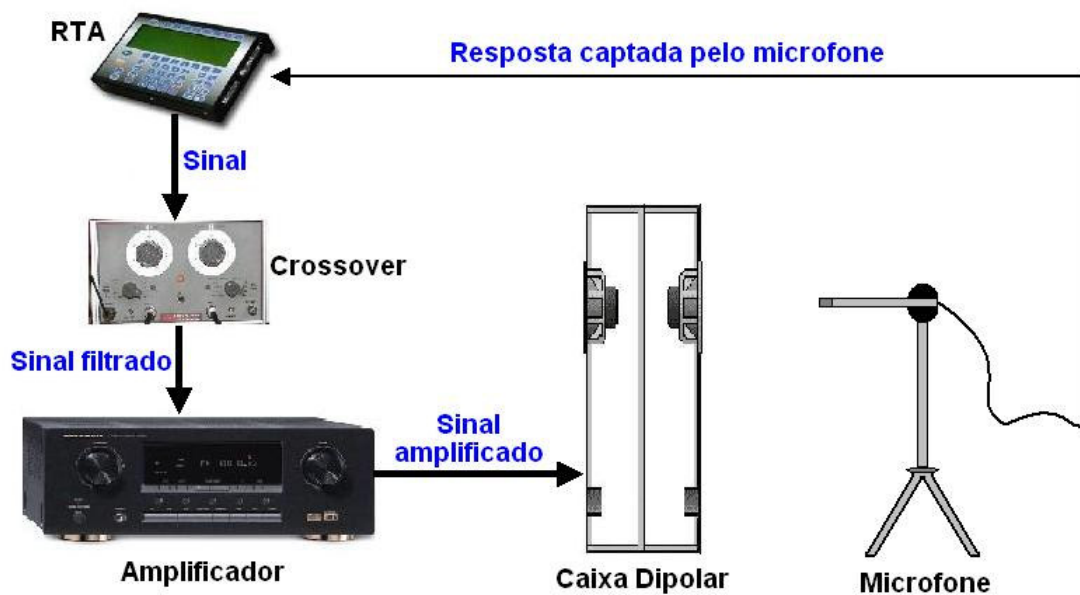


Figura 5.10 – Esquema das conexões executadas no ensaio.

Com tudo testado e calibrado, o primeiro passo foi desligar o amplificador e captar pelo microfone o ruído de fundo do laboratório. Constatou-se que o nível de ruído era relativamente alto, gerado principalmente por compressores de ar condicionado instalados nos laboratórios ao lado do LAVI. A figura 5.11 demonstra o ruído de fundo presente e analisado pelo RTA.

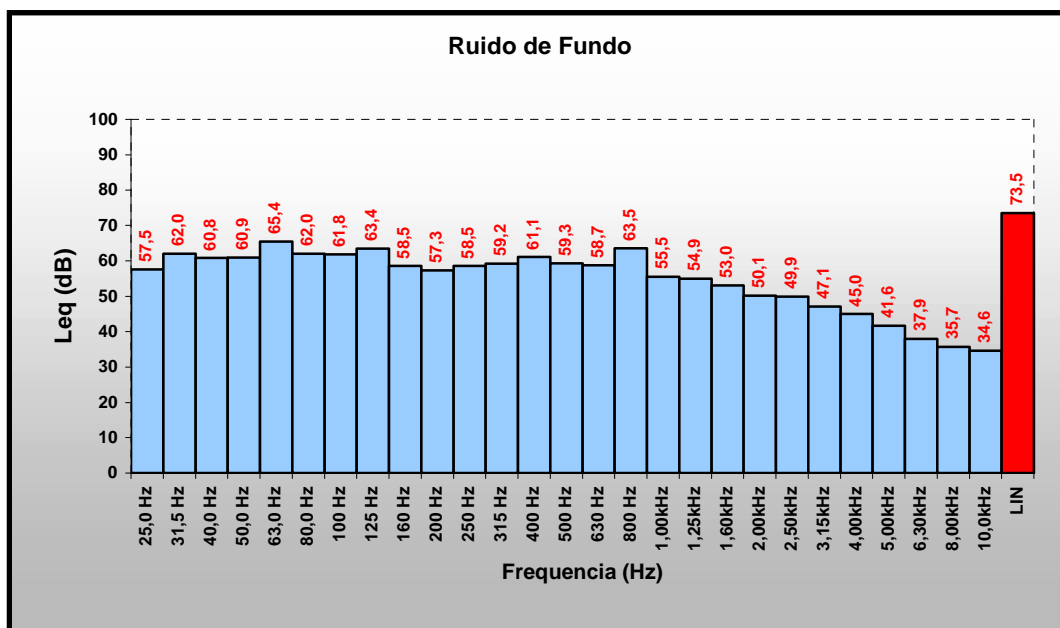


Figura 5.11 – Ruído de fundo medido no LAVI.

Como já dito anteriormente, não estávamos em ambiente anecóico e, obviamente, o valor do ruído de fundo foi relativamente alto, com valor de 73,5dB. Para tentar mascarar o ruído de fundo, para que este não interferisse de forma severa nas medições, o nível do ruído rosa emitido pela caixa dipolar deveria ficar, pelo menos, 10 dB acima do ruído de fundo.

Voltamos a consultar o manual do alto-falante e conferimos que, nos testes realizados pelo fabricante em câmara anecóica, o valor da sensibilidade encontrado foi de 92 dB (2,83V @ 1m). Com nosso microfone posicionado a 1 metro do centro da caixa a 0°, axialmente ao falante em fase, decidimos aumentar o ganho no amplificador até conseguirmos o valor aproximado daquele fornecido pelo manual. Dessa maneira, tentaríamos fazer as medições com sinal de intensidade “semelhante” ao testado pelo fabricante, possibilitando um bom mascaramento do ruído de fundo. Feito isso, verificamos que o valor analisado pelo RTA foi de 92,4 dB a 1 metro. Este foi o valor mantido até o final do ensaio.

Iniciamos então as medições com o microfone posicionado a 1 metro do centro da caixa, altura de 67 cm em relação ao solo e a 0°. Ao começarmos as medidas, percebemos que existia uma reflexão excessiva vindo das paredes do laboratório. Em certos momentos, parecia claramente que outra fonte, emitindo sinal com mesma intensidade, encontrava-se “encostada nas paredes”. Como extinguir a reflexão seria impossível, optamos por colocar algum material absorvente entre os alto-falantes e a parede. Outra providência foi colocar alguma placas de espuma atrás do microfone, entre a caixa e a parede. Percebemos uma pequena melhora na reflexão, principalmente na altura que estava posicionado o microfone. Certamente que estas reflexões alterariam de alguma forma o resultado. Mas acreditávamos que essa influência não atrapalharia a conclusão final do ensaio.

Programamos o RTA para fazer a análise em L_{EQ} slow. Giramos o microfone, no sentido horário, e analisamos o sinal a cada 30°. A seguir passamos para a distância de 2 metros do centro do alto-falante e procedemos da mesma forma, com as medições executadas a cada 30°, no sentido horário. Gravamos cada medida na memória do RTA, para, posteriormente, analisarmos graficamente os resultados. A figura 5.12 mostra como foi executada a aquisição dos dados.



Figura 5.12 – Aquisição dos dados a 0° no eixo do alto-falante.

5.5 Resultados obtidos

O gráfico a seguir representa os resultados obtidos pelo RTA. Para cada ângulo medido, fizemos a análise espectral de 25 Hz até 10 KHz. Não havia a necessidade de fazermos uma varredura completa, de 20 Hz até 20 KHz, pois o alto-falante em questão é muito ineficiente em altas frequências. O valor em vermelho corresponde à intensidade global (LIN), ou seja, o somatório dos níveis de intensidade de todas as frequências.

Com esses dados, foi possível construir curvas polares de diretividade para cada ângulo de análise.

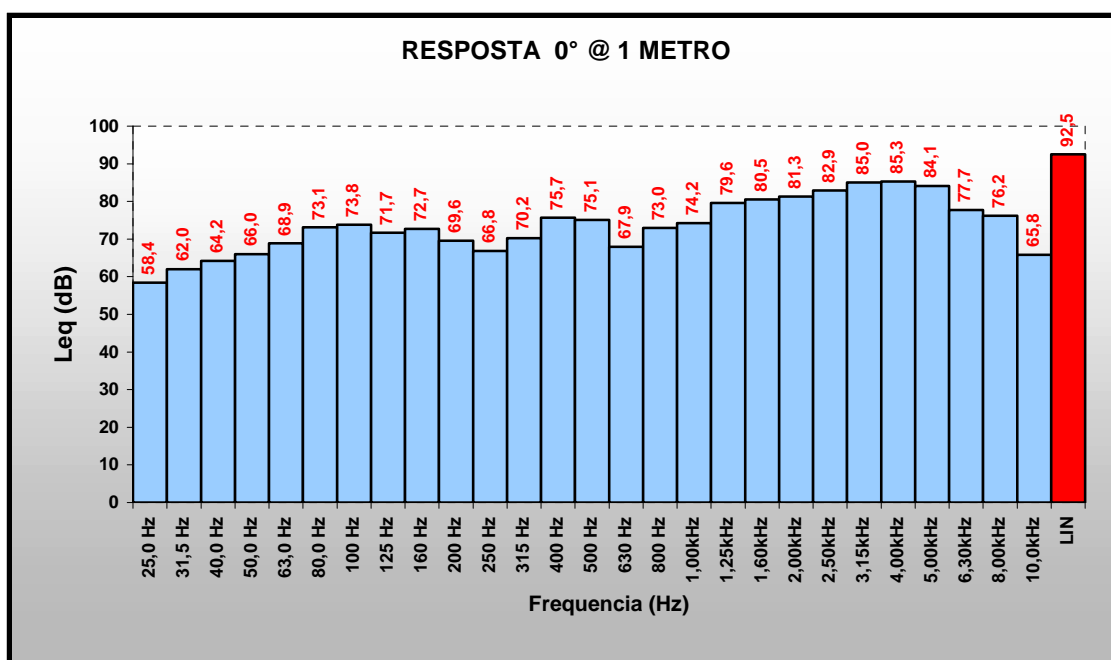


Figura 5.13 – Resposta da caixa acústica dipolar medida a 1 metro e a 0°.

5.6 Resultados finais: curvas polares de diretividade

As curvas polares de diretividade representam o resultado que almejam nesta dissertação. Com estas, podemos analisar se o resultado do projeto atingiu as expectativas do modelo teórico, ou seja, o decaimento do nível de intensidade acústica nas laterais da caixa, produzindo o “formato de oito” nas curvas polares. A seguir, serão apresentadas as curvas polares da medição a 1 metro de distância do centro da caixa e a 2 metros de distância. Em anexo, estão demonstradas todas as curvas polares para todas as freqüências analisadas.

5.6.1 Curva polar de diretividade a 1 metro de distância do centro da caixa

A curva polar a seguir representa a curva de diretividade da caixa acústica dipolar, com o microfone posicionado nos respectivos ângulos de medição, no raio de 1 metro do centro da caixa. O valor registrado foi o nível de intensidade global.

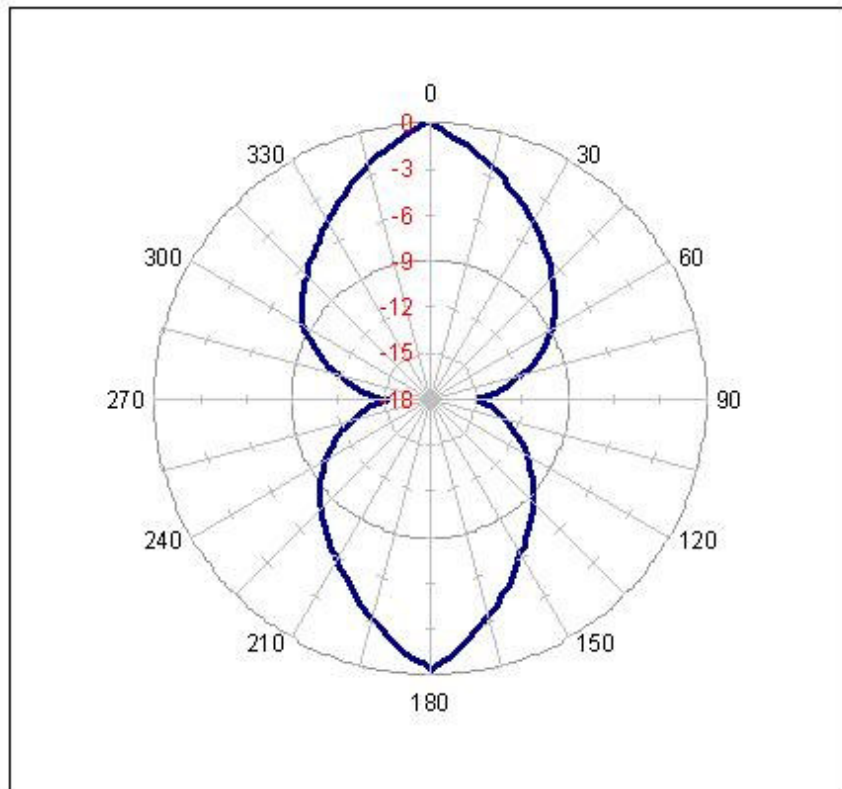


Figura 5.14 – Gráfico polar a 1 metro de distância da caixa acústica dipolar; medida da Intensidade global.

Duas informações estão claramente demonstradas no gráfico:

- a) quanto mais o microfone se afasta do sentido axial dos falantes, maior é queda no nível em SPL, sendo a máxima a 90° e a 270° , resultando na curva com “forma de oito”;
- b) o lóbulo superior, referente à resposta do falante que estava ligado em fase com o amplificador, possui um decaimento discretamente menor do que o falante fora de fase. Isto nos faz concluir que este fato acontece devido à maior proximidade com a parede do laboratório, que faz com que o microfone capte parte da reflexão, somando-se os níveis direto e refletido.

5.6.2 Curva polar de diretividade a 2 metros de distância do centro da caixa

A curva a seguir é o resultado das medições realizadas no raio de 2 metros de distância do centro da caixa acústica dipolar. Novamente, o valor aferido foi da intensidade global.

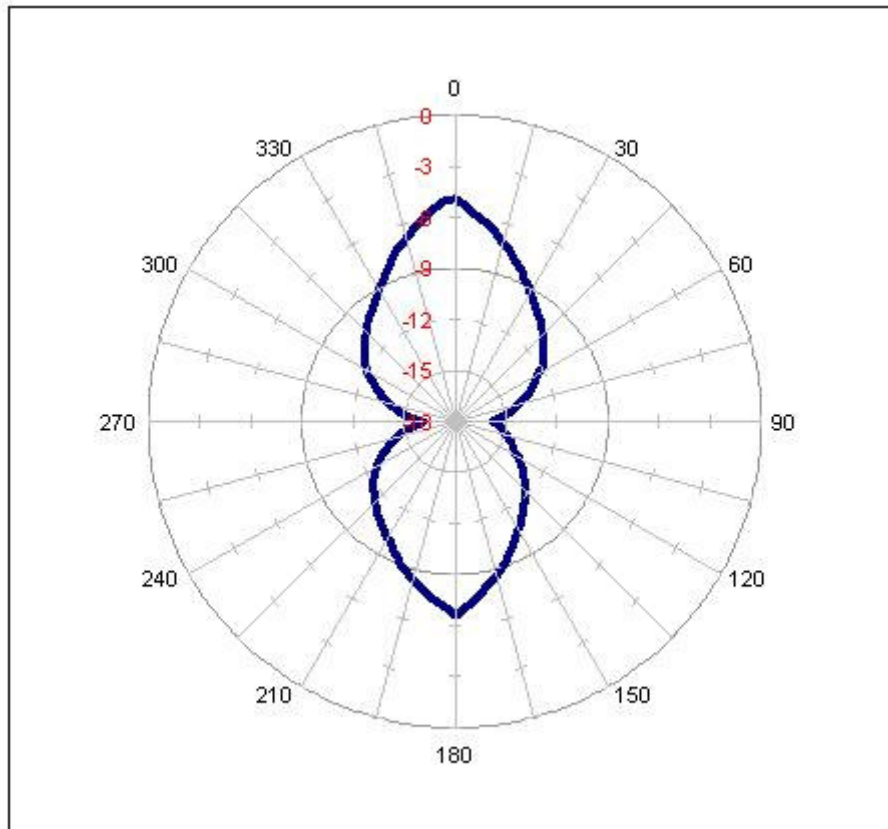


Figura 5.15 – Gráfico polar a 2 metros de distância da caixa acústica dipolar; medida da Intensidade global.

Podemos observar que a curva permanece com a forma dipolar, porém de menor tamanho, pois como o microfone está 1 metro mais afastado, o nível de intensidade registrado é menor. Em relação à curva medida a 1 metro e a 0° do eixo axial, percebe-se que a queda é de aproximadamente 5dB, mais precisamente 4,9 dB. Como era de se esperar, pois estamos dobrando a distância em relação ao centro da caixa acústica e não em relação à distância ao centro do alto-falante. Daí o resultado não apresentar os precisos 6dB/m de decaimento.

A tabela a seguir demonstra a diferença de decaimento entre as medições a 1 metro e 2 metros de distância da caixa.

		Decaimento a 1 metro	Decaimento a 2 metros	Diferença
Ângulos de medida	0°	0 dB	4,9 dB	4,9 dB
	30°	4,7 dB	9,2 dB	4,5 dB
	60°	8,7 dB	12,0 dB	3,3 dB
	90°	15,0 dB	15,4 dB	0,4 dB
	120°	10,8 dB	13,5 dB	2,7 dB
	150°	6,3 dB	10,5 dB	4,2 dB
	180°	0,3 dB	6,4 dB	6,1 dB
	210°	5,7 dB	9,9 dB	4,2 dB
	240°	9,9 dB	12,5 dB	2,6 dB
	270°	15,3 dB	16,1 dB	0,8 dB
	300°	8,6 dB	12,1 dB	3,5 dB
	330°	4,8 dB	9,2 dB	4,4 dB

Analisando a tabela, percebemos que nas medidas a 90° e 270°, de ambas as distâncias, a diferença no valor de decaimento de intensidade é praticamente o mesmo, ainda que e a distância seja dobrada. Isto aconteceu porque, novamente, não fizemos as medidas numa câmara anecóica. Nestes ângulos, o nível de intensidade interage quase que totalmente com o ruído de fundo, somente. Se observarmos tais valores, vemos que pouca diferença temos em relação ao ruído de fundo, que foi de 73,5 dB. Provavelmente, se medíssemos em ambiente anecóico, a diferença aumentaria sensivelmente. É como afirmar que perpendicularmente ao eixo axial da caixa, o som emitido possui nível extremamente atenuado, validando com isso o experimento.

5.6.3 Análise das curvas polares por faixa de frequência

Com todas as curvas polares traçadas, demonstradas em anexo, podemos tirar algumas conclusões adicionais:

a) As curvas somente começam a apresentar o formato dipolar em frequências acima da frequência de sintonia da caixa, ou seja, 50 Hz. Isto pode ser explicado pela baixa eficiência da caixa acústica nas frequências abaixo de 50 Hz. Observando a curva de resposta da caixa acústica, na figura 4.4, a queda de intensidade é de aproximadamente 26 dB/oitava. Em uma oitava abaixo da sintonia do sistema, ou seja, 25 Hz, o nível de intensidade gerado pela caixa cai 26 dB. Logo o formato da curva polar na frequência de 25 Hz é omnidirecional.

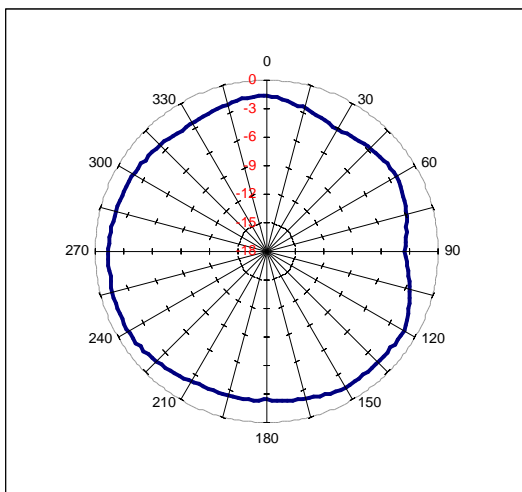


Figura 5.16 – Curva polar de 25 Hz a 1 metro de distância.

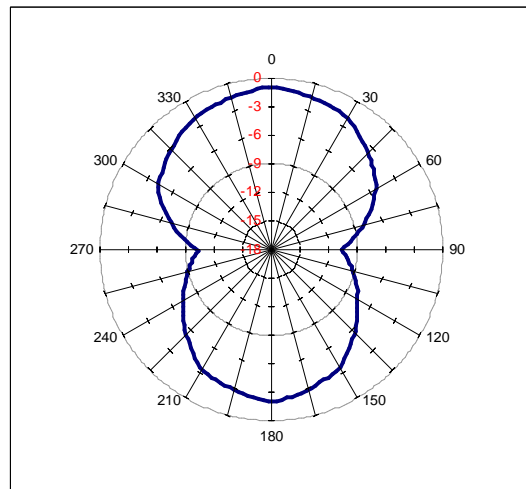


Figura 5.17 – Curva polar de 80 Hz a 1 metro de distância.

b) Algumas curvas ainda possuem a forma dipolar, porém os gráficos demonstram alguns valores de níveis de intensidade um tanto quanto irregulares. Isto pode ser explicado devido, novamente, ao fato de não termos ensaiando em local anecóico, fazendo com que as reflexões reforcem ou atenuem (por interferência construtiva e destrutiva) o nível do sinal medido em determinados locais do laboratório.

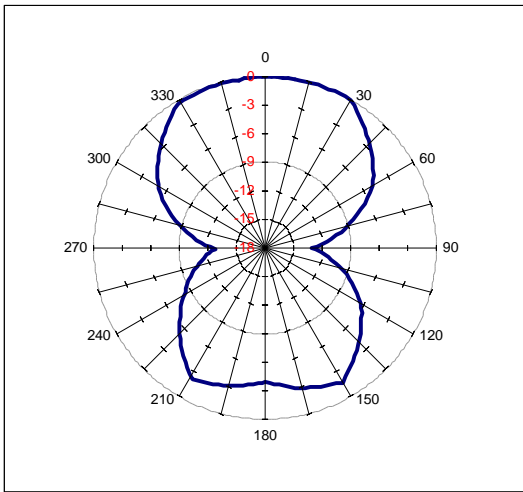


Figura 5.18 – Curva polar de 800 Hz a 1 metro de distância.

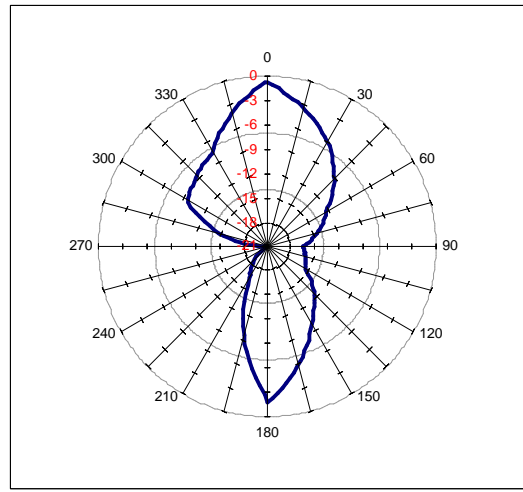


Figura 5.19 – Curva polar de 8 KHz a 1 metro de distância.

c) As mesmas conclusões são válidas para as curvas traçadas com o microfone posicionado a dois metros de distância do centro da caixa. Por estar um metro mais afastado do que nas medições anteriores, o microfone mediu maiores reflexões e conseqüentes interferências, como podemos ver nas figuras abaixo:

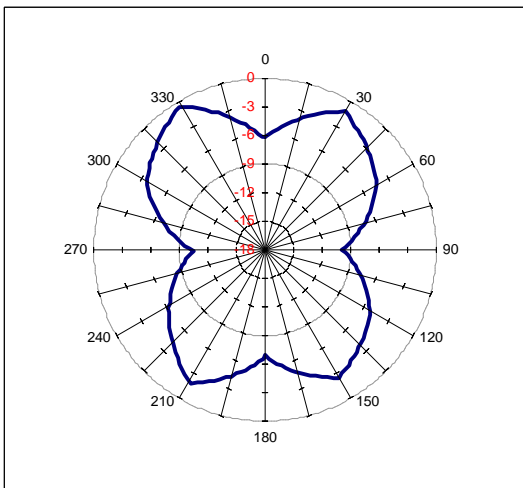


Figura 5.20 – Curva polar de 800 Hz a 2 metros de distância.

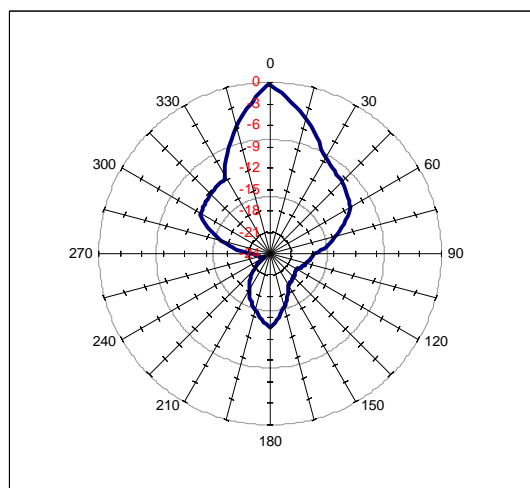


Figura 5.21 – Curva polar de 10 KHz a 2 metros de distância.

6 RIO DE JANEIRO: DIVERSÃO E RUÍDO

6.1 Introdução

Neste capítulo abordamos de forma sucinta a problemática do ruído gerado por estabelecimentos comerciais, igrejas e espetáculos ao ar livre na cidade do Rio de Janeiro. Todas as informações demonstradas a seguir foram baseadas em estudos e documentos fornecidos por órgãos públicos, responsáveis pela fiscalização da intensidade de ruído produzido por estabelecimentos na cidade.

6.2 Ruído por áreas de planejamento

Citada internacionalmente como uma das capitais mais ruidosas do mundo, a cidade do Rio de Janeiro apresenta uma densidade populacional elevada e um trânsito caótico. Porém, segundo a Gerência de Fiscalização da Secretaria de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro, a maioria das reclamações feitas a este órgão refere-se aos ruídos originados por fontes direta ou indiretamente relacionadas ao entretenimento, como bares, restaurantes, espetáculos ao vivo e casas noturnas.

Os relatórios oficiais fornecidos pelo órgão da Prefeitura, cujo conteúdo encontra-se em anexo, registram os números totais de reclamações dos 2001, 2002 e 2003, distribuídos pelas chamadas Áreas de Planejamento (AP), demonstrados na figura 6.1, que dividem o município do Rio de Janeiro em áreas assim determinadas:

- AP1 – Centro e adjacências;
- AP2 – Zona Sul, Tijuca e Vila Isabel;
- AP3 – Zona Norte;
- AP4 – Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Cidade de Deus; e
- AP5 – Zona Oeste.

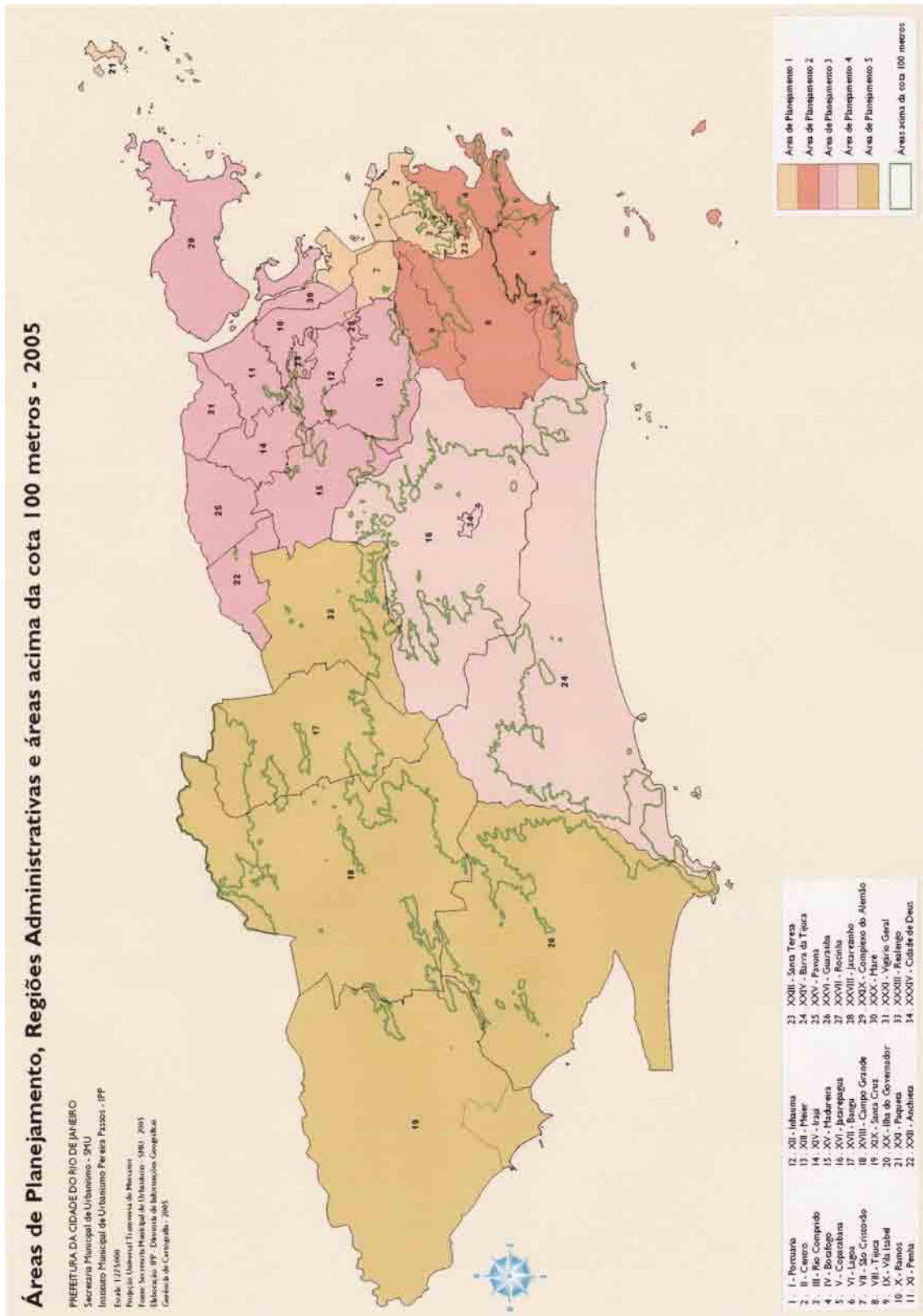


Figura 6.1 – Áreas de Planejamento da Cidade do Rio de Janeiro.

As tabelas a seguir detalham a distribuição do número de registros de reclamação por áreas de planejamento.

Dentre as diversas fontes geradoras de ruído, os documentos mostram que a grande maioria das ocorrências origina-se de estabelecimentos comerciais (bares, restaurantes e academias) e cultos religiosos. Todos têm em comum a utilização de algum tipo de caixa acústica, para que desenvolvam sua atividade.

Vale ressaltar, ainda, a grande importância deste documento na demonstração das diferenças do número de reclamações por AP's, traçando assim, um perfil das áreas que mais propiciam entretenimento ruidoso no município.

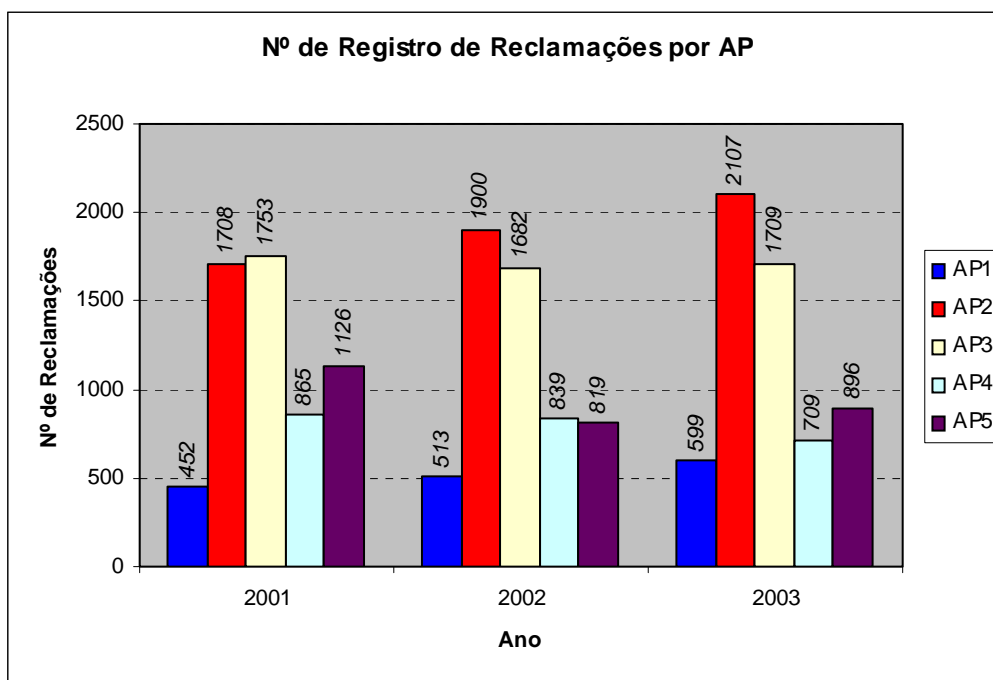


Figura 6.2 – Registro de reclamações por AP por ano.

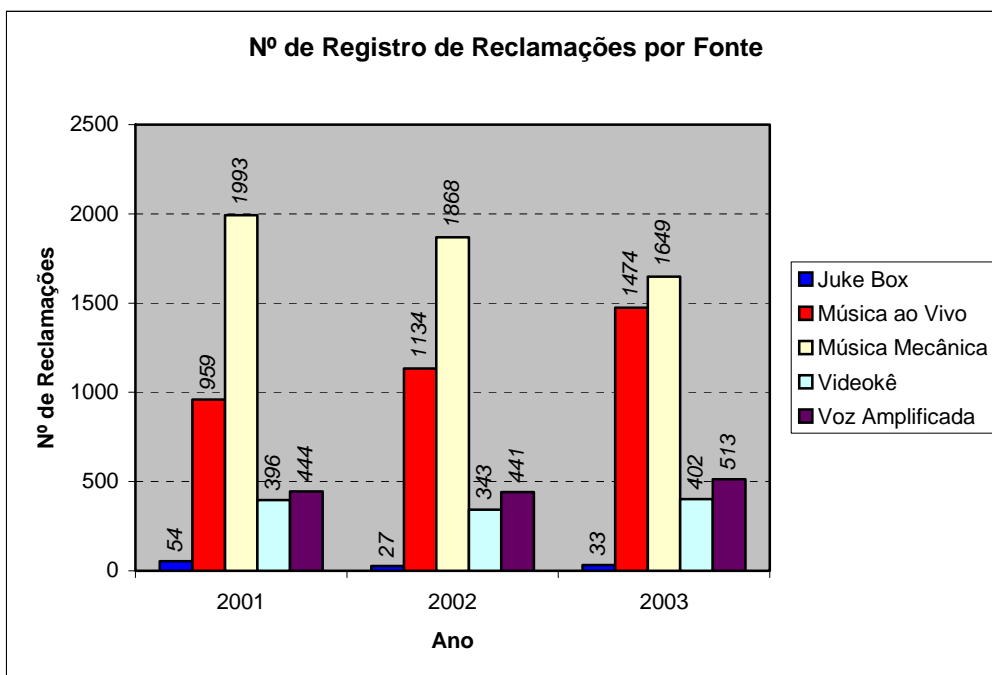


Figura 6.3– Registro de reclamações por fonte que utiliza caixa acústica.

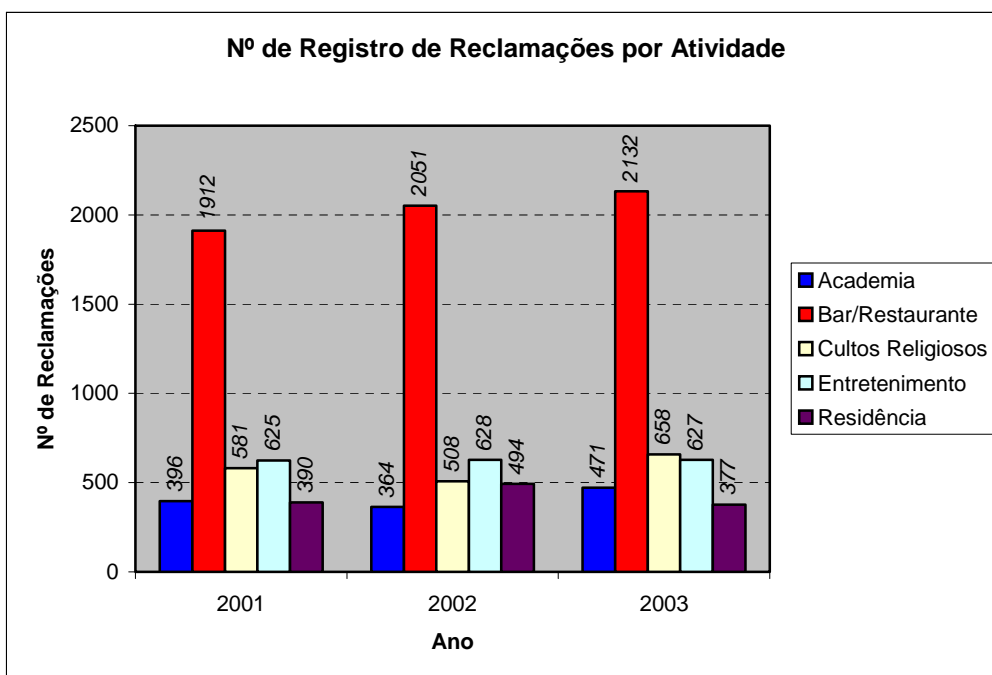


Figura 6.4 – Registro de reclamação por atividade

Os documentos indicam que as áreas que mais geram ruídos são as AP2 (zona sul, Tijuca e Vila Isabel) e AP3 (zona norte), devido à presença de muitos estabelecimentos, como bares, boites, restaurantes e igrejas. É de se esperar que a zona sul possua o maior número de reclamações, pois esta área apresenta uma infinidade de opções de entretenimento para a população.

Como o nível sócio-cultural e econômico dos freqüentadores da zona sul é maior, casas comerciais ligadas ao entretenimento surgem a cada dia. Enormes palcos para apresentações de espetáculos são montados nesta região, principalmente nas praias, tendo como resultado o crescimento demasiado da geração de ruído e incômodo na vizinhança.

Em 21 de julho de 2004, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro criou o Decreto nº 2420 que, entre outras providências, implementou a área de proteção do ambiente cultural do entorno do Mosteiro de São Bento (obra que remota de 1590 e que até hoje preza pelo silêncio dentro de seu estabelecimento) principalmente no que se refere a ruídos e vibrações acima do permitido pela legislação. Tal decreto foi instituído devido, principalmente, à realização de shows no local conhecido como Pier Mauá, no Cais do Porto, que gerava som excessivo durante a madrugada, incomodando a rotina dos Monges Beneditinos que residem no Mosteiro. Elucida o artigo 8º: “Ficam proibidos a partir de 02 de agosto de 2004, a realização de atividades que produzam ruídos acima de 60 dB no período diurno e 50 dB no período noturno, bem como vibrações que possam vir a causar danos às estruturas dos bens tombados.” (D.O.Rio, 2004).

Segundo informações da Coordenadoria de Controle Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, o controle e fiscalização de estabelecimentos geradores de reclamações são extremamente difíceis. Dentre outros motivos, o crescimento do número de estabelecimentos informais causa maior problema. Quando o estabelecimento é legalizado, as reclamações geram fiscalizações que podem até mesmo cassar os alvarás destes, se os mesmos não se enquadrarem às normas estabelecidas.

No entanto, os estabelecimentos ilegais são verdadeiros geradores de ruídos itinerantes, tendo em vista que estes se estabelecem em qualquer lugar e não são alvos de fiscalização por parte dos órgãos competentes que, muitas vezes,

desconhecem completamente a própria existência do local, uma vez que não possuem qualquer documentação.

Outro problema sério destacado pela Coordenadoria é a carência de fiscais, que se apresentam em um numerário muito inferior em relação ao número de reclamações. O fiscal fica sobrecarregado, sem condições de visitar e autuar todos os estabelecimentos reclamados. Existe ainda a morosidade da justiça em julgar os processos, fator esse que compromete ainda mais uma fiscalização eficiente.

6.3 Exemplo de aplicação prática da caixa dipolar

Discutiremos agora como poderiam ser utilizados projetos de caixas dipolares em locais ao ar livre. Vale ressaltar que as soluções apresentadas são simplesmente idéias de projeto. A viabilidade da aplicação necessita de diversos testes e, principalmente, conscientização das empresas produtoras de entretenimento no tocante ao incômodo que estes possam gerar quando apresentados em níveis exagerados.

6.4 Espetáculos ao ar livre

Um bom exemplo de utilização de uma fonte tipo dipolar ao ar livre seria a montagem de um palco para espetáculos nas areias da praia de Copacabana, na cidade do Rio de Janeiro.

Geralmente, no palco montado em praias, as caixas acústicas são instaladas com os falantes direcionados de forma paralela à rua que beira as areias, como mostrado na figura 6.5.

Normalmente, como já vimos anteriormente, as caixas acústicas responsáveis pela emissão das baixas frequências (graves), comportam-se como fontes monopulares, irradiando em todas as direções. Estas frequências podem provocar extremo desconforto na vizinhança, fazendo com que janelas e móveis vibrem de forma demasiada. Vale ressaltar que a maioria desses espetáculos ocorrem no horário noturno, atrapalhando o descanso de centenas de moradores.



Figura 6.5 – Modelo de palco instalado na praia. As setas indicam a direção da instalação das caixas.

A utilização de caixas acústicas dipolares seria uma maneira de reduzir significativamente o nível de intensidade na emissão dessas ondas sonoras nas laterais do palco. Para isso, um bom projeto e a localização correta das caixas são fatores vitais para alcançar o resultado esperado.

Como vimos anteriormente, a curva polar de uma fonte dipolar tem um “formato-de-oito”. Aplicando estas caixas nas laterais do palco, uma boa região residencial vai receber esse som com nível bastante atenuado, de forma que o incômodo cairá de forma expressiva.

Analisando a figura 6.6, com a instalação de fontes dipolares, podemos prever que o incômodo na vizinhança poderia ser razoavelmente atenuado, evitando assim desconforto e conseqüentes reclamações aos órgãos responsáveis por fiscalizações. Obviamente, uma conclusão eficaz dependeria de diversas medidas experimentais, principalmente no que se refere ao posicionamento das caixas.



Figura 6.6 – Região (simbólica) onde níveis de intensidade seriam atenuados (cor cinza).

6.5 Bares, praças e quiosques

As cidades brasileiras, em geral, possuem diversos estabelecimentos onde a música, ao vivo ou eletrônica, fazem parte do universo de opções de divertimento. E boa parte desses estabelecimentos está, literalmente, “encostado” um ao outro. Não é raro encontrarmos bares que, para disputar a clientela, posicionam suas mesas, cadeiras e, conseqüentemente, caixas acústicas, na própria calçada. Quando os bares e quiosques são muito próximos, a vizinhança padece de tranqüilidade, pois a disputa entre os estabelecimentos se faz a níveis altíssimos de decibéis.

As caixas acústicas dipolares seriam uma opção de combate a essas disputas. Cada estabelecimento poderia posicionar suas caixas, mesmo que do lado de fora, sem que estas emitissem sons que interferissem de forma drástica nas emissões do vizinho. Conseqüentemente, o nível de intensidade emitido por cada uma delas poderia se atenuado. Os clientes ouviriam bem melhor o som produzido pelo estabelecimento, e o nível emitido para a vizinhança poderia ser bem melhor tolerado

por esta. As reclamações poderiam ser evitadas e os estabelecimentos evitariam possíveis multas, ou até mesmo a cassação de seus alvarás.

Outra forma de adequação seria simplesmente colocar caixas acústicas aos pares, uma delas direcionada para o público e a outra direcionada para o lado oposto, com a parte traseira de uma encostada na da outra. Restaria somente inverter a fase de uma delas na conexão ao amplificador. Certamente não teria um resultado tão eficaz como a construção de uma caixa dipolar nova, que seria projetada com base em uma série de critérios pré-estabelecidos, mas ajudaria a atenuar o nível de intensidade emitido na direção lateral das caixas. Seria uma solução razoável em questões de custo.

7 CONCLUSÕES

O projeto de um modelo de caixa acústica, seja este qual for, não é algo tão simples de ser realizado. Diversos conceitos básicos de acústica precisam estar muito bem entendidos pelo projetista, para que este consiga alcançar um objetivo específico no projeto. Desde a análise física das leis que regem a acústica até a escolha do material utilizado na fabricação, o projeto precisa ser bem desenvolvido para que o resultado alcance um mínimo de resposta satisfatória, validando assim qualquer previsão.

Em vista disso, este trabalho desenvolveu uma proposta que não é nova. Estudos mais específicos são pouco explorados, principalmente no tocante à instalação de caixas acústicas do tipo dipolar para sonorização de ambientes externos.

Apesar de todo o projeto ter sido desenvolvido com o intuito da análise ser executada dentro de normas específicas, regulamentadas por órgãos técnicos governamentais, por problemas dos mais variados, isto não foi possível, principalmente em virtude de alguns percalços burocráticos.

Porém, tais dificuldades enfrentadas não diminuíram qualitativamente o estudo apresentado. Pelo contrário. Medidas paliativas, porém muito próximas da realidade, puderam ser testadas em laboratório comum, apresentando resultados razoavelmente satisfatórios. Após traçadas as curvas de respostas polares, observou-se que, do ponto de vista técnico, a implementação deste tipo de dispositivo pode vir a diminuir consideravelmente o ruído gerado por caixas acústicas utilizadas em espetáculos musicais, que produzem níveis sonoros altíssimos no entorno do local onde o mesmo é instalado. A viabilidade da construção de caixas acústicas dipolares, obviamente, depende de fatores como custo, espaço para instalação, dentre outros.

Vimos nesta dissertação que a geração de ruídos indesejáveis, principalmente nos grandes centros urbanos, já é fator decisivo na atribuição de um valor a um bem imóvel. A possível valorização ou desvalorização de certas regiões da cidade depende, em maior ou menor escala, do ambiente acústico onde este imóvel está inserido.

Diversos dados estatísticos, coletados durante o estudo realizado e apresentados nesta dissertação, evidenciaram que a população, de um modo geral, necessita cada vez mais de meios de divertimento para suprir suas necessidades sociais. No entanto, é preciso todo um trabalho de conscientização, para que estes momentos de aprazimento não gerem desconforto naqueles que preferem métodos mais introspectivos. Diferenças devem ser respeitadas, para que o prazer de uns, não se transforme em tormento para outros.

Por fim, fica clara a proposta deste trabalho em buscar um método viável para tentar resolver a problemática da emissão de altos níveis de ruído em ambientes de entretenimento, para que esse faça jus à proposta de levar diversão à população, tão carente de momentos agradáveis numa cidade como o Rio de Janeiro.

Desta forma, este trabalho permite aprimoramentos técnicos, para que prosperem os esforços no entendimento de sistemas ambientais saudáveis para a população, com a criação de ambientes agradáveis, tanto para aqueles que os freqüentam como para quem reside a sua volta, possibilitando a convivência harmônica, pacífica e respeitosa entre os entes que compõem a sociedade.

Anexo A – Curvas Polares de Intensidade

A1 – Curvas polares de intensidade analisadas a 1 metro de distância

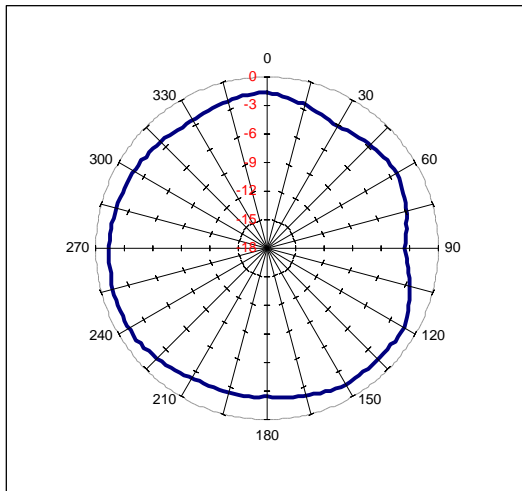


Figura A1.1 – Curva 25 Hz, 60 dB referência

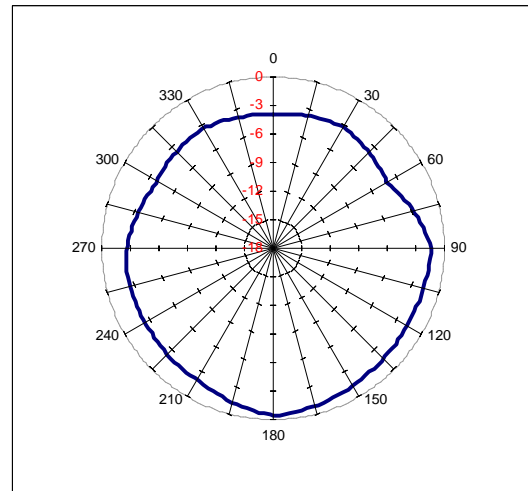


Figura A1.2 – Curva 31,5 Hz, 66 dB referência

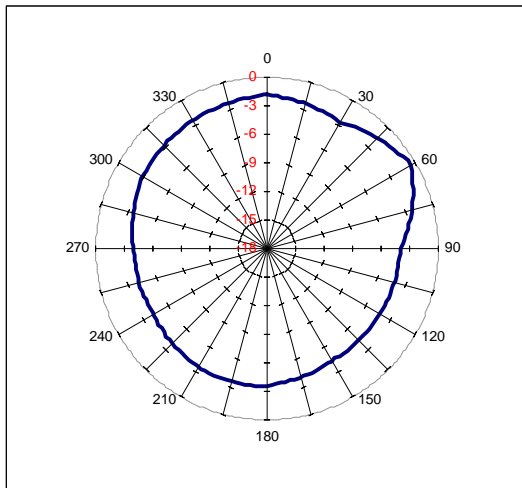


Figura A1.3 – Curva 40 Hz, 66 dB referência

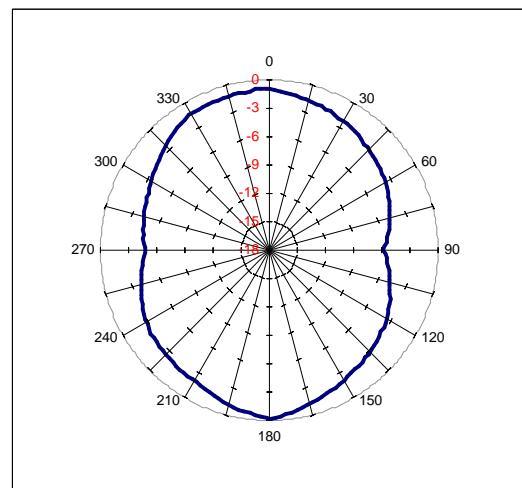


Figura A1.4 – Curva 50 Hz, 67 dB referência

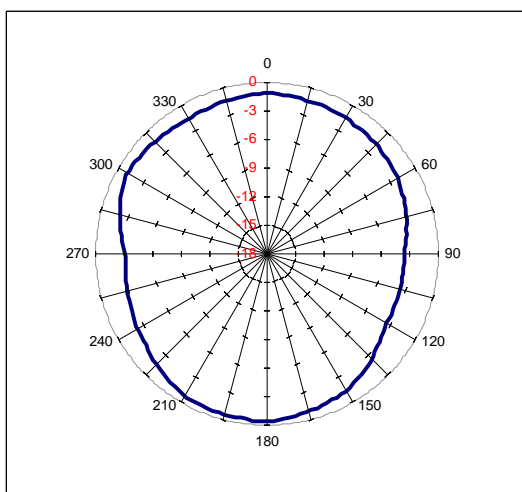


Figura A1.5 – Curva 63 Hz, 68 dB referência

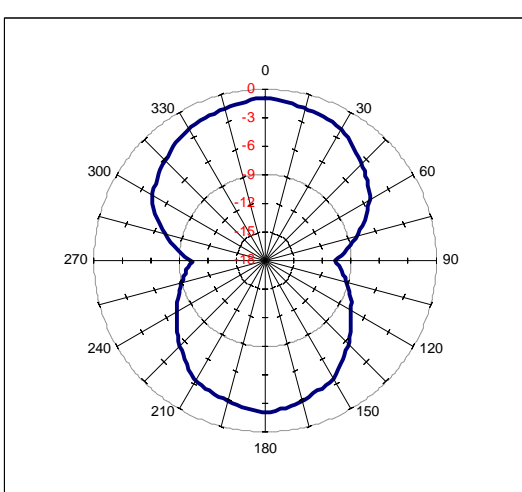


Figura A1.6 – Curva 80 Hz, 74 dB referência

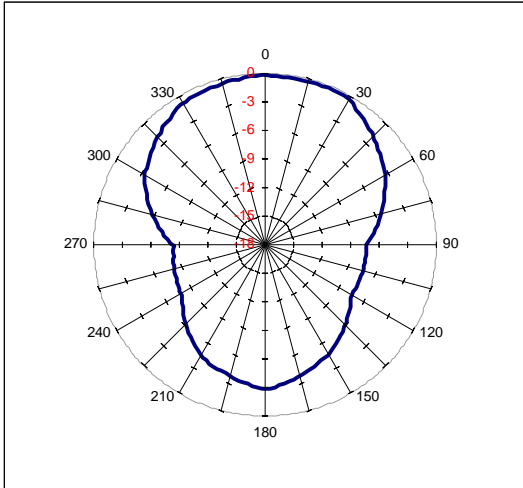


Figura A1.7 – Curva 100 Hz, 74 dB referência

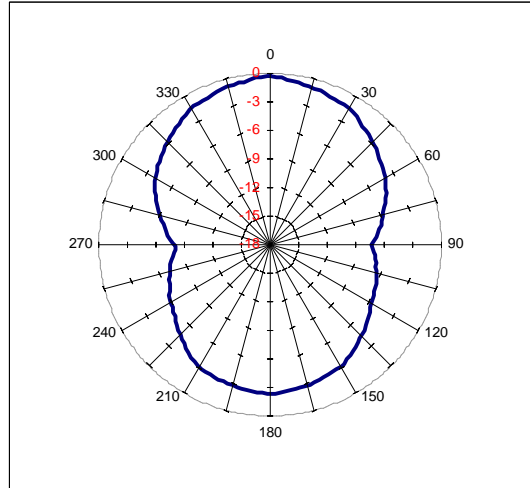


Figura A1.8 – Curva 125 Hz, 70 dB referência

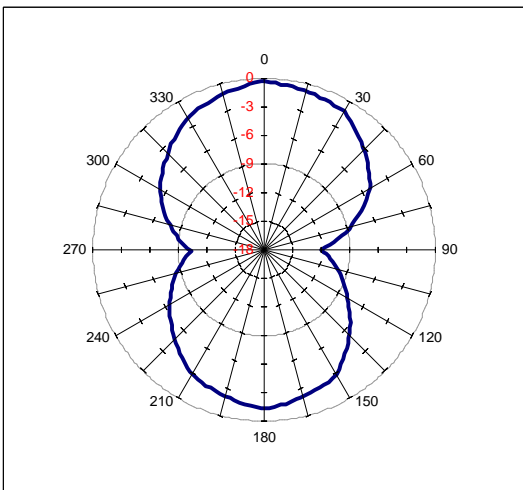


Figura A1.9 – Curva 160 Hz, 73 dB referência

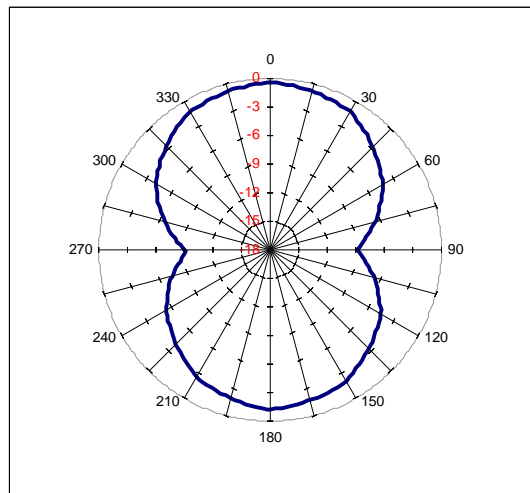


Figura A1.10 – Curva 200 Hz, 70 dB referência

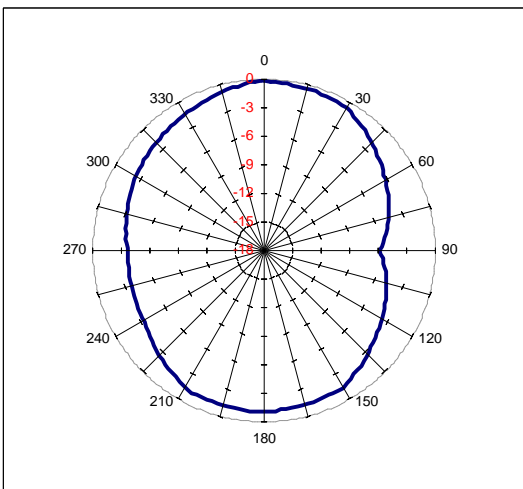


Figura A1.11 – Curva 250 Hz, 67 dB referência

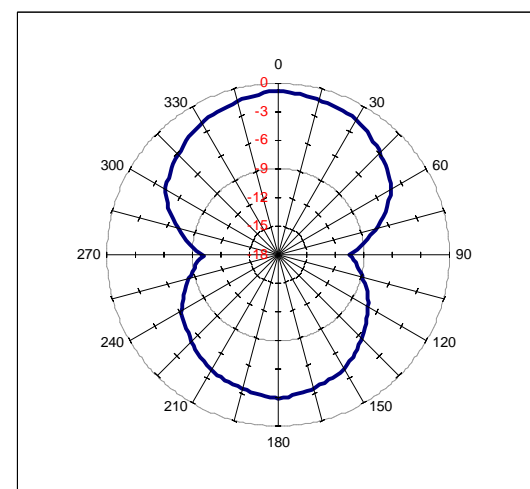


Figura A1.12 – Curva 315 Hz, 71 dB referência

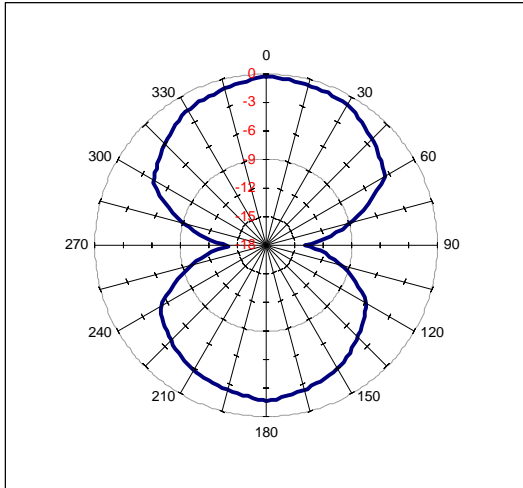


Figura A1.13 – Curva 400 Hz, 76 dB referência

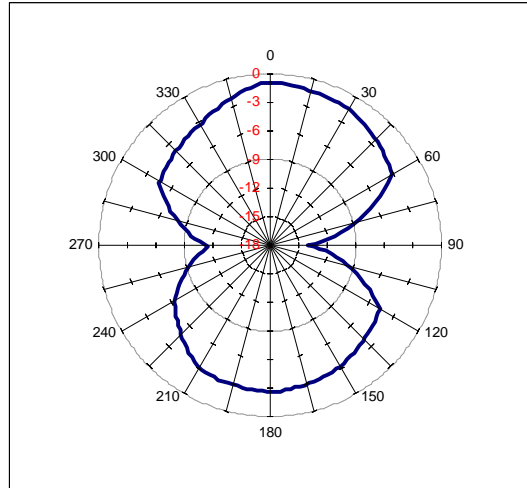


Figura A1.14 – Curva 500 Hz, 76 dB referência

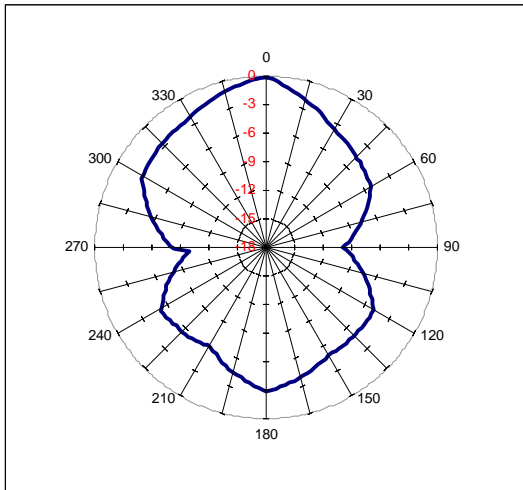


Figura A1.15 – Curva 630 Hz, 68 dB referência

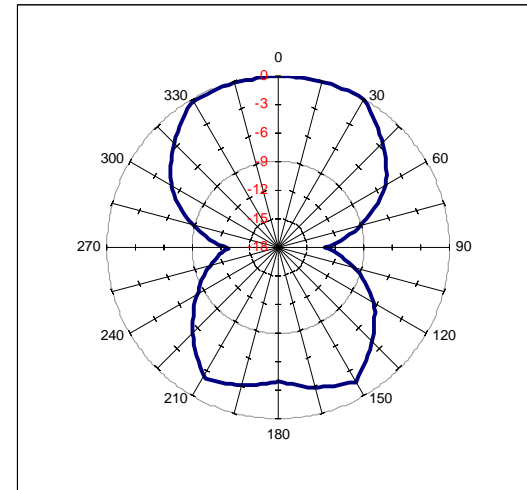


Figura A1.16 – Curva 800 Hz, 73 dB referência

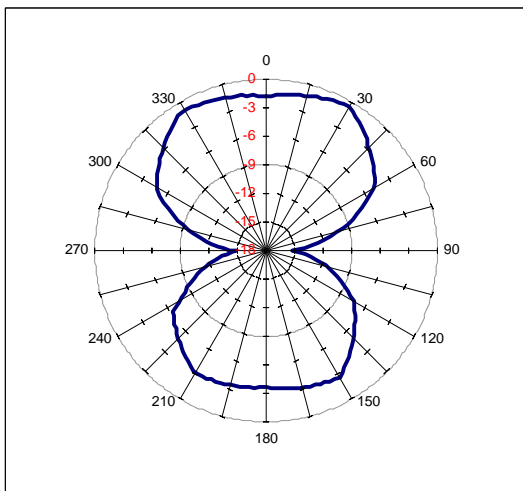


Figura A1.17 – Curva 1000 Hz, 76 dB referência

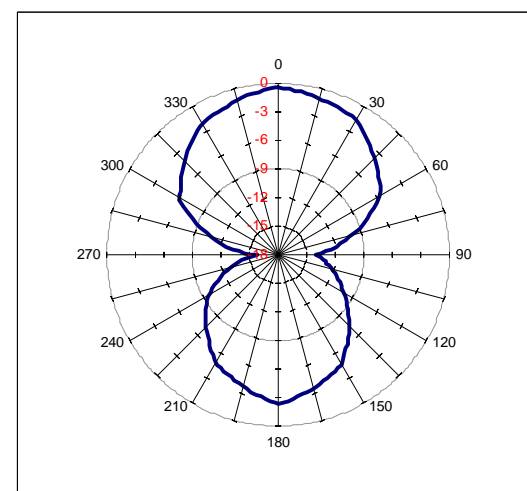


Figura A1.18 – Curva 1250 Hz, 80 dB referência

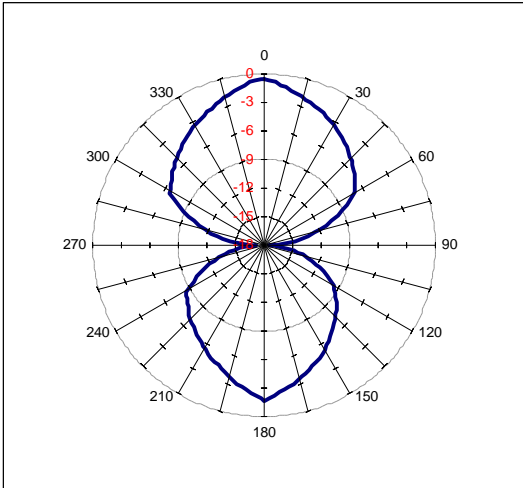


Figura A1.19 – Curva 1600 Hz, 81 dB referência

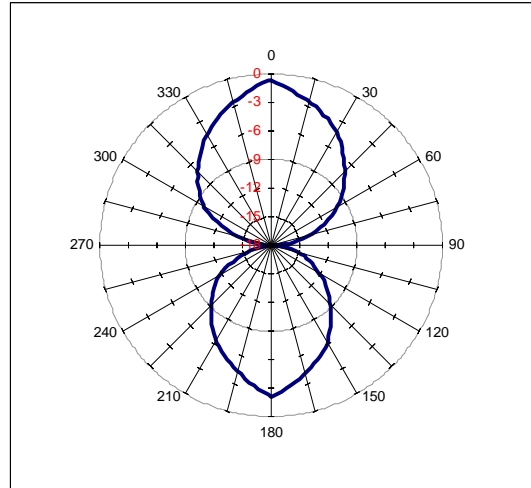


Figura A1.20 – Curva 2000 Hz, 82 dB referência

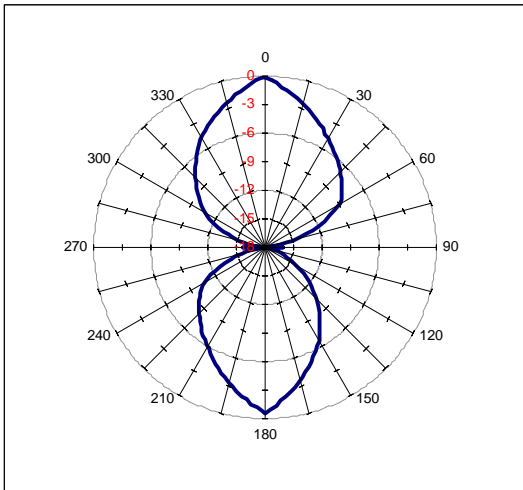


Figura A1.21 – Curva 2500 Hz, 83 dB referência

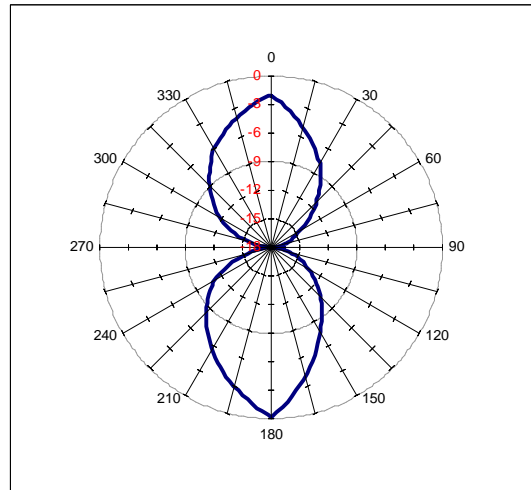


Figura A1.22 – Curva 3150 Hz, 87 dB referência

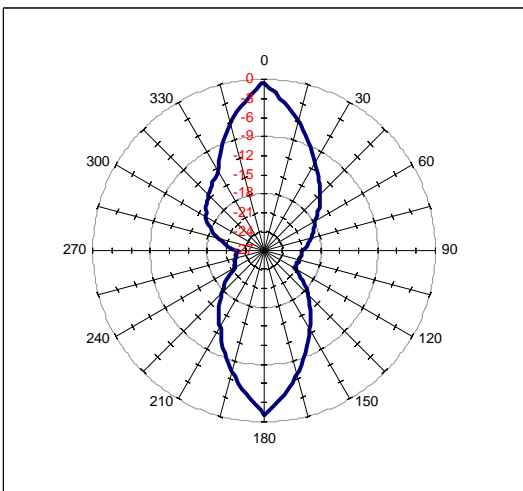


Figura A1.23 – Curva 4000 Hz, 86 dB referência

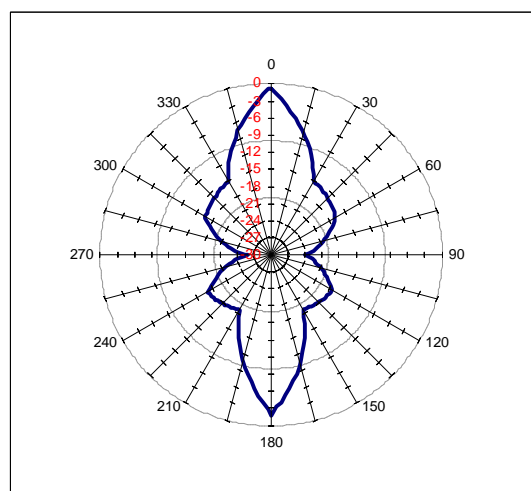


Figura A1.24 – Curva 5000 Hz, 85 dB referência

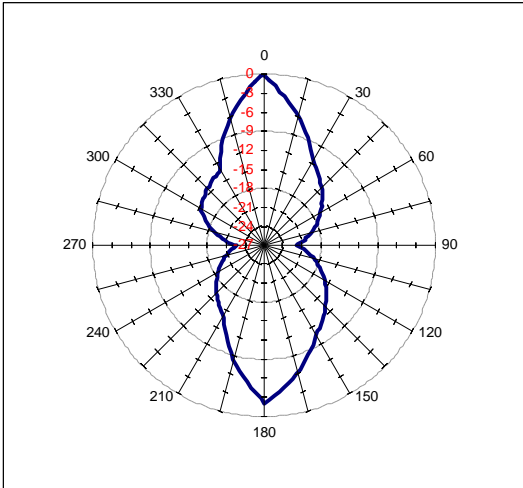


Figura A1.25 – Curva 6300 Hz, 78 dB referência

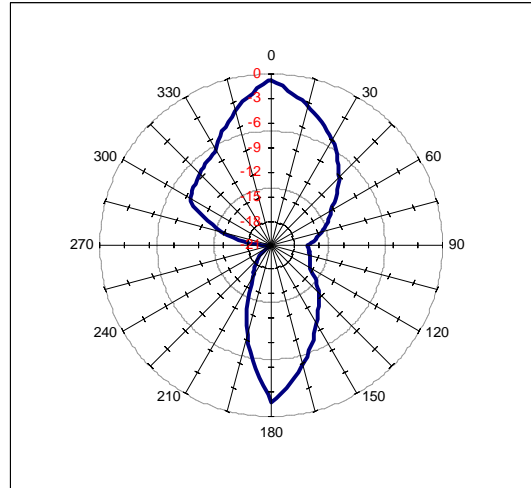


Figura A1.26 – Curva 8000 Hz, 77 dB referência

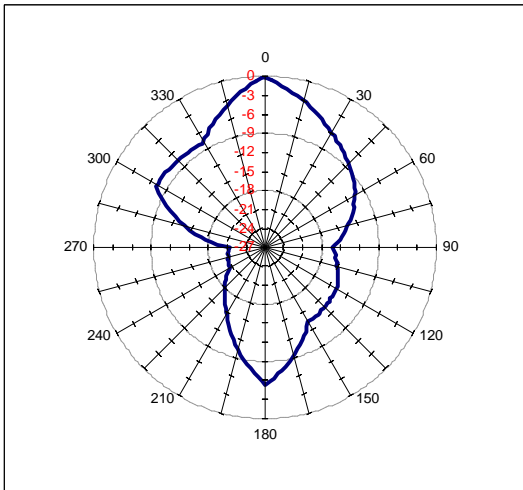


Figura A1.27 – Curva 10000 Hz, 66 dB referência

A2 – Curvas polares de intensidade analisadas a 2 metros de distância

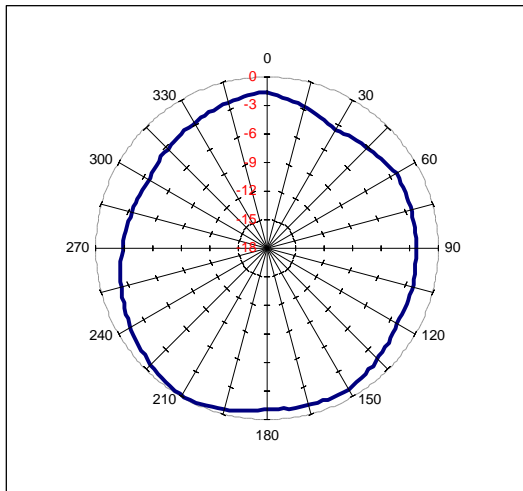


Figura A2.1 – Curva 25 Hz, 61 dB referência

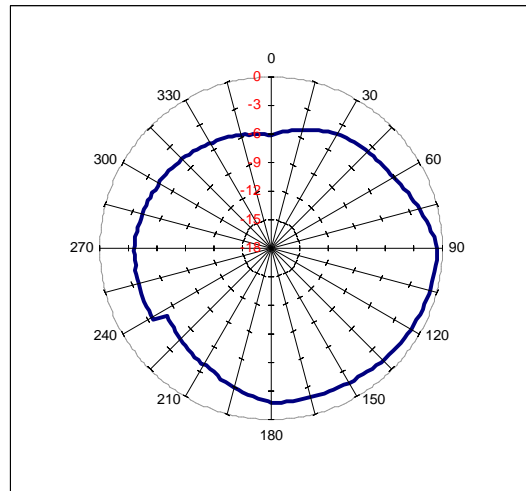


Figura A2.2 – Curva 31,5 Hz, 68 dB referência

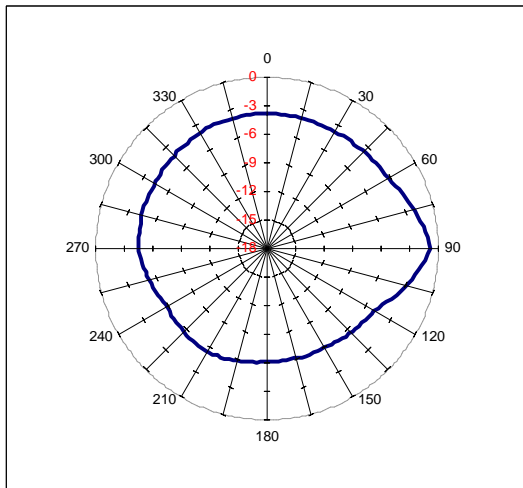


Figura A2.3 – Curva 40 Hz, 66 dB referência

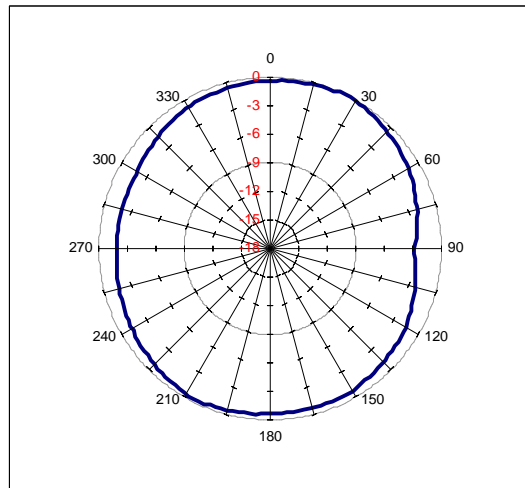


Figura A2.4 – Curva 50 Hz, 65 dB referência

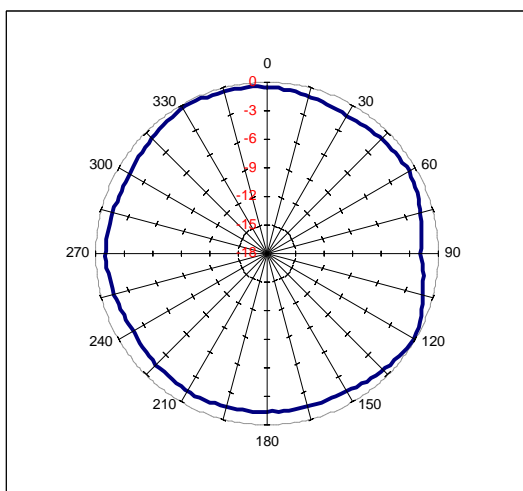


Figura A2.5 – Curva 63 Hz, 68 dB referência

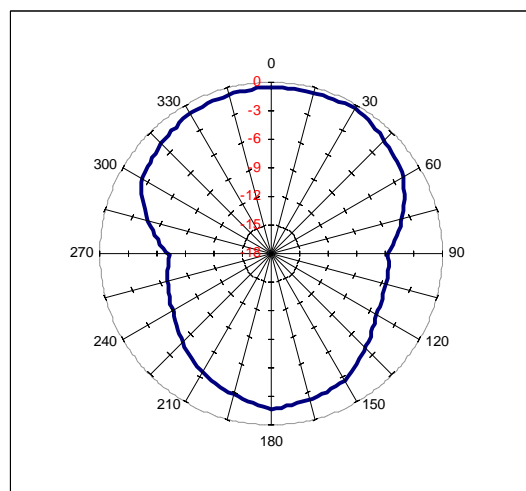


Figura A2.6 – Curva 80 Hz, 70 dB referência

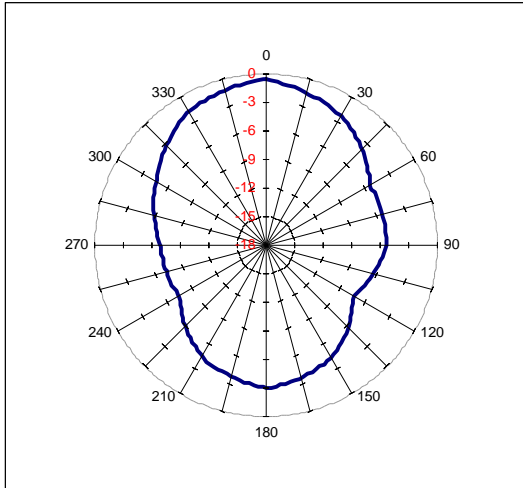


Figura A2.7 – Curva 100 Hz, 71 dB referência

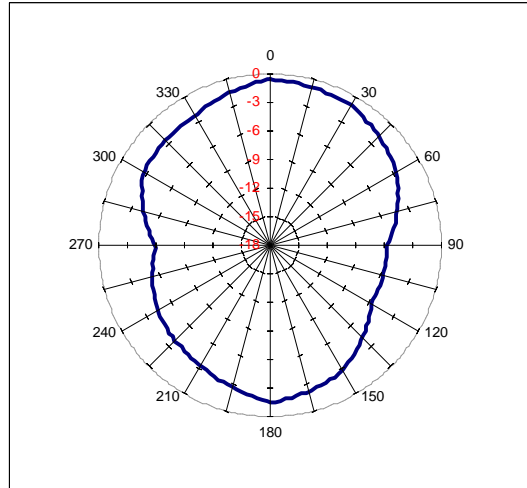


Figura A2.8 – Curva 125 Hz, 69 dB referência

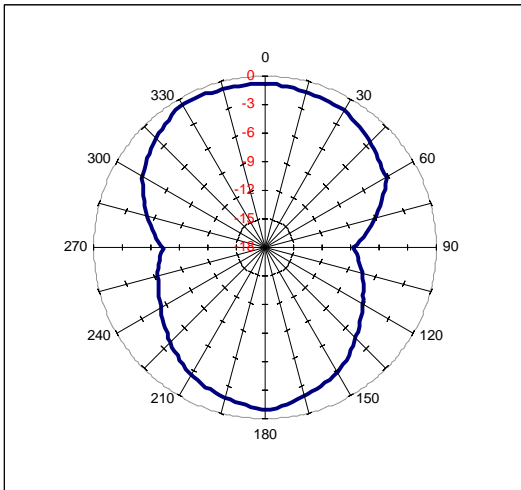


Figura A2.9 – Curva 160 Hz, 70 dB referência

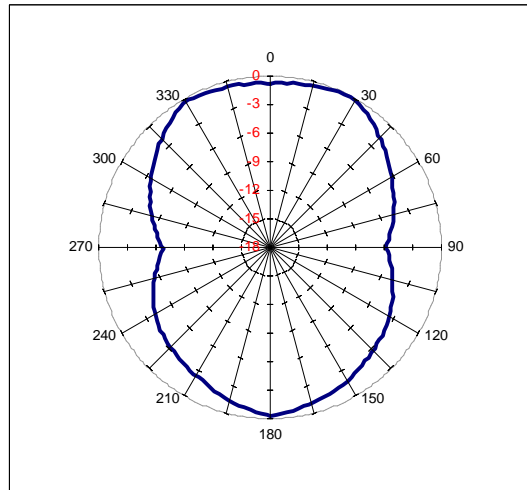


Figura A2.10 – Curva 200 Hz, 68 dB referência

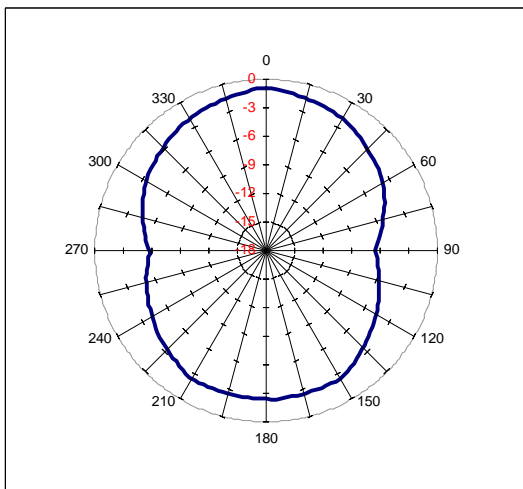


Figura A2.11 – Curva 250 Hz, 67 dB referência

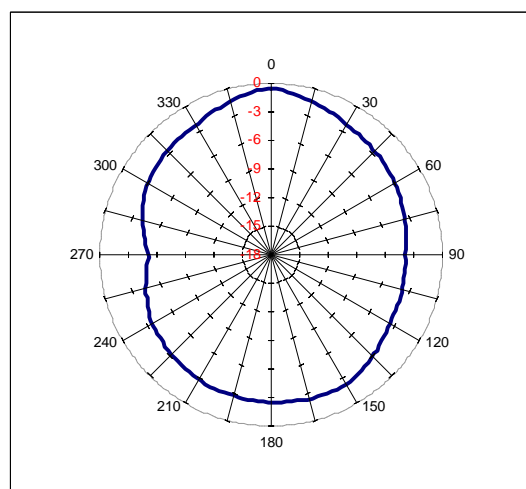


Figura A2.12 – Curva 315 Hz, 66 dB referência

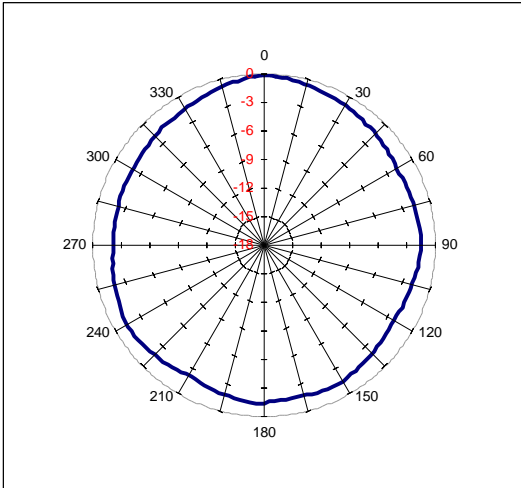


Figura A2.13 – Curva 400 Hz, 64 dB referência

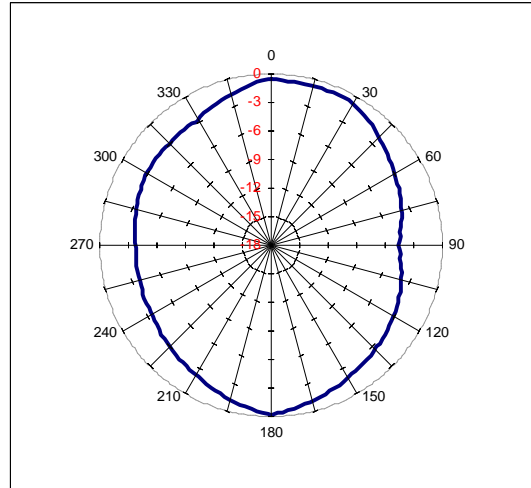


Figura A2.14 – Curva 500 Hz, 65 dB referência

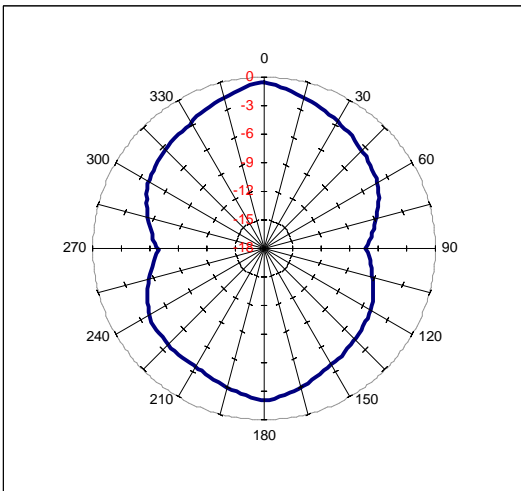


Figura A2.15 – Curva 630 Hz, 66 dB referência

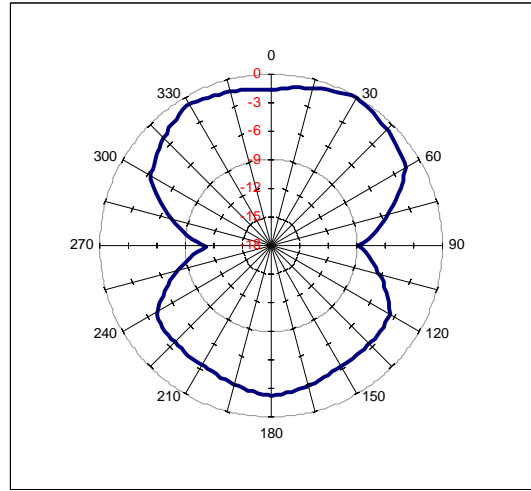


Figura A2.16 – Curva 800 Hz, 70 dB referência

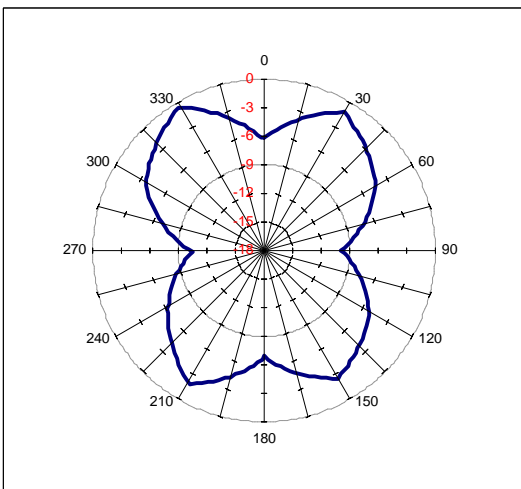


Figura A2.17 – Curva 1000 Hz, 70 dB referência

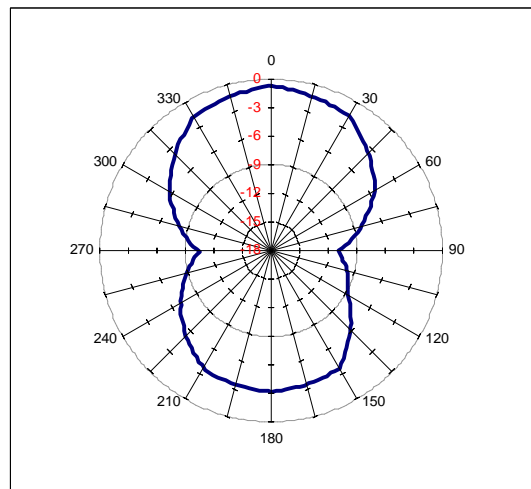


Figura A2.18 – Curva 1250 Hz, 72 dB referência

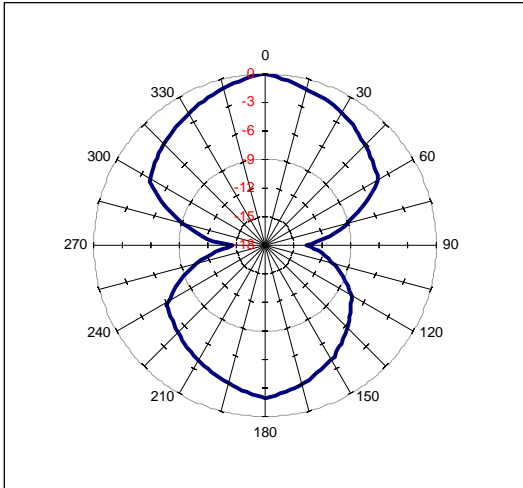


Figura A2.19 – Curva 1600 Hz, 77 dB referência

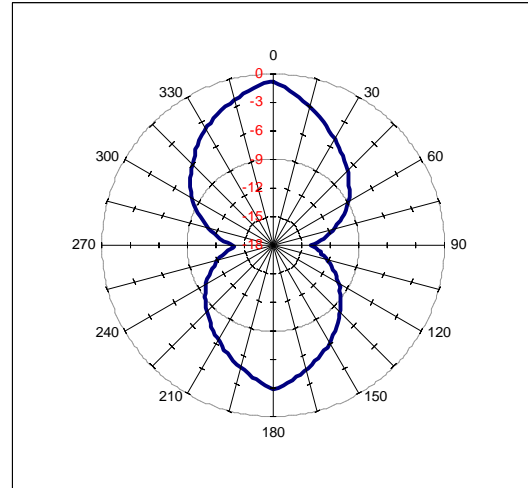


Figura A2.20 – Curva 2000 Hz, 77 dB referência

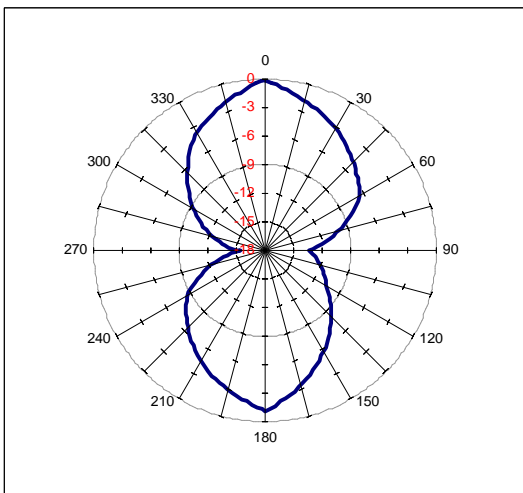


Figura A2.21 – Curva 2500 Hz, 77 dB referência

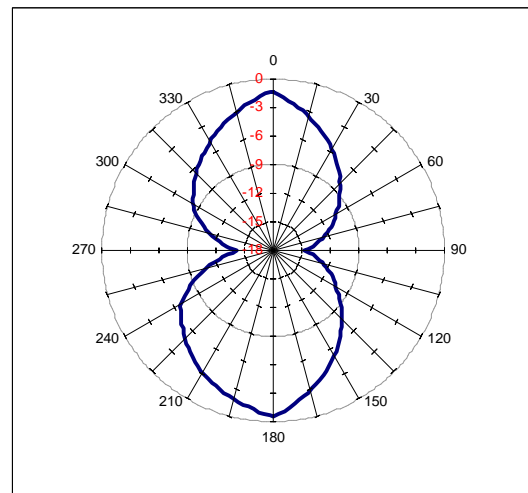


Figura A2.22 – Curva 3150 Hz, 81 dB referência

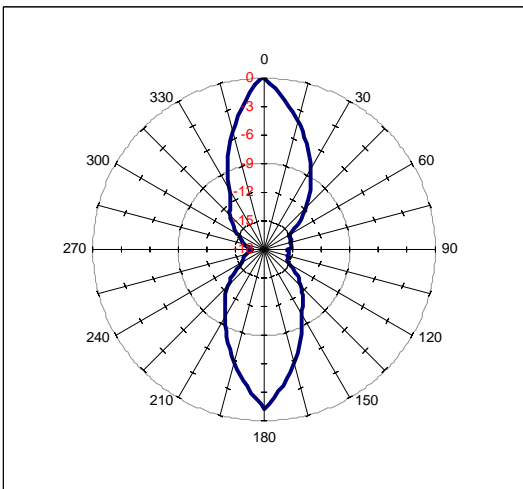


Figura A2.23 – Curva 4000 Hz, 80 dB referência

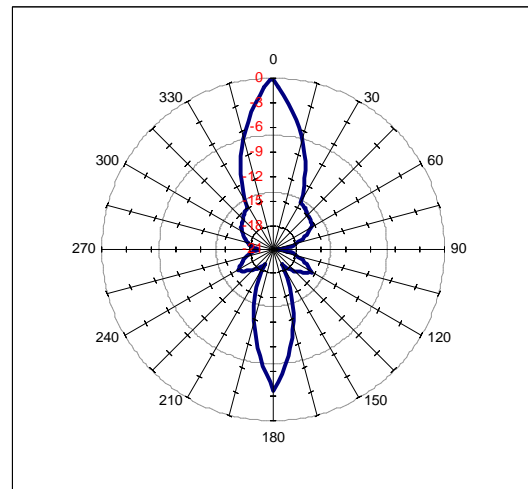


Figura A2.24 – Curva 5000 Hz, 80 dB referência

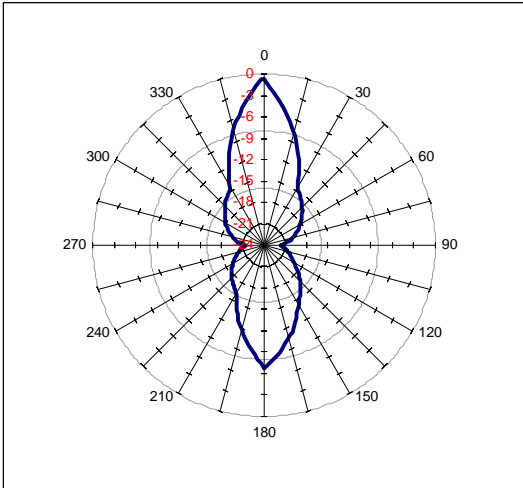


Figura A2.25 – Curva 6300 Hz, 76dB referência

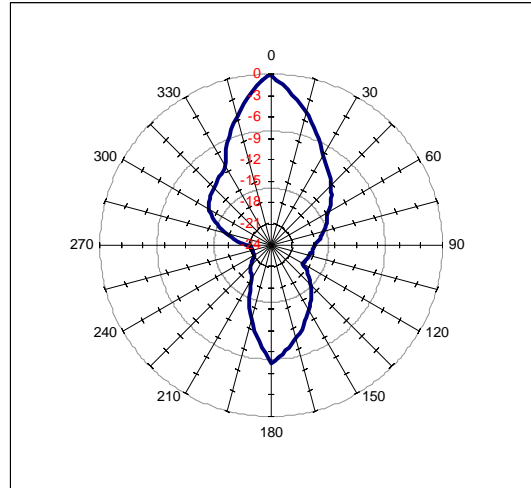


Figura A2.26 – Curva 8000 Hz, 76 dB referência

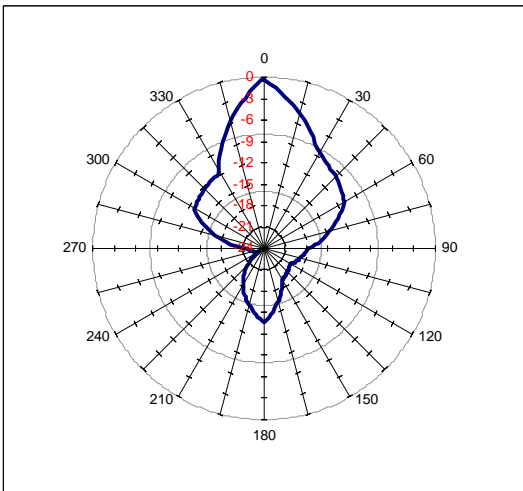


Figura A2.27 – Curva 10000 Hz, 65 dB referência

Anexo B – Manual do alto-falante 8PW3 SELENIUM

Woofers profissionais de 8" desenvolvidos para atender as mais diversas necessidades de sonorização de médios e pequenos ambientes, apresentando excelente desempenho na reprodução de médias e baixas frequências.

Indicado para reforço de som em boates, clubes, salões, auditórios, conjuntos musicais e também para caixas monitoras.

A grande eficiência na reprodução sonora se deve à excelente combinação de seus componentes.

O cone leve, fabricado com fibras longas, e a suspensão em tecido impregnado proporcionam ao conjunto móvel grande estabilidade, alto rendimento e baixa distorção.

A bobina móvel é fabricada com fio resistente às altas temperaturas e enrolada em forma de Kapton®.

A carcaça em chapa de aço reforçada, com pintura epoxi, confere ao conjunto elevada resistência mecânica.

O uso de adesivos de alta resistência garante aos componentes uma ótima colagem e durabilidade.

*8PW3-SLF: Produto sem logotipo frontal Selenium impresso na calota.

A exposição a níveis de ruído além dos limites de tolerância especificados pela Norma Brasileira NR 15 - Anexo 1*, pode causar perdas ou danos auditivos. A Selenium não se responsabiliza pelo uso indevido de seus produtos. (*Portaria 3214/78).

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Diâmetro nominal	205 (8)	mm (in)
Impedância nominal	8	Ω
Impedância mínima @ 280 Hz	6,5	Ω
Potência		
Programa Musical ¹	250	W
RMS (NBR 10.303) ²	125	W
AES ³	125	W
Sensibilidade (2,83V@1m) média entre 100 e 6.000 Hz	92	dB SPL
Compressão de potência @ 0 dB (pot. nom.)	3,9	dB
Compressão de potência @ -3 dB (pot. nom.)/2	2,6	dB
Compressão de potência @ -10 dB (pot. nom.)/10	0,3	dB
Resposta de frequência @ -10 dB	70 a 8.000	Hz

¹ Especificações para uso de programa musical e de voz, permitindo distorção harmônica máxima no amplificador de 5%, sendo a potência calculada em função da tensão na saída do amplificador e da impedância nominal do transdutor.

² Norma Brasileira NBR 10.303, com a aplicação de ruído rosa durante 2 horas ininterruptas.

³ Norma AES (100 - 1.000 Hz).

PARÂMETROS DE THIELE-SMALL

Fs (frequência de ressonância)	69	Hz
Vas (volume equivalente do falante)	32	l
Qts (fator de qualidade total)	0,66	
Qes (fator de qualidade elétrico)	0,71	
Qms (fator de qualidade mecânico)	10,68	
ηo (eficiência de referência em meio espaço)	1,47	%
Sd (área efetiva do cone)	0,0250	m ²
Vd (volume deslocado)	58,75	cm ³
Xmáx (deslocamento máx. (pico) c/ 10% distorção)	2,35	mm
Xlim (deslocamento máx. (pico) antes do dano)	8,0	mm

Condições atmosféricas no local de medição dos parâmetros TS:

Temperatura	20	°C
Pressão atmosférica	1.012	mb
Umidade relativa do ar	50	%

Parâmetros de Thiele-Small medidos após amaciamento de 2 horas com metade da potência NBR.

É admitida uma tolerância de ± 15% nos valores especificados.

PARÂMETROS ADICIONAIS

βL	7,3	Tm
Densidade de fluxo no gap	1,10	T
Diâmetro da bobina	32	mm
Comprimento do fio da bobina	9,5	m
Coefficiente de temperatura do fio (α25)	0,00342	1/°C
Temperatura máxima da bobina	250	°C
θvc (temperatura máx. da bobina/potência máx.)	2,0	°C/W
Hvc (altura do enrolamento da bobina)	11,0	mm
Hag (altura do gap)	6,3	mm
Re (resistência da bobina)	6,1	Ω
Mms (massa móvel)	14,4	g
Cms (compliance mecânica)	369,9	μm/N
Rms (resistência mecânica da suspensão)	0,6	kg/s

PARÂMETROS NÃO-LINEARES

Le @ Fs (indutância da bobina na ressonância)	1,458	mH
Le @ 1 kHz (indutância da bobina em 1 kHz)	0,632	mH
Le @ 20 kHz (indutância da bobina em 20 kHz)	0,247	mH
Red @ Fs (resistência de perdas na ressonância)	0,14	Ω
Red @ 1 kHz (resistência de perdas em 1 kHz)	1,59	Ω
Red @ 20 kHz (resistência de perdas em 20 kHz)	23,64	Ω
Krm (coeficiente da resistência de perdas)	0,598	mΩ
Kxm (coeficiente da indutância da bobina)	9,811	mH
Erm (expoente da resistência de perdas da bobina)	0,902	

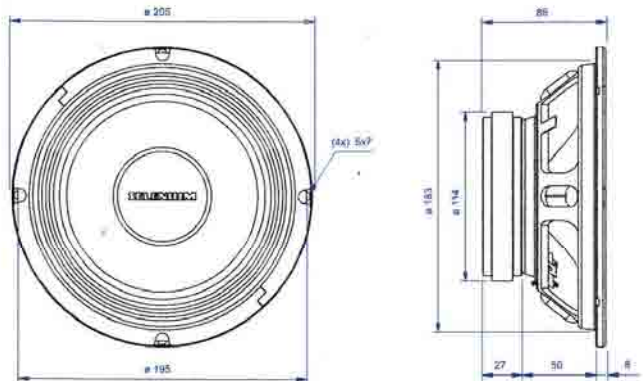


INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Material do ímã	Ferrite de bário
Peso do ímã	560 g
Diâmetro x altura do ímã	115 x 14 mm
Peso do conjunto magnético	1.520 g
Material da carcaça	Chapa de aço
Acabamento da carcaça	Pintura epoxi, cor preta
Material do fio da bobina	Cobre
Material da forma da bobina	Poliimida (Kapton®)
Material do cone	Celulose fibra longa
Volume ocupado pelo falante	0,6 l
Peso líquido do falante	1.780 g
Peso total (incluindo embalagem)	2.000 g
Dimensões da embalagem (C x L x A)	20,5 x 20,5 x 9 cm

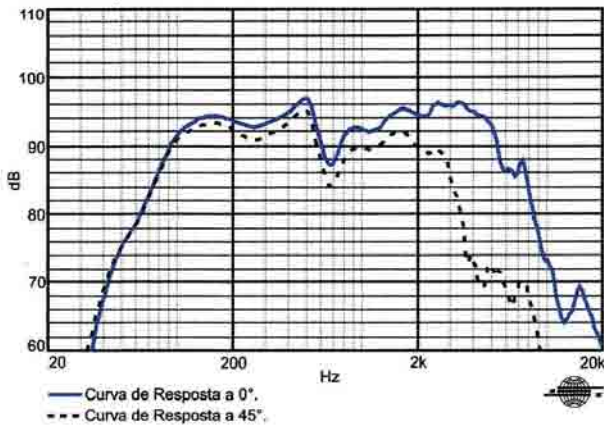
INFORMAÇÕES PARA MONTAGEM

Número de furos de fixação	4
Dimensões dos furos de fixação	5 x 7 mm
Diâmetro do círculo dos furos de fixação	195 mm
Diâmetro do corte para montagem frontal	185 mm
Diâmetro do corte para montagem traseira	180 mm
Tipo do conector	Soldável
Polaridade	Tensão + no (+): deslocamento p/ frente
Distância mín. entre parede da caixa e a traseira do falante	75 mm

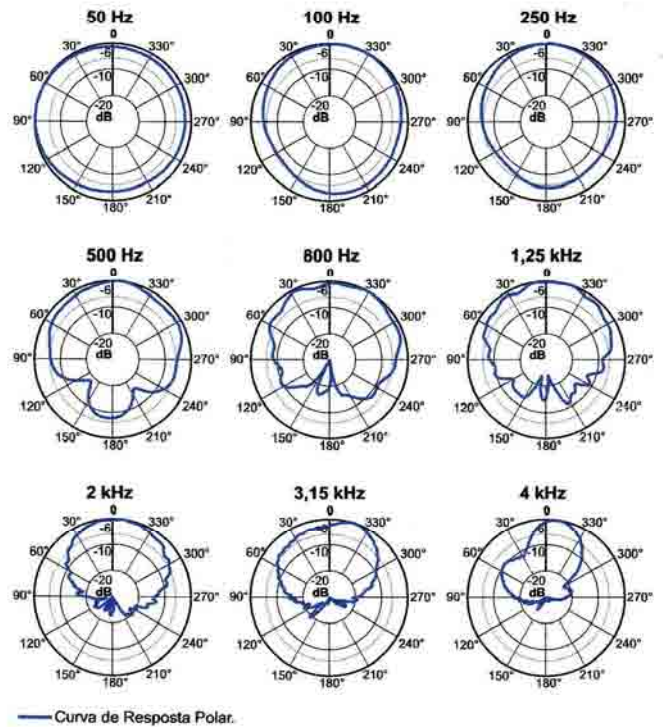


Dimensões em mm.

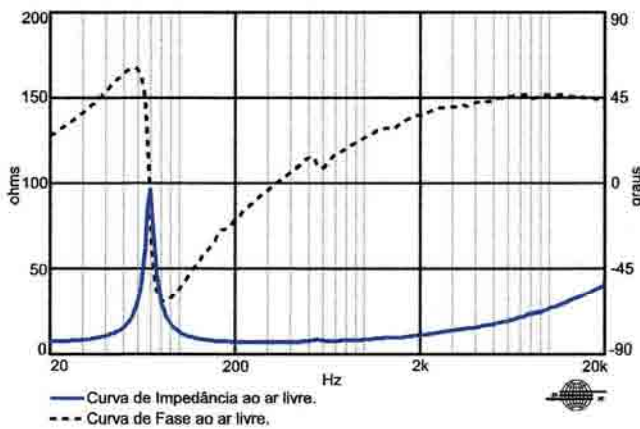
CURVAS DE RESPOSTA (0° e 45°) NA CAIXA DE TESTE EM CÂMARA ANECÓICA, 1 W / 1 m



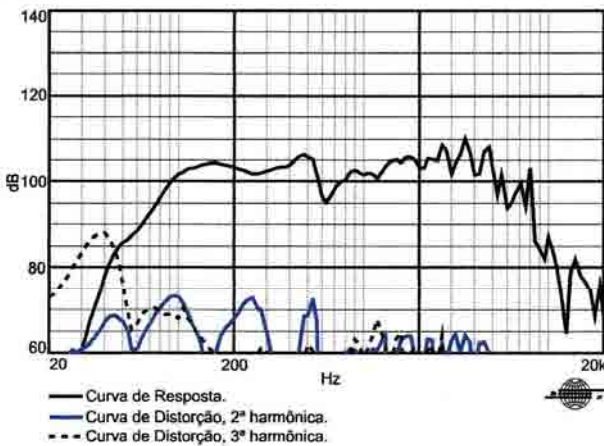
CURVAS DE RESPOSTA POLAR



CURVAS DE IMPEDÂNCIA E FASE AO AR LIVRE



CURVAS DE DISTORÇÃO HARMÔNICA A 10% DA POTÊNCIA NBR, A 1 m



CAIXA DE TESTE UTILIZADA

Caixa bass reflex c/ 1 duto Ø 7,5 cm e 5 cm de comprimento, volume interno de 19 litros.

Kapton®: Marca Registrada da Du Pont.

Devido aos avanços tecnológicos, reservamo-nos o direito de inserir modificações sem prévio aviso.

Cód.: 152021 Rev.: 03- 04/05

ELETRÔNICA SELENIUM S.A.
BR 386 Km 435 - Nova Santa Rita/RS - Brasil -
CEP 92480-000
Tel.: 51. 479 4000 Fax: 51. 479 1150
www.selenium.com.br
Atendimento Técnico: 0800 514161

FILIAL SÃO PAULO
Rua Aquinos, 157 - São Paulo/SP - Brasil - CEP 05036-070
PABX: 11.2126 6300 Fax: 11.2126 6360

SELENIUM USA / SELENIUM EUROPE
www.seleniumloudspeakers.com
Toll Free: 1800 5620510

***Anexo C – Relatórios do Programa de Controle da
Poluição Sonora da Secretaria
Municipal de Meio Ambiente da Cidade
do Rio de Janeiro***

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

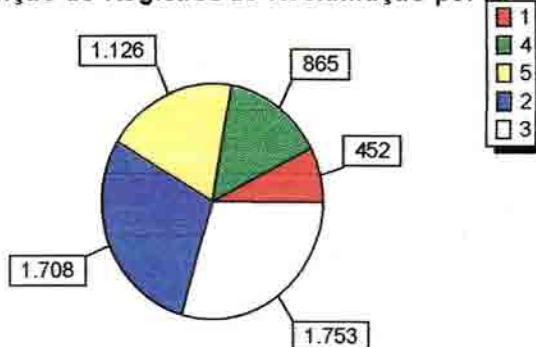
Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 1 de 21

Relatório do Programa de Controle da Poluição Sonora

Registros de Reclamação

Distribuição de Registros de Reclamação por AP



Distribuição dos Registros de Reclamação por Atividade

Atividade	Total
Academia / Clube / Afins	396
Antenas e Afins	6
Bar / Restaurante / Afins	1912
Carpintaria, Marcenaria e Serraria	10
Casa de Festas	41
Centro Comercial	70
Comércio	10
Complexos Turísticos e de Lazer, inclusive Parque Temático e Autódromo	14
Culto Religioso - Católico	29
Culto Religioso - Espirita	45
Culto Religioso - Outros	130
Culto Religioso - Protestante	377
Desconhecida	18
Entretenimento	625
Estabelecimentos de Ensino	404

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 2 de 21

Feira-Livre	15
Hospital / Clínica / Afins	54
Indústria	232
Loja de Música / Afins	34
Lojas Diversas	8
Marmoraria	9
Mercado / Padaria / Açougue / Afins	189
Metalúrgica	1
Obras	21
Oficina Mecânica	35
Orgão Público ou Assemelhado	39
Outros	682
Posto de Abastecimento	15
Residência	390
Serralheria e Afins	21
Transportadora / Afins	3
Total:	5904

Distribuição dos Registros de Reclamação por Atividade/AP

Atividade	Desconhecido	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
Academia / Clube / Afins	0	24	176	97	57	42
Antenas e Afins	0	0	6	0	0	0
Bar / Restaurante / Afins	0	158	383	668	224	479
Carpintaria, Marcenaria e Serraria	0	0	0	0	10	0
Casa de Festas	0	17	3	3	4	14
Centro Comercial	0	6	24	27	11	2
Comércio	0	0	0	0	10	0
Complexos Turísticos e de Lazer, inclusive Parque Temático e Autódromo	0	0	10	0	4	0
Culto Religioso - Católico	0	4	4	18	0	3
Culto Religioso - Espirita	0	0	8	24	5	8
Culto Religioso - Outros	0	20	24	44	23	19
Culto Religioso - Protestante	0	8	34	137	38	160
Desconhecida	0	0	1	0	0	17
Entretenimento	0	50	132	178	153	112
Estabelecimentos de Ensino	0	17	296	35	43	13
Eventos de Rua	0	9	8	22	15	15

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 3 de 21

Feira-Livre	0	5	8	0	1	1
Hospital / Clínica / Afins	0	2	43	2	2	5
Indústria	0	26	12	127	28	39
Loja de Música / Afins	0	14	2	5	2	11
Lojas Diversas	0	0	1	0	2	5
Marmoraria	0	0	0	0	8	1
Mercado / Padaria / Açougue / Afins	0	13	67	40	41	28
Metalúrgica	0	0	0	1	0	0
Obras	0	0	7	2	9	3
Oficina Mecânica	0	2	12	7	9	5
Orgão Público ou Assemelhado	0	2	21	8	5	3
Outros	0	62	278	172	60	110
Posto de Abastecimento	0	0	0	4	11	0
Residência	0	13	148	120	81	28
Serralheria e Afins	0	0	0	11	8	2
Transportadora / Afins	0	0	0	1	1	1
Total:	0	452	1708	1753	865	1126

Distribuição dos Registros de Reclamação por Fonte

Fonte	Total
Alarmes em imóveis	1
Animais	30
Aparelho Eletro-Eletrônico	9
Ar condicionado	101
Bate-estaca	13
Bomba d' água	27
Britadeira	81
Casa de Máquinas	11
Compressor	36
Desconhecido	502
Furadeira	3
Gerador	150
Juke Box	54
Maquinas e Equipamentos	398
Martelada	33
Motor	65

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 4 de 21

Moto-serra	3
Musica ao Vivo	959
Musica Mecânica	1993
Outros Ruídos	233
Serra	177
Sinaleira	108
Sinos	3
Sirene	24
Sistema de Exaustão	37
Veículo	9
Videokê	396
Voz Amplificada	444
Voz s/ Amplificação	4
Total:	5904

Distribuição dos Registros de Reclamação por Fonte/AP

Fonte	Desconhecido	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
Alarmes em imóveis	0	0	0	0	1	0
Animais	0	1	14	4	7	4
Aparelho Eletro-Eletrônico	0	5	1	1	0	2
Ar condicionado	0	11	81	2	2	5
Bate-estaca	0	0	9	1	3	0
Bomba d' água	0	1	11	9	6	0
Britadeira	0	6	58	8	9	0
Casa de Máquinas	0	4	4	0	0	3
Compressor	0	4	12	10	8	2
Desconhecido	0	26	75	252	63	86
Furadeira	0	0	3	0	0	0
Gerador	0	20	60	39	16	15
Juke Box	0	11	7	19	5	12
Maquinas e Equipamentos	0	29	221	82	43	23
Martelada	0	0	18	8	3	4
Motor	0	2	39	12	5	7
Moto-serra	0	0	1	1	0	1
Musica ao Vivo	0	86	217	289	146	221
Musica Mecânica	0	188	502	551	349	403

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 5 de 21

Outros Ruídos	0	12	70	103	37	11
Serra	0	10	35	58	52	22
Sinaleira	0	0	83	18	7	0
Sinos	0	0	2	0	1	0
Sirene	0	0	14	5	1	4
Sistema de Exaustão	0	5	27	2	3	0
Veículo	0	0	4	1	1	3
Videokê	0	15	47	147	47	140
Voz Amplificada	0	16	93	130	50	155
Voz s/ Amplificação	0	0	0	1	0	3
Total:	0	452	1708	1753	865	1126

Distribuição dos Registros de Reclamação por Bairro

Bairro	Total
Abolição	23
Acari	5
Água Santa	6
Alto da Boa Vista	9
Anchieta	49
Andaraí	59
Anil	26
Bancários	2
Bangu	215
Barra da Tijuca	188
Barra de Guaratiba	5
Barros Filho	2
Benfica	20
Bento Ribeiro	56
Bonsucesso	44
Botafogo	200
Brás de Pina	29
Cachambi	49
Cacúia	8
Caju	9
Camorim	2
Campinho	26
Campo Grande	355
Cascadura	33
Catete	54
Catumbi	4
Cavalcanti	12

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 6 de 21

Centro	223
Cidade de Deus	16
Cidade Nova	8
Cocotá	5
Coelho Neto	13
Colégio	6
Copacabana	285
Cordovil	23
Cosme Velho	11
Cosmos	21
Costa Barros	4
Curicica	57
Del Castilho	15
Deodoro	3
Encantado	9
Engenho da Rainha	10
Engenho de Dentro	29
Engenho Novo	46
Estácio	17
Fazenda Botafogo	2
Flamengo	71
Freguesia (I Gov.)	18
Freguesia (Jacar.)	80
Gamboa	1
Gardênia Azul	17
Gávea	20
Glória	28
Grajaú	45
Guadalupe	49
Guaratiba	25
Higienópolis	21
Honório Gurgel	12
Humaita	30
Ilha do Governador	57
Inhaúma	28
Inhoaíba	12
Ipanema	103
Irajá	75
Itanhangá	21
Jabour	12
Jacaré	14
Jacarepaguá	29
Jacarezinho	2
Jardim América	29

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 7 de 21

Jardim Botânico	48
Jardim Carioca	3
Jardim Guanabara	13
Jardim Sulacap	14
Joá	7
Lagoa	27
Laranjeiras	83
Leblon	82
Leme	18
Lins	27
Madureira	84
Magalhães Bastos	18
Mangueira	1
Manguinhos	2
Maracanã	43
Maré	3
Marechal Hermes	56
Maria da Graça	33
Meier	111
Olaria	78
Osvaldo Cruz	30
Paciência	39
Padre Miguel	58
Paquetá	14
Parada de Lucas	1
Parque Anchieta	9
Pavuna	35
Pechincha	23
Pedra de Guaratiba	33
Penha	63
Penha Circular	14
Piedade	59
Pilares	14
Portuguesa	2
Praça da Bandeira	8
Praça Seca	37
Quintino Bocaiúva	19
Ramos	30
Realengo	126
Recreio dos Bandeirantes	44
Riachuelo	9
Ribeira	19
Ric. Albuquerque	6
Rio Comprido ETR1	44

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 8 de 21

Rio das Pedras	25
Rocha	14
Rocha Miranda	25
Rocinha	9
Sampaio	2
Santa Cruz	71
Santa Tereza	43
Santissimo	26
Santo Cristo	9
São Conrado	15
São Cristovão	56
São Francisco Xavier	10
Saúde	3
Senador Camará	30
Senador Vasconcelos	15
Sepetiba	18
Tanque	17
Taquara	187
Taua	8
Tijuca	294
Todos os Santos	17
Tomás Coelho	9
Turiaçu	8
Urca	4
Vargem Grande	17
Vargem Pequena	8
Vaz Lobo	13
Vicente de Carvalho	20
Vidigal	1
Vigário Geral	3
Vila Cosmos	14
Vila da Penha	58
Vila Isabel	161
Vila Kennedy	30
Vila Valqueire ETR3	1
Vila Valqueire ETR4	64
Vista Alegre	17
Zumbi	3

Poluição Sonora

Período 1/1/2001 à 31/12/2001

Data da Impressão: 19/07/2007 10:13:42

Folha: 21 de 21

Ranking dos 10 mais ruidosos

Fonte	No. RV	Data do RV	Razão Social	Nome Fantasia	Endereço	Número	Bairro
93,7	00170938/2001	12/05/2001	PAULO SANTANA GOMES	BAR PAGODÃO DE MARECHAL	PRC MONTESE	2 Loja 7	Marechal Hermes
93,4	00120288/2001	04/08/2001	Bar e Restaurante São Sebastião LTDA.	Petisco da Vila	BLV VINTE E OITO DE SETEMBRO	238	Vila Isabel
92	00171231/2001	09/06/2001	RESTAURANTE E LANCHONETE CHANG 2004 LTDA	DOM CHAM	AVN MINIST EDGARD ROMERO	63	Madureira
90,7	00170925/2001	12/05/2001	Bar e Restaurante Estrela de Marechal Ltda	Cantinho da Toca	AVN GAL OSVALDO CORDEIRO DE FARIAS	84	Marechal Hermes
89,6	00119660/2001	31/03/2001	Bar e Restaurante São Sebastião LTDA.	Petisco da Vila	BLV VINTE E OITO DE SETEMBRO	238	Vila Isabel
89,5	00070046/2001	09/08/2001	Thunder Light Som e Iluminação Ltda.	Loja Sonorização Delta	RUA DA CONSTITUIÇÃO	57	Centro
89,4	00269696/2001	22/04/2001		Bar Saco do Céu	PRC NARCISO LUZES	107	Campo Grande
88	00270003/2001	15/07/2001	Paradise Restaurante da Pedra Ltda.	Clube Paradise	RUA BELCHIOR DA FONSECA	421	Pedra de Guaratiba
87,5	00270153/2001	12/08/2001		Boate Agito Paradise	RUA VELOSO ESPINHA		Pedra de Guaratiba
87,2	00119704/2001	07/04/2001		Residência	RUA ERERE	3	Humaita

Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

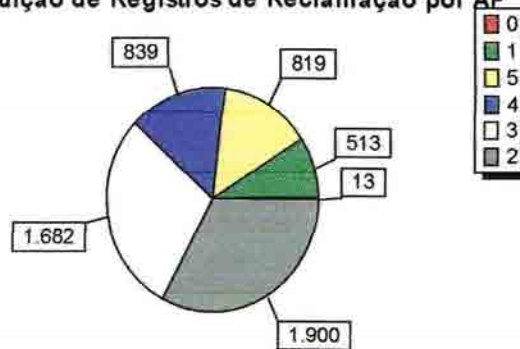
Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 1 de 21

Relatório do Programa de Controle da Poluição Sonora

Registros de Reclamação

Distribuição de Registros de Reclamação por AP



Distribuição dos Registros de Reclamação por Atividade

Atividade	Total
Academia / Clube / Afins	364
Atividade de Lazer e Transporte em Corpos Hídricos	1
Bar / Restaurante / Afins	2051
Carpintaria, Marcenaria e Serraria	2
Casa de Festas	89
Centro Comercial	40
Comércio	1
Complexos Turísticos e de Lazer, inclusive Parque Temático e Autódromo	3
Culto Religioso - Católico	24
Culto Religioso - Espirita	50
Culto Religioso - Outros	79
Culto Religioso - Protestante	355
Desconhecida	4
Entretenimento	628
Estabelecimentos de Ensino	317



Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 2 de 21

Feira-Livre	2
Hospital / Clínica / Afins	44
Indústria	211
Loja de Música / Afins	10
Lojas Diversas	5
Marmoraria	3
Mercado / Padaria / Açougue / Afins	187
Obras	29
Oficina Mecânica	28
Orgão Público ou Assemelhado	26
Outros	666
Posto de Abastecimento	2
Residência	494
Serralheria e Afins	5
Transportadora / Afins	2
Unidade de Conservação	3
Total:	5766

Distribuição dos Registros de Reclamação por Atividade/AP

Atividade	Desconhecido	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
Academia / Clube / Afins	0	9	167	83	61	44
Atividade de Lazer e Transporte em Corpos Hídricos	0	0	0	0	1	0
Bar / Restaurante / Afins	0	217	545	648	339	302
Carpintaria, Marcenaria e Serraria	0	0	1	0	1	0
Casa de Festas	0	1	9	8	27	44
Centro Comercial	0	2	17	7	12	2
Comércio	0	0	0	0	1	0
Complexos Turísticos e de Lazer, inclusive Parque Temático e Autódromo	0	0	0	0	3	0
Culto Religioso - Católico	0	5	14	5	0	0
Culto Religioso - Espirita	1	8	1	22	8	10
Culto Religioso - Outros	0	7	21	25	14	12
Culto Religioso - Protestante	1	20	38	130	41	125
Desconhecida	0	0	1	0	0	3
Entretenimento	0	84	174	218	95	57
Estabelecimentos de Ensino	0	9	229	35	37	7
Eventos de Rua	0	6	17	4	9	5

Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 3 de 21

Feira-Livre	0	1	1	0	0	0
Hospital / Clínica / Afins	0	2	34	3	2	3
Indústria	0	24	19	100	19	49
Loja de Música / Afins	0	0	4	3	0	3
Lojas Diversas	0	2	1	0	1	1
Marmoraria	0	0	0	1	2	0
Mercado / Padaria / Açougue / Afins	0	15	82	36	26	28
Obras	0	0	22	0	5	2
Oficina Mecânica	0	2	1	13	7	5
Orgão Público ou Assemelhado	0	1	19	5	1	0
Outros	11	86	277	185	54	53
Posto de Abastecimento	0	0	0	2	0	0
Residência	0	12	202	149	69	62
Serralheria e Afins	0	0	1	0	2	2
Transportadora / Afins	0	0	0	0	2	0
Unidade de Conservação	0	0	3	0	0	0
Total:	13	513	1900	1682	839	819

Distribuição dos Registros de Reclamação por Fonte

Fonte	Total
Alarmes em imóveis	1
Animais	16
Aparelho Eletro-Eletrônico	2
Ar condicionado	173
Bate-estaca	8
Bomba d' água	23
Britadeira	79
Casa de Máquinas	4
Compressor	55
Desconhecido	475
Furadeira	5
Gerador	133
Juke Box	27
Maquinas e Equipamentos	306
Martelada	94
Motor	24

Poluição Sonora

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 4 de 21

Moto-serra	1
Musica ao Vivo	1134
Musica Mecânica	1868
Outros Ruídos	144
Serra	176
Sinaleira	167
Sirene	18
Sistema de Exaustão	44
Veículo	4
Videokê	343
Voz Amplificada	441
Voz s/ Amplificação	1
Total:	5766

Distribuição dos Registros de Reclamação por Fonte/AP

Fonte	Desconhecido	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
Alarmes em imóveis	0	0	0	1	0	0
Animais	0	0	8	5	1	2
Aparelho Eletro-Eletrônico	0	0	0	1	0	1
Ar condicionado	0	14	132	14	9	4
Bate-estaca	0	0	4	0	4	0
Bomba d' água	0	3	14	2	3	1
Britadeira	0	3	60	9	6	1
Casa de Máquinas	0	0	1	0	2	1
Compressor	0	3	24	16	9	3
Desconhecido	10	43	191	127	53	51
Furadeira	0	1	2	2	0	0
Gerador	0	17	51	22	35	8
Juke Box	0	6	1	17	3	0
Maquinas e Equipamentos	0	32	141	69	35	29
Martelada	0	6	55	18	12	3
Motor	0	1	15	3	3	2
Moto-serra	0	0	1	0	0	0
Musica ao Vivo	1	140	294	364	167	168
Musica Mecânica	1	155	517	554	346	295
Outros Ruídos	0	18	46	50	17	13



Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 5 de 21

Serra	0	4	57	52	29	34
Sinaleira	0	1	115	38	13	0
Sirene	0	0	9	8	1	0
Sistema de Exaustão	0	2	30	11	1	0
Veículo	0	1	2	1	0	0
Videokê	0	21	47	157	48	70
Voz Amplificada	1	42	82	141	42	133
Voz s/ Amplificação	0	0	1	0	0	0
Total:	13	513	1900	1682	839	819

Distribuição dos Registros de Reclamação por Bairro

Bairro	Total
Abolição	17
Acarí	5
Água Santa	6
Alto da Boa Vista	11
Anchieta	60
Andaraí	51
Anil	27
Arpoador	3
Bancários	2
Bangu	135
Barra da Tijuca	200
Barra de Guaratiba	8
Barros Filho	2
Benfica	15
Bento Ribeiro	24
Bonsucesso	67
Botafogo	258
Brás de Pina	23
Cachambi	48
Cacúia	5
Caju	9
Camorim	4
Campinho	23
Campo Grande	272
Cascadura	31
Catete	65
Catumbi	13
Cavalcanti	26
Centro	269

Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 6 de 21

Cidade de Deus	20
Cidade Nova	9
Cocotá	2
Coelho Neto	22
Colégio	35
Copacabana	355
Cordovil	24
Cosme Velho	9
Cosmos	14
Costa Barros	6
Curicica	62
Del Castilho	3
Desconhecido	13
Encantado	14
Engenho da Rainha	14
Engenho de Dentro	43
Engenho Novo	26
Estácio	20
Flamengo	52
Freguesia (I Gov.)	4
Freguesia (Jacar.)	70
Gamboa	2
Gardênia Azul	9
Gávea	67
Glória	23
Grajaú	29
Guadalupe	25
Guaratiba	25
Higienópolis	9
Honório Gurgel	5
Humaita	36
Ilha do Governador	49
Inhaúma	27
Inhoaíba	5
Ipanema	121
Irajá	73
Itanhangá	20
Jabour	4
Jacaré	10
Jacarepaguá	30
Jardim América	24
Jardim Botânico	35
Jardim Carioca	2
Jardim Guanabara	27

Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 7 de 21

Jardim Sulacap	6
Joá	1
Lagoa	42
Lapa	2
Laranjeiras	96
Leblon	97
Leme	24
Lins	23
Madureira	45
Magalhães Bastos	16
Mangueira	2
Maracanã	46
Maré	1
Marechal Hermes	63
Maria da Graça	5
Meier	127
Moneró	5
Olaría	83
Oswaldo Cruz	22
Paciência	16
Padre Miguel	33
Paquetá	3
Parada de Lucas	2
Parque Anchieta	7
Pavuna	40
Pechincha	41
Pedra de Guaratiba	38
Penha	66
Penha Circular	30
Piedade	41
Pilares	13
Pitangueira	3
Portuguesa	6
Praça da Bandeira	20
Praça Seca	29
Quintino Bocaiúva	15
Ramos	22
Realengo	102
Recreio dos Bandeirantes	67
Riachuelo	15
Ribeira	10
Ric. Albuquerque	22
Rio Comprido ETR1	60
Rio das Pedras	26

Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 8 de 21

Rocha	13
Rocha Miranda	23
Rocinha	4
Sampaio	3
Santa Cruz	57
Santa Tereza	49
Santíssimo	18
Santo Cristo	6
São Conrado	19
São Cristovão	43
São Francisco Xavier	6
Saúde	11
Senador Camará	18
Senador Vasconcelos	4
Sepetiba	36
Tanque	6
Taquara	170
Taua	10
Tijuca	269
Todos os Santos	6
Tomás Coelho	6
Turiçu	14
Urca	5
Vargem Grande	11
Vargem Pequena	1
Vaz Lobo	22
Vicente de Carvalho	19
Vidigal	1
Vigário Geral	16
Vila Cosmos	15
Vila da Penha	62
Vila Isabel	162
Vila Kennedy	12
Vila Valqueire ETR3	1
Vila Valqueire ETR4	45
Vista Alegre	17

Poluição Sonora

Período 1/1/2002 à 31/12/2002

Data da Impressão: 19/07/2007 10:08:21

Folha: 21 de 21

Ranking dos 10 mais ruidosos

Fonte	No. RV	Data do RV	Razão Social	Nome Fantasia	Endereço	Número	Bairro
94,9	00273930/2002	29/09/2002		CULTO RELIGIOSO	RUA DO GOVERNO	66	Realengo
88,3	00271901/2002	17/05/2002	Castellamarres Sorvetes e Comestíveis Ltda	Nautillus	RUA DO CATETE	124	Catete
87,7	00272375/2002	15/06/2002	Bar e Restaurante São Sebastião LTDA.	Petisco da Vila	BLV VINTE E OITO DE SETEMBRO	238	Vila Isabel
87,4	00271794/2002	11/05/2002		Chopp Gol	RUA FELIPE CAMARAO	8	Vila Isabel
87,1	00273171/2002	16/08/2002	BAR FOGÃO DE LENHA CAMPO GRANDE LTDA - ME	Bar Fogão de Lenha	ETR GUANDU DO SAPE	43	Campo Grande
86,9	00271879/2002	18/05/2002	GRES FOLIÕES DE BOTAFOGO	Quadra Escola de Samba	TRV DO MOSQUEIRA	9	Centro
86,8	00271641/2002	26/04/2002		Pancks Bar	RUA CONEGO DE VASCONCELOS	s/n	Bangu
86,3	00272910/2002	02/08/2002	Bar e Lanchonete Good Luck Ltda	Bar Fantasma da Ópera	RUA ALVES MONTES	41 Lj C	São Cristóvão
86,2	00121085/2002	16/02/2002		Quilisque da orla 21	AVN ATLANTICA	esq. c/ Figueiredo Magalhães (posto IV).	Copacabana
86,1	00272441/2002	03/07/2002		Eventos no espaço do CIRCO VOADOR	PRC CARDEAL CAMARA	sem n.º	Centro

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

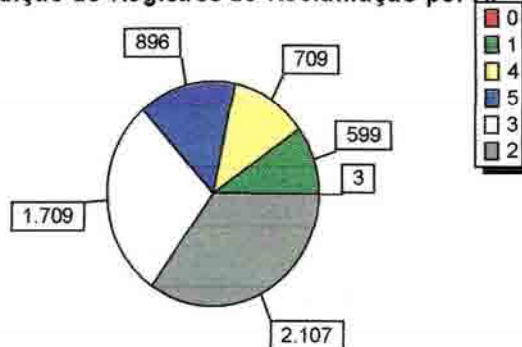
Data da Impressão: 19/07/2007 10:05:30

Folha: 1 de 21

Relatório do Programa de Controle da Poluição Sonora

Registros de Reclamação

Distribuição de Registros de Reclamação por AP



Distribuição dos Registros de Reclamação por Atividade

Atividade	Total
Academia / Clube / Afins	471
Atividade de Lazer e Transporte em Corpos Hídricos	1
Bar / Restaurante / Afins	2132
Carpintaria, Marcenaria e Serraria	1
Casa de Festas	41
Centro Comercial	45
Complexos Turísticos e de Lazer, inclusive Parque Temático e Autódromo	1
Culto Religioso - Católico	34
Culto Religioso - Espirita	55
Culto Religioso - Outros	107
Culto Religioso - Protestante	462
Entretenimento	627
Estabelecimentos de Ensino	408
Eventos de Rua	16
Feira-Livre	6

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 2 de 21

Indústria	178
Lavanderia / Tinturaria / Afins	2
Loja de Música / Afins	24
Lojas Diversas	8
Marmoraria	5
Mercado / Padaria / Açougue / Afins	152
Metrô, Bonde Elétrico, VTL e outros	1
Obras	13
Oficina Mecânica	41
Orgão Público ou Assemblado	32
Outros	713
Posto de Abastecimento	4
Residência	377
Serralheria e Afins	4
Transportadora / Afins	2
Total:	6023

Distribuição dos Registros de Reclamação por Atividade/AP

Atividade	Desconhecido	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
Academia / Clube / Afins	0	13	244	133	57	24
Atividade de Lazer e Transporte em Corpos Hídricos	0	0	0	0	1	0
Bar / Restaurante / Afins	0	230	631	655	266	350
Carpintaria, Marcenaria e Serraria	0	0	0	0	1	0
Casa de Festas	0	0	7	4	13	17
Centro Comercial	0	2	22	12	5	4
Complexos Turísticos e de Lazer, inclusive Parque Temático e Autódromo	0	0	0	1	0	0
Culto Religioso - Católico	0	11	12	7	3	1
Culto Religioso - Espirita	0	5	6	20	6	18
Culto Religioso - Outros	1	7	37	29	9	24
Culto Religioso - Protestante	0	28	51	177	56	150
Entretenimento	0	99	139	195	101	93
Estabelecimentos de Ensino	1	31	277	40	37	22
Eventos de Rua	0	4	1	2	4	5
Feira-Livre	0	3	3	0	0	0
Hospital / Clínica / Afins	0	4	29	24	0	3
Indústria	0	19	20	81	23	35

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 3 de 21

Lavanderia / Tinturaria / Afins	0	0	2	0	0	0
Loja de Música / Afins	0	10	6	6	1	1
Lojas Diversas	0	0	4	0	0	4
Marmoraria	0	0	0	5	0	0
Mercado / Padaria / Açougue / Afins	0	11	57	42	13	29
Metrô, Bonde Elétrico, VTL e outros	0	0	1	0	0	0
Obras	0	0	8	2	1	2
Oficina Mecânica	0	0	2	26	5	8
Orgão Público ou Assemblado	0	3	20	7	1	1
Outros	0	105	306	165	61	76
Posto de Abastecimento	0	0	2	1	0	1
Residência	0	14	220	72	43	28
Serralheria e Afins	0	0	0	2	2	0
Transportadora / Afins	1	0	0	1	0	0
Total:	3	599	2107	1709	709	896

Distribuição dos Registros de Reclamação por Fonte

Fonte	Total
Alarmes em imóveis	25
Animais	27
Aparelho Eletro-Eletrônico	20
Ar condicionado	122
Bate-estaca	24
Bomba d' água	25
Britadeira	91
Compressor	57
Desconhecido	469
Furadeira	3
Gerador	72
Juke Box	33
Maquinas e Equipamentos	246
Martelada	30
Motor	31
Moto-serra	2
Musica ao Vivo	1474
Musica Mecânica	1649

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 4 de 21

Outros Ruídos	192
Serra	193
Sinaleira	223
Sinos	20
Sirene	5
Sistema de Exaustão	66
Veículo	4
Videokê	402
Voz Amplificada	513
Voz s/ Amplificação	5
Total:	6023

Distribuição dos Registros de Reclamação por Fonte/AP

Fonte	Desconhecido	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
Alarmes em imóveis	0	2	7	11	1	4
Animais	0	0	15	6	2	4
Aparelho Eletro-Eletrônico	0	6	1	9	0	4
Ar condicionado	0	10	96	13	3	0
Bate-estaca	0	1	13	5	5	0
Bomba d' água	0	1	18	5	1	0
Britadeira	0	3	75	6	5	2
Compressor	0	2	26	23	4	2
Desconhecido	2	41	164	146	40	76
Furadeira	0	1	2	0	0	0
Gerador	0	8	34	19	7	4
Juke Box	0	15	1	9	6	2
Maquinas e Equipamentos	0	30	95	61	39	21
Martelada	0	0	21	5	1	3
Motor	0	1	14	12	4	0
Moto-serra	0	0	0	0	2	0
Musica ao Vivo	1	180	482	423	187	201
Musica Mecânica	0	181	471	484	252	261
Outros Ruídos	0	13	97	49	16	17
Serra	0	5	86	68	20	14
Sinaleira	0	5	181	22	14	1
Sinos	0	8	8	0	4	0

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 5 de 21

Sirene	0	0	3	1	1	0
Sistema de Exaustão	0	4	50	12	0	0
Veículo	0	0	1	1	0	2
Videokê	0	22	42	163	46	129
Voz Amplificada	0	58	102	155	49	149
Voz s/ Amplificação	0	2	2	1	0	0
Total:	3	599	2107	1709	709	896

Distribuição dos Registros de Reclamação por Bairro

Bairro	Total
Abolição	12
Acari	3
Água Santa	4
Alto da Boa Vista	25
Anchieta	60
Andaraí	71
Anil	15
Arpoador	3
Bancários	6
Bangu	152
Barra da Tijuca	154
Barra de Guaratiba	2
Barros Filho	1
Benfica	11
Bento Ribeiro	37
Bonsucesso	61
Botafogo	252
Brás de Pina	46
Cachambi	48
Cacúia	1
Caju	3
Camorim	6
Campinho	15
Campo Grande	287
Campos dos Afonsos	1
Cascadura	51
Catete	65
Catumbi	7
Cavalcanti	9
Centro	331
Cidade de Deus	10
Cidade Nova	16

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 6 de 21

Cocota	1
Cocotá	2
Coelho Neto	4
Colégio	3
Copacabana	335
Cordovil	36
Cosme Velho	24
Cosmos	21
Costa Barros	1
Curicica	38
Del Castilho	14
Deodoro	3
Desconhecido	2
Encantado	16
Engenho da Rainha	13
Engenho de Dentro	50
Engenho Leal	1
Engenho Novo	57
Estácio	14
Fazenda Botafogo	2
Flamengo	92
Fora do Município do RJ	1
Freguesia (I Gov.)	7
Freguesia (Jacar.)	64
Gamboa	8
Gardênia Azul	9
Gávea	40
Glória	23
Grajaú	69
Guadalupe	50
Guaratiba	14
Higienópolis	9
Honório Gurgel	9
Humaita	38
Ilha do Governador	56
Inhaúma	27
Inhoaíba	4
Ipanema	90
Irajá	44
Itanhangá	10
Jabour	4
Jacaré	7
Jacarepaguá	48
Jardim América	22

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 7 de 21

Jardim Botânico	84
Jardim Carioca	4
Jardim Guanabara	11
Jardim Sulacap	9
Lagoa	34
Lapa	1
Laranjeiras	165
Leblon	84
Leme	42
Lins	21
Madureira	68
Magalhães Bastos	26
Mangueira	1
Manguinhos	35
Maracanã	49
Maré	4
Marechal Hermes	41
Maria da Graça	14
Meier	108
Moneró	7
Olaria	73
Oswaldo Cruz	25
Paciência	20
Padre Miguel	60
Paquetá	9
Parada de Lucas	6
Parque Anchieta	7
Pavuna	24
Pechincha	24
Pedra de Guaratiba	23
Penha	37
Penha Circular	8
Piedade	32
Pilares	15
Pitangueira	4
Portuguesa	6
Praça da Bandeira	33
Praça Seca	40
Quintino Bocaiúva	34
Ramos	25
Realengo	98
Recreio dos Bandeirantes	65
Riachuelo	9
Ribeira	2

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 8 de 21

Ric. Albuquerque	28
Rio Comprido ETR1	61
Rio das Pedras	3
Rocha	17
Rocha Miranda	25
Sampaio	1
Santa Cruz	61
Santa Tereza	34
Santíssimo	21
Santo Cristo	3
São Conrado	12
São Cristovão	89
São Francisco Xavier	1
Saúde	11
Senador Camará	45
Senador Vasconcelos	10
Sepetiba	21
Tanque	11
Taquara	125
Tijuca	292
Todos os Santos	10
Tomás Coelho	5
Turiçu	4
Urca	12
Vargem Grande	25
Vargem Pequena	5
Vaz Lobo	8
Vicente de Carvalho	53
Vidigal	3
Vigário Geral	11
Vila Cosmos	2
Vila da Penha	107
Vila Isabel	170
Vila Kennedy	14
Vila Valqueire ETR3	2
Vila Valqueire ETR4	57
Vista Alegre	21
Zumbi	9

Poluição Sonora

Período 1/1/2003 à 31/12/2003

Data da Impressão: 19/07/2007 10:03:57

Folha: 21 de 21

Ranking dos 10 mais ruidosos

Fonte	No. RV	Data do RV	Razão Social	Nome Fantasia	Endereço	Número	Bairro
96,9	00275436/2003	27/02/2003	Fresenius Kabi Brasil Ltda.	Empresa Dinâmica	RUA CABUCU	116	Lins
96,2	00278025/2003	09/10/2003	MDL Membrana Digital Componentes Eletrônicos Ltda		RUA DIOMEDES TROTA	285	Ramos
94,2	00278654/2003	23/11/2003	Bloco Carnavalesco Boi da Ilha	Boi da Ilha	RUA PIO DUTRA	279	Freguesia (I Gov.)
91	00278285/2003	25/10/2003	Padaria e Confeitaria Arcos da Lapa Ltda.	Padaria Monica e Moacir	RUA JOAQUIM SILVA	139	Centro
90,7	00274810/2003	19/01/2003	Igreja Batista Imigrante Independente Missionária	Igreja Batista Imigrante Independente Missionária	RUA ARARANGUA	886	Cosmos
90,5	00275645/2003	25/03/2003	Metalfenas Industria da Construção Ltda.	Serralheria	RUA CAROLINA MACHADO	2150	Marechal Hermes
90,3	00278018/2003	10/10/2003	Auto Posto de Trabalho X Ltda	Posto Forza	RUA IBIAPINA	345	Olaría
90,1	00275985/2003	08/04/2003	Sucama Comércio de Metais e Sucatas Ltda.	Serralheria	RUA CAOBI	285	Irajá
89,7	00274962/2003	02/02/2003		BAR DO RAFAEL	RUA CANDIDÓ BENICIO	2197	Praça Seca
89,7	00274971/2003	02/02/2003		BARRIL 8000 - Condado de Cascais	AVN ARMANDO LOMBARDI	800	Barra da Tijuca

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, C; PIZZUTTI, J.L. “*Controle de Poluição Sonora no Rio Grande do Sul*”. IN: Congresso Iberoamericano de Acústica, 1; Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica do Mercosul, 1; Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p.443-446.
- BERANECK, L. “*Acoustics*”. 1ª ed. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1954.
- BERISTAIN, S. “*El Ruído Es Un Serio Contaminante*”. IN: Congresso Iberoamericano de Acústica, 1; Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica do Mercosul, 1; Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p.135-142.
- BIRT, D. “*Nonlinearities in Moving Coil Loudspeaker With Overhung Voice Coils*”. 88ª Convenção Audio Engineering Society, 1990.
- BOONE, M.M.; OUWELTJES, O. “*Design of a Loudspeaker System with a Low-Frequency Cardioidlike Radiation Pattern*”. Journal of Audio Engineering Society, vol 45, 1997. p. 702-706.

- CONDE, V.A. “ISO 14000: Desenvolvendo o Veículo Verde”. IN: Sinpósio Brasileiro de Acústica Veicular, 3, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SIBRAV, 1995.
- DICKASON, V. “*The Loudspeaker Design Cookbook*”. 5ª ed. Peterborough: AA Publications, 1995.
- EARGLE, J. “*Loudspeaker Handbook*”. 2ª ed. Boston: Kluwer Academic Publisgers, 2003.
- ENGBRETSON, M. E. “*Low Frequency Sound Reproduction*”. Journal of Audio Engineering Society, vol32, 1984.
- GANDER, M. “*Moving Coil Loudspeaker Topology As An Indicator of Linear Excursion Capability*”. Journal of Acoustical Society of America, vol. 21, 1981.
- HALL, D. E. “*Basic Acoustics*”. 1ª ed. New York: Harper e Row Publishers, 1987.
- JORNAL O GLOBO ON LINE. “*Exposição ao barulho intenso pode levar a tumor*”. Rio de Janeiro: 23 de fevereiro de 2006. Disponível em <http://oglobo.globo.com>. Acessado em 07 de agosto de 2007.
- LIAN, R. “*Distortion Mechanisms in the Electrodynamc Motor System*”. 84ª Convenção da Audio Engineering Society, 1988.
- NEPOMUCENO, L. X. “*Acústica Técnica*”. 1ª ed. São Paulo: ETEGIL, 1968.

- OLSON, H. F. *“Acoustical Engineering”*. 1ª ed. New York: D. Van Nostrand CO., 1957.
- PIMENTEL-SOUZA, F. *“Efeitos da Poluição Sonora no Sono e na Saúde em Geral: Ênfase Urbana”*. Revista de Acústica e Vibrações, vol. 10. Florianópolis: SOBRAC, 1992. p. 12-22.
- RIVAS, I.S. *“Contaminacion Ambiental por Ruído”*. IN: Congresso Mexicano de Acústica, 1, 1994, Monterrey. **Anais...** Monterrey, 1994. p. 219-225.
- ROSSI, M. *“Electroacoustique”*. 1ª ed. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 1986.
- SILVA, P. *“Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar”*. 4ª ed. Belo Horizonte: EDTA, 2002.
- SLAMA, J. G.; NIEMEYER, M. L.A. *“Estratégias para Elaboração de uma Legislação para o Controle de Ruído Urbano em região de Clima Tropical Úmido”*. IN: Congresso Iberoamericano de Acústica, 1; Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica do Mercosul, 1; Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p.499-502.
- SMALL, R. *“Closed Box Loudspeaker System: Parts I and II”*. Journal of Audio Engineering Society, vols. 20 e 21, 1973.

- THIELE, A. N. *“Loudspeakers in Vented Boxes: Parts I and II”*. Journal of Audio Engineering Society, vol 19, 1971
- TRUPAN – ARAUCO DO BRASIL. Disponível em <http://www.trupan.com.br>. Acessado em 15 de agosto de 2007.