

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA
MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DOS
PROTETORES AUDITIVOS:
ESTUDO DE CASO COMPARATIVO EM LABORATÓRIO
E EM CAMPO.**

Tese de Doutorado

**DOUTORANDO: Germano Riffel
ORIENTADOR : Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph.D.**

**FLORIANÓPOLIS
2001**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA
MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DOS
PROTETORES AUDITIVOS:
ESTUDO DE CASO COMPARATIVO EM LABORATÓRIO
E EM CAMPO.**

Germano Riffel

Tese apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para obtenção
do título de Doutor
em Engenharia de Produção

**FLORIANÓPOLIS
2001**

Germano Riffel

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA
MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DOS
PROTETORES AUDITIVOS:
ESTUDO DE CASO COMPARATIVO EM LABORATÓRIO
E EM CAMPO.**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção** no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 09 de abril de 2001

Prof. Ricardo de Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenado do Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Samir Nagi Yousri Gerges, Ph.D.
Orientador

Prof. Neri dos Santos, Dr. Ing.
Co-orientador

Prof^a. Ana Regina Aguiar Dutra, Dra. Eng.
Moderadora

Prof. Robert Samuel Birch, Ph.D. Jorge C. da Silva Pinto, Dr. Eng.

À esposa, *Luci*,
e aos nossos filhos *Suzana e Eduard* agradeço
todo o amor, companheirismo, incentivo e o apoio
que sempre recebi de vocês.

Agradecimentos

Agradeço ao Criador pela minha existência e por tudo o que sempre me proporcionou, em especial por ter uma família.

À Universidade Federal de Santa Catarina, que através da sua administração sempre colaborou para a realização desta importante etapa profissional.

Agradeço ao Prof. Samir pelos ensinamentos técnicos, pelo apoio, incentivo e paciência na orientação para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus companheiros de caminhada nesta jornada na busca do aperfeiçoamento do conhecimento.

Aos mestres (professores) da graduação e pós-graduação que sempre transmitiram sem restrições, o saber preparando-nos para este estágio acadêmico e profissional.

A todas as pessoas que de alguma forma participaram e colaboraram no processo de desenvolvimento do meio universitário, de maneira a proporcionar sempre as melhores condições possíveis.

Ao citar nomes, posso incorrer no risco de esquecer de alguém e isto não seria justo de minha parte pois todas as pessoas foram e continuam sendo importantes na minha vida. Agradeço a todos pelo êxito deste trabalho.

Sumário

Lista de Figuras.....	p. viii
Lista de Tabelas.....	p. xii
Lista de Reduções.....	p. xiv
Resumo	p. xvi
Abstract	p.xviii
1 INTRODUÇÃO.....	p. 1
1.2 OBJETIVOS.....	p. 5
1.2.1 Objetivo geral.....	p. 5
1.2.2 Específicos	p. 5
1.3 Delimitação do estudo	p. 6
1.4 Organização do estudo.....	p. 7
2 SISTEMA AUDITIVO E SUA PROTEÇÃO.....	p. 9
2.1 Introdução.....	p. 8
2.2 Ouvido humano	p. 8
2.2.1 Percepção sonora.....	p. 9
2.2.2 Perda da audição.....	p. 11
2.3 Protetores auditivos	p. 13
2.3.1 Classificação quanto a tipo e funcionamento.....	p. 15
2.3.2 Fatores que alteram seu desempenho	p. 18
2.3.2.1 Vedação sonora.....	p. 18
2.3.2.2 Efeitos da oclusão	p. 20
2.3.3 Tipos e características dos protetores auditivos	p. 21
2.3.3.1 Protetores tipo plug ou de inserção	p. 22
2.3.3.2 Protetores do tipo concha	p. 23
2.3.3.3 Uso em conjunto dos protetores do tipo plug, com os do tipo concha	p. 24
2.4 Conclusão.....	p. 26
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E NORMAS INTERNACIONAIS RELACIONADAS AO ENSAIO DOS PROTETORES AUDITIVOS.	p. 27
3.1 Introdução.....	p. 27
3.2 Revisão bibliográfica.....	p. 28
3.3 Conclusão sobre a revisão bibliográfica	p. 54
3.4 Normas internacionais para ensaios de atenuação do ruído dos protetores auditivos.	p. 55
3.4.1 Introdução.....	p. 55
3.4.2 ANSI S3.19/ 1974	p. 56
3.4.3 ANSI S12.6/ 1984	p. 57
3.4.4 ANSI S12.6/ 1997	p. 57
3.4.5 ISO 4869-1/ 1990	p. 63
3.4.6 Comentários e conclusão sobre as normas.....	p. 67

4 QUALIFICAÇÃO DO AMBIENTE DE TESTE	p. 70
4.1 Introdução.....	p. 70
4.2 Descrição da câmara acústica.....	p. 70
4.3 Tempo de reverberação (TR)	p. 72
4.3.1 Montagem do sistema de medição do tempo de reverberação.	p. 74
4.3.2 Desenvolvimento e resultado das medições.....	p. 75
4.3.3 Painéis vibrantes tipo membrana (100 E 160 Hz).....	p. 78
4.3.3.1 Testes dos painéis vibrantes	p. 79
4.4 Uniformidade do campo sonoro.....	p. 83
4.4.1 Montagem do sistema para medir a uniformidade do campo sonoro. p.	85
4.4.2 Desenvolvimento e resultados das medições.....	p. 85
4.5 Diretividade do campo sonoro	p. 86
4.5.1 Montagem do sistema para medir a diretividade do campo sonoro....	p. 88
4.5.2 Desenvolvimento e resultados das medições.....	p. 88
4.6 Ruído de fundo	p. 93
4.6.1 Montagem do sistema para medir o ruído de fundo dentro da câmara.....	p. 93
4.6.2 Desenvolvimento e resultados das medições.....	p. 94
4.7 Caixas acústicas.....	p. 96
4.7.1 Teste e curva de resposta em frequência (CRF).	p. 97
4.8 Cabina audiométrica.....	p.110
4.8.1 Montagem do sistema para medir a redução de ruído da cabina audiométrica.	p.101
4.8.2 Desenvolvimento e resultado das medições.....	p.101
4.8.3 Sala (ambiente) da cabina audiométrica	p.102
4.8.3.1 Montagem do sistema para medir o ruído na sala da cabina audiométrica.	p.103
4.8.3.2 Desenvolvimento e resultado das medições.....	p.103
4.9 Vista interna da câmara acústica qualificada.....	p.104
4.10 Conclusão.....	p.105
5 SISTEMA DE MEDIÇÃO DA ATENUAÇÃO DE RUÍDO DOS PROTETORES AUDITIVOS	p.107
5.1 Introdução.....	p.107
5.2 Sistema de medição usando equipamentos B&K	p.108
5.3 Sistema com Audiômetro AC-40 e computador PC.....	p.109
5.3.1 Qualificação do sinal pulsado emitido pelo audiômetro AC-40	p.109
5.3.1.1 Teste do sinal pulsado	p.110
5.3.2 Verificação do sinal em banda de 1/3 na saída do AC-40.	p.111
5.3.3 Verificação do atenuador passivo (PAD)	p.112
5.3.3.1 Teste do atenuador passivo.....	p.112
5.3.4 HL x NPS (SPL).....	p.114
5.3.4.1 Testes do HL x NPS	p.114
5.3.5 Software para o teste de protetores auditivos.....	p.115
5.4 Conclusão.....	p.124

6 SELEÇÃO DE MICROFONES E EQUIPAMENTOS PARA AS MEDIÇÕES	p.125
6.1 Introdução.....	p.125
6.2 Pesquisa bibliográfica.....	p.127
6.3 Verificação dos equipamentos para ensaios.	p.133
6.3.1 Verificação dos dosímetros.....	p.133
6.3.2 Microfones capacitivos para medições	p.137
6.3.3 Microfones eletreto: testes e calibração	p.140
6.3.3.1 Microfones eletreto vermelho e eletreto branco (três vias)	p.146
6.3.3.2 Microfones eletreto vermelho e B&K.....	p.148
6.3.3.3 Microfones eletreto branco e capacitivo B&K	p.150
6.4 Microfones para medir NPS com excitação de potência sonora abaixo de 60 dB.....	p.153
6.5 Conclusão.....	p.156
7 ENSAIOS DE PROTETORES AUDITIVO TIPO CONCHA	p.158
7.1 Introdução.....	p.158
7.2 Testes objetivos com cabeças artificial.....	p.160
7.2.1 Ensaios de atenuação com cabeça artificial de ferro fundido sob duas condições.....	p.160
7.2.2 Ensaios de atenuação com cabeça artificial do manequim sob duas condições.....	p.166
7.2.3 Ensaios de atenuação com cabeça artificial de ferro fundido aplicando a perda por inserção (PI).....	p.170
7.3 Ensaios de atenuação com pessoas	p.172
7.3.1 Limiar de atenuação em ouvido real (REAT).....	p.172
7.3.2 Ensaios objetivos com dois microfones	p.172
7.3.3 Ensaios de atenuação com pessoas em situação real de trabalho.	p.178
7.4 Conclusão.....	p.182
8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS p.185	
8.1 Conclusão.....	p.185
8.2 Recomendações para trabalhos futuros	p.188
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	p.189
ANEXOS	p.195

Lista de Figuras

FIGURA 2.1: Ouvido humano e a representação física do seu funcionamento (6).	p. 10
FIGURA 2.2: Planificação da cóclea e frequências (6).	p. 12
FIGURA 2.3: Classificação dos dispositivos de proteção auditiva (9).	p. 16
FIGURA 2.4: A,B,C, e D, percurso do som até a orelha interna com o uso do protetor tipo plug (inserção) (9).	p. 17
FIGURA 2.5: A,B,C e D, percurso do som até a orelha interna, com o uso do protetor tipo concha (9).	p. 17
FIGURA 2.6: Ilustração com detalhes de dois tipos de protetores com atenuação uniforme (11).	p. 19
FIGURA 2.7: Valores médios de atenuação, de diversos tipos de protetores auditivos (9).	p. 22
FIGURA 2.8: Atenuação média e combinação de dois tipos de protetores (9).	p. 24
FIGURA 3.1: Sistema de medição do campo sonoro, em volta de um terminado ponto (16).	p. 29
FIGURA 3.2: Perda por inserção (PI ou IL) e redução de ruído (RR ou NR). (4).	p. 30
FIGURA 3.3: Medição da redução sonora obtida em laboratório, por frequência (17).	p. 31
FIGURA 3.4: Comparação dos valores obtidos em laboratório e no local de trabalho para cinco tipos de protetores auditivos (9).	p. 34
FIGURA 3.5: Tipos de fala com sete consoantes e os erros em função da posição nas palavras (20).	p. 35
FIGURA 3.6: Número de acidentes pessoais em indústria durante dois anos em função da exposição em nível de ruído elevado e baixo (20).	p. 36
FIGURA 3.7: Média estimada da mudança permanente do limiar auditivo, causado por ruído em função do tempo em anos (10).	p. 38
FIGURA 3.8: Inter-relação dos métodos usados em laboratório e no campo (10).	p. 39
FIGURA 3.9: Atenuação em ouvido real de diversos protetores (11).	p. 41
FIGURA 3.10: Índice de conforto (CI) e índice de aceitabilidade (AI) da pressão do arco do protetor (31).	p. 46
FIGURA 3.11: Atenuação de quatro protetores auditivos, por procedimentos de colocação e por frequência nas bandas de 1/3 de oitava (33).	p. 47
FIGURA 3.12: Atenuação dos protetores antes, durante e depois dos testes dinâmicos (33).	p. 48
FIGURA 3.13: Escala média de conforto do tipo Bipolar (34).	p. 49

- FIGURA 3.14: Média do índice de conforto (CI) para 3 tipos de protetores auditivos.(as letras maiúsculas representam os ouvintes não treinados e as minúsculas os ouvintes treinados) (34). p. 50
- FIGURA 3.15: Atenuação média por procedimento de colocação, nas três semanas (35).p. 51
- FIGURA 3.16: Comparação entre os dados da NRR_{84} obtidos no Virginia Tech (VT) e os dados dos fabricantes de quatro tipos de protetores (35).p. 52
- FIGURA 3.17: Atenuação de protetor auditivo tipo concha, realizado sob três condições diferentes (mundo real = uso em campo) . . .p. 53
- FIGURA 4.1: Vista da ferragem e da malha metálica que foi embutida no concreto durante a construção da câmara do Laboratório de Ruído Industrial da UFSC (Foto Prof. Samir).....p. 72
- FIGURA 4.2: Representação gráfica do tempo de reverberação.p. 74
- FIGURA 4.3: Ponto de referência(medidas internas em metros +/- 0,005).p. 75
- FIGURA 4.4: Croqui da câmara reverberante do LVA com painel, fonte e posições do microfone. (medidas em metro)p. 80
- FIGURA 4.5: Curva do painel de 100 Hz e o coeficiente de absorção nas freqüências de 100 a 8000 Hz.p. 82
- FIGURA 4.6: Curva do painel de 160 Hz e o coeficiente de absorção nas freqüências de 100 a 8000 Hz.p. 82
- FIGURA 4.7: Cruzeta usada para fixar o microfone, com as seis direções.p. 83
- FIGURA 4.8: Ponto de referência e numeração da posição do microfone na cruzeta.p. 84
- FIGURA 4.9: Distancia das seis posições entre a frente do microfone e o ponto de referência.p. 84
- FIGURA 4.10: Croqui da câmara, com os planos xyz, no ponto de referência.p. 87
- FIGURA 4.11: Dispositivo graduado fixo num tripé e o microfone para medir a diretividade do campo sonoro, rotaciona em até 360° nos planos XY, YZ e XZ.p. 89
- FIGURA 4.12: Cinco pontos com a posição do microfone e a direção.p. 93
- FIGURA 4.13: Instalação do microfone B&K tipo 4179 num tripé e o pré-amplificador dentro da câmara acústicap. 94
- FIGURA 4.14: Vista em corte da câmara semi-anecóica com microfone, gerador, amplificador e a caixa acústica durante o ensaio. p. 98
- FIGURA 4.15: Vista externa da cabina audiométrica do laboratório, dentro da sala.p.101
- FIGURA 4.16: Quatro posições do microfone para medir o ruído de fundo na sala da cabina.p.103
- FIGURA 4.17: Vista interna da câmara acústica mostrando a instalação dos dispositivos absorvedores/refletores e as caixas acústicas.p.106
- FIGURA 5.1: Característica elétrica do sinal sonoro, em tom puro pulsado, medido nos cabos conectados aos terminais das caixas acústicas (envelope do sinal). Escala: (dB) e (ms). .p.111
- FIGURA 5.2: Sinal na saída do AC-40 nas freqüências centrais.p.112

FIGURA 5.3: Diagrama elétrico do atenuador passivo PAD, para até 20 dB.	p.112
FIGURA 5.4: Explicação gráfica do item 7.5 (1) da norma ANSI S12.6/1997 (sem escala).	p.121
FIGURA 6.1: Microfones dos dosímetros presos no colarinho durante ensaios dentro da câmara semi-anecóica.	p. 134
FIGURA 6.2: Montagem do protetor auditivo na cabeça artificial. A esquerda vê-se o microfone externo e na foto da direita o microfone instalado dentro da concha.	p.136
FIGURA 6.3: Diferença média das medições de dois microfones tipo 4165, para níveis do ruído de fundo (0 dB) e 50-60-70-80 e 90 dB.	p.141
FIGURA 6.4: Sete diferentes tamanhos e tipos de microfones eletreto.....	p.143
FIGURA 6.5: Diferença entre os microfones eletreto vermelho e branco.	p.146
FIGURA 6.6: Diferença entre microfone eletreto verm. e capacitivo B&K, para ruído de fundo (0 dB) e níveis 50-60-70-80-90-100 dB.	p.148
FIGURA 6.7: Diferença das médias entre microfone eletreto branco e capacitivo B&K, para ruído de fundo (0 dB) e níveis de 50-60-70-80 e 90 dB.	p.152
FIGURA 6.8: Medição do ruído de fundo com dois microfones B&K em paralelo.	p.154
FIGURA 7.1: Cabeça artificial de ferro fundido mostrando o microfone instalado no furo da cabeça e o microfone externo fixado na haste do protetor.....	p.162
FIGURA 7.2: Concha com furo para o pré-amplificador do microfone da B&K.....	p.162
FIGURA 7.3: Cabeça artificial de fofo durante o ensaio de um protetor auditivo tipo concha (furo na concha).	p.163
FIGURA 7.4: Atenuação do protetor, cabeça de ferro fundido, microfones B&K no <i>furo da cabeça</i> e externo.	p.165
FIGURA 7.5: Atenuação do protetor, cabeça de ferro fundido, microfones B&K no <i>furo da concha</i> e externo.	p.165
FIGURA 7.6: Colocação da orelha de silicone, no encaixe da cabeça do manequim.	p.167
FIGURA 7.7: Atenuação do protetor, cabeça do manequim, microfones B&K no <i>furo da cabeça</i> e externo.	p.169
FIGURA 7.8: Atenuação do protetor, cabeça do manequim, microfones B&K no <i>furo da concha</i> e externo.	p.169
FIGURA 7.9: Atenuação do protetor auditivo aplicando a perda por inserção.	p.170
FIGURA 7.10: Atenuação protetor auditivo pelo método REAT.	p.173
FIGURA 7.11: Ensaio no laboratório com pessoa usando dois microfones.	p.174
FIGURA 7.12: Atenuação do protetor auditivo, medido com pessoas no laboratório (furo concha).....	p.178
FIGURA 7.13: Medições durante a execução da atividade junto a serra circular.	p.179

FIGURA 7.14: Atenuação do protetor auditivo, medido com pessoas <i>na atividade real de trabalho</i> , usando dois microfones (furo concha).....	p.179
FIGURA 7.16: Atenuação e/ou redução de ruído para diversos tipos de ensaios.	p.181

Lista de Tabelas

TABELA 4.1: Média em 4 pontos, do tempo de reverberação (TR) com a <i>câmara vazia</i> . E no ponto de referência, após a câmara estar acusticamente preparada.	p . 77
TABELA 4.2: Materiais, área de cada um e o coeficiente de absorção.	p . 78
TABELA 4.3: Painéis, áreas e coeficiente de absorção nas frequências de 125 a 8kHz.	p . 81
TABELA 4.4: Valores em volta da posição da cabeça, para as frequências na banda de 1/1 oitava.	p . 87
TABELA 4.5: Valores da diretividade na posição de referência para o plano XY.	p . 90
TABELA 4.6: Valores da diretividade na posição de referência para o plano YZ.	p . 91
TABELA 4.7: Valores da diretividade na posição de referência para o plano XZ.	p . 92
TABELA 4.8: Nível de pressão sonora em (dB) em banda de 1/1 oitavo, do ruído de fundo (média dos 5 pontos), medido dentro da câmara acústica.	p . 96
TABELA 4.9: Redução obtida para cada frequência, e os dados da norma ANSI.	p.102
TABELA 4.10: Ruído de fundo em dB, na sala da cabina audiométrica.	p.104
TABELA 5.1: Valores da atenuação por frequência.	p.113
TABELA 5.2: Atenuador Totalmente Fechado.	p.116
TABELA 5.3: Atenuador Parcialmente Aberto.	p.116
TABELA 5.4: Atenuador Totalmente Aberto.	p.117
TABELA 6.1: Diferença entre o microfone dentro da concha e no ombro do usuário dos níveis gravados em campo [20].	p.131
TABELA 6.2: Valores do Leq calculados por cada instrumento em sete testes.	p.134
TABELA 6.3: Dados de L_{eq} em (dBA) obtidos nos dosímetros NPS2 e NPS1, para dois modelos de protetores auditivos tipo concha, em função da mudança da direção do microfone instalado dentro da concha.	p.136
TABELA 6.4: Níveis de pressão sonora lidos em dois microfones B&K, e a repetibilidade para os níveis: do ruído de fundo e 50-60-70-80 e 90 dB.	p.139
TABELA 6.5: Valores registrados de teste com microfone B&K e eletreto vermelho/ branco (2 vias) para níveis de potência sonora de 60-70-80 e 90 dB.	p.145
TABELA 6.6: Testes dos microfones eletreto vermelho e branco (com três vias).	p.147
TABELA 6.7: Valores dos testes com microfones de eletreto vermelho e microfone capacitivo da B&K.	p.149

TABELA 6.8: Valores dos testes com microfones eletreto branco e microfone capacitivo da B&K.	p.150
TABELA 6.9: <i>Valores de correção: variação em [+/- dB], entre microfones eletreto vermelho e branco (x) microfone B&K. Variações para: os quatro níveis e individualmente para cada nível 60-70-80 e 90 dB.</i>	p.152
TABELA 6.10: Medição do ruído de fundo sob 4 composições do sistema de medição.	p.154
TABELA 7.1: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial de <i>ferro fundido</i> com microfones B&K no <i>furo da cabeça</i> e fora para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.....	p.163
TABELA 7.2: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial de <i>ferro fundido</i> com microfones B&K no <i>furo da concha</i> e fora, para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.....	p.164
TABELA 7.3: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial do manequim com microfones B&K no <i>furo da cabeça</i> e fora, para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.....	p.167
TABELA 7.4: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial do manequim com microfones B&K no <i>furo da concha</i> e fora, níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.....	p.168
TABELA 7.5: Atenuação protetor auditivo medido com cabeça artificial de fofo aplicando a perda por inserção.....	p.171
TABELA 7.6: Medição da atenuação de protetores auditivos pelo método REAT.	p.173
TABELA 7.7: Atenuação do protetor auditivo, com pessoas usando dois microfones B&K sendo um no <i>furo da concha</i> e o outro fora, para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.....	p.175
TABELA 7.8: Atenuação do protetor auditivo, com pessoas no <i>local real de trabalho</i> –microfones: no <i>furo da concha</i> e fora (nível de 88 dB em 1000 Hz.).	p.180
TABELA 7.9: Valores de atenuação e/ou redução de ruído para diversos tipos de ensaios, com NWS de 90 dB.....	p.181

Lista de Redução

Siglas

ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas

ANSI – American National Standards Institute

B&K – Brüel & Kjaer - fabricante de equipamentos de precisão

HL – Hearing Level – Nível de audição

IAC – Industrial Acoustics Company

IL – Insertion Loss – perda por inserção (PI)

ISO – International Organization for Standardization

LARI – Laboratório de ruído industrial

LVA – Laboratório de vibrações e acústica

MIRE – Microphone in Real- Ear Measurement System – microfone em ouvido real

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health.

NPS – Nível de pressão sonora [dB]

NR – Noise reduction – redução de ruído (RR)

NRR – Noise reduction rating – Avaliação da redução do ruído

NRR sf – Noise reduction rating subject fit – Avaliação da redução do ruído, colocação pelo usuário.

NWS – Nível de potência sonora

PI – Perda por inserção (IL)

REAT – Real-ear Attenuation at Threshold – limiar de atenuação em ouvido
real

RR – Redução de ruído (NR)

RT – Reverberation time – tempo e reverberação (TR)

RTA – Real time frequency analyser – Analisador de frequência em tempo real

TFOE - Transfer function of the open ear – Função transferência ouvido aberto

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo

Os ruídos que prejudicavam a audição humana eram, provenientes somente dos fenômenos da natureza, mas, com o surgimento das máquinas e equipamentos, os ruídos começaram a ser gerados no próprio local de trabalho, nos grandes centros urbanos e também no lazer produzindo a surdez em muitas pessoas. A partir de meados do século XX, começaram os estudos para diminuir as perdas auditivas e então procurou-se reduzir e limitar os efeitos dos ruídos produzidos na percepção dos sons. Nesta época foram criados dispositivos para, uso individual, com o objetivo de protegerem o homem. Desde então, muitos estudos têm sido realizados para aumentar o conhecimento na tecnologia da proteção preventiva. Neste estudo, em sua parte inicial, consta a preparação acústica de uma câmara para ensaiar protetores auditivos, bem como o desenvolvimento do “software” para comandar o “hardware” usado para a realização dos testes em laboratório. Para ajustar o funcionamento e verificar a eficiência do sistema de medições instalado no laboratório, realizaram-se testes com pessoas, que usaram nos ensaios, protetores auditivos com dados conhecidos. Após concluir que tanto o ambiente de testes como o sistema de medições atendem aos quesitos da norma ANSI S12.6/1997, a câmara do LARI, atende as características técnicas exigidas para a sua qualificação junto aos órgãos de credenciamento no que se refere ao ensaio de protetores auditivos usando o limiar da audição. Com o laboratório pronto, incluiu-se neste estudo, ensaios com a aplicação do método

que usa dois microfones para medir a redução de ruído dos protetores auditivos do tipo concha. Através de testes em laboratório usando cabeças artificial de ferro fundido e manequim (gesso), selecionou-se os equipamentos de medição e os mini-microfones de eletreto e/ou microfones capacitivos para serem utilizados na aplicação do método com dois microfones. Os ensaios objetivos em laboratório usando dois microfones foram com as cabeças artificial instalando-se o microfone interno no furo da cabeça e o externo fixado na haste do protetor. Em outros ensaios o microfone interno foi instalado no furo da concha. Os ensaios com dois microfones foram realizados com pessoas em laboratório e em campo e com a instalação do microfone interno no furo da concha e o externo fixado na haste do protetor. Ao final avaliou-se o comportamento referente à redução do ruído oferecido em campo por protetores auditivos do tipo concha comparando os resultados com os dados dos estudos sob condições controladas em laboratório.

Palavras-chave: protetores auditivos, câmara acústica, ensaios.

E-Mail: griffel@mbox1.ufsc.br

Abstract

Initially, the noises harmful to the human Hearing were produced by natural phenomena only since the introduction of all sorts of machines and equipment, however, the noises have been generated in the workplace, in large urban areas and also at leisure times, causing deafness to many people. The investigations aimed at diminishing Hearing loss started from the middle of the twentieth century, having to reduce and limit the effect of noises in the perception of sound. Since then, many investigations have been conducted to further the knowledge in the technology of preventive protection. In this investigation, in its initial part, it is held the acoustics preparation of a chamber to test Hearing protectors, as well as the development of specific piece of software, which controls the hardware used in laboratory tests. In order to adjust the way the experimental set-up would work and verify its efficiency, tests were conducted in people who wore Hearing protectors with known data. After concluding that both the test environment and the experimental set-up satisfied the requirements of the ANSI S12.6/1997, it was understood that the chamber would satisfy the technical characteristics demanded to its accreditation by governmental bodies as regards to the test of Hearing protectors using the Hearing threshold. Test which use two microphones to measure the Reduction of noises in earmuffs have then included in the study. By means of laboratory experiments employing artificial heads made of cast iron and gypsum, pieces of equipment and small electret and/or capacitive microphones were selected to

the above tests. The non-subjective tests using two microphones were conducted in the artificial heads by installing the inner microphone in the head's hole and the outer microphone in the protector's headband. In other tests, the inner microphone was installed in the muff's hole. The tests with two microphones were held with people in laboratory and in field, attaching the inner microphone to the muff's hole and the outer microphone to the headband. Using study, the behavior of earmuffs concerning noises Reduction in field was assessed, comparing the results with the data obtained in laboratory controlled conditions.

Key words: Hearing protectors, acoustics chamber, two-microphone tests.

1 PROJETO DE PESQUISA

1.1 Introdução

A Revolução Industrial, desde o seu início provocou o desenvolvimento de novas máquinas, a descoberta de novos materiais e a modernização dos processos produtivos. Como consequência houve um aumento também, das fontes geradoras de ruído que chegam a ultrapassar o nível de pressão sonora de 85 dBA considerado pelos estudiosos como um valor limitante para não produzir danos irreversíveis ao sistema auditivo do homem quando exposto a 8 horas por dia, durante a sua vida laborativa.

Junto com a geração do ruído, começa-se a registrar no ser humano as primeiras consequências decorrentes da sua exposição. Desenvolveram-se então as técnicas para proteger a audição humana, e muitos tipos e formas de protetores auditivos foram disponibilizados no mercado para uso de forma a satisfazer as mais diferentes situações. Protetores auditivos de uso individual, apresentam-se como um dos dispositivos mais comuns, econômicos e práticos para reduzir a dose de ruído, até que ações técnicas de controle do ruído sejam tomadas para reduzi-lo aos limites recomendados por norma (1).

Mesmo com a diversificação dos tipos de protetores, segundo Casali (2), as queixas mais comuns com relação ao uso dos mesmos são o desconforto, a dor além da dificuldade para ouvir os outros e o ruído das máquinas ou sinais de alerta.

Do ponto de vista tecnológico, durante os últimos 30 anos, observamos que a tecnologia nesta área apresentou poucas alterações. Naturalmente houve

algumas exceções como o surgimento de novos e resistentes polímeros como a espuma e os plásticos moldáveis na década de 70. O desenvolvimento dos protetores auditivos do tipo ativo com componentes eletrônicos e os com atenuação plana, na década de 80 (3). Após este avanço os estudos foram direcionados à proteção real oferecida, ao conforto, à conscientização e ao treinamento dos usuários de protetores auditivos.

No Brasil, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foi a Instituição pioneira na construção de uma câmara para ensaiar protetores auditivos, concluída em 1998. Este feito pode ser considerado mais um marco na história tecnológica dos protetores auditivos, possibilitando testar o efeito protetor dos dispositivos fabricados no Brasil e dos importados, a aplicação de novos materiais e produtos, o desenvolvimento de outros tipos e modelos de protetores, além de qualificar novos profissionais para atuarem na área da pesquisa tecnológica relacionada a ruído.

A maior parte deste trabalho está voltado à aplicação, na prática, das características técnicas normalizadas, ao desenvolvimento da parte operativa e do controle metrológico usados nos ensaios e testes dos protetores auditivos.

Com o objetivo de testar o funcionamento de dispositivos comercializados foi totalmente elaborado e desenvolvido no laboratório um software com o fim específico de comandar e controlar o sistema operativo instalado em um microcomputador. O sistema está operando há mais de um ano, e já foram testados diversos tipos de protetores auditivos, confirmando o seu bom funcionamento.

No desenvolvimento deste trabalho, serão testados dispositivos existentes no mercado para verificar a atenuação do nível de ruído apresentada pelos protetores auditivos e níveis de eficiência que alcançam em laboratório e ensaios em campo. Nele serão demonstrados os passos e procedimentos adotados para que a câmara construída e o sistema instalado cumpram as prescrições da norma, especialmente a ANSI S12.6/1997, pois em nível mundial, esta é uma das poucas câmaras construídas dentro dos parâmetros recomendado pela norma editada e homologada em 1997.

Atualmente, em nível brasileiro, a UFSC está apta para ensaiar protetores auditivos, e comparar os dados e resultados com os de outros laboratórios possuidores desta tecnologia há mais tempo, aproximando-se do mesmo patamar técnico.

No mercado tem surgido protetores, que segundo os dados impressos, apresentam valores de atenuação de ruído bastante significativos, criando dificuldades aos profissionais envolvidos com a prevenção auditiva, de como indicar qual o tipo ou modelo mais correto, porque desconhecem o quanto estes dispositivos realmente protegem a audição do trabalhador.

O protetor auditivo é um dispositivo que pode ser usado sobre as orelhas ou inserido no canal auditivo com a finalidade de impedir a passagem do ruído que chega até aos sensíveis mecanismos da audição. É comum se usar o termo atenuação para especificar o quanto um protetor auditivo protege a audição, porém a atenuação pode ser referente a perda por inserção, redução de ruído ou perda por transmissão, tais termos são usados quando se deseja precisão (4).

Segundo Berger (4), *perda por inserção* (PI ou IL) é a diferença entre o nível de pressão sonora, ou nível de potência sonora, ou nível de intensidade sonora medidos num ponto de referência antes e depois de aplicar um tratamento de redução de ruído.

Redução de ruído (RR ou NR) é a diferença entre o nível de pressão sonora incidente e o recebido, exemplificando, é a diferença entre o nível de pressão sonora na entrada e dentro da concha de um protetor.

Perda por transmissão é a diferença entre a potência sonora incidente e a transmitida através de uma barreira, como o protetor auditivo. A diferença entre perda por inserção e redução de ruído é um fator chamado por Berger (4) função transferência de ouvido aberto (TFOE).

$\text{Perda por Inserção} = \text{redução de ruído} + \text{o fator TFOE. (figura 3.2)}$

Em campo, mediu-se, no posto de trabalho, a redução do ruído apresentada por protetores auditivos do tipo concha. Na obtenção dos dados utilizou-se o método com dois microfones com medição simultânea, sendo um dos microfones instalado dentro da concha e o outro microfone instalado fora da concha do protetor, a diferença entre eles é a redução de ruído apresentada pelo protetor.

Aplicando o mesmo método, testou-se em laboratório o uso de diferentes equipamentos com diversos tipos de microfones para medir a redução de ruído dos protetores auditivos. Somente após selecionar e testar os equipamentos e os microfones o método foi então aplicado com pessoas, em laboratório e em campo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Ensaia protetores auditivos, em laboratório, para medir a atenuação de ruído apresentada por estes, através do uso do método subjetivo. Com a aplicação do método objetivo utilizando dois microfones medir a redução de ruído em laboratório e em campo na atividade real.

1.2.2 Específicos

Para a obtenção dos resultados esperados necessitar-se-á:

- 1 – proceder o tratamento acústico numa câmara reverberante.
- 2 – qualificar esta câmara segundo a norma ANSI S12.6/97, quanto ao ambiente de teste.
- 3 – verificar e testar todos equipamentos envolvidos com os ensaios de protetores auditivos.
- 4 – elaborar um software a ser instalado num microcomputador para:
comandar o sistema de geração do ruído, controlar as determinações da norma ANSI S12.6/97, registrar e armazenar as medições dos testes dos protetores auditivos.
- 5 – realizar testes de protetores auditivos com a aplicação do sistema elaborado.
- 6 – na câmara acústica aplicar testes com pessoas e cabeças artificiais

usando o método MIRE com dois microfones.

7 – proceder ensaios em campo, numa atividade real de trabalho medindo a redução de ruído apresentada por protetor auditivo do tipo concha.

8 – testar dispositivos existentes no mercado verificando a atenuação do ruído oferecida pelos protetores auditivos e o nível de eficiência que alcançam em laboratório e nos ensaios em campo.

1.3 Delimitação do estudo

Neste trabalho serão demonstrados os passos e procedimentos adotados para que a câmara construída e o sistema instalado cumpram as prescrições da norma, especialmente a ANSI S12.6/1997, pois em nível mundial esta é uma das poucas câmaras construídas para adotar a norma de 1997.

Os ensaios serão com pessoas. Com o ambiente qualificado serão realizados ensaios com cabeças artificial de ferro fundido e manequim, utilizando-se a metodologia com dois microfones, a qual será aplicada à pessoas e também no estudo em campo numa atividade real. Com a análise dos dados, pretende-se traçar a relação existente entre as atenuações obtidas com diferentes ensaios.

O trabalho focaliza o aparelho auditivo humano que pode ser de alguma forma atingido pelas condições do ruído principalmente no local de trabalho ou lazer, podendo vir a influir no desempenho da execução das suas atividades, sobretudo causar lesões irreversíveis.

1.4 Organização do estudo

O estudo está organizado e descrito em oito capítulos, contendo:

O capítulo 1, apresenta a introdução, os objetivos, a delimitação e a organização do estudo.

No capítulo 2 encontram-se apresentados o sistema auditivo e sua proteção, os protetores auditivos e sua classificação .

O capítulo 3 refere-se a revisão bibliográfica e as normas relacionadas com ensaios da atenuação de ruído dos protetores auditivos. Esta revisão apresenta trabalhos realizados, relativos aos aspectos específicos desta pesquisa, assim como as normas internacionais sobre os métodos para medir a atenuação de ruído dos protetores auditivos.

No capítulo 4 encontram-se descritos de maneira detalhada os procedimentos utilizados na qualificação do ambiente de testes ou seja a câmara acústica, as medições seguindo aos quesitos da norma, os testes dos equipamentos utilizados, e os testes com a cabina audiométrica.

O capítulo 5 apresenta o sistema de medição desenvolvido e elaborado na Instituição assim como a verificação dos equipamentos envolvidos.

No capítulo 6 a seleção de microfones e equipamentos para medições utilizando dois microfones para medir a redução de ruído dos protetores auditivos.

O capítulo 7 apresenta os ensaios com protetores auditivos usando dois microfones.

No capítulo 8 as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 SISTEMA AUDITIVO E SUA PROTEÇÃO

2.1 Introdução

Este capítulo faz uma breve descrição do ouvido, como ele funciona, a percepção sonora, e as perdas auditivas. São apresentados também os protetores auditivos, sua classificação, tipos e funcionamento, aspectos dos tipos plug e tipo concha e sobre o uso em conjunto dos protetores do tipo plug com o tipo concha.

2.2 Ouvido humano

O sistema auditivo humano é dividido em três partes: orelha externa, orelha média e orelha interna. A orelha externa é composta pelo pavilhão auditivo, meato externo (canal auditivo) chegando até a membrana do tímpano. A orelha média inicia no tímpano e vai até a orelha interna, na cóclea, possuindo três ossículos: martelo, bigorna e estribo, além do canal de Eustáquio. A partir da cóclea, fazem parte da orelha interna também os canais semicirculares e o nervo auditivo que transmite os sinais ao cérebro.

A orelha externa funciona como captador das ondas sonoras normalmente através do ar, que após passar pelo pavilhão auditivo é conduzido através do meato externo ou canal auditivo, cujas ondas fazem a membrana timpânica vibrar. A pressão nas duas faces da membrana timpânica se mantém em equilíbrio através do tubo de Eustáquio, formado por um canal que liga a orelha

média à garganta, protegendo-a para que não se rompa sempre que ocorram pressões muito elevadas como a explosão de uma bomba.

Na orelha média, o som se transmite no ar através do movimento de três ossículos, suportados por dois pequenos músculos. Seu funcionamento ocorre através da captação das vibrações da membrana timpânica, e pelo seu movimento possibilita a amplificação do som em até 22 vezes, antes de chegar à outra membrana fina na janela oval da cóclea, na orelha interna. As pressões sonoras que antes movimentavam-se no ar, passam a mover-se em um meio líquido, a perilinfa e a endolinfa, que preenchem os três canais dentro da cóclea.

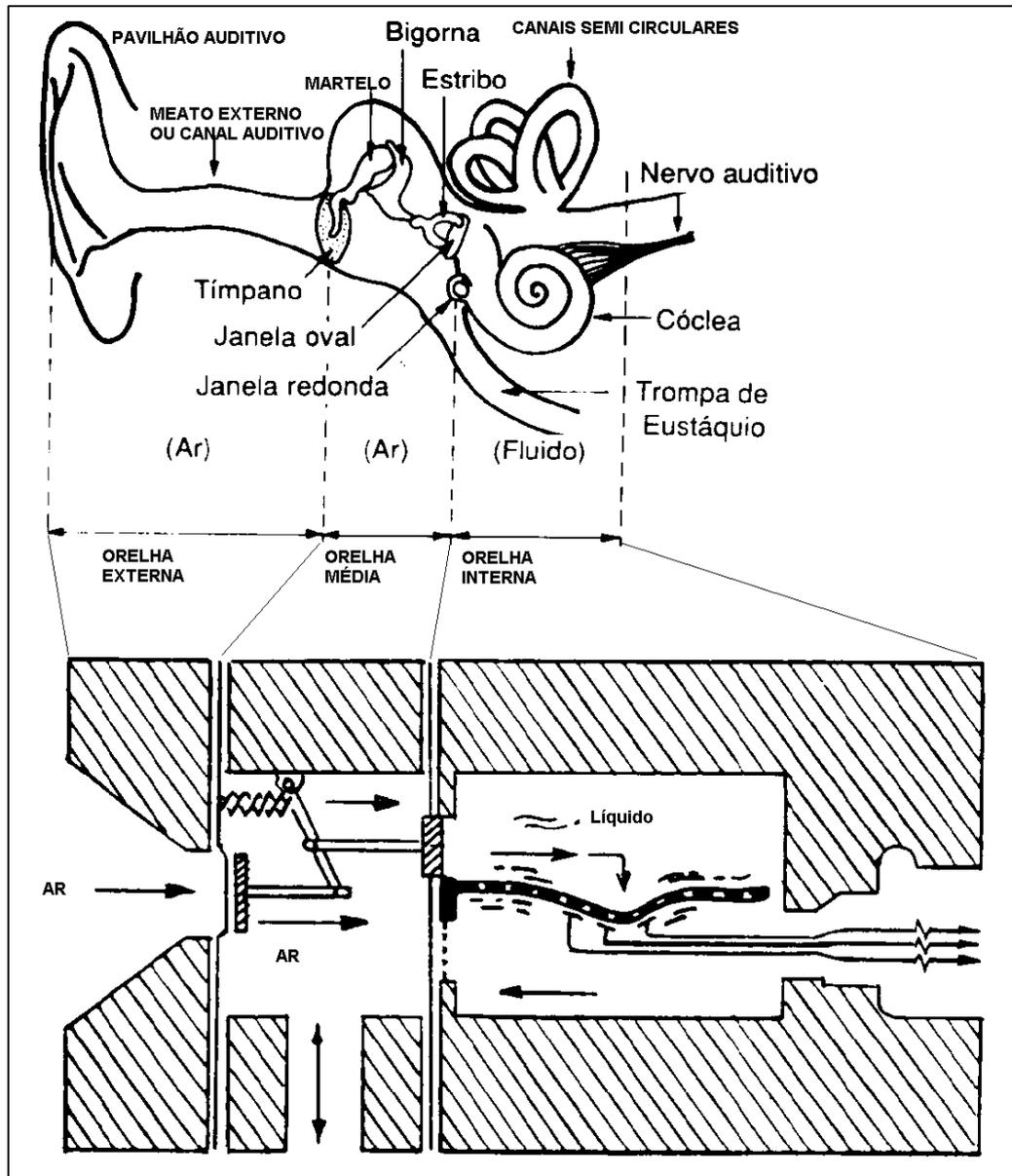
Através das células ciliadas, ao longo do ducto coclear, ocorre a captação dos movimentos que são transformados em sinais elétricos e transmitidos ao córtex, no cérebro, através do nervo auditivo onde são decodificadas em sensações sonoras(5).

Outra função da orelha interna é a de zelar pelo equilíbrio do corpo, através do sistema vestibular composto por três canais semicirculares preenchidos com um líquido, a endolinfa, onde se encontram imersos pequenos sensores, os otólitos cuja função é a de informar o cérebro quando ocorrem movimentos ou alterações no seu ponto estático. A figura 2.1 apresenta o ouvido em corte e a representação física do seu funcionamento (6).

2.2.1 Percepção sonora

Os movimentos mecânicos produzem flutuações da pressão no meio que ocorrem, gerando a propagação do som na forma de ondas até atingir o

FIGURA 2.1: Ouvido humano e a representação física do seu funcionamento (6).



ouvido, que os transmite ao cérebro, que por sua vez os decodifica produzindo uma sensação sonora.

Um som é caracterizado através de três variáveis: frequência, intensidade e tempo de duração.

O ouvido humano é capaz de perceber freqüências de 20 a 20.000 Hz, cuja sensibilidade está associada a cada indivíduo de acordo com sua idade (5).

O nível do som depende da energia das oscilações, sendo definida em termos de potência por unidade de área. Como o espectro audível é muito grande, convencionou-se usar uma relação logarítmica, o decibel (dB) para reduzir o tamanho dos valores apresentados. E quanto ao tempo de duração do som que é medido em segundos, este apresenta dificuldade de percepção quando for de curta duração, menor do que 0,1 segundos, aparentando ser diferente daqueles de longa duração, acima de 1 segundo (5).

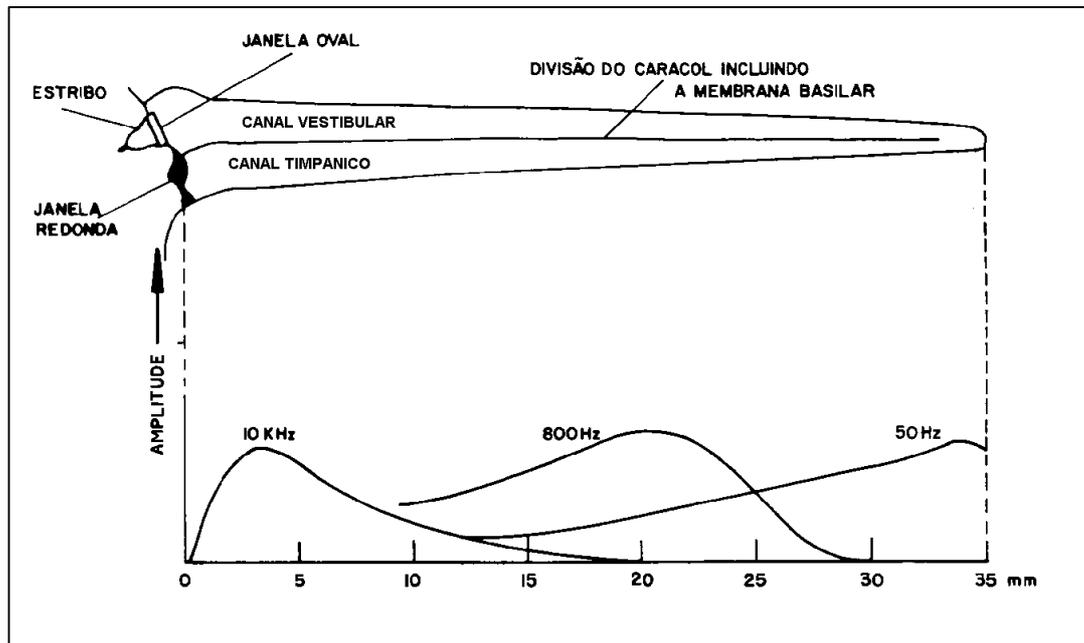
2.2.2 Perda da audição

As perdas auditivas ou redução na sensibilidade auditiva podem ocorrer de maneira natural, chamadas de Presbiacusia ou provocadas pela exposição prolongada ou não, a altos níveis de ruído.

De maneira natural, como tudo envelhece, o ouvido humano também apresenta alterações sistemáticas de perdas com o passar dos anos, que podem atingir partes ou todo o sistema auditivo. A área médica tem realizado estudos envolvendo a cóclea, e como não é o tema principal deste trabalho, será limitado a um comentário sobre o seu funcionamento e a relação com as perdas auditivas provenientes dos ruídos nas altas freqüências (6).

A figura 2.2. apresenta uma planificação da cóclea (caracol) e as freqüências envolvidas ao longo do seu plano, onde observamos que as freqüências mais altas situam-se no início da cóclea e as freqüências mais

FIGURA 2.2: Planificação da cóclea e freqüências (6).



baixas mais ao final. Assim, na janela oval, onde o estribo apoia-se a excitação apresenta sua maior intensidade, provocando mais movimento no canal vestibular e com isto o rompimento das células ciliadas, responsáveis pela captação dos movimentos que serão transformados em sinais elétricos enviados ao cérebro.

Como estas células são altamente sensíveis e frágeis, elas se rompem facilmente sem que haja reposição, apresentando perdas irreversíveis nas freqüências mais altas, entre 4 e 6 kHz, atingindo posteriormente as freqüências utilizadas na conversação humana (500 Hz à 2000 Hz). Sempre que se observar o resultado de uma audiometria tonal, com os limiares auditivos de uma pessoa, é comum que elas apresentem diminuição da acuidade auditiva nas freqüências mais altas, especialmente nas pessoas mais idosas.

O excesso de exposição a ruídos na área industrial, também apresenta resultados semelhantes de perdas auditivas, devido à elevada intensidade sonora por longo período. Em determinados casos, o ouvido humano possui um sistema de recuperação auditiva. Quando ocorrem perdas temporárias, conhecidas por TTS (Temporary Threshold Shift). Assim quando se expõe a elevados níveis de ruído e quando se afasta da fonte de ruído, sente-se a sensação de se estar um pouco surdos, mas no dia seguinte há a sensação de recuperação. Caso esta situação torne-se rotineira, o retorno à condição anterior, pode não mais acontecer nos mesmos níveis e como este é um processo cumulativo, o retorno pode não mais ser no mesmo nível, mas um pouco acima (6). Isto ocorre com um trabalhador exposto diariamente a altos níveis de ruído, sem o uso da devida proteção auditiva.

2.3 Protetores auditivos

Segundo definido pelas normas ISO e ANSI, protetores auditivos são dispositivos usados pelas pessoas para prevenir ou reduzir qualquer efeito subjetivo ou nocivo do som ao sistema auditivo (7-8).

O protetor auditivo é um dispositivo que pode ser usado sobre as orelhas ou inserido no canal auditivo com a finalidade de impedir a passagem do ruído que chega até aos sensíveis mecanismos da audição. É comum se usar o termo atenuação para especificar o quanto um protetor auditivo protege a audição, porém a atenuação pode ser referente à perda por inserção, redução de ruído

ou perda por transmissão, tais termos são usados quando se deseja resultados mais apurados (4).

Segundo Berger (4), *perda por inserção* (PI) é a diferença entre o nível de pressão sonora, ou nível de potência sonora, ou nível de intensidade sonora medidos num ponto de referência antes e depois de aplicar um tratamento de redução de ruído.

Redução de ruído (RR) é a diferença entre o nível de pressão sonora incidente e o recebido, exemplificando, é a diferença entre o nível de pressão sonora na entrada e dentro da concha de um protetor.

Perda por transmissão é a diferença entre a potência sonora incidente e a transmitida através de uma barreira, como o protetor auditivo. A diferença entre perda por inserção e redução de ruído é um fator chamado por Berger (4) de função transferência de ouvido aberto (TFOE), ou seja, $\text{Perda por Inserção} = \text{Redução de ruído} + \text{o fator TFOE}$. A figura 3.2 ilustra a relação entre os métodos da perda por inserção e a redução de ruído.

Na maioria dos ambientes ruidosos, que expõem as pessoas no seu local de trabalho ou lazer a elevados níveis de ruído é impraticável, economicamente, reduzir os níveis de ruído diretamente na fonte, até que estes atinjam os valores aceitáveis para uma exposição segura às pessoas. Fica como uma alternativa viável, o uso de protetores auditivos que protegem parcialmente o ouvido do seu usuário (9).

Os protetores, quando usados por trabalhadores em empresas, nem sempre atingem a máxima atenuação que eles oferecem. Alguns fatores, alteram os resultados esperados sejam eles de origem física ou ergonômica, ou ainda: a

aceitação e motivação do trabalhador para usá-lo, o ajuste físico e a sua correta colocação, o tempo de uso durante o período que estejam expostos ao ruído, aos problemas de comunicação verbal, além do desconforto causado pelo seu uso. Os protetores convencionais oferecidos comercialmente, são de inserção tipo plug, ou tipo concha.

2.3.1 Classificação quanto a tipo e funcionamento

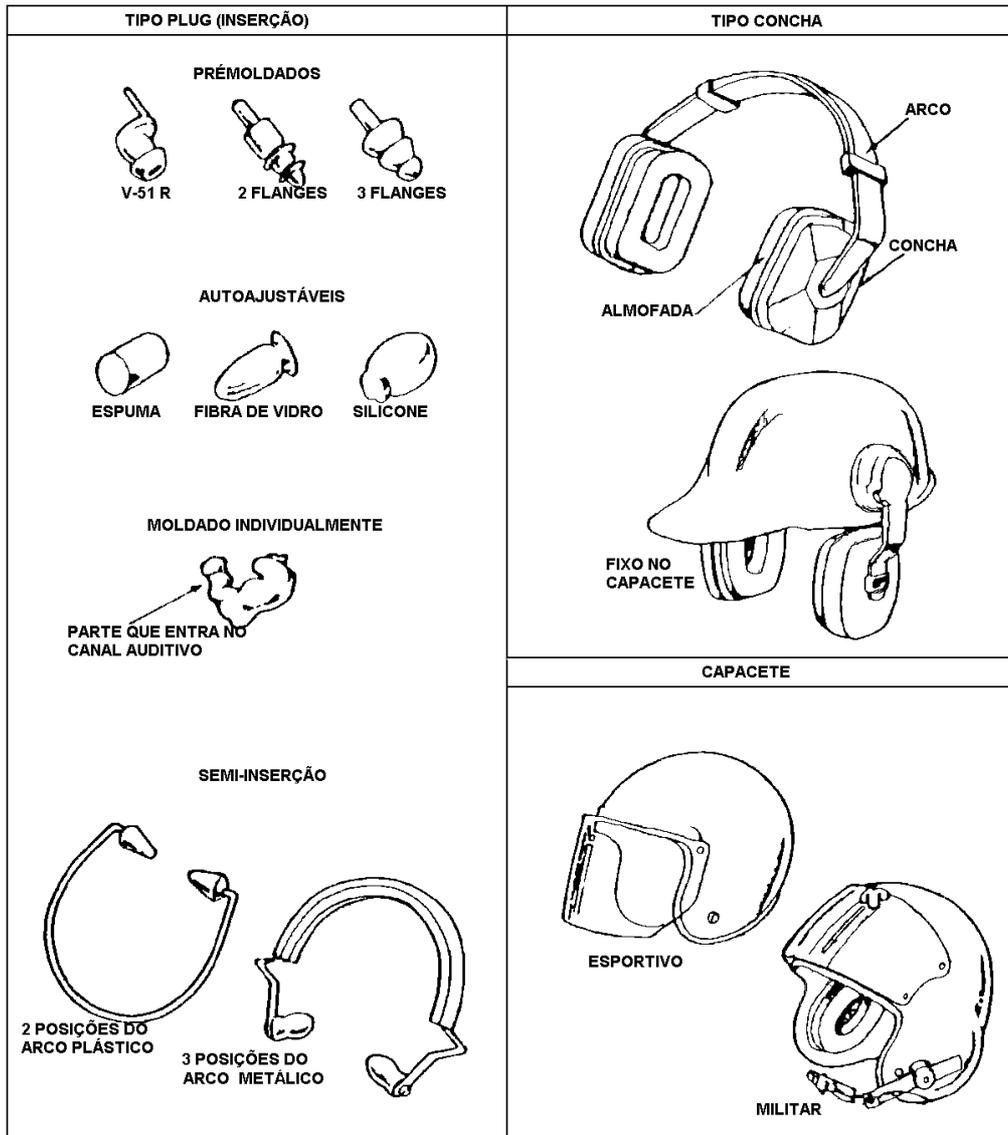
Os dispositivos de proteção auditiva são usados normalmente em empresas industriais, órgãos do governo e militares, em atividades esportivas e de recreação, enfim, em todos os lugares onde os níveis de ruído são elevados e podem prejudicar o sistema auditivo das pessoas.

Os principais tipos de protetores auditivos convencionais classificam-se em tipo plug e tipo concha. (figura 2.3). Além dos tipos convencionais de protetores auditivos, atualmente existem no mercado os do tipo ativo.

As figuras 2.4. e 2.5. mostram, em corte, o percurso do som até atingir a orelha interna para o protetor tipo plug e concha. Observa-se que, o som propaga-se através de diversos meios para chegar até a orelha interna (cóclea), não somente pelo canal auditivo, mas também, através da pele e via óssea, demonstrando que se o canal auditivo estiver totalmente vedado a pessoa, ainda consegue captar som, ficando evidente as limitações que o protetor auditivo oferece.

Com as pesquisas tecnológicas, a miniaturização dos componentes eletro-eletrônicos, a descoberta de novos materiais e dos semicondutores têm-se

FIGURA 2.3: Classificação dos dispositivos de proteção auditiva (9).



disponibilizado condições para o desenvolvimento de novos dispositivos também na área dos protetores auditivos. Destes avanços criaram-se os protetores ativos que usam componentes eletrônicos no seu circuito, como a redução ativa de ruído, que utiliza o princípio da interferência destrutiva de igual amplitude mas fora da fase sonora, cancelando o som naquele ponto.

FIGURA 2.4: A,B,C, e D, percurso do som até a orelha interna com o uso do protetor tipo plug (inserção) (9).

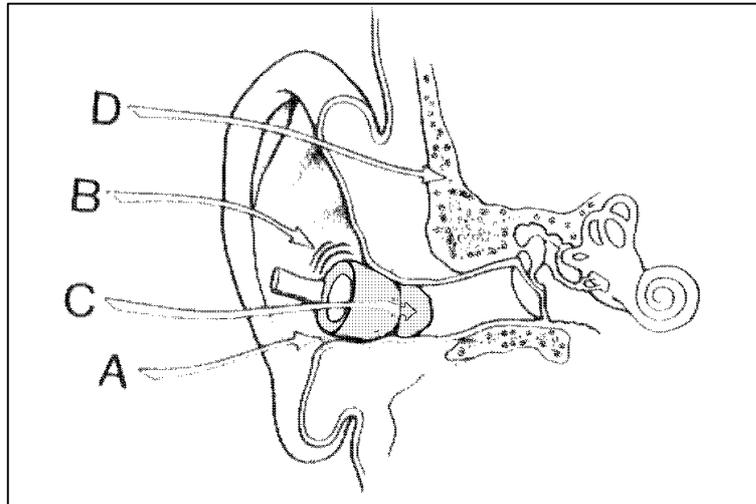
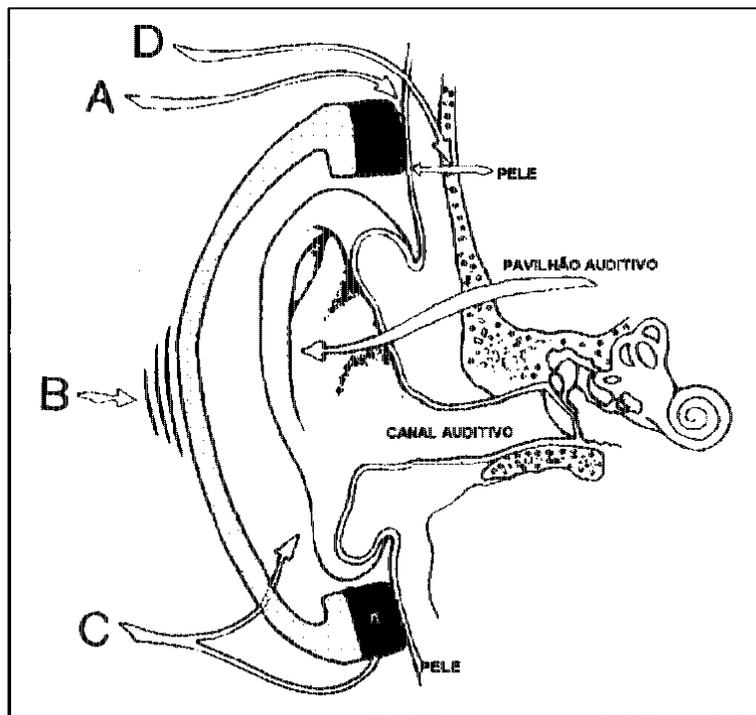


FIGURA 2.5: A,B,C e D, percurso do som até a orelha interna, com o uso do protetor tipo concha (9).



Outro tipo de protetor ativo é o de transmissão sonora sensível à amplitude, sendo projetado ou ajustado para deixar passar somente uma determinada

banda de frequência com limitação da amplitude. Este tipo de protetor possui um nível de corte entre 115 e 120 dBA, acima do qual a eletrônica deixa de funcionar (10).

Semelhantes aos protetores convencionais, está sendo desenvolvido nesta década, protetores que incluem no seu corpo elementos estruturais, dispositivos mecânicos como aberturas calibradas, dutos, diafragmas, amortecedores, válvulas e molas, mas sem componentes eletrônicos ou transdutores.

Na figura 2.6 estão ilustrados dois tipos de protetores tipo plug com atenuação uniforme (11).

2.3.2 Fatores que alteram seu desempenho

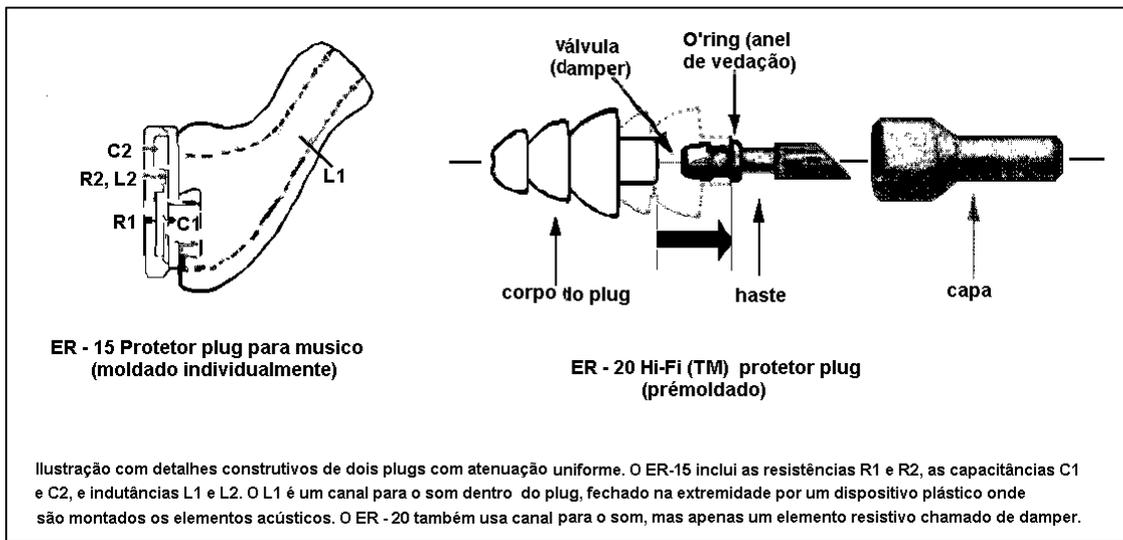
Cada tipo de protetor é projetado e construído para satisfazer determinadas condições, apresentando características específicas para o seu uso, como a atenuação que ele produz, em que banda apresenta melhor desempenho e o conforto oferecido ao usuário (9).

2.3.2.1 Vedação sonora

O desempenho de um protetor auditivo depende especialmente de como ele se encontra instalado no ouvido e da maneira correta de sua colocação, devido a:

Vazamento do som para a orelha interna - mesmo quando o protetor estiver colocado de forma correta normalmente ocorrem vazamentos do som

FIGURA 2.6: Ilustração com detalhes de dois tipos de protetores com atenuação uniforme (11).



através de quatro maneiras principais como mostrado nas figuras 2.4. e 2.5 com as letras A,B,C, e D (9).

1) Vedação por ar entre o protetor e a pele (A).

Quando um protetor é colocado ele assenta sobre uma fina película de ar que fica entre ele e a pele (não existe uma vedação perfeita), podendo apresentar perda na atenuação de 5 a 15 dB sobre a faixa das freqüências maiores, variando a atenuação com o tamanho da fenda e da freqüência.

2) Vibração do protetor auditivo (B).

O protetor pode vibrar na forma de um pistão porque o canal auditivo é flexível. Este efeito, limita a atenuação nas baixas freqüências, dependendo da maciez e flexibilidade do material que é confeccionado para o tipo plug e também da almofada nos protetores do tipo concha, que em 125 Hz, pode apresentar redução na atenuação de até 25 dB.

3) Transmissão através do protetor (C).

O som é transmitido diretamente através do material do protetor. A quantidade do som transmitido depende da massa, da rigidez, da porosidade, da umidade, da concha e da absorção do material usado na confecção do protetor. A redução da atenuação devido à transmissão é significativa apenas para as frequências acima de 1000 Hz.

4) Condução sonora via óssea e através da pele (D) até o ouvido interno.

A condução ocorre sempre que o ouvido estiver totalmente vedado. Este é um dos mecanismos que limita a atenuação dos dispositivos de proteção. O nível sonoro que chega na orelha interna por condução óssea, é de aproximadamente 40 a 50 dB abaixo do nível sonoro que pode passar via aérea pelo canal auditivo sem qualquer obstrução. Desta forma, os protetores auditivos podem oferecer atenuação por condução aérea de 40 a 50 dB, dependendo de cada frequência, devido à importância da condução sonora via óssea do organismo humano.

2.3.2.2 Efeitos da oclusão

Efeito oclusão é um termo usado para denominar o fenômeno no qual o protetor auditivo ao bloquear o canal auditivo, aumenta a condução via óssea do som em baixas frequências (Berger e Kerivan, 1983; Tonndorf, 1972).

O efeito da oclusão apresenta maior eficiência com a transmissão sonora via óssea nas frequências abaixo de 2000 Hz, quando o canal auditivo estiver bloqueado ou vedado com um protetor tipo plug ou concha (9). É um efeito que causa uma nova experiência aos usuários de protetores auditivos, pela

diferença na percepção e qualidade da voz de outras pessoas, bem como dos sons produzidos ao mascar e respirar.

Assim, o próprio timbre da voz apresenta uma ressonância porque a voz humana é realçada pela condução óssea. Esta situação pode ser facilmente demonstrada, fechando com os dedos os canais auditivos e lendo uma frase.

Observa-se a alteração sonora da voz, quando fecha-se os ouvidos.

A abrangência dos efeitos da oclusão variam, dependendo da forma como o ouvido for obstruído. O efeito máximo ocorre quando se usa o protetor do tipo semi-inserção (figura 2.3) e os protetores tipo supra-aural (usados na audiometria) apoiado sobre o pavilhão auditivo, e diminui com a colocação incorreta do plug ou com o aumento do volume interno dos protetores tipo concha.

2.3.3 Tipos e características dos protetores auditivos

Normalmente os protetores auditivos apresentam valores de atenuação obtidos em testes realizados em laboratório sob condições próximas do ideal. A atenuação da maioria dos protetores é maior nas frequências mais elevadas. Portanto, a redução do nível sonoro na curva de compensação A, com o uso de um protetor auditivo, diminui na proporção da energia das baixas frequências que chegam ao ouvido, quando geralmente ocorre aumento do espectro sonoro. A figura 2.7 apresenta as faixas dos valores de atenuação mínimos e máximos, esperados em dB, de diversos tipos de protetores, quando ensaiados em laboratório, podendo ser alterado em função de cada fabricante.

FIGURA 2.7: Valores médios de atenuação, de diversos tipos de protetores auditivos (9).

TIPO DO PROTETOR	Banda de 1/3 de oitava, nas frequências central, [Hz]						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
 Protetor tipo Plug (prémoldado e autoajustável)	10-30	10-30	15-35	20-35	20-40	30-45	25-45
 Protetor tipo Plug de espuma (varia com a colocação do protetor)	20-35	20-35	25-40	25-40	30-40	40-45	35-45
 Tipo Plug (moldado individualmente)	5-20	5-20	10-25	10-25	20-30	25-40	25-40
 Tipo Plug de semi-inserção (ou dispositivo semiaurial ou capa do canal)	10-25	10-25	10-30	10-30	20-35	25-40	25-40
 Tipo concha (com ou sem os equipamentos de comunicação)	5-20	10-25	15-30	25-40	30-40	30-40	25-40
 Tipo plug e tipo concha (em conjunto)	20-40	25-45	25-50	30-50	35-45	40-50	40-50
 Redução ativa de ruído com arco	15-25	15-30	20-45	Semelhante ao tipo concha 1000 Hz			
 Capacete de uso militar	0-15	5-15	15-25	15-30	25-40	30-50	20-50
 Capacete de motociclista	0-5	0-5	0-10	0-15	5-20	10-30	15-35

2.3.3.1 Protetores tipo plug ou de inserção

São dispositivos especiais com a função de reduzir o ruído que chega até a orelha média, quando inseridos no canal auditivo humano.

Segundo Nixon e Berger (9) os valores de atenuação dos protetores do grupo de inserção são similares, sendo em torno de 25 dB para as frequências até 1000 Hz, chegando a 40 dB para as frequências acima. Os pré-moldados

podem apresentar em 125 Hz , 250 Hz e acima de 2000 Hz atenuação similar ao tipo concha, sendo abaixo nas freqüências intermediárias. Os protetores auto ajustáveis assumem a forma do canal auditivo no momento em que são introduzidos no canal auditivo, sendo normalmente de algodão/cera ou silicone moldável. Os de espuma, são amassados com os dedos antes de serem introduzidos no canal auditivo e após alguns segundos ele lentamente retoma a forma original, moldando-se dentro do canal. Este é um tipo de protetor que oferece uma das melhores proteções individualmente, com atenuação de 30 a 45 dB para freqüências acima de 1000 Hz, e de 20 a 40 dB nas freqüências abaixo de 2000 Hz, dependendo da profundidade da inserção.

Os protetores de semi-inserção apresentam uma extensa faixa de desempenho em todas as freqüências, apresentando atenuação de aproximadamente 20 dB para as freqüências abaixo e de 35 dB para acima de 2000 Hz.

2.3.3.2 Protetores do tipo concha

São chamados protetores do tipo concha aqueles dispositivos colocados externamente sobre os pavilhões auriculares (orelhas) normalmente fixos por uma haste ou arco sobre a cabeça.

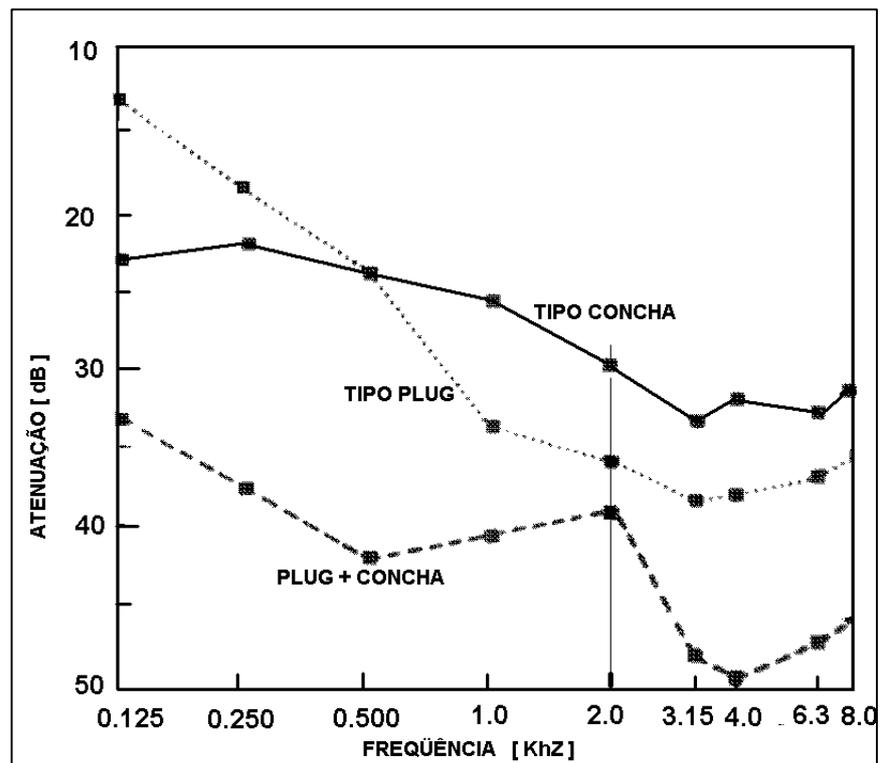
A atenuação dos protetores tipo concha depende de diversos fatores, como do projeto, do material que é construído, incluindo a força do arco, o volume e a massa da concha além da área da sua abertura. A atenuação da maioria dos protetores tipo concha a 2000 Hz, aproxima-se do limite imposto pela condução óssea, ou seja, de 40 dB, diminuindo 9 dB por oitava de 1000 Hz a 125 Hz, e de aproximadamente 35 dB para as freqüências acima de 2000 Hz.

Quando o seu usuário portar óculos, este tipo de protetor pressiona a haste contra o lado da cabeça, reduzindo a vedação da almofada ao redor da orelha e com isto apresenta perda na atenuação de 3 a 7 dB, podendo oscilar mais em função da sua colocação e do tipo de óculos usado.

2.3.3.3 Uso em conjunto dos protetores do tipo plug, com os do tipo concha

O uso combinado de dois tipos de protetores naturalmente, apresenta mais atenuação do que o uso de apenas um. A atenuação neste caso não é igual à soma das atenuações de cada um tipo como pode ser observado na figura 2.8.

FIGURA 2.8: Atenuação média e combinação de dois tipos de protetores (9).



Separado por frequências o incremento no ganho do desempenho varia de aproximadamente 0 a 15 dB, acima do maior valor apresentado individualmente. A 2000 Hz, esta combinação apresenta um ganho de poucos decibéis. A atenuação muda pouco quando se usa diferentes protetores tipo concha e apenas um tipo plug, mas apresenta maior variação quando se usa um tipo concha com diferentes protetores tipo plug.

A escolha do protetor tipo plug é crítica na atenuação abaixo de 2000 Hz, quando os dois tipos são usados simultaneamente, porque especialmente acima dos 2000 Hz, a combinação destes apresenta, atenuação próxima ao limite da condução via óssea, que é de 40 a 50 dB, dependendo da frequência. Como acima exposto, todo e qualquer protetor auditivo, seja do tipo convencional ou dos tipos mais sofisticados, eles apresentam, se devidamente colocados, limitações com relação ao seu efeito atenuativo sobre o ruído que chega até o ouvido interno. Uma destas limitações é a passagem do som via óssea, não mais percorrendo o canal auditivo do ouvido externo e nem movimentando o tímpano e os ossículos do ouvido médio, mas atingindo diretamente o ouvido interno. Mesmo com esta limitação, os estudos procuram melhorar as condições dos dispositivos existentes e desenvolvem tipos e modelos mais específicos para serem usados de forma a minimizar as perdas auditivas dos seus usuários.

2.4 Conclusão

Quando se começa a estudar o funcionamento físico dos dispositivos utilizados para proteger a audição humana, tudo parece tão simples de ser resolvido.

Porém da parte relativa ao homem observa-se que somente a vedação do conduto auditivo não isola totalmente o ruído que passa através de e por outros caminhos como a condução via óssea e a própria pele chegando até a orelha interna que o processa transformando em impulsos elétricos e lidos pelo cérebro.

A parte fisiológica da orelha média e interna são temas extremamente complexo e delicados, que por não ser objeto deste estudo encontram-se apenas citados em alguns tópicos provenientes da bibliografia consultada.

A principal função do protetor auditivo é diminuir o nível do ruído que chega até ao tímpano, pois fisicamente é impossível o acesso a orelha média e a orelha interna a não ser por processos cirurgicos.

Assim sendo, qualquer solução usada para proteger individualmente a audição humana sempre haverá limitações, e sua aplicação será na orelha externa através do conduto auditivo até ao tímpano. Dentre as formas convencionais, estão o uso de protetores auditivos do tipo de inserção ou plug e os do tipo que envolvem a orelha ou tipo concha dependendo principalmente do ruído ao qual se deseja minimizar.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E NORMAS INTERNACIONAIS RELACIONADAS AO ENSAIO DOS PROTETORES AUDITIVOS.

3.1 Introdução

Os detalhes e o funcionamento da estrutura auditiva humana foram observados ou descobertos somente após o pioneirismo dos estudos da anatomia, cujos registros datam dos séculos XVI e XVII, podendo-se considerar a partir de então, como o marco inicial dos estudos sobre o ouvido interno.

Lincke (1837) apresentou um corte da cóclea. Corti (1851) descobriu o órgão que leva o seu nome, e Renaut (1899) descobriu as células ciliadas na membrana reticular (12). Porém foi após a revolução industrial no início deste século, que surgiram os maiores problemas com respeito a perdas auditivas especialmente nos trabalhadores pois as próprias máquinas construídas pelo homem são os elementos geradores do ruído que atingem e destroem de forma até irreversível o delicado sistema auditivo humano.

Somente em 1957 foi apresentada a primeira norma nos Estados Unidos sobre os procedimentos para ensaiar a atenuação de protetores auditivos em laboratório (ANSI Z24.22/1957) e a partir de então, esta norma passou por diversas revisões baseando-se em pesquisas e atualizações até chegar na ANSI S12.6/1997.

Com os procedimentos normalizados, foi disponibilizado um instrumento que permitiu a sua aplicação em laboratórios de todas as partes do mundo. Os estudos sobre protetores auditivos tomaram um impulso e com isto foram desenvolvidos novos produtos com o uso de materiais recém lançados no

mercado, possibilitando também a comparação dos resultados obtidos de forma globalizada, além da formação técnica de novos profissionais na área.

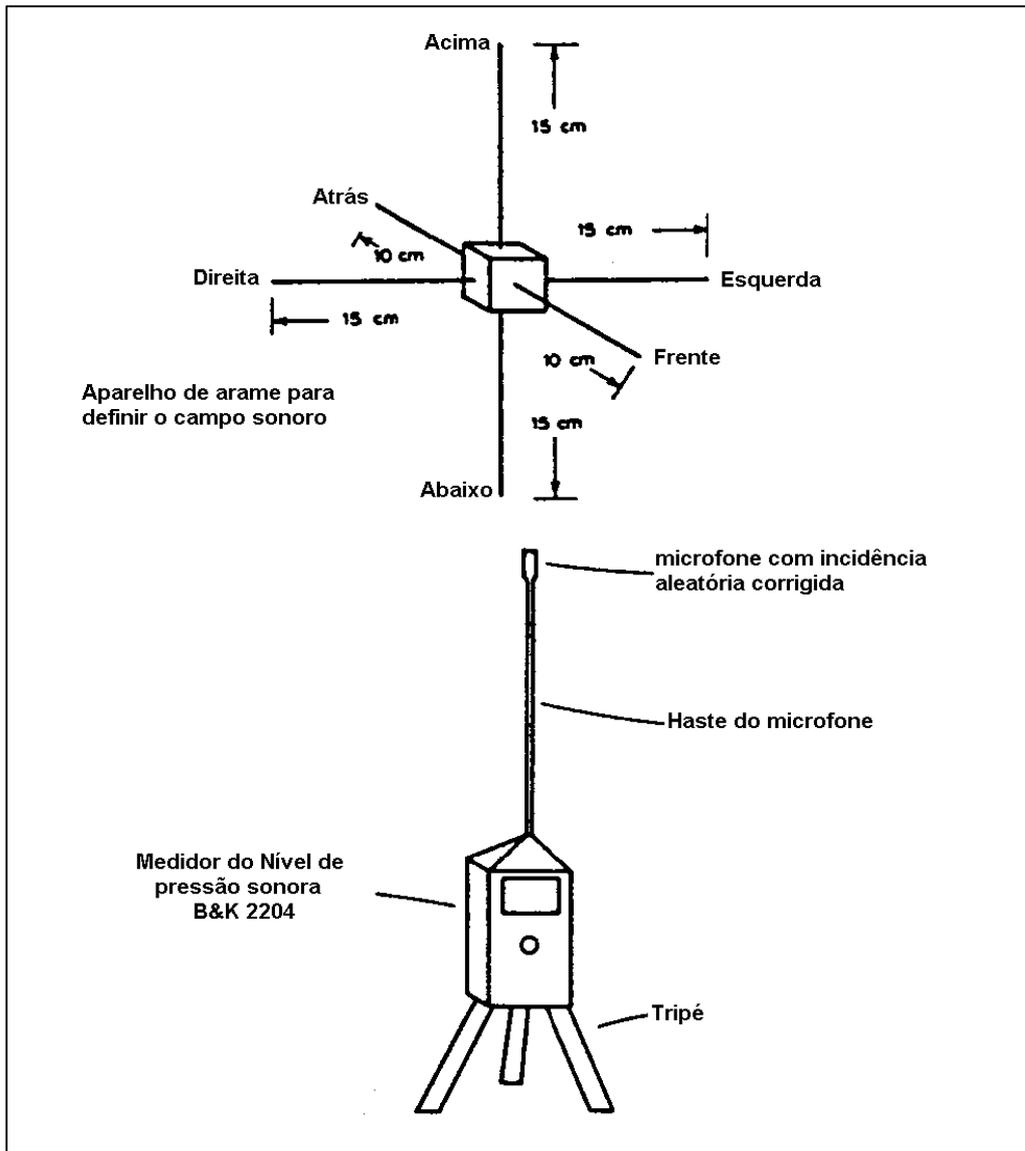
Neste capítulo encontra-se uma revisão bibliográfica de publicações das últimas décadas relacionadas com protetores auditivos e apresentadas de forma resumida, citando os tópicos, mais importantes. Também foram incluídas neste capítulo normas internacionais para os ensaios de atenuação de ruído dos protetores auditivos.

3.2 Revisão bibliográfica

Tolhurst, e Nerbonne (13), realizaram avaliação sobre as características do campo sonoro em volta da cabeça do ouvinte, usando o ruído na banda de 1/3 de oitava e nas frequências central de 125 a 8kHz previstas na ANSI S3.19/74, e os valores obtidos através de um medidor do nível de pressão sonora com microfone de incidência aleatório. A montagem do sistema pode ser visto na figura 3.1, que consiste no ruído transmitido através de três alto-falantes instalados dentro de uma câmara com isolamento acústico.

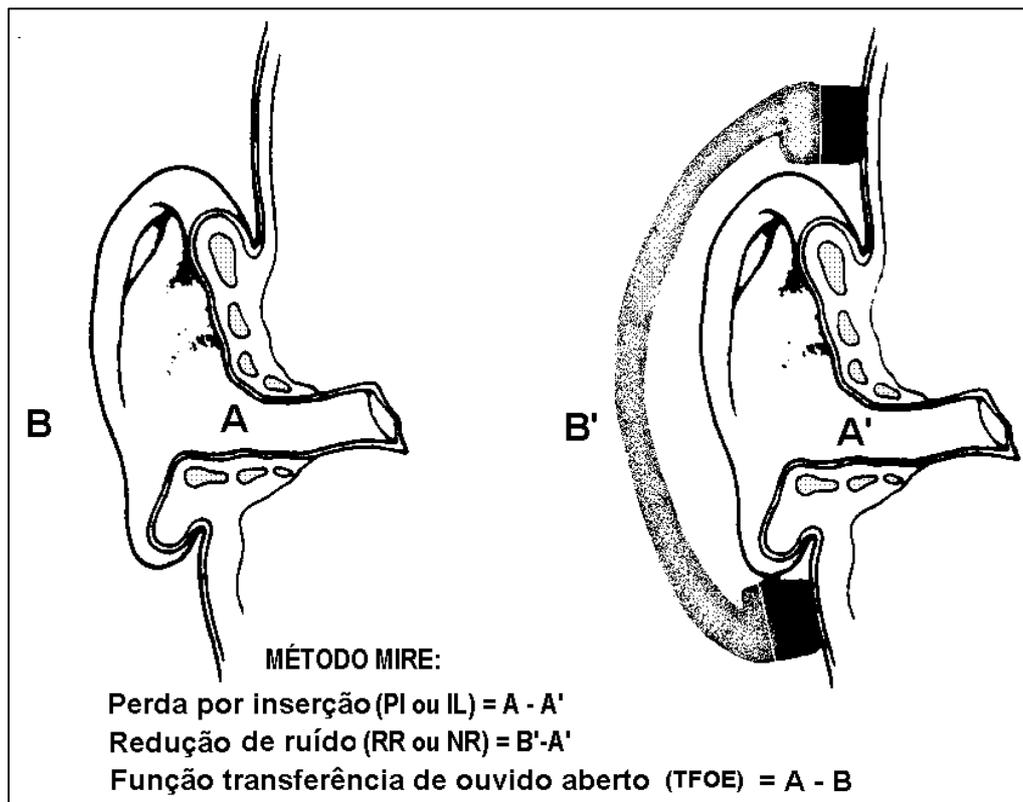
Casali, Mauney e Burks (14) mediram a atenuação de protetores auditivos tipo concha através de procedimentos físicos, usando o método do microfone em tempo real (MIRE), que inclui: perda por inserção (PI ou IL) redução de ruído (RR ou NR) (figura 3.2) e procedimentos psicofísicos usando o método do limiar da atenuação em tempo real (REAT), e 1/3 de oitava. Os resultados mostram que para os procedimentos psicofísicos a diferença do ruído gerado influi na atenuação das frequências medianas. No procedimento das perdas

FIGURA 3.1: Sistema de medição do campo sonoro, em volta de um terminado ponto (16).



por inserção (PI) utiliza-se apenas um microfone posicionado na orelha, obtendo-se duas medições em pontos diferentes no tempo, um com e outro sem o protetor. Já o procedimento da redução sonora (RR) são usados dois microfones para medir simultaneamente, um localizado dentro da concha e outro fora. Segundo Pfretzschner e Moreno, as medições realizadas pelos

FIGURA 3.2: Perda por inserção (PI ou IL) e redução de ruído (RR ou NR). (4)



procedimentos PI e RR são equivalentes, apenas diferenciados pelos efeitos da difração. (3)

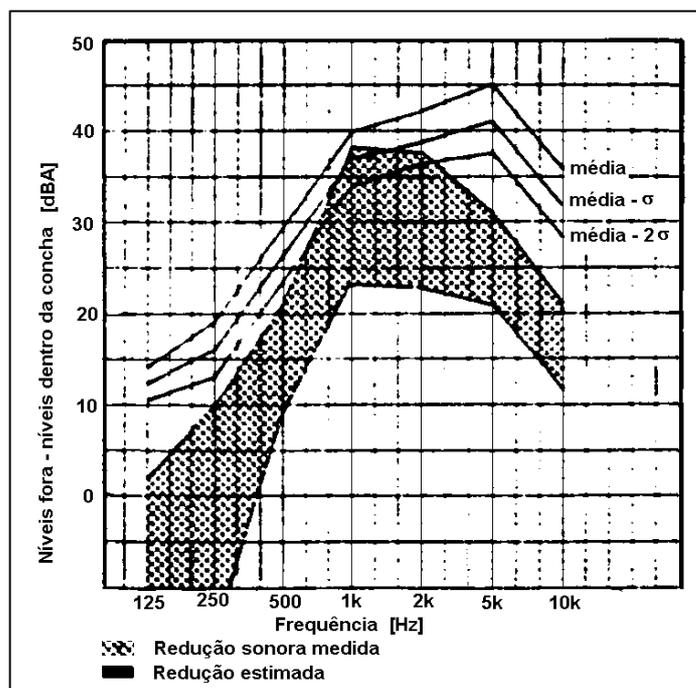
Casali e Lam (15) estudaram os efeitos do uso das instruções fornecidas ao usuário na medição da atenuação dos protetores auditivos tipo concha e semi-inserção, concluindo que para estes tipos de protetores as instruções não representam diferença significativa na sua atenuação.

Hirschorn e Singer (16) levantaram as determinações do tempo de reverberação para o ambiente dos testes audiométricos. Descreveram que, sob as condições de uma câmara anecóica com tempo de reverberação igual a zero, a inteligibilidade da fala (SI) chega a 97,2 % e para o tempo de reverberação de 1,6 segundos a SI chega a 66,8 % de forma a representar

dificuldades intermediárias da fala. Concluem que para crianças e adultos o tempo de reverberação na câmara para avaliar a inteligibilidade da fala o tempo de reverberação deve estar entre 0,2 e 0,25 segundos.

Goff e Blank (17) realizaram a avaliação de protetores auditivos tipo concha em campo. Numa mina abrangendo o complexo extrativo de carvão mineral, desde os trabalhos no subsolo até os trabalhos fora da mina, mediram o L_{eq} dentro e fora do protetor calculando a redução sonora (RR) medida. Também calcularam o fator de proteção R especificado pela NIOSH, que é um fator de proteção estimado, expresso por um número (R), chegando a conclusão de que os protetores ensaiados em laboratório apresentam boa proteção, mas nas condições de campo os valores obtidos são menores e os protetores tipo concha apresentam condições própria de atenuação nas diferentes frequências.

FIGURA 3.3: Medição da redução sonora obtida em laboratório, por frequência (17).



Na figura 3.3 (17) encontram-se traçadas curvas por freqüência das medições sonora dentro e fora da concha, atenuação obtida em laboratório segundo a ANSI, mostrando a média e a média menos 1 e 2 desvios padrão.

Casali e Park (18) estudaram a atenuação em campo comparado com a atenuação em laboratório de diversos protetores auditivos. Submeteram aos testes, em laboratório, ouvintes treinados e não treinados, protetores de espuma moldado e pré-moldado, tipo concha com almofada de espuma e usando o tipo concha com o tipo plug. Inicialmente realizaram os testes em laboratório e de posse destes dados, realizaram as investigações na indústria durante seis semanas com trabalhadores que usam regularmente protetores auditivos.

Foram usados ouvintes voluntários do sexo masculino com idade entre 20 e 59 anos, empregados da Universidade com a condição de trabalharem expostos a ruído. Os ouvintes atuam em diversas áreas sob ruído com intensidades que oscilam entre 86,5 a 106,4 dB(A).

Os ouvintes foram selecionados a partir de audiometrias, apresentando perdas auditivas de até 40 dB, quando testadas com tom puro nas freqüências de 125 a 8kHz, além da diferença ser de no máximo 20 dB entre direita e esquerda.

Após as seis semanas, os ouvintes realizaram teste de atenuação em laboratório, com o mesmo protetor usado durante o período em campo.

Uma das conclusões dos testes realizados é de que as normas ANSI S3.19/74 e S12.6/1984 para medir a atenuação dos protetores auditivos, devem ser revistas com base na influência dos níveis de proteção e no número único NRR

(Noise Reduction rating). Estas normas apresentam normalmente valores sobre estimados da proteção real quando usados em campo.

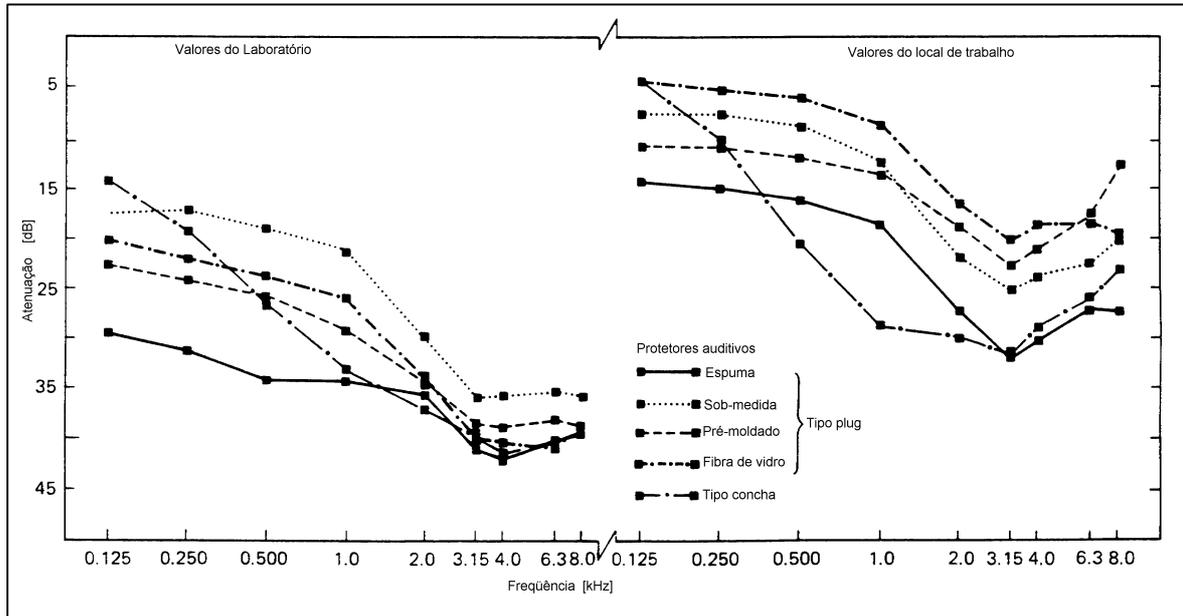
Lempert (19) (1984) apresentou um compendium dos dispositivos de proteção auditiva, incluindo dados de fornecedores, modelos, tipos, peso, força de arco. Valores médios de atenuação e desvio padrão dos testes nas frequências de 125 a 8kHz. Padrões e testes de laboratório, apresentando também métodos para calcular os fatores da redução sonora para a proteção auditiva e a discussão dos fatores a serem considerados na seleção para uso destes dispositivos.

Woodson (6) relacionou as características do sistema auditivo, com a mecânica dos fluídos. Os parâmetros auditivos da resposta comparou-os com os tons; a localização do som, o mascaramento e os efeitos do ruído no desempenho humano, além da resposta auditiva a ultra-som, baixa frequência e infra-som.

Berger e Nixon (9) estudaram:

- os dispositivos de proteção auditiva,
- os fatores que afetam o desempenho destes,
- o efeito oclusão,
- o cálculo da redução do ruído devido ao uso de protetores auditivos,
- as características de desempenho dos dispositivos de proteção auditiva,
- tipos especiais de protetores como tipo passivo, amplitude-sensibilidade, eletrônico ativo

FIGURA 3.4: Comparação dos valores obtidos em laboratório e no local de trabalho para cinco tipos de protetores auditivos (9).



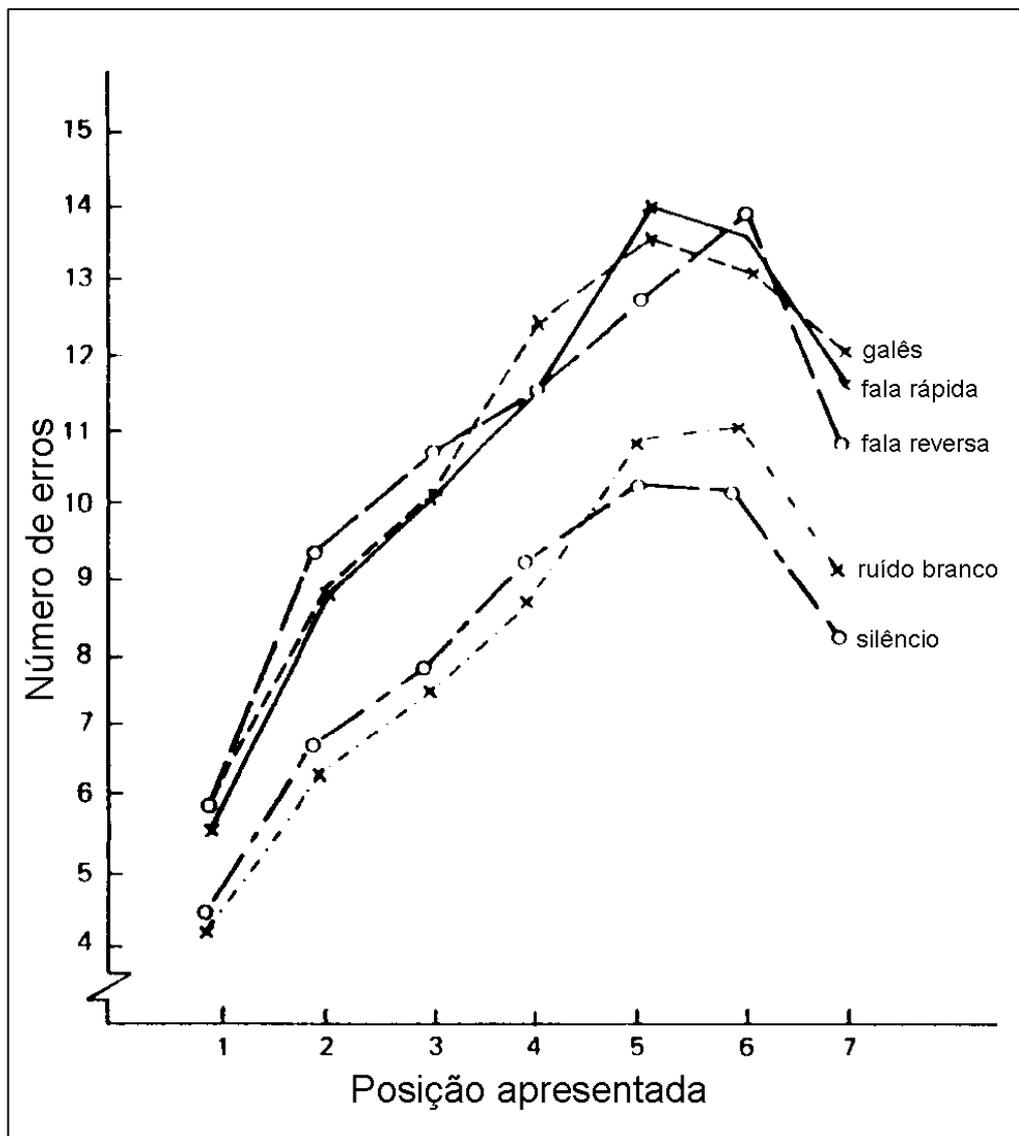
e também os procedimentos para estimar a atenuação dos protetores auditivos.

Estudos foram também realizados no local de trabalho com diversos tipos de protetores conforme mostra a figura 3.4 (9).

Jones e Broadbent (20) estudaram:

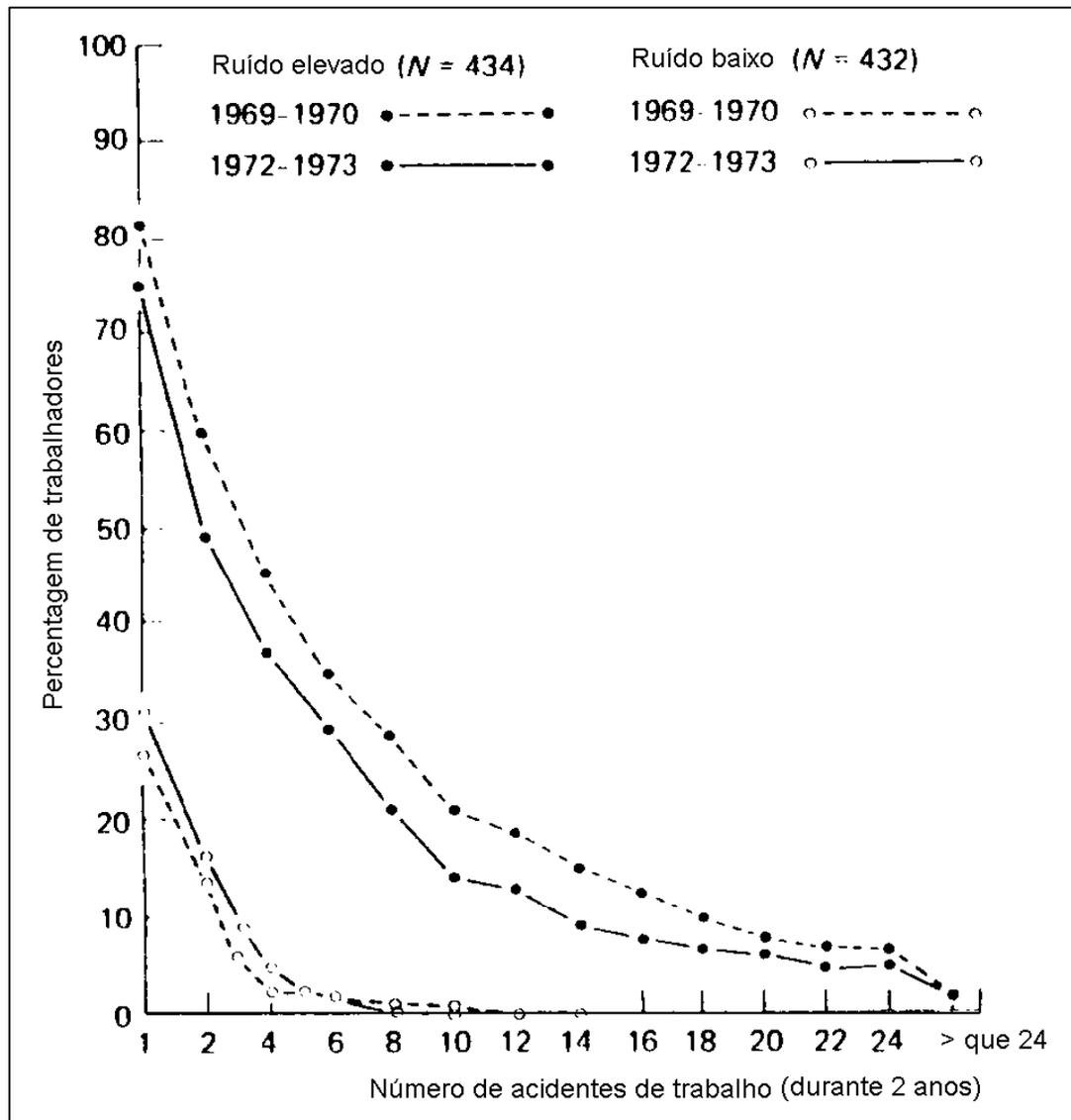
- os efeitos do ruído no desempenho humano, sob trocas nos níveis sonoros,
- o ruído de uma explosão,
- o ruído intermitente e os seus efeitos na distinção dos controles,
- o ruído contínuo para tarefas simples,
- nas tarefas que demandam atenção, como a observação cognitiva,
- as tarefas com ordem oral,
- os efeitos dos estímulos e as diferenças individuais dos estímulos.
- os efeitos dos tipos de fala com sete consoantes e os erros em função da posição destas consoantes, figura 3.5 (20).

FIGURA 3.5: Tipos de fala com sete consoantes e os erros em função da posição nas palavras (20).



Por um período de dois anos os mesmos autores estudaram a influência da exposição das pessoas a altos e baixos níveis de ruído, com os acidentes na indústria, demonstrando que sob níveis elevados de ruído o percentual de pessoas que sofrem acidentes de trabalho é superior ao percentual de trabalhadores que se acidentam quando expostos a níveis baixos de ruído, figura 3.6 (20).

FIGURA 3.6: Número de acidentes pessoais em indústria durante dois anos em função da exposição em nível de ruído elevado e baixo (20).



Jansen (21) estudou os efeitos fisiológicos causados pelo ruído, desde os efeitos causados por ruído de curta duração também chamado de impacto, os efeitos na atividade muscular até as implicações do ruído na saúde das pessoas.

Berger (22) apresentou uma série de monogramas técnicos intitulados de E-A-Rlog abordando discussões sobre a audição e a proteção auditiva, versando o de número 1 sobre o método do limiar em grupo para a medição

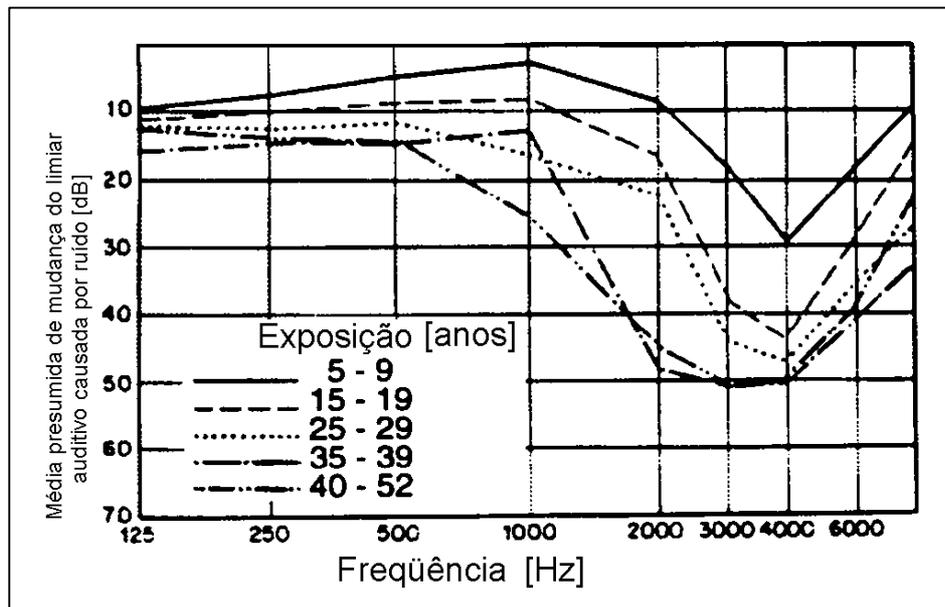
da atenuação dos protetores auditivos e no E-A-RLog 2 (22) a utilização de um único número denominado NRR (Noise Reduction Rating) para representar a atenuação sonora em protetores auditivos, obtido através de diversos cálculos na banda de frequência entre 125 e 8 kHz.

Na versão E-A-Rlog 17 (22) foi abordada a infecção auditiva e o uso do protetor auditivo, deixando claro a necessidade de uma avaliação fisiológica do sistema auditivo de todos aqueles que se expõem constantemente a ruído e que usam protetores auditivos no seu local de trabalho.

Allen (23) descreveu os procedimentos usados na instalação de um sistema RATS (Real-ear Attenuation Testing System) usado para ensaiar a atenuação de protetores auditivos num laboratório, construído sob características próprias, sendo bem diferente da câmara construída na UFSC.

O sistema consta de uma caixa de controle e instalada dentro dela um gerador de ruído, um gerador de pulso e um sistema de filtros para a banda de 1/3 de oitava, sendo estes, comandados por um microcomputador através de interface IEEE-488. O sinal, após a caixa de controle, é amplificado e conduzido aos alto-falantes dentro da câmara. Esta câmara é construída de forma especial, sendo a parte externa uma estrutura semelhante a uma caixa de concreto com espessura das paredes de 15,2 cm e dentro desta, separada por um espaço vazio de 15,2 cm, foi construída uma outra câmara com paredes de madeira dupla preenchida com fibra de vidro expandida, sendo o piso de concreto. Possui um volume interno de 34,2 m³. O sistema satisfaz as condições da norma ANSI S12.6/1984.

FIGURA 3.7: Média estimada da mudança permanente do limiar auditivo, causado por ruído em função do tempo em anos (10).

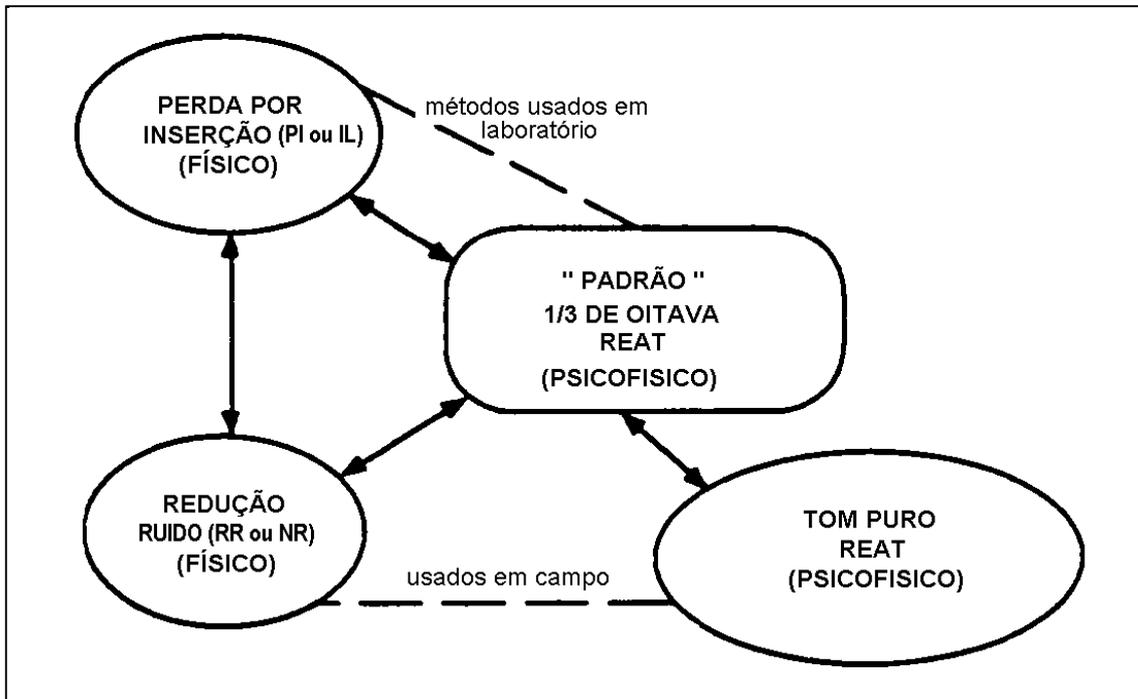


Casali (10) é considerado um pesquisador conceituado por realizar trabalhos técnicos sobre a proteção da audição e a exposição do homem ao ruído.

Num artigo comenta que o número único (NRR) fornece uma superestimação da atenuação dos protetores auditivos podendo variar de 25% a 75%, sendo a percentagem maior para os tipo plug e o percentual menor para os do tipo concha. Apresentou um estudo sobre as perdas auditivas em função do tempo de exposição (em anos) ao ruído, pois além da presbiacusia, as pessoas apresentam perdas auditivas mais acentuadas nas frequências mais elevadas quando expostas por longo tempo ao ruído, como mostra a figura 3.7 (10).

Casali também descreveu como são realizados determinados testes e os procedimentos usados para medir a perda por inserção (PI), que usa o método MIRE (microphone in real-ear), que consta da instalação de

FIGURA 3.8: Inter-relação dos métodos usados em laboratório e no campo (10).



minimicrofone na orelha do ouvinte e o KEMAR (manequim) com acoplamento Zwislocki L-D 2540 de ½ polegada.

Os métodos de testes para a atenuação de protetores auditivos são classificados em psicofísicos e físicos, quando usados em laboratório e em campo, ou também denominados por alguns pesquisadores como subjetivo e objetivo . A figura 3.8 mostra estes métodos e suas inter-relações.

Casali também vem desenvolvendo trabalhos com protetores auditivos do tipo ativo, os quais usam componentes eletrônicos na sua montagem.

Berger (24) estudou também técnicas de motivação a fim de estimular os trabalhadores a usar os dispositivos de proteção auditiva, fazendo parte dos programas de conservação auditiva, amplamente difundido no Brasil pelo professor Gerges a tal ponto de ser o responsável pela construção de uma

câmara reverberante preparada acusticamente, com a finalidade de testar protetores auditivos.

Casali e Robinson (25) utilizam, no laboratório em Blaksburg, uma câmara reverberante acusticamente preparada para os ensaios de protetores auditivos, usando para os testes um sofisticado sistema eletrônico integrado controlado por computador. A câmara foi ajustada de maneira a satisfazer os quesitos da norma ANSI S3.19/1974.

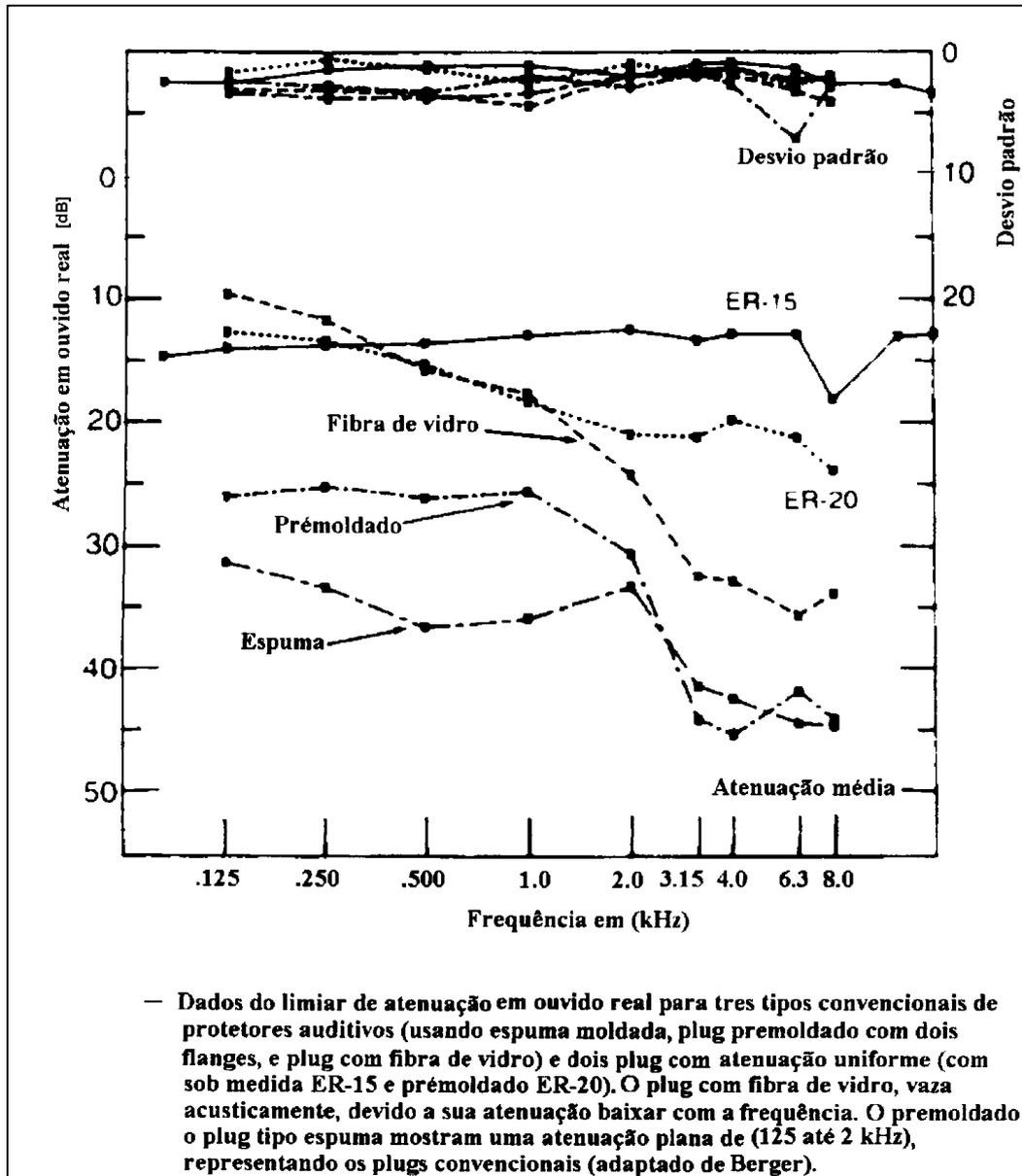
Berger e Kieper (26), no laboratório em Indianapolis, utilizam uma câmara reverberante industrial com paredes de aço modular instalada dentro de uma câmara com paredes em concreto com 20,3 cm de espessura. A câmara acústica satisfaz as condições da norma ANSI S3.19/1974 e posteriormente qualificada para as condições da norma ANSI S12.6/1984. O sistema de controle da geração e dos equipamentos de medição não são através de computador.

Casali e Berger (11) escreveram sobre os avanços tecnológicos em protetores auditivos até 1995, dentre eles os dispositivos com redução ativa de ruído (ANR), frequência/sensibilidade-amplitude e atenuação uniforme.

Apresentaram o resultado dos estudos sobre estes novos tipos de protetores auditivos, mostrando as suas vantagens e desvantagens como no caso dos protetores auditivos com atenuação uniforme.

A figura 3.9 (11) apresenta as curvas de alguns tipos de protetores plug convencional de espuma, fibra de vidro e plug pré-moldado, que aumentam a atenuação com o aumento da frequência, assim como dois modelos de

FIGURA 3.9: Atenuação em ouvido real de diversos protetores (11).



protetores auditivos do tipo com atenuação uniforme. Quando se usa protetores auditivos, o que se ouve fica distorcido no espectro sonoro, necessitando de uma adaptação à nova situação. Não ocorre somente redução no nível mas também aparecem no sentido espectral do som. Por exemplo, operadores de máquina ferramenta comentam que o ruído da ferramenta de corte está distorcido. Pilotos de aeronave e operadores de abastecimento dizem que os

sinais importantes não podem ser discernidos, músicos falam em problemas na percepção dos sons de pico quando usam protetores auditivos convencionais. Para resolver estas distorções, a atenuação imposta pelos protetores auditivos deve ser do tipo plana ou uniforme e ser quase linear, especialmente nas frequências de 100 a 8000 Hz, cujos efeitos foram observados tardiamente, somente na década de oitenta.

Na década de noventa, dando continuidade ao ajuste destes dispositivos, foram incluídos modelos que oferecem atenuação em níveis diferentes como os modelos da figura 3.9 (11).

A atenuação plana bem sucedida do protetor auditivo tipo inserção foi desenvolvida usando a integração de elementos mecânicos que produzem alteração acústica como canais, dampers e diafragmas dentro dos plugs pré-moldados sob medida.

Uma aproximação é o plug moldado sob medida ER 15, ilustrado na figura 2.6 (11), que utiliza um canal de som como o de uma massa acústica (indutância, $L1$), um diafragma (elemento capacitivo, $C1$) e um damper (elemento resistivo, $R1$) formando um sistema ressonante para restaurar a ressonância natural de 2,7 kHz que é normalmente perdida quando o ouvido está com plug. Um outro projeto atribui a planicidade na resposta do ER 15 como a posição do plug sonoro que fica próximo à entrada do canal auditivo tirando proveito da amplificação natural em alta frequência devido ao formato da orelha. Isto gera mais energia sonora ao passar pela entrada, reduzindo efetivamente a atenuação do plug. Esta combinação de resultados tem um perfil de atenuação plana com cerca de 15 dB através da banda de frequência.

Uma alternativa, bem mais barata do que um projeto de plug, é a que incorpora elementos acústicos no corpo do plug pré moldado. Trata-se do plug Ultra Tech de Segurança Cabot ER 20, onde o diafragma foi substituído com um damper acústico e o efeito da captação do som pela concha da orelha é o resultado da capa final montada envolta na abertura do plug (figura 3.8).

Apesar da obtenção de um perfil de atenuação relativamente plano seu desempenho não é inteiramente uniforme como o ER 15.

Músicos profissionais e indivíduos com perda de audição nas altas freqüências podem achar tais dispositivos particularmente benéficos.

Entretanto, para ruídos com substancial energia em alta freqüência, os plugs com atenuação uniforme geralmente oferecem menos proteção do que os convencionais moldados sob medida ou plug pré moldado. Portanto, estes novos dispositivos não são para uso universal, logo não há no mercado protetor apropriado que sirva para todas as aplicações, além de envolver os custos dos protetores do tipo especial.

Em determinadas situações, os protetores auditivos especiais podem ser indicados nos programas de conservação auditiva ocupacional, pois em certos locais existem problemas sérios com respeito ao ruído dificultando a permanência dos trabalhadores nestes locais, que necessitam então de dispositivos especiais. Porém a massa da força de trabalho não usa estes tipos especiais de protetores, usa os dispositivos convencionais que oferecem cobertura suficiente e baixo custo.

Bauman e Marston (27) desenvolveram uma pesquisa no sentido de estudar os efeitos do protetor auditivo na inteligibilidade da fala quando exposto ao ruído.

Observaram que os protetores auditivos alteram a audição da comunicação verbal nas altas frequências dos ruídos em banda larga especialmente, aqueles que já apresentam perdas auditivas.

Houve tamanha preocupação com protetores auditivos, então Royster (28) realizou um trabalho sobre as recomendações para as embalagens de protetores auditivos, a fim de normalizar as informações que acompanham o produto.

Genuit e Burkhard (29) reviram as diferenças entre o sistema auditivo humano e o artificial usando técnicas de medição com qualidade sonora equivalente e medições simultâneas.

As propriedades psicoacústicas da audição humana, como o processamento do sinal binaural são mantidos usando um sistema de análise binaural também em cabeça artificial.

O ouvido humano difere do método convencional de medição em quatro condições fundamentais: 1- ouvido externo é um filtro natural que altera o nível de pressão sonora no tímpano de +15 a – 30 dB. As propriedades de filtragem da orelha são devido à difração, à reflexão e à ressonância causadas pela geometria da orelha e os ressaltos. 2 – a audição humana tem dois caminhos (direito e esquerdo), permitindo localizar e ouvir um sinal no espaço, além de perceber trocas das características e propriedades do sinal. 3 – o sistema auditivo não percebe somente o nível de pressão sonora, mas também propriedades psicoacústicas como a sonorização, a nitidez, a qualidade e a tonalidade. 4 – o ouvido humano apresenta alta resolução em termos de frequência e tempo.

A NIOSH (1998) (30) revisou os critérios para a exposição ao ruído ocupacional, com os padrões recomendados para o ruído, programa de prevenção a perdas auditivas, enfim, os critérios para os padrões recomendados na América.

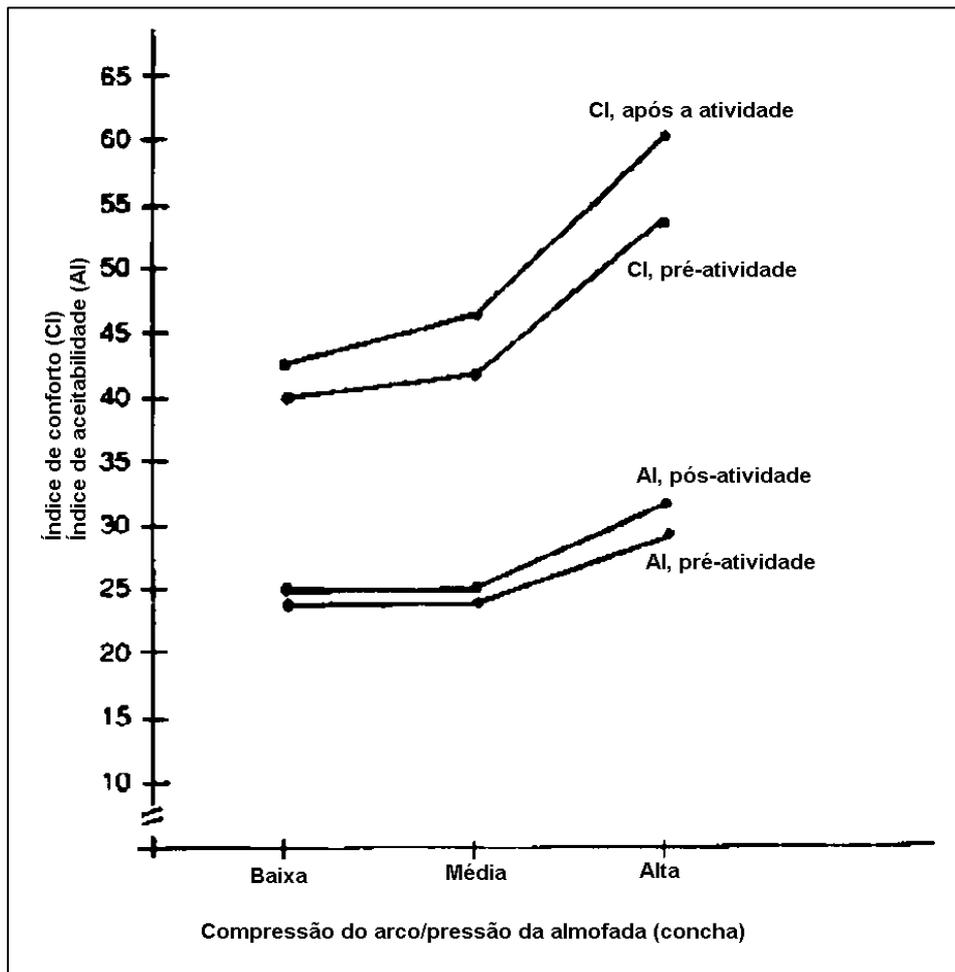
Segundo Casali & Grenell (31) o conforto dos protetores auditivos consiste num aspecto crítico para o seu uso de maneira adequada no local de trabalho.

Pesquisaram a força do arco, as almofadas e os efeitos do tempo de uso para os protetores do tipo concha. Foram submetidos a testes 24 participantes voluntários (12 homens e 12 mulheres) não usuários de protetores tipo concha, com boas condições de saúde e condições auditivas requeridas pela norma ANSI S12.6/84. Usaram um questionário de conforto com valores em escala com 12 níveis bipolares e para a forma de aceitabilidade uma escala bipolar com valores numéricos variando de 1 a 7.

Os testes foram realizados sob as condições de laboratório, onde cada usuário permaneceu durante um tempo sem o protetor, e após o período de silêncio colocou-o, permanecendo mais um tempo para depois tirá-lo e imediatamente preencher o questionário. Com relação a força do arco pressionado sobre as conchas, especificou-se na pergunta se a pressão é baixa, média ou alta.

Também convencionou-se que para o índice de conforto (CI), 11 representa o mais confortável e 77 o menos confortável e para o índice de aceitabilidade (AI), 8 como mais aceitável e 56 como menos aceitável, cujos dados compilados estão na figura 3.10 (31).

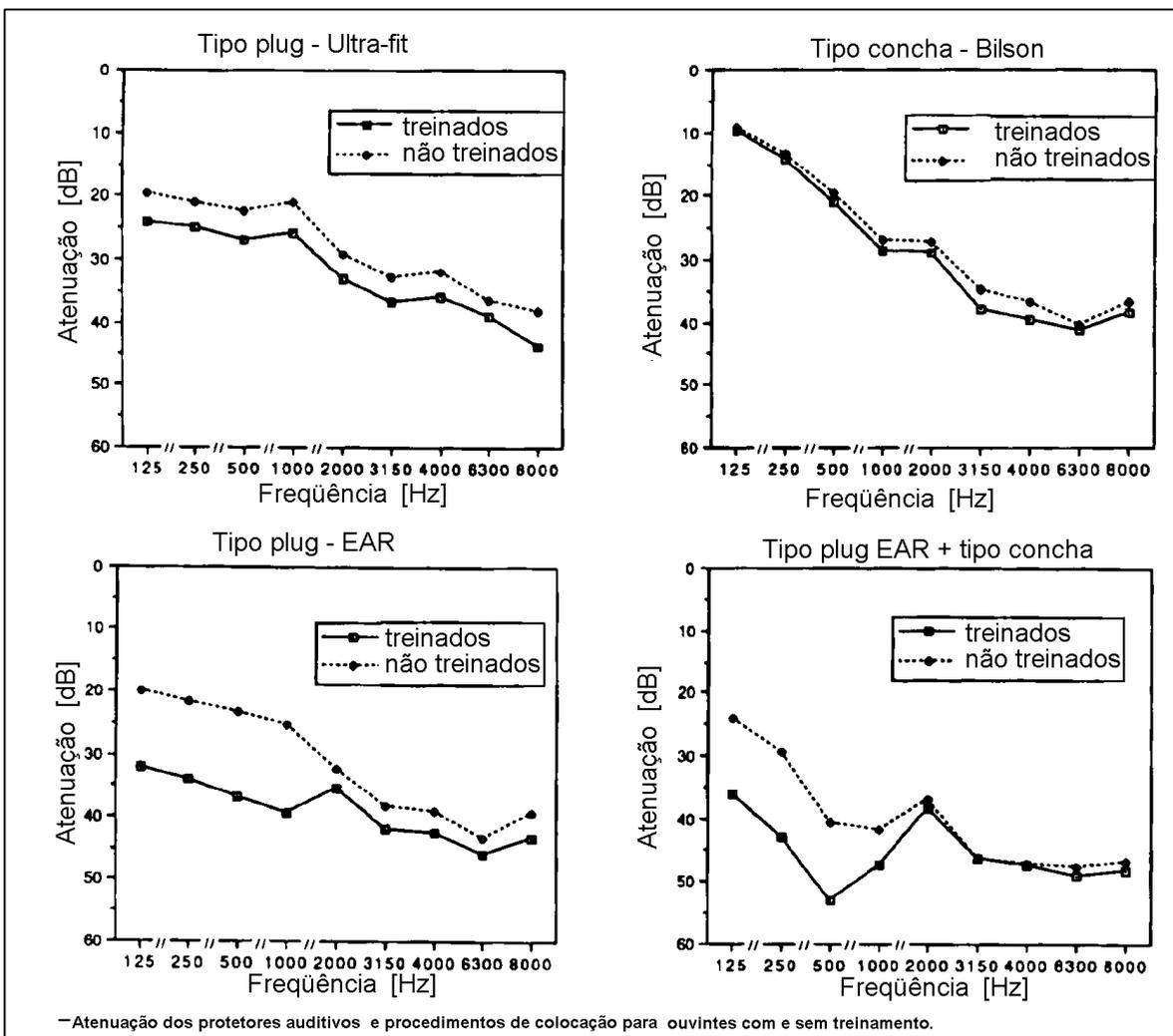
FIGURA 3.10: Índice de conforto (CI) e índice de aceitabilidade (AI) da pressão do protetor (31).



Casali & Park (32,33) estudaram os efeitos das condições de trabalho simulado no ambiente do laboratório e a atenuação no ajuste dos protetores tipo espuma com baixo restabelecimento. Nos testes sempre houve a preocupação em envolver 50% de homens e 50% de mulheres, normalmente com pessoas que nunca usaram protetores e com boas condições de saúde, incluindo a auditiva.

Estes pesquisadores (32,33) também estudaram a influência dos movimentos dinâmicos no desempenho atenuativo dos protetores auditivos, sob diversas condições de colocação. Estes estudos foram realizados em

FIGURA 3.11: Atenuação de quatro protetores auditivos, por procedimentos de colocação e por frequência nas bandas de 1/3 de oitava (33).



laboratório, sendo instalado dentro da câmara um equipamento terapêutico Baltimore para simular os movimentos dinâmicos de seis diferentes atividades, como a de rotacionar o registro em uma canalização.

O usuário em teste é monitorado através de uma câmara de vídeo. A figura 3.11 (33) mostra em curvas, a atenuação de três tipos diferentes de protetores auditivos e mais um com a montagem de dois protetores simultaneamente para ouvintes treinados e não treinados.

Já a figura 3.12 (33) apresenta as curvas da atenuação para os mesmos tipos de protetores auditivos, sob as condições de antes, durante e depois dos testes. As frequências de 125 a 8000 Hz e banda de 1/3 de oitava. Para o estudo do conforto, os testes foram realizados sob duas condições uma no laboratório com um grupo de voluntários com audição normal mas que não são usuários de protetores auditivos, e na outra condição em campo sendo recrutados empregados de diversas indústrias nos arredores da Instituição

FIGURA 3.12: Atenuação dos protetores antes, durante e depois dos testes dinâmicos (33).

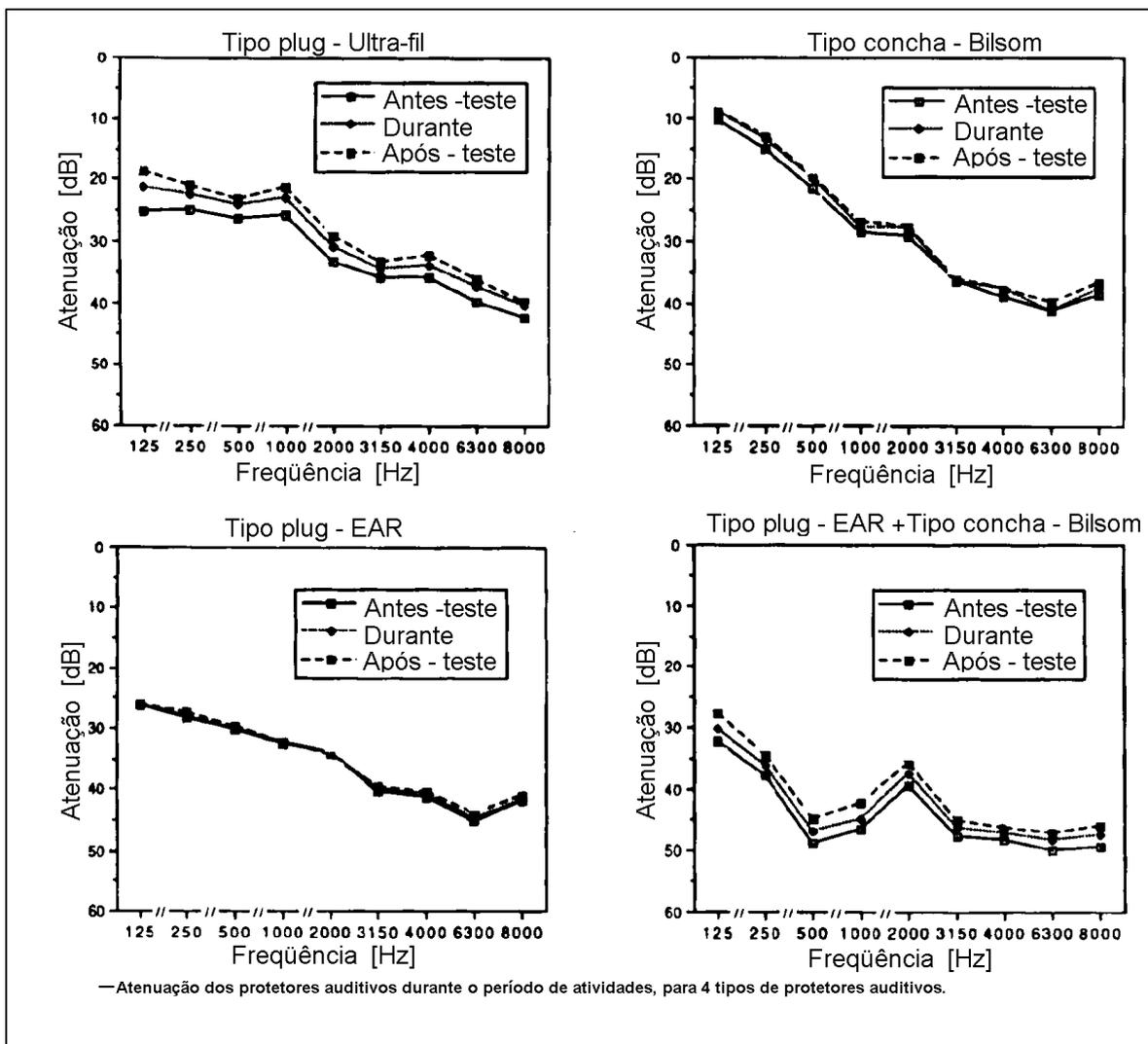
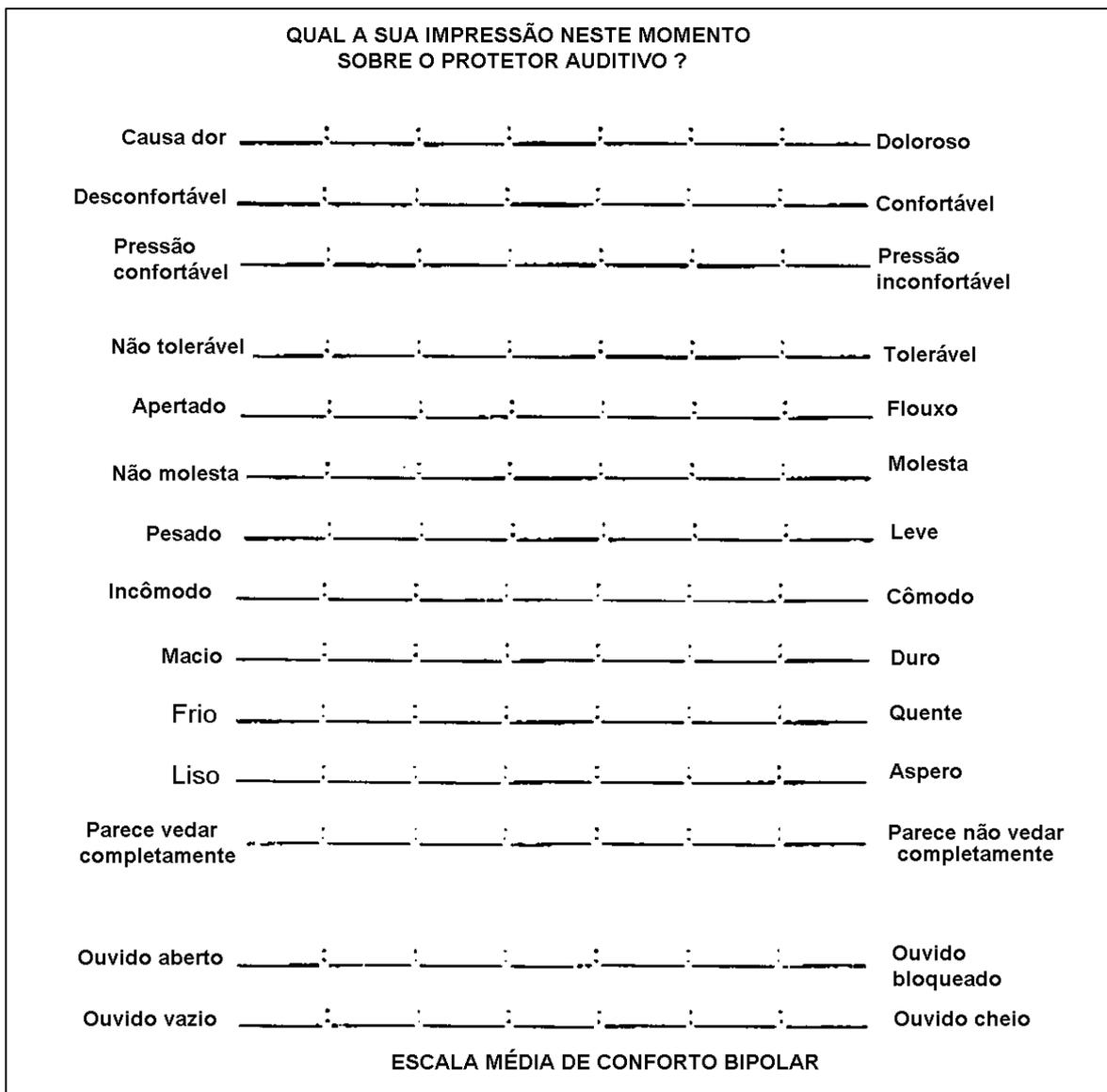


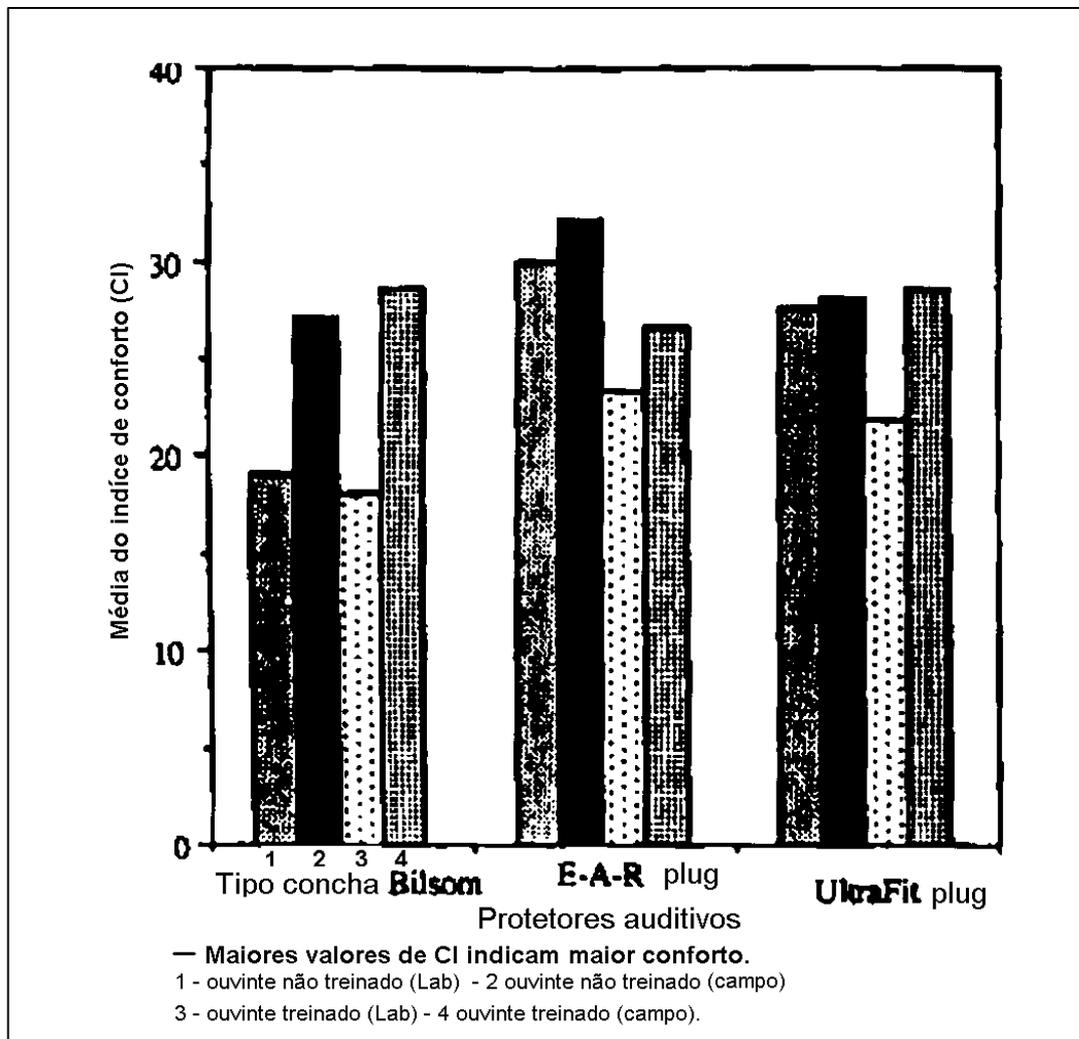
FIGURA 3.13: Escala média de conforto do tipo Bipolar (34).



expostos a ruídos acima de 85 dB. Montou-se um questionário com escala tipo bipolar, figura 3.13.

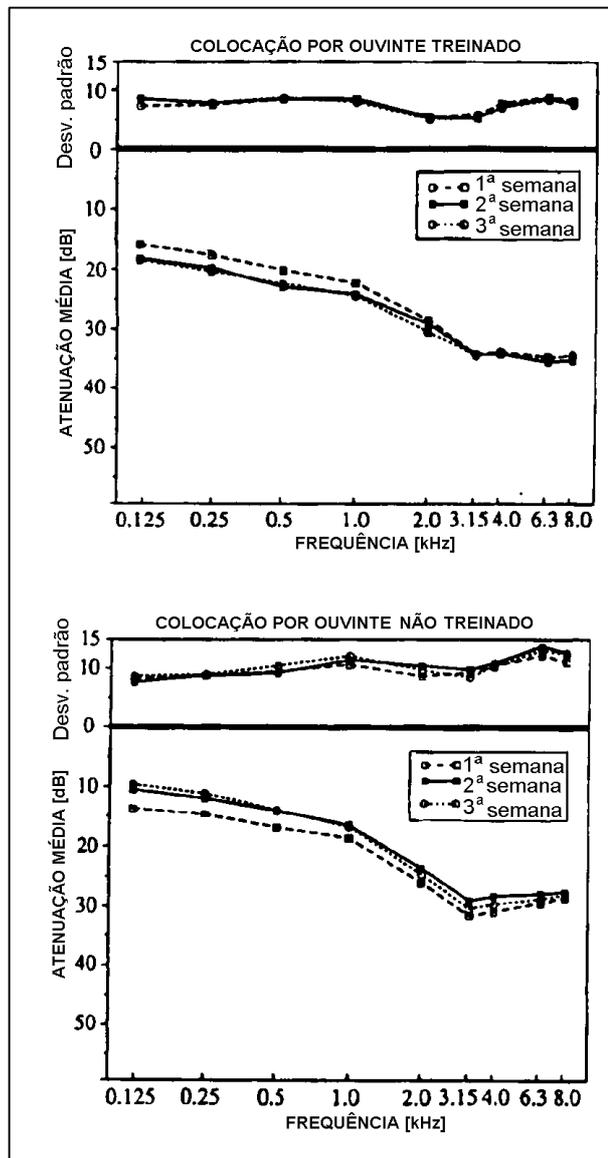
Na conclusão sobre o conforto, mostrado na figura 3.14 (34), o resultado da análise com três tipos de protetores, sob quatro condições ou seja com ouvinte treinado em campo e laboratório e com ouvinte não treinado no campo e em laboratório.

FIGURA 3.14: Média do índice de conforto (CI) para 3 tipos de protetores auditivos (34).



Park & Casali (35), afirmam que um dos maiores causadores do estresse ocupacional para os trabalhadores na indústria é a excessiva exposição ao ruído. As indenizações devido a perdas auditivas induzidas pelo ruído são as mais elevadas, apesar das melhorias advindas dos programas de conservação auditiva adotados pelas empresas. Mesmo assim, os problemas de danos auditivos continuam aumentando.

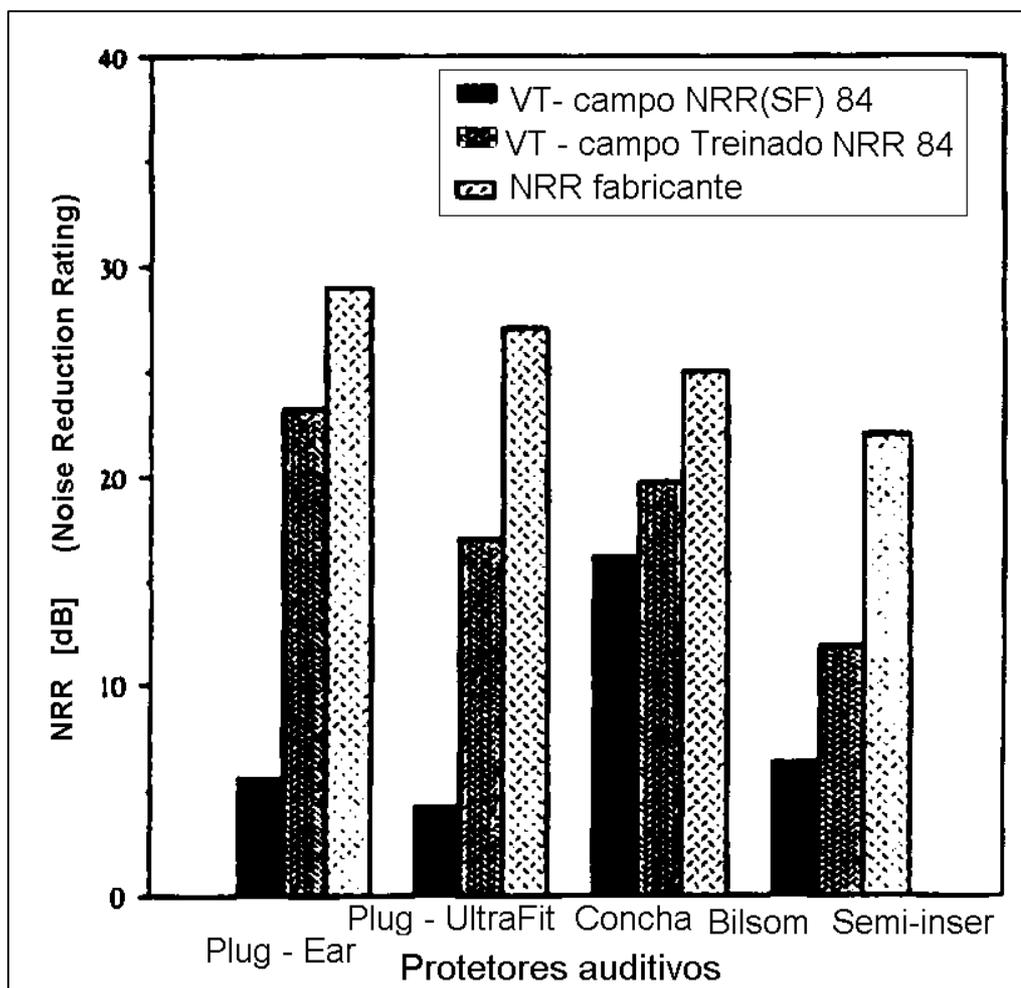
FIGURA 3.15: Atenuação média por procedimento de colocação, nas três semanas (35).



Durante 3 semanas testaram no laboratório trabalhadores de indústrias os quais trabalham em ambientes com ruído acima de 85 dBA, sendo apresentado na figura 3.15 (35) os gráficos referentes à atenuação média em função dos procedimentos de colocação do protetor, obtidos com ouvintes treinados e não.

Foram comparados os dados obtidos em campo no Virgínia Tech Institute (VT) com ouvintes treinados e não treinados, calculando-se a NRR_{84} com os

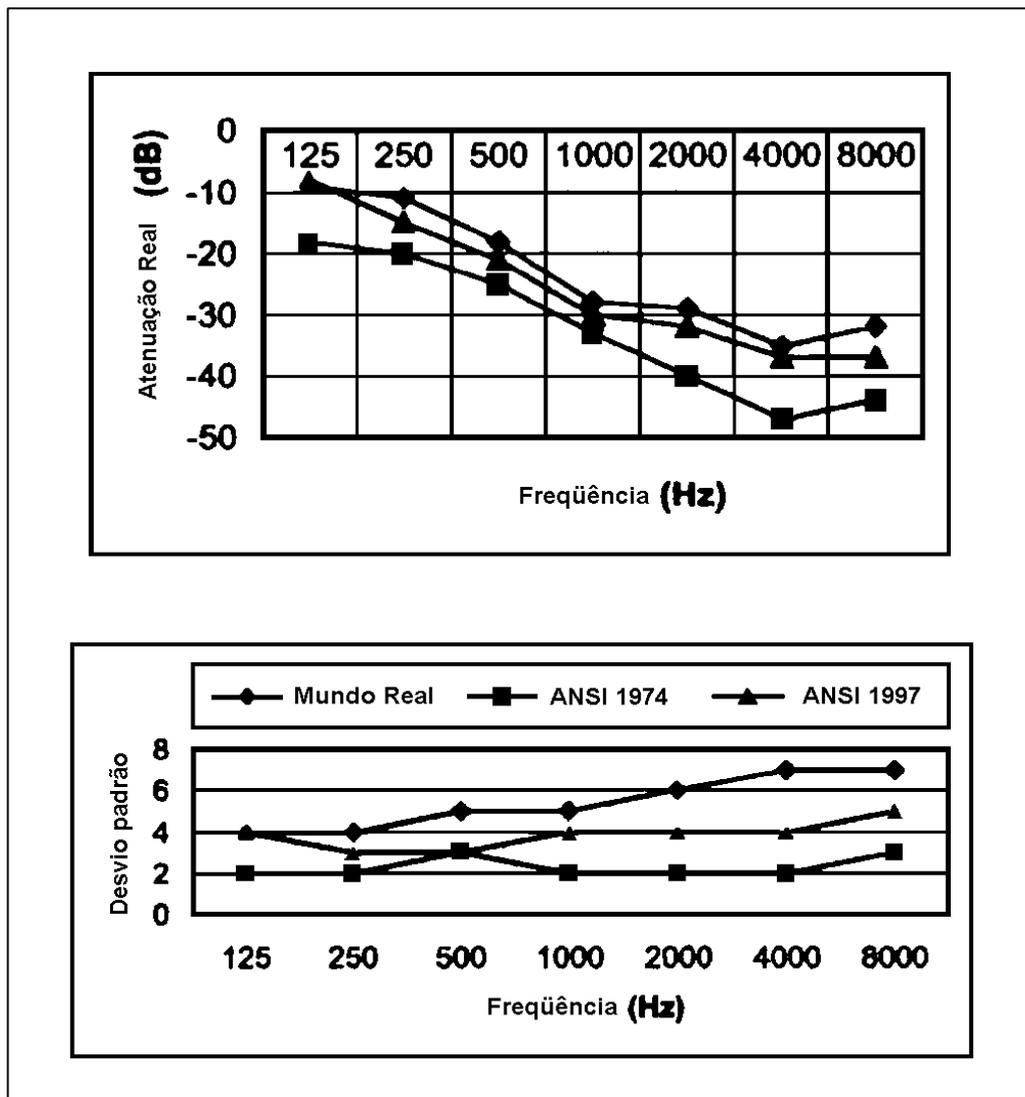
FIGURA 3.16: Comparação entre os dados da NRR_{84} obtidos no Virginia Tech (VT) e os dados dos fabricantes de quatro tipos de protetores (35).



dados dos fabricantes, para quatro tipos de protetores, como observa-se na figura 3.16 (35).

Gerges (36) publicou um artigo sob o título “Protetores Auditivos: um novo NRR_{sf} ” esclarecendo de maneira sucinta aspectos envolvidos com a proteção auditiva sob a visão da aplicação da norma ANSI de 1997 que gerou uma nova NRR , com a sigla NRR_{sf} (sf do Inglês Subject fit). O que as diferencia é a colocação do protetor pelo próprio usuário que o faz sem qualquer instrução por parte do responsável pelo ensaio, apenas lê as

FIGURA 3.17: Atenuação de protetor auditivo tipo concha, realizado sob três condições diferentes (mundo real = uso em campo) (36).



instruções que acompanha o protetor auditivo. A figura 3.17 apresenta dados de atenuação medidos nos EUA para um protetor tipo concha, os testes foram realizados sob três condições diferentes, 1ª denominada de mundo real, que é a média de ensaios realizados em campo, 2ª seguindo as determinações da ANSI S3.19-1974 e 3ª segundo a ANSI S12.6 –1997 método B.

3.3 Conclusão sobre a revisão bibliográfica

Os procedimentos para medir a atenuação de ruído em protetores auditivos, no início na década de 50, apresentavam limitações quanto aos resultados oferecidos. Com o passar do tempo, diversas pesquisas com temas específicos foram realizadas dando suporte para as alterações nas revisões das normas, como: quanto ao campo sonoro dentro da câmara acústica, ao número de ouvintes, seqüência dos testes e treinamento ou não do ouvinte antes de realizar o teste de atenuação de ruído dos protetores auditivos.

Na figura 3.17 pode-se observar no gráfico superior a evolução apresentada pelas normas dos testes de atenuação de protetores auditivos realizados em laboratório, cujos resultados tendem a aproximar-se dos valores obtidos com os testes realizados em campo, sem a necessidade da aplicação de fatores de correção como o TFOE sobre o valor único NRR, surgindo uma nova sigla denominada NRRsf (sf de Subject Fit). Subentendendo-se que a atenuação daquele protetor auditivo foi obtida com a aplicação do método B da norma ANSI S12.6 – 1997. É bem provável que esta sigla substitua a anterior NRR sempre que forem realizados novos testes.

No Brasil são poucas as pesquisas sobre protetores auditivos, por não haver câmaras acústicas qualificadas para realizar ensaios e testes de protetores auditivos em laboratório, ficando sempre mais cômodo adquirir a tecnologia pronta do exterior em vez de investir no desenvolvimento de pessoas e tecnologia por aqui. Acredita-se ser este um dos motivos pelos quais

pouquíssimas publicações são realizadas no Brasil. Mas, que este quadro certamente deverá mudar nos próximos anos.

3.4 Normas internacionais para ensaios de atenuação do ruído dos protetores auditivos.

3.4.1 Introdução

Além de existir a norma internacional ISO (International Standard) cada país adota independentemente a sua própria norma de maneira a satisfazer as instituições internas da sua nação. O Brasil, por sua vez, ainda não editou uma norma para ensaiar protetores auditivos, utilizando-se, portanto, da norma de outro país, desde que satisfaça os quesitos das instituições brasileiras. O Brasil é estado membro do comitê da ISO onde técnicos do INMETRO se fazem representar. Assim, quando não houver uma norma NBR, utiliza-se uma ISO. Há mais de quarenta anos a American National Standard Institute (ANSI) já aprovava a norma Z24.22-1957 “Medição da atenuação do limiar em ouvido real, de protetores auditivos” (37). Em 14/08/1974, com base nesta norma, o comitê de normalização aprovou sua revisão, denominando-a de norma ANSI S3.19/1974, sob o título “Método para medição da proteção em ouvido real de protetores auditivos e atenuação física dos protetores tipo concha” (38). Com nova revisão, em 17/12/1984 esta norma foi aprovada recebendo a denominação de ANSI S12.6/1984 “Método para a medição da atenuação em ouvido real de protetores auditivos” (39), tendo como referencial a norma

International Standard ISO 4869/1981 (Medição da atenuação sonora de protetores auditivos – método subjetivo).

A versão mais recente da norma ANSI para ensaiar protetores data de 21/02/1997, é a ANSI S12.6/1997, sob o título “Métodos para medição da atenuação em ouvido real de protetores auditivos” (7). Esta versão também referendou-se na norma ISO 4869-1/1990 (Acústica – Protetores Auditivos – parte 1 “Método subjetivo para medir a atenuação sonora”) (8).

No texto que segue, encontram-se descritos comentários com ênfase especial à revisão mais recente.

3.4.2 ANSI S3.19/ 1974

Esta norma, além de descrever os procedimentos do método para medir a proteção dos protetores auditivos em ouvido real. Inclui na parte suplementar a descrição dos procedimentos de ensaio pelo método físico, que usa cabeça artificial para realizar os ensaios de protetores tipo concha.

O método pode ser usado para medir através de ensaios tanto protetores auditivos tipo plug, como tipo concha em várias formas de montagem (em capacete, em conjunto do tipo plug com o concha, com ou sem microfone e demais combinações ou formas). Já o método físico, só é utilizado nos ensaios do protetor tipo concha.

Estes métodos não se aplicam para os ensaios de dispositivos não lineares, como o tipo amplitude-sensibilidade ou aos dispositivos produzidos exclusivamente para funcionar sob ruído impulsivo e nem aos do tipo ativo.

3.4.3 ANSI S12.6/ 1984

A revisão da norma ANSI S3.19/1974 alterou alguns valores para os requisitos físicos, no que diz respeito às características do campo sonoro.

Foram incluídos, nesta versão especificações para o uso de audiômetro automático nos procedimentos de ensaio.

3.4.4 ANSI S12.6/ 1997

Esta é a versão mais recente, e sobre ela concentraremos os comentários.

Ela apresenta algumas alterações nos valores quanto à parte do ambiente para os ensaios, na maneira de realizar os cálculos, dando maior ênfase aos procedimentos que envolvem as pessoas participantes, na seleção do ouvinte e ao supervisor do ensaio. Nesta versão foram incluídos anexos de A à H e cada assunto é apresentado com detalhes não só escritos, mas com figuras e gráficos.

Sobre o ruído ambiental ou ruído de fundo foi mudada a tabela, acrescentando-se mais duas frequências da tabela anterior, 31,5 e 63 Hz, além de aumentar em 0,5 dB os valores permitidos nas frequências de 250, 500, 2000 e 8000 Hz.

Nos testes dos equipamentos, encontram-se os geradores de ruído e esta revisão inclui a aceitação do ruído gerado, a filtragem do sinal e o controle realizados por ou através de computador.

Foram incluídos alguns procedimentos sobre a seleção dos ouvintes. Tais como : os aspectos anatômicos dos ouvidos, avaliação otoscópica, realização

de medições, tanto do canal auditivo como das dimensões da cabeça. Esta norma, também prevê que na realização dos ensaios devam participar em proporções iguais pessoas do sexo masculino e feminino com variação de +/- 10 %.

Outro procedimento adotado se refere ao treinamento do ouvinte que deve realizar no mínimo cinco audiogramas com ouvido aberto em uma única sessão excluídos daqueles utilizados nos ensaios, devendo ser analisados as últimas três.

A quantidade de ouvintes (das amostragens), nesta versão da norma, passou de dez para vinte quando forem ensaiados protetores tipo plug ou dispositivos de semi inserção, permanecendo em dez ouvintes para os ensaios do tipo concha (individuais ou fixos em capacete).

Com relação às amostras, estas devem estar embaladas e com as instruções da mesma forma em que os protetores são comercializados, não devendo apresentar qualquer esclarecimento adicional.

Esta revisão incluiu nos procedimentos psicofísicos algumas instruções novas como a de informar ao ouvinte que ele pode deixar o ensaio a qualquer momento. Os métodos de ensaio foram desmembrados em dois, o método A colocação supervisionada do protetor e o método B quando o protetor é ajustado somente pelo ouvinte, sem supervisão.

Quanto à seqüência, 50% dos ouvintes realizam no primeiro conjunto de ensaios, usando o protetor e depois sem o protetor. Os outros 50% também no primeiro conjunto fazem ensaios, sem protetor e depois com o protetor.

Os protetores são colocados e ajustados sempre que iniciar um ensaio, e o ouvinte não deixará a câmara enquanto não completar um conjunto de testes.

Foi acrescentado, um tempo de espera com no mínimo 2 minutos e de no máximo 4 minutos, para que alguns tipos de protetores moldáveis no canal auditivo possam se expandir, devendo-se registrar este tempo.

No método A ajuste experimental supervisionado, o anexo F apresenta um resumo seqüencial, especificando os passos necessários à sua aplicação.

No método B colocação pelo ouvinte, o anexo F apresenta um resumo seqüencial, especificando os passos necessários à sua aplicação.

A norma de 97, também incluiu as condições sobre aplicação da força do arco nos protetores tipo concha e semi-inserção.

A norma de 97 relaciona em 11 subitens, as informações que devem ser incluídas no relatório de ensaios, que vão desde a citação da norma referendada, até os relatos de discussões sobre casos específicos, como o uso de óculos de segurança, protetores tipo concha durante os ensaios e outros aspectos que merecem ser mencionados.

Juntamente com a revisão da ANSI de 97, encontram-se alguns anexos que não fazem parte da norma mas foram incluídos como anexos informativos (A-B-C-E-F-H) e outros (D e G) como parte da norma.

Anexo D – (normativo) Procedimentos para a medição do tamanho do canal auditivo e das dimensões da cabeça.

Na primeira figura encontram-se as dimensões e o desenho do dispositivo para medir o canal auditivo, especificando a tolerância das medidas e o material a

ser confeccionado. Nas normas e revisões anteriores não constavam estas medidas do otômetro e, assim, no mercado haviam dimensões diferentes para cada fabricante de protetor.

A norma especifica cinco medidas de esferas:

Denominação	Diâmetro da esfera
extra pequena (x-pequena)	7.62mm
pequena	8.48mm
média	9.27mm
grande	10.46mm
extra grande (x-grande)	11.53mm

Todos com tolerância de 0,127 mm

Especifica a maneira como se deve usar o otômetro para medir a dimensão do canal auditivo.

A norma apresenta duas figuras de desenhos com traços onde medir as dimensões da cabeça, largura entre os tragus (bitragos) e a altura da cabeça desde o tragus até a parte superior.

Anexo G – (normativo) Procedimentos para medir a força do arco dos protetores de semi-inserção.

A força do arco do dispositivo de semi inserção é medida com um sistema separador equivalente ao da cabeça humana média, similar àquele usado para medir a força do arco do protetor tipo concha, nominalmente 145 mm. Para abrigo o inserto na concha (não na região cerco aural) se usa uma orelha flexível, como descrito na figura G1 e tabela G1 ambas obtidas na norma ANSI

S3.36/1985 (página 4). A orelha deve ter dureza de 10 e 30 Shore A medidos com durômetro.

Cada laboratório pode produzir sua própria orelha, ou adquiri-la no fabricante da KEMAR, orelha modelo DB-065 (esquerda) ou DB066 (direita) da empresa Knowles Electronics, Inc.

A figura G.2 da norma, mostra uma base de plástico rígida, onde se assenta a orelha para usar no sistema da medição de força. Observe que este dispositivo apresenta um rebaixo para encaixar a orelha flexível.

Método A : colocação supervisionada do protetor. Inclui sete itens:

1. Observar as cláusulas de 5.1 a 5.7 para os critérios de seleção e preparação de pessoas entrevistadas;
2. Fora da câmara (sem limite de tempo) : auxiliar a pessoa entrevistada na colocação e seleção do tamanho do protetor, prestar-lhe assistência verbal e física, gerando um ruído para que possa ajustar a colocação do protetor (ver cláusulas 8.2);
3. O entrevistado tira o protetor auditivo e entra na câmara (ver cláusulas 8.2);
4. Permanece em silêncio por 2 minutos antes do primeiro limiar, com ou sem protetor (ver cláusula 7.6)
5. Dentro da câmara (sem limite de tempo) : iniciar com o teste de limiar aberto ou se o entrevistado usar protetor, ajusta-lo pelo ruído gerado, mas sem a assistência do supervisor (ver cláusulas 8.2)

6. Antes de iniciar o ensaio, o supervisor fará uma verificação visual na posição do protetor e caso necessário, solicita que seja recolocado e reajustado (ver cláusulas 8.2)

7. Medir os limiares aberto e fechado.

Método B : o protetor é ajustado somente pelo ouvinte, sem supervisão (inclui 7 itens)

Na realização dos testes deste método, serão observadas as cláusulas 5.1 até 5.7 para os critérios de seleção e preparação das pessoas entrevistadas, não devendo estas, serem rejeitadas por apresentarem dificuldades na colocação do protetor.

1. Confirmar na cláusula 9.1.3, sobre as limitações quanto ao número de vezes que o ouvinte possa participar dos ensaios;
2. Fora da câmara (limite de tempo: 5 minutos) a pessoa recebe um protetor na sua embalagem original, acompanhado das informações orientativas para que ele coloque e pratique o ajuste de acordo com as instruções que ele leu, sem qualquer assistência e sem o ruído gerado para o ajuste (ver cláusula 9.2.1);
3. A pessoa tira o protetor auditivo e entra na câmara (ver cláusula 9.2.1.);
4. Permanece em silêncio por 2 minutos antes do seu primeiro limiar, com ou sem protetor (ver as cláusulas 7.6 e 9.2.1);
5. Dentro da câmara (limitado a 5 minutos): iniciar com o teste do limiar aberto, ou lê o texto para o ouvinte. Sai da câmara. O ouvinte coloca o protetor, sem o auxílio do supervisor e sem o ruído para ajuste. (ver cláusula 9.2.2);

6. Caso o protetor auditivo perca a vedação após iniciado o ensaio, os dados permanecem aceitáveis; mas se o protetor se deslocar, ver cláusula 9.2.3;

7. Medir os limiares aberto e fechado.

NOTA: Este anexo apresenta apenas um resumo limitado das especificações desta norma. Ela deve ser toda lida e estudada para ser corretamente ajustada as exigências do ensaio.

Anexo H – (informativo) – Bibliografia. Encontram-se relacionadas as normas e as publicações consultadas para a revisão.

3.4.5 ISO 4869-1/ 1990

Parte 1 : Método subjetivo para medição da atenuação sonora. A ISO (International Organization for Standardization).

No que diz respeito ao sinal gerado para a avaliação do campo sonoro, na verificação da uniformidade, a ISO especifica somente o ruído rosa referendando-se na IEC 225 (na ANSI tanto pode ser branco como rosa). O ruído de fundo na ISO é mais restritivo do que na ANSI.

Quanto ao teste dos aparelhos, existem alguns aspectos a serem observados. Na ISO se incluem os equipamentos com o sistema de alto-falantes, enquanto a ANSI os relaciona nominalmente, aceitando também os sistemas computacionais tanto como geradores de ruído, filtragem dos sinais e sistemas de controle.

Nos baixos níveis de pressão sonora permite-se checar os equipamentos medindo eletricamente a voltagem do sinal nos terminais dos alto-falantes.

Caso não se consiga medir com precisão o sistema de atenuação, pode-se calibrar os equipamentos e aplicar as correções nos dados das medições.

Sobre sinal pulsado, somente a norma ANSI apresenta especificações.

O ruído de ajuste (fitting noise) gerado dentro da câmara para o ouvinte ajustar a posição do protetor, como descreve a ISO, que deve estar entre 60 e 70 dB, medido no ponto de referência (cabeça do ouvinte), e na ANSI, diz que o nível de pressão sonora é de aproximadamente 65 dB medido na curva de compensação A.

A ISO ao contrário da ANSI não faz qualquer menção quanto a dispositivo posicionador da cabeça, e sistema para observar o ouvinte durante o teste.

Na seleção do ouvinte, a ANSI abrange aspectos anatômicos, otoscópicos, medidas do canal auditivo e da cabeça do mesmo e também sobre o percentual por gênero (masculino – feminino), condições não mencionadas na ISO.

Segundo a ISO, os ouvintes devem apresentar níveis de limiar da audição em cada ouvido de até 15 dB para as frequências até 2000 Hz, e não maior do que 25 dB para as frequências acima de 2000 Hz. A ANSI denomina de sensibilidade mínima, as condições especificadas como o sinal de tom puro por condução aérea, a banda de 1/1 oitava de 125 a 8000 Hz e a medição com um audiômetro (ANSI S3.6-1996), cujos valores não devem ser maior do que 25 dB.

Na ISO, o ouvinte mostra a sua habilidade realizando três audiogramas consecutivos não devendo a diferença do limiar exceder a 6 dB nas

freqüências central da banda de 1/1 oitava (125 a 8000 Hz). Os ouvintes, não treinados, devem inicialmente realizar exercícios práticos.

A norma ISO não apresenta recomendações quanto ao uso de óculos ou jóias (brincos ou outros acessórios que possam interferir na colocação do protetor auditivo). Segundo ela, para realizar os ensaios, são necessários dezesseis ouvintes classificados. Para realizar os ensaios de protetores em capacetes e do tipo concha pela ANSI são necessários dez ouvintes, e vinte para os dispositivos de semi-inserção, inserção e os do tipo plug.

A ISO, no que diz respeito às instruções a serem dadas ao ouvinte durante os procedimentos para o ensaio, é abrangente, consistindo na combinação das informações descritas pelo fabricante na embalagem do produto, até explicações orais e assistência física, sobre a colocação e ajuste do protetor.

Descreve que antes de iniciar o ensaio o ouvinte realize movimentos com a cabeça e ao mesmo tempo pronuncie em voz alta “ah, ee” além de movimentar o maxilar diversas vezes e reajustar o protetor quando necessário, até que este tenha se ajustado quando então é desligado o ruído de ajuste e o ensaio pode ser iniciado. Nas duas normas, após iniciado o ensaio, não é mais permitida qualquer manipulação do protetor.

Neste aspecto, a ANSI apresenta procedimentos psicofísicos de acordo com um dos métodos de ensaio a ser utilizado. No método A, além das instruções orais o instrutor/supervisor realiza exercícios para ajustar a colocação do protetor e no método B não é dada qualquer instrução ao ouvinte sobre a colocação ou ajuste do protetor.

Quanto à força que o arco aplica no protetor tipo concha, a ISO especifica o valor da distância entre as conchas (almofadas), 145 mm, e a distância entre o centro da parte interna do topo do arco até a linha que liga as duas conchas, 129 mm e que durante a medição o arco permaneça livre. O valor medido é expresso em newtons (N). E para o caso de outros tipos de protetores (com banda na nuca, no queixo) usam-se medidas mais apropriadas.

A ANSI, neste caso, apresenta mais detalhes como o tempo de permanência do protetor sobre o equipamento de medição (2 min +/- 5 s), devendo ser registradas a temperatura e a umidade relativa do ambiente em que foram medidas. As superfícies de contato das almofadas devem ser planas e os valores referente ao erro na medida horizontal, (145mm +/- 1 mm), e da distância vertical de (130mm +/- 1 mm).

Além destes detalhes, acrescenta as condições sobre o dispositivo para medir a força dos protetores de semi-inserção.

A ISO inclui no anexo A (informativo) incerteza na medição da atenuação sonora, onde apresenta a repetibilidade e reprodutibilidade em duas tabelas, uma sobre protetores tipo concha e outra sobre protetores tipo plug. E no anexo B (informativo), descreve a bibliografia usada para a revisão desta norma.

3.4.6 Comentários e conclusão sobre as normas

As normas internacionais, principalmente as normas ANSI apresentam-se de forma seqüencial à medida em que são revisadas, incluindo alterações e recebendo nova numeração. Permite que sejam realizados testes sob as condições de qualquer uma das normas, não sendo necessariamente sob a última revisão técnica. Cabendo ao laboratório decidir se continua a realizar os ensaios seguindo os procedimentos sob os quais foi credenciado, já que este é outro aspecto que envolve não só custos, mas também um complexo e minucioso processo junto aos órgãos que emitem os credenciamentos.

Quanto às vantagens e desvantagens que cada norma apresenta, este assunto foi comentado e descrito no item 3.4.5 deste trabalho, comparando as normas ANSI e ISO, já que as demais tanto inglesas, alemãs como de outros países, não apresentam abrangência mundial como as descritas.

QUADRO 3.1: COMPARATIVO DE NORMAS INTERNACIONAIS PARA TESTAR PROTETORES AUDITIVOS. p.1/2

ESPECIFICAÇÕES	ANSI S3.19/74	ANSI S12.6/84	ANSI S12.6/97	ISO 4869-1 1990
<i>Método usado</i>	ouvido real	ouvido real	ouvido real	ouvido real
Requisitos físicos – ambiente - ruído de fundo [dB]	1/1 oitava - 125/8kHz – 24/18/16/16/14/9/30	1/1 oitava - 125/8kHz – 28/18/14/14/8/9/20	1/1 oitava - 31,5/8kHz – 56/42/28/18.5/14.5/14/8.5/9/20.5	1/3 oitava – 31.5/10kHz 57/43/31/25/21/18/14/11/9/6/ 2/1/1/1/1/2/1/1/-1/-4/-2/3/10/2
- Som de teste	1/3 oitava – ruído branco pulsado	1/3 oitava – ruído rosa ou branco pulsado	1/3 oitava – ruído rosa ou branco pulsado	1/3 oitava - ruído rosa
- Características do campo sonoro tempo reverberação (TR)	0,5 < TR ≤ 1,6 segundos	TR ≤ 1,6 segundos	TR ≤ 1,6 segundos	TR ≤ 1,6 segundos
- NPS 6 posições – diferenças: - esquerda/direita (E/D) - distâncias	6 posições ≤ 6 dB E/D ≤ 2 dB 15 cm e Frente/atras = 10cm	6 posições ≤ 6 dB E/D ≤ 2 dB 15 cm (todos)	6 posições ≤ 5 dB E/D ≤ 3 dB 15 cm (todos)	4 posições ≤ 5 dB E/D ≤ 3 dB 15 cm 4 posições
- Direcionalidade – campo sonoro	giro 360°- 3 planos – variação de 3 a 6 dB	acima de 500 Hz -giro 360° a cada 15°- 3 planos – variação 3 a 6 dB	acima de 500 Hz -giro 360° a cada 15°- 3 planos – variação 3 a 6 dB	acima de 500 Hz – duas direç (máx/min) e dois planos – var 4 a 5 dB
- Teste dos equipamentos	-sinal de teste com ao menos 90 dB. - degraus de aten. < 2,5 dB. - envelope do sinal, a duração dos transientes. - alto-falantes, min. de 3, faixa de 80 dB. - posicionador da cabeça. - distorção harmônica, 5%	- sinal de teste, ao menos 90 dB. - degrau de at. < 2,5 dB - envelope do sinal, com detalhes e desenho. - alto-falantes, faixa de 70 dB. - posicion. da cabeça. - dist. harmônica,5%	- sinal de teste, ao menos 90 dB, filtros Norma ANSI S1.11/86. - degraus de aten. < 2,5 dB. -envelope do sinal pulsado, especifica os valores. -posicionado da cabeça. -ruído de ajuste, 65 dB. - distorção harmônica, especifica as condições.	- sinal de teste 80 dB. - degraus de aten. <2,5 dB. - envelope do sinal elét., norri IEC 645-1. - apresenta uma tabela sobre max/min. do NPS por freqüência.
Número de ouvintes por teste	- 10 ouvintes (3 testes cada), num total de 30 conjuntos de testes. Alternados.	- 10 ouvintes (ao menos 3 limiar aberto e 3 lim. fechado). Alternados.	- 10 ouvintes para tipo concha e 20 ouvintes p/tipo plug. Em 2 seções, 50 % LA/LF-50%LF/LA	- 16 ouvintes

LA – limiar aberto (sem o protetor)

LF – limiar fechado (com o protetor instalado)

QUADRO 3.1: COMPARATIVO DE NORMAS INTERNACIONAIS PARA TESTAR PROTETORES AUDITIVOS. p.2/2

ESPECIFICAÇÕES	ANSI S3.19/74	ANSI S12.6/84	ANSI S12.6/97	ISO 4869-1 1990
<i>Procedimentos de testes</i>	<ul style="list-style-type: none"> - seleção, perdas no limiar de até 10 dB de 250 a 1000Hz, e 20 dB nas demais - informa tudo ao ouvinte. - permanece 5 min. dentro da câmara antes do teste. - colocação do protetor pelo ouvinte, com ruído branco de 60 a 70 dB para ajuste. - ajuste por responsável treinado. - usar ao menos 2 protetores por usuário. - medir a força do arco. 	<ul style="list-style-type: none"> - seleção, perdas no limiar de até 20 dB . - a variação entre os 3 testes de limiar aberto não pode ser maior que 5 dB. - o ouvinte é informado. - especifica as condições para se usar audiometro automat. - gera um ruído de 60 a 70 dB para ajuste do protetor. - ao menos 2 protetores de cada tipo, e o usuário usará o mesmo protetor durante os testes. - especifica as condições para medir a força do arco. 	<ul style="list-style-type: none"> - seleção, anatômica, otoscópica, medição do canal e cabeça, balanço por sexo, e perdas min. ≤ 25 dB e sensibilidade máxima, e treinamento na variação do limiar aberto. - permanece 2 min. dentro da câmara antes do teste - após colocar o protetor iniciar o teste entre 2 e 4 min. - especifica 2 métodos de ensaio A-ouvinte experiente e B – ouvinte sem experiência. - o ouvinte é informado. - ao menos 1 tipo de protetor, por tamanho para cada ouvinte. - 	<ul style="list-style-type: none"> - seleção, perdas < 15 dB para até 2000 Hz e 25 dB para as frequências acima, e limiares melhor que – 10 dB. E apresentar variação menor que dB, entre 3 audiogramas consecutivos 1/1 oitava com ruído rosa.- só usa ouvintes treinados. - o ouvinte é informado. - ao menos 2 protetores, e o ouvinte usa o mesmo durante teste. - gera-se um ruído em banda larga de 60 a 70 dB para o ajuste do protetor. - especifica as dimensões para medir a força do arco. - o anexo A, incerteza da medição da aten.sonora
<i>Método físico – cabeça artificial</i>	<ul style="list-style-type: none"> - especifica os procedimentos do teste, os desenhos com as medidas da cabeça artificial, e o relatório. 	<ul style="list-style-type: none"> - não especifica 	<ul style="list-style-type: none"> - não especifica 	<ul style="list-style-type: none"> - não especifica

4 QUALIFICAÇÃO DO AMBIENTE DE TESTE

4.1 Introdução

Ambiente de teste se constitui em um espaço preparado, adaptado segundo especificações de uma norma para qualifica-lo para a realização de experimentos, ensaios ou testes. Neste caso, o ambiente de testes foi qualificado para realizar medições da atenuação de protetores auditivos. Neste capítulo são apresentados as condições e os respectivos testes das especificações previstas na norma ANSI S12.6 1997 no que se refere ao ambiente acústico para testar a atenuação dos protetores auditivos. A seqüência descrita é a mesma usada nos testes de cada item. Caso algum item não atinja os valores previstos na norma e forem feitas alterações no campo, todos os testes anteriores devem ser refeitos.

A cabina audiométrica faz parte de um ambiente de teste usado para realizar as audiometrias nas pessoas antes de se submeterem à condição de ouvinte para testar a atenuação do ruído em protetores auditivos. A cabina normalmente encontra-se fisicamente instalada numa sala fora da câmara.

4.2 Descrição da câmara acústica

A câmara usada para ensaiar protetores auditivos foi construída em 1998, toda em concreto, cujas paredes possuem 0,25m de espessura, apresentando como média das medidas internas 5,37m de largura, 3,34m de profundidade e 4,41m

de altura, perfazendo uma área total de 112,69m² e um volume interno de 79,09m³ medidas com precisão de +/- 0,005.

Além da ferragem para sustentação do concreto, foi embutida uma malha de aço, toda unida por solda envolvendo toda a área (figura 4.1), formando uma gaiola de Faraday, sendo esta malha conectada por cabos especiais ao sistema de aterramento.

Atualmente, a câmara está apoiada sobre dez pilastras de concreto e sua carcaça separada das paredes de tijolos do prédio que a cercam, não mantendo contato direto com o ambiente externo. O piso interno é de material cerâmico e granito polido na parte onde a porta faz o seu movimento, permitindo um bom isolamento acústico na parte inferior quando fechada. A câmara possui duas portas especiais com vedação acústica, especialmente construídas pela IAC (norte americana), sendo que uma abre para o lado externo e a outra para o lado interno da câmara. Estas portas são construídas de modo a não serem trancadas ou chaveadas, permitindo a sua abertura a qualquer momento tanto por um lado como pelo outro, atendendo às condições de segurança para locais confinados, da Portaria 3214/78 do ministério do trabalho.

A câmara possui iluminação interna, através de seis lâmpadas incandescentes, sendo todo o sistema de alimentação elétrico embutido em eletrodutos de PVC sobrepostos internamente às paredes. As tomadas de alimentação elétrica são instaladas nos eletrodutos em diversos pontos da câmara.

FIGURA 4.1: Vista da ferragem e da malha metálica que foi embutida no concreto durante a construção da câmara do Laboratório de Ruído Industrial da UFSC (Foto Prof. Samir).



O conjunto de cabos dos equipamentos de comando e controle instalados no lado externo da câmara passam através de furos na forma de labirinto especialmente construídos nas paredes, de maneira a permitir sua vedação, sem deixar vazamentos acústicos.

4.3 Tempo de reverberação (TR)

Como o tempo de reverberação (TR) é um dos parâmetros utilizados em acústica para determinar as características sonoras pontual de um ambiente (40), realizaram-se inicialmente medições com a câmara totalmente vazia, obtendo-se as suas condições iniciais através de medições em três pontos internos e distintos com diferentes alturas e posições do microfone.

A partir destes dados, realizou-se um estudo sobre os procedimentos a serem adotados para atingir os parâmetros determinados pela norma para ensaiar protetores auditivos.

Observando na tabela 4.1 os dados do tempo de reverberação (TR) com a câmara vazia, estes apresentam-se maiores principalmente nas baixas frequências como a 125 Hz chegando a um tempo de reverberação de 21,3 segundos e em 8000 Hz a 1,8 segundos, sendo determinado pela norma que o TR em toda a banda usada, não deve ser maior do que 1,6 segundos

Uma das formas de se reduzir o TR para atingir valores tão baixos é através de método experimental por tentativa instalando-se dentro da câmara dispositivos especiais, como absorvedores tipo painel vibrante (membrana), defletores e/ou placas de espuma, dependendo das frequências e dos valores que se deseja atingir.

Instalou-se placas defletoras no teto, painéis absorventes tipo membrana, e peças de espuma maciça e também do tipo SonexFlexonic 75/125 da Illbruck nas paredes. Após a instalação de cada ítem foi medido o TR e observado o seu desempenho na resposta.

Para chegar aos valores da norma antes de ensaiar protetores auditivos (ANSI S12.6/1997), foram necessárias várias trocas de placas com dimensões diferentes e também com diversos tipos de materiais, realizando sempre medições no ponto de referência, após cada alteração.

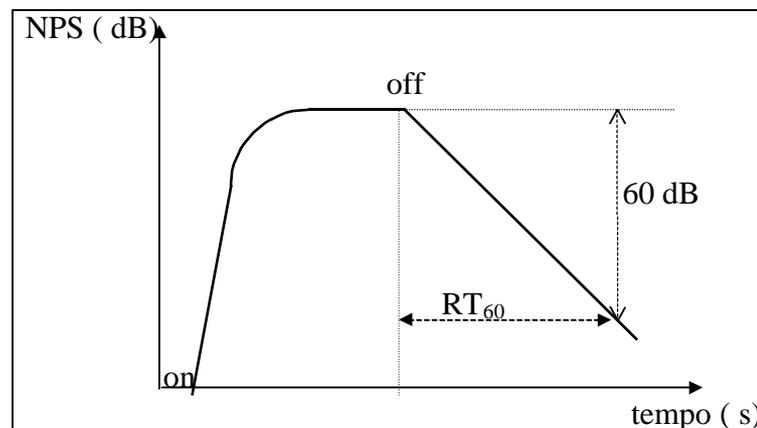
Ao alcançar os valores desejados, deu-se continuidade aos procedimentos, agora, retirando e/ou reposicionando alguns painéis e placas, reduzindo a quantidade de material dentro da câmara, a fim de tornar este ambiente o mais agradável possível às pessoas que devem permanecer dentro da câmara durante os testes.

O tempo de reverberação (RT) de um ambiente fechado para determinada banda de frequência é definido como o tempo em segundos necessário para que a energia acústica decresça 1/1.000.000 (-60 dB) RT_{60} do seu valor a partir do instante em que a fonte for desligada, figura 4.2. (40).

4.3.1 Montagem do sistema de medição do tempo de reverberação.

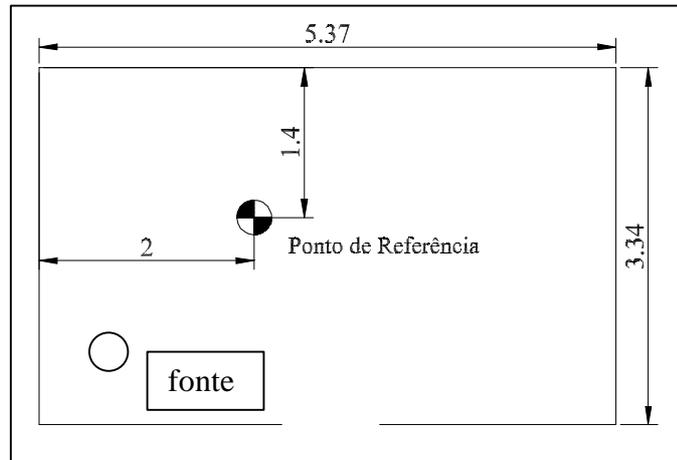
Na parte externa da câmara foram instalados um analisador de tempo real (RTA) e o gerador do sinal e na parte interna, a fonte, o pré-amplificador e o microfone.

FIGURA 4.2: Representação gráfica do tempo de reverberação.



As posições e direção do microfone, podem ser observadas no croqui do Anexo A1 para a câmara vazia. Após a instalação dos painéis defletores e absorventes e as placas de espuma, utilizou-se o mesmo sistema de medição e o microfone foi posicionado também no ponto de referência figura 4.3.

FIGURA 4.3: Ponto de referência (medidas internas em metros +/- 0,005).



4.3.2 Desenvolvimento e resultado das medições

Após calibrar o sistema e posicionar o microfone no ponto e altura determinados, fecham-se as portas, aguarda-se um instante e é gerado um sinal de 90 dB em ruído rosa. Realizam-se três medições em cada ponto. O resultado dos valores é lido e armazenado pelo analisador. A mesma metodologia é aplicada nos demais pontos.

Os dados do analisador são transferidos para um PC e com o uso do software 5305 da B&K, realizam-se os cálculos com a média dos valores obtidos em todos os pontos, obtendo-se assim o tempo de reverberação da câmara vazia. Como os valores com a câmara vazia não satisfazem a norma ANSI para ensaiar protetores auditivos, faz-se necessária a instalação de dispositivos que alterem o tempo de reverberação (TR) dentro da câmara.

Instalou-se defletores no teto, modificando-se as suas posições até que apresentassem o seu melhor desempenho (29,40). Junto às paredes da

câmara Instalou-se painéis vibrantes absorvedores tipo membrana e também placas de espuma maciça e espuma do tipo SonexFlexonic da empresa Illbruck.

Com a instalação e a modificação da posição de cada um destes materiais, foi realizada nova medição do TR, até se obter valores que atendam as especificações da norma para ensaiar protetores auditivos, ($TR < 1,6$ s) (7).

A tabela 01 da norma ANSI de 1997 (7) apresenta o tempo de reverberação com a câmara vazia acusticamente qualificada com todos os painéis instalados além das caixas acústicas e com o sistema de controle dos ensaios ligados, mas sem gerar qualquer sinal para dentro da câmara.

O cálculo de cada TR usa a média dos valores obtidos.

Com a câmara acústica vazia, a fonte foi posicionada a 0,7 m de cada parede, e medidos três vezes em cada um dos pontos 1-2-3 como mostra o croqui do anexo A1. Mudada a posição do microfone numa medição, foi posicionado a 1 metro de altura, e na outra medição a 1,5m de altura do piso.

Entretanto, para a medição do tempo de reverberação no ponto de referência, após a instalação dos painéis e placas (em 23/09/98), o microfone foi posicionado somente neste ponto a 1,15 m do piso (posição da cabeça do ouvinte) e medido três vezes. Com a média aritmética destes valores e usando o programa 5306 da B&K calculou-se o TR, tabela 4.1.

TABELA 4.1: Média em 4 pontos, do tempo de reverberação (TR) com a *câmara vazia*. E no ponto de referência, após a câmara estar acusticamente preparada.

	Tempo de reverberação (TR) (s)
--	----------------------------------

Frequência (Hz)	Alt. mic 1m média 4 pontos	Alt. mic 1,5 m média 4 pontos	Alt.mic 1,15m no Ponto de Ref.
125	21.3	19.5	1.3
250	16.1	16.5	1.6
500	10.1	9.9	1.6
1000	7.5	7.6	1.2
2000	5.7	5.6	1.3
4000	3.7	3.7	1.1
8000	1.8	1.8	0.8

Comprovando matematicamente que o conjunto de materiais montados na câmara aproxima-se da teoria, calculou-se o tempo de reverberação usando a fórmula de SABINE :

$$T=0,161 V/\alpha S_e a_e \quad [1]$$

onde V = volume da sala (m^3)
 S_e = área interna total (m^2)
 α_e = coeficiente de absorção médio das paredes internas

$$\text{mas } a_e = \sum a_i S_i / S \quad [2]$$

α_i = coeficiente de absorção de cada material

S_i = área de cada elemento das paredes

Na tabela 4.2 encontram-se a área dos materiais, com o coeficiente de absorção a 1000 Hz obtido em tabelas (livros), e o respectivo α_e (coeficiente de absorção médio).

TABELA 4.2: Materiais, área de cada um e o coeficiente de absorção.

Material	Área (m^2)	a absorção	a_e
Espumas	5.4	1.06	5.724
Caixas acústicas	1.34	0.10	0.134
Painéis vibrantes	3.94	0.24/0.40	1.291

Defletores	6.47	0.01	0.065
Porta	2.4	0.01	0.024
Concreto/piso	93.07	0.02	1.86
SOMA:	112.62		9.098

Calculando-se com a fórmula de Sabine [1] o tempo de reverberação a 1000 Hz chega ao valor de 1,4 s. Da tabela 4.2. o valor medido no ambiente na frequência de 1000 Hz foi de 1,2 s, mostrando que, os valores medidos aproximam-se dos valores calculados quando se usa a fórmula de Sabine para calcular o tempo de reverberação.

4.3.3 Painéis vibrantes tipo membrana (100 E 160 Hz)

Na qualificação acústica do campo sonoro dentro da câmara acústica usada para ensaiar a atenuação de protetores auditivos, foram instalados, também, painéis vibrantes do tipo membrana, para atuarem como dissipadores da energia acústica em determinadas frequências, cujo princípio de funcionamento baseia-se na excitação da membrana (chapa) por ondas sonoras na sua frequência de ressonância e a dissipação da energia acústica incidente ocorre através do seu amortecimento interno (1).

O Laboratório de Vibrações e Acústicas da UFSC possui diversos painéis vibrantes tipo membrana, que foram projetados e construídos para qualificar a câmara reverberante, na realização de medição da potência sonora com fontes de banda larga segundo a norma ISO 3741/75 e na medição do coeficiente de absorção sonoro, tendo como referência a norma ISO 354/85 (Measurement of sound absorption in a reverberation room) que é a norma usada para a realização dos testes.

4.3.3.1 Testes dos painéis vibrantes

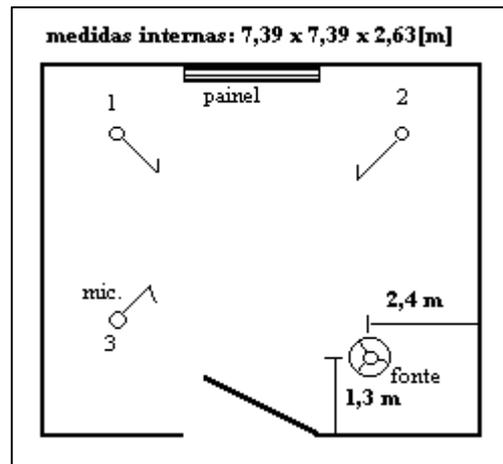
Os painéis vibrantes instalados dentro da câmara acústica para ensaiar protetores auditivos foram testados na câmara reverberante do LVA, usando-se o coeficiente de absorção através do tempo de reverberação, abrangendo um espectro de 100 Hz a 8 kHz.

Montagem do sistema para testar os painéis:

A figura 4.4 mostra a posição do painel a ser testado, a fonte sonora e os três pontos onde o microfone foi posicionado e direcionado. O Anexo A2 apresenta o diagrama de blocos do esquema montado dos instrumentos usados nos testes dos painéis.

Após calibrar o sistema de aquisição com um calibrador, mediu-se o tempo de reverberação com a câmara vazia, ou seja, num campo sonoro difuso. E para melhor representar a energia sonora presente no ambiente e confirmar que se encontra uniformemente distribuída dentro da câmara, o microfone foi posicionado em três pontos diferentes e obtido um valor médio. Para todos os testes a fonte sonora permaneceu no mesmo ponto.

FIGURA 4.4: Croqui da câmara reverberante do LVA com painel, fonte e posições do microfone. (medidas em metro)



De posse dos dados e com a câmara vazia, instalou-se um painel vibrante na parede oposta à porta de entrada e medindo-se os tempos de reverberação nos três pontos, calculou-se um valor médio para cada banda ao longo do espectro ensaiado e os resultados podem ser vistos na tabela 4.3.

Para o cálculo do coeficiente de absorção para cada painel, em diferentes freqüências, foi usada a *fórmula de Sabine* para a determinação do coeficiente de absorção do material aplicado, como a seguir:

$$a = (0,161 \times V/S_1) \cdot (1/T_2 - 1/T_1) + a^m \quad [3]$$

V - volume da câmara 143,62 (m³)
(câmara reverberante)

S₁ - área da amostra (m²)

α^m - coef. de absorção acústico médio das
paredes da câmara

T₁ - tempo de reverberação da câmara vazia

T₂ - tempo de reverb. da câmara c/ amostra

Registrados os valores pelo analisador de tempo real (RTA), os dados foram transferidos a um disquete para serem processados num micro computador pelo programa 5305 da B&K, gerando a curva do tempo de reverberação pela freqüência e uma tabela com os valores, como pode-se observar no ANEXO B

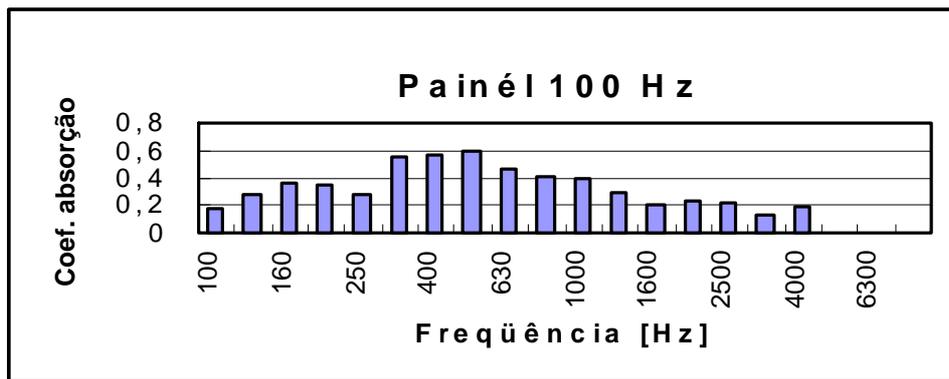
com a câmara vazia (B1) e após com a colocação individual de cada painel em teste, no caso o de 100 (B2) e 160 Hz (B3).

TABELA 4.3: Painéis, áreas e coeficiente de absorção nas frequências de 125 a 8kHz.

Painel	Área (m ²)	Coeficiente de Absorção por frequência						
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
100 Hz	2,16	0.27	0.28	0.60	0.40	0.24	0.19	0.00
160 Hz	1.80	0.17	0.18	0.31	0.24	0.24	0.19	0.00

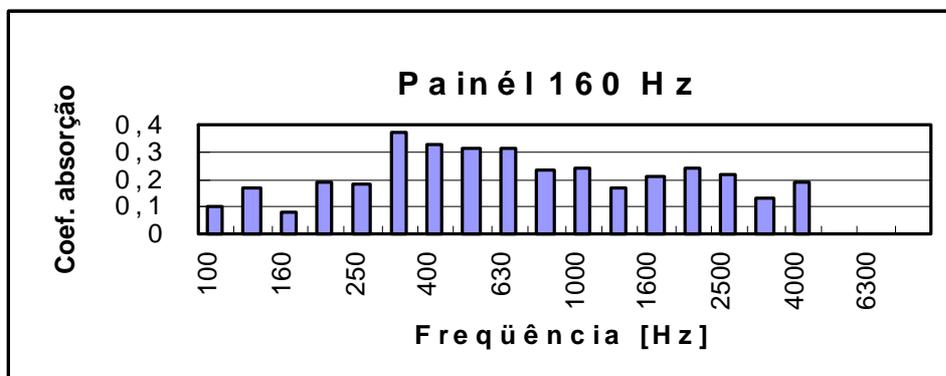
Observa-se nas curvas das figuras 4.5 e 4.6, que cada painel apresenta características próprias, apesar de serem identificados com um valor expresso em frequência. Este valor nem sempre representa a sua maior absorção, mas sim numa faixa de valores ao longo do espectro. Pode-se afirmar então que a colocação de apenas um painel sob determinada frequência não irá necessariamente reduzir o tempo de reverberação no ambiente, mas sim, diminuir o tempo numa banda que envolva esta frequência.

FIGURA 4.5: Curva do painel de 100 Hz e o coeficiente de absorção nas frequências de 100 a 8000 Hz.



Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Coef.abs.	0,17	0,27	0,37	0,35	0,28	0,55	0,56	0,60	0,47	0,41
Freq. (Hz)	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
Coef.abs.	0,40	0,29	0,21	0,24	0,22	0,13	0,19	0,00	0,00	0,00

FIGURA 4.6: Curva do painel de 160 Hz e o coeficiente de absorção nas frequências de 100 a 8000 Hz.



Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Coef.abs.	0,10	0,17	0,08	0,19	0,18	0,37	0,33	0,31	0,31	0,23
Freq. (Hz)	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
Coef.abs.	0,24	0,17	0,21	0,24	0,22	0,13	0,19	0,00	0,00	0,00

4.4 Uniformidade do campo sonoro

A uniformidade das características do campo sonoro, em volta do ponto de referência dentro da câmara, é efetuada pela verificação da variação dos níveis de pressão sonora relativos neste ponto, medindo-se em 6 (seis) direções (figura 4.7, 4.8, e 4.9), direita/esquerda, frente/atrás, em cima/embaixo, mantendo a distância de 15,0cm do centro o que representa um volume cúbico com centro no ponto de referência.

Os valores não devem apresentar variação entre as direções maior do que 5 dB para todas as bandas testadas e entre direita e esquerda não devem ultrapassar a 3 dB.

FIGURA 4.7: Cruzeta usada para fixar o microfone, com as seis direções.

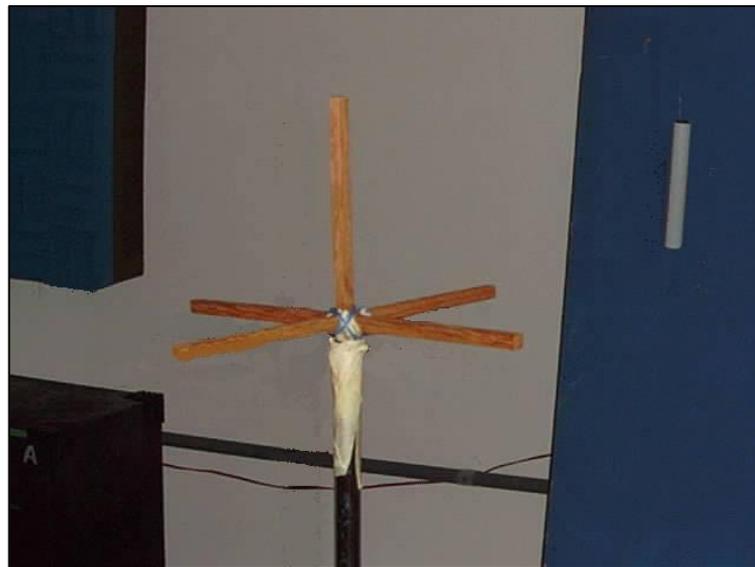


FIGURA 4.8: Ponto de referência e numeração da posição do microfone na cruzeta.

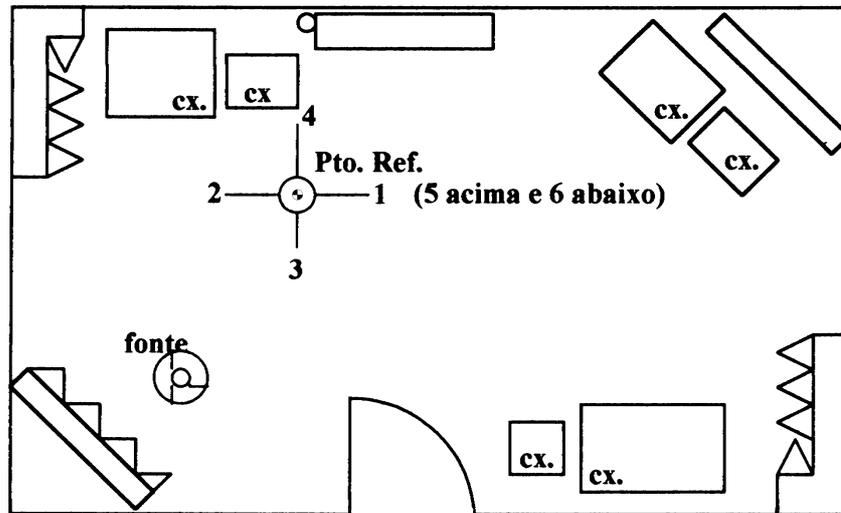
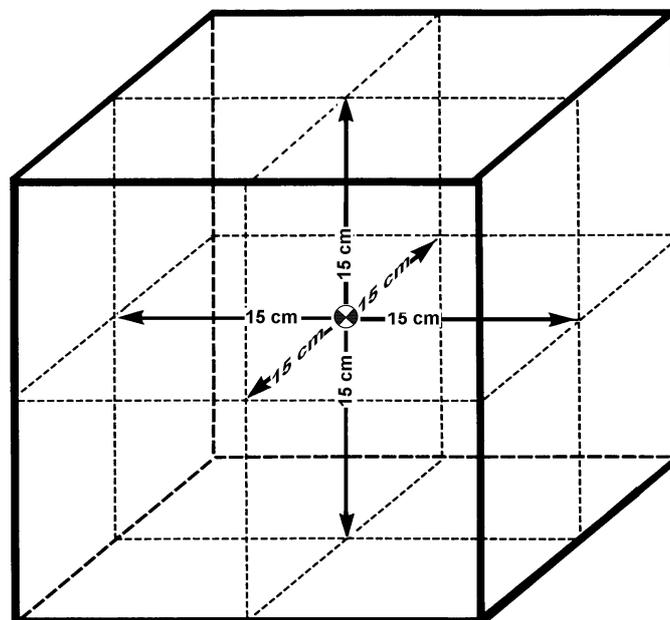


FIGURA 4.9: Distancia das seis posições entre a frente do microfone e o ponto de referência.



4.4.1 Montagem do sistema para medir a uniformidade do campo sonoro.

Os equipamentos usados para medir a uniformidade do campo sonoro em volta da posição da cabeça no ponto de referência e o croqui da montagem destes equipamentos se encontram no Anexo A3

4.4.2 Desenvolvimento e resultados das medições

Os testes da uniformidade do campo sonoro no ponto de referência dentro da câmara reverberante são sempre realizados, após a câmara já estar qualificada quanto ao seu tempo de reverberação através da instalação de difusores no teto, painéis vibrantes tipo membrana, especialmente construídos para diversas frequências, peças de espuma e SonexFlexonic 75/125 da Illbruck, nas paredes.

O sinal do *ruído rosa* gerado é transmitido para dentro da câmara através da fonte sonora da B&K tipo HP 1001, posicionada no piso a esquerda (atrás da porta), de maneira a tornar o campo sonoro difuso.

Instalou-se no ponto de referência um dispositivo (cruzeta) com raio de 15,0cm para cada um dos seis lados: direita/esquerda, frente/trás, em cima/embaixo, em cuja haste é fixado o microfone, para cada direção do ensaio (figuras 4.7 a 4.9).

Usou-se um microfone de ½ polegada com campo livre para compensar os distúrbios causados no campo sonoro e também por ser este mais sensível na

direção axial (incidência de 0°) na direção do som, tendo em vista, que os testes são para medir em cada direção.

Na tabela 4.4 encontram-se os dados obtidos durante os testes com valores para cada direção em função da frequência, e ao lado direito da tabela, encontram-se os dados da diferença aritmética entre os pontos da direita e da esquerda, assim como, as diferenças entre o maior e o menor valor lido em cada banda de frequência.

4.5 Diretividade do campo sonoro

O levantamento das características de diretividade do campo sonoro, num determinado ponto, visa verificar a transmissibilidade sonora neste meio (campo sonoro difuso), para ser avaliado através dos dados pontuais da variação da energia sonora, nas diversas direções e nos três planos que a circundam.

Segundo a norma ANSI/1997, para ensaiar protetores auditivos, as medições devem ser realizadas no ponto de referência posicionando o microfone cardióide, em três planos distintos e girando de 0° a 360° com incremento de 15° , para cada ponto na banda de 500 Hz a 8000 Hz.

A variação entre estes valores não deve ultrapassar o especificado na tabela 1 da norma ANSI/1997, em função do tipo de microfone usado nas medições.

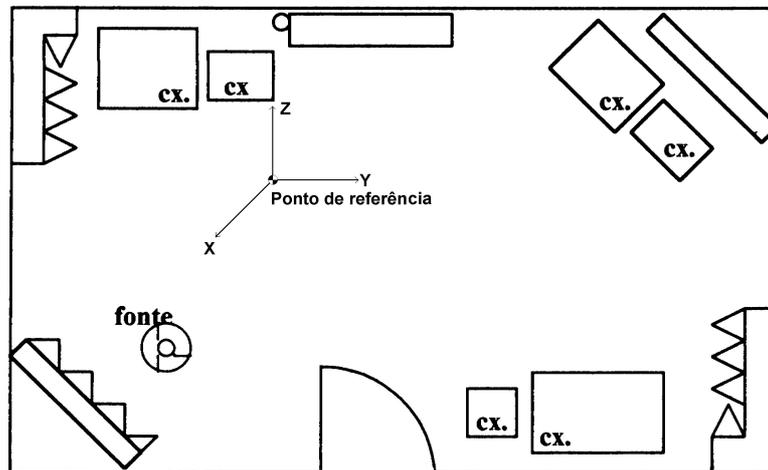
Na figura 4.10. observa-se o croqui da câmara com o ponto de referência e das direções XYZ, que definem os 3 planos.

TABELA 4.4: Valores em volta da posição da cabeça, para as frequências na banda de 1/1 oitava.

Frequência (Hz)	Posição						cálculos	
	3 esq.	4 dir.	2 frente	1 Atrás	5 acima	6 abaixo	dif. esq./dir.	dif. Maior/menor
125	80,1	78	79,3	78,1	78,5	76,4	2,1	3,7
250	77,9	77,4	77,7	75,1	74,7	74,7	0,5	3,2
500	75,7	75,6	77,4	75,6	75,8	76,9	0,1	1,8
1000	81,9	81,1	82,1	82,4	82,2	81,8	0,8	1,3
2000	75,6	75,6	76,3	76,1	75,7	76,5	0	0,9
3150	77,7	76,7	77,8	77,2	76,8	77,5	1	1,1
4000	77,1	76,8	77,4	77,6	77,8	78,1	0,3	1,3
6300	76,8	76,8	77	76,4	77,1	76,8	0	0,7
8000	75,3	75,2	75,4	74,9	75,8	75,3	0,1	0,9

Norma ANSI/1997	≤ 3	≤ 5
-----------------	-----	-----

FIGURA 4.10: Croqui da câmara, com os planos xyz, no ponto de referência.



4.5.1 Montagem do sistema para medir a diretividade do campo sonoro

Os equipamentos utilizados para medir a diretividade encontra-se relacionado no Anexo A4, e foi posicionado no ponto de referência conforme croqui da figura 4.10.

4.5.2 Desenvolvimento e resultados das medições

Ao atingir o valor do tempo de reverberação TR compatível com aquele estipulado pela norma ANSI S12.6/1997, no ponto de referência dentro da câmara, os demais testes devem ser realizados sem que haja alteração na posição e/ou tipo dos painéis, placas de espuma, SonexFlexonic 75/125 da Illbruck e difusores fixados no teto.

Para rotacionar o microfone, foi construído um dispositivo, fixado sobre um tripé (figura 4.11), com graduação e marcas a cada 15°, permitindo o seu giro de 0° a 360° nos três planos. Este dispositivo foi posicionado no ponto de referência.

O sistema de aquisição do sinal foi calibrado com o pistãofone e do lado externo gerou-se um sinal em *ruído rosa*, transmitido para dentro da câmara através de seis caixas acústicas posicionadas sobre o piso (figura 4.10).

Os níveis de pressão sonora captados pelo microfone em cada direção são registrados no RTA instalado na parte de fora da câmara.

Nas tabelas 4.5, 4.6 e 4.7, uma para cada plano, encontram-se os dados obtidos durante os testes com valores para cada ponto em função da frequência, e no final da tabela, encontram-se os dados com a média

aritmética, a diferença entre o primeiro e o último ponto (360° e 0°), o desvio padrão, a diferença entre o maior e o menor valor, e a maior variação entre cada ponto a 15° , para as bandas na frequência central de 500 a 8000 Hz. A variação permitida em função do tipo e característica do microfone usado, para este caso, não deverá apresentar valores com variação maior do que 3 dB para toda a banda.

FIGURA 4.11: Dispositivo graduado fixo num tripé e o microfone para medir a diretividade do campo sonoro, rotaciona em até 360° nos planos XY, YZ e XZ.



TABELA 4.5: Valores da diretividade na posição de referência para o plano XY.

Giro (°)	500 (Hz)	dif.	1000 (Hz)	dif.	2000 (Hz)	dif.	3150 (Hz)	dif.	4000 (Hz)	dif.	6300 (Hz)	dif.	8000 (Hz)	dif.
0	57,5		65,3		58,7		55,8		52,7		43,3		45,7	
15	57,6	0,1	65,9	0,6	59,5	0,8	56,1	0,3	53,2	0,5	43,2	0,1	45,7	0,0
30	57,0	0,6	66,1	0,2	59,8	0,3	56,5	0,4	52,7	0,5	43,2	0,0	45,8	0,1
45	58,2	1,2	66,8	0,7	59,9	0,1	57,1	0,6	53,5	0,8	44,2	1,0	46,2	0,4
60	57,8	0,4	66,9	0,1	59,9	0,0	57,0	0,1	52,4	1,1	43,7	0,5	45,6	0,6
75	57,8	0,0	66,4	0,5	60,5	0,6	56,8	0,2	53,7	1,3	43,0	0,7	46,3	0,7
90	58,3	0,5	65,5	0,9	61,3	0,8	56,0	0,8	54,3	0,6	42,8	0,2	45,7	0,6
105	57,4	0,9	65,2	0,3	61,0	0,3	55,8	0,2	53,9	0,4	42,1	0,7	45,0	0,7
120	57,8	0,4	65,5	0,3	61,0	0,0	55,9	0,1	53,2	0,7	42,8	0,7	45,0	0,0
135	58,1	0,3	65,5	0,0	62,3	1,3	56,7	0,8	54,1	0,9	44,8	2,0	45,5	0,5
150	57,8	0,3	65,4	0,1	62,2	0,1	57,1	0,4	55,4	1,3	44,0	0,8	45,6	0,1
165	58,7	0,9	65,5	0,1	61,6	0,6	56,8	0,3	53,4	2,0	44,4	0,4	46,0	0,4
180	58,5	0,2	66,1	0,6	61,7	0,1	56,9	0,1	54,6	1,2	44,3	0,1	45,9	0,1
195	59,0	0,5	66,3	0,2	61,8	0,1	56,2	0,7	53,0	1,6	43,4	0,9	45,5	0,4
210	58,3	0,7	66,2	0,1	61,0	0,8	56,5	0,3	54,0	1,0	43,5	0,1	46,2	0,7
225	59,2	0,9	66,4	0,2	60,1	0,9	56,6	0,1	52,9	1,1	44,0	0,5	46,4	0,2
240	59,8	0,6	66,2	0,2	60,2	0,1	55,7	0,9	53,8	0,9	43,5	0,5	46,3	0,1
255	58,6	1,2	65,6	0,6	60,4	0,2	55,5	0,2	53,1	0,7	42,5	1,0	45,8	0,5
270	57,7	0,9	66,0	0,4	60,2	0,2	55,4	0,1	52,8	0,3	43,2	0,7	45,9	0,1
285	57,3	0,4	66,0	0,0	59,9	0,3	56,3	0,9	52,9	0,1	43,1	0,1	46,7	0,8
300	57,4	0,1	65,3	0,7	59,3	0,6	57,2	0,9	53,1	0,2	43,0	0,1	46,3	0,4
315	57,5	0,1	65,3	0,0	58,8	0,5	56,2	1,0	52,9	0,2	43,3	0,3	46,2	0,1
330	57,6	0,1	65,4	0,1	58,9	0,1	55,5	0,7	52,2	0,7	43,2	0,1	45,8	0,4
345	57,7	0,1	65,5	0,1	58,8	0,1	55,6	0,1	52,4	0,2	43,4	0,2	45,3	0,5
360	57,3	0,4	65,2	0,3	58,3	0,5	55,9	0,3	52,4	0,0	43,3	0,1	45,0	0,3
Média	58,0		65,8		60,3		56,3		53,3		43,4		45,8	
Dif. 360°-0°	0,2		0,1		0,4		-0,1		0,3		0,0		0,7	
Desvio padrão	0,67		0,50		1,15		0,57		0,77		0,61		0,45	
Dif. Max/min	2,8		1,7		4,0		1,8		3,2		2,7		1,7	
Maior variaç		1,2		0,9		1,3		1,0		2,0		2,0		0,8

TABELA 4.6: Valores da diretividade na posição de referência para o plano YZ

Giro (°)	500 (Hz)	dif.	1000 (Hz)	dif.	2000 (Hz)	dif.	3150 (Hz)	dif.	4000 (Hz)	dif.	6300 (Hz)	dif.	8000 (Hz)	dif.
0	58,1		66,0		58,5		56,1		52,1		42,1		45,1	
15	58,0	0,1	66,2	0,2	58,6	0,1	56,4	0,3	52,5	0,4	41,8	0,3	45,1	0,0
30	58,1	0,1	66,8	0,6	58,8	0,2	56,5	0,1	52,5	0,0	41,6	0,2	44,8	0,3
45	58,0	0,1	67,1	0,3	59,1	0,3	56,7	0,2	54,1	1,6	42,2	0,6	44,9	0,1
60	57,6	0,4	67,6	0,5	59,3	0,2	55,6	1,1	54,1	0,0	42,8	0,6	45,9	1,0
75	57,4	0,2	67,3	0,3	59,8	0,5	55,8	0,2	53,7	0,4	43,6	0,8	45,8	0,1
90	56,9	0,5	67,5	0,2	61,1	1,3	56,6	0,8	55,0	1,3	42,9	0,7	45,8	0,0
105	56,7	0,2	66,9	0,6	61,3	0,2	55,8	0,8	54,0	1,0	42,2	0,7	46,1	0,3
120	56,8	0,1	66,0	0,9	61,2	0,1	55,9	0,1	54,7	0,7	43,0	0,8	45,3	0,8
135	57,5	0,7	66,2	0,2	61,2	0,0	56,4	0,5	54,9	0,2	42,7	0,3	46,1	0,8
150	56,0	1,5	65,6	0,6	61,4	0,2	56,7	0,3	54,4	0,5	43,4	0,7	46,0	0,1
165	56,6	0,6	65,4	0,2	61,5	0,1	56,6	0,1	53,8	0,6	43,6	0,2	45,4	0,6
180	56,6	0,0	65,4	0,0	61,6	0,1	56,2	0,4	53,7	0,1	43,2	0,4	45,5	0,1
195	56,7	0,1	64,7	0,7	61,1	0,5	56,3	0,1	53,1	0,6	42,7	0,5	45,0	0,5
210	57,1	0,4	64,6	0,1	60,8	0,3	55,7	0,6	52,8	0,3	42,0	0,7	45,2	0,2
225	57,5	0,4	64,6	0,0	60,6	0,2	55,3	0,4	52,8	0,0	41,5	0,5	45,2	0,0
240	58,1	0,6	65,6	1,0	60,8	0,2	55,5	0,2	53,0	0,2	41,4	0,1	44,8	0,4
255	57,9	0,2	65,2	0,4	60,0	0,8	54,7	0,8	52,2	0,8	40,3	1,1	43,6	1,2
270	57,8	0,1	65,0	0,2	59,9	0,1	55,1	0,4	52,0	0,2	41,6	1,3	44,3	0,7
285	59,1	1,3	65,0	0,0	58,9	1,0	54,3	0,8	51,5	0,5	39,9	1,7	43,3	1,0
300	59,4	0,3	65,8	0,8	58,3	0,6	54,1	0,2	51,2	0,3	39,5	0,4	43,2	0,1
315	58,4	1,0	65,9	0,1	58,4	0,1	54,3	0,2	51,6	0,4	39,9	0,4	44,0	0,8
330	58,0	0,4	65,8	0,1	58,0	0,4	54,6	0,3	51,6	0,0	41,1	1,2	43,7	0,3
345	57,0	1,0	66,0	0,2	58,1	0,1	55,7	1,1	51,3	0,3	41,5	0,4	44,4	0,7
360	57,5	0,5	65,8	0,2	58,4	0,3	55,9	0,2	51,1	0,2	41,7	0,2	45,3	0,9

Média	57,6		65,9		59,9		55,7		52,9		41,9		45,0	
Dif. 360°-0°	0,6		0,2		0,1		0,2		1,0		0,4		0,2	
Desvio padrão	0,80		0,88		1,27		0,80		1,23		1,15		0,86	
Dif. Max/min	3,4		3,0		3,6		2,6		3,9		4,1		2,9	
Maior variaç		1,5		1,0		1,3		1,1		1,6		1,7		1,2

TABELA 4.7: Valores da diretividade na posição de referência para o plano XZ.

Giro (°)	500 (Hz)	dif.	1000 (Hz)	dif.	2000 (Hz)	dif.	3150 (Hz)	dif.	4000 (Hz)	dif.	6300 (Hz)	dif.	8000 (Hz)	dif.
0	58,5		65,0		59,9		55,6		52,8		41,4		44,7	
15	58,5	0,0	64,9	0,1	60,9	1,0	56,6	1,0	53,8	1,0	42,0	0,6	45,4	0,7
30	58,6	0,1	65,0	0,1	61,1	0,2	57,2	0,6	53,8	0,0	42,9	0,9	45,5	0,1
45	58,3	0,3	65,3	0,3	61,0	0,1	56,9	0,3	53,4	0,4	41,3	1,6	46,6	1,1
60	58,4	0,1	64,4	0,9	60,7	0,3	57,0	0,1	53,0	0,4	42,9	1,6	45,4	1,2
75	59,6	1,2	64,2	0,2	59,6	1,1	56,4	0,6	53,2	0,2	43,4	0,5	45,9	0,5
90	58,2	1,4	64,8	0,6	59,8	0,2	55,8	0,6	54,6	1,4	42,8	0,6	46,3	0,4
105	60,2	2,0	64,6	0,2	59,6	0,2	55,4	0,4	53,2	1,4	42,5	0,3	45,8	0,5
120	60,3	0,1	64,2	0,4	59,8	0,2	56,1	0,7	52,0	1,2	42,4	0,1	45,7	0,1
135	59,5	0,8	64,1	0,1	59,8	0,0	55,6	0,5	52,9	0,9	41,9	0,5	46,0	0,3
150	59,2	0,3	64,9	0,8	59,5	0,3	55,3	0,3	52,4	0,5	41,6	0,3	45,9	0,1
165	59,7	0,5	65,4	0,5	59,0	0,5	55,3	0,0	52,0	0,4	41,5	0,1	46,0	0,1
180	58,9	0,8	65,6	0,2	58,0	1,0	55,2	0,1	51,8	0,2	40,9	0,6	44,9	1,1
195	59,0	0,1	65,5	0,1	58,1	0,1	55,6	0,4	51,6	0,2	40,6	0,3	44,6	0,3
210	58,9	0,1	65,4	0,1	57,7	0,4	55,4	0,2	51,7	0,1	40,5	0,1	45,3	0,7
225	58,9	0,0	65,0	0,4	58,4	0,7	55,2	0,2	52,1	0,4	41,6	1,1	45,2	0,1
240	58,4	0,5	65,2	0,2	58,2	0,2	54,8	0,4	51,6	0,5	41,1	0,5	44,3	0,9
255	58,9	0,5	65,5	0,3	58,5	0,3	53,8	1,0	51,4	0,2	40,0	1,1	44,2	0,1
270	59,2	0,3	65,9	0,4	59,0	0,5	54,0	0,2	51,9	0,5	40,2	0,2	44,2	0,0
285	58,8	0,4	65,6	0,3	59,7	0,7	54,7	0,7	52,3	0,4	40,7	0,5	44,3	0,1
300	58,9	0,1	66,1	0,5	59,5	0,2	55,1	0,4	52,2	0,1	40,2	0,5	43,4	0,9
315	59,9	1,0	65,9	0,2	59,4	0,1	55,4	0,3	52,3	0,1	41,6	1,4	44,1	0,7
330	60,2	0,3	65,3	0,6	59,2	0,2	55,5	0,1	52,0	0,3	41,3	0,3	44,2	0,1
345	59,6	0,6	65,5	0,2	59,5	0,3	55,3	0,2	51,7	0,3	41,1	0,2	44,2	0,0
360	59,3	0,3	65,4	0,1	59,6	0,1	55,3	0,0	53,2	1,5	41,7	0,6	44,4	0,2

média	59,1		65,1		59,4		55,5		52,5		41,5		45,1	
Dif. 360° - 0°	0,8		0,4		0,3		0,3		0,4		0,3		0,3	
desvio padrão	0,62		0,54		0,92		0,83		0,83		0,92		0,85	
Dif. Max/min	2,1		2,0		3,4		3,4		3,2		3,4		3,2	
Maior variação		2,0		0,9		1,1		1,0		1,5		1,6		1,2

4.6 Ruído de fundo

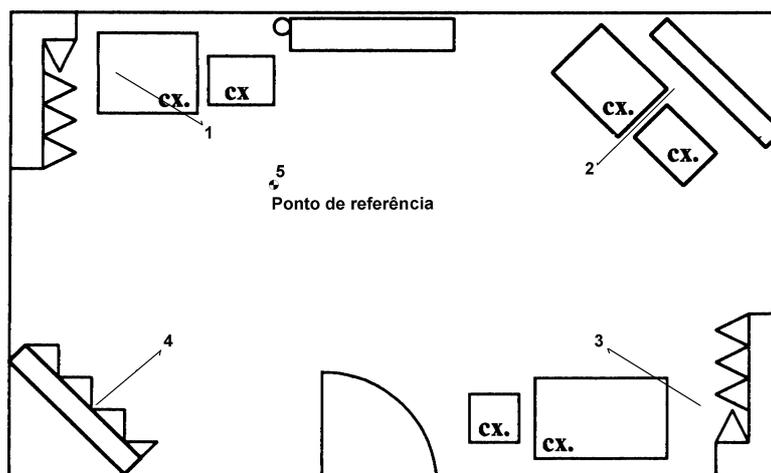
O Ruído de fundo “é definido como a associação total do ruído existente no ambiente, sendo usualmente composto por sons oriundos de fontes próximas e distantes”.

A norma, para ensaiar a atenuação do ruído em protetores auditivos estabelece na tabela 2 da ANSI/97, os valores máximos dos níveis de pressão sonora admissíveis para o ruído de fundo, medidos no ponto de referência, nas frequências central de 31,5 Hz a 8000 Hz, em banda de 1/1 oitava.

Para a sua medição, são necessários equipamentos especiais com elevada sensibilidade acústica, especialmente porque medem-se ruídos muito baixos dentro da câmara construída especialmente com isolamento para reduzir a passagem do ruído.

4.6.1 Montagem do sistema para medir o ruído de fundo dentro da câmara.

FIGURA 4.12: Cinco pontos com a posição do microfone e a direção.



O microfone foi posicionado em cinco pontos diferentes dentro da câmara figura 4.12. obtendo-se valores individuais e um valor médio destes pontos. A figura 4.13. mostra foto da montagem dos instrumentos dentro da câmara.

FIGURA 4.13: Instalação do microfone B&K tipo 4179 num tripé e o pré-amplificador dentro da câmara acústica



4.6.2 Desenvolvimento e resultados das medições

O ruído de fundo foi medido, após instaladas as placas defletoras fixadas em diversos pontos do teto, os painéis absorvedores e as placas de espuma nas paredes, além de estarem instaladas as caixas acústicas e todos os equipamentos ligados, sem a geração de ruído e sem a presença do ouvinte e de sua cadeira.

A medição do ruído de fundo referendou-se no item 3.2 da norma ANSI S3.1/1977, sendo efetuadas diversas medições em pontos diferentes sendo a última, no ponto de referência, que é a posição da cabeça do ouvinte.

Para a medição do ruído de fundo foi utilizado um microfone de 1" polegada com característica de resposta em frequência de campo livre compensado, segundo as especificações no catálogo da B&K, para medir baixos níveis de ruído (-2,5 dB(A)) na banda de 10 Hz até 10 kHz.

O microfone foi posicionado dentro da câmara em cinco pontos diferentes (figura 4.12.) acoplado ao pré-amplificador, ao amplificador de medidas e, juntamente com o filtro de bandas de oitava, foi então calibrado todo o sistema com o pistãofone, para depois realizar a leitura dos valores do ruído de fundo no interior da câmara.

Quando se usa o microfone B&K tipo 4179, há necessidade de se calibrar o conjunto ajustando o pré-amplificador B&K tipo 2660 e o amplificador de medidas B&K tipo 2636, a fim de evitar danos de saturação na saída do amplificador, caso seja usado um pistãofone para calibrar com nível acima de 102 dB.

A tabela 4.8. mostra os valores do ruído de fundo em dB nas bandas de um oitava e também os valores máximos aceitáveis segundo a norma ANSI de 1997.

TABELA 4.8: Nível de pressão sonora em (dB) em banda de 1/1 oitavo, do ruído de fundo (média dos 5 pontos), medido dentro da câmara acústica.

Frequências (Hz)	Média dos 5 ptos. (dB)	1	2	3	4	5 Pto.ref.	ANSI S12.6/1997 (dB)
31,5	29,5	30,5	31	31	30	25	56
63	29	28	29	31	27	30	42
125	14,2	12	14	14,5	15,5	15	28
250	6,6	6	9	5,5	5	7,5	18,5
500	-2,8	-4	-1	-4	-3	-2	14,5
1000	2,9	4	3	2,5	2	3	14.
2000	-5,8	-6	-6	-7	-5	-5	8,5
4000	-10,4	-10	-11,5	-10	-11	-9,5	9,0
8000	-12	-12	-12	-12	-12	-12	20,5

- 1) Data do teste : 29/09/98
- 2) AC-40, amplificador, caixas acústicas e equipamentos ligados (-10dB)
- 3) Sem a presença do ouvinte e cadeira
- 4) Altura do microfone 1,15 m
- 5) Já descontados os 20dB de ganho do microfone da B&K tipo 4179
- 6) O ponto de referência situa-se na posição da cabeça do ouvinte.

4.7 Caixas acústicas

No sistema instalado na câmara para testar protetores auditivos, as caixas acústicas compõem a parte operativa. Foram construídas de madeira com os seguintes componentes instalados: alto-falante, tweeter e woofer, merecendo atenção especial quanto ao seu correto funcionamento, pois é através delas que o som é emitido no ambiente.

A função fundamental dos componentes destas caixas é converter o sinal elétrico proveniente de um gerador em som audível.

A performance de um alto-falante pode ser avaliada através de sete características fundamentais:

- 1) resposta em frequência
- 2) diretividade
- 3) eficiência
- 4) distorção
- 5) impedância
- 6) razão da capacidade de energia elétrica
- 7) propriedades transientes.

Como a norma ANSI S12.6 não define as características que devem apresentar as caixas acústicas e para alguns testes são necessários equipamentos especiais e específicos, os testes, limitar-se-ão ao levantamento das curvas de resposta em frequência segundo a norma CEI IEC 268-5 de 1989, das seis caixas acústicas instaladas na câmara para ensaiar a atenuação de protetores auditivos.

Para cada tipo de ambiente, o resultado e as curvas de resposta apresentam-se de formas diferentes. Assim os testes da curva de resposta são realizados em campo livre e em laboratório numa câmara anecóica ou similar.

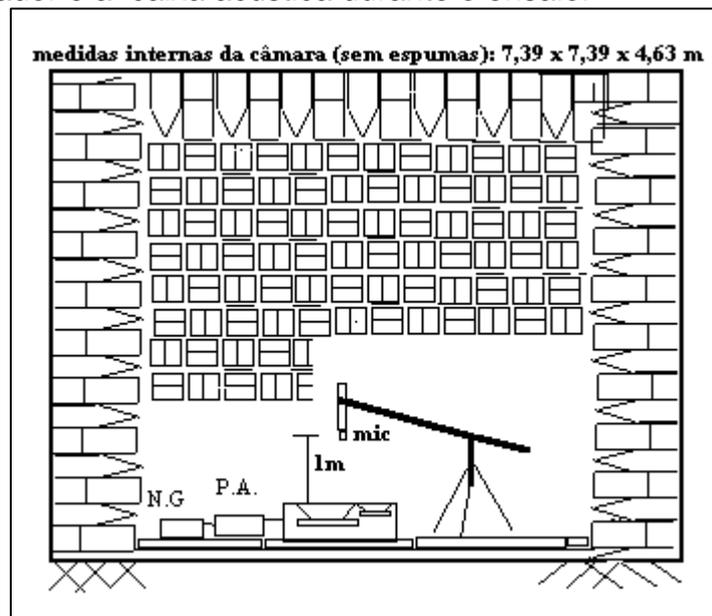
4.7.1 Teste e curva de resposta em frequência (CRF).

Os ensaios das caixas acústicas foram realizados na câmara semi-anecóica do L.V.A, cujo piso foi totalmente forrado com material absorvedor da Illbruck tipo mini-SONEX 35/75, a fim de tornar o ambiente semelhante ao de uma câmara anecóica. Além disso, as caixas testadas foram posicionadas com os alto

falantes voltados para o teto direcionando as ondas sonoras para um campo livre.

No Anexo A6 vê-se o diagrama de blocos da montagem dos equipamentos e a figura 4.14, num corte da câmara, mostra sem escala a montagem do conjunto para os testes.

FIGURA 4.14: Vista em corte da câmara semi-aneecóica com microfone, gerador, amplificador e a caixa acústica durante o ensaio.



Nos testes, as caixas acústicas foram posicionadas nas seguintes condições:

- As caixas Selenium foram totalmente apoiadas sobre a espuma no piso.
- As caixas JBL foram apoiadas nas cabeceiras sobre espuma a 0,10m, deixando um vão para o tubo de saída da caixa, que localiza-se na parte de trás.

O sistema após calibrado com o calibrador da B&K (250 Hz e 124 dB), apresentou no RTA da B&K 2144 um ganho menor do que 1 dB.

Usou-se como amplitude limite da pressão sonora o overload do B&K 2144 que após ajustado, permaneceu inalterado em todas as medições.

A partir dos testes realizados, foram gerados arquivos no 2144 contendo os resultados para cada caixa acústica e através do software 5306 da B&K obteve-se os valores correspondentes para o canal A (sinal elétrico) e canal B (nível de pressão sonora), sinal cruzado real e imaginário. De posse destes valores o tratamento matemático foi feito através de um software.

Os gráficos de A até L, apresentados no ANEXO C fornecem as curvas de resposta em frequência e as curvas de coerência para as 6 (seis) caixas acústicas.

Arquivos utilizados para fazer os cálculos:

$$\begin{aligned}
 & \text{data} := \text{READPRN}(\text{cr1}) \\
 & \text{freq} := \text{data}^{\langle 0 \rangle} \quad \text{autoa1} := \text{data}^{\langle 1 \rangle} \quad \text{autob1} := \text{data}^{\langle 2 \rangle} \quad \text{crossre1} := \text{data}^{\langle 3 \rangle} \quad \text{crossim1} := \text{data}^{\langle 4 \rangle} \\
 & a1 := \left(\frac{\text{autoa1}}{10^{10} \cdot 10^{-6}} \right) \quad b1 := \left(\frac{\text{autob1}}{10^{10} \cdot 10^{-6}} \right) \quad r1 := \left(\frac{\text{crossre1}}{10^{10} \cdot 10^{-6}} \right) \quad im1 := \left(\frac{\text{crossim1}}{10^{10} \cdot 10^{-6}} \right) \\
 & n := 1, 2..800 \\
 & h1 := \frac{r1 + i \cdot im1}{a1} \\
 & h11 := \frac{b1}{r1 - i \cdot im1} \\
 & \text{SPL} := \left(20 \log \left(\frac{\sqrt{b1}}{2 \cdot 10^{-5}} \right) \right) \\
 & H1_n := 20 \log \left(|h1_n| \right) \\
 & \text{coer} := \frac{(|r1 + i \cdot im1|)^2}{a1 \cdot b1}
 \end{aligned}$$

Observando-se os dados nos gráficos da CRF (curva de resposta em frequência) obtidos dos cálculos para cada caixa acústica, pode-se afirmar que, *todas* atendem a norma ANSI S12.6, pois esta, não define ou determina os

parâmetros que devem apresentar as caixas acústicas, mas apenas faz uma relação dos valores medidos na posição do ouvinte dentro da câmara de testes, considerando o nível equivalente a 60 dB acima até 10 dB abaixo do LAA (limiar aberto de audibilidade), ou seja, uma faixa de 70 dB.

4.8 Cabina audiométrica

A cabina audiométrica é uma câmara acústica, com dimensões menores de tal forma, a só acomodar uma pessoa sentada no seu interior.

A cabina do Laboratório é totalmente construída com chapas metálicas, revestidas internamente com espuma do tipo Sonex da Illbruck. Possui uma janela tipo visor fixa com duas camadas de vidro, e uma porta para acesso, que abre-se para fora, com fechamento sem chave ou tranca, o que permite a qualquer momento, a sua abertura tanto pelo usuário que estiver dentro ou fora. Mede internamente, 0,95m de fundo por 1,02m de largura e 1,87m de altura, com volume interno de 1,81m³.

A função básica de uma cabina audiométrica é a de isolar o ruído do ambiente para a realização de exames no sistema auditivo humano, o qual é feito com o uso de um audiômetro instalado na sua parte externa. A figura 4.15., mostra a cabina audiométrica, no lado está a porta e a frente o visor.

FIGURA 4.15: Vista externa da cabina audiométrica do laboratório, dentro da



sala.

4.8.1 Montagem do sistema para medir a redução de ruído da cabina audiométrica.

Na medição da redução de ruído da cabina audiométrica, utilizou-se os seguintes equipamentos: um gerador de ruído, um amplificador e uma caixa acústica. A leitura dos valores é feita por um analisador de tempo real em dois canais, conectado com um microfone em cada um com croqui do diagrama mostrado no Anexo A7.

4.8.2 Desenvolvimento e resultado das medições

A cabina audiométrica foi testada no próprio local de sua instalação. Como o objetivo é medir a redução do ruído que a cabina apresenta quando instalada no seu local de operação, gerou-se na sala do ambiente um ruído em banda de oitava com intensidade de 90 dB. A aquisição e o registro dos dados foram obtidos através de um analisador de tempo real com dois canais, sendo cada um ligado a um microfone, um posicionado na parte interna e outro, na parte externa da cabina. Os testes para avaliar a redução do ruído da cabina audiométrica seguem a norma ANSI 3.1 tabela C1.

Após calibrar o sistema foi gerado na sala um ruído com intensidade de 90 dB e os dados lidos e registrados no analisador de tempo real, apresentando os valores na tabela 4.9.

TABELA 4.9: Redução obtida para cada frequência, e os dados da norma ANSI.

	Frequência (Hz)						
Dados:	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Canal 1 (dB)	57.7	57.5	50.8	45.9	42.8	36.8	22.3
Canal 2 (dB)	78.5	79.9	81.2	85.9	86.2	89.3	76.8
Redução (dB)	20.8	22.4	30.4	40.0	43.4	52.5	54.5
ANSI 3.1/1977	15.0	29.0	34.0	40.0	50.0	50.0	50.0

Observa-se na tabela que para algumas frequências, os valores obtidos apresentam diferenças com relação à norma, necessitando portanto, que sejam feitas correções técnicas na estrutura da cabina testada, a fim de que ela satisfaça as condições da norma ANSI 3.1.

4.8.3 Sala (ambiente) da cabina audiométrica

O ambiente, onde encontra-se instalada uma cabina audiométrica, não deve apresentar ruído muito elevado para não interferir nos testes auditivos dos pacientes.

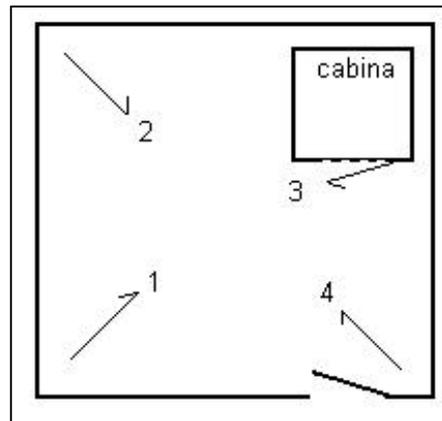
Os valores máximos permitidos do ruído de fundo, por transmissão aérea, na sala onde encontra-se a cabina audiométrica que utiliza fone supra-aural nos testes, seguem a tabela 2 da norma ISO 8253-1/1989.

4.8.3.1 Montagem do sistema para medir o ruído na sala da cabina audiométrica.

O microfone foi posicionado em 4 (quatro) pontos diferentes dentro da sala (figura 4.16) com as janelas e a porta fechadas, com o ar-condicionado

desligado obtendo-se os valores em cada ponto na banda de 1/3 de oitava e um valor médio destes pontos.

FIGURA 4.16: Quatro posições do microfone para medir o ruído de fundo na sala da cabina.



4.8.3.2 Desenvolvimento e resultado das medições

Inicialmente mediu-se o ruído no ambiente da sala onde encontra-se a cabina audiométrica, posicionando o microfone em quatro direções, figura 4.16. para calcular um valor médio. As janelas e a porta da sala durante os testes, permaneceram fechadas.

Nas medições, usou-se o mesmo conjunto de equipamentos utilizados para medir o ruído de fundo da câmara acústica, utilizando-se um microfone de 1" polegada com características de resposta em frequência de campo livre compensado, para medir níveis de ruído até menores que (-) 2,5 dBA na banda de 10 Hz até 10 kHz, conforme especificações do catálogo da B&K.

Os equipamentos foram instalados dentro da câmara, sendo o sistema calibrado com o pistãofone para iniciar as leituras. A tabela 4.10. mostra os

valores do ruído de fundo em dB, medidos em cada ponto e os valores médios calculados na banda de 1/1 oitava.

TABELA 4.10: Ruído de fundo em dB, na sala da cabina audiométrica.

Frequência (Hz)	média	ponto 1	ponto 2	ponto 3	ponto 4
31,5	47.2	47	45	47.5	49.5
63	49.	48.5	49	48.5	50
125	30.4	32.5	30.5	29	30
250	17.1	16.5	18	17.5	18
500	8.7	8	5.5	8	8
1000	-0.4	0	-1	-2	-1.5
2000	-5.8	-5	-7.5	-6	-6.5
4000	-8.1	-8	-8.5	-8.5	-8
8000	-6.5	-6.5	-6.5	-6.5	-6.5

4.9 Vista interna da câmara acústica qualificada

A figura 4.17 apresenta um croqui em perspectiva da parte interna da câmara acústica, após qualificada quanto ao ambiente sonoro em conformidade com a norma ANSI S12.6/ 1997, mostrando a posição dos seguintes materiais instalados:

- placas de espuma SonexFlexonics e SONEX (I-II-III- IV)
- placas defletoras de aço zincado e alumínio (A-B-C)
- painéis vibrantes tipo membrana (1- 2)
- caixas acústicas (sem numeração).

A câmara acústica, assim montada, atende a todos os requisitos descritos na norma ANSI (7) para a qualificação quanto ao ambiente de testes, nos ensaios da atenuação em ouvido real de protetores auditivos.

4.10 Conclusão

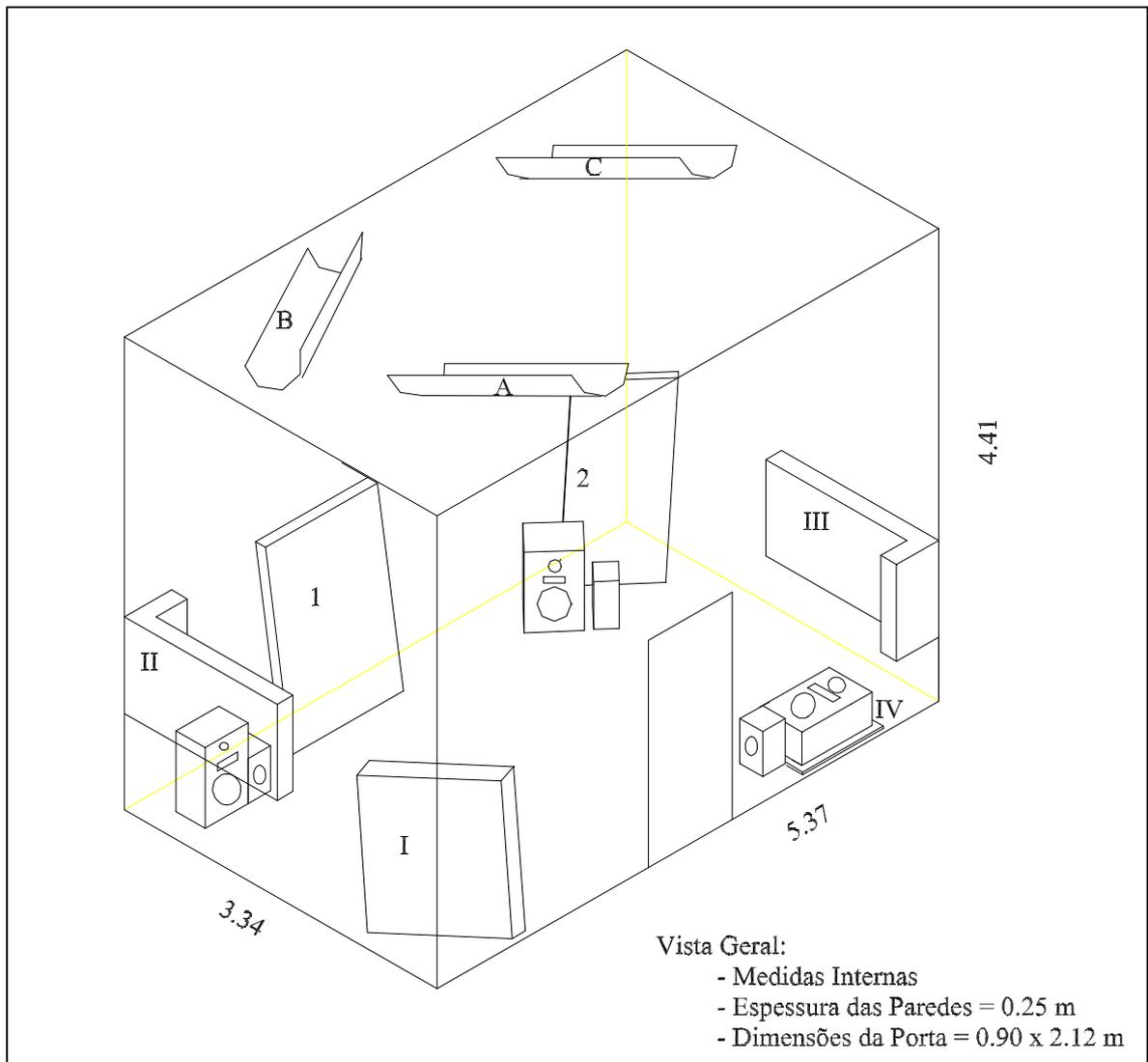
Um dos quesitos, que levam mais tempo para ser elaborado na realização da qualificação do ambiente de testes é o acerto do tempo de reverberação (TR) dentro da câmara, devido ao tamanho, tipos e disposição dos diferentes materiais necessários para que o campo sonoro apresente valores que satisfaçam a norma ANSI 1997.

O tempo de reverberação (TR) deve ser obtido sem que para isto seja necessário revestir totalmente as paredes do seu interior, além de fazer com que o ambiente dentro da câmara seja agradável e transmita tranqüilidade às pessoas durante o tempo em que ficam confinadas, realizando os testes.

A tabela 4.1 mostra que em diferentes pontos no espaço interno da câmara os valores do tempo de reverberação são diferentes. Mas, para satisfazer a norma é necessário, que apenas no ponto de referência os valores do TR sejam menores ou igual a 1,6s quando medidos na altura da posição da cabeça do ouvinte e esta condição está satisfeita.

Os demais requisitos da norma quanto ao campo sonoro, como uniformidade, diretividade e ruído de fundo são realizados após o tempo de reverberação estar acertado e, segundo as tabelas apresentadas neste capítulo apresentam valores que satisfazem a norma ANSI S12.6 - 1997.

FIGURA 4.17: Vista interna da câmara acústica mostrando a instalação dos dispositivos absorvedores/refletores e as caixas acústicas.



5 SISTEMA DE MEDIÇÃO DA ATENUAÇÃO DE RUÍDO DOS PROTETORES AUDITIVOS

5.1 Introdução

Assim como cada laboratório constrói a sua própria câmara acústica com tamanho e forma, cada um instala o seu próprio sistema de medição desde que satisfaça as condições da norma que for utilizar.

O Laboratório de Ruído Industrial da UFSC desenvolveu um sistema para medir a atenuação de ruído dos protetores auditivos, utilizando um audiômetro como fonte geradora do sinal, em banda estreita pulsada, que após amplificado é transmitido para dentro da câmara através de caixas acústicas.

Para comandar o audiômetro foi elaborado um software em linguagem Borland C++ no ambiente DOS, que instalado em um microcomputador satisfazendo as prescrições da norma ANSI S12.6/1997, além de calcular e registrar a atenuação de ruído de cada protetor testado.

O conjunto de equipamentos, que formam o hardware instalado na câmara para realizar os ensaios da atenuação de protetores auditivos foram individualmente testados, usando-se equipamentos de precisão sob condições de laboratório.

Como havia problemas, com a presença de ruído elétrico na rede e de radiação eletroacústica (de rádio), foi construído e testado um PAD (passive attenuator device de - 20 dB), atenuador passivo de até 20 dB (29, e 41), dispositivo cuja função é diminuir o ruído em até 20 dB, absorvendo os ruídos com presença indesejável.

Neste capítulo, estão descritos os testes realizados com os equipamentos envolvidos com o sistema de medição com audiômetro, e o software especialmente desenvolvido para comandar automaticamente o sistema de medição da atenuação dos protetores auditivos submetidos a níveis de ruído. O Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC, antes construir o Laboratório de Ruído Industrial (LARI) desenvolveu estudos sobre sistema de medição, numa dissertação de mestrado (41), usando a câmara semi-aneecóica preparada acusticamente segundo a norma ANSI S12.6/1984 e utilizando equipamentos da B&K, comandados por um software próprio, instalado em um microcomputador. O sistema usado neste estudo está descrito resumidamente no próximo item.

5.2 Sistema de medição usando equipamentos B&K

Para a medição na câmara semi-aneecóica, usou-se no hardware um gerador de sinais da B&K modelo 1049, um conjunto de filtros da B&K modelo 1617, dois amplificadores de medidas da B&K modelo 2636, um amplificador de potência da B&K modelo 2706, controlados por um microcomputador IBM-PC, através da interface serial RS-232, conectada nos equipamentos da B&K que possuem a interface padrão IEEE 488-2 (GPIB).

Foi desenvolvido um software em linguagem C++ (ANEXO E3), para controlar os equipamentos e também registrar os dados medidos, nos testes de atenuação de ruído dos protetores auditivos, segundo as especificações da norma ANSI S12.6/1984.

Todo o sistema de medição envolveu equipamentos típicos de laboratório. As rotinas de medição comandadas pelo software não são totalmente automatizadas, (que não era o objetivo), necessitando assim, que o operador executasse manualmente, determinados comandos como a repetição, quando os critérios da norma não fossem cumpridos, ligar ou desligar o atenuador passivo, devendo sempre acompanhar a seqüência das rotinas usadas na realização dos testes de atenuação do ruído dos protetores auditivos.

5.3 Sistema com Audiômetro modelo AC-40 e computador PC

O sistema de medição com o audiômetro, que faz parte deste trabalho desde o seu início, foi direcionado para a condição de ser elaborado e programado para funcionar de forma automatizada (42). A medição é realizada sem os equipamentos específicos de laboratório, sendo utilizados apenas aparelhos convencionais adaptados ao hardware envolvido com o sistema de medição da atenuação do ruído de protetores auditivos.

5.3.1 Qualificação do sinal pulsado emitido pelo audiômetro AC-40

A norma ANSI S12.6 de 1984 apresenta com mais detalhes as medições do pulso, já a norma ANSI S12.6 de 1997 resume especificando que o tempo do sinal em tom puro é medido a 1dB abaixo do máximo nível, devendo ser maior do que 150ms, e que a distância do tempo de subida deve ser medida ao menos 20 dB abaixo do nível máximo.

A norma ANSI S12.6/84, ítem 3.1.2.2 (2), especifica que para sistemas automáticos de geração o pulso dos sinais deve apresentar determinadas características de tempo no envelope do sinal, como subida, descida, faixa dinâmica ligada/desligada e tempo ligado (figura 5.1).

5.3.1.1 Teste do sinal em forma de pulso (pulsado)

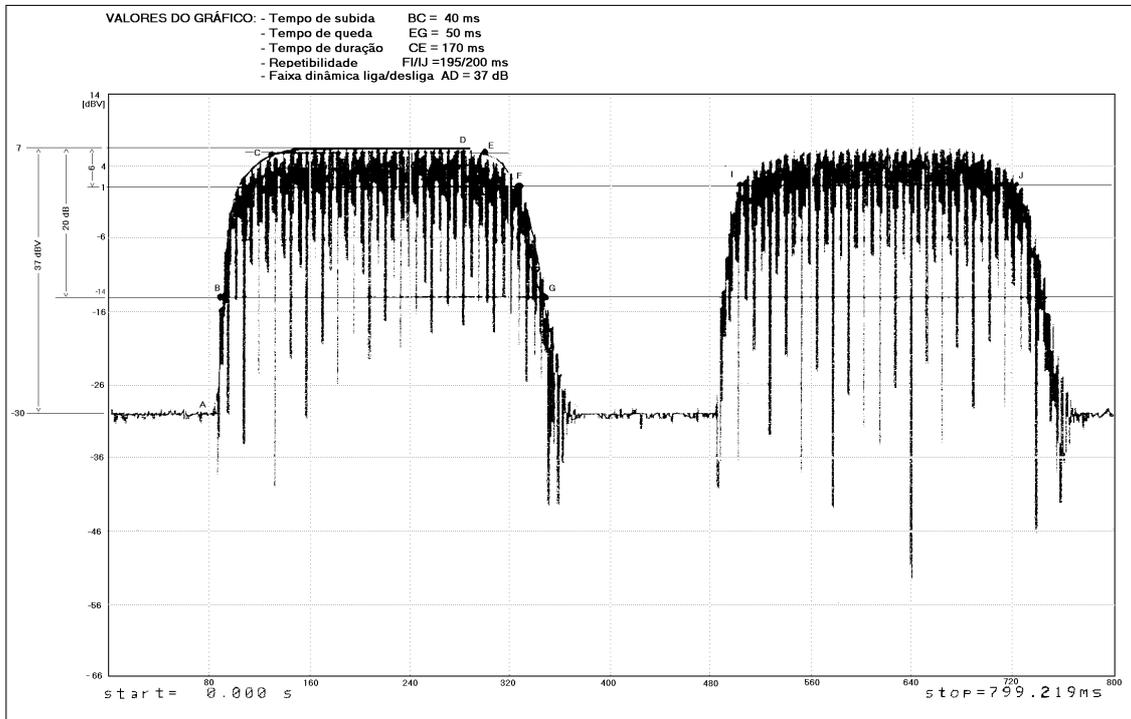
O teste destes sinais foi realizado instalando-se todos os equipamentos usados na realização dos ensaios, e a leitura efetuada diretamente no analisador de tempo real (HP 3560 A) conectado diretamente nos cabos de ligação aos terminais das caixas acústicas instaladas dentro da câmara reverberante do LVA, conforme o croqui do ANEXO A9.

Os sinais foram gerados em tom puro pelo AC-40 na frequência de 1.000 Hz. Inicialmente na forma contínua para ajustar o analisador de tempo real, para então gerar um sinal em forma de pulso, fazendo-se então uma nova leitura, aparecendo na tela dois pulsos completos.

Após registrados os dados, eles são transferidos a um micro computador através de um programa da própria HP e com o uso de software matemático, monta-se o gráfico com os dois pulsos para serem impressos, (figura 5.1).

Quanto aos valores obtidos no gráfico, que se encontram na parte superior da figura 5.1, conhecido como envelope do sinal, os mesmos satisfazem plenamente os quesitos da norma ANSI S12.6/1984 e da norma ANSI S12.6/1997.

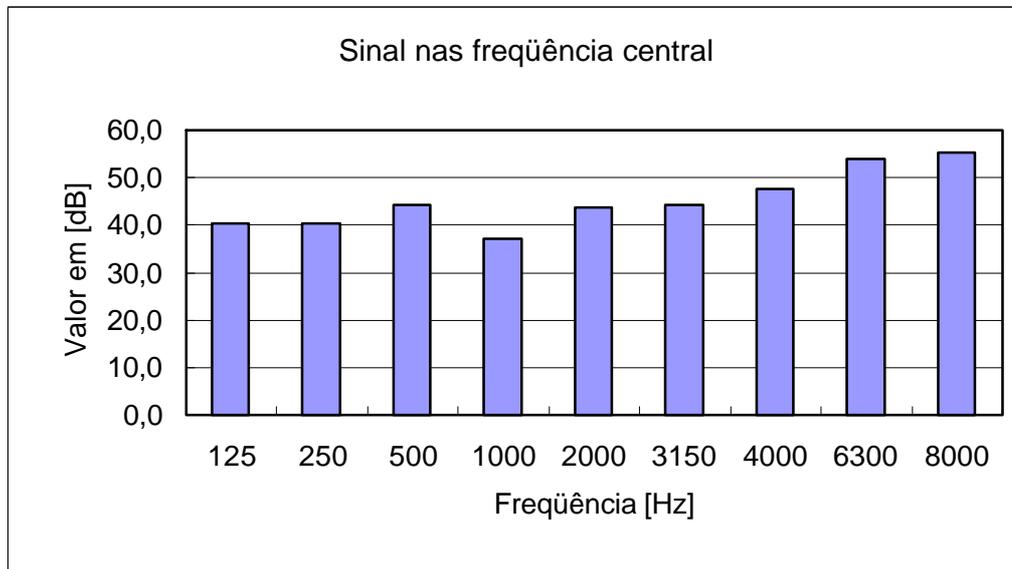
FIGURA 5.1: Característica elétrica do sinal sonoro, em tom puro pulsado, medido nos cabos conectados aos terminais das caixas acústicas (envelope do sinal). Escala: (dB) e (ms).



5.3.2: Verificação do sinal em banda de 1/3 na saída do AC-40.

Para verificar o sinal em banda de 1/3 de oitava nas frequências central de 125, 250, 500, 1000, 2000, 3150, 4000, 6300, e 8000 Hz. Foi usando um analisador de tempo real da B&K tipo 2144, conectado ao audiômetro AC-40 gerando ruído em banda estreita com nível de 50 dB, leu-se no analisador os valores que foram colocados em gráfico na figura 5.2 na média de três leituras.

FIGURA 5.2: Sinal na saída do AC-40 nas freqüências centrais.



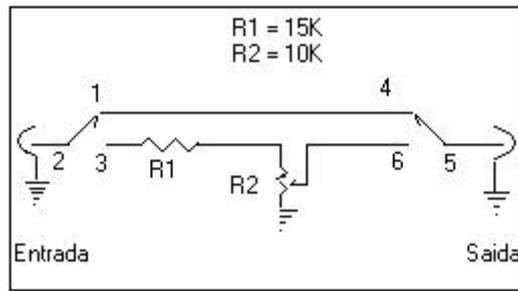
5.3.3 Verificação do atenuador passivo (PAD)

O PAD é um dispositivo eletrônico com a função de atenuar linearmente um sinal, que no caso, é de até 20 dB. Construído para atender o item 3.1.2.3 (3) da norma ANSI S3.19/74, sua instalação foi feita após o audiômetro e antes do amplificador de potência sonora, de forma a reduzir o sinal em 20 dB (29). O atenuador é comandado através de uma chave seletora instalada na caixa que contém o circuito do atenuador. A figura 5.3 mostra o diagrama elétrico do atenuador passivo.

5.3.3.1 Teste do atenuador passivo

O dispositivo foi testado, usando-se o autoespectro do sinal através do aparelho Tektronic 2630, gerando-se uma senóide com tensão de 1 Volt no

FIGURA 5.3: Diagrama elétrico do atenuador passivo PAD, para até 20 dB.



domínio do tempo obtendo-se assim o autoespectro no domínio da frequência.

Nos cálculos da atenuação foram usados os valores mínimos e máximos (x,y) e

a equação :

$$dB = 10 \log x/y \quad [4]$$

TABELA 5.1: Valores da atenuação por frequência.

Valores de:	Frequência (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
X (mV)	9.93	9.88	9.81	9.80	9.72	9.68	9.67	9.59	9.52
Y (mV)	1.08 V	1.03V	996.9	995.8	986.8	983.4	980.3	974.4	968.4
atenuação	20.36	20.18	20.07	20.07	20.07	20.07	20.06	20.07	20.07

A atenuação calculada, com dados medidos do atenuador passivo produz uma perda média de 20,11 dB com desvio padrão de 0,10. Apresenta uma variação menor do que 3/10 (0,3) prevista no item 4.3.4 da ANSI S12.6/97,

possibilitando com a medição da tensão elétrica conferir o desvio que o aparelho produz no sinal, no caso a linearidade.

5.3.4 HL x NPS (SPL)

A maioria dos sistemas para ensaiar protetores auditivos, instalados nos laboratórios do mundo, realizam testes dos protetores auditivos com sistemas cujos equipamentos emitem diretamente os NPS em dB. E como no caso está se usando um audiômetro para a geração do sinal, torna-se necessária uma avaliação dos valores entre o sinal emitido por este aparelho e o nível de pressão sonora no interior da câmara de modo a satisfazer a norma.

Assim um audiômetro como o AC-40 emite os níveis sonoro denominados de HL (Hearing Level/ nível audível) e não o NPS (nível de pressão sonora) que é normalmente usado nas medições acústicas, com a unidade em dB.

5.3.4.1 Testes do HL x NPS

Os testes de verificação do HL (Hearing Level) x NPS (nível de pressão sonora) foram realizados na câmara reverberante do LVA, com os painéis vibrantes e as placas de espuma instalados num ambiente qualificado, de maneira a atender a norma ANSI S12.6 - 1984, além do audiômetro, do amplificador, do atenuador passivo e das caixas acústicas.

A faixa dinâmica dos níveis testados variam entre 0 a 90 dB, com valores significativamente baixos, necessitando para a realização dos testes o uso de um microfone com elevada sensibilidade para atingir níveis tão baixos.

Com o sistema calibrado, iniciam-se os testes. Um sinal é gerado com o AC-40 numa determinada frequência e intensidade e no interior da câmara o microfone capta o som, passando por um filtro passa banda (1617) quando se lê então o seu valor no visor do amplificador de medição (2636). Devido à presença do ruído elétrico e da interferência de rádio mascarando os resultados, usou-se o atenuador passivo para reduzir os níveis às condições de medição.

Mediu-se sob três condições de regulação do atenuador: totalmente fechado, parcialmente aberto e totalmente aberto.

Devido à dificuldade de se avaliar os resultados apenas observando as tabelas 5.2 a 5.4, confeccionou-se gráficos, apresentados no ANEXO D (D01 a D09), no eixo x o valor HL (AC-40) e no eixo y o NPS – (menos)HL em (dB).

O gráfico de baixo (3º) nos ANEXOS D (D01 a D09), obtido com o atenuador totalmente aberto, é considerado aquele que apresenta a melhor curva com variação aproximando-se da unidade, já que para as outras condições houve uma dispersão expressiva das curvas.

Com estes resultados e com a variação próxima ou menor do que a unidade em todos os valores de HL x NPS, pode-se afirmar que o HL é praticamente igual ao NPS, tendo em vista que o ouvido humano tem dificuldades em diferenciar uma variação sonora de apenas um 1 dB.

5.3.5 Software para o teste de protetores auditivos

Os testes, para medir a atenuação dos protetores auditivos pelo método subjetivo são realizados segundo as regras descritas por uma norma, que

especifica as características sonoras para o ambiente num determinado ponto dentro da câmara, a emissão e espectro do som, além dos requisitos físicos do ouvinte que irá participar dos testes.

TABELA 5.2: Atenuador Totalmente Fechado.

AC-40 (HL)	Frequência (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
00	15	9	3,5	-2	-5	-7	-8	-7	-6,5
05	15	9,5	4	-2,5	-5	-7	-8	-7	-6,5
10	14,5	9,5	4	-2	-5	-7	-8	-7	-6,5
15	16	9,5	4,5	-2	-5	-7	-8	-7	-6,5
20	17	9,5	4,5	0,5	-4	-7	-8	-6,5	-6,5
25	20,5	10,5	5,5	2,5	-1	-5	-8	-5,5	-5,5
30	25	13,5	6	6,5	2,5	-2,5	-6,5	-3	-3,5
35	29,5	17,5	8	9,5	7	2	-4	1,5	0,5
40	34,5	22	12	14,5	11,5	6	-1	5,5	4
45	40	27	16,5	19,5	17	10,5	4	10	9
50	44,5	31,5	21	24,5	21,5	15,5	8,5	15	14
55	49,5	36,5	26	29	26,5	20,5	13	20	19
60	55	42	31	34	31,5	25,5	18	25	23,5
65	59,5	46,5	36	39	36,5	30,5	23	30	28,5
70	63	51,5	41	44	41,5	35,5	28	35	34
75	--	56,5	46	49,5	46,5	40,5	33	40	39
80	--	61	51	54,5	51,5	45,5	38	45	43,5
85	--	--	56	59,5	56,5	50,5	43	49,5	--
90	--	--	60	64	61	55,5	48	--	--

TABELA 5.3: Atenuador Parcialmente Aberto.

AC-40 (HL)	Frequência (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
00	23	12	6	6	3	-2	-7	-4	-2,5
05	28	15,5	9,5	10,5	7	2,5	-4	-0,5	1
10	33	20	12	14,5	11,5	7	0	4	5,5
15	37,5	25	16	19,5	16,5	12	4	8,5	10
20	42,5	30	20	24,5	21,5	17	8,5	13,5	15,20
25	47,5	35	25	29,5	26,5	22	13,5	18,5	24
30	52,5	40	30	34,5	31,5	27	18	23,5	28,5
35	58	45	35	39,5	36,5	32	23	28,5	33,5
40	62	50	40	44,5	41,5	36,5	28,5	33,5	38,5
45	67	55	45	49,5	46,5	41,5	33,5	38,5	43,5
50	72	60	50	54	51,5	46	38,5	43,5	48
55	77	64,5	55	59	56,5	50,5	43,5	48,5	53
60	81,5	69,5	60	64	61,5	55,5	48,5	53,5	58
65	86,5	74,5	65	69	66,5	60,5	53,5	58,5	63

70	91	79,5	70	74	71,5	65,5	58,5	63,5	68
75	--	84,5	75	79	76,5	70,5	63,5	68,5	72,5
80	--	89,5	80	84	81	75,5	68	73,5	--
85	--	--	85	89	86	80,5	73	77,5	--
90	--	--	89,5	93,5	90	85,5	77,5	--	--

TABELA 5.4: Atenuador Totalmente Aberto.

AC-40 (HL)	Frequência (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
00	29	18,5	8,5	12	9,5	3,5	-3	0,5	1
05	34	22,5	12,5	16,5	14	8	1,5	55,5	5,5
10	38	27	17,5	21,5	19	12,5	5,5	10	10,5
15	43,5	32	22	26,5	24	17,5	10	15	15,5
20	48,5	36,5	27	31,5	29	22,5	15	20	20,5
25	54	41,5	32	36,5	34	27,5	19,5	25	25,5
30	58,5	46,5	37	41,5	38,5	32,5	25	30	30,5
35	63,5	51,5	42	46,5	43,5	37	30	35	35,5
40	78,5	56,5	47	51,5	48,5	42,5	35	40	40,5
45	73,5	71,5	52	56,5	54	47,5	40	45	45,5
50	78	76,5	57	61,5	59	52,5	45	49,5	50
55	83,5	72	62	66,5	64	57,5	50	54,5	55
60	88	77	67	71,5	69	62,5	55	59,5	60
65	93	81,5	72	76,5	74	67,5	60	64,5	65
70	98	86,5	77	81,5	79	72,5	65	69,5	70
75	--	91,5	82	86,5	84	77,5	70	74,5	75
80	--	97	87	91,5	89	82,5	75	79,5	79,5
85	--	--	92	96,5	93,5	87,5	80	84,5	--
90	--	--	96,5	101	98	92,5	85	--	--

Em cada Laboratório, onde se realizam testes subjetivos de atenuação dos protetores auditivos, é utilizada instrumentação própria, tanto para a geração do ruído, como para a coleta e guarda dos dados obtidos.

Com a construção no Campus Universitário da UFSC, de uma nova câmara reverberante, com o objetivo principal de ensaiar protetores auditivos, fez-se necessário o desenvolvimento de um software para comandar o hardware, desde a geração do sinal até a coleta e registro dos dados produzidos nos testes .

Assim utilizando um microcomputador tipo PC IBM (486 DX-33), um audiômetro clínico com saída RS232 que permite ser conectado e comandado através de sinais, de um amplificador de potência sonora e seis caixas acústicas, foi desenvolvido no laboratório de vibrações e acústicas da UFSC, um software em linguagem Borland C++, que cumprisse as determinações previstas na norma ANSI S12.6 - 1997.

Para a elaboração deste software, houve a necessidade do conhecimento das condições técnicas e de informática, bem como da parte eletrônica envolvida com a transferência de sinais entre um microcomputador e um equipamento sofisticado e preciso como é o caso do audiômetro clínico usado.

Em contato com o fabricante do audiômetro clínico, este não mostrou interesse em fornecer os protocolos de comunicação, nem a linguagem usada em seus comandos, pois eles além de fabricantes também comercializam, um software para uso médico/clínico que pela sua condição específica, não supre as necessidades do uso pretendido no Laboratório.

Desta forma, foi necessário muita paciência e um tempo bem maior do que inicialmente se previa para a obtenção dos protocolos de comunicação usados para comandar estes sinais, e só então ter condições para desenvolver o software.

A norma ANSI de 1984 já havia descrito (item 3.3.1.1) as condições necessárias para o caso de se utilizar audiômetro automático na geração do ruído nos testes para medir a atenuação de protetores auditivos em ouvido real. A ANSI S12.6 1997 (item 7.5) não alterou as condições, servindo estas como diretrizes a serem seguidas na elaboração do software.

Sob alguns aspectos técnicos da norma, havia dúvida quanto a sua interpretação. Recorremos então via E-Mail e pessoalmente, ao professor Casali quando da sua visita ao Laboratório e ao, pesquisador da empresa E-A-R Produtos de Proteção Auditiva de Indianapolis, USA, Sr. Elliott H. Berger, especialistas estes que participam da comissão de revisão das normas ANSI.

A norma ANSI 1997 item 7.5 :

1 - Determina que o teste numa certa freqüência deve ser repetido quando ignorada a primeira reversão após a troca de freqüência ou um traço (percurso) for menor ou igual a 3 dB, bem como apresentar o seguinte:

- (a) Ter ao menos seis reversões
- (b) Nenhum pico será menor que um vale
- (c) O espaço percorrido (diferença entre o percurso entre um pico e um vale) não devem exceder 20 dB .

2 – A aceitação dos traços se efetivará, após a troca de freqüência ignorando a primeira reversão quando houver igual número de picos e vales.

3 – O valor médio deve ser arredondado para o mais próximo em dB.

Explicações:

A primeira dúvida surgiu quando se precisou definir o que é uma reversão ? entendida como a troca de sentido que começa quando o ouvinte aciona o botão dentro da câmara, assim toda vez em que é apertado ou solto o botão se produz uma reversão.

Ter ao menos seis reversões significa dizer que no espaço de uma determinada frequência deve haver no mínimo sete reversões porque a primeira reversão deve ser desconsiderada. Casali e Berger usam 8 a 9 em seus laboratórios.

O item b) significa que ao ser traçada a trajetória da linha e ocorrer uma reversão, neste instante ela tanto pode ser pico ou vale. A interpretação é que durante as seis reversões, quando a curva estiver subindo e muda de sentido, esta reversão é interpretada como um pico e quando estiver descendo ao mudar de sentido é um vale. Significa dizer que nenhum valor de pico pode ser menor do que um vale no espaço de uma mesma frequência.

O item c) especifica, o termo excursion usado em Inglês, explicado como sendo a extensão percorrida entre uma reversão e outra e que não pode ser maior do que 20 dB.

A figura 5.4 mostra explicações de forma gráfica do professor Casali por ocasião da sua visita à UFSC.

O programa foi desenvolvido de maneira a não permitir interrupções ou ingerências durante o período em que se realizam os testes. Após iniciado, o seu funcionamento é automático, registrando apenas as respostas emitidas pelo ouvinte em teste.

No programa, após cada reversão são verificados os itens 1 a-b-c e o item 2, (7.5 (1) da ANSI – 1997) de maneira instantânea pelo micro computador que repete o teste no início da frequência em uso quantas vezes forem necessários até que as determinações da norma sejam cumpridas.

O software, instalado no microcomputador tipo IBM-PC comanda através da emissão de sinais todas as etapas de funcionamento do audiômetro para os testes, desde o comando para iniciar a geração do ruído em banda estreita

FIGURA 5.4: Explicação gráfica do item 7.5 (1) da norma ANSI S12.6 – 1997 (sem escala).



pulsada, que após ser amplificado, chega até o ouvinte através das caixas acústicas instaladas dentro da câmara.

A primeira banda sempre é em 125 Hz, iniciando em zero dB para o limiar aberto e em 30 dB para o limiar fechado.

O ouvinte, ao escutar o som, aciona manualmente um botão de contato (o mesmo usado em audiometria) mantendo-o pressionado enquanto estiver ouvindo o ruído. Este botão é conectado diretamente no microcomputador. A resposta do sinal é analisado pelo programa. Assim ao mesmo tempo em que registra graficamente no monitor, a seqüência das operações de reversões

(apertado/solto), ao final de cada banda calcula a média (desprezando a primeira reversão), também mostra na tela os valores referentes ao limiar em teste para cada banda, traçando um risco horizontal na média das seis reversões.

Ao final de cada limiar, após concluir a frequência de 8.000 Hz, o sistema pára, (para o ouvinte tirar ou colocar o protetor) só reiniciando com o acionamento em um ícone pelo mouse, do operador.

Na tela do computador no lado direito, encontram-se ícones que ao serem acionados permanecem no fundo (apertados) e com isto, trava os demais não permitindo desta forma, que seja acionado outro ícone quando um está em andamento ou mesmo reacioná-lo, evitando que seja repetido o teste para o mesmo tipo de limiar.

Após concluir os testes nos dois limiares (aberto e fechado), o software executa a operação, subtraindo o valor do limiar aberto do valor do limiar fechado, mostrando na tela o valor em dB da atenuação por banda, para o protetor testado e por aquele ouvinte.

Após cada teste, o operador aciona o ícone ler/gravar digitando o local onde serão armazenados os dados e o nome do arquivo.

O ANEXO E1 e E2 mostram a máscara executada pelo software que aparece na tela do PC. A figura mostrada no ANEXO E1 é a primeira tela que aparece no monitor ao ligar o programa e no ANEXO E2 vê-se a máscara com os dados preenchidos: registro do ouvinte, quem realizou o teste, data e hora do início do ensaio, tipo do protetor, nome do fabricante e tamanho do protetor (pequeno, médio ou grande), bem como um espaço para comentários.

Nas três linhas abaixo aparecem estão os valores médios do limiar aberto, fechado e a diferença entre estes, que é a atenuação apresentada pelo protetor testado em cada frequência. A curva em azul (normalmente a de cima) refere-se ao limiar aberto e a curva em vermelho (a de baixo) o limiar fechado. O traço no meio da curva entre frequências, é a média das seis reversões apresentadas no intervalo.

No ANEXO E3, encontra-se o fluxograma do software desenvolvido e testado durante um período superior a um ano, sem apresentar problemas de ordem técnica.

O ANEXO E4 vê-se os equipamentos de controle montados externamente à câmara acústica, onde pode-se observar na tela do computador a máscara e as curvas processadas durante um teste de atenuação de protetores auditivos. O ouvinte em teste é monitorado durante todo o tempo através de uma televisão conectada a uma microcâmara de TV, instalada dentro da câmara acústica. A televisão encontra-se posicionada acima dos equipamentos.

5.4 Conclusão

O software verifica os procedimentos da norma e caso estejam em desacordo, o processo reinicia sem qualquer interferência do operador, garantindo a confiabilidade dos registros.

A elaboração do software para os testes da atenuação em protetores auditivos fez com que o processo fosse realizado de forma dinâmica, rápida e eficiente, quando comparado aos testes realizados de forma manual, somente pelo operador. Os possíveis erros humanos envolvidos tanto na operação do

equipamento gerador do sinal como na leitura e registro dos resultados são praticamente desprezíveis, em virtude do processo desenvolver-se automaticamente não necessitando a presença constante do operador. Outro aspecto importante é a repetição na realização dos procedimentos, os quais são aplicados de forma idêntica em todos os testes de protetores.

Atualmente, o sistema está sendo utilizado no Laboratório de Ruído Industrial da UFSC na medição da atenuação de diversos tipos de protetores auditivos, demonstrando possuir uma eficiente performance como ferramenta e de grande utilidade para os ensaios destes tipos de dispositivos.

6 SELEÇÃO DE MICROFONES E EQUIPAMENTOS PARA AS MEDIÇÕES

6.1 Introdução

De nosso conhecimento, não existem normas e/ou recomendações sobre medições do NPS usando microfones dentro e fora da concha para avaliar a atenuação do ruído em protetores auditivos. Diversos trabalhos já foram realizados como descritos na pesquisa bibliográfica incluída em 6.2.

Quanto a microfones: o microfone tipo capacitivo acoplado ao seu pré-amplificador apresenta um tamanho relativamente grande para ser instalado dentro da concha de um protetor auditivo, especialmente para a sua aplicação em campo. Por este motivo, foram testados microfones tipo eletreto com dimensões menores, bem como a possibilidade da sua utilização nas medições com dois microfones em laboratório e no campo.

Microfones tipo eletreto são tipos que possuem como elemento gerador uma placa de polímero especial, carregada eletricamente de forma permanente, não necessitando, por isso, de polarização externa, como os microfones capacitivos ou condensador, que necessitam de até 200 volts para a sua polarização.

Os microfones eletreto apresentam boa estabilidade elétrica, resistência à temperaturas e dependendo da aplicação o aspecto da impedância tem sua importância. São encontrados no mercado, microfones eletreto com duas e três vias de ligação. Os com três vias de ligação são chamados com linha balanceada entre si com relação à terra, apresentando a vantagem de que, as

tensões nos condutores estão sempre em antifase (defasados de 180 graus) e os ruídos elétrico eventualmente induzidos nestes condutores, ficam em fase, de forma que podem ser facilmente cancelados pelas entradas balanceadas.

De modo geral os microfones de baixa impedância utilizam linhas balanceadas (3 vias), e os de alta impedância, linhas não balanceadas (2 vias).

Atualmente os microfones eletreto apesar de apresentarem limitações para medir baixos níveis de pressão sonora, são amplamente usados industrialmente e em dispositivos elétrico eletrônicos de uso pessoal, especialmente porque necessitam de baixa voltagem de polarização para o seu funcionamento, além de serem construídos com dimensões reduzidas, seu preço é bastante acessível e é encontrado facilmente no mercado de acessórios eletrônicos.

Muitos instrumentos de medição do tipo portátil como os medidores dos níveis de pressão sonora, dosímetros, usam microfones eletreto também conhecidos como microfone tipo condensador pré-polarizado.

No uso pessoal os microfones eletreto tem aplicação em praticamente todos os tipos de gravadores, karaokê, dispositivos auxiliares de audição, nos telefones portáteis e residenciais, em computadores, nos intercomunicadores internos, enfim onde se necessita transmitir o som ou a voz.

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes com microfones tipo eletreto, e a sua qualificação ou não para possível utilização neste trabalho.

6.2 Pesquisa bibliográfica

Os estudos iniciais envolvendo pesquisas, usando microfone posicionado no ouvido, segundo publicações, datam de meados da década de 1950, quando uma comissão do ministério da aeronáutica da Inglaterra formada pelos pesquisadores Dickson, Hinchcliffer, Wheeler, em 1954 publicaram um relatório chamado Proteção auditiva, e em 1955 Webster, publicou sob o título Proteção auditiva : método de medição e comparação dos resultados “Ear Defenders: Measurement Methods and Comparative Results” (referenciado por Berger (4)).

Estes estudos preconizaram o método hoje conhecido por microfone em ouvido real (MIRE do Inglês “ Microphone in Real Ear”) separado em dois procedimentos para medir a atenuação física dos protetores auditivos: a perda por inserção (PI) e a redução do ruído (RR) (a definição destes termos encontra-se no capítulo 1).

Desde então, alguns autores vêm pesquisando através deste método, comparando os resultados, com os obtidos em laboratório segundo as normas para ensaiar a atenuação de ruído dos protetores auditivos, dos quais são apresentados a seguir.

Stewart e Burgi (citados em 4 e 43), mediram no laboratório numa câmara acústica a redução sonora e o limiar da atenuação em ouvido real (REAT), com base na norma ANSI S3.19/74.

Na medição da redução do ruído (RR), usaram dois dosímetros marca General Radio, instalando um microfone dentro e outro fora da concha, gerando no ambiente ruído rosa com níveis de pressão sonora entre 90 e 95

dB. A diferença de resposta entre os microfones foi mínima apresentando a maior diferença em 8000 Hz com 1,3 dB sem a aplicação do fator de correção TFOE. Como resultado, a atenuação não apresentou diferenças entre as frequências de 125 a 1000 Hz, mas somente entre 3150 e 8000 Hz sendo a média das atenuações maior no REAT chegando a 9,7 dB. Estes autores explicam que as diferenças devem-se às condições da audição com ouvido aberto e com o ouvido fechado, baseando-se no fato de que a resposta da frequência com o ouvido aberto amplifica o som nas frequências acima de 2000 Hz e esta resposta é reduzida na presença do protetor tipo concha.

Stewart e Burgi (citados em 4 e 43), desenvolveram em laboratório procedimentos de ensaios para verificar o uso de equipamentos para os testes físicos de protetores auditivos com minimicrofones. Foi medida a RR, com uma modificação, acrescentaram um filtro de correção para ajustar a diferença entre as medições psicofísicas e físicas. Observaram que houve pouca variação quanto a repetibilidade dos ensaios e que os valores obtidos com a medição física comparada com a psicofísica, viabilizando assim a medição da atenuação de protetores auditivos em laboratório pelo método físico através da RR. Enumeraram algumas limitações que podem influenciar quanto ao uso da RR no campo, sugerindo que os instrumentos de medição sejam rigidamente fixados, porque o contato com as vestes ou o corpo muitas vezes produzem elevação nos níveis de ruído dentro da concha. Problema similar ocorre com o cabo do microfone quando o operador se movimenta. Escreveram como outra condição limitante a necessidade de níveis elevados de ruído. O menor ruído que se conseguiu medir dentro da concha foi de 57 dB, enquanto que alguns

protetores atenuam mais de 35 dB especialmente nas altas frequências, fazendo com que o menor ruído dentro da concha seja menor do que 57 dB quando o ruído no ambiente estiver abaixo de 92 dB. Citam também que os níveis de ruído quando acoplados ao filtro corretivo causam nos instrumentos constante sobrecarga nas baixas frequências onde raramente os protetores auditivos fornecem mais de 10 a 12 dB de atenuação. Com base no acima descrito os autores não recomendam usar estes procedimentos em campo.

Savich, em 1982 (citado em 4), testou em minas canadenses protetores auditivos com três trabalhadores, usando dois dosímetros conectados a mini-microfones, sendo um microfone posicionado dentro e outro fora do protetor.

Observou que o tipo concha oferece melhor atenuação dependendo da movimentação, da postura Ao executar o seu trabalho e do tipo e nível de ruído a que estiver exposto. Os resultados sugerem que cada protetor apresente um único número com o valor da sua atenuação, entendendo que se deve realizar uma comparação relativa porque a atenuação em campo varia em função do desgaste devido ao uso e também da movimentação do usuário, além dos níveis de ruído ao qual esta exposto. Este estudo afirma a necessidade de se medir a atenuação ou redução do ruído em campo.

Chung, Menyhart e Gannon em 1982 (citado em 4), também mediram a atenuação de protetores auditivos em campo usando dois dosímetros e dois microfones. Selecionaram trabalhadores expostos durante oito horas por dia a níveis de ruído entre 94 e 107 dBA, limitando os níveis medidos dentro da concha, a maiores do que 70 dBA (limite do dosímetro) e caso ocorresse valores menores estes, não seriam considerados nos cálculos.

Sugerem que os trabalhadores expostos a níveis elevados de ruído ajustem o protetor assim como fazem as pessoas que usam aparelho auxiliar auditivo, porque a atenuação dos protetores varia para cada pessoa devido ao seu biótipo e da sensibilidade ao ruído que é diferente para cada indivíduo.

Nos testes os trabalhadores permaneceram com os equipamentos de 10 a 30 minutos, calculando-se então o nível de exposição pessoal. Eles encontraram diferenças quanto às doses especificadas pela OSHA (Occupational Safety and Health Act) 1971, que em suas regras descrevem sobre a tomada de medição usada para o cálculo da dose de exposição do trabalhador. Que esta deve ser em campo sonoro difuso e na posição central da cabeça e não no ouvido como é o caso em campo.

Goff e Blanck em 1984 (20), usando as opções no controle de ruído discutidas nos regulamentos da MSHA (Mine Safety and Health Administration), realizaram em uma mina avaliações objetivas da redução sonora de protetores auditivos tipo concha. Para a obtenção dos dados, usaram dois dosímetros modelo GenRad 1954 modificados para que o sinal de entrada fosse gravado em dois canais de um gravador analógico modelo Nagra SJ conectados em dois microfones sendo um instalado dentro da concha e o outro no ombro do trabalhador.

Após gravados os sinais foram analisados no laboratório através de um analisador de tempo real, uma calculadora tektronix e um gravador DC, obtendo-se assim os níveis e as características espectrais do ruído gravado.

No laboratório, com um usuário em movimento (por exemplo caminhando) usando protetores auditivos, com um microfone posicionado dentro da concha

e outro no ombro, foi gerado o ruído gravado com níveis de 95 e 100 dB, obtendo-se os valores mostrados na tabela 6.1, observa-se a diferença dos níveis gravados entre os microfones instalados dentro da concha e o posicionado no ombro do trabalhador sob três tipos de ruído.

TABELA 6.1: Diferença entre o microfone dentro da concha e no ombro do usuário dos níveis gravados em campo [20].

Frequência [Hz]	Ruído rosa [dB]	Ruído branco [dB]	Ruído de caminhão [dB]
125	1	0	0
250	1	0	0
500	1	1	1
1000	3	2	2
2000	-2	-2	-1
4000	-5	-4	-4
8000	-5	-1	-4

Goff e Blank observaram que os valores obtidos em campo encontram-se abaixo dos obtidos em laboratório. Outro aspecto é a metodologia usada, que difere do método MIRE, tendo o posicionamento de um dos microfones longe do protetor, dificultando qualquer comparação com dados obtidos por uma metodologia mais usada e difundida.

Segundo afirmações de Berger (4), a medição da RR aplicando o método MIRE é particularmente usável para medir a atenuação dos protetores auditivos sob as condições de campo, não só medindo instantaneamente a redução sonora, mas também usando microfones conectados em dosímetros para verificar a proteção do protetor em uso, além de calcular a dose de exposição.

Nos cálculos da redução do ruído sugere aplicar o fator de correção TFOE. Sem qualquer surpresa afirma Berger que os pesquisadores que mediram em

campo protetores auditivos do tipo concha, obtiveram dados inferiores aos dados de atenuação apresentados pelos fabricantes (medidos em laboratório).

Mauney (43) pesquisou os métodos físicos e psicofísicos para medir a atenuação de protetores auditivos sobre a cabeça (circumaural) (três tipo concha e três conchas fixas em capacete) e suas implicações no uso em campo.

Os trabalhos foram realizados em laboratório tanto para a aplicação do método da REAT, quanto do método MIRE (PI e RR). Gerando ruído rosa nos testes dentro da câmara, nivelado em $\pm 0,5$ dB para as frequências entre 100 e 1000 Hz medidos na saída do alto-falante. Foram usados quatro mini-microfones modelo Knowles 1759, instalados dois em cada concha do protetor e através de uma chave são selecionados quais microfones (os da direita ou os da esquerda) serão lidos no analisador de tempo real ligado por interface a um microcomputador IBM PS/2 Model 70, armazenando os dados, possibilitando desta forma pesquisar os sistemas mono e binaural.

Quatro importantes conclusões resultaram da pesquisa monoaural. Primeiro, que os testes de tom puro no REAT apresentaram diferenças com o resultado dos testes de 1/3-REAT. Segundo, que falta alguma coisa nas medições físicas MIRE e 1/3-REAT, podendo ser a causa destas diferenças o efeito oclusão e o limiar da condução via óssea. Estas diferenças ficam entre 0,08 dB e 7,16 dB nas frequências entre 500 e 6300 Hz. Terceiro, que no método MIRE, a redução sonora deve ser corrigida com o fator de correção TFOE, para equivaler aos dados da perda por inserção. Quarto, que os resultados da orelha direita e esquerda apresentam atenuações iguais.

O estudo de Mauney (43) conclui apresentando evidências para embasar o uso do método MIRE na estimativa da atenuação do ruído em campo e sua aplicação limitando-se aos protetores auditivos do tipo concha e conchas montadas em capacete.

A NIOSH (30) revisou em 1998 os critérios para a exposição ao ruído ocupacional, com os padrões recomendados para o ruído, programa de prevenção a perdas auditivas, enfim, os critérios para os padrões recomendados nos Estados Unidos.

6.3 Verificação dos equipamentos para ensaios.

No projeto inicial deste trabalho, ouve a hipótese de se utilizar dois dosímetros no registro dos dados da atenuação do ruído em protetores auditivos, instalando-se um microfone dentro e outro fora da concha.

6.3.1 Verificação dos dosímetros

Nos testes dos dosímetros realizados na câmara semi-anecóica para referenciar os valores, usou-se um medidor de nível da pressão sonora da B&K (tipo 1) posicionado juntamente com os microfones dos dosímetros, a uma distância de dois metros da fonte. Os aparelhos foram posicionados sobre uma placa de espuma para não absorverem qualquer influência de possível vibração da bancada usada para suporta-los.

Para cada teste, gerou-se ruído branco com nível de 95 dB por um período de 15 minutos usando os equipamentos especificados no ANEXO A11.

Com o medidor do nível de pressão sonora, foram medidos os níveis de ruído emitidos no ambiente e o cálculo do L_{eq} na banda de 1/1 de oitava.

Os números de 1 a 7 representam as sete condições de posicionamento dos microfones. O n.º 1 com todos os quatro sobre a espuma (ANEXO A11), o n.º 2 com todos sobre a mesa, do n.º 3 ao n.º 6 sempre um ficou sobre espuma e os demais sobre a mesa e o n.º 7, todos os microfones sobre duas camadas de espuma.

FIGURA 6.1: Microfones dos dosímetros presos no colarinho durante ensaios dentro da câmara semi-aneecóica.

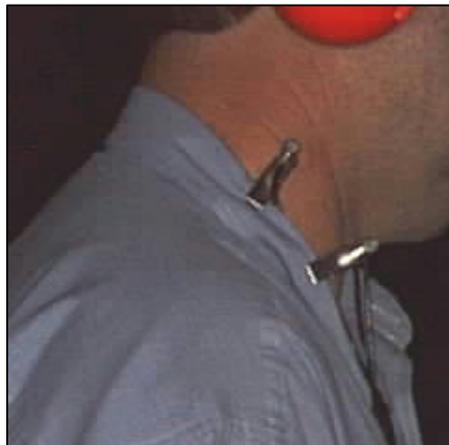


TABELA 6.2: Valores do L_{eq} calculados por cada instrumento em sete testes.

N.º	Dosim.24 [dB]	Dosim.27 [dB]	Dosim.39 [dB]	NPS [dB]	Valores máx./min	Varição da diferença
1	89.7	89	88.6	89.3	89.7/88.6	+/- 0.5
2	90.3	90.1	89.3	89.1	90.3/89.1	+/- 0.6
3	89.2	90.0	89.0	88.8	90.0/88.8	+/- 0.6
4	90.7	89.0	89.3	88.8	90.7/88.8	+/- 0.9
5	90.4	89.9	88.6	88.8	90.4/88.6	+/- 0.9
6	90.0	89.9	88.8	88.2	90.0/88.2	+/- 0.9
7	88.4	88.2	87.5	88.4	88.4/87.5	+/- 0.4
					média da variação:	+/- 0.7

Na tabela 6.2 são apresentados os valores fornecidos por cada instrumento do L_{eq} , valores máximos e mínimos e na última coluna a variação

da diferença entre o valor máximo e o mínimo ficando menor do que ± 1 dB e a média dos valores em ± 0.7 dB, significando que os dosímetros testados, podem ter sua aplicação em estudos de campo e em laboratório no controle ambiental.

Além do testes dos dosímetros, verificamos alguns aspectos quanto às respostas pelo seu uso em campo. Se são próximos os valores apresentados pelos registros dos dosímetros? Num teste, foram fixados no colarinho da camisa, dois microfones um de cada dosímetro e com o usuário movimentando-se dentro da câmara, de forma a simular os movimentos de uma atividade num ambiente ruidoso figura 6.1.

Nos ensaios, obteve-se uma variação média de $\pm 0,2$ dB entre os valores medidos com cada aparelho, mostrando que os mesmos oferecem um erro pequeno pela movimentação do trabalhador com relação a uma fonte sonora.

Outra condição verificada foi quanto a influência da direção do microfone posicionado dentro da concha. Para estes testes usou-se a cabeça artificial metálica (com dimensões segundo item 4 da norma ANSI S3.19/74). Foram usados dois modelos de protetores auditivos do tipo concha (modelo A e B), posicionando a cabeça artificial a um metro de distância da fonte de ruído, permanecendo o microfone externo sempre na mesma posição somente mudando a direção do microfone posicionado dentro da concha, girando no plano vertical em 90° (para cima, para baixo, para frente e para trás), como mostrado na figura 6.2.

Na tabela 6.2. são apresentados os valores de L_{eq} (dBA) para dois dosímetros e dois modelos de protetores auditivos tipo concha (A e B), e

também a variação em função da mudança de direção do microfone instalado dentro da concha, o valor médio e a variação da diferença entre o valor médio dos dois dosímetros.

Observando a tabela 6.3 vê-se que a variação do valor médio não atinge a unidade, admitindo-se que, os valores quanto a direção do microfone dentro da concha não são significativos. Deve-se portanto usar sempre a mesma direção do microfone dentro e fora da concha para todos os testes, de forma a estarem eles sob a mesma referência, minimizando os erros .

FIGURA 6.2: Montagem do protetor auditivo na cabeça artificial. A esquerda vê-se o microfone externo e na foto da direita o microfone instalado dentro da concha.



TABELA 6.3: Dados de L_{eq} em (dBA) obtidos nos dosímetros NPS2 e NPS1, para dois modelos de protetores auditivos tipo concha, em função da mudança da direção do microfone instalado dentro da concha.

Dosímetro NPS2	Dosímetro NPS1	Diferença NPS1-NPS2 (D)	Direção do microfone	Valor médio da diferença (Dm)	Variação do valor médio (D-Dm)
protetor modelo A				25.8	+/- 0.9
65.8	92.4	27.6	cima		
67.1	92.4	27.3	baixo		
67.5	92.4	24.9	frente		
65.7	92.4	27.7	atrás		
protetor modelo B				23.2	+/- 0.6
69.2	91.8	22.6	cima		
68.1	91.9	23.8	abaixo		
68.4	91.8	23.4	frente		
69.5	92.3	22.8	atrás		

Os dosímetros são equipamentos portáteis projetados e construídos para medir especialmente em campo, a dose de exposição ao ruído relativo a um período, que pode ser uma jornada de trabalho. Eles também registram o nível equivalente L_{eq} , não apresentam os valores do espectro por banda de frequência.

Como no presente estudo os dados serão analisados com detalhes é imprescindível o espectro por banda de frequência com os valores dos níveis de potência sonora medidos, e como os dosímetros não oferecem esta possibilidade, optou-se por usar um analisador de tempo real com dois canais, em substituição aos dois dosímetros inicialmente previstos.

6.3.2 Microfones capacitivos para medições

Os microfones capacitivos apresentam elevada estabilidade ao longo do tempo, apresentam resposta plana na faixa de frequência entre 125Hz a 8000Hz, normalmente não sofrem alteração com a diferença da temperatura, possuem baixa influência ao ruído elétrico, sendo um tipo largamente empregado nas medições de precisão [1], é envolto em uma carcaça metálica para oferecer efetiva proteção em ambientes severos de uso.

Os microfones do tipo 4165 da B&K com diâmetro de $\frac{1}{2}$ polegada apresentam sensibilidade em torno de 50 mV/Pa, necessitam de 200 volts para polarização, sua faixa de frequência é de 2,6 Hz a 20 kHz com precisão de +/- 2 dB, faixa dinâmica de 15 a 146 dB, suas características de resposta são para campo livre com aplicações na área de medições dos níveis de potência

sonora, que pela classificação IEC são do tipo 1 [catálogo da B&K] (o tipo 0 é usado como padrão na calibração dos microfones tipo 1).

Os dois microfones usados inicialmente são do tipo 4165, identificados pelos números de série 844067 e 844045, sendo o primeiro (final 067) conectado a um pré-amplificador tipo 2639 com número 1555219 e o segundo (final 045) conectado ao pré-amplificador tipo 2619 e número 840566, todos da B&K.

A calibração dos microfones é realizada com o calibrador tipo 4230 da B&K (94 dB a 1000 Hz).

Após calibrar os microfones, mediu-se o nível de potência sonora do ruído de fundo dentro da câmara do LARI, o qual foi denominado (0 dB), nos demais testes gerou-se NWS de 50-60-70-80 e 90 dB posicionando os dois microfones em paralelo sobre uma placa de espuma, realizando as leituras por cinco vezes em cada nível, cujos resultados encontram-se na tabela 6.4, e na forma gráfica na figura 6.3.

Dos gráficos da figura 6.3 observamos que para 0 dB (apenas existindo o ruído de fundo) com a fonte sonora desligada, a diferença das médias é constante independentemente dos níveis e das frequências, exceto para o NWS de 50 dB cujos resultados apresentam variações com a mudança das frequências.

Entre 60 a 90 dB a diferença repete-se com as diferentes frequências, podendo-se concluir que, os microfones apresentam excelente repetibilidade nestes níveis na faixa entre 125 a 8000 Hz, e também nos níveis menores, 0 e 50 dB encontrando-se na faixa de precisão entre + 1,5 dB a - 1,6 dB, correspondendo com o especificado no catálogo do fabricante B&K.

TABELA 6.4: Níveis de pressão sonora lidos em dois microfones B&K, e a repetibilidade para os níveis: do ruído de fundo e 50-60-70-80 e 90 dB.

05/11/00	Verificação da repetibilidade dos valores lido nos microfones B&K - LARI												
	Equipamento: a) Analisador de tempo real com dois canais tipo 2144 da B&K												
	b) microfones da B&K tipo 4165 campo livre (b1) nº844067 (b2) nº 844045												
	c) pré amplificador (c1) tipo 2639 nº 1555219 e (c2) tipo 2619 nº 840566												
	d) calibrador tipo 4230 da B&K (94 dB - 1000 Hz)												
Canal A : microfone 4165 nº 844067 e pré tipo 2639													
Canal B : microfone 4165 nº 844045 e pré tipo 2619													
Ruído de fundo (0 dB)													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	28,6	26,1	28,2	28,6	29,1	28,5	29,2	27,8	28,6	26,7	28,7	27,5	1,2
250	28,1	26,5	27,9	26,8	27,8	26,7	28	26,3	28,3	26,4	28,0	26,5	1,5
500	27,3	26,3	27,5	25,8	27,4	26,3	27,5	26,9	27,3	26,1	27,4	26,3	1,1
1000	27	25,8	26,8	25,8	27	26	26,9	26	26,7	25,7	26,9	25,9	1,0
2000	26,6	25,7	26,5	25,4	26,6	25,6	26,4	25,6	26,5	25,5	26,5	25,6	1,0
4000	26,5	25,7	26,5	25,8	26,5	25,7	26,4	25,7	26,5	25,8	26,5	25,7	0,7
8000	26,2	24,9	26,5	25,8	26,2	25,1	26,2	25,1	26,1	25	26,2	25,2	1,1
Nível de potência sonora 50 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	38,5	40,2	39,8	41,4	39,2	40,9	38,5	40,1	37,8	39,3	38,8	40,4	-1,6
250	32,8	33,7	33,3	34	32,4	33,1	32	32,3	32,2	32,5	32,5	33,1	-0,6
500	30,6	29,7	30,6	29,6	30,6	29,6	30,4	29	30,6	29,7	30,6	29,5	1,0
1000	34	35,7	34,5	36,2	34,8	36,2	34,4	35,7	34,5	36,3	34,4	36,0	-1,6
2000	32,5	32,9	32,6	33	32,7	33,1	32,5	32,9	32,7	32,9	32,6	33,0	-0,4
4000	31,8	32,2	31,5	32	31,5	32	31,6	32,2	31,6	32,3	31,6	32,1	-0,5
8000	29,1	28,6	29	28,6	29,1	28,6	29,2	28,7	29,2	28,8	29,1	28,7	0,5
Nível de potência sonora 60 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	47,5	49,5	48,4	50,5	47,9	50	47,8	49,9	48,9	50,9	48,1	50,2	-2,1
250	40,6	42,4	41,5	43,2	41,7	43,5	41,3	43	41,4	43,2	41,3	43,1	-1,8
500	37,8	39	38	39,1	38,1	39,1	38	39,1	38,4	39,5	38,1	39,2	-1,1
1000	43,6	45,8	43,6	45,7	43,8	45,9	43,8	46	43,8	45,9	43,7	45,9	-2,1
2000	41,6	42,8	41,6	42,9	41,6	42,9	41,5	42,8	41,6	42,9	41,6	42,9	-1,3
4000	40,2	42	40,3	42	40,3	42,1	40,4	42,2	40,2	42	40,3	42,1	-1,8
8000	36,7	38,6	36,7	38,6	36,8	38,6	36,8	38,6	36,7	38,6	36,7	38,6	-1,9
Nível de potência sonora 70 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	57,8	59,9	58,1	60,1	58	60,1	58,3	60,3	57,5	59,6	57,9	60,0	-2,1
250	51,2	53,1	51,3	53,3	51,3	53,3	51,4	53,4	51,5	53,5	51,3	53,3	-2,0
500	48	49,3	48	49,3	48	49,3	48,4	49,6	47,9	49,3	48,1	49,4	-1,3
1000	53,5	55,8	53,2	55,6	53,6	55,9	53,4	55,6	53,3	55,6	53,4	55,7	-2,3
2000	51,4	52,7	51,4	52,7	51,2	52,6	51,5	52,7	51,5	52,8	51,4	52,7	-1,3
4000	50,1	51,9	50,2	52,1	50,2	52	50,1	52	50	52,1	50,1	52,0	-1,9
8000	46,3	48,5	46,4	48,5	46,4	48,6	46,4	48,5	46,3	48,5	46,4	48,5	-2,2

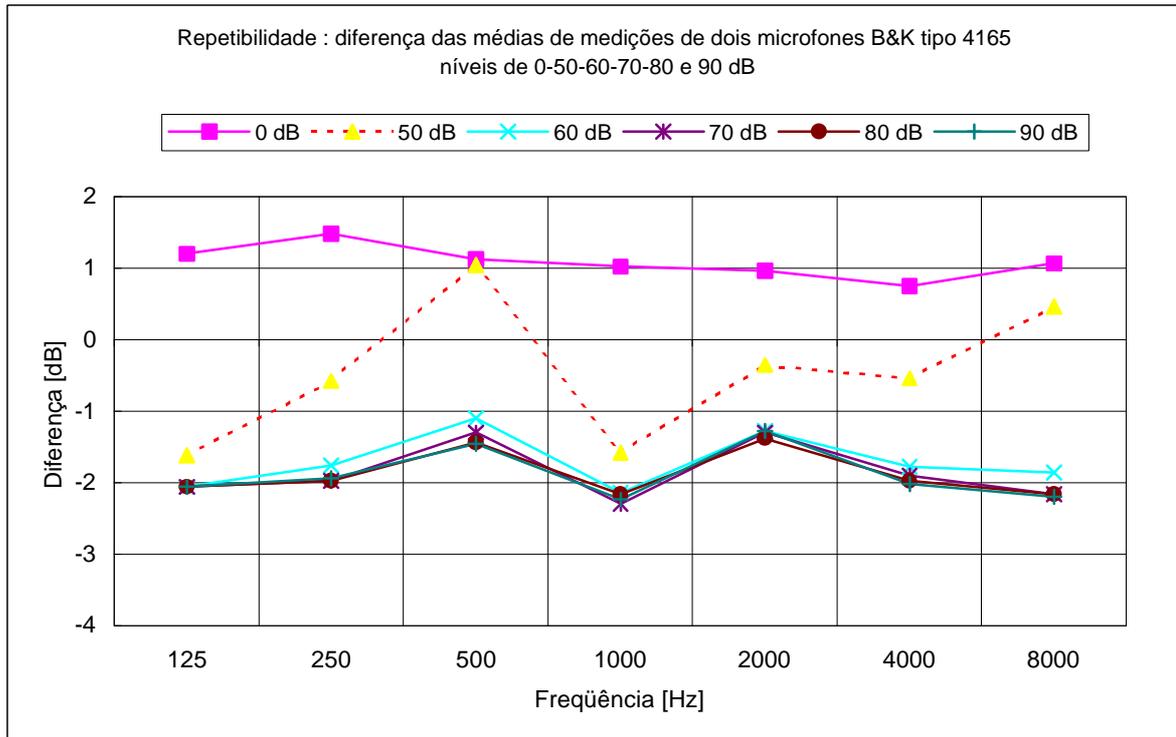
continuação da tabela 6.4													
Nível de potência sonora 80 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	67,2	69,2	67,4	69,5	68,1	70,2	65,4	67,4	65,5	67,6	66,7	68,8	-2,1
250	60,4	62,4	60,5	62,5	60,2	62,1	59,1	61,1	59,2	61,2	59,9	61,9	-2,0
500	57,1	58,6	56,8	58,3	56,8	58,2	56,3	57,7	56,6	58	56,7	58,2	-1,4
1000	62,6	64,8	62,4	64,5	62,3	64,6	62,4	64,6	62,4	64,4	62,4	64,6	-2,2
2000	60,3	61,7	60,4	61,5	60,3	61,7	60,2	61,8	60,2	61,6	60,3	61,7	-1,4
4000	59	61	58,9	60,9	59	61	59,1	61,1	59,2	61,1	59,0	61,0	-2,0
8000	55,3	57,5	55,3	57,5	55,4	57,5	55,5	57,6	55,4	57,6	55,4	57,5	-2,2
Nível de potência sonora 90 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	76,4	78,4	77,1	79,2	77,1	79,1	76,1	78,2	75,7	77,8	76,5	78,5	-2,1
250	70	71,9	70,8	72,8	70,1	72	70	72	70,1	72	70,2	72,1	-1,9
500	67,7	69	67,4	68,8	67,6	69,1	67,5	69	67,4	69	67,5	69,0	-1,5
1000	72,8	75,1	73,1	75,3	72,9	75,1	73	75,2	72,8	75,1	72,9	75,2	-2,2
2000	71,1	72,3	71	72,2	71,1	72,3	71,1	72,5	71	72,4	71,1	72,3	-1,3
4000	70	71,9	69,9	71,9	69,9	71,9	69,9	72	69,9	72	69,9	71,9	-2,0
8000	66,2	68,4	66,1	68,3	66,1	68,3	66,2	68,4	66,3	68,5	66,2	68,4	-2,2

6.3.3 Microfones eletreto: testes e calibração

A seleção do tipo de um microfone depende das características do campo sonoro a serem medidos (1) e as suas dimensões influem nas limitações dos níveis e bandas de frequências. Os microfones eletreto foram selecionados inicialmente em função do menor tamanho encontrado no mercado local desde que, atendessem às condições do campo sonoro e dos NWS de 60 a 100 dB a serem medidos no espectro até 8000 Hz.

Os microfones eletreto pelas suas características construtivas e pelo fato de não necessitarem de elevada voltagem de polarização para o seu funcionamento conciliado ao seu baixo custo, eles são aplicados em aparelhos e instrumentos industriais e de uso pessoal.

FIGURA 6.3: Diferença média das medições de dois microfones tipo 4165, para níveis do ruído de fundo (0 dB) e 50-60-70-80 e 90 dB.



Devido as dificuldades de se obter dados, como as características técnicas dos microfones eletreto comercialmente encontrados, é que realizamos no laboratório, ensaios com diversos tipos e modelos com dimensões diferentes, obtendo-se as características de resposta de cada um, de forma a possibilitar a seleção do tipo de microfone que oferecesse as melhores condições para os testes da medição da atenuação do ruído de protetores auditivos.

Nos primeiros testes usou-se microfones, com dimensões de (6 mm de diâmetro e espessura de 2,0 mm) os mesmos usados em telefone celular tipo StarTac (com duas vias de ligação) figura 6.4 (1); testou-se outros com 6 mm de diâmetro e 4 mm de espessura com duas vias de ligação (usados pelas telefonistas). figura 6.4 (2). Além destes, foram testados dois microfones do tipo

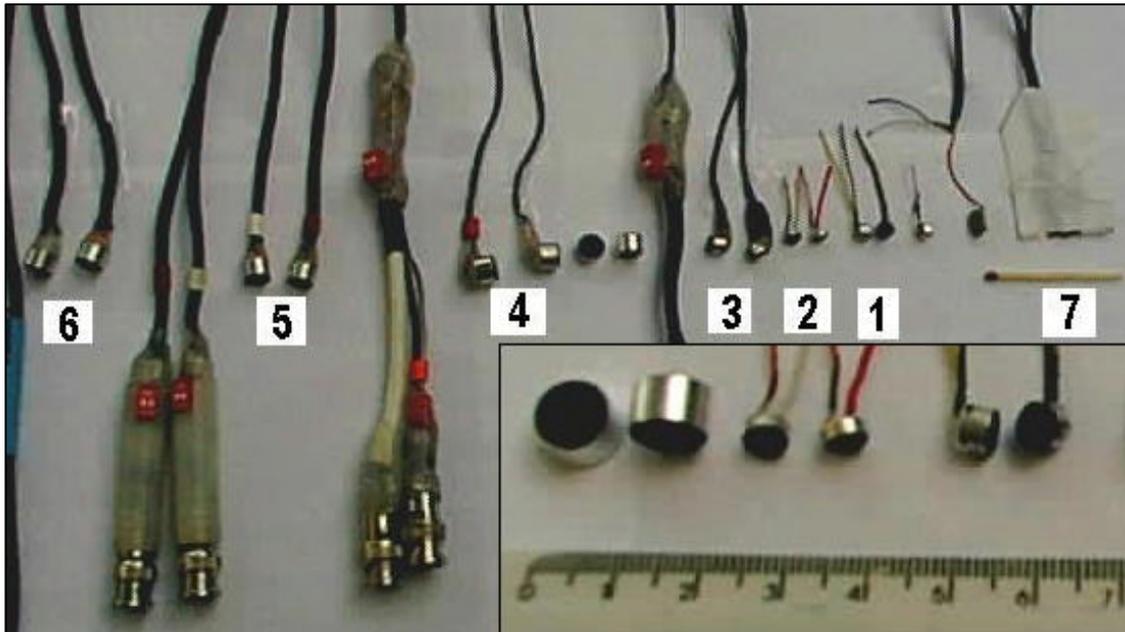
de lapela que compõe os modelo ML- 70D profissional da LeSon com duas vias (usados em telejornalismo) figura 6.4 (3).

Outro tipo testado foi o microfone condensado eletreto onidirecional e usado na placa mãe de microcomputador com dimensões de (9,5 mm (3/8)" x 6,4 mm (1/4)") com duas vias figura 6.4 (4) (fornecedor: RadioShack, cat. nº 270-090C), e o da figura 6.4 (5) (fornecedor: RadioShack, cat. nº 270-092B), tipo e modelo testado com resposta em banda larga apresentando as mesmas dimensões (9,5 x 6,4 mm) do anterior mas, com três vias de ligação sendo este, o que apresentou melhor resposta nas frequências de 125 a 8000 Hz. Os microfones da figura 6.4 (6) com dimensões semelhantes ao modelo anterior adquirido em lojas de eletroeletrônica apresentam resposta com variação além de +/- 4 dB, assim como o microfone da figura 6.4 (7) que é um dos tipos de microfone usados em aparelhos auditivos para surdos e que também não apresentou resultados satisfatórios nas respostas para os níveis acima de 70 dB na banda de frequência de 125 a 8000 Hz.

Todos os testes dos microfones eletreto foram realizados pelo método da comparação que consiste em posicionar ao lado do microfone em teste, um microfone calibrado com características técnicas conhecidas, no caso o B&K.

Com a câmara acústica fechada, mede-se o ruído de fundo (0dB) e após, gera-se no ambiente um ruído com nível ajustado e definido através de uma fonte de potência sonora, durante um período de tempo, procedendo-se então a leitura no analisador de tempo real, dos níveis por frequência que cada microfone capta, em banda de 1/1 oitava nas frequências de 125 a 8000 Hz, a mesma usada nos testes de protetores auditivos segundo a norma ANSI.

FIGURA 6.4: Sete diferentes tamanhos e tipos de microfones eletreto.



Os microfones eletreto mostrados na figura 6.4 (1-2 e 3), foram testados na câmara reverberante do LVA (Laboratório de Vibrações e Acústica) acusticamente preparada. Os equipamentos usados para os testes encontram-se relacionados no Anexo A12.

Os testes dos microfones condensador eletreto onidirecional com duas e três vias de ligação figura 6.4 (4 a 7) foram realizados na câmara acústica do

LARI (Laboratório de Ruído Industrial). Para ter certeza do perfeito funcionamento de todo o sistema de medição realizou-se uma avaliação com teste de todos os cabos, conexões, pré-amplificador, e microfones da B&K usados no teste dos microfones tipo eletreto.

Nos cabos dos microfones eletreto foram adaptadas as conexões tipo BNC para liga-los diretamente no analisador de tempo real, e como os microfones já são pré polarizados o analisador de tempo real permite um ajuste de zero volt para o canal onde estes microfones são acoplados.

Os microfones tipo eletreto são polarizados através de corrente contínua (DC) necessitando de baixa voltagem (1,5 V) alimentado por uma pilha, que neste caso é do tipo moeda, instalado num circuito composto por um resistor de 1K no polo positivo da pilha e um capacitor de 0,1 a 35V para os microfones com duas vias. Já o de três vias não necessitam do resistor mas apenas da pilha e de um capacitor de 4.7 μ F.

Os microfones capacitivos da B&K ligados ao pré-amplificador recebem polarização externa de 200 volts quando conectados ao analisador de tempo real, sua calibração é com um calibrador da B&K cuja função é gerar um ruído com nível constante numa frequência definida, ajustando automaticamente o ganho diretamente no analisador para o sistema montado (microfone, pré-amplificador, cabos e conexões).

A calibração do sistema que compõe o microfone eletreto é através de um adaptador usinado em nylon com o ring interno para permitir o acoplamento do microfone eletreto no calibrador da B&K e com isto ajustar o ganho de forma automática no analisador de tempo real.

A posição dos microfones B&K e eletreto dentro da câmara durante a medição dos NWS foram fixados próximo (cerca de 50 mm) um do outro. Registrando numa planilha os resultados de cada teste para após processá-los num PC, obtendo-se a diferença entre o microfone padrão B&K e o eletreto. Estes valores de correção são aplicados nos dados lidos com os microfones tipo eletreto. Este método não é normalizado ou padronizado.

A diferença entre os valores lidos no microfone B&K e os eletreto vermelho e branco (A-B e A-C) com duas vias apresentaram-se inconstantes nos níveis

gerados, e por este motivo os próximos testes foram direcionados nos microfones com três vias por possuírem balanceamento com relação ao terra e apresentarem melhores resultados.

TABELA 6.5: Valores registrados de teste com microfone B&K e eletreto vermelho/ branco (2 vias) para níveis de potência sonora de 60-70-80 e 90 dB.

06/08/00		* câmara LARI													
		* 2144 - com microfone eletreto calibrador 4230 (94 dB 1000 Hz) e 4205													
		* 2 mic. eletreto (2 vias)													
[Hz]	B&K 2144	verm.	branc	B&K 2144	verm.	branc	B&K 2144	verm.	branc	B&K 2144	verm.	branco			
63	49,1	76,0	72,3	59,0	76,2	72,6	67,7	76,6	73,5	78,8	81,6	83,1			
125	50,0	59,6	56,8	58,6	63,1	62,4	69,6	69,6	69,7	79,6	80,4	82,8			
250	43,4	62,9	59,5	51,8	63,8	61,1	63,0	65,5	64,3	72,3	72,7	80,0			
500	40,7	51,5	45,4	48,5	52,0	51,3	59,0	59,1	59,5	68,3	69,3	79,5			
1000	47,0	51,8	48,2	55,7	57,0	56,9	64,6	67,1	66,8	74,9	76,9	80,8			
2000	44,7	51,0	46,3	53,9	55,6	55,7	62,7	64,7	65,2	72,9	75,0	80,3			
4000	42,5	51,8	47,6	49,6	59,1	57,4	60,5	68,3	67,2	70,3	78,4	80,5			
8000	38,9	50,7	39,6	47,0	56,5	49,3	56,8	65,9	58,6	66,8	76,1	78,7			
gerado : nws	60			70			80			90					
60 dB							70 dB								
	B&K	verm	branco						B&K	verm	branco				
[Hz]	A 60	B 60	C 60	B-C	A-B	A-C		[Hz]	A 70	B 70	C 70	B-C	A-B	A-C	
63	49,1	76,0	72,3	3,7	-26,9	-23,2		63	59,0	76,2	72,6	3,6	-17,2	-13,6	
125	50,0	59,6	56,8	2,8	-9,6	-6,8		125	58,6	63,1	62,4	0,7	-4,6	-3,9	
250	43,4	62,9	59,5	3,4	-19,5	-16,1		250	51,8	63,8	61,1	2,7	-12,0	-9,3	
500	40,7	51,5	45,4	6,1	-10,8	-4,7		500	48,5	52,0	51,3	0,7	-3,5	-2,8	
1000	47,0	51,8	48,2	3,6	-4,8	-1,2		1000	55,7	57,0	56,9	0,1	-1,3	-1,2	
2000	44,7	51,0	46,3	4,7	-6,3	-1,6		2000	53,9	55,6	55,7	-0,1	-1,7	-1,8	
4000	42,5	51,8	47,6	4,2	-9,3	-5,1		4000	49,6	59,1	57,4	1,7	-9,5	-7,8	
8000	38,9	50,7	39,6	11,1	-11,8	-0,7		8000	47,0	56,5	49,3	7,2	-9,5	-2,3	
80 dB							90 dB								
	B&K	verm	branco						B&K	verm	branco				
[Hz]	A 80	B 80	C 80	B-C	A-B	A-C		[Hz]	A 90	B 90	C 90	B-C	A-B	A-C	
63	67,7	76,6	73,5	3,1	-8,9	-5,8		63	78,8	81,6	83,1	-1,5	-2,8	-4,3	
125	69,6	69,6	69,7	-0,1	0,0	-0,1		125	79,6	80,4	82,8	-2,4	-0,8	-3,2	
250	63,0	65,5	64,3	1,2	-2,5	-1,3		250	72,3	72,7	80,0	-7,3	-0,4	-7,7	
500	59,0	59,1	59,5	-0,4	-0,1	-0,5		500	68,3	69,3	79,5	-10,2	-1,0	-11,2	
1000	64,6	67,1	66,8	0,3	-2,5	-2,2		1000	74,9	76,9	80,8	-3,9	-2,0	-5,9	
2000	62,7	64,7	65,2	-0,5	-2,0	-2,5		2000	72,9	75,0	80,3	-5,3	-2,1	-7,4	
4000	60,5	68,3	67,2	1,1	-7,8	-6,7		4000	70,3	78,4	80,5	-2,1	-8,1	-10,2	
8000	56,8	65,9	58,6	7,3	-9,1	-1,8		8000	66,8	76,1	78,7	-2,6	-9,3	-11,9	

6.3.3.1 Microfones eletreto vermelho e eletreto branco (três vias)

Aplicando a mesma metodologia usada para testar os microfones B&K (6.3.2), testou-se os microfones eletreto vermelho e eletreto branco.

Os testes, com os microfones eletreto com três vias, foram repetidos cinco vezes, e a média dos valores por nível e por frequência, (tabela 6.6), em banda 1/1 oitava do ruído de fundo (0 dB) e NWS de 50-60- 70-80 e 90 dB.

Na figura 6.5 as curvas representam a diferença das médias entre os microfones eletreto vermelho e branco, por frequência, apresentando variação de até +/- 2 dB para os níveis de 60-70-80 e 90 dB e para os níveis de 0 dB e 50 dB a diferença chega até +/- 2,5 dB nas frequências de 125-250 e 500 Hz, e nas frequências acima de 1000 Hz a diferença passa a ser de +/- 0,6 dB para estes dois níveis apresentando uma excelente repetibilidade.

FIGURA 6.5: Diferença entre os microfones eletreto vermelho e branco.

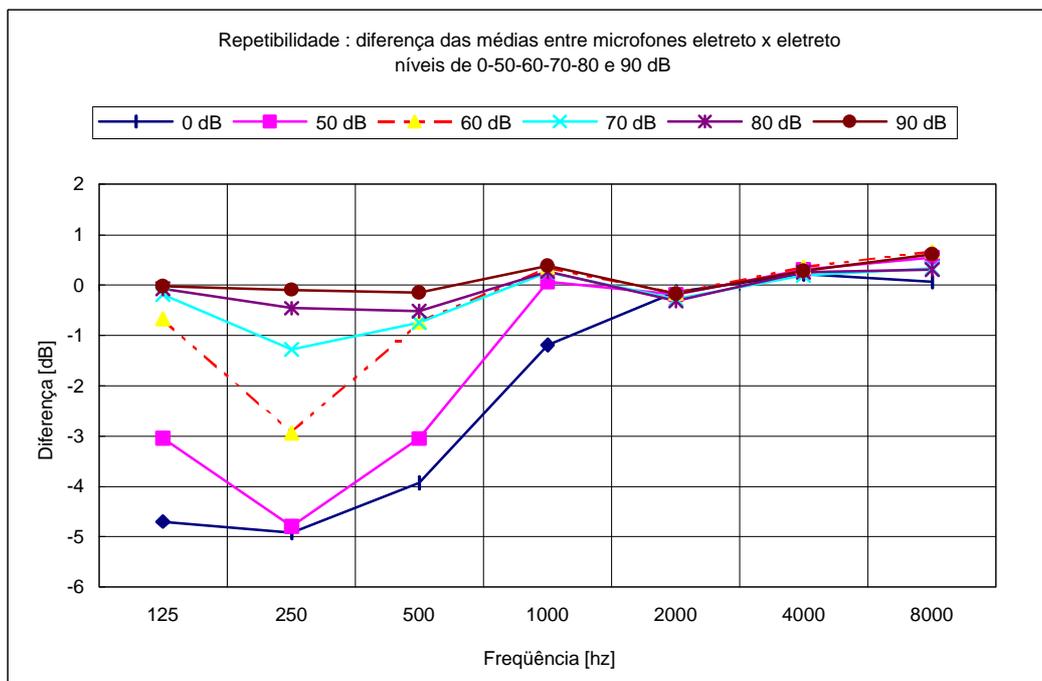


TABELA 6.6: Testes dos microfones eletreto vermelho e branco (com três vias).

Repetibilidade e diferença eletreto x elet. (3 vias) (média 5 medições)													
Local: câmara LARI													
A - vermelho (7,63 mV/Pa gain 1,19 dB)													
B - branco (6,03 mV/Pa gain 1,19 dB)													
0 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	39,0	43,8	39,3	44,0	39,1	43,7	39,1	43,8	39,4	44,1	39,2	43,9	-4,7
250	43,0	48,1	43,2	48,0	43,3	48,1	43,2	48,1	43,0	48,0	43,1	48,1	-4,9
500	31,1	35,0	31,2	35,1	31,2	35,1	31,3	35,1	30,9	35,0	31,1	35,1	-3,9
1000	28,2	29,4	28,1	29,2	28,4	29,5	27,9	29,4	28,2	29,2	28,1	29,3	-1,2
2000	27,4	27,5	27,3	27,5	27,4	27,6	27,3	27,5	27,4	27,4	27,4	27,5	-0,1
4000	27,0	26,7	27,0	26,7	27,0	26,8	26,9	26,7	26,9	26,7	27,0	26,7	0,2
8000	26,7	26,7	26,9	26,7	26,8	26,7	26,8	26,8	26,8	26,7	26,8	26,7	0,1
50 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	42,7	45,9	43,0	46,1	42,9	46,0	43,5	46,3	43,4	46,3	43,1	46,1	-3,0
250	44,6	49,3	44,2	49,2	44,4	49,2	44,3	49,2	44,7	49,3	44,5	49,3	-4,8
500	33,9	37,0	33,8	36,7	34,0	37,0	33,9	37,0	33,8	36,8	33,9	36,9	-3,0
1000	36,9	36,7	36,9	36,8	36,9	36,9	36,7	36,7	37,0	37,0	36,9	36,8	0,1
2000	35,5	35,7	35,3	35,4	35,5	35,8	35,7	35,8	35,3	35,6	35,5	35,7	-0,2
4000	35,5	35,1	35,4	35,1	35,4	35,1	35,3	34,9	35,4	35,0	35,4	35,1	0,3
8000	32,6	32,0	32,6	31,9	32,4	31,8	32,5	32,0	32,5	31,9	32,5	31,9	0,6
60 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	50,9	51,5	49,6	50,5	50,9	51,6	49,5	50,5	59,9	60,0	52,1	52,8	-0,7
250	46,6	49,8	46,5	50,1	47,0	50,4	46,8	50,2	52,7	53,8	47,9	50,9	-2,9
500	40,7	41,5	40,4	41,3	40,8	41,7	40,4	41,5	49,8	49,9	42,4	43,2	-0,7
1000	46,6	46,3	46,8	46,5	46,4	46,0	46,4	46,0	56,2	55,8	48,5	48,1	0,4
2000	44,9	45,1	44,9	44,9	44,8	45,0	44,8	45,1	54,8	54,9	46,8	47,0	-0,2
4000	44,9	44,4	44,9	44,6	44,9	44,5	44,9	44,5	54,8	54,5	46,9	46,5	0,4
8000	41,6	40,9	41,8	41,1	41,6	40,9	41,4	40,9	51,4	50,7	43,6	42,9	0,7
70 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	59,7	59,8	58,8	59,1	58,9	59,1	59,7	59,8	59,8	60,0	59,4	59,6	-0,2
250	52,4	53,7	53,4	54,8	52,5	53,8	53,6	54,8	52,6	53,8	52,9	54,2	-1,3
500	49,6	50,4	49,4	50,3	49,9	50,5	49,8	50,6	49,8	50,5	49,7	50,5	-0,7
1000	56,3	56,0	56,1	55,7	56,2	55,9	56,3	56,0	56,3	56,1	56,2	56,0	0,3
2000	55,0	55,2	54,7	55,0	54,9	55,2	54,9	55,2	54,8	55,0	54,9	55,1	-0,3
4000	54,9	54,7	54,9	54,7	54,9	54,8	54,8	54,6	54,8	54,6	54,9	54,7	0,2
8000	51,5	51,1	51,4	51,0	51,4	51,1	51,3	51,1	51,3	51,0	51,4	51,1	0,3
80 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	69,3	69,3	69,9	69,9	69,3	69,4	69,8	69,9	70,0	70,2	69,7	69,7	-0,1
250	62,2	62,4	62,1	62,7	61,9	62,5	61,9	62,4	61,9	62,4	62,0	62,5	-0,5
500	59,2	59,3	60,0	60,6	59,8	60,4	59,6	60,2	59,8	60,4	59,7	60,2	-0,5
1000	66,2	65,9	66,2	65,8	66,3	66,1	66,1	65,9	66,2	66,0	66,2	65,9	0,3
2000	64,8	65,0	64,6	65,2	64,8	65,1	64,6	64,8	64,7	65,0	64,7	65,0	-0,3
4000	64,8	64,4	64,7	64,5	64,7	64,5	64,7	64,6	64,8	64,4	64,8	64,5	0,2
8000	61,4	60,9	61,2	61,0	61,3	61,1	61,3	61,1	61,3	61,0	61,3	61,0	0,3

continuação da tabela 6.6
90 dB

Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.M
125	79,7	79,8	79,1	79,1	79,9	80,0	79,5	79,5	79,4	79,4	79,5	79,6	0,0
250	72,2	72,3	72,8	72,9	72,2	72,3	72,8	72,8	72,6	72,7	72,5	72,6	-0,1
500	69,4	69,6	69,4	69,5	69,9	70,0	70,0	70,2	70,1	70,3	69,8	69,9	-0,2
1000	75,9	75,5	76,0	75,6	76,5	76,1	76,3	75,8	76,3	76,0	76,2	75,8	0,4
2000	74,6	74,8	74,6	74,8	74,6	74,8	74,7	74,8	74,8	75,0	74,6	74,8	-0,2
4000	74,7	74,4	74,8	74,5	74,6	74,4	74,7	74,4	74,6	74,5	74,7	74,4	0,3
8000	71,5	70,7	71,4	70,8	71,3	70,7	71,3	70,7	71,3	70,7	71,4	70,7	0,6

6.3.3.2 Microfones eletreto vermelho e B&K

Confirmando as respostas dos microfones capacitivos da B&K e dos microfones eletreto (vermelho e branco) na faixa de frequência com precisão de +/- 2 dB para níveis de potência sonora entre 60 a 90 dB, realizou-se os testes de repetibilidade (média de 5 medições) da diferença média entre os microfones eletreto, (vermelho tabela 6.7 e figura 6.6, branco tabela 6.8 e figura 6.7), e o capacitivo tipo 4165 da B&K para o ruído de fundo (0 dB) e os níveis de 50-60-70-80 e 90 dB.

FIGURA 6.6: Diferença entre microfone eletreto verm. e capacitivo B&K, para ruído de fundo (0 dB) e níveis 50-60-70-80-90-100 dB.

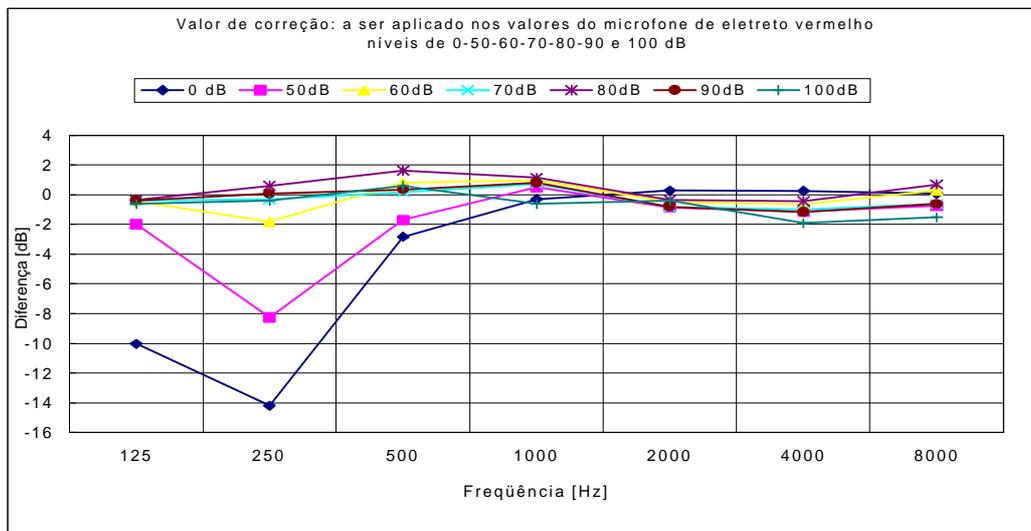


TABELA 6.7: Valores dos testes com microfones eletreto vermelho e microfone capacitivo da B&K.

05/11/00	Verificação da repetibilidade dos valores lido nos microfones Eletreto x B&K												
	Local: câmara do LARI												
	Equipamento: a) Analisador de tempo real com dois canais tipo 2144 da B&K												
	b) microfone eletreto vermelho (b1) (b2) microfone B&K 4165 n° 844045												
	c) pré amplificador (c1) tipo 2639 n° 1555219 e (c2) tipo 2619 n° 840566												
d) calibrador tipo 4230 da B&K (94 dB - 1000 Hz)													
Canal A : microfone eletreto vermelho													
Canal B : microfone 4165 n° 844045 e pré tipo 2619													
Ruído de fundo													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	36,5	26,1	36,5	26,1	36,6	27	36,8	26,9	36,6	26,8	36,6	26,6	-10,0
250	40,6	26,2	40,7	26,6	40,6	26,4	40,7	26,4	40,5	26,5	40,6	26,4	-14,2
500	29,5	26,5	29,9	27,4	29,3	26,3	29,2	26,2	29,7	27,1	29,5	26,7	-2,8
1000	26,2	26	26,2	25,9	26	25,7	26	25,8	26,3	25,9	26,1	25,9	-0,3
2000	25,3	25,6	25,3	25,7	25,3	25,6	25,2	25,5	25,3	25,5	25,3	25,6	0,3
4000	24,8	25	24,9	25	24,8	25,2	24,8	25,1	24,9	25,2	24,8	25,1	0,3
8000	24,7	24,9	24,8	24,9	24,7	24,8	24,8	24,8	24,8	24,9	24,8	24,9	0,1
Nível de potência sonora 50 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	41,4	39,5	40,9	38,7	41,1	39,2	40,9	38,9	41,2	39,3	41,1	39,1	-2,0
250	41,1	32,8	41,5	33	40,9	33,1	41	32,4	40,8	32,7	41,1	32,8	-8,3
500	32,5	30,7	32,5	30,8	32,5	31	32,4	30,6	32,6	31	32,5	30,8	-1,7
1000	35,8	36,3	35,8	36,3	35,8	36,5	35,7	36,3	35,9	36,2	35,8	36,3	0,5
2000	34,4	33,4	34,4	33,7	34,5	33,7	34,7	33,8	34,7	33,8	34,5	33,7	-0,9
4000	33,9	32,7	33,8	32,6	33,9	32,8	33,8	32,8	33,8	32,7	33,8	32,7	-1,1
8000	30,6	29,9	30,5	29,9	30,8	29,9	30,8	30	30,7	30	30,7	29,9	-0,7
Nível de potência sonora 60 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	50,1	49,8	49,9	49,5	50,1	49,7	49,4	48,8	50,1	49,7	49,9	49,5	-0,4
250	44,5	42,8	44,5	42,7	44,5	42,6	44,4	42,7	45	43	44,6	42,8	-1,8
500	39,8	40,7	39,8	40,5	39,3	40,1	39,2	40	39,5	40,4	39,5	40,3	0,8
1000	45,4	46,2	44,8	45,9	44,9	46	45,3	46,2	45,1	46	45,1	46,1	1,0
2000	44,2	43,7	44	43,5	44	43,6	44,1	43,6	44,2	43,7	44,1	43,6	-0,5
4000	43,3	42,7	43,4	42,6	43,4	42,7	43,4	42,7	43,3	42,8	43,4	42,7	-0,7
8000	39,6	39,9	39,7	40	39,7	39,9	39,7	40	39,6	39,9	39,7	39,9	0,3
Nível de potência sonora 70 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	59,8	59,6	60,8	60,5	60,5	60	60,8	60,3	62,4	61,9	60,9	60,5	-0,4
250	52,8	52,6	52,3	52,3	52,8	52,2	52,8	52,4	54,3	54	53,0	52,7	-0,3
500	48,8	49	49,2	49,4	49,1	49,4	49,1	49,2	49,7	49,8	49,2	49,4	0,2
1000	55,1	56	55,1	55,8	55,2	55,9	55,3	55,9	55,1	56	55,2	55,9	0,8
2000	53,7	52,9	53,8	53,1	54,1	53,3	54	53,1	53,9	53	53,9	53,1	-0,8
4000	53,2	52,3	53,1	52,1	53,2	52	53,1	52,1	53,1	52,2	53,1	52,1	-1,0
8000	49,5	48,9	49,5	48,9	49,5	48,9	49,5	48,8	49,3	48,8	49,5	48,9	-0,6
Nível de potência sonora 80 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	70,4	70,2	69,5	69,2	69,7	69,4	70,5	70,1	70,6	70,2	70,1	69,8	-0,3
250	62	62,6	62,2	62,7	61,6	62,2	61,6	62	62,4	63,3	62,0	62,6	0,6
500	58,2	59,7	58,1	59,8	58,3	59,9	58	59,8	58	59,5	58,1	59,7	1,6
1000	64	65,1	64,2	65,1	64	65,2	64,1	65,3	64,2	65,5	64,1	65,2	1,1

continuação da tabela 6.7													
2000	62,9	62,6	62,9	62,5	62,8	62,5	62,7	62,5	62,9	62,5	62,8	62,5	-0,3
4000	62	61,6	62	61,7	62	61,6	62,1	61,5	62,1	61,6	62,0	61,6	-0,4
8000	58,3	59	58,3	59	58,3	59	58,3	59	58,2	58,9	58,3	59,0	0,7
Nível de potência sonora 90 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	79,6	79,3	79,8	79,5	78,9	78,5	78,6	78,1	78,7	78,3	79,1	78,7	-0,4
250	72,9	72,7	72,7	72,7	72,5	72,7	71,4	71,6	71	71,1	72,1	72,2	0,1
500	68,5	68,8	68,4	68,9	68,4	68,6	67,7	68,3	68,5	68,7	68,3	68,7	0,4
1000	74,1	75	73,9	74,7	73,8	74,7	74	74,7	74,6	75,4	74,1	74,9	0,8
2000	72,4	71,7	72,6	71,9	72,8	72	72,8	71,9	73,4	72,5	72,8	72,0	-0,8
4000	72	70,9	72,1	70,9	72,1	71,1	72,2	71	73,1	71,8	72,3	71,1	-1,2
8000	68,4	67,7	68,4	67,9	68,4	67,8	68,5	67,9	69,3	68,6	68,6	68,0	-0,6

6.3.3.3 Microfones eletreto branco e capacitivo B&K

TABELA 6.8: Valores dos testes com microfones eletreto branco e microfone capacitivo da B&K.

05/11/00	Verificação da repetibilidade dos valores lido nos microfone Eletreto x B&K - LARI												
	Equipamento: a) Analisador de tempo real com dois canais tipo 2144 da B&K												
	b) microfone eletreto branco (b1)												
	(b2) microfone B&K 4165 n° 844045												
	c) pré amplificador (c1) tipo 2639 n° 1555219 e (c2) tipo 2619 n° 840566												
d) calibrador tipo 4230 da B&K (94 dB - 1000 Hz)													
Canal A : microfone eletreto branco													
Canal B : microfone 4165 n° 844045 e pré tipo 2619													
Ruído de fundo													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m
125	38,1	26	39,7	25,9	39,5	26,9	39,6	26,7	39,8	27,1	39,3	26,5	-12,8
250	42,3	26,7	43,9	26,4	43,5	26,6	44	26,2	44,2	26,9	42,7	26,6	-16,1
500	30,5	26,1	32,4	27,2	31,9	27,2	32,5	26,8	33,1	27,9	34,4	27,0	-7,3
1000	27,3	25,9	28,5	26,7	27,9	25,8	27,9	25,7	28,4	26	28,9	26,0	-2,9
2000	26	25,5	26,5	25,9	26,1	25,6	26,5	25,6	26,7	25,8	26,6	25,7	-1,0
4000	25,2	25	25,4	25,1	25,1	25	25,4	25	25,5	25,2	25,5	25,1	-0,5
8000	25	24,8	25	24,7	25	24,7	25,1	24,6	25,1	24,8	25,1	24,7	-0,4
Nível de potência sonora 50 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	42,8	39,7	43,3	40,6	43	40,5	42,8	39,2	42,9	39,9	43,0	40,0	-3,0
250	44,5	34,2	44,4	34,7	44,3	34,6	44,6	34,2	44,5	34,1	44,5	34,4	-10,1
500	34,2	32,8	34,3	33	34,3	33,3	34,4	32,8	34,5	32,8	34,3	32,9	-1,4
1000	35,7	36,8	35,8	36,6	36	36,8	36	36,8	36	36,5	35,9	36,7	0,8
2000	34,3	34,6	34,3	34,7	34,2	34,6	34,5	34,7	34,5	34,8	34,4	34,7	0,3
4000	33,3	33,9	33,1	33,8	33,3	33,9	33,3	33,9	33,3	33,9	33,3	33,9	0,6
8000	30,1	32,1	30,2	32,1	30,2	32,1	30,3	32,2	30,1	32,2	30,2	32,1	2,0

continuação da tabela 6.8													
Nível de potência sonora 60 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	51	50,5	52,3	51,9	52,5	52,2	52,4	52	52,1	51,8	52,1	51,7	-0,4
250	46,6	44,6	46,9	45,2	46,8	44,9	46,8	45	46,7	45,3	46,8	45,0	-1,8
500	40,2	42,6	40,7	42,3	40,3	42,9	40,3	42,8	40,2	42,6	40,3	42,6	2,3
1000	45,2	46,8	45	46,6	44,9	46,6	44,3	46	44,4	46,3	44,8	46,5	1,7
2000	43,5	44,5	43,3	44,4	43,5	44,3	42,9	44,2	43,1	44,2	43,3	44,3	1,1
4000	42,2	43,6	42,1	43,5	42,2	43,6	41,7	43,3	41,7	43,2	42,0	43,4	1,5
8000	39,7	41,9	39,7	42	39,6	41,9	39,1	41,8	39,1	41,8	39,4	41,9	2,4
Nível de potência sonora 70 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	61,8	61,5	60,5	60,3	59,9	60	59,4	59,3	60,5	60,3	60,4	60,3	-0,1
250	53,6	54,8	52,8	54,8	52,2	53,8	51,7	53,6	53	54,5	52,7	54,3	1,6
500	49,1	52,7	49,8	52,4	49,7	52,5	49,7	52,3	49,2	52,3	49,5	52,4	2,9
1000	54,5	56,2	53,7	56	53,7	55,6	53,6	55,8	54,2	56,1	53,9	55,9	2,0
2000	52,9	54,2	52,2	53,6	52,4	54	52,3	54	52,5	53,9	52,5	53,9	1,5
4000	51,7	53,2	51,1	53	51,1	53,1	51,2	53,1	51,5	53,2	51,3	53,1	1,8
8000	48,9	51,8	48,5	51,6	48,4	51,5	48,4	51,6	48,7	51,6	48,6	51,6	3,0
Nível de potência sonora 80 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	69,8	69,4	68,7	68,2	69,7	69,2	69,8	69,3	69,6	69,2	69,5	69,1	-0,5
250	61,1	61	61,5	61,5	62	62	62,1	62	61,6	61,5	61,7	61,6	-0,1
500	55,3	56,1	57,9	58,4	58,4	58,8	58,2	58,3	58,1	58,4	57,6	58,0	0,4
1000	61,5	62,3	64,1	65	64,3	65,1	64,1	65	64,3	65,1	63,7	64,5	0,8
2000	59,8	59,6	62,9	62,2	62,7	62,3	62,8	62	63	62,4	62,2	61,7	-0,5
4000	58,8	58,5	61,9	61,4	61,7	61,2	61,8	61,2	62	61,4	61,2	60,7	-0,5
8000	55,2	55,6	58,3	58,2	58,1	58	58,1	58,1	58,2	58	57,6	57,6	0,0
Nível de potência sonora 90 dB													
Hz	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	médA	médB	Dif.m.
125	80,6	80	80,9	80,3	79	78,5	80,8	80,4	80,9	80,4	80,4	79,9	-0,5
250	72,8	72,8	72,5	72,4	71,2	71,2	72,8	72,5	72,4	72,2	72,3	72,2	-0,1
500	68,5	68,7	68,3	68,6	68,4	68,9	68,4	68,8	68	68,5	68,3	68,7	0,4
1000	74	74,6	74,4	75,2	74,4	75,2	74,7	75,6	74,3	74,9	74,4	75,1	0,7
2000	72,8	72,2	72,8	72,3	72,8	72,3	73,3	72,6	72,5	72	72,8	72,3	-0,6
4000	71,8	71,2	72,1	71,4	72,1	71,6	72,3	71,5	71,8	71,1	72,0	71,4	-0,7
8000	68,1	68	68,3	68,3	68,5	68,4	68,7	68,5	68,1	68	68,3	68,2	-0,1

A calibração ou *valores de correção* a serem aplicados sobre os valores lidos referentes ao microfone eletreto em relação ao microfone da B&K, constam da tabela 6.9, e podem ser por nível e frequência ou pela diferença entre o maior e o menor valor dos quatro níveis, dependendo da precisão que se queira avaliar.

FIGURA 6.7: Diferença das médias entre microfone eletreto branco e capacitivo B&K, para ruído de fundo (0 dB) e níveis de 50-60-70-80 e 90 dB.

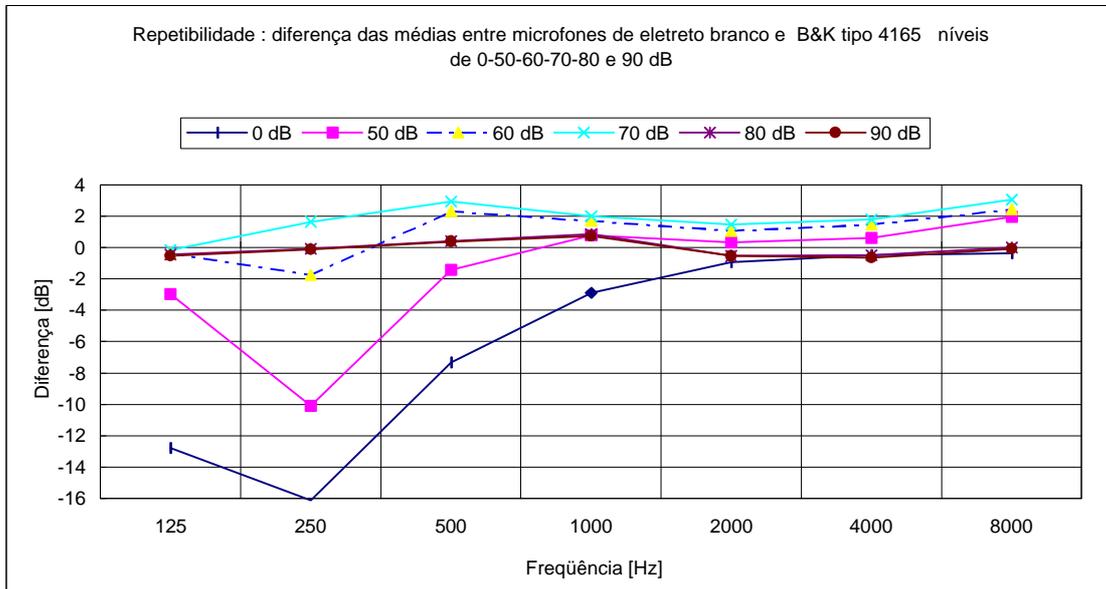


TABELA 6.9: Valores de correção: variação em [+/- dB], entre microfones eletreto vermelho e branco (x) microfone B&K. Variações para: os quatro níveis e individualmente para cada nível 60-70-80 e 90 dB.

16/11/00	Diferença entre microf. eletreto (verm. e branco) x B&K (Tabela 6.7 e 6.8 - figura 6.11 e 6.12)						
<i>Valores de correção:</i> Diferença entre microfones eletreto vermelho e B&K							
Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
60dB	-0,4	-1,8	0,8	1,0	-0,5	-0,7	0,3
70dB	-0,4	-0,3	0,2	0,8	-0,8	-1,0	-0,6
80dB	-0,3	0,6	1,6	1,1	-0,3	-0,4	0,7
90dB	-0,4	0,1	0,4	0,8	-0,8	-1,2	-0,6
100dB	-0,6	-0,4	0,6	-0,6	-0,4	-1,9	-1,5
<i>Valores de correção:</i> Diferença entre microfones eletreto branco e B&K							
Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
60 dB	-0,4	-1,8	2,3	1,7	1,1	1,5	2,4
70 dB	-0,1	1,6	2,9	2,0	1,5	1,8	3,0
80 dB	-0,5	-0,1	0,4	0,8	-0,5	-0,5	0,0
90 dB	-0,5	-0,1	0,4	0,7	-0,6	-0,7	-0,1
Variações [+/-]:							
4 níveis	0,2	1,7	1,3	0,7	1,1	1,3	1,6
Individual:							
nível 60dB	0,2	0,9	1,2	0,9	0,6	0,8	1,2
nível 70dB	0,1	0,8	1,5	1,0	0,8	0,9	1,5
nível 80dB	0,3	0,1	0,2	0,4	0,3	0,3	0,0
nível 90dB	0,3	0,1	0,2	0,4	0,3	0,4	0,1

6.4 Microfones para medir NPS com excitação de potência sonora abaixo de 60 dB

No ambiente a ser medido, se os níveis de excitação de potência sonora são menores do que 60 dB, os valores dos NPS dentro da concha, devido a sua atenuação podem chegar em certas frequências próximos a zero dB, deixando evidente que os microfones eletreto testados não apresentam resultados satisfatórios para níveis tão baixos, principalmente com o uso de dois microfones um dentro e outro fora da concha, como pretendido inicialmente neste estudo.

Referendando-se nesta afirmativa, buscou-se microfones que satisfizessem as condições de leitura para serem usados nos testes, agora sem a preocupação com as dimensões.

Testou-se dois microfones capacitivos tipo 4165 de campo livre da B&K, com faixa dinâmica de 15 a 146 dB segundo especificações no catálogo do fabricante. Nestes ensaios usou-se outros microfones bem como os pré-amplificador todos da B&K, com a seguinte numeração: microfones 844051 e 844073; pré-amplificador 1789274 e 1789275.

Após calibrados, os microfones foram colocados sobre espuma (figura 6.8), medindo-se o ruído de fundo dentro da câmara em intervalos de 5 minutos.

Estes intervalos de tempo foram para avaliar se ocorrem variações nos valores lidos com o tempo. Observou-se que os valores lidos apresentaram pequena variação com o tempo encontrando-se dentro da precisão especificada pelo fabricante, e que este parâmetro não se inclui como variável nas medições.

FIGURA 6.8: Medição do ruído de fundo com dois microfones B&K em paralelo.



TABELA 6.10: Medição do ruído de fundo sob 4 composições do sistema de medição.

03/01/01									
Medição do ruído de fundo com dois microfones tipo 4165 da B&K									
sob 4 condições diferentes de composição do sistema de medição.									
Cond.1 : canal A - cabo 75 mic. 051 canal B - cabo 74 mic. 073					Cond.2 : canal A - cabo 75 mic. 073 canal B - cabo 74 mic. 051				
Hz	A	B	A-B		Hz	A	B	A-B	
125	14,8	14,2	0,6		125	13	12,8	0,2	
250	9,5	9,7	-0,2		250	10,4	10,4	0	
500	6,9	7,3	-0,4		500	7,6	7,4	0,2	
1000	6,5	7	-0,5		1000	6,3	6,1	0,2	
2000	6,8	7,1	-0,3		2000	6,6	6,4	0,2	
4000	7,8	8	-0,2		4000	8	7,7	0,3	
8000	8,2	8,6	-0,4		8000	8,6	8,2	0,4	
Cond. 3 : canal A - cabo 74 mic. 051 canal B - cabo 75 mic. 073					Cond.4 : canal A - cabo 74 mic. 073 canal B - cabo 75 mic. 051				
Hz	A	B	A-B		Hz	A	B	A-B	
125	14,9	15	-0,1		125	13,6	13,1	0,5	
250	10,4	10,6	-0,2		250	8,5	8	0,5	
500	6,7	6,7	0		500	7,5	7	0,5	
1000	5,9	6,1	-0,2		1000	7,1	6,7	0,4	
2000	6,7	6,9	-0,2		2000	7,3	7	0,3	
4000	7,7	8,1	-0,4		4000	8,5	8,3	0,2	
8000	8,2	8,7	-0,5		8000	8,7	8,3	0,4	

Realizou-se medições do ruído de fundo dentro da câmara do LARI trocando os microfones de cada pré-amplificador e também trocando o canal (A e B) de leitura no analisador para verificar qual a influência destes itens nos valores medidos ou qual a variação que poderiam apresentar, assim como avaliar quais os menores valores que podem ser medidos por estes microfones. Os valores medidos encontram-se na tabela 6.10.

6.5 Conclusão

Os dosímetros ou medidores integradores apresentam como resultado dos valores medidos durante o período de aquisição, medidos instantaneamente nos intervalos de tempo programados de 10 segundos ou 1 minuto, denominado L_{eq} que é o nível sonoro equivalente para o evento medido.

Como L_{eq} é um valor único, usado no cálculo da dose do ruído equivalente a um determinado período ou jornada de trabalho e, não fornece o espectro por frequência, condição necessária à análise dos resultados desta pesquisa, os dosímetros deixarão de ser usados na seqüência deste estudo.

Dentre os microfones testados, aqueles usados nos aparelhos para correção da surdez, (os testados), apresentaram boa resposta para níveis abaixo de 50 dB, havendo distorção nas respostas nos níveis acima.

Os microfones usados em telefonia portátil (com duas vias), devido a falta de balanceamento de impedância, as respostas a diferentes níveis, e também devido à sua aplicação ser específica para as bandas de frequência da fala humana, as respostas nos testes tem se apresentado inconstantes nas bandas de frequências necessárias a este trabalho.

Quanto aos microfones eletreto, observou-se que, os que possuem balanço de impedância com relação ao terra (três vias), são os que oferecem as melhores respostas para as bandas de frequência entre 125 e 8000 Hz nos níveis de potência sonora de 60 dB a 90 dB, ficando dentro da precisão de +/- 2 dB, a mesma fornecida pelos fabricantes dos microfones capacitivo.

Nas medições desta pesquisa, dentre os sete tipos testados, apresentaram melhor resposta os microfones eletreto com três vias. Dentre eles o microfone eletreto (vermelho) apresentou menor diferença com relação ao microfone B&K, para níveis acima de 60 dB.

No caso de se usarem os microfones eletreto deve-se aplicar aos níveis lidos do NWS acima de 60 dB, *valores de correção* constantes da tabela 6.9.

Os microfones capacitivos da B&K com faixa dinâmica de 15 a 146 dB especificado pelo fabricante obtive-se medições com valores próximo a 15 dB em 125 Hz e abaixo deste valor nas frequências de 250 a 8000 Hz, demonstrando que estes microfones com os pré-amplificador permitem medir tanto dentro como fora da concha, níveis de ruído de até 15 dB, inclusive abaixo deste valor em bandas de frequência de 125 a 8000Hz.

Estes equipamentos serão os utilizados para os ensaios em laboratório com a aplicação do método objetivo a cabeças artificial de ferro fundido e gesso (manequim) e também nos ensaios com pessoas.

Em campo os ensaios serão somente com o método objetivo com pessoas medindo-se com dois microfones simultaneamente instalados um deles dentro da concha e outro fora, sendo a diferença entre eles a atenuação do protetor.

Estes ensaios serão com pessoas expostas a níveis de ruído acima de 85 dB, e a medição enquanto desenvolvem suas atividades laborativas.

7 ENSAIOS DE PROTETORES AUDITIVO TIPO CONCHA.

7.1 Introdução

A medição da atenuação de protetores auditivos do tipo concha, pode ser realizada com a aplicação de métodos diferentes, sendo que alguns deles já são normalizados e outros em estudos. Possuem norma o método objetivo que usa cabeça artificial de ferro (ANSI S3.19/74) com um microfone instalado no furo da cabeça e a medição é sem e com o protetor, a diferença é a atenuação. Outro normalizado é o método subjetivo do limiar de atenuação em ouvido real do Inglês REAT (ANSI S12.6/97) que usa pessoas posicionadas no ponto de referência dentro da câmara acústica, as quais respondem ao ouvir o ruído gerado.

Em estudos e não normalizados encontram-se o método objetivo do microfone em ouvido real do Inglês MIRE, que adota duas formas de medir: a perda por inserção (PI) e a redução de ruído (RR). A medição com dois microfones se inclui na RR. As medições em campo também se encontram em estudos, assim como as normas sobre protetores do tipo ativo.

Neste capítulo estão descritos ensaios com cabeças artificial e pessoas em laboratório, e no campo em situação real de trabalho. Encontram-se incluídos dados de ensaios objetivos de IL e subjetivo de REAT com a aplicação do método B da norma ANSI S12.6/97.

Os ensaios para medir a atenuação de protetor auditivo com o uso de dois microfones pelo método físico ou objetivo, realizam-se sem a resposta do usuário que participa fisicamente e exposto ao campo sonoro real.

Já os ensaios onde o ouvinte responde a uma excitação sonora, o método é chamado de psicofísico ou subjetivo e nestes, não se aplica o método com dois microfones.

O método físico ou objetivo com leitura simultânea nos dois microfones é aplicado tanto em laboratório com cabeças artificial ou com pessoas no ambiente real de trabalho.

Neste estudo, os ensaios foram na câmara acústica do LARI com cabeças artificial e com pessoas, e em campo (numa situação real de trabalho) com pessoas expostas a níveis elevados de ruído, incluindo-se nestas, a condição de movimentação do usuário durante a realização das suas atividades. Tanto no laboratório como em campo fez-se uso de equipamentos de medição e microfones da B&K do tipo classe 1.

O uso de cabeças artificiais de ferro fundido e/ou manequim, por serem estáticas e com formas definidas, eliminam o parâmetro subjetivo humano, aplicando-se especialmente em pesquisas, no desenvolvimento de novos produtos e no controle de qualidade. Os ensaios em ambiente controlado favorecem, o uso de fonte com níveis e ruídos definidos, a condição estática da cabeça artificial ou dos ouvintes no mesmo campo sonoro, além de facilitar a repetibilidade dos ensaios com pequena margem de erros nos resultados.

Os microfones eletreto testados e descritos no capítulo 6, não serão utilizados nos ensaios por apresentarem limitação de leitura nos níveis baixos de pressão sonora e inconstância de resposta em algumas bandas de frequência.

7.2 Testes objetivos com cabeças artificial

Nos testes objetivos realizados, fez-se uso de dois tipos de cabeças artificial uma de ferro fundido (fofo) (figura 7.1) e outra manequim de gesso (figura 7.6). Os ensaios com cabeças artificiais de ferro fundido e manequim, foram na câmara acústica do LARI, e posicionadas sempre no mesmo ponto de referência, o mesmo usado nos ensaios subjetivos de protetores auditivos.

Para simular a pele humana sobre a cabeça artificial coloca-se uma película sintética de Sorbothane, (norma ANSI S3.19/74) e para a livre passagem do microfone de 1/2" pela película furou-se com diâmetro de 15 mm.

O microfone interno foi instalado, sob duas condições diferentes, uma no furo da cabeça (conforme a norma ANSI S3.19/74 – método físico) e na outra dentro da concha. O microfone externo foi sempre posicionado no mesmo ponto e direção, para as duas condições de ensaios em laboratório.

A relação dos equipamentos usados nos ensaios, encontram-se no Anexo A12.

7.2.1 Ensaio de atenuação com cabeça artificial de ferro fundido sob duas condições.

Na primeira condição, o microfone interno foi posicionado no furo da cabeça artificial de ferro fundido (figura 7.1), e na segunda condição, vedou-se o furo na cabeça e o microfone interno foi instalado dentro da concha (figura 7.2). Já o microfone externo foi sempre fixado no arco, da mesma maneira como nas figuras 7.1 e 7.3.

O microfone instalado dentro do furo da cabeça é encaixado no furo com leve pressão vedando o seu alojamento. Já o microfone instalado no furo da concha, é introduzido com certo ajuste no furo e colocada massa em sua volta para isolar qualquer passagem sonora através de eventual folga entre o furo e o pré-amplificador que suporta o microfone (figura 7.3).

Os microfones são conectados individualmente nos canais A e B do analisador de tempo real, e a leitura dos dados é realizada simultaneamente nos dois canais registrando os mesmos ruídos captados pelos dois microfones durante o espaço de tempo programado no analisador, garantindo-se que a diferença entre as leituras seja a atenuação apresentada pelo protetor, exatamente sobre o mesmo evento sonoro.

A tabela 7.1 e a figura 7.4 apresentam os resultados dos ensaios com o microfone B&K posicionado no furo da cabeça artificial de ferro fundido.

A tabela 7.2 e a figura 7.5 mostram os resultados do ensaio em que se usou uma concha com furo, para instalar o pré-amplificador e o microfone da B&K dentro da concha (figura 7.2). Na parte externa fixou-se um microfone da B&K (figura 7.3).

Os resultados da tabela 7.2 mostram a linearidade da atenuação para níveis de potência sonora acima de 70 dB, mesmo com valores próprios de atenuação para cada condição. Nas condições com nível de potência sonora

FIGURA 7.1: Cabeça artificial de ferro fundido mostrando o microfone instalado no furo da cabeça e o microfone externo fixado na haste do protetor.



de 70 dB, os níveis de pressão sonora medidos no microfone externo (fixado na haste da concha) chegam próximos a 54 dB em 1000 Hz.

FIGURA 7.2: Concha com furo para o pré-amplificador do microfone da B&K.



FIGURA 7.3: Cabeça artificial de fofo durante o ensaio de um protetor auditivo tipo concha (furo na concha).



TABELA 7.1: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial de *ferro fundido* com microfones B&K no *furo da cabeça* e fora para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.

07/01/2001	Ensaio cabeça ferro fundido - LARI									
	Microfones: B&K x B&K - furo cabeça									
Microfones: B&K x B&K										
NWS	60		70		80		90		100	
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int
125	48,9	41,2	59,7	49,8	68,9	58,7	78,7	68,5	87,7	76,9
250	40,5	12,7	51,7	22,5	61,0	31,5	71,6	42,3	80,1	50,7
500	37,4	10,3	48,3	18,1	58,0	27,4	68,8	38,2	77,8	47,3
1000	44,1	9,5	54,8	14,7	64,8	23,7	75,2	34,0	84,2	43,2
2000	41,6	9,9	52,5	13,0	62,5	20,8	72,8	30,9	81,5	39,6
4000	39,3	13,8	50,1	21,8	60,2	31,5	70,7	42,0	79,9	51,1
8000	36,5	11,9	47,3	13,7	57,3	20,0	67,8	29,9	76,9	38,9
Atenuação para NWS de 60-70-80-90 e 100 dB										
Hz	60dB	70dB	80dB	90dB	100dB					
125	7,7	9,9	10,2	10,2	10,8					
250	27,8	29,2	29,5	29,3	29,4					
500	27,1	30,2	30,6	30,6	30,5					
1000	34,6	40,1	41,1	41,2	41,0					
2000	31,7	39,5	41,7	41,9	41,9					
4000	25,5	28,3	28,7	28,7	28,8					
8000	24,6	33,6	37,3	37,9	38,0					

continuação da tabela 7.1

Medição do ruído de fundo com microfones B&K x B&K, após a medição de cada nível de potência sonora (60-70-80-90 e 100 dB)

FREQ. \NWS	60		70		80		90		100	
Hz	ext	int								
125	23,1	37,2	23,7	37,3	23,6	37,7	22,8	37,4	22,9	37,5
250	15,5	8,2	17,6	8,2	16,4	8,1	15,5	8,3	15,5	8,1
500	12	8,0	12,1	8,0	16,3	8,0	14,8	8,0	14,3	8,0
1000	12,1	8,4	10,6	8,4	14,3	8,4	12,5	8,4	9,9	8,4
2000	11,2	9,5	10,4	9,5	15,5	9,5	11,8	9,5	11,0	9,5
4000	11	11,1	11,1	11,1	13,6	11,1	11,6	11,0	11,1	11,1
8000	11,4	11,7	11,4	11,7	12,3	11,7	11,5	11,7	11,5	11,7

TABELA 7.2: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial de ferro fundido com microfones B&K no furo da concha e fora, para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.

04/1/2001	Ensaio cabeça ferro fundido - LARI									
	Microfones: B&K x B&K - furo concha									
Microfones: B&K x B&K										
NWS	60		70		80		90		100	
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int
125	50,3	35,4	60,6	45,7	70,0	55,0	79,8	65,0	89,1	74,5
250	41,5	14,9	52,2	24,2	62,0	34,0	71,9	43,7	81,1	55,3
500	36,9	9,3	47,5	15,0	57,6	24,2	67,6	34,1	76,5	45,1
1000	42,9	9,3	53,6	14,2	63,5	23,0	73,8	33,1	82,0	41,9
2000	40,1	10,8	50,8	16,6	60,8	25,7	71,3	36,3	79,6	44,4
4000	37,7	11,6	48,6	14,9	58,5	22,9	69,3	33,5	77,8	42,0
8000	34,5	11,9	45,3	13,5	55,4	19,5	66,2	29,7	74,7	38,1
Atenuação para NWS de 60-70-80-90 e 100 dB										
Hz	60dB	70dB	80dB	90dB	100dB					
125	14,9	14,9	15,0	14,8	14,6					
250	26,6	28,0	28,0	28,2	25,8					
500	27,6	32,5	33,4	33,5	31,4					
1000	33,6	39,4	40,5	40,7	40,1					
2000	29,3	34,2	35,1	35,0	35,2					
4000	26,1	33,7	35,6	35,8	35,8					
8000	22,6	31,8	35,9	36,5	36,6					
Medição do ruído de fundo com microfones B&K x B&K, após a medição de cada nível de potência sonora (60-70-80-90 e 100 dB)										
NWS	60		70		80		90		100	
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int
125	16,9	13,6	17,6	15,0	22,1	15,5	18,1	12,5	18,5	16,1
250	13,8	8,8	15,8	8,2	19,9	8,3	14,1	8,0	14,7	8,3
500	17,7	8,1	19,0	8,1	18,0	8,0	17,8	8,1	16,6	8,0
1000	17,6	8,4	16,8	8,4	13,8	8,4	12,9	8,3	13,4	8,3
2000	12,6	9,5	12,1	9,5	11,7	9,5	11,5	9,5	11,9	9,5
4000	12,2	11,1	12,3	11,1	12,1	11,1	11,5	11,1	11,4	11,1
8000	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,7	11,5	11,7	11,4	11,7

FIGURA 7.4: Atenuação do protetor, cabeça de ferro fundido, microfones B&K no furo da cabeça e externo.

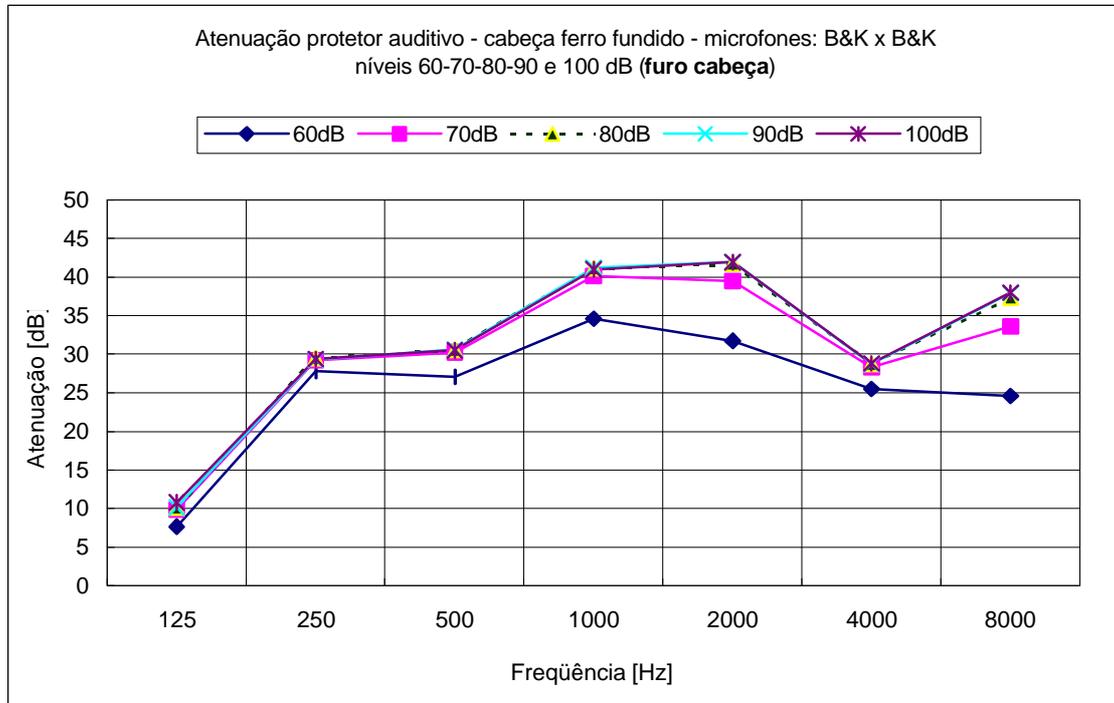
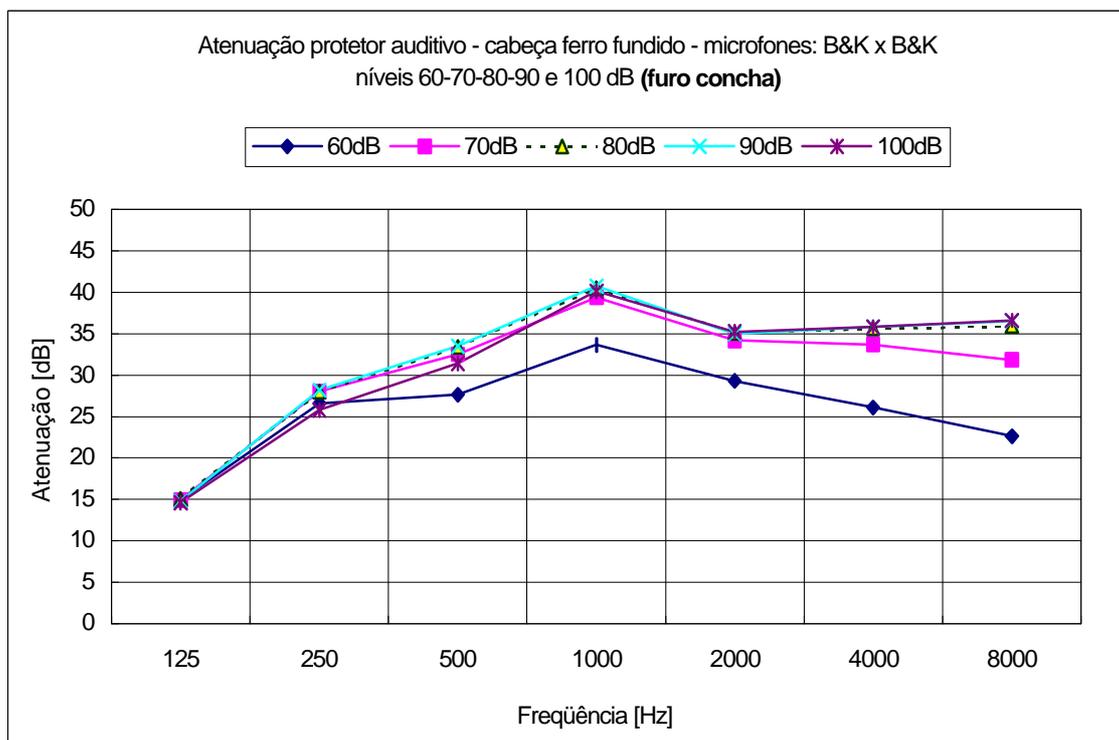


FIGURA 7.5: Atenuação do protetor, cabeça de ferro fundido, microfones B&K no furo da concha e externo.



7.2.2 Ensaio de atenuação com cabeça artificial do manequim sob duas condições.

Nos ensaios com a cabeça artificial do manequim, foram aplicadas duas condições, uma com o microfone interno instalado no furo da cabeça e na outra com o microfone instalado no furo da concha. A metodologia, o ambiente e os equipamentos foram os mesmos usados com a cabeça artificial de ferro fundido (7.2.1).

Enquanto a cabeça artificial de ferro fundido é construída segundo a norma ANSI S3.19/1974 possuindo superfícies planas para o contato com o protetor, a cabeça artificial do manequim construída em gesso apresenta irregularidades superficiais semelhantes a uma cabeça humana, o que torna mais complexo o assentamento da almofada, influenciando na vedação da concha.

Outro aspecto influenciável nos resultados é quanto à massa da qual é constituída cada cabeça, sendo a de ferro fundido mais densa, isolando melhor o ruído especialmente em certas frequências, enquanto que a cabeça do manequim é de gesso mais porosa dissipando a energia acústica. Os resultados dos ensaios com as duas cabeças, assim como nos testes com microfone interno no furo da cabeça, e microfone no furo da concha apresentarão valores diferentes de atenuação.

A cabeça do manequim possui encaixes para se acoplar orelhas moldadas em silicone, simulando os pavilhões auditivos de cabeça humana (figura 7.6).

Os resultados dos testes com a cabeça do manequim usando microfones da B&K dentro do furo da cabeça e fora, encontra-se na tabela 7.3 e figura 7.7.

FIGURA 7.6: Colocação da orelha de silicone, no encaixe da cabeça do manequim.



TABELA 7.3: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial do manequim com microfones B&K no furo da cabeça e fora, para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.

12/01/01		Ensaio cabeça manequim - LARI									
		Microfones: B&K x B&K - furo cabeça									
Microfones: B&K x B&K											
NWS	60		70		80		90		100		
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	
125	50,8	46,5	60,1	56,7	69,1	66,3	75,7	72,4	88,5	85,1	
250	41,2	17,6	51,3	27,8	61,4	37,5	67,1	43,1	80,2	56,2	
500	39,6	10,4	49,8	17,6	59,7	27,0	65,8	33,1	78,4	45,3	
1000	45,9	17,6	55,7	26,8	65,5	36,6	71,7	42,9	83,8	55,1	
2000	42,7	14,3	52,4	22,4	62,2	32,0	68,9	38,5	80,4	50,3	
4000	41,2	14,3	50,6	21,4	60,6	31,0	67,2	37,5	79,1	49,5	
8000	37,9	11,8	47,3	13,0	57,3	18,3	64,0	24,3	76,0	36,0	
Atenuação para NWS de 60-70-80-90 e 100 dB											
Hz	60dB	70dB	80dB	90dB	100dB						
125	4,3	3,4	2,8	3,3	3,4						
250	23,6	23,5	23,9	24,0	24,0						
500	29,2	32,2	32,7	32,7	33,1						
1000	28,3	28,9	28,9	28,8	28,7						
2000	28,4	30,0	30,2	30,4	30,1						
4000	26,9	29,2	29,6	29,7	29,6						
8000	26,1	34,3	39,0	39,7	40,0						
Medição do ruído de fundo com microfones B&K x B&K, após a medição de cada nível de potência sonora (60-70-80-90 e 100 dB)											
NWS	60		70		80		90		100		
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	
125	20,1	21,6	15,7	17,6	15,0	17,5	25,1	26,9	19,0	20,8	
250	19,9	8,3	16,2	7,8	16,5	7,9	22,2	8,6	17,5	8,1	
500	14,9	7,8	14,0	7,8	17,8	7,9	14,4	7,8	17,8	7,9	
1000	17,7	8,5	14,4	8,5	16,4	8,5	10,7	8,5	13,4	8,4	
2000	14	9,5	12,9	9,5	14,7	9,5	11,0	9,5	13,6	9,5	

4000	13,8	11,1	12,2	11,1	13,7	11,1	11,8	11,1	13,0	11,1
8000	12,5	11,7	12,0	11,7	12,0	11,7	11,8	11,7	12,2	11,7

Na tabela 7.4 e na figura 7.8 encontram-se os resultados da atenuação em que se instalou um microfone da B&K no furo da concha e um microfone da B&K fora do protetor.

Os resultados mostram que com a cabeça artificial do manequim, a atenuação do protetor auditivo resulta em linearidade para cada condição, nos níveis de potência sonora de 70 dB e acima nas frequências de 125 a 8000 Hz.

TABELA 7.4: Atenuação do protetor auditivo, em cabeça artificial do manequim com microfones B&K no *furo da concha* e fora, níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.

12/01/01	Ensaio cabeça manequim - LARI										
	Microfones: B&K x B&K - furo concha										
Microfones: B&K x B&K											
NWS	60		70		80		90		100		
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	
125	50,9	37,4	60,1	46,2	68,5	54,7	78,8	65,0	88,3	74,5	
250	42,2	20,0	51,7	29,4	60,1	37,8	70,9	48,4	80,3	57,9	
500	39,8	9,5	49,3	14,5	58,8	23,0	69,5	33,6	79,3	43,4	
1000	45,8	10,3	55,2	15,9	65,1	25,1	75,6	35,7	84,9	44,9	
2000	42,6	10,4	52,0	14,3	62,0	22,7	72,6	33,2	81,7	42,3	
4000	41	12,4	50,2	17,1	60,4	26,0	71,2	36,5	80,5	46,0	
8000	37,8	11,8	47,5	12,5	57,2	16,3	68,0	25,4	77,5	34,7	
Atenuação para NWS de 60-70-80-90 e 100 dB											
Hz	60dB	70dB	80dB	90dB	100dB						
125	13,5	13,9	13,8	13,8	13,8						
250	22,2	22,3	22,3	22,5	22,4						
500	30,3	34,8	35,8	35,9	35,9						
1000	35,5	39,3	40,0	39,9	40,0						
2000	32,2	37,7	39,3	39,4	39,4						
4000	28,6	33,1	34,4	34,7	34,5						
8000	26,0	35,0	40,9	42,6	42,8						
Medição do ruído de fundo com microfones B&K x B&K, após a medição de cada nível de potência sonora (60-70-80-90 e 100 dB)											
	60		70		80		90		100		
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	
125	19,5	19,5	21,0	21,6	16,1	18,3	17,6	20,5	17,5	20,6	
250	18,9	8,3	17,8	9,2	15,9	8,2	16,2	8,3	17,6	8,3	
500	22,8	8,0	22,5	7,9	20,0	8,0	19,4	8,0	17,0	7,8	

1000	18,4	8,4	17,2	8,3	17,0	8,3	19,8	8,3	17,6	8,4
2000	14,7	9,5	18,4	9,5	12,5	9,5	14,5	9,5	15,3	9,5
4000	14,7	11,1	16,9	11,1	12,1	11,1	13,0	11,1	14,0	11,1
8000	13,5	11,7	14,8	11,8	11,9	11,8	12,3	11,8	13,1	11,8

FIGURA 7.7: Atenuação do protetor, cabeça do manequim, microfones B&K no furo da cabeça e externo.

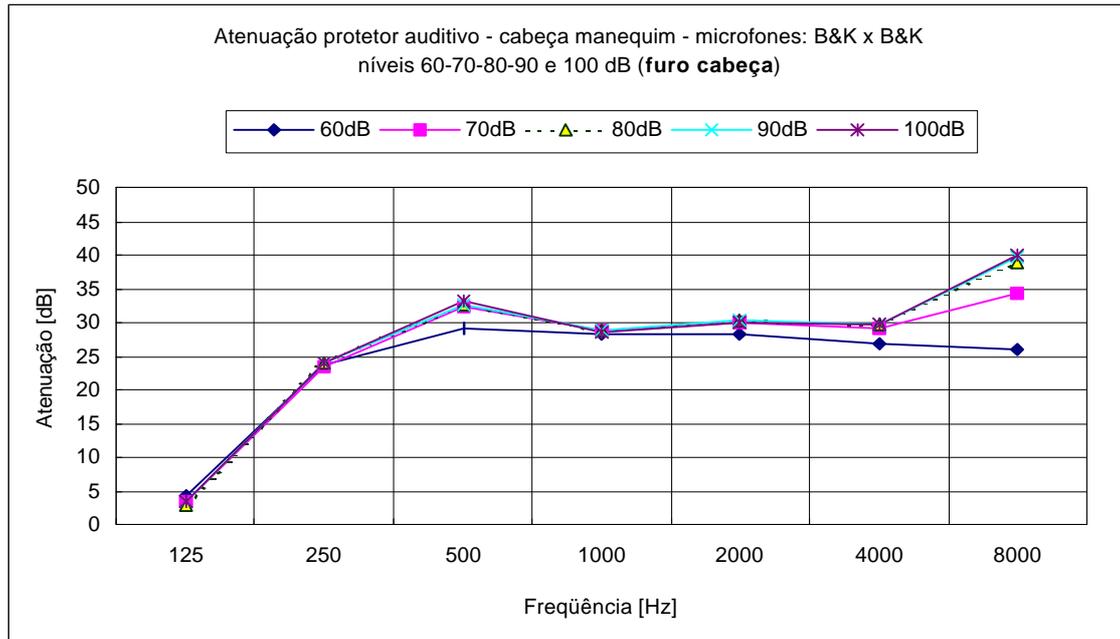


FIGURA 7.8: Atenuação do protetor, cabeça do manequim, microfones B&K no furo da concha e externo.

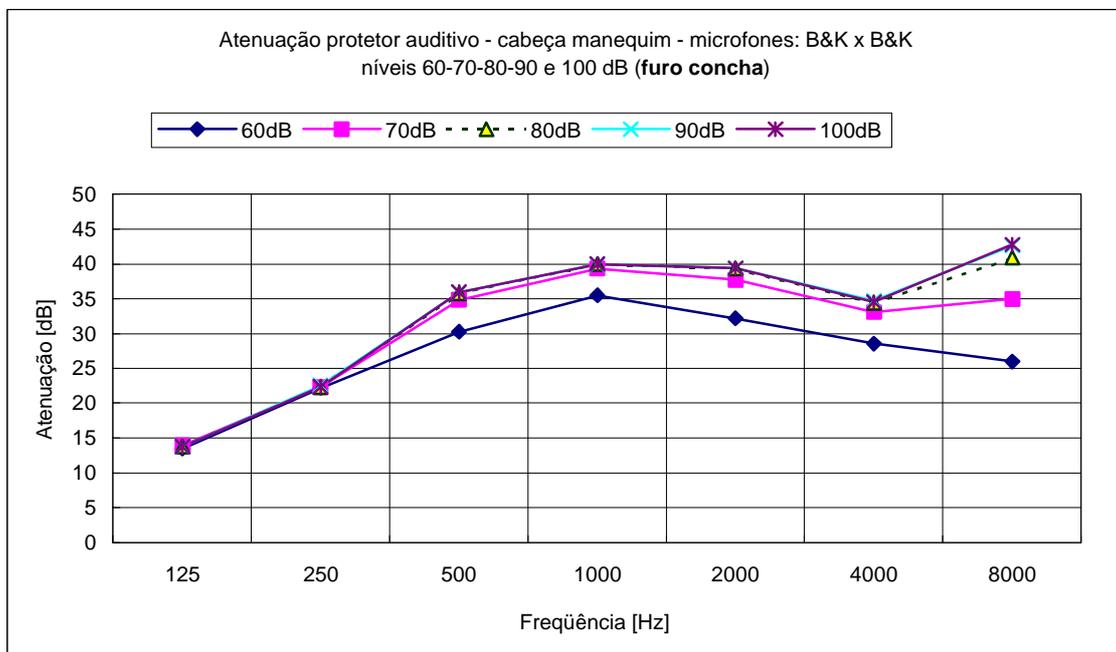
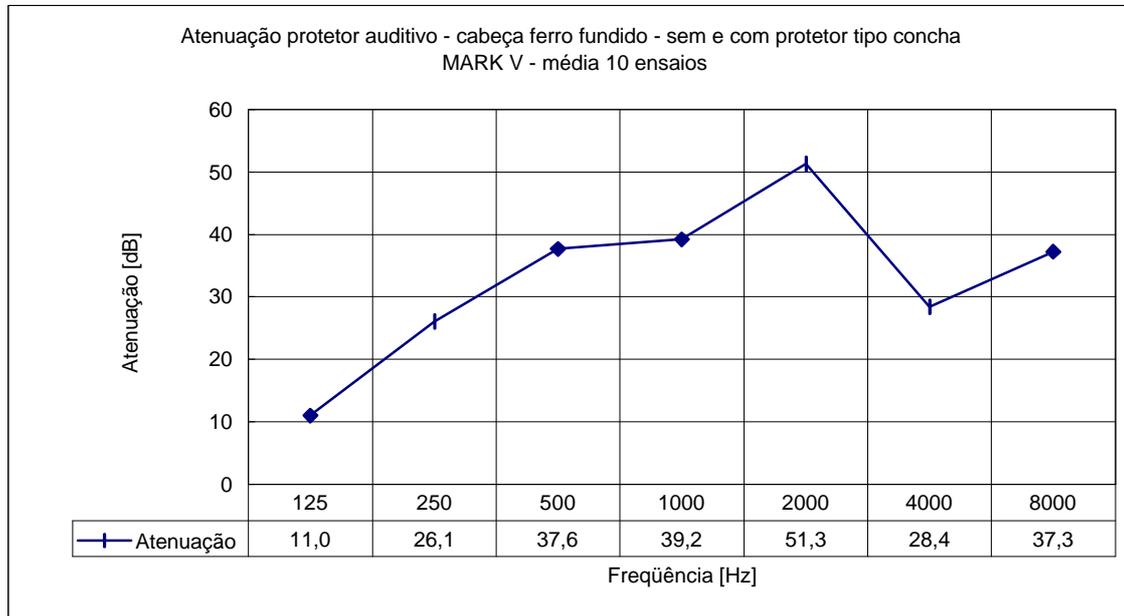


FIGURA 7.9: Atenuação do protetor auditivo aplicando a perda por inserção.



7.2.3 Ensaio de atenuação com cabeça artificial de ferro fundido aplicando a perda por inserção (PI).

Segundo a norma ANSI S3.19/74 o nível de pressão sonora por banda para medir dentro da câmara, não deve ser menor do que 85 dB ($20\mu N/m^2$) e ser ao menos 60 dB maior do que o nível de fundo, sendo aplicado NWS de 100 dB. Os valores apresentados (tabela 7.5 e figura 7.9) são de ensaios realizados na câmara LARI em 07/09/98. O microfone é instalado no furo da cabeça, medida uma concha e após o protetor é retirado e posicionado com a outra concha sobre o mesmo microfone (lado esquerdo e direito).

TABELA 7.5: Atenuação protetor auditivo medido com cabeça artificial de fofo aplicando a perda por inserção.

07/09/98											
Medições : Protetor MARK V - cabeça ferro fundido											
Com e sem protetor = perda por inserção (IL)											
Medições com protetor : Valor médio lado esquerdo e direito (10 ensaios)											
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
125	68,6	70,0	68,7	68,3	70,4	72,0	70,8	69,2	67,5	69,7	
250	55,3	54,7	55,6	54,7	54,6	56,3	55,6	55,3	55,4	55,9	
500	46,8	46,3	44,4	47,8	47,0	47,9	47,2	45,0	43,2	43,4	
1000	51,6	52,4	52,9	55,1	53,8	53,9	53,3	54,1	51,7	50,7	
2000	40,1	40,5	39,4	39,7	38,3	40,3	38,1	40,7	38,5	40,5	
4000	58,3	55,8	57,0	57,3	57,2	55,3	57,3	56,8	56,1	55,1	
8000	39,65	38,1	39,0	39,1	38,5	38,9	38,35	38	38,4	37,6	
Medições sem protetor											
Hz	NPS										
125	80,5										
250	81,4										
500	83,5										
1000	92,1										
2000	90,9										
4000	85										
8000	75,8										
Atenuação ou perda por inserção (valor médio sem protetor (menos) com protetor)											
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
125	12,0	10,6	11,9	12,2	10,2	8,6	9,8	11,4	13,1	10,9	11,0
250	26,1	26,7	25,8	26,7	26,8	25,2	25,8	26,2	26,0	25,5	26,1
500	36,8	37,3	39,2	35,7	36,6	35,6	36,4	38,5	40,4	40,2	37,6
1000	40,5	39,7	39,3	37,0	38,4	38,2	38,8	38,1	40,5	41,4	39,2
2000	50,9	50,5	51,6	51,3	52,7	50,7	52,8	50,3	52,5	50,5	51,3
4000	26,8	29,2	28,0	27,7	27,9	29,8	27,8	28,2	28,9	29,9	28,4
8000	36,2	37,7	36,9	36,8	37,3	36,9	37,5	37,8	37,4	38,2	37,3
Hz	Atenuação										
125	11,0										
250	26,1										
500	37,6										
1000	39,2										
2000	51,3										
4000	28,4										
8000	37,3										

7.3 Ensaio de atenuação com pessoas

Com pessoas foram realizados três tipos de ensaios 7.3.1, 7.3.2 e 7.3.3.

7.3.1 Limiar de atenuação em ouvido real (REAT)

A medição da atenuação de protetores auditivos em laboratório com pessoas foi através da aplicação do método normalizado do limiar de atenuação em ouvido real (REAT). Os dados da atenuação da média de 10 ouvintes realizados em 1999, encontram-se na tabela 7.6 e figura 7.10.

7.3.2 Ensaio objetivo com dois microfones

Nos ensaios objetivos em laboratório com dois microfones, o ouvinte permanece sentado, ajusta a colocação do protetor, não gira a cabeça, não se movimenta, não fala, não necessita interpretar qualquer ordem ou comando de tal forma que o ruído gerado num ponto fixo da câmara chega até ao protetor em teste, sempre sob as mesmas condições acústicas, apenas mudando o seu nível.

Participaram dos testes com dois microfones 10 (dez) pessoas voluntárias, que não passaram por qualquer seleção prévia, ou foram submetidas a testes audiométricos, porque o método objetivo independe da resposta do ouvinte, e o sistema de medição lê diretamente de forma simultânea, dentro e fora da concha registrando o mesmo evento de ruído.

FIGURA 7.10: Atenuação protetor auditivo pelo método REAT.

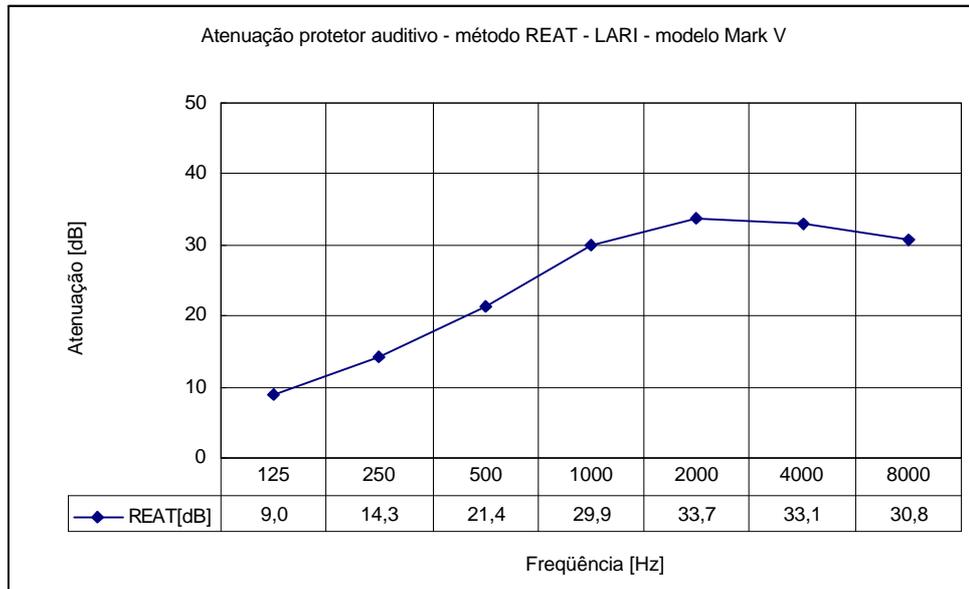


TABELA 7.6: Medição da atenuação de protetores auditivos pelo método REAT.

1999	Medições : Protetor MARK V - método REAT								
	Atenuação obtida de dois ensaios com 10 ouvintes [dB]								
	Frequência [Hz]								
Ouvintes:	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
1	11,3	14	23,7	33,4	32,6	28,1	27,9	32,2	28,6
	7,9	11,7	16,9	34,6	32,9	31,2	27,4	24,2	27,5
2	8,6	11,7	21,9	30,8	34,5	34	29	30,7	28,1
	10	22,9	20,9	32,5	35,3	34,9	36,4	28	28,7
3	5,4	8,4	19,8	33,3	33,2	26	22,5	23,5	21,4
	2,1	3,9	15,1	22,3	23,9	20,5	24,3	19,9	24,4
4	12,6	15,1	22,2	36,6	34,1	35,6	34	30,3	18,1
	6,4	15,1	23,6	33,5	34,9	38,4	34,9	28,4	18,1
5	9,6	14,4	22,3	30,7	40,7	38,1	37,6	38,6	38,1
	4,4	8,2	17,6	12,4	27,6	27,1	26,4	33	32,7
6	16,5	17,4	31,3	32,2	36	41,5	35,2	39,3	33,3
	10,1	19,6	25,2	26,4	31,2	39,4	38,8	33,8	31,8
7	0	2,1	16	26,6	31,9	29,8	25,9	31,9	32,5
	16,4	23,4	26,3	33,7	37,4	35	33,9	37,7	38,7
8	13,1	21,9	20,4	26,6	36,1	42,1	30	34	36,7
	7,7	15,1	17,9	30	36	38,6	33,7	37,4	34,1
9	11,7	19,1	24,9	30,4	35,1	38,4	34,4	35,4	38,2
	19,7	22,1	27,4	34,3	35,4	37,7	36,3	35,7	37,1
10	1,7	4,5	15,1	28,8	33,1	39,2	35,6	26,8	31,1
	4,2	15,1	19,8	29,2	31,5	35,5	30,1	25,1	28,1
Média:	9,0	14,3	21,4	29,9	33,7	34,6	31,7	31,3	30,4
REAT [dB]	Frequência [Hz]								
	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Atenuação	9,0	14,3	21,4	29,9	33,7	33,1	30,8		

O método com dois microfones e medição simultânea dos níveis de pressão sonora dentro e fora da concha apresenta a vantagem de medir a atenuação do ruído produzido naquele espaço de tempo, o que é diferente do que quando se usa apenas um microfone e se realizam duas vezes a medição, uma vez com o microfone fora e outra com o microfone dentro da concha. Os resultados neste caso não representam os valores reais de atenuação, porque os ruídos em níveis baixos são facilmente mascarados com ruídos de fundo mesmo em câmara acústica, os valores variam com o tempo.

FIGURA 7.11: Ensaio no laboratório com pessoa usando dois microfones.



Outro aspecto é quanto a recolocação do protetor quando se altera a posição do microfone, alterando também o seu campo sonoro.

Os resultados com os valores dos ensaios em laboratório, com os cálculos da média encontram-se na tabela 7.7 e na forma gráfica na figura 7.12.

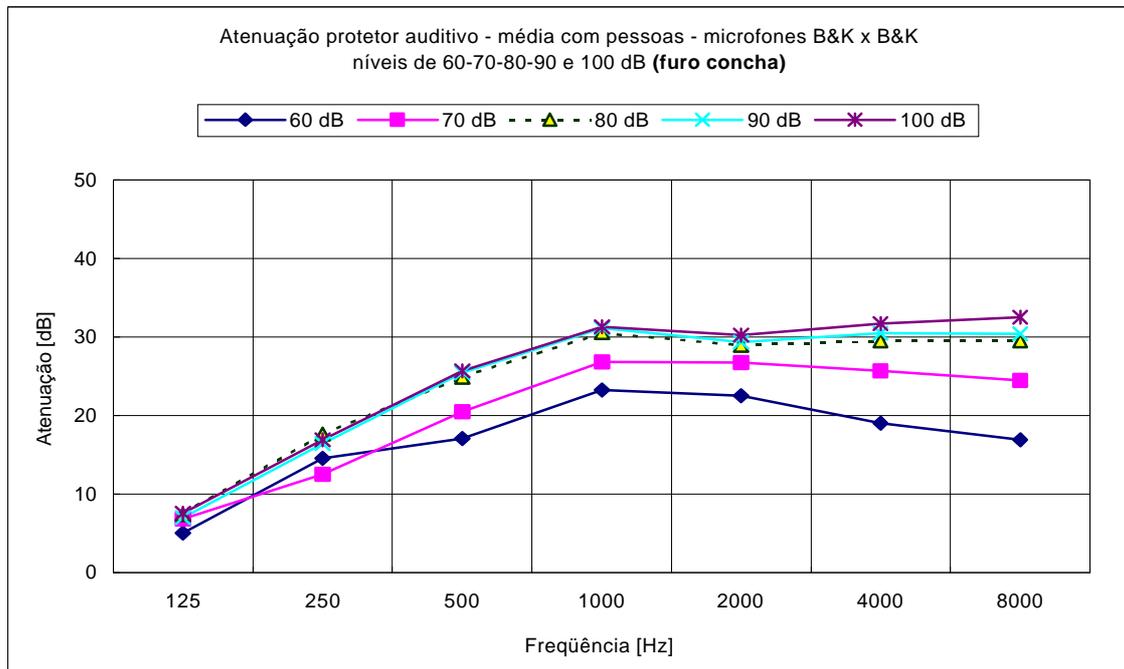
TABELA 7.7: Atenuação do protetor auditivo, com pessoas usando dois microfones B&K sendo um no furo da concha e o outro fora, para níveis de 60-70-80-90 e 100 dB.

10/01/01										
Medição com pessoas - câmara LARI										
Microfones: B&K X B&K - furo concha i = interno e = externo										
Num. 1										
Hz	60int	60ext	70int	70ext	80int	80ext	90int	90ext	100int	100ext
125	42,6	50,3	47,7	59,7	57,9	70,3	66,1	79,4	75,0	88,3
250	23,4	40,2	30,6	50,7	41,5	61,2	49,7	70,6	58,6	79,6
500	19,4	38,4	22,8	49,1	31,6	58,6	40,1	68,3	49,7	77,9
1000	19,1	43,0	23,0	54,0	30,9	63,4	40,2	73,2	49,4	82,2
2000	18,9	41,0	21,5	52,2	28,4	61,2	38,0	71,2	46,7	79,8
4000	19,0	38,7	20,3	49,8	25,8	59,1	35,1	69,2	44,0	78,2
8000	18,3	36,3	19,0	47,3	22,0	56,4	30,1	66,5	39,4	75,6
Num.2										
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e
125	42,5	49,5	46,7	59,4	60,3	69,2	69,5	78,4	78,8	87,9
250	24,2	41,6	32,9	51,0	42,0	61,2	51,9	71,3	61,1	80,4
500	19,2	38,9	21,1	48,9	32,3	59,3	41,1	69,0	50,6	78,7
1000	20,1	44,5	23,9	54,4	32,0	64,9	40,6	74,3	49,8	83,5
2000	18,8	41,9	21,9	52,0	32,7	62,4	41,2	71,9	50,4	81,1
4000	20,7	39,4	22,2	49,3	28,9	59,5	36,8	69,7	46,1	79,1
8000	19,2	36,8	21,4	46,8	26,6	56,6	32,2	66,8	41,3	76,4
Num.3										
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e
125	44,8	49,1	52,5	58,8	59,7	69,0	71,3	78,5	81,1	88,3
250	29,6	40,9	35,8	51,2	41,8	61,6	54,7	71,6	63,5	80,8
500	20,0	38,8	26,3	48,6	33,4	59,0	43,3	69,3	53,3	78,9
1000	23,9	44,1	27,8	54,1	32,6	64,4	42,8	74,7	52,7	84,0
2000	19,6	41,8	23,5	51,6	30,6	61,5	42,9	71,9	52,2	81,6
4000	20,5	39,6	22,5	49,7	28,8	60,0	39,8	70,6	49,3	79,9
8000	19,9	36,6	21,6	46,7	25,9	56,8	36,8	67,3	46,7	76,8
Num.4										
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e
125	44,3	48,9	61,0	58,9	69,9	68,0	80,0	78,1	89,6	87,6
250	39,4	41,1	47,1	50,4	57,2	60,7	66,9	70,6	76,5	80,4
500	24,4	39,6	32,6	49,4	42,2	59,3	52,4	69,6	62,2	79,3
1000	20,6	44,8	29,8	54,8	39,6	64,7	49,4	74,7	59,0	84,3
2000	19,5	42,1	28,2	51,9	38,1	62,0	48,0	71,9	57,6	81,4
4000	19,1	40,3	27,6	50,2	37,6	60,1	47,5	70,2	57,4	80,0
8000	15,7	37,2	22,3	47,0	31,8	57,0	41,7	67,1	51,7	77,0
Num.5										
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e
125	47,1	51,2	56,7	59,5	65,5	68,3	77,4	78,5	83,7	86,8
250	22,6	42,5	41,6	51,8	50,9	60,9	62,4	71,0	68,7	79,6
500	21,4	40,9	29,6	49,7	38,7	59,1	49,9	69,2	56,5	77,5
1000	22,0	46,3	30,1	55,1	38,9	64,3	49,8	74,1	56,5	82,1
2000	20,7	43,7	26,0	52,6	35,1	62,0	45,3	72,0	52,6	80,1
4000	22,4	41,2	22,8	50,7	31,8	60,3	42,1	70,2	49,3	78,5
8000	20,8	38,3	22,6	48,5	31,9	57,4	40,9	67,7	48,6	76,1

continuação da tabela 7.7											
i = interno e = externo											
Num.6											
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e	
125	42,8	49,7	54,2	61,4	61,7	69,2	70,1	77,7	79,7	87,9	
250	23,8	41,6	43,9	52,4	42,1	61,0	51,1	70,2	61,7	80,7	
500	20,9	38,2	27,4	49,1	30,6	58,0	40,5	68,3	51,0	78,8	
1000	19,7	43,1	25,6	54,1	31,3	62,8	41,1	73,2	51,5	83,4	
2000	17,6	40,4	25,8	51,7	31,6	60,2	41,7	70,7	52,1	80,9	
4000	19,4	38,4	21,1	49,9	25,8	57,6	35,9	68,9	46,5	79,6	
8000	17,8	35,1	20,3	46,8	23,4	54,0	32,6	65,9	43,1	76,8	
Num.7											
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e	
125	45,5	51,5	47,0	57,3	58,2	67,0	69,1	77,2	77,4	85,8	
250	23,3	40,5	34,3	49,6	39,5	59,3	54,0	69,8	61,6	78,6	
500	23,0	40,5	25,1	48,5	34,2	58,6	44,5	69,5	52,8	78,1	
1000	22,8	45,0	23,8	54,0	31,9	63,7	41,3	74,5	50,5	82,7	
2000	20,5	42,6	22,5	51,5	30,5	61,3	41,9	71,9	48,0	80,3	
4000	21,5	38,2	20,5	49,7	28,5	59,8	39,7	69,7	45,3	78,4	
8000	20,7	33,2	19,7	46,0	25,7	56,1	37,9	66,0	42,2	74,6	
Num.8											
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e	
125	49,5	52,6	50,1	58,2	62,8	70,0	70,3	79,1	81,7	90,2	
250	24,1	41,6	37,1	48,2	35,3	60,0	51,1	69,6	61,7	80,3	
500	23,5	39,8	28,8	47,6	32,4	59,2	45,7	68,9	52,5	78,5	
1000	21,5	44,5	26,4	53,0	34,3	63,6	43,2	74,0	50,9	82,6	
2000	20,2	42,0	20,3	49,8	35,9	62,2	44,3	71,7	47,7	80,8	
4000	23,2	39,3	23,9	47,3	32,9	59,8	43,7	69,7	44,8	78,4	
8000	22,5	35,9	20,3	43,6	25,0	56,4	42,8	66,2	40,5	75,3	
Num.9											
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e	
125	45,1	49,6	49,0	59,1	59,6	69,4	69,5	79,8	77,4	87,6	
250	28,5	42,9	32,2	51,2	40,2	61,7	50,5	72,2	58,8	80,6	
500	27,2	41,3	26,1	49,3	31,8	59,5	39,8	69,5	48,8	78,8	
1000	20,9	44,9	28,8	54,4	31,8	64,2	39,9	74,2	49,3	83,6	
2000	18,6	42,0	27,7	51,9	32,1	61,7	40,4	71,8	49,4	80,8	
4000	18,2	40,0	26,4	49,9	29,5	59,9	35,0	69,9	44,1	79,3	
8000	17,5	37,7	22,6	46,8	28,3	56,8	31,6	66,8	40,0	76,3	
Num.10											
Hz	60i	60e	70i	70e	80i	80e	90i	90e	100i	100e	
125	47,1	49,1	53,2	59,9	60,4	69,8	73,0	80,0	79,2	88,6	
250	29,0	40,5	39,9	51,9	42,4	62,5	53,2	73,2	61,5	81,8	
500	24,7	38,0	38,6	48,6	32,9	58,9	38,1	68,8	50,8	78,8	
1000	20,4	43,8	30,4	54,4	32,2	64,7	40,2	73,4	49,7	84,4	
2000	18,2	40,9	28,1	51,4	31,3	61,6	39,3	71,9	48,0	80,7	
4000	20,2	39,5	28,1	50,0	30,6	60,2	37,2	69,5	47,1	79,6	
8000	21,4	36,4	27,4	46,8	28,8	57,2	35,6	66,2	42,9	76,7	
Aten.60											
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	méd60
125	7,7	7,0	4,3	4,6	4,1	6,9	6,0	3,1	4,6	2,0	5,0
250	16,9	17,4	11,3	1,7	19,8	17,8	17,3	17,5	14,4	11,4	14,6
500	19,0	19,7	18,8	15,2	19,5	17,3	17,5	16,3	14,1	13,3	17,1

continuação da tabela 7.7											
i = interno e = externo											
1000	23,9	24,4	20,3	24,2	24,3	23,5	22,3	23,0	24,0	23,4	23,3
2000	22,2	23,0	22,3	22,6	22,9	22,8	22,2	21,8	23,4	22,7	22,6
4000	19,8	18,6	19,2	21,2	18,8	19,0	16,7	16,1	21,9	19,4	19,1
8000	17,9	17,5	16,7	21,5	17,5	17,3	12,5	13,5	20,2	15,0	17,0
Aten.70											
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	méd70
125	12,1	12,7	6,3	-2,1	2,9	7,2	10,2	8,0	10,0	6,7	6,9
250	20,1	18,1	15,4	3,3	10,2	8,5	15,3	11,1	19,1	12,0	12,5
500	26,2	27,8	22,3	16,9	20,1	21,7	23,5	18,7	23,3	10,0	20,5
1000	31,1	30,4	26,3	24,9	25,0	28,5	30,2	26,6	25,6	24,1	26,8
2000	30,7	30,1	28,1	23,8	26,6	25,9	29,0	29,5	24,2	23,3	26,7
4000	29,4	27,2	27,1	22,6	27,9	28,8	29,2	23,4	23,5	21,9	25,7
8000	28,3	25,4	25,1	24,7	25,8	26,5	26,3	23,3	24,1	19,4	24,5
Aten.80											
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	méd80
125	12,4	8,9	9,4	-1,9	2,8	7,5	8,8	7,2	9,9	9,4	7,4
250	19,7	19,2	19,8	3,6	10,0	18,8	19,8	24,6	21,5	20,0	17,7
500	27,0	27,0	25,6	17,1	20,4	27,3	24,4	26,7	27,6	26,1	24,9
1000	32,5	32,9	31,7	25,1	25,4	31,5	31,9	29,3	32,5	32,5	30,5
2000	32,8	29,6	30,9	23,9	26,9	28,6	30,8	26,3	29,6	30,2	29,0
4000	33,3	30,6	31,2	22,6	28,5	31,7	31,4	26,9	30,3	29,6	29,6
continuação da tabela 7.7											
8000	34,4	30,0	30,8	25,3	25,5	30,6	30,4	31,5	28,4	28,4	29,5
Aten.90											
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	méd90
125	13,2	8,9	7,1	-2,0	1,0	7,6	8,1	8,8	10,2	7,0	7,0
250	20,9	19,4	16,9	3,7	8,5	19,1	15,8	18,5	21,6	20,0	16,4
500	28,2	27,9	26,0	17,2	19,3	27,8	25,0	23,1	29,7	30,6	25,5
1000	33,0	33,7	32,0	25,3	24,3	32,1	33,2	30,7	34,4	33,2	31,2
2000	33,2	30,6	29,0	23,9	26,7	28,9	30,1	27,4	31,4	32,6	29,4
4000	34,1	32,9	30,8	22,7	28,0	33,0	30,1	26,0	34,9	32,3	30,5
8000	36,5	34,6	30,6	25,4	26,7	33,3	28,1	23,5	35,2	30,6	30,5
Aten.100											
Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	m.100
125	13,3	9,1	7,2	-2,0	3,1	8,2	8,4	8,5	10,3	9,4	7,5
250	21,0	19,3	17,3	3,9	11,0	19,0	17,0	18,5	21,8	20,3	16,9
500	28,2	28,1	25,6	17,1	21,0	27,8	25,4	26,0	30,0	28,0	25,7
1000	32,8	33,7	31,3	25,3	25,6	31,9	32,2	31,7	34,3	34,7	31,3
2000	33,1	30,7	29,4	23,8	27,5	28,8	32,3	33,1	31,4	32,7	30,3
4000	34,2	33,0	30,6	22,6	29,2	33,1	33,0	33,6	35,3	32,6	31,7
8000	36,2	35,1	30,1	25,3	27,5	33,6	32,4	34,8	36,3	33,8	32,5
Media atenuações 10 pessoas:											
Hz	60 dB	70 dB	80 dB	90 dB	100 dB						
125	5,0	6,9	7,4	7,0	7,5						
250	14,6	12,5	17,7	16,4	16,9						
500	17,1	20,5	24,9	25,5	25,7						
1000	23,3	26,8	30,5	31,2	31,3						
2000	22,6	26,7	29,0	29,4	30,3						
4000	19,1	25,7	29,6	30,5	31,7						
8000	17,0	24,5	29,5	30,5	32,5						

FIGURA 7.12: Atenuação do protetor auditivo, medido com pessoas no laboratório (furo concha).



Os resultados mostram que o protetor ensaiado apresenta atenuação linear para os níveis de excitação do nível de potência sonora acima de 80 dB.

7.3.3 Ensaio de atenuação com pessoas em situação real de trabalho.

Escolheu-se a atividade de marceneiro, pelo fato dos níveis médios de ruído em 1000 Hz chegarem a 88 dBA, nível acima dos 85 dBA previstos como limite segundo a legislação trabalhista brasileira. As medições foram realizadas durante a execução do uso da serra circular fixa (figura 7.13).

Participaram dos ensaios trabalhadores que exercem esta atividade profissional, que além do ruído ela apresenta elevado risco de acidente. As pessoas participantes dos ensaios foram inicialmente informadas dos

FIGURA 7.13: Medições durante a execução da atividade junto a serra circular.



procedimentos e cada uma realizou o processo de corte da madeira quando foram medidos simultaneamente os níveis de ruído dentro e fora da concha do protetor auditivo.

FIGURA 7.14: Atenuação do protetor auditivo, medido com pessoas *na atividade real de trabalho*, usando dois microfones (furo concha).

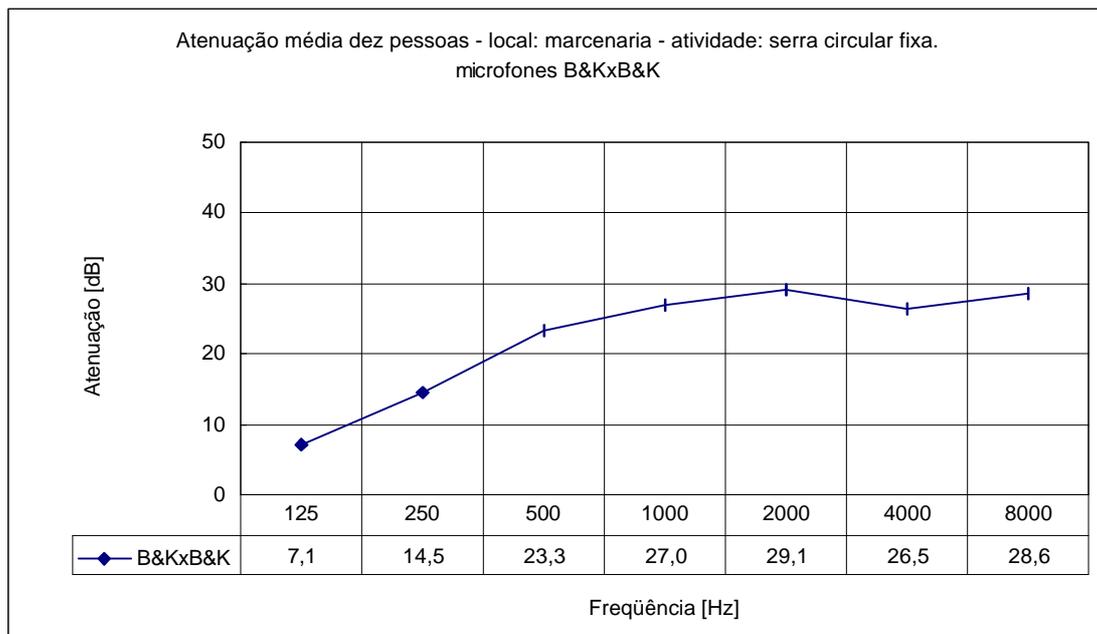


TABELA 7.8: Atenuação do protetor auditivo, com pessoas no *local real de trabalho* – microfones: no furo da concha e fora (nível de 88 dB em 1000 Hz.).

01/02/01 Testes em campo com pessoas – Local: marcenaria											
Microfones: (B&K x B&K)											
Nível pressão sonora médio : 88,2 dB em 1000 Hz (externo a concha)											
Microfones: B&K x B&K											
	Num.1		Num.2		Num.3		Num.4		Num.5		
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	
125	69,0	60,3	63,6	60,2	69,1	65,0	72,6	61,1	69,7	62,5	
250	75,5	61,8	72,4	59,1	75,0	61,0	76,9	62,1	76,7	62,3	
500	81,9	59,0	84,5	56,8	79,7	54,3	82,0	57,4	83,5	61,6	
1000	90,8	63,9	88,9	59,7	87,8	59,7	88,1	62,6	88,6	62,0	
2000	89,5	60,3	88,6	59,6	89,6	60,7	90,2	61,8	90,5	61,1	
4000	87,9	61,1	85,6	57,8	88,7	62,6	91,1	65,1	89,3	62,5	
8000	86,9	58,3	84,5	55,0	88,0	59,4	91,1	63,3	89,2	59,8	
	Num.6		Num.7		Num.8		Num.9		Num.10		
Hz	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	
125	70,2	61,1	71,6	61,5	74,2	67,0	66,3	62,6	67,2	60,9	
250	76,0	61,1	76,7	61,8	78,0	62,7	75,0	59,9	73,9	58,9	
500	79,1	56,5	80,8	60,4	81,2	60,5	80,9	57,8	79,0	55,1	
1000	86,6	59,4	87,6	61,5	86,6	61,4	86,4	58,4	90,6	63,1	
2000	89,8	60,6	89,2	60,2	89,8	61,6	89,3	58,1	88,8	59,7	
4000	89,5	63,7	91,1	64,8	91,4	67,0	89,5	61,6	89,3	62,1	
8000	90,2	61,5	90,0	62,0	91,8	64,9	88,9	59,0	88,6	60,1	
Atenuação 10 pessoas											
Hz	Num.1	Num.2	Num.3	Num.4	Num.5	Num.6	Num.7	Num.8	Num.9	Num.10	Média:
125	8,7	3,4	4,1	11,6	7,2	9,1	10,1	7,2	3,7	6,3	7,1
250	13,8	13,3	14,0	14,8	14,3	14,9	14,9	15,4	15,1	15,0	14,5
500	22,9	27,6	25,4	24,6	21,9	22,6	20,4	20,7	23,1	23,9	23,3
1000	27,0	29,1	28,1	25,5	26,6	27,2	26,1	25,2	28,1	27,5	27,0
2000	29,2	29,0	28,9	28,4	29,4	29,2	29,0	28,2	31,1	29,0	29,1
4000	26,8	27,8	26,1	26,0	26,8	25,8	26,3	24,4	27,9	27,2	26,5
8000	28,6	29,5	28,7	27,8	29,4	28,7	28,0	26,9	29,8	28,5	28,6
Atenuação média de dez pessoas											
Hz	Média:										
125	7,1										
250	14,5										
500	23,3										
1000	27,0										
2000	29,1										
4000	26,5										
8000	28,6										

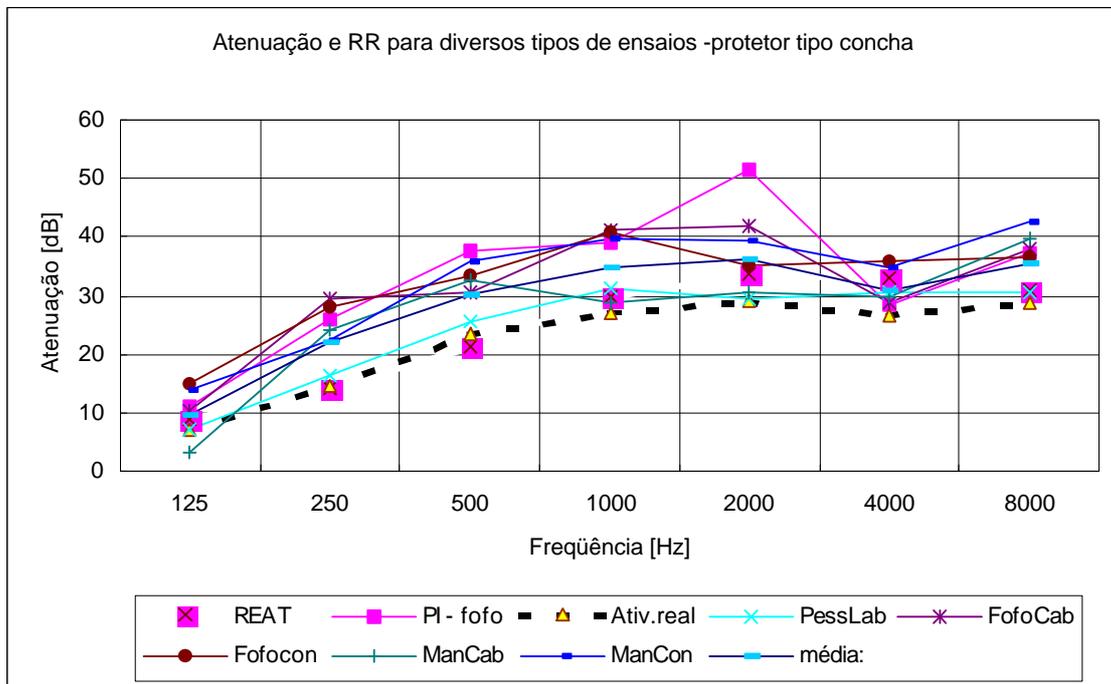
Os resultados medidos em situação real de trabalho, com o uso de dois microfones instalados na concha do protetor, mostram que a atenuação do protetor auditivo, apresenta valores próximos à aqueles obtidos com pessoas em laboratório usando o método REAT da norma ANSI S12.6/97 método B.

TABELA 7.9: Valores de atenuação e/ou redução de ruído para diversos tipos de ensaios, com NWS de 90 dB.

Atenuações e/ou RR de diversos ensaios									
05/02/01									
Valores para NWS de 90 dB									
Ensaios em laboratório: REAT e com pessoas, fofo (furo cabeça e furo concha), manequim (furo cabeça e furo concha). Em campo com pessoas.									
Hz	REAT	PI - fofo	Ativ.real	PessLab	FofoCab	Fofocon	ManCab	ManCon	média:
125	9,0	11,0	7,1	7,0	10,2	14,8	3,3	13,8	9,5
250	14,3	26,1	14,5	16,4	29,3	28,2	24,0	22,5	21,9
500	21,4	37,6	23,3	25,5	30,6	33,5	32,7	35,9	30,1
1000	29,9	39,2	27,0	31,2	41,2	40,7	28,8	39,9	34,7
2000	33,7	51,3	29,1	29,4	41,9	35,0	30,4	39,4	36,3
4000	33,1	28,4	26,5	30,5	28,7	35,8	29,7	34,7	30,9
8000	30,8	37,3	28,6	30,5	37,9	36,5	39,7	42,6	35,5

REAT - Limiar de atenuação em ouvido real
 PI - fofo - Perda por inserção cabeça de ferro fundido
 Ativ.real - Atividade real - marcenaria
 PessLab - Ensaio com pessoas no laboratório
 FofoCab - Furo cabeça de ferro fundido
 Fofocon - Furo concha cabeça de ferro fundido
 ManCab - Furo cabeça manequim
 ManCon - Furo concha cabeça manequim

FIGURA 7.16: Atenuação e/ou redução de ruído para diversos tipos de ensaios.



7.4 Conclusão

As conclusões deste estudo visam apresentar possíveis relações que possam haver entre os diferentes tipos de ensaios em laboratório, com os valores obtidos em uma situação real de trabalho quando exposto a elevados níveis de ruído (acima de 85 dB).

Dos ensaios realizados em laboratório com cabeças de ferro fundido (tabela 7.1 e figura 7.4) e manequim (tabela 7.3 e figura 7.7), com o microfone instalado no furo da cabeça, observa-se que na cabeça com ferro fundido devido a densidade da sua constituição a atenuação na maioria das frequências apresenta valores maiores do que na cabeça do manequim.

Esta condição deve-se ao fato do ferro fundido isolar o ruído que passa através da sua estrutura e desta forma o microfone interno captar o ruído que a concha atenua mais o ruído de eventuais vazamentos.

No caso da cabeça do manequim, como sua estrutura é porosa ela tende a dissipar a energia acústica ou ruído de maneira a deixar passar parte do ruído como se fosse vazamento, apresentando atenuação com valores próximos e lineares nas frequências de (500 a 4000 Hz). Esta condição demonstra que o ruído medido pelo microfone interno representa o ruído atenuado pela concha mais eventuais vazamentos e mais o ruído que passa pela estrutura da cabeça de gesso.

Ao analisar os dados da tabela 7.2 e figura 7.5 para cabeça de ferro fundido com furo na concha, e a tabela 7.4 e figura 7.8 para manequim com

furo na concha, (o furo da cabeça foi vedado), conclui-se que os valores da atenuação medidos nestas condições apresentam-se praticamente iguais.

Esta medição demonstra que, as medições no furo da cabeça artificial de ferro fundido ou manequim deixam passar ruído através da sua composição estrutural e no caso das medições com furo na concha não, pela condição de que, a passagem do ruído medido com furo na concha não passa pela estrutura da cabeça a qual é isolada.

Ao compararmos os valores medidos da figura 7.7 (ensaio com cabeça do manequim – furo na cabeça) e os da figura 7.12 (ensaio com pessoas no laboratório), nas frequências de 1000 a 4000 Hz, nos níveis de potência sonora de 80, 90 e 100 dB, os valores apresentam-se bastante próximos, demonstrando a semelhança da passagem do ruído através da estrutura da cabeça do manequim e da cabeça humana.

Nas medições realizadas em campo os níveis de ruído apresentados pela fonte geradora variam com o tempo, não devendo influenciar na atenuação porque que é linear para este tipo de protetor quando submetido a níveis de potência sonora acima de 80 dB.

Das medições de atenuação do protetor auditivo usando dois microfones numa atividade real de trabalho, com ruído de 88 dB em 1000 Hz medidos no microfone externo (tabela 7.8 e figura 7.14), observa-se que, de 125 a 2000 Hz os valores da atenuação são próximos aos medidos no laboratório com pessoas, e nas frequências de 4000 e 8000 Hz a atenuação em campo é menor.

Da tabela 7.7 e figura 7.12, observa-se que, com a aplicação do método subjetivo para níveis de potência sonora ≤ 70 dB os valores de atenuação medidos não são lineares. Já para os níveis de potência sonora ≤ 60 dB os valores de atenuação medidos tanto para aqueles em que se aplica o método objetivo como o método subjetivo, também não são lineares, mostrando que para estes níveis ocorrem vazamentos de ruído.

Na figura 7.15 as curvas de oito tipos de ensaios, em laboratório e em campo, os que apresentaram menores valores de atenuação, foram os ensaios subjetivos. Do gráfico observa-se que os valores de atenuação medidos encontram-se com variação de + ou - 7,5 dB, e as curvas seguem uma tendência convergindo ao longo das bandas de frequência, este fato mostra o aprimoramento dos parâmetros utilizados nos ensaios .

Ao observamos as curvas de atenuação dos ensaios com pessoas em que se aplicou o método REAT da norma ANSI S12.6/1997 método B, e as curvas de atenuação obtidas com pessoas em campo real, vê-se que elas apresentam valores muito próximos, o que vem a demonstrar que a atenuação dos protetores auditivos quando se aplica o método REAT (ANSI S12.6/97 método B), ele se aproxima da atenuação apresentada pelo protetor auditivo quando no exercício de uma atividade real

8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8.1 Conclusão

A realização deste trabalho de tese consiste basicamente de uma pesquisa bibliográfica, incluindo normas internacionais relacionadas com o ensaio de protetores auditivos; na parte prática a qualificação do ambiente de ensaios, a descrição e o resultado de testes dos componentes, equipamentos e, também, dos materiais usados no revestimento da câmara reverberante.

Saliente-se, que uma das hipóteses iniciais deste trabalho, relativa ao uso de dois dosímetros para medir a atenuação dos protetores auditivos, de fato não foi constatada, devido às limitações destes equipamentos. Os dosímetros não fornecem o espectro por frequência e não possuem saída instantânea para serem conectados a um analisador de tempo real, além disto, o microfone dos dosímetros limita os níveis mínimos de leitura.

Procurou-se então, microfones que apresentassem as condições necessárias quando conectados a um analisador de tempo real com dois canais. Para isto, testou-se microfones do tipo capacitivo e tipo eletreto para se avaliar qual o tipo que poderia ser usado nos ensaios para medir a atenuação proporcionada pelos protetores auditivos com o uso simultâneo de dois microfones. Os microfones capacitivos apresentaram melhor repetibilidade à leitura de menores níveis de ruído e maior faixa dinâmica do que os microfones eletreto. Desta forma, com todo o sistema de medições ajustado, o campo sonoro qualificado e definido os equipamentos para uso com dois microfones,

realizaram-se ensaios com o método REAT, com cabeças artificiais e pessoas, na câmara acústica, e em campo ensaios com pessoas numa atividade real de trabalho.

Cabe salientar que uma das questões fundamentais que nortearam a presente pesquisa era saber como proceder para ter certeza do funcionamento correto do sistema de medição desenvolvido, a partir do momento em que o campo acústico dentro da câmara estiver satisfeito?

Nem as normas e muito menos a bibliografia consultada apresentam qualquer procedimento que permita verificar se o sistema de medições utilizados numa câmara acústica funcione corretamente. Normalmente, o sistema de medições é avaliado somente através de medições com equipamentos de acústica, sem uma relação com o resultado dos ensaios.

No caso deste trabalho, foram feitas medições com equipamentos de acústica e a verificação do correto funcionamento do sistema de medições pela comparação dos resultados obtidos em ensaios de atenuação do protetor medidos através do método REAT em laboratório, com o sistema que usa dois microfones em campo.

O sistema com dois microfones, foi avaliado em laboratório por meio de ensaios em que usou-se tipos diferentes de cabeças artificiais e, pessoas. Os resultados medidos demonstraram que existe uma coerência entre os valores, não deixando dúvidas de que o sistema com dois microfones apesar de não normalizado funciona corretamente apresentando as condições para ser utilizado também nas medições em campo.

Os resultados dos ensaios na câmara acústica com a aplicação do método REAT usando o sistema de medições desenvolvido, apresenta valores semelhantes aos valores obtido em campo com a aplicação do sistema com dois microfones conectados a um analisador de tempo real (figura 7.15). Com base nestes resultados pode-se afirmar que, o sistema de medições desenvolvido e instalado na câmara acústica do LARI apresenta coerência nos valores medidos, não deixando dúvidas quanto ao seu correto funcionamento. Constatou-se, também, que utilizar-se de manequins em laboratório para medir a atenuação do ruído apresentada pelos protetores auditivos pelo método objetivo, no desenvolvimento de novos produtos, auxiliando também no controle de qualidade, por apresentar repetibilidade e reprodutibilidade dos ensaio sem a condição subjetiva das pessoas.

Todavia, os manequins dificilmente substituirão as pessoas quanto à atenuação apresentada por cada protetor auditivo, o qual envolve a parte cognitiva, a reação, a sensibilidade de cada indivíduo, e as diferenças antropométricas da cabeça, além da movimentação da pessoa que modifica a distância da fonte, fazendo variar o nível da pressão sonora que chega até a orelha.

E por derradeiro, cabe ressaltar que esta pesquisa atingiu os objetivos propostos, quais sejam, o de desenvolver um sistema para medir a atenuação de ruído apresentada pelos protetores auditivos em câmara acústica, e justificar o seu correto funcionamento através da comparação dos resultados de ensaios realizados pelo método subjetivo REAT em laboratório com o sistema de dois microfones pelo método objetivo em campo.

8.2 Recomendações para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros recomenda-se os seguintes pontos a serem pesquisados:

- estudar a aplicação de equipamentos portáteis para medir em campo a redução de ruído apresentada pelos protetores auditivos.
- estudar o uso de mini-microfones para os equipamentos propostos anteriormente, sem a necessidade de alterar os protetores auditivos para a sua instalação (dando continuidade ao capítulo 5 deste estudo).
- da área da ergonomia, faltam dados antropométricos em nível de Brasil. Os dados que possuímos são, principalmente a composição étnica de outros países.
- estudos e pesquisas relacionadas com o conforto e a comunicação dos protetores auditivos para o uso diário de oito horas, sob as condições climáticas de cada região e por atividade.
- desenvolver estudos com manequins para possibilitar medir a atenuação apresentada por protetores auditivos em laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] GERGES, Samir N.Y. **Ruído Fundamentos e controle**. Florianópolis: CBSSI, 1992.
- [2] CASALI, John G. Proteção Auditiva Visão Mundial. **Revista Proteção**, Porto Alegre, ed.79, p. 8-14, 1998.
- [3] BERGER, Elliott H. Hearing Protection The State of the Art (circa1990), and Research Priorities for the Coming Decade. **Sound and Vibration**, Indianapolis USA, 1991. p.8-14.
- [4] BERGER, E.H., Methods of measuring the attenuation of hearing protection devices. **Journal Acoustics Society of America**, USA, 1986. 79 (6) p. 1655-1687.
- [5] LIDA,Itiro. **Ergonomia Projeto e Produção**: São Paulo: ed. Blücher,1997.
- [6] WOODSON, Wesley E. **Human Factors Design Handbook**: USA: Mcgraw-Hill Book Company, 1981.
- [7] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, USA. ANSI S12.6-97:
Methods for Measuring the Real-Ear Attenuation of Hering Protectors.
USA,1997.

[8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Genève.

ISO 4869-1 /1990: **Acoustics Hearing Protectors. Part 1. Subjective Method for the Measurement of Sound Attenuation.** Suíça, 1990.

[9] BERGER, Elliott H. & Nixon, Charles W. Hearing Protection Devices. In: CYRIL M. HARRIS. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control** USA : Acoustical Society of America. 1998. p. 21.1-21.14.

[10] CASALI, John G. **Curso Internacional sobre Proteção Auditiva.** São Paulo. 1996. 165 p.

[11] CASALI, John G., BERGER, Heliott H. Technology Advancements in Hearing Protection circa 1995: Active Noise Reduction, Frequency/Amplitude-Sensibility, and Uniform Attenuation. **American Ind. Hygiene Assoc. Journal**, USA, 1996. p.175-185.

[12] BÉKÉSY, Georg von. **Experiments in Hearing.** USA : Ed. McGraw-Hill Book Company Inc., 1960. 745 p.

[13] TOLHURST, Gilbert C. NERBONNE G. Patrick Hearing Protector Evaluation in na Audiometric Testing Room. **Sound and Vibration**, USA, October 1983. p.20-22.

[14] CASALI, John G. MAUNEY, Daniel W., BURKS, J. Alton. Physical vs.

Psychophysical Measurement of Hering Protector Attenuation – a k. a

MIRE vs. REAT. **Sound and Vibration**, USA, July 1995. p.20-27.

- [15] CASALI, JOHN G., LAM, Siu T. Effects of User Instructions on Earmuff/Earcap Sound Attenuation. **Sound and Vibration**, USA, may 1986. p.22-28.
- [16] HIRSCHORN, Martin., SINGER, Ellis. Reverberation Time Descriptors for Audiometric Testing Environments. **Sound and Vibration**, USA, December 1989. p.24-26.
- [17] GOFF, Richard J., BLANCK William J. A Field Evaluation of MUFF Type Hearing Protection Devices. **Sound and Vibration**, USA, October 1984. p.16-22.
- [18] CASALI, JOHN G., PARK, Min-Yong. Laboratory versus Field Attenuation of Selected Hering Protectors. **Sound and Vibration**, USA, October 1991. p.28-38.
- [19] LEMPERT, Barry L. Compedium of Hering Protection Devices. **Sound and Vibration**, USA, May 1984. p.26-39.
- [20] JONES, Dylan M. , BROADBENT, Donald E. Human Performance and Noise. In: CYRIL M. HARRIS. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control USA**: Acoustical Society of America. 1998. p.24.1-24.23.
- [21] JANSEN, Gerd. Physiological Effects of Noise. In: CYRIL M. HARRIS. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control USA**: Acoustical Society of America. 1998. p.25.1-25.19.

- [22] BERGER, Elliott H. **E-A-Rlog2**, Single Number Measures of Hearing Protector Noise Reduction.
...**E-A-Rlog1**, The Threshold Shift Method of Measuring Hearing Protector Attenuation.
... **E-A-Rlog17**, Infecção Auditiva e o uso do Protetor. Revista da SOBRAC nº 12, junho 1993.
- [23] ALLEN, Nancy K. Real-ear Attenuation Testing System (RATS). Relatório **Armstrong Laboratory**, Ohio USA, January 1991. 48 p.
- [24] BERGER, Elliott H. Motivando os Trabalhadores a Usar Dispositivos de Proteção Auditiva. **Revista da SOBRAC**, nº 11. Out. 1992. p.02-08.
- [25] CASALI, John G. , ROBINSON, Gary S. A reverberant Computer-Controlled Facility for Hearing Protection Research and Attenuation Testing. **Virginia Tech**, Blacksburg, USA, May 1992.
- [26] BERGER, Elliott H. , KIEPER, Ronald W. Manual for Calibration of the Cabot Safety Corporation. **E-A-RCAL Acoustical Laboratory**, Indianapolis, USA, Nov. 1991.
- [27] BAUMAN, Kathleen., MARSTON, Larry E. Effects of Hearing Protection on Speech Intelligibility in Noise. **Sound and Vibration**, USA, October 1986. p.12-14.
- [28] ROYSTER, Larry H. Recommendations for the Labeling of Hearing Protectors. **Sound and Vibration**, USA, July 1995. p. 16-19.
- [29] GENUIT Klaus , BURKHARD Mahlon. Artificial Head Measurement Systems for Subjective Evaluation of Sound Quality. **Sound and Vibration**, USA, Mar. 1992. p. 18-23.
- [30] NIOSH. Occupational Noise Exposure. **U.S. Department of Health and**

Human Services, USA, June 1998. 105 p.

[31] CASALI John G., GRENELL James F. Noise-Attenuating Earmuff Comfort: A Brief Review and Investigation of Band-Force, Cushion, and Wearing-Time Effects. **Applied Acoustics**, USA, (29).1990 p.117-138.

[32] CASALI, JOHN G., PARK, Min-Yong. Effects of Work conditions simulated in a Laboratory environment and wearer fit on attenuation of slow-recovery foam earplugs. **Journal of Sound and Vibration**, USA, (143-1). 1990. p.153-165.

[33] CASALI, JOHN G., PARK, Min-Yong. Attenuation Performance of Four Hearing Protectors under Dynamic Movement and Different User Fitting Conditions. **Human Factors**, USA, (32-1). 1990. p.9-25.

[34] PARK, Min-Yong , CASALI, John G. An Empirical Study of Comfort Afforded by Various Hearing Protection Devices: Laboratory versus Field Results. **Applied Acoustics**, USA, 1991. p.151-179.

[35] PARK, Min-Yong , CASALI, John G. A Controlled Investigation of In-Field Attenuation Performance of Selected Insert, Earmuff, and Canal Cap Hearing Protectors. Human Factors, USA, (33-6) 1991. p.693-714.

[36] REVISTA ACÚSTICA E VIBRAÇÕES. SOBRAC. Florianópolis, n. 23, jul. 1999.

[37] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, USA. ANSI Z24.22-1957: **Method for the Measurement of the Real-Ear Attenuation of Ear**

Protectors at Threshold. USA, 1957.

[38] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE,
USA. ANSI S3.19-

1974: **Method for the Measurement of Real-Ear Protection of Hearing
Protectors and Physical Attenuation of Earmuffs.** USA, 1974.

[39] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE,
USA. ANSI S12.6/84:

**Method for the Measurement of Real-Ear
Attenuation of Hearing
Protectors.** USA, 1984.

[40] RIFFEL, Germano, GERGES, Samir. Qualificação de câmara acústica para
ensaio subjetivo de protetores auditivos. In: 1º CONGRESSO
IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1998, Florianópolis. **Anais FIA.**
Florianópolis: SC, 1998, p.559-562.

[41] Dias, Roberto A. **Implementação de um sistema computadorizado para
avaliação da atenuação de ruído dos protetores auditivos.**
Florianópolis: 1996. 171p. Dissertação de Mestre. PPGEM, Universidade
Federal de Santa Catarina, 1996.

[42] RIFFEL, Germano, BENEDETTI, Marco A. GERGES, Samir N.Y.
Rotinas para o controle automático dos testes da atenuação de Ruído
de protetores auditivos. In: XIX ENCONTRO DA SOBRAC, 2000. Belo
Horizonte. **Anais SOBRAC.** Belo Horizonte MG, 2000, p.363-368.

[43] MAUNEY, D. W. **Investigation of physical and psychophysical**

methods for the attenuation measurement of circumaural hearing protectors with implications for field use. Blacksburg, Virginia USA: VTI 1994. 214p. Tese. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.1994.

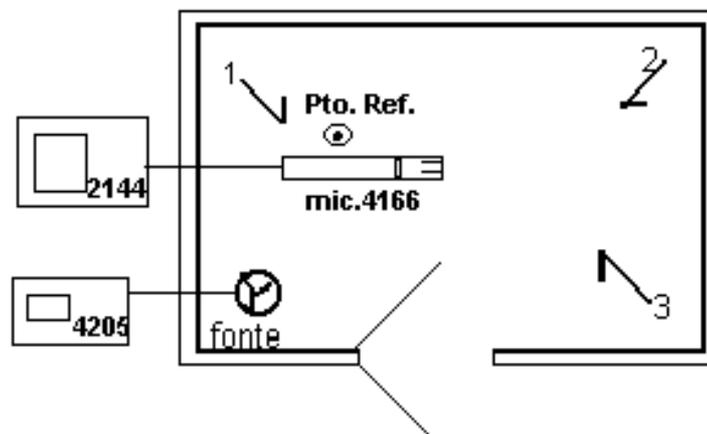
ANEXO A

ANEXO A01 - Tempo de reverberação (TR)

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Analisador de tempo real (RTA) 2144 da B&K com o software 7667
 - Microfone de incidência aleatória, tipo 4166 da B&K
- Gerador de ruído (Sound Power da B&K tipo 4205 e HP 1001)
 - Ruído rosa e nível de potência sonora de 90 dB
 - Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228
 - Software da B&K 5306

Croqui da montagem dos equipamentos, pontos e direção do microfone.



Câmara reverberante do LARI (vazia) – o RTA 2144 e o gerador 4205, externo a câmara

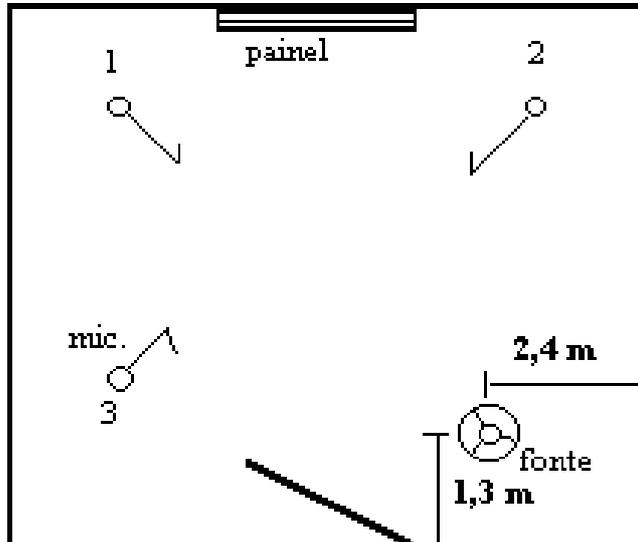
ANEXO A02 - Painéis vibrantes

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Analisador de tempo real (RTA) da B&K tipo 2144/7667
- Microfone de pressão da B&K tipo 4166
- Sound Power Source da B&K tipo 4205
 - ruído rosa
 - 1/3 de oitava
- Sound Source da B&K tipo HP 1001
- Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228
- Programa da B&K número 5305

Croqui com a posição e direção dos microfones, e o painel.

medidas internas: 7,39 x 7,39 x 2,63[m]



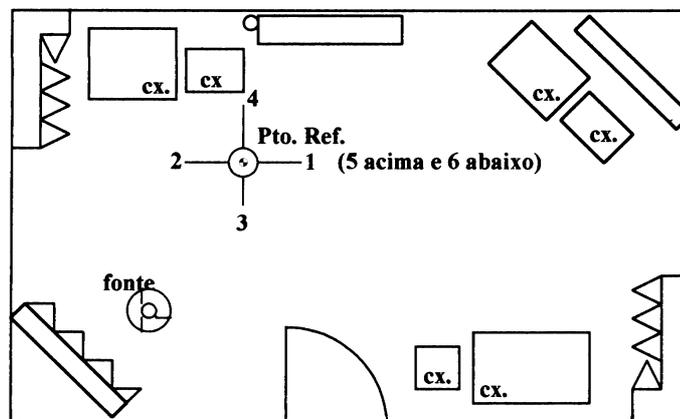
Câmara reverberante do LVA – o RTA 2144 e o gerador 4205, externo a câmara.

ANEXO A03 – Uniformidade do campo sonoro

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Analisador de tempo real (RTA) da B&K tipo 2144 com 7667
- Microfone de campo livre e incidência a 0°, da B&K tipo 4165
- Pré-amplificador da B&K tipo 2639
- Gerador de ruído, da B&K tipo 4205 - Ruído rosa
- Sound source da B&K tipo HP 1001
- Cruzeta de madeira (com 30 cm entre pontas) figura 4.7
- Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228

Croqui da parte baixa da câmara, e o ponto de referência. Os equipamentos de medição encontram-se externos a câmara.



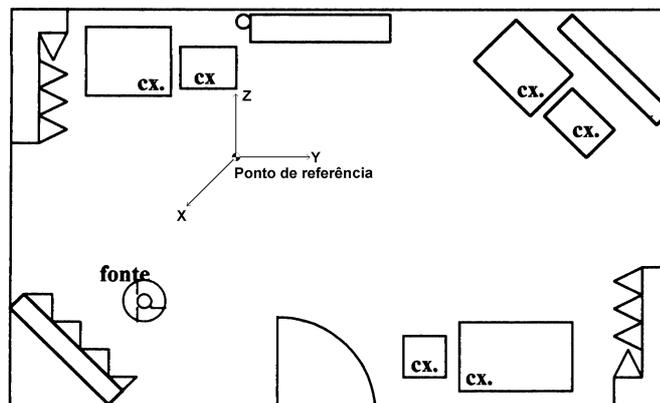
Câmara acústica do LARI - o RTA 2144 e o gerador 4205, externo a câmara.

ANEXO A04 – Diretividade do campo sonoro

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Analisador de tempo real (RTA) da B&K tipo 2144 software 7667
 - Microfone cardióide da LeSon modelo MP66
 - Gerador de ruído, da B&K tipo 4205– ruído rosa
 - Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228
 - 3 caixas sonoras Selenium + 3 caixas sonoras da JBL
 - Dispositivo para rotacionar o microfone em 360°, com escala
- (figura 4.11).

Croqui com o ponto de referência, sendo os equipamentos de medições instalados na parte externa da câmara.



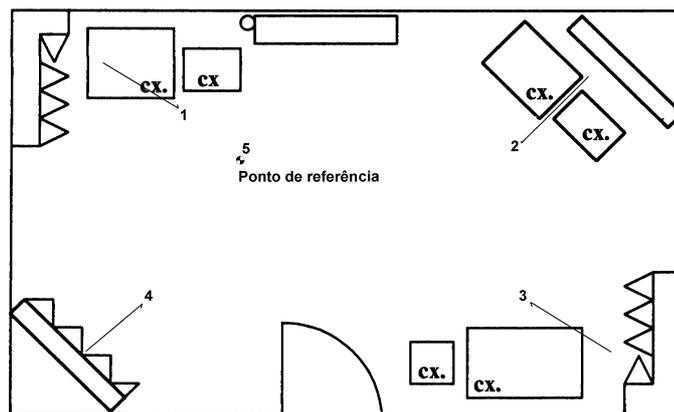
Câmara acústica do LARI - o RTA 2144 e o gerador 4205, externo a câmara

ANEXO A05 – Ruído de fundo

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Microfone capacitivo de 1" da B&K tipo 4179
- Pré amplificador da B&K tipo 2660
- Amplificador de medidas da B&K tipo 2636
- Filtro de bandas de oitava da B&K tipo 1617
- Analisador de tempo real (RTA) da B&K tipo 2144 software 7667
- Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228 (250 Hz e 124 dB)
- Software da B&K número 5306
- 6 caixas acústicas, sendo 3 da Selenium e 3 da JBL
- Audiômetro AC-40 da Interacoustics.
- Amplificador de potência AP-70 da Interacoustics.

Croqui posição e direção do microfone. Os equipamentos de medição foram instalados na parte externa da câmara.



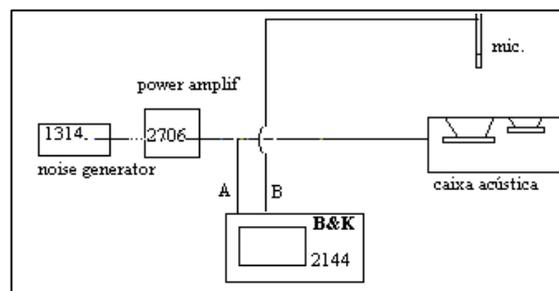
Câmara acústica do LARI – equipamentos externos: AC-40, AP-70, B&K 1617 e B&K 2636.

ANEXO A06 - Caixas acústicas (CRF)

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Analisador de tempo real (RTA) com dois canais da B&K tipo 2144
- Gerador de ruído - Noise generator da B&K tipo WB 1314
- Filtro de 1/3 de oitava da B&K tipo 1716
- Amplificador de potência (PA) da B&K tipo 2706
- Microfone de incidência aleatória e pressão, da B&K tipo 4166
- Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228
- Caixas acústicas da JBL e Selenium (três de cada)
- Programa software matemático
- Programa da B&K número 5306.

Croqui do diagrama da montagem dos equipamentos dentro da câmara.



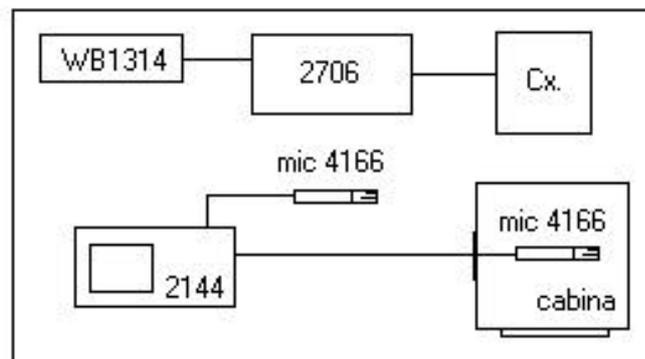
Câmara semi-aneecóica do LVA – todos equipamentos dentro da câmara como figura 4.14.

ANEXO A07 – Cabina audiométrica

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Analisador de tempo real (RTA) com dois canais da B&K tipo 2144
- Gerador de ruído - Noise generator da B&K tipo WB 1314
- Amplificador de potência (PA) da B&K tipo 2706
- 2 (x) microfones de incidência aleatória e pressão, da B&K tipo 4166
- Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228
- 1 x caixa acústica marca Selenium

Croqui da parte baixa da sala, e montagem dos equipamentos.



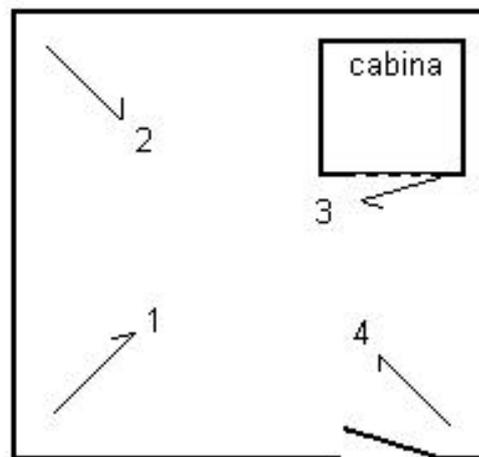
Local: sala do LARI onde se encontra a cabina audiométrica

ANEXO A08 – Ruído de fundo na sala da cabina audiométrica

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Microfone capacitivo de 1" da B&K tipo 4179
- Pré-amplificador da B&K tipo 2660
- Amplificador de medidas da B&K tipo 2636
 - Filtro de bandas da B&K tipo 1617
 - Analisador de tempo real (RTA) da B&K tipo 2144
 - Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228 (250 Hz e 124 dB).

Croqui da parte baixa da sala, e posição e direção do microfone.



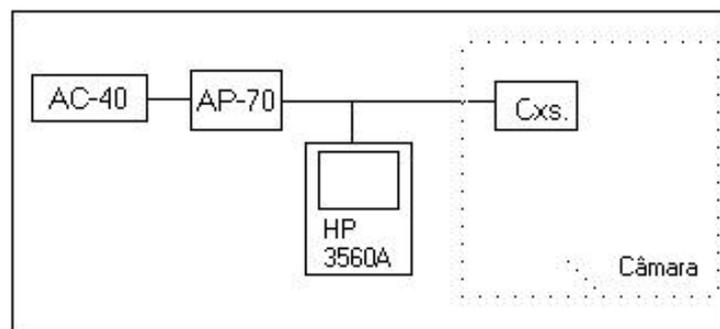
Sala em que se encontra instalada a cabina audiométrica e quatro posições do microfone.

ANEXO A09 – Aquisição do sinal pulsado

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- 6 caixas acústicas, sendo 3 da Selenium e 3 da JBL
- Audiômetro modelo AC-40 da Interacoustics
- Amplificador de potência AP-70 da Interacoustics
- Analisador de tempo real da HP modelo 3560A.

Croqui da montagem dos equipamentos.

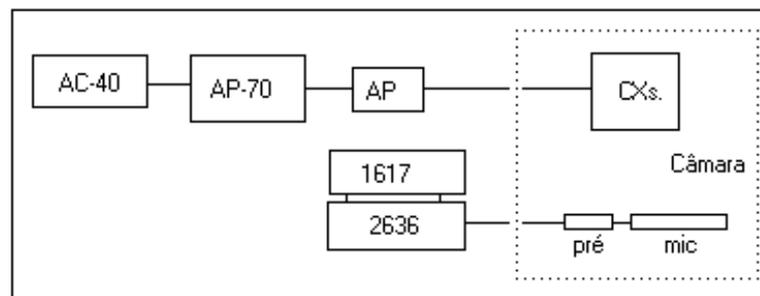


Câmara reverberante do LVA – AC-40 AP-70 e RTA HP 3560 A, externo a câmara

Equipamentos e croqui da montagem usada em medições:

- Microfone capacitivo de 1" da B&K tipo 4179
 - Pré amplificador da B&K tipo 2660
- Amplificador de medidas da B&K tipo 2636
- Filtro de bandas de oitava da B&K tipo 1617
- Calibrador pistãofone da B&K tipo 4228 (250 Hz e 124 dB)
- 6 caixas acústicas, sendo 3 da Selenium e 3 da JBL
- Audiômetro AC-40 da Interacoustics.
 - Amplificador de potência AP-70 da Interacoustics.
 - Atenuador passivo (AP).

Croqui da montagem dos equipamentos, dentro e fora da câmara.



Câmara reverberante do LVA acusticamente preparada – AC-40, AP-70, AP, filtros 1617 e 2636 instalados externos a câmara e as caixas, o pré e o microfone dentro da câmara.

ANEXO A11 – Verificação dos dosímetros

Equipamentos e foto com a posição dos aparelhos durante as medições:

- Medidor do nível de pressão sonora (SLM) da B&K tipo 2230
- Gerador de ruído – Noise generator da B&K tipo 1049
- Amplificador de potência (PA) da B&K tipo 2706
- Calibrador pistãofone B&K tipo 4228 (124 dB a 250 Hz)
- Dosímetros marca Quest modelo M-28
- Calibrador marca Quest modelo QC-10 (114 dB – 1000 Hz)
- Câmara semi-aneecóica do LVA
- Uma caixa acústica



Dosímetros e medido do nível de pressão sonora, e os microfones na mesma distancia da fonte, dentro da câmara semi-aneecóica do LVA.

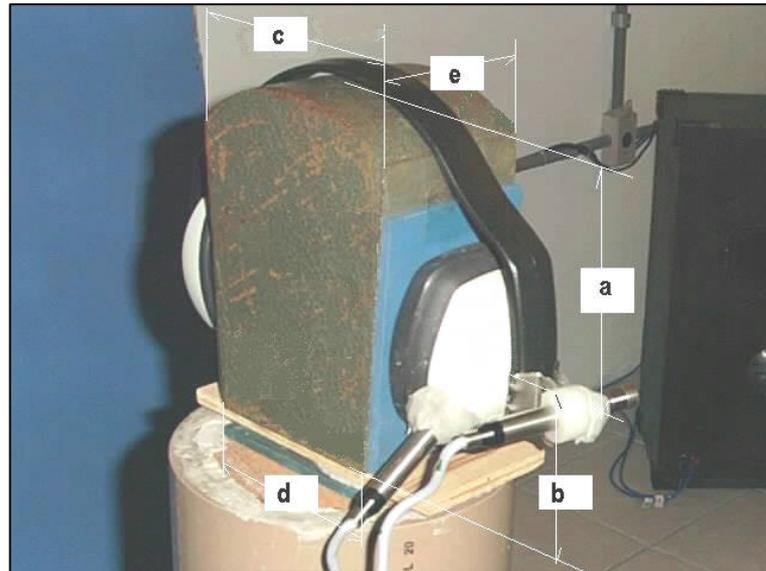
ANEXO A12 – Equipamentos usados nos testes com dois microfones.

- Analisador de tempo real (RTA) 2144 da B&K.
 - Microfones de campo livre, tipo 4165 da B&K
- Gerador de ruído (Sound Power da B&K tipo 4205 e HP 1001)
 - Calibrador da B&K tipo 4230.
 - Osciloscópio marca Iwatsu modelo SS-5702.

Os equipamentos foram instalados dentro da câmara acústica do LARI ou LVA. Nos ensaios em campo uso-se, o analisador, os microfones e o calibrador.



Foto de medição com dois microfones no manequim, dentro da câmara do LARI



medidas referendadas na norma ANSI S3.19/74 (suplemento)

Material: ferro fundido - maciço, com pintura.

Peso: 17,6 kg

Medidas: $\varnothing_{\text{furo para o microfone}} = 12,7\text{mm}$

a = 120mm

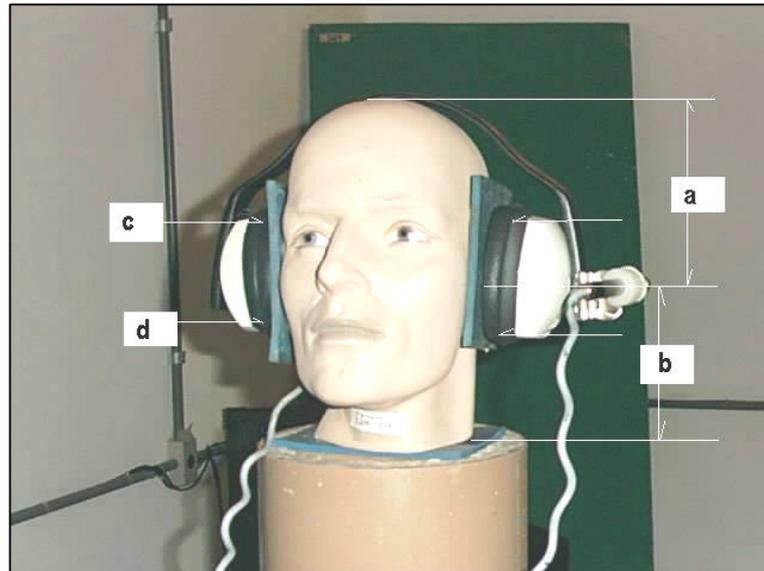
b = 78mm

c = 141mm

d = 118mm

e = 99,3mm

ANEXO A14 – Especificações da cabeça artificial do manequim.



Material: gesso - oco com espessura média de 25mm, com pintura.

Peso: 4,34 kg

Medidas: $\varnothing_{\text{furo para o microfone}} = 12,7\text{mm}$

a = 129,65mm

b = 120,35mm

c = 142mm

d = 129mm

ANEXO A15 – Especificações do protetor tipo concha usado nos ensaios.



Fabricante: MSA (Brasil)

Modelo: Mark V

Peso do conjunto: 247g

Material da concha: poliestireno

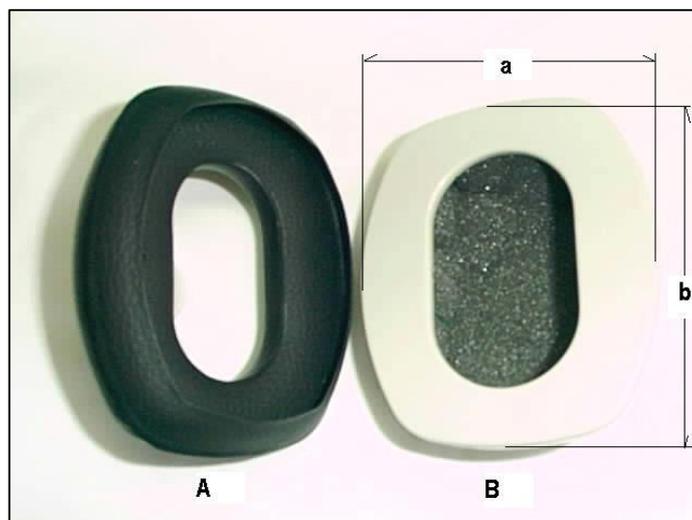
Densidade: $> 1 \text{ g/cm}^3$

Volume da concha: com almofada = 185ml

sem almofada = 130ml

Forro interno: espuma - espessura: 9mm

Almofada espessura = 16mm



Medidas externas da concha : $a = 82\text{mm}$ $b = 96\text{mm}$ profundidade =
43mm

Medições da força do arco (protetores novos, sem uso)

Local: LARI

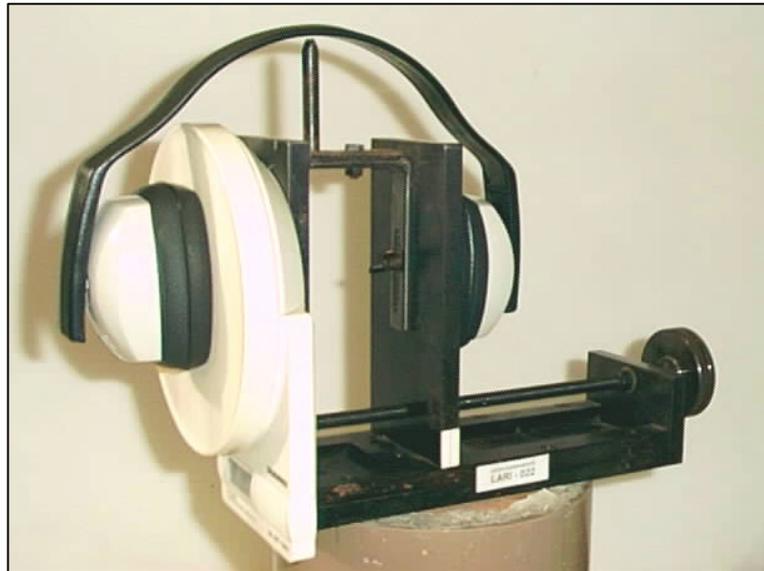
Equipamento para medir a força de arco (foto):

Distância entre base das almofadas: 143,5mm

Balança: marca Soehule

Tempo: até estabilizar o valor no visor digital da balança.

Força do arco: (valor médio de 10 protetores) = 10,2 N



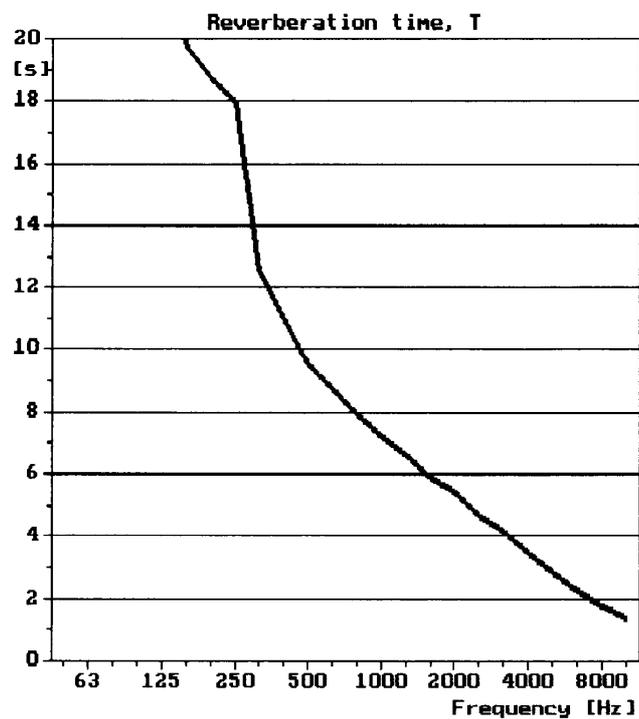
Dispositivo para medir a força do arco.

ANEXO B

B1-Tempo de reverberação, medido na câmara reverberante do

UFSC LVA	Report no. : rever200 Meas. no. : 201/209 Measure date: 20/09/96 Signed :
Ordered by: _____ Germano Riffel Julio cordioli	Place: _____ Sala Vazia

Frequency [Hz]	T [s]
100	21.20
125	22.00
160	19.70
200	18.70
250	18.00
315	12.6
400	11.0
500	9.6
630	8.7
800	8.0
1000	7.2
1250	6.6
1600	5.9
2000	5.5
2500	4.7
3150	4.2
4000	3.5
5000	2.8
6300	2.3
8000	1.8



Reverberation Time Comments: _____

LVA vazia.

**B2-Tempo de reverberação, medido na câmara reverberante do LVA,
com placa de 100 Hz.**

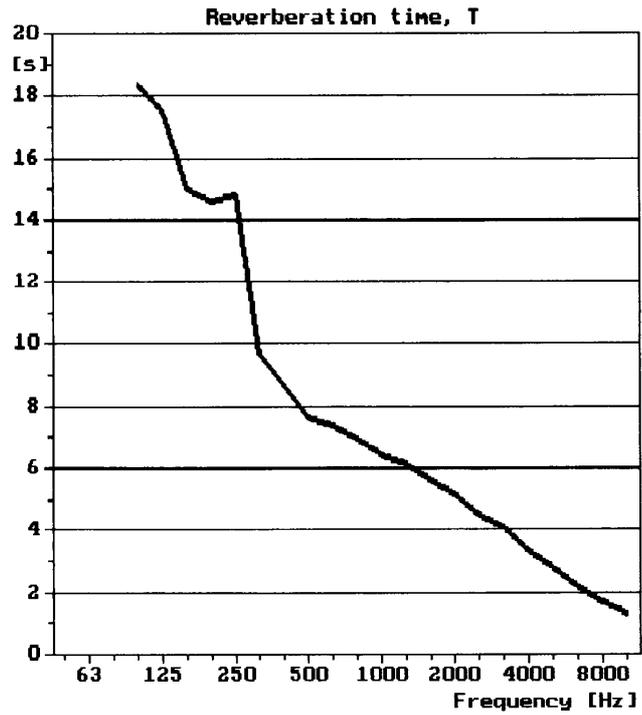
UFSC
LVA

Report no. : Rever100
Meas. no. : 101/109
Measure date: 20/09/96
Signed :

Ordered by: _____
Germano Riffel
Julio Cordioli

Place: _____
Placa 100 Hz

Frequency [Hz]	T [s]
100	18.4M
125	17.5
160	15.0
200	14.6M
250	14.8M
315	9.7
400	8.7
500	7.7
630	7.4
800	7.0
1000	6.4
1250	6.1
1600	5.6
2000	5.2
2500	4.5
3150	4.1
4000	3.4
5000	2.8
6300	2.2
8000	1.7



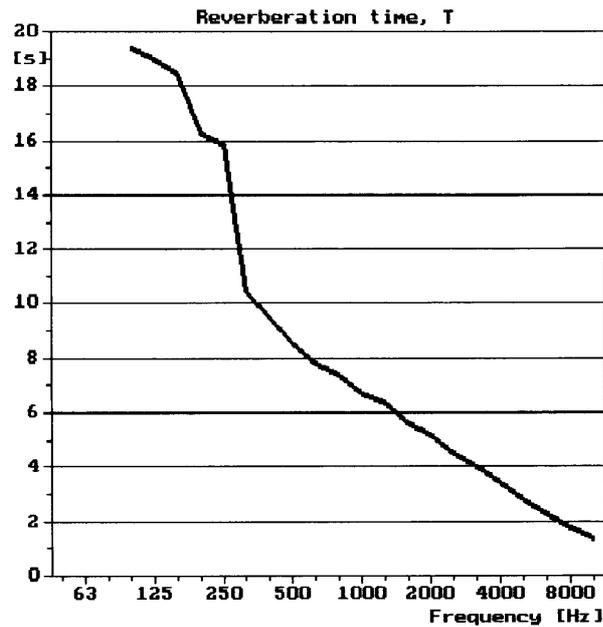
Reverberation Time Comments: _____

B3-Tempo de reverberação, medido na câmara reverberante do LVA, com a placa de 160 Hz.

UFSC LVA	Report no. : Rever500 Meas. no. : 501/509 Measure date: 23/09/96 Signed :
-------------	------------------------------------------------------------------------------------

Ordered by: _____ Germano Riffel Julio Cordioli	Place: _____ Placa 160 Hz
-------------------------------------------------------	------------------------------

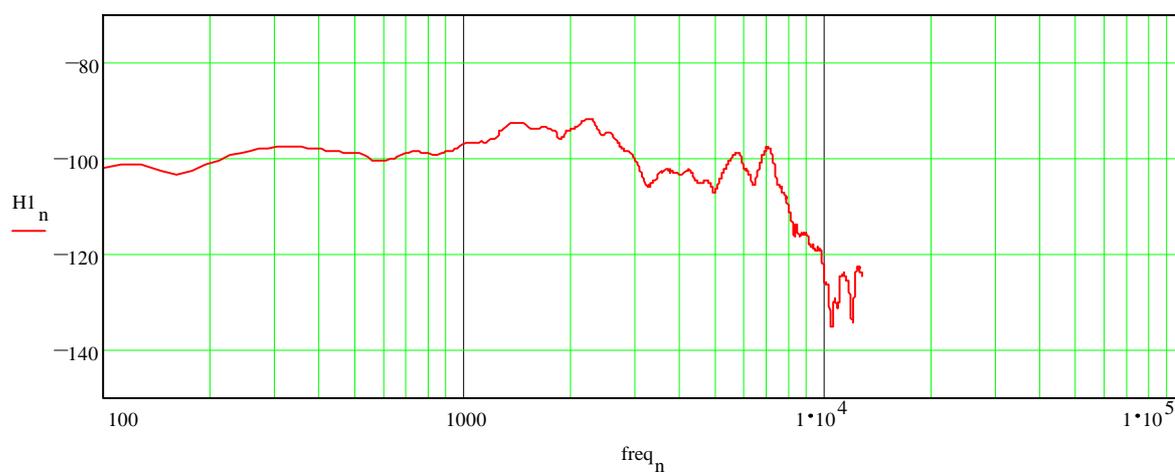
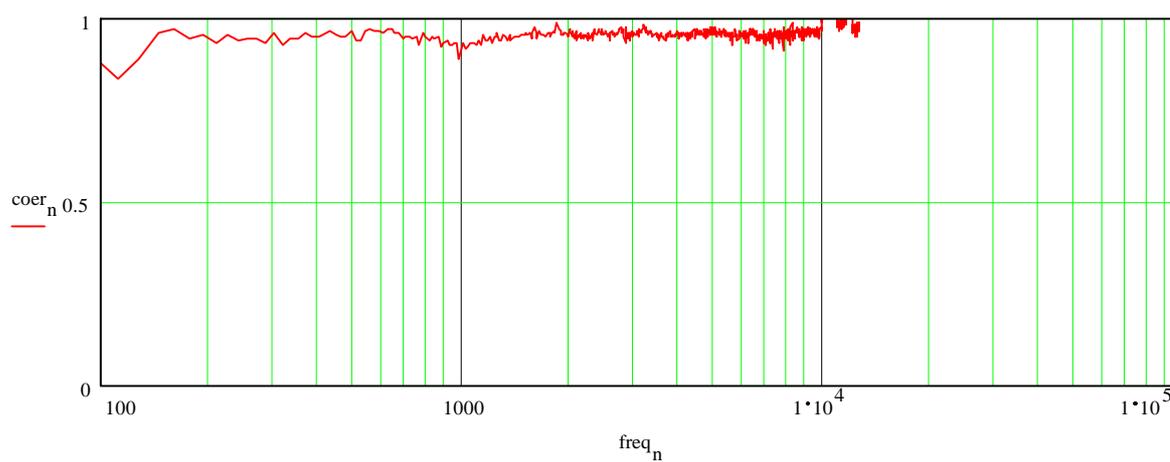
Frequency [Hz]	T [s]
100	19.40
125	19.00
160	18.40
200	16.2M
250	15.8M
315	10.5
400	9.5
500	8.5
630	7.8
800	7.4
1000	6.7
1250	6.3
1600	5.6
2000	5.2
2500	4.5
3150	4.1
4000	3.4
5000	2.8
6300	2.3
8000	1.8



Reverberation Time Comments: _____

ANEXO C

Do Capítulo 4, o gráfico A representa a Curva de Resposta em Freqüência (CRF) e B a Curva de Coerência da Caixa Acústica marca Selenium 'A'.

Curva de Resposta em Freqüência**Gráfico A****Curva de Coerência****Gráfico B**

Do Capítulo 4, o gráfico C representa a Curva de Resposta em Frequência (CRF) e D a Curva de Coerência da Caixa Acústica marca Selenium 'B'.

Curva de Resposta em Frequência

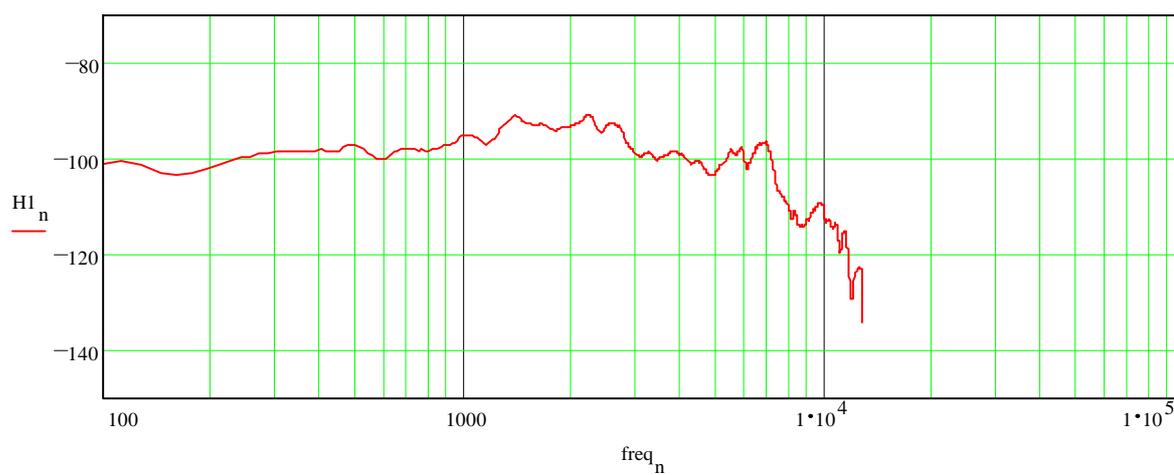


Gráfico C

Curva de Coerência

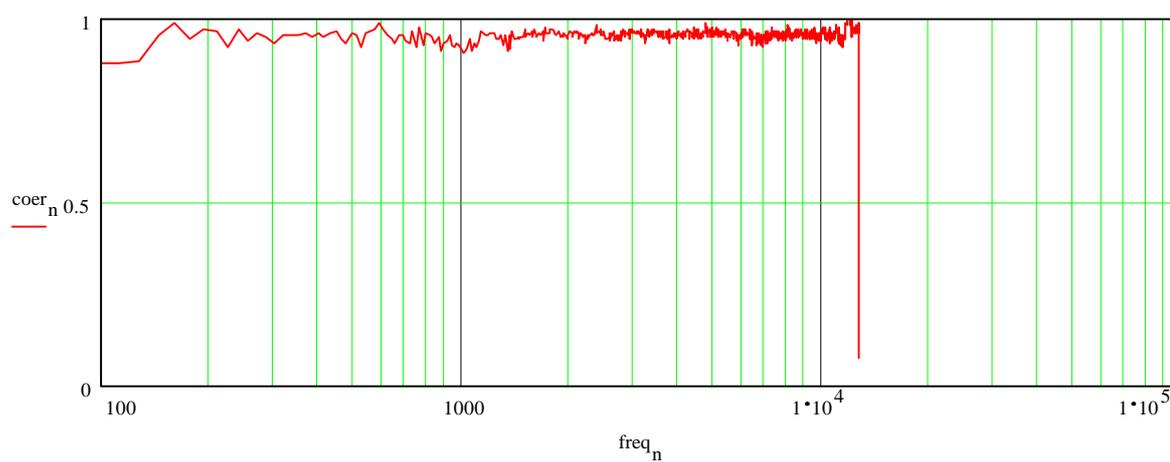
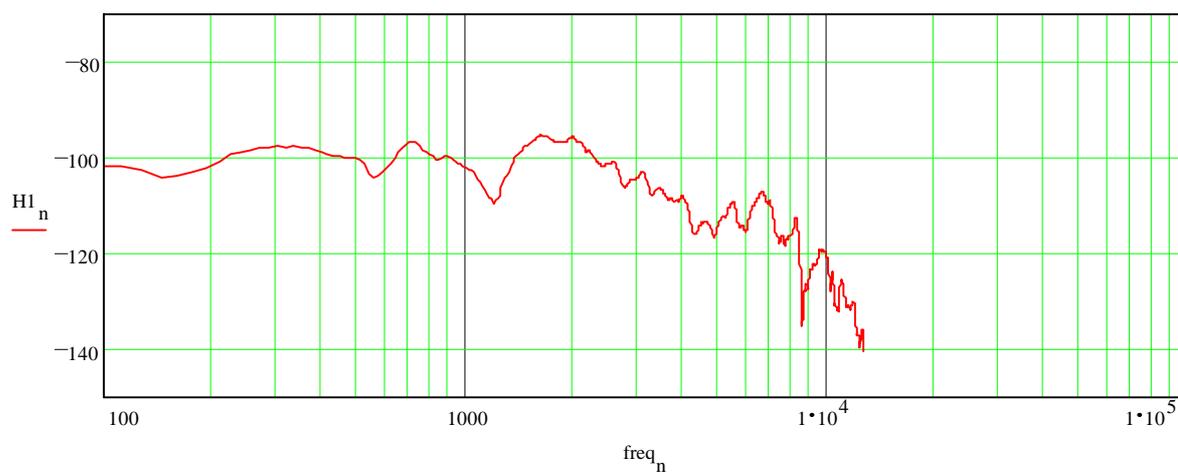
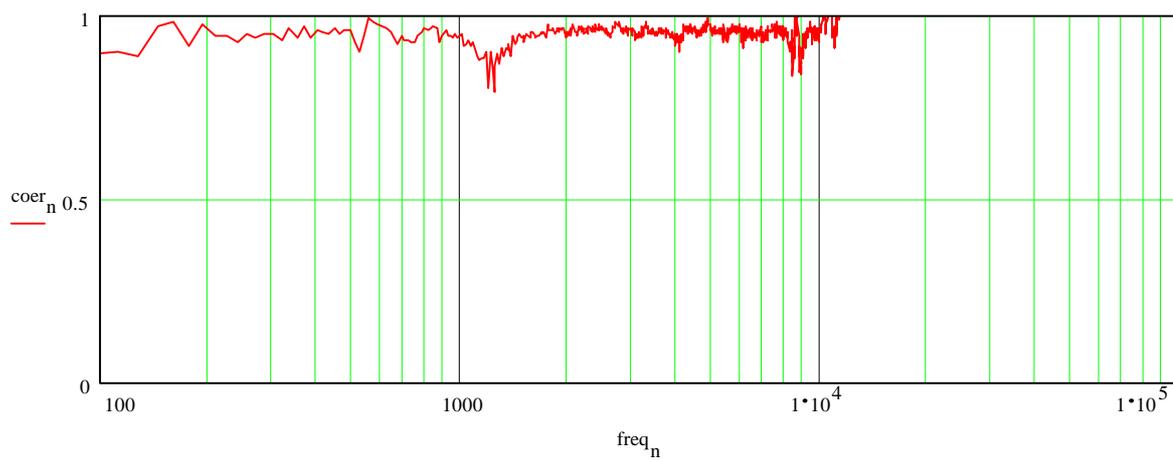


Gráfico D

ANEXO C

Do Capítulo 4 , o gráfico E representa a Curva de Resposta em Frequência (CRF) e F a Curva de Coerência da Caixa Acústica marca Selenium 'C'.

Curva de Resposta em Frequência**Gráfico E****Curva de Coerência****Gráfico F**

Do Capítulo 4, o gráfico G representa a Curva de Resposta em Freqüência (CRF) e H a Curva de Coerência da Caixa Acústica marca JBL '25'.

Curva de Resposta em Freqüência

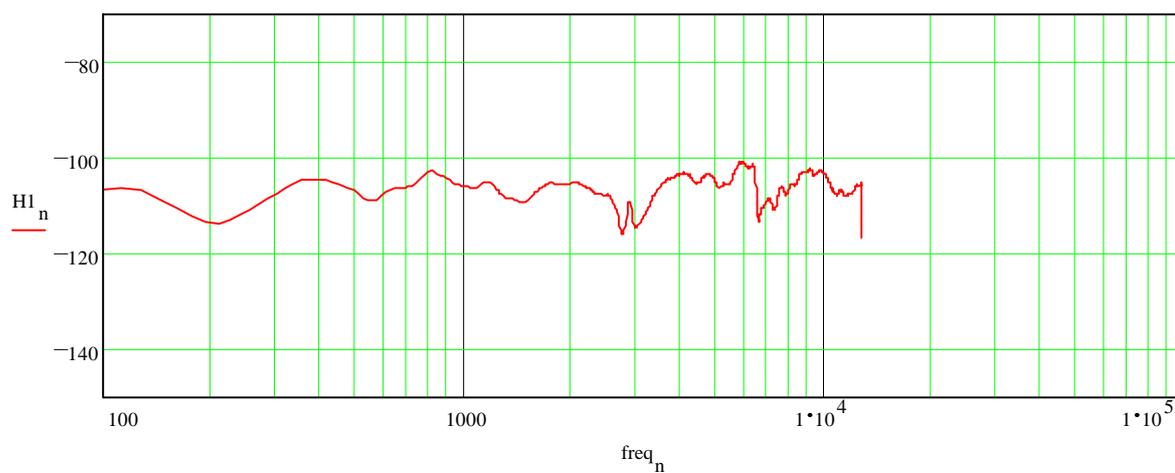


Gráfico G

Curva de Coerência

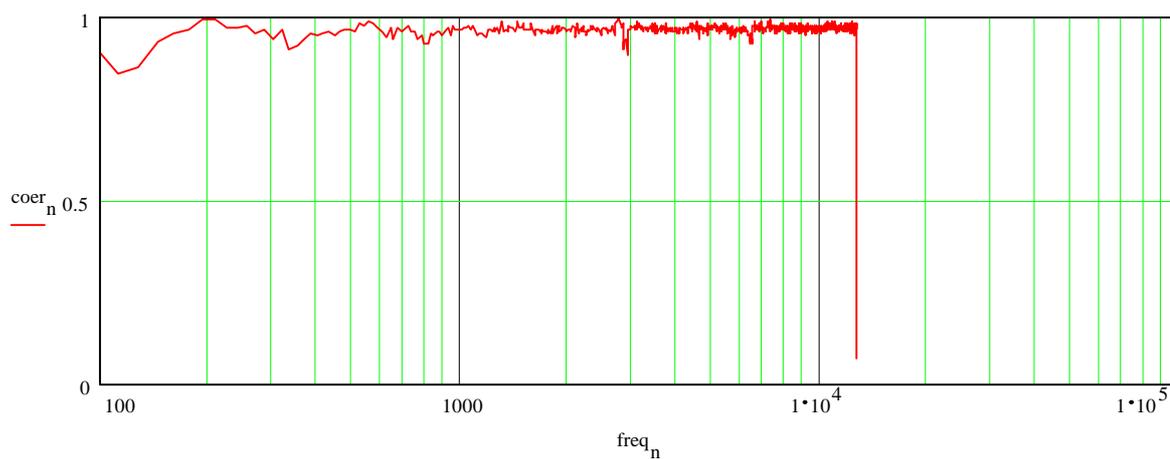


Gráfico H

Do Capítulo 4, o gráfico I representa a Curva de Resposta em Frequência (CRF) e J a Curva de Coerência da Caixa Acústica marca JBL '27'.

Curva de Resposta em Frequência

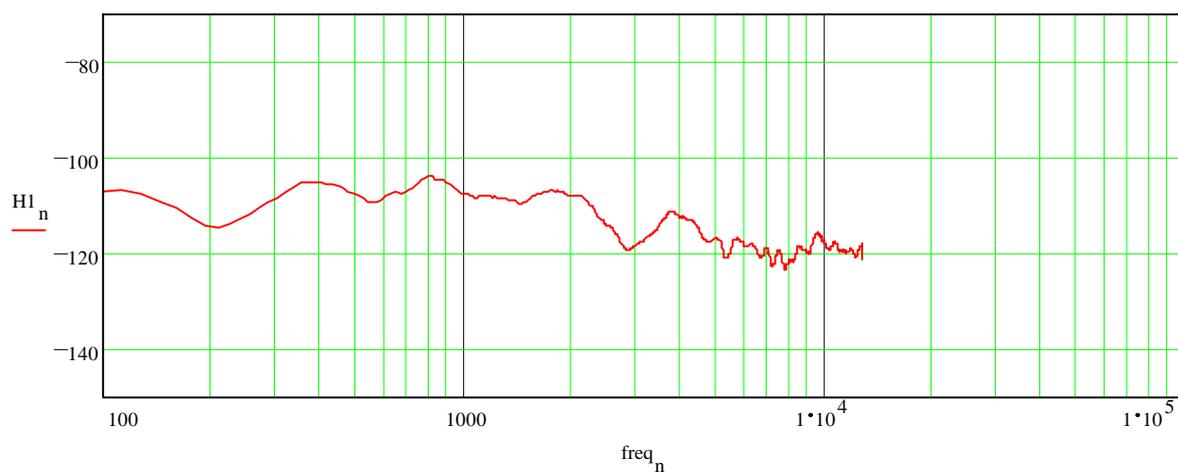


Gráfico I

Curva de Coerência

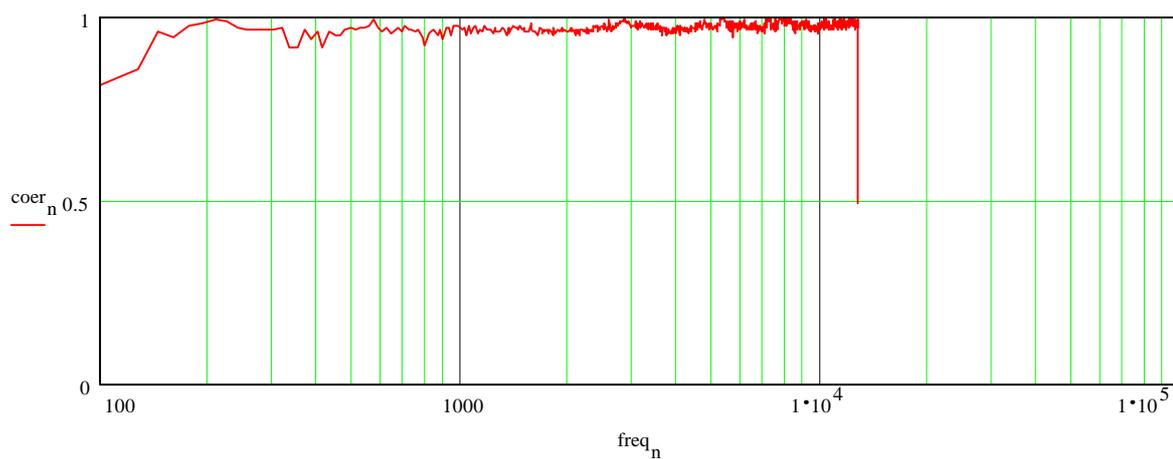


Gráfico J

Do Capítulo 4 , o gráfico K representa a Curva de Resposta em Freqüência (CRF) e L a Curva de Coerência da Caixa Acústica marca JBL '28'.

Curva de Resposta em Freqüência

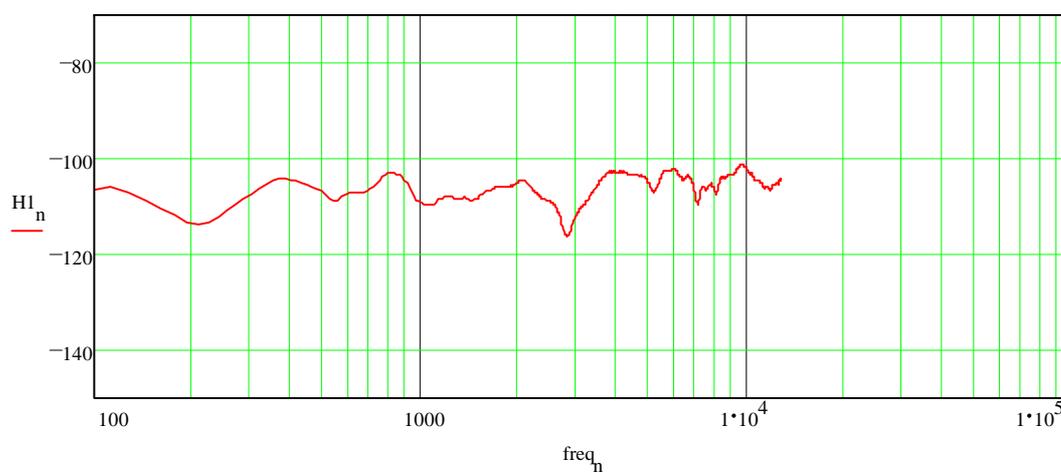


Gráfico K

Curva de Coerência

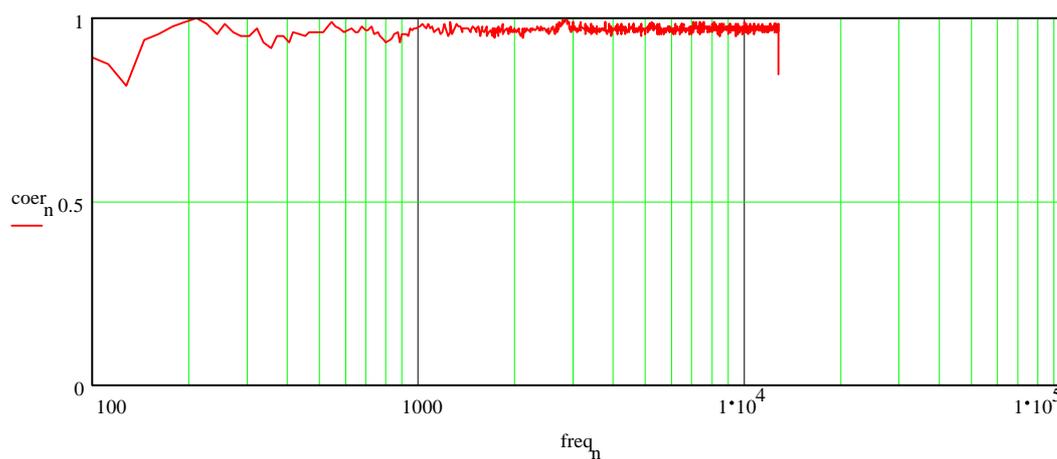
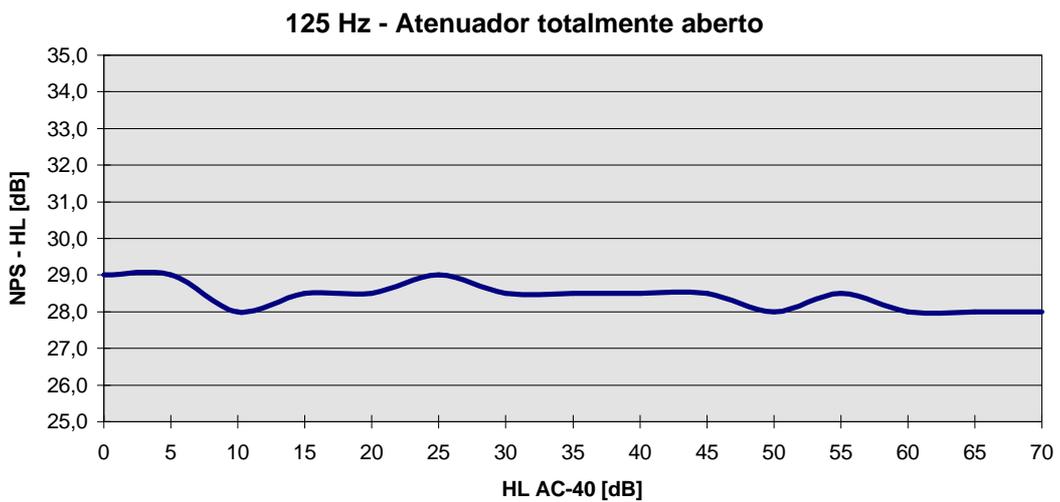
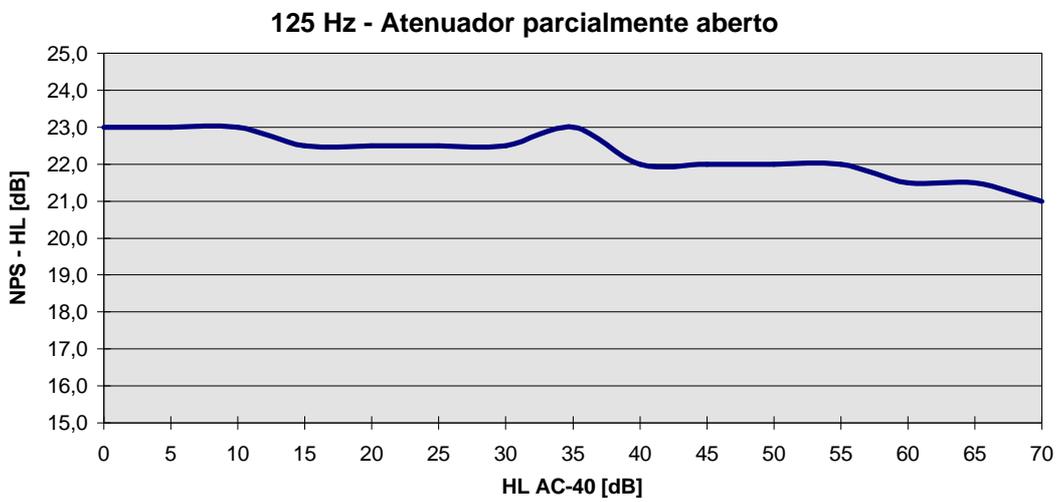
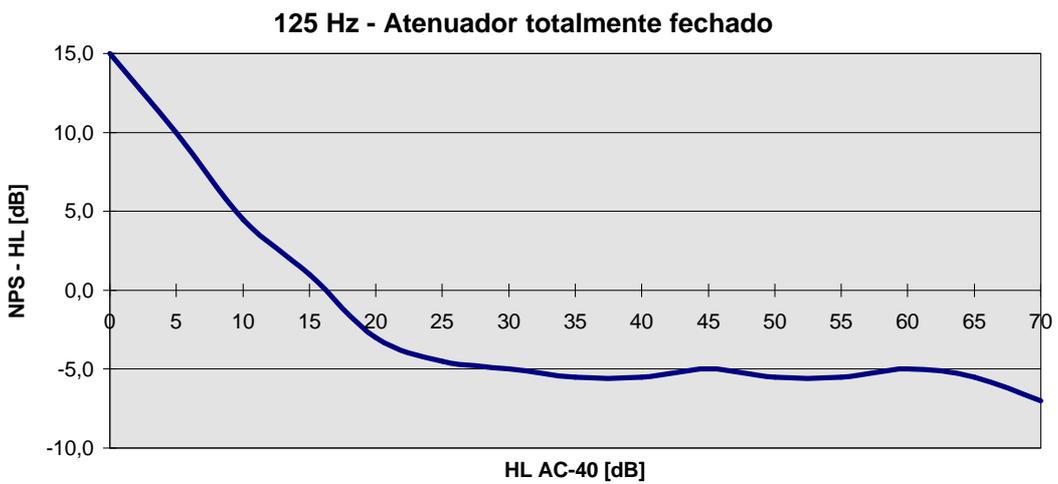
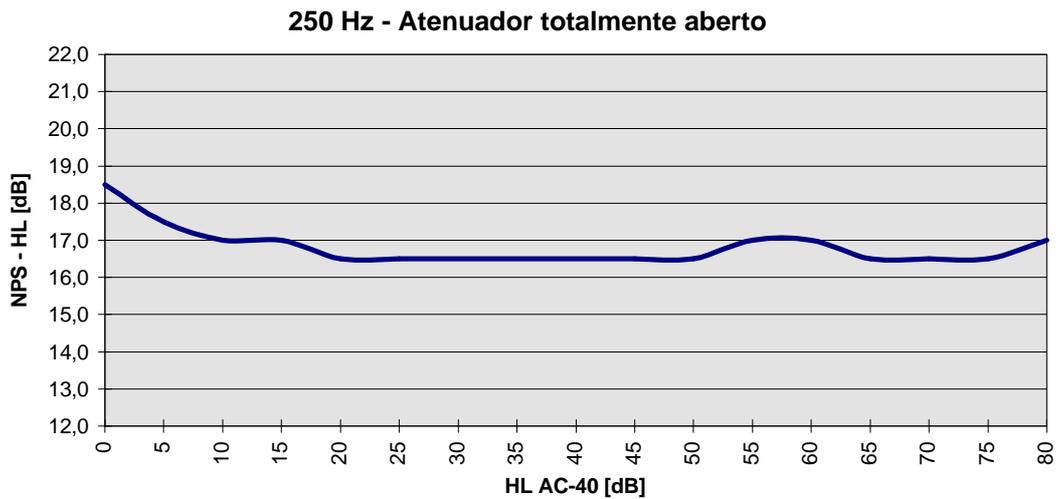
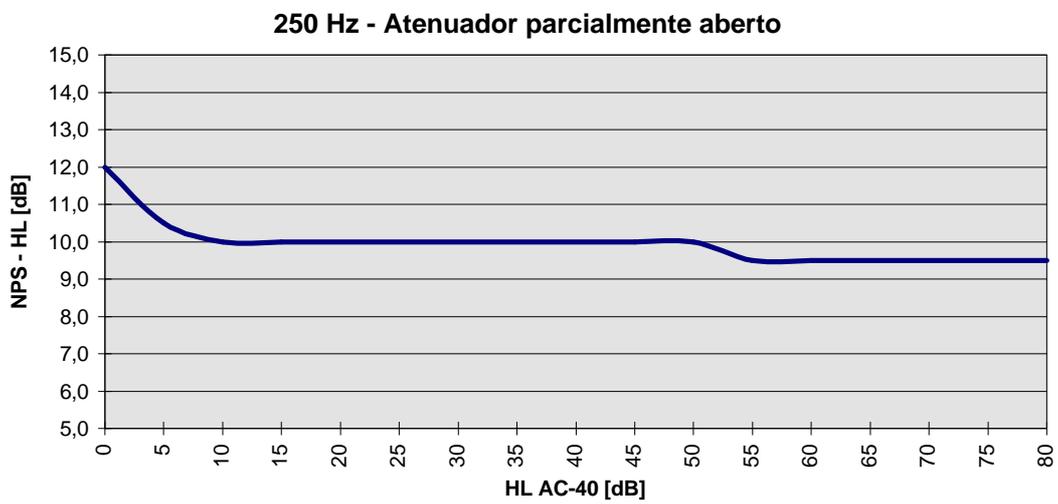
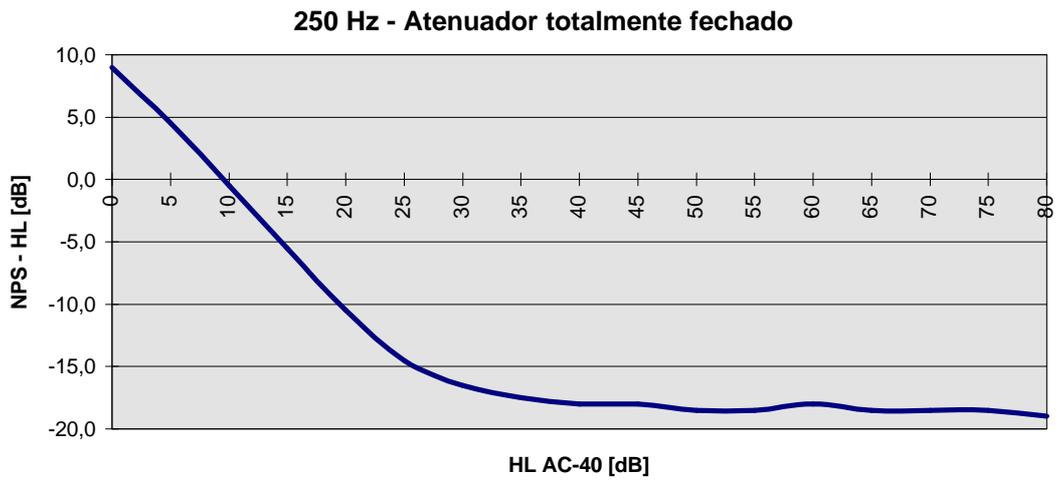


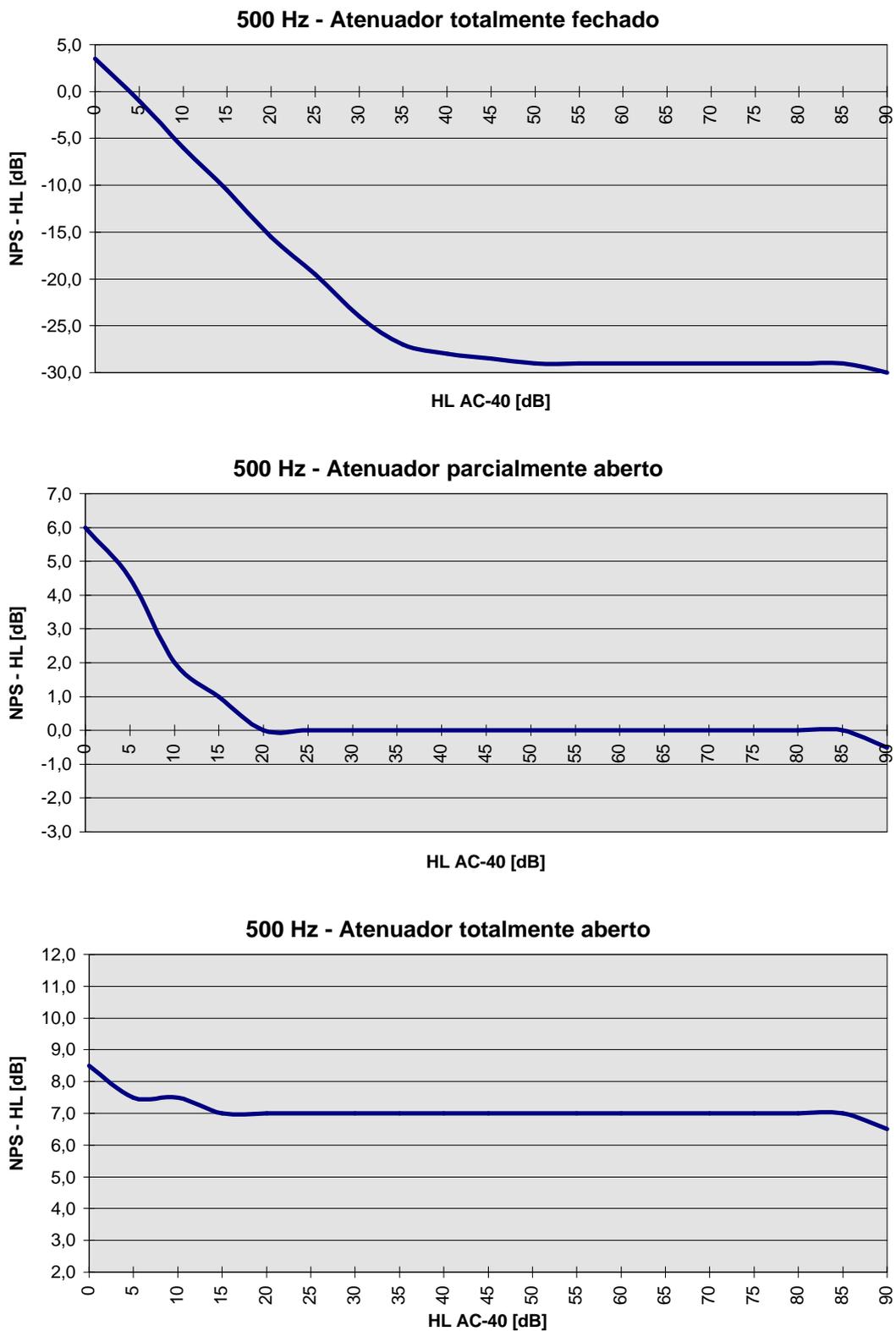
Gráfico L



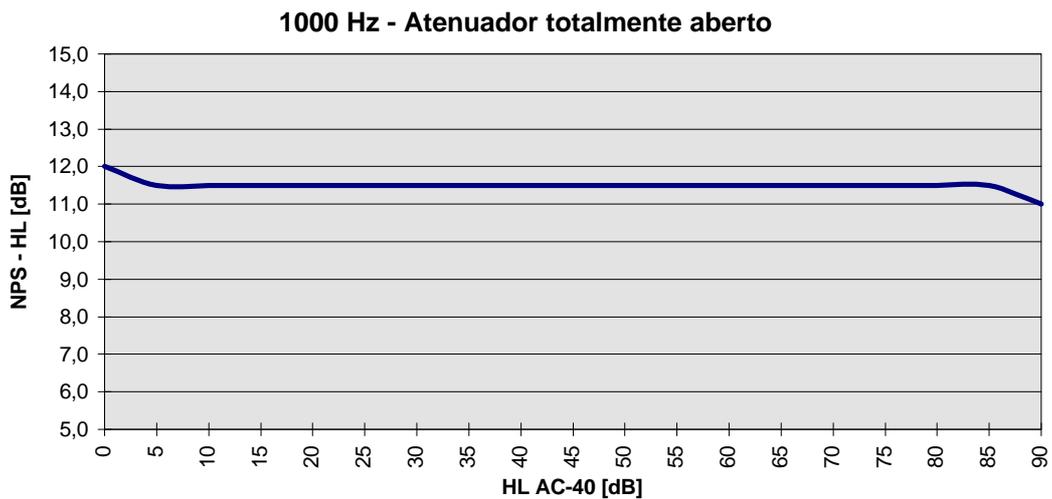
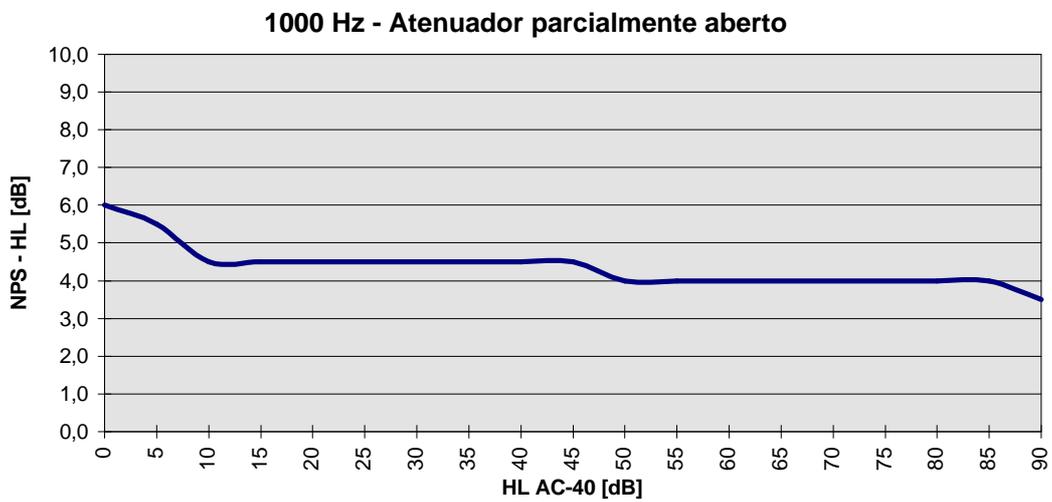
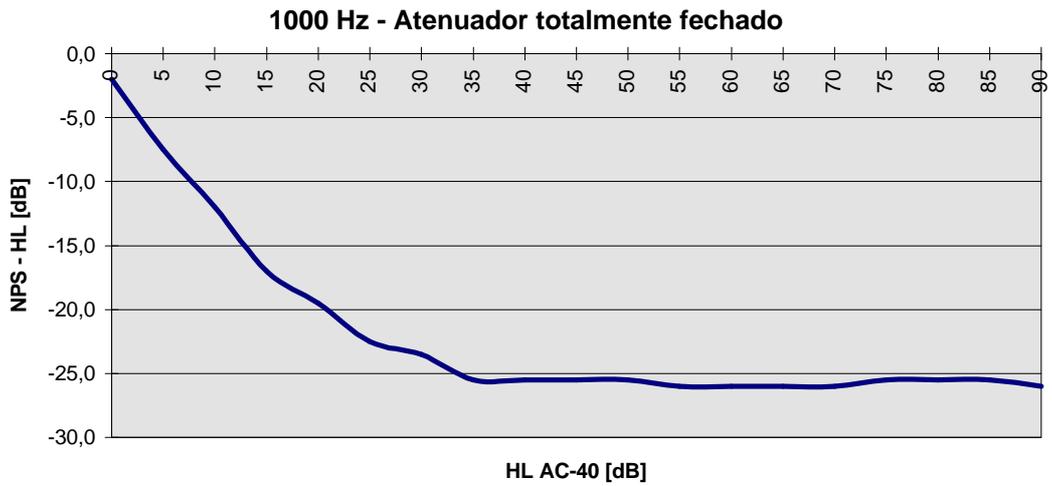
ANEXO D01 – Gráficos na frequência central de 125 Hz, HL x NPS – HL [dB].



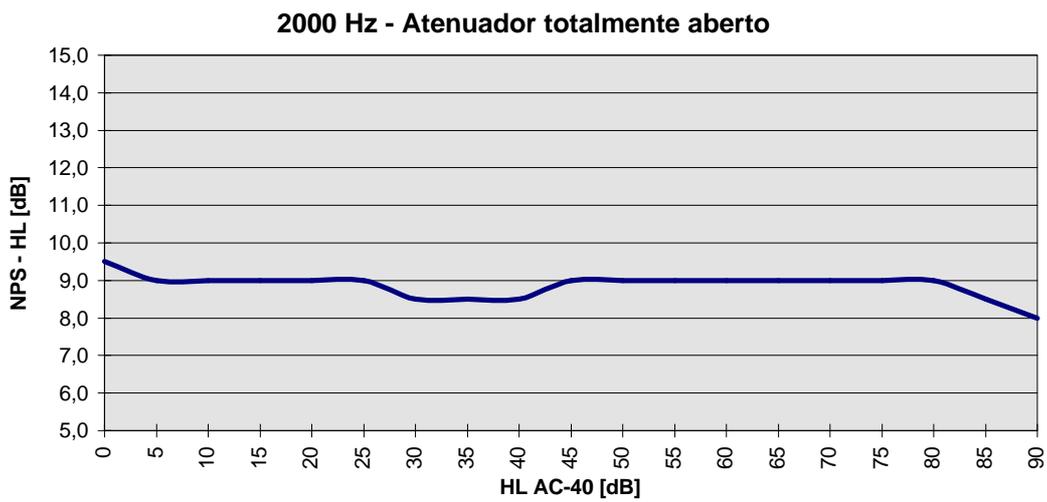
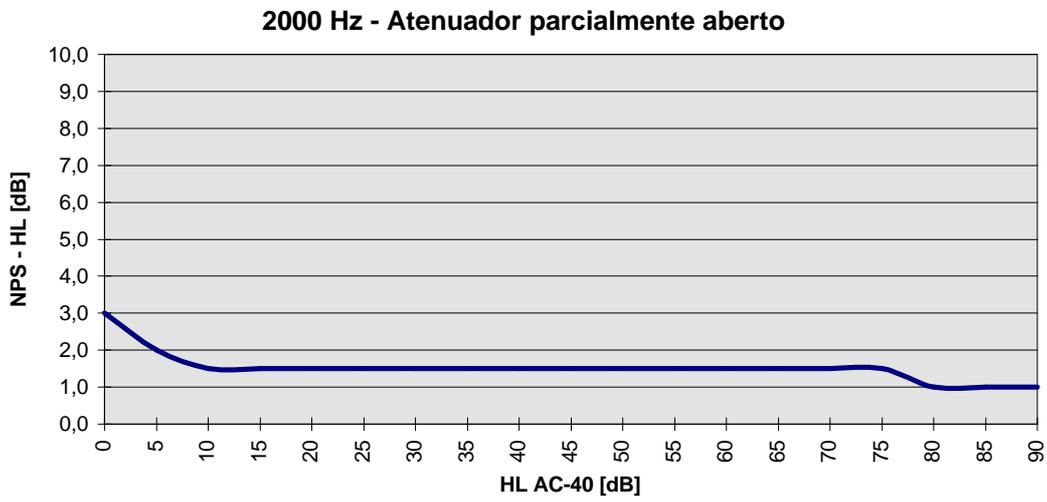
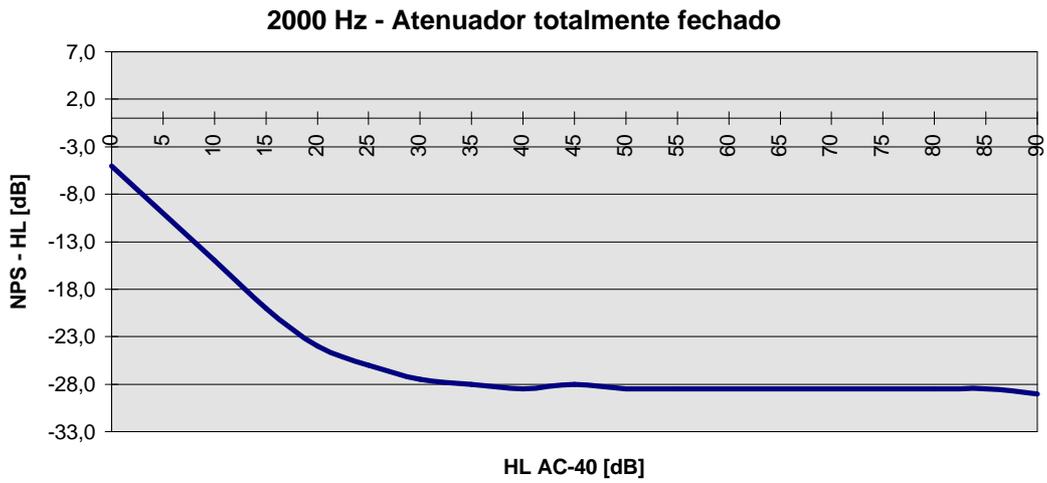
ANEXO D02 – Gráficos na frequência central de 250 Hz, HL x NPS – HL [dB].



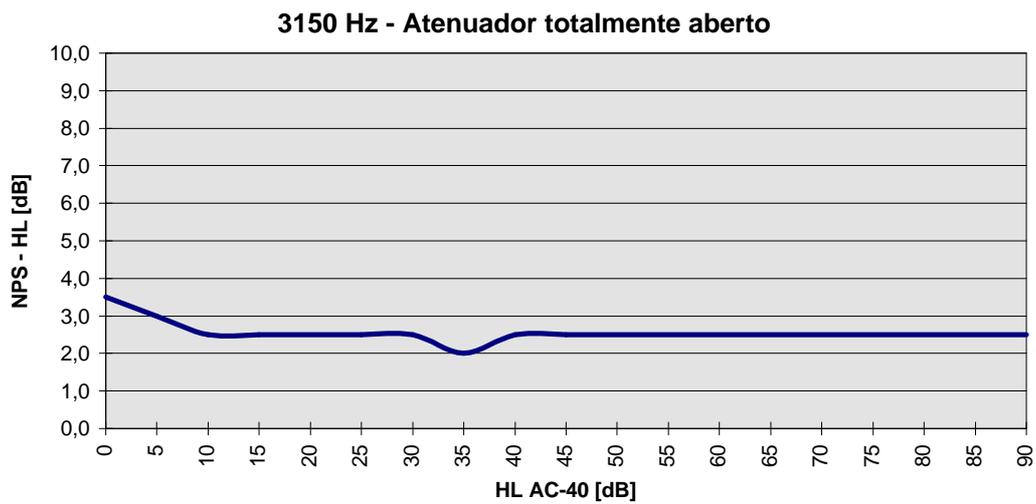
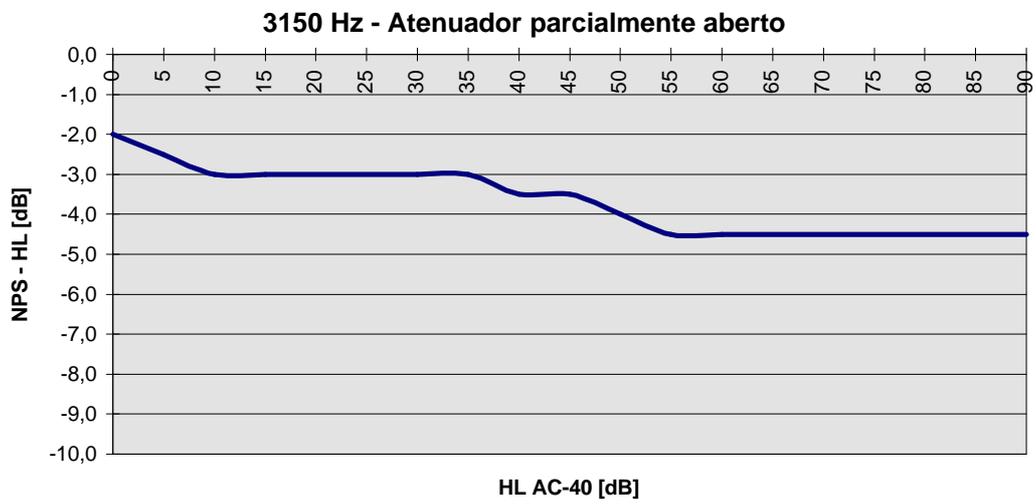
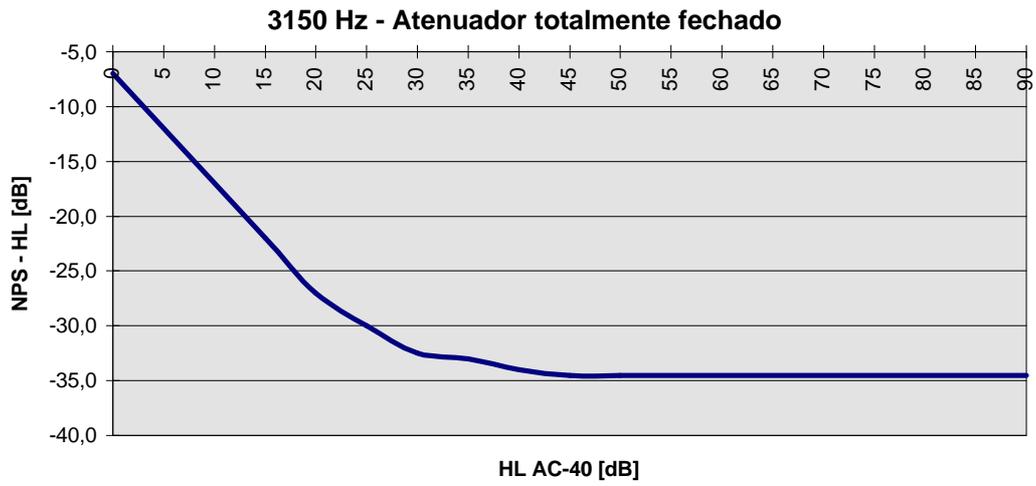
ANEXO D03 – Gráficos na frequência central de 500 Hz, HL x NPS – HL [dB].



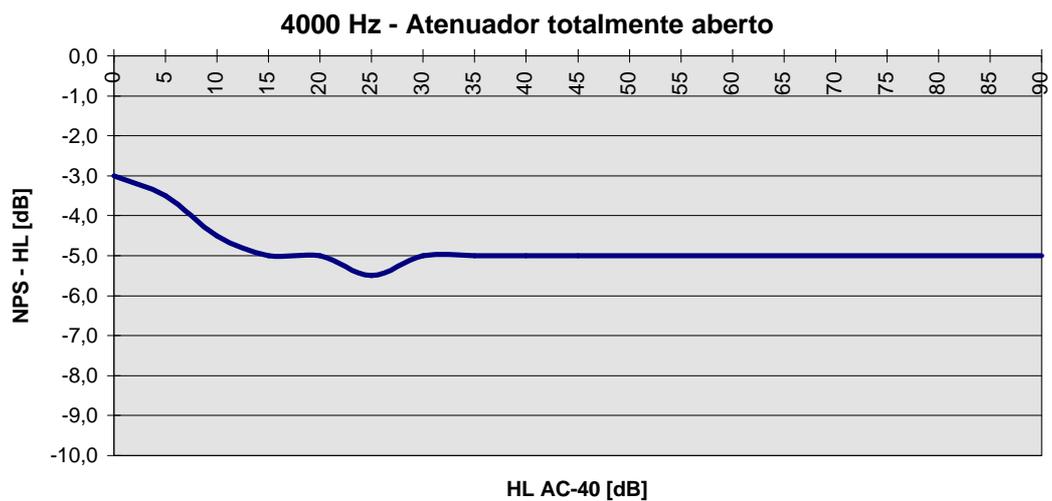
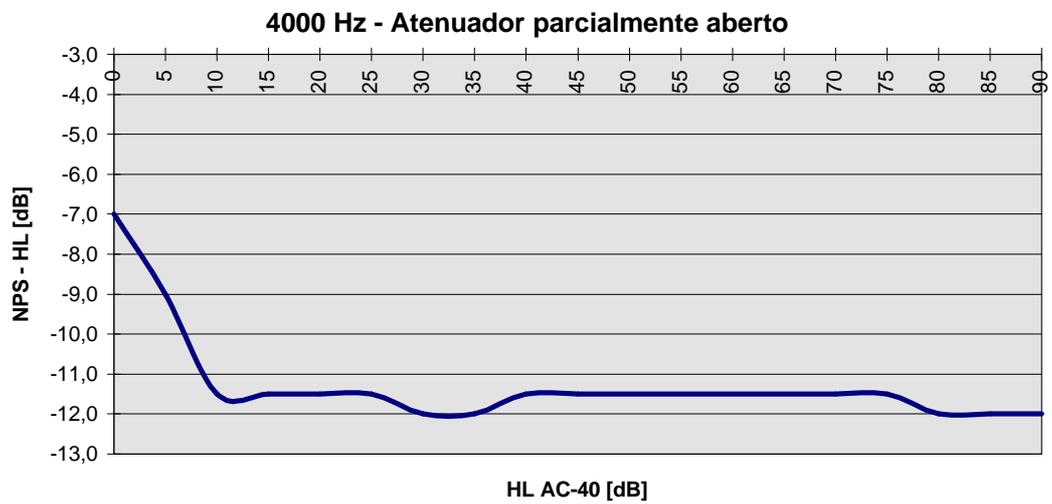
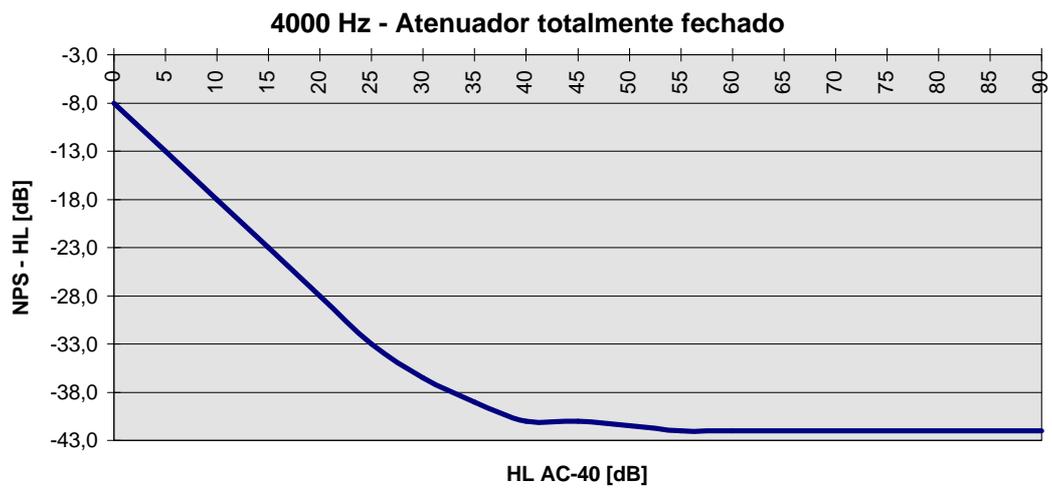
ANEXO D04 – Gráficos na frequência central de 1000 Hz, HL x NPS – HL [dB].



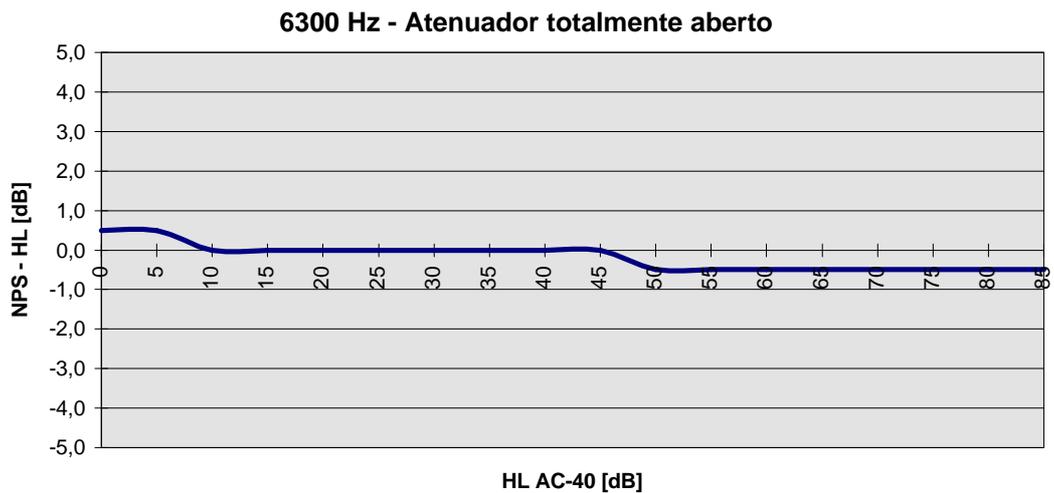
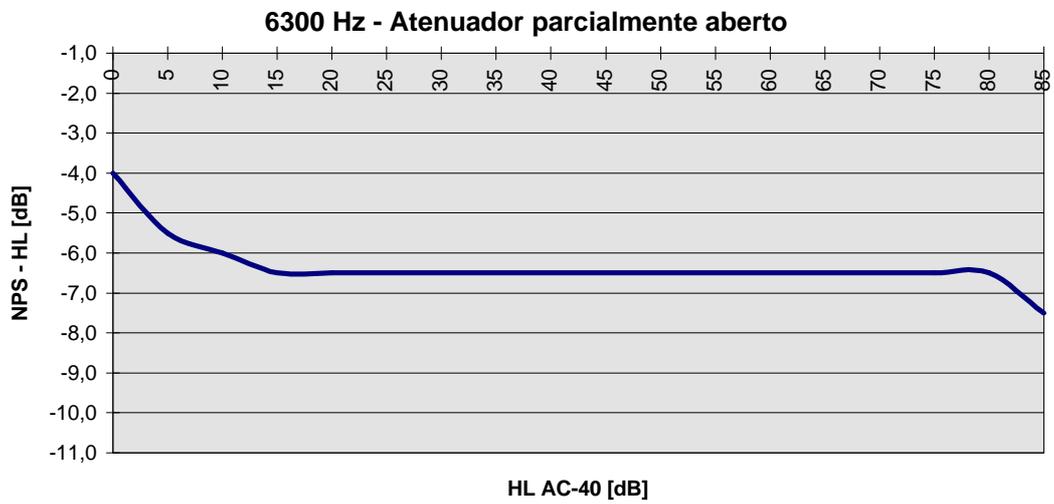
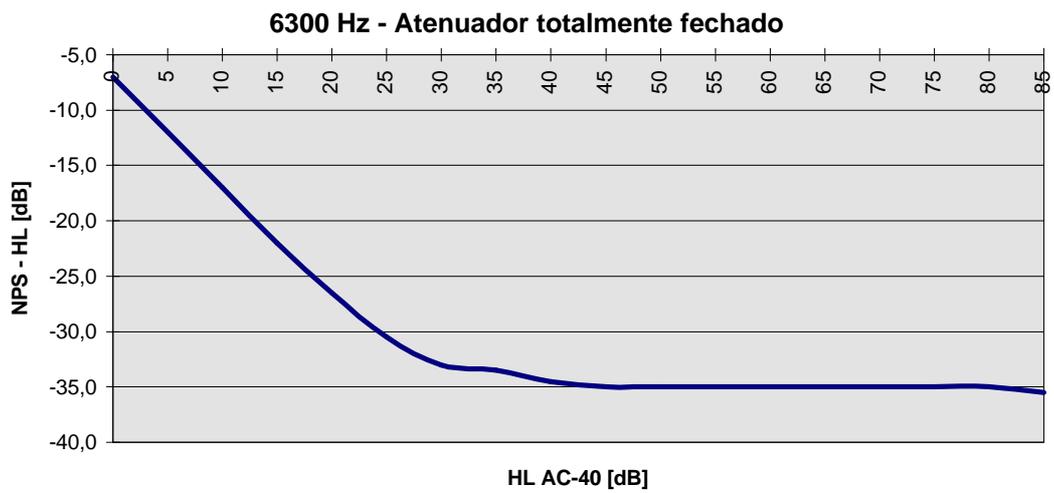
ANEXO D05 – Gráficos na frequência central de 2000 Hz, HL x NPS – HL [dB].



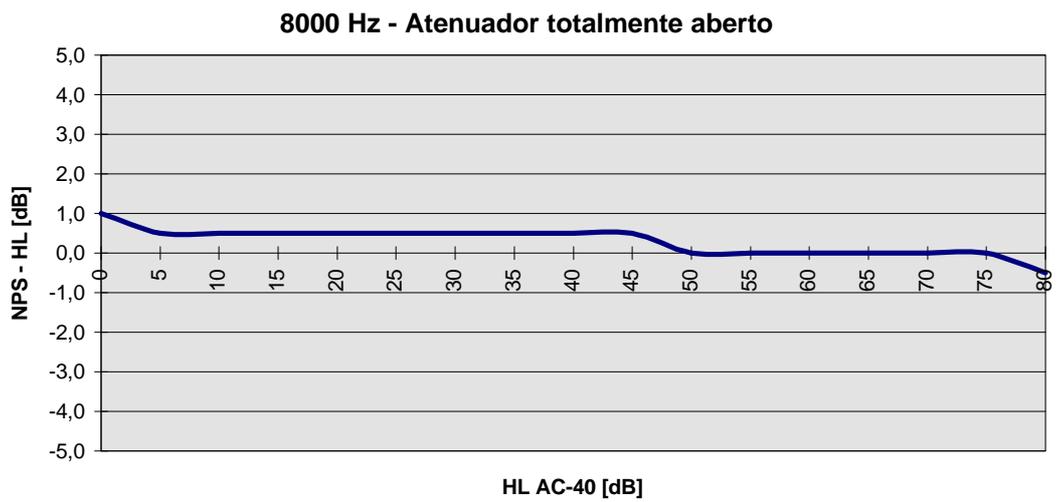
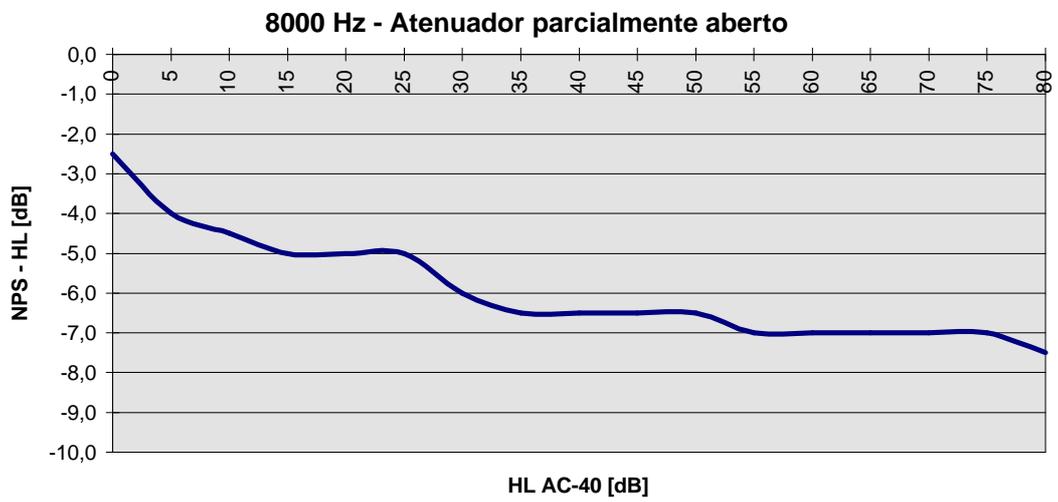
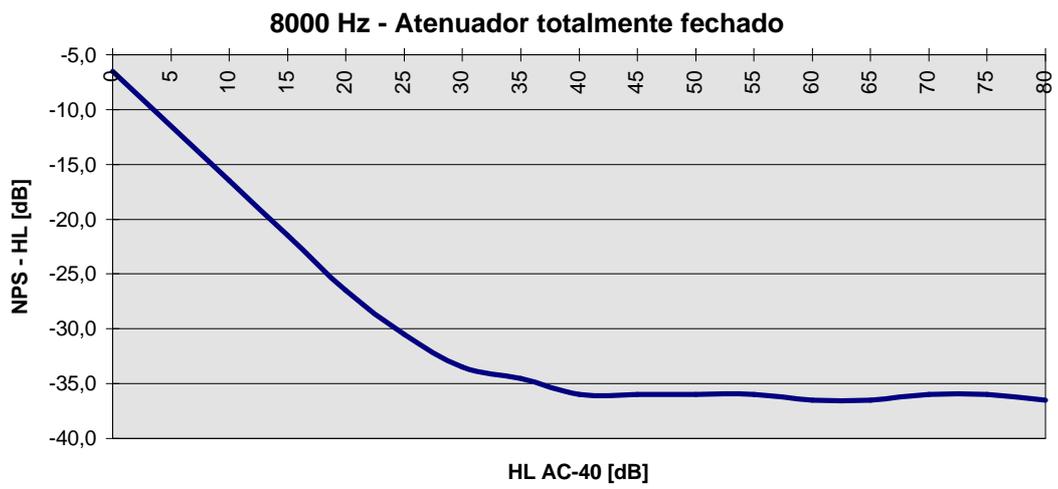
ANEXO D06 – Gráficos na frequência central de 3150 Hz, HL x NPS – HL [dB].



ANEXO D07 – Gráficos na frequência central de 4000 Hz, HL x NPS – HL [dB].



ANEXO D08 – Gráficos na frequência central de 6300 Hz, HL x NPS – HL [dB].



ANEXO D09 – Gráficos na frequência central de 8000 Hz, HL x NPS – HL [dB].