



Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Produção

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS ACÚSTICO/MECÂNICO DOS PROTETORES AUDITIVOS

Paulo Ricardo de Mendonça Brandolt

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

Florianópolis
2001

Paulo Ricardo de Mendonça Brandolt

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS
ACÚSTICO/MECÂNICO DOS
PROTETORES AUDITIVOS**

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

Florianópolis, 26 de março de 2001.

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

BANCA EXAMINADORA

Prof. Samir N.Y. Gerges, Ph.D.
Orientador

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

Prof. Neri dos Santos, Dr. Ing.

Dedico esta dissertação
à minha família e a minha mulher,
que sempre me apoiaram

Agradecimentos

À Universidade federal de Santa Catarina,

Ao orientador Prof. Samir Gerges,

pelo acompanhamento pontual e competente

Aos professores do Curso de Pós-graduação

que tão bem ministraram suas aulas .

Aos bolsistas Eric, Thiago, Leonardo e Evandro pela compreensão

e companheirismo durante toda a realização deste trabalho.

Aos amigos Flávia, Eduardo, Fabiano, Dinara, Germano, Elisabete ,

que sempre ajudaram e compartilharam do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório de Ruído Industrial (LARI), pelos equipamentos

e espaço físico cedidos para a realização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente

contribuíram para a realização desta pesquisa.

*“ A visualização acrescenta uma nova
dimensão à nossa percepção do mundo
e nos dá uma nova perspectiva com a qual podemos observar
a realidade comum”.*

Tarthang Tulku

Sumário

Lista de Figuras.....	p.ix
Lista de Quadros.....	p.xi
Lista de Tabelas.....	p.xii
Lista de Reduções.....	p.xiv
Resumo.....	p.xvi
Abstract.....	p.xviii
1 INTRODUÇÃO.....	p.1
1.1. Justificativa.....	p.3
1.2. Objetivo geral.....	p.8
1.3. Objetivos específicos.....	p.8
1.4. Apresentação dos capítulos.....	p.9
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	p.11
2.1. A Ergonomia.....	p.11
2.2. Antropometria.....	p.13
2.2.1. Antropometria estática.....	p.14
2.2.2. Antropometria dinâmica.....	p.14
2.3. Fisiologia da audição.....	p.14
2.3.1. A Orelha.....	p.16
2.3.2. Mecanismo de Audição.....	p.18
2.4. Normalização	p.19

2.4.1. Normas para medição da atenuação de ruído para protetores auditivos.....	p.19
2.4.2. Norma para ensaio mecânico.....	p.35
2.5. Desempenho do protetor auditivo.....	p.41
2.6. Redução de ruído.....	p.45
2.6.1. Número simplificado para atenuação dos protetores.....	p.46
2.6.2. Nível de redução de ruído – NRRsf.....	p.47
3 ENSAIOS DOS PROTETORES.....	p.48
3.1. Ensaio de atenuação de ruído.....	p.48
3.1.1. Equipamentos , acessórios e materiais.....	p.49
3.1.2. Desenvolvimento do ensaio de atenuação do protetor tipo concha.....	p.50
3.1.2.1. Seleção de ouvintes.....	p.51
3.1.2.2. Treinamento dos ouvintes.....	p.54
3.1.2.3. Realização do ensaio de atenuação.....	p.56
3.1.2.4. Cálculo do NRRsf.....	p.61
3.1.3. Desenvolvimento do ensaio de atenuação do protetor de inserção do tipo pré-moldado.....	p.64
3.1.3.1. Seleção de ouvintes.....	p.65
3.1.3.2. Treinamento dos ouvintes.....	p.65
3.1.3.3. Realização do ensaio de atenuação.....	p.65
3.2. Ensaio mecânicos.....	p.67
3.2.1. Medição da força do arco tensor.....	p.68
3.2.2. Ensaio de queda livre.....	p.69
3.2.3. Ensaio de flexão do arco tensor.....	p.70

3.2.4. Ensaio de atenuação do protetor auditivo após teste de flexão.....	p.72
3.3.. Considerações finais.....	p.72
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	p.73
4.1. Levantamento antropométrico.....	p.74
4.2. Protetor tipo concha.....	p.76
4.2.1. Resultado da força do arco tensor.....	p.76
4.2.2. Resultados da atenuação do ruído.....	p.78
4.3. Resultados dos ensaios da atenuação do protetor tipo plug.....	p.90
4.4. Resultados dos ensaios mecânicos.....	p.102
4.5. Considerações finais.....	p.108
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	p.110
5.1. Conclusão final.....	p.110
5.2. Recomendações para futuros trabalhos.....	p.113
6 BIBLIOGRAFIAS.....	p.115

Lista de Figuras

Figura 2.1: Orelha externa.....	p.16
Figura 2.2: A orelha média.....	p.17
Figura 2.3: Hidráulica da audição- A orelha interna.....	p.18
Figura 2.4: Dimensões de uma ferramenta para classificar o tamanho do canal auditivo.....	p.28
Figura 2.5: Distância entre os tragus.....	p.29
Figura 2.6: Altura da cabeça.....	p.29
Figura 2.7: Efeito do uso do óculos na atenuação do protetor tipo concha....	p.30
Figura 2.8: Aparelho de medição da força do arco.....	p.37
Figura 2.9: Aparelho de teste de resistência a queda.....	p.39
Figura 2.10: Dispositivo de flexão.....	p.40
Figura 2.11: Curva A- Razão da condução aérea para condução óssea.....	p.42
Figura 2.12: Caminhos de vazamento- Orelha sem o protetor.....	p.44
Figura 2.13: Caminhos de vazamento- Orelha com o protetor.....	p.44
Figura 3.1: Exemplo típico de protetor tipo concha.....	p.50
Figura 3.2: Instrumentos utilizados no levantamento antropométrico.....	p.51
Figura 3.3: Medição da altura da cabeça.....	p.52
Figura 3.4: Medição do canal auditivo.....	p.52
Figura 3.5: Audiometria de um dos ouvintes.....	p.53
Figura 3.6: Equipamentos utilizados na realização do treinamento e ensaio.....	p.55
Figura 3.7: Esquema, em corte, da realização da audiometria.....	p.56
Figura 3.8: Exemplo típico de protetor tipo pré-moldado.....	p.64

Figura 3.9: Medição da força do arco tensor.....	p.69
Figura 3.10: Ensaio de queda livre.....	p.69
Figura 3.11: Protótipo do aparelho de flexão do arco tensor.....	p.70
Figura 3.12: Aparelho de flexão do arco tensor.....	p.71
Figura 4.1: Gráfico comparativo da força do arco tensor em relação ao tempo de uso.....	p.78
Figura 4.2: Gráfico comparativo dos valores da atenuação, por frequência, em função do tempo de uso.....	p.85
Figura 4.3: Gráfico comparativo dos valores dos NRRsf em função dos protetores ensaiados.....	p.86
Figura 4.4: Gráfico comparativo dos valores da atenuação, por frequência, em função do tempo de uso.....	p.99
Figura 4.5: Gráfico comparativo dos valores dos NRRsf em função dos protetores ensaiados.....	p.99
Figura 4.6: Gráfico comparativo dos valores da atenuação, por frequência, dos protetores antes do ensaio mecânico e após o ensaio mecânico.....	p.107

Lista de Quadros

Quadro 1.1: Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....p.5

Quadro 2.1: Dimensões de uma ferramenta para classificar o tamanho do canal auditivo.....p.29

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Cálculo da diferença entre $L_{af}(k)$ e APV_{f84}	p.63
Tabela 3.2: Cálculo do APV_{f84}	p.63
Tabela 4.1: Levantamento antropométrico dos ouvintes.....	p.74
Tabela 4.2: Média e desvio padrão das distâncias horizontais e verticais Das cabeças dos ouvintes.....	p.75
Tabela 4.3: Valor médio e desvio padrão do parâmetro força do arco para Vários grupos de protetores.....	p.77
Tabela 4.4: Resultados das atenuações de ruído.....	p.79
Tabela 4.5: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.80
Tabela 4.6: Resultados das atenuações de ruído.....	p.81
Tabela 4.7: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.81
Tabela 4.8: Resultados das atenuações de ruído.....	p.82
Tabela 4.9: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.83
Tabela 4.10: Resultados das atenuações de ruído.....	p.84
Tabela 4.11: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.84
Tabela 4.12: Resultados das atenuações de ruído.....	p.91
Tabela 4.13: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.92
Tabela 4.14: Resultados das atenuações de ruído.....	p.93
Tabela 4.15: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.94
Tabela 4.16: Resultados das atenuações de ruído.....	p.95
Tabela 4.17: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.96
Tabela 4.18: Resultados das atenuações de ruído.....	p.97

Tabela 4.19: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.98
Tabela 4.20: Peso dos protetores do tipo concha.....	p.103
Tabela 4.21: Valor médio e desvio padrão do parâmetro força do arco antes dos ensaios mecânicos e após os ensaios mecânicos.....	p.104
Tabela 4.22: Resultados das atenuações de ruído.....	p.106
Tabela 4.23: Média e desvio padrão das atenuações de ruído.....	p.106

Lista de Reduções

Abreviaturas

CAE = conduto auditivo externo

MT = membrana timpânica

Siglas

AIE - Associação Internacional de Ergonomia

ANSI- American National Standard Institute (Instituto Nacional de Normas Americana)

APV- Assumed Protection Values (Valores assumidos de proteção)

ATF- Acoustic Test Feature (Teste Acústico- método objetivo)

CEN- European Committee for Standardization (Comitê Europeu de Normatização)

EN- European Standard (Norma Européia)

HML- High, Medium and Low (Alto, Médio e Baixo)

ISO- International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normas)

Laf(k)- Nível de pressão Sonora em bandas de oitavas (ruído rosa)

NR- Norma Regulamentadora

NRR- Nível de Redução de Ruído

NRRsf- Nível de Redução de Ruído- colocação pelo usuário

NPS- Nível de Pressão Sonora

NPSc- Nível de Pressão Sonora Protegido

NPSs- Nível de Pressão Sonora no Ambiente

REAT- Real Ear Attenuation at Treshold (Método de atenuação real- método subjetivo)

SNR- Single Number Rating (Número único de avaliação)

T- Tempo de Reverberação

Resumo

BRANDOLT, Paulo R. de Mendonça. **Análise das características acústico / mecânico dos protetores auditivos** Florianópolis, 2001. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

No presente trabalho foram desenvolvidos estudos do efeito do tempo de uso dos protetores auditivos tipo concha e tipo plug. Consistiu-se basicamente em duas etapas. Na primeira, foram realizados estudos do efeito do tempo de uso dos protetores tipo concha e tipo plug através de ensaios de atenuação com base na norma internacional ANSI 12.6/1997- método B. Testou-se os protetores auditivos novos e usados, classificados em lotes por tempo de uso, após realizou-se análise comparativa entre estes protetores e estimou-se a diminuição da atenuação destes no decorrer do tempo.

Na segunda etapa, realizou-se a construção de dispositivos para ensaios mecânicos com a finalidade de simular o desgaste do protetor auditivo tipo concha com base na norma Européia EN 352-1/1993. Após este teste, os resultados obtidos dos protetores testados foram comparados com protetores novos e verificou-se a diminuição da atenuação após este ensaio mecânico.

Na primeira etapa, os resultados dos experimentos demonstraram que para os protetores auditivos tipo concha houve uma diminuição da atenuação no decorrer do tempo de uso, sendo que esta começa a ocorrer a partir do segundo mês de uso e observou-se que no intervalo de 06 a 10 meses esta diminuição foi aproximadamente 3 dB. Para os protetores auditivos tipo plug constatou-se que ao longo do tempo este foi diminuindo a atenuação do ruído, chegando ao final dos 14 meses de uso com uma diminuição na atenuação de ruído de aproximadamente 8 dB.

Na segunda etapa, os resultados dos experimentos demonstraram que o protetor auditivo concha, após exposto ao ensaio de flexão do arco, diminuiu a atenuação de ruído em aproximadamente 1 dB.

Este estudo permitiu considerar que ocorreu diminuição da atenuação dos protetores auditivos tipo concha e tipo plug (de silicone), no decorrer do tempo de uso e, esta diminuição foi diferente entre estes dois tipos de protetores.

Palavra- chave: protetores auditivos, tempo de uso, ensaio de atenuação, ensaios mecânicos.

Abstract

BRANDOLT, Paulo R. de Mendonça. **Analysis of the characteristics acoustic/mechanic of the hearing protectors** Florianópolis, 2001. 118f. Dissertation (Masters degree in production engineering) – Graduate Program in Production Engineering, UFSC, 2001.

In this work, a study about the effect of the hearing protectors lifetime was developed. Two kinds of hearing protectors were studied; an earmuff and an earplug. Basically, this study consisted of two stages. In the first stage, some study was carried out about the effect of earmuff and plug lifetime by attenuation tests complying with the international standard ANSI 12.6/1997 - method B. New and used hearing protectors were tested; they were separated in groups according to the use time. After that, a comparative analysis among these protectors was carried out and the attenuation of these protectors was estimated.

In the second stage, devices for mechanical tests were designed to simulate the earmuff flexion according to the European standard EN 352-1/1993. After this test, the results obtained from used hearing protectors were compared with the results of new earmuffs and verified the attenuation after this test.

In the first stage, the experimental results showed some attenuation decrease during the time for earmuffs, where this decrease starts to occur from the second month of use. It was verified that between 6 and 10 months of use this decrease was about 3dB. In the same way, it was verified that for earplugs the attenuation decreased during the time, and for 14 months of use the noise attenuation decrease reached about 8dB.

In the second stage, the experimental results showed that the earmuff presented some attenuation decrease after it was submitted to the flexibility test. The noise attenuation decrease was about 1dB.

This study allowed the attenuation decrease observation for earmuffs and earplugs (made of silicon), during the lifetime, and this decrease was different for these two kinds of hearing protectors.

Key words: hearing protectors, lifetime, attenuation test and mechanical tests.

1 INTRODUÇÃO

Em nossa era de alto desenvolvimento tecnológico, o homem está sujeito à poluição sonora em toda parte e com isso forçosamente ocorrem problemas de exposição ao ruído. Fontes de ruído de todo tipo ameaçam o nosso bem-estar, nossa vida profissional e também nosso lazer, levando ao estresse e até perda auditiva permanente e irreversível [01].

A poluição sonora entre outras é um dos principais fatores que afetam a saúde e o comportamento humano. Tecnologia e conhecimento são necessários para monitoramento, avaliação e controle. Soluções a curto e a longo prazo devem ser viáveis e econômicas para a proteção dos trabalhadores no ambiente de trabalho.

O ruído pode perturbar o homem no trabalho, na comunicação, nas horas de lazer e descanso. Ruído pode destruir o sistema auditivo e provocar reações psicológicas, fisiológicas e até patológicas.

Segundo Gerges [02] apesar do avanço tecnológico da engenharia de controle de ruído, ainda existem muitas situações e casos onde a redução de ruído não é economicamente viável. Na maioria dos casos práticos, são necessários anos para redução de ruído na fonte até o limite de um nível de pressão sonora de 85 dB(A). Essas reduções podem ser através da modificação do processo e/ou substituição das máquinas. Neste casos ou até que ações sejam tomadas para reduzir o ruído até o limite permitido, o protetor auditivo de uso individual se apresenta como única solução de imediato.

Na seleção de um protetor auditivo deve-se considerar fatores como a atenuação sonora do protetor quando está submetido a desgastes devido ao uso e a fatores ambientais [03].

No Brasil, atualmente a informação fornecida pelos fabricantes e distribuidores de protetores auditivos corresponde a curvas de atenuação sonora obtidas para protetores novos, o que acarreta em uma superestimação da atenuação destes protetores ao longo de sua vida de uso.

O presente trabalho de dissertação dividir-se-á basicamente em 2 etapas: A primeira etapa estuda o efeito do tempo de uso dos protetores tipo concha e tipo plug através de ensaios de atenuação com base na norma ANSI 12.6/1997 [04] intitulada “Método B - métodos para medição da atenuação em ouvido real de protetores auditivos – colocação pelo ouvinte” . Neste estudo, serão testados protetores auditivos novos e protetores auditivos usados, classificados em lotes por tempo de uso, e posteriormente será realizado uma análise comparativa entre estes protetores auditivos (novos e usados), com a finalidade de estimar a perda da atenuação destes protetores auditivos no decorrer do tempo.

Na segunda etapa será realizado a construção de dispositivos de ensaios mecânicos ou seja, dispositivo de ensaio de flexão da haste tensora de protetores auditivos tipo concha e dispositivo de avaliação à resistência ao dano após queda. Nesta etapa ,será realizado ainda alguns ensaios mecânicos com base na norma Européia EN 352-1/1993 [05]. Neste estudo, será realizado o “envelhecimento” ¹ do protetor auditivo tipo concha e posteriormente

¹ Entende-se aqui por envelhecimento, o desgaste do protetor no decorre do tempo de uso. O envelhecimento no laboratório visa simular o desgaste do protetor na vida real.

comparado com protetores auditivos tipo concha novos; no qual nos possibilitará desenvolver métodos para determinação da vida útil dos protetores auditivos tipo concha com relação as suas características.

1.1. Justificativa

No final do século XIX, os processos de mecanização e automatização começaram a ser introduzidos na sociedade. Os ruídos e vibrações gerados por máquinas e processos eram considerados inevitáveis por falta de conhecimentos e técnicas nas áreas de controle de ruído e vibrações industriais.

Com o progresso industrial e o desenvolvimento de suas máquinas, tais como máquinas compactas de alta velocidade, elevaram os níveis de ruído e, portanto o índice de lesões auditivas. Tais lesões são provocadas por ruídos altos, que também contribuem para distúrbios no sistema nervoso, afetando a produtividade e qualidade dos produtos pela fadiga, tensão permanente, desperdícios de tempo e material.

Com o aumento da demanda, a indústria continua a crescer e, devido a este aumento, as máquinas funcionam acima da capacidade projetada e o “produto” é o ruído. Devido ao processo mercadológico selvagem, não se consegue romper o círculo vicioso – “fabricam-se cada vez mais novos surdos”.

Em essência, o problema de ruído nasce da impossibilidade de se fabricar componentes e conseqüentemente máquinas industriais isentas de imperfeições (que não produzam vibrações e ruídos). A esse respeito Gerges

[06] afirma que, apesar do avanço tecnológico da Engenharia de Controle de Ruído, ainda existem muitas situações e casos onde a redução de ruído não é econômica nem tecnicamente viável. Na maioria dos casos práticos, são necessários muitos anos para redução de ruído na fonte. Essas reduções podem ser através da modificação de processos e/ou substituição das máquinas. Nestes casos, até que sejam implementadas ações para reduzir o ruído ao limite permitido, o protetor auditivo de uso individual se apresenta como a única solução imediata disponível.

Gomes citado por Mayrink [07], numa visão mais abrangente quanto aos impactos sonoros, afirma que o ruído ocupa o terceiro lugar entre os riscos ocupacionais que atingem o trabalhador brasileiro, sendo superado apenas pelos agrotóxicos e pelas doenças osteoarticulares, decorrentes de alterações de postura.

Devido ao grande aumento de surdez ocupacional, o ruído começou a ser considerado como uma das fontes de maior prejuízo a saúde do homem. Preocupado com o problema, o Ministério do Trabalho, através da Portaria nº 3214, de 8 de junho de 1978 do Ministério do Trabalho [08] estabelece limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente (ver tabela 1.1) no qual estabelece que os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder estes limites de tolerância fixados.

São vários os trabalhos que tentam demonstrar a extensão dos danos causados pela exposição ocupacional ao ruído.

Quadro 1.1: Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

NIVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: Manuais de Legislação Atlas. Volume 16 - Segurança e medicina do trabalho-1997-[08]

Serra Filho, Peterson, Campos, citado por Mendes [09], mostraram uma pesquisa envolvendo 14 pesquisas de diversos ramos de atividade do interior

de São Paulo. De um total de 22.605 trabalhadores considerados, 42,1% estavam expostos a níveis de ruído entre 85 e 105 dB(A).

Kitamura & Campoy, citado por Mendes [09], observaram que 45% dos 400 candidatos a emprego em duas grandes empresas da região do ABC paulista tiveram as audiometrias classificadas como anormais. Destas, 88,9% tinham características de perdas auditivas do tipo neurossensorial, sendo 50,6% compatíveis com perdas induzidas pelo ruído.

Além dos efeitos auditivos, que atingem o organismo por via específica, o ruído produz também efeitos não auditivos, por via polineuronal, não específica, através das conexões colaterais na substância reticular do tronco cerebral: elevação do nível geral de viglância; aumento do tônus muscular e ausência de relaxamento ao repouso; reação sobre o sistema límbico, com repercussões afetivas e sociais; perturbação do equilíbrio hormonal e neurovegetativo, pelas relações com o hipotálamo [09].

De uma forma genérica, pode-se dizer que os efeitos não-auditivos do ruído traduzem-se em estresse, tendo sido descritas alterações psíquicas, fisiológicas e até anatômicas em vários órgãos de animais de experimentação e no próprio homem.

Segundo Cohen, citado por Mendes [09], os efeitos podem ser divididos em grupos de 4, são eles: reações generalizadas ao estresse; reações físicas; alterações mentais e emocionais e problemas específicos.

Proteger a saúde da população é o principal objetivo de todos os esforços públicos para controlar a exposição ao ruído do indivíduo ou da comunidade [10].

O termo “saúde pública” pressupõe que os interesses comuns da sociedade, em sua plenitude, devem ser enfatizados, e sempre que possível, os males devem ser expressos em termos estatísticos. Desta maneira, o impacto global pode ser mais detalhadamente analisado, quando comparado em separado aos estatisticamente insignificantes impactos ocasionais nos indivíduos.

A pluralidade e complexidade de possíveis reações humanas ao viver em ambiente ruidoso mudando continuamente durante o dia e a noite, de dia para dia, e de um local para outro, durante cada atividade diária do indivíduo, conduziu à seleção de fatores chaves estatísticos de reações humanas, assim como à de exposição ao ruído. Os fatores de efeito do ruído no homem podem ser classificados em fatores comportamentais de bem-estar (isto é, reação de pessoas ao ruído ambiente e como ele interfere com as suas várias atividades de vida), e fatores psicológicos/médicos de mudanças crônicas ocasionadas potencialmente pelo ambiente (isto é, perda de audição induzida pelo ruído ou outros males de saúde, alegadamente causados pela exposição ao ruído).

Este trabalho tem por objetivo beneficiar os trabalhadores das indústrias e rurais, os mais atingidos pela perda da audição, através da caracterização dos dispositivos de proteção individual por parâmetros de atenuação.

Para Gerges [06], entre todos os equipamentos de proteção individual para segurança e proteção da saúde nas indústrias, os protetores auditivos são os mais difíceis de se implantar devido aos vários problemas de utilização. Conforto e durabilidade são requisitos indispensáveis. A eficiência do protetor está intimamente ligada a sua vida útil no qual se diferenciará de pessoa para

pessoa e sofrerá influências do meio ambiente e da temperatura. Não podemos confiar na subjetividade do usuário quando diz: “Eu acho que este protetor ainda está funcionando”. De modo a estimarmos a vida útil do protetor auditivo tipo concha devemos submeter estes a ensaios mecânicos tais como: força de contato do arco, ensaio de queda livre, ensaio de flexão do arco ; baseado na Norma Européia EN 352-1/1993 (ISO 4869-1/1992) [05] no qual visa simular condições reais de uso.

Esta pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa quali-quantitativa e as amostras são intencionais e não generalizáveis.

1.2. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é gerar tecnologia (equipamentos e conhecimento) para quantificação dos parâmetros dos protetores auditivos, isto é: atenuação de ruído, força do arco, durabilidade, para protetores novos e usados.

1.3. Objetivos específicos

- Realizar ensaios dos parâmetros de protetores auditivos (tais como atenuação de ruído, força do arco) utilizando normas internacionais .
- Investigar os efeitos dos parâmetros do projeto do protetor na sua eficiência.
- Investigar a vida útil dos protetores auditivos com relação às suas características.

- Investigar os desgastes mecânicos dos protetores do tipo concha.

1.4. Apresentação dos capítulos

Apresentar-se-á, a seguir, o conteúdo dos capítulos subseqüentes deste trabalho:

Capítulo 2 – Revisão da Literatura: este capítulo apresenta uma introdução do que é a Ergonomia, bem como uma rápida abordagem sobre antropometria estática e dinâmica. Também será abordado as bases fisiológicas da audição ou seja, as principais funções da orelha a sua constituição e o funcionamento do mecanismo da audição. Ainda neste capítulo será apresentado a normalização a nível internacional utilizada na determinação dos ensaios da atenuação de ruído dos protetores auditivos, pelo método subjetivo, e, também a norma utilizada na realização dos ensaios mecânicos.

Será abordado, também neste capítulo, o desempenho dos protetores auditivos, seus tipos de condução e redução do ruído. Estará incluído ainda o número simplificado para atenuação de ruído dos protetores.

Capítulo 3 - Ensaio dos protetores: este capítulo divide-se basicamente em 2 partes; a primeira parte são os ensaios de atenuação de ruído no qual apresenta uma descrição dos equipamentos utilizados , bem como o desenvolvimento do ensaio do protetor tipo concha e tipo plug. Apresenta a

normalização empregada na seleção dos ouvintes, as limitações técnicas encontradas e os procedimentos utilizados na realização dos ensaios.

Na segunda parte são apresentados os ensaios mecânicos, a descrição dos aparelhos utilizados e o desenvolvimento destes ensaios.

Capítulo 4 – Análise dos resultados: neste capítulo analisa-se de forma sistemática os resultados dos ensaios de atenuação do protetor do tipo concha e do tipo plug e, também os resultados dos ensaios mecânicos.

Capítulo 5 – Conclusões e recomendações: este capítulo apresenta a conclusão final sobre os resultados obtidos e definidas propostas de aperfeiçoamento deste estudo, para serem desenvolvidos em trabalhos futuros; bem como sugestões de novas pesquisas na linha de pesquisa do presente trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão da bibliografia consultada durante o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. A Ergonomia

A Ergonomia tem sido definida como sendo o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O objeto central do estudo da Ergonomia é o ser humano, suas habilidades, capacidades e limitações. [11]

O trabalho é um dos contextos em que parece ser mais difícil combinar aspectos importantes para a pessoa, como segurança, o bem estar, o conforto, a saúde física e mental, a qualidade de vida e a eficiência. Em muitas ocasiões, encontramos situações em que a atividade laboral se enfoca de um modo, ou se realiza em determinadas condições, que provoca o choque entre estes aspectos, não sendo, sempre, o balanço final favorável ao ser humano.

O esforço para solucionar problemas, equacionando seres humanos e máquinas, de maneira que a combinação seja cômoda, segura e eficiente, esse é o campo da Ergonomia, também conhecida como Engenharia Humana, Engenharia dos Fatores Humanos, Psicologia da Engenharia, Psicologia Experimental Aplicada, Biomecânica, etc. [12].

A Ergonomia pode apontar critérios e técnicas para conseguir que a atividade laboral alcance seus objetivos em termos saudáveis; ela “integra o

conhecimento derivado das Ciências Humanas para adaptar os trabalhos, sistemas, produtos e ambiente às capacidades físicas e mentais, assim como as limitações das pessoas”².

A Ergonomia não se limita a fatores do trabalho determinada por cada atividade. Ela está presente na vida de cada ser humano, não apenas no ambiente de trabalho mas na vida como um todo. Seu objetivo principal é a melhoria das condições de trabalho, proporcionando bem estar ao trabalhador, evitando que o trabalho se constitua um risco para a saúde física e psicológica.

Para uma melhoria das condições de trabalho muitas vezes implica em uma melhoria nas condições do ambiente de trabalho. Uma intervenção, em uma determinada situação de trabalho, revela imediatamente sua extensão, em termos de recomendações ergonômicas, o que leva normalmente a demandas de naturezas diversas, tais como projetos de iluminação, controles de ruídos seja na fonte, enclausurando máquinas ruidosas, seja na trajetória instalando paredes divisórias, seja no indivíduo oferecendo proteção acústica para os ouvidos (protetores auditivos).

Segundo Gerges [02] muitas vezes o controle de ruído na fonte torna-se inviável, nestes casos até que ações sejam tomadas, o fornecimento de protetor auditivo de uso individual torna-se a única solução de imediato na redução da dose de ruído. A implantação destes protetores auditivos objetiva a proteção do trabalhador e conseqüentemente melhorar as condições no trabalho.

² Definição da AIE. Associação Internacional de Ergonomia.

2.2. Antropometria

Em muitas atividades humanas, o projeto de locais de trabalho é importante para que haja uma boa produtividade. Além de dar condições de conforto, bem-estar e segurança ao operador, é necessário que haja um bom dimensionamento e posicionamento adequado dos equipamentos.

Como o homem não pode ser projetado, as suas medidas, capacidades e limitações têm de ser base para os projetos de equipamentos de proteção individual, máquinas e postos de trabalho.

Os projetos de arranjo e espaço para trabalhar, bem como dos equipamentos pessoais, requerem atenção especial quanto à estrutura, aos movimentos e dimensões do corpo humano. Este é o assunto da antropometria que está intimamente relacionada com a biomecânica. A antropometria é uma parte do domínio mais amplo da antropologia física, e estuda as medidas das várias características do corpo humano (dimensões lineares, diâmetros, pesos, etc.). A biomecânica trata geralmente com aspectos mecânicos do movimento humano. Inclui considerações de alcance, força e velocidade dos movimentos do corpo [13].

A antropometria divide-se em dois ramos : um estático e outro dinâmico.

2.2.1. Antropometria estática

A antropometria estática está relacionada com a medida das dimensões físicas do corpo parado. O uso destes dados encontra largo emprego em projetos de assentos, mesas e equipamentos pessoais, tais como: protetores auditivos, capacetes, máscaras, botas, ferramentas manuais, etc

2.2.2. Antropometria dinâmica

A antropometria dinâmica está voltada para as medidas funcionais, isto é, medidas das pessoas enquanto executam alguma função. As características relativas a tais funções incluem ângulos, faixas de velocidade e aceleração, padrões de ritmo e movimentos, além de forças e espaços envolvidos.

2.3. Fisiologia da audição

Segundo Gerges[06] a orelha humana é um sistema bastante sensível, delicado, complexo e discriminativo.

A orelha é um extero-ceptor, assim como os outros órgãos sensoriais. Possui um isolamento acústico especial que atenua os sons provenientes do próprio corpo, inclusive o da voz do indivíduo. Nossas orelhas, mesmo assemelhando-se, em aspecto, a conchas marinhas, escondem estruturas de tal delicadeza que causam vergonha ao mais perfeito artífice e, de tão perfeito funcionamento automático, inspiram respeitosa admiração ao mais competente engenheiro[14].

Se um engenheiro fosse construir uma orelha e reproduzir suas funções teria que comprimir em aproximadamente 17 cm^3 um sistema de som que incluísse um harmonizador de impedâncias, um analisador mecânico de grande capacidade, um grupo móvel de retransmissão e amplificação, um transformador de muitos canais ou um transdutor, destinado a converter a energia mecânica em energia elétrica, um sistema para manter um delicado equilíbrio hidráulico e um sistema interno de comunicação em dois sentidos [15].

Resumindo as principais funções da orelha em três itens, destaca-se os seguintes:

- *Transmissora* – Porque dispõe de mecanismos que permitem a adequada transmissão da energia acústica captada.
- *Protetora* – Porque dispõe de elementos capazes de atenuar intensidades sonoras excessivas, evitando assim, danos maiores às células sensoriais da orelha interna.
- *Transdutora* – Porque transforma energia mecânica em elétrica e nervosa.

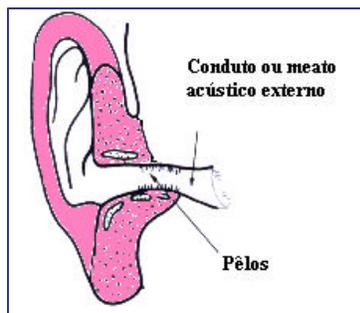
Didaticamente, a orelha pode ser dividido em três partes: orelha externa, orelha média e orelha interna.

2.3.1. A Orelha

A orelha externa é constituído por três elementos: *pavilhão auricular*, *conduto auditivo externo (CAE)* e *membrana timpânica*.

O *pavilhão auricular* auxilia na captação e canalização dos sons para o *conduto auditivo externo (CAE)*. Por ser este canal um tubo fechado de , aproximadamente, 2,5 cm, é capaz de entrar em ressonância para sons de comprimentos de onda correspondente a 4 vezes o seu comprimento, amplificando entre 10 e 15 dB as ondas sonoras na faixa de frequência entre 2000 Hz e 3000 Hz.

Figura 2.1: Orelha externa



Fonte: Acústica e Psicoacústica aplicado a fonodiologia [15]

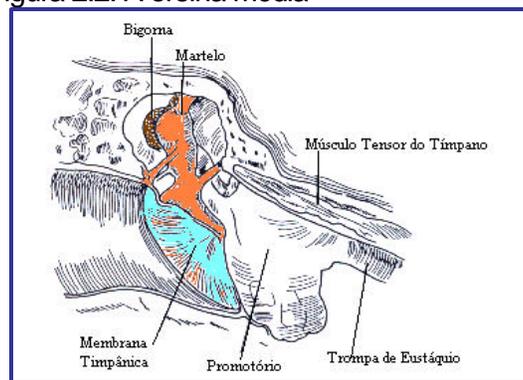
A orelha externa é separado da orelha média pela *membrana timpânica (MT)*. Esta membrana apresenta forma cônica, com cavidade para baixo e para fora em direção ao conduto auditivo externo.

A orelha média atua como um amplificador sonoro, aumentando as vibrações do tímpano através de ligações deste com três ossos: o *martelo*, que bate contra a *bigorna*, que por sua vez é ligada com o *estribo*. Esse último está

ligado a uma membrana (na cóclea) chamada *janela oval*. A *cóclea* é o órgão responsável por colher esses movimentos e tem a forma de espiral cônica.

A orelha média contém importantes elementos para proteger o sistema de audição, como a *trompa de eustáquio*, que é ligada à garganta e à boca para equilibrar a pressão do ar, (ver figura 2.2).

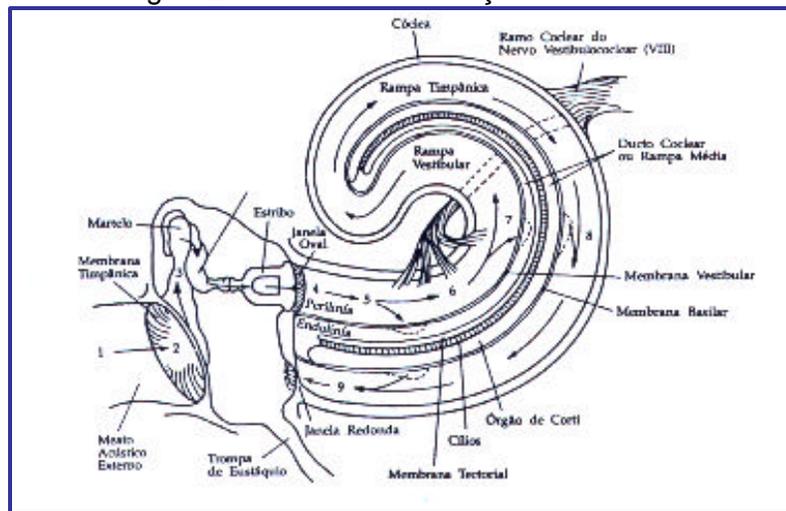
Figura 2.2: A orelha média



Fonte: Acústica e Psicoacústica aplicado a fonodiologia [15]

A força mecânica, amplificada e transmitida da orelha média para o interno pelos ossículos, é transformada em pressão hidráulica, que comunica movimento ao duto coclear e às células ciliadas do órgão de Corti, o centro da audição. As ondas de pressão na cóclea iniciam sua trajetória pela janela oval, passando pelas rampas vestibular e timpânica, indo finalizar na janela redonda, (ver figura 2.3)

Figura 2.3: Hidráulica da audição- A orelha interna



Fonte: Acústica e Psicoacústica aplicado a fonologia [15]

2.3.2. Mecanismo de Audição

As ondas sonoras percorrem a orelha externa até atingir o tímpano, provocando vibrações que por sua vez são transferidas para os três ossos da orelha média, que trabalham como uma série de alavancas; portanto a orelha média atua como um amplificador. As vibrações da janela oval geram ondas de pressão que se propagam até a cóclea, e viajam ao longo do tubo superior. Neste processo, as paredes finas da cóclea vibram, e as ondas passam para o tubo central e depois para o tubo inferior até a janela redonda. As vibrações das membranas Basal e Tectória, em sentidos opostos, estimulam as células a produzirem sinais elétricos. As ondas percorrem distâncias diferentes ao longo da cóclea, com vários tempos de atraso, dependendo da frequência. Isto permite ao ouvido distinguir as frequências do som.

A percepção da direcionalidade do som ocorre através do processo de correlação cruzada entre os dois ouvidos. A diferença de tempo entre a chegada do som num ouvido e no outro (ouvido esquerdo e direito), fornece informação sobre a direção de chegada; por isso é necessário manter os dois ouvidos sem perda de sensibilidade.

2.4. NORMALIZAÇÃO

2.4.1. Normas para medição da atenuação de ruído para protetores auditivos

Há quarenta e três anos atrás a “American National Standard Institute” (ANSI) aprova a norma Z 24.22/ 1957 “Medição da Atenuação do Limiar em Ouvido Real, de Protetores Auditivos” [16], sendo esta a primeira Norma a ser implantada, baseando-se no método REAT³.

Com relação ao local do ensaio, a norma especifica uma câmara anecóica⁴ com campo acústico direcional. Este campo acústico deve ser formado por tons puros, sendo estes gerados por no mínimo 1 alto-falante colocado diagonalmente em relação ao ouvinte, devendo este estar sentado.

³ REAT- Real Ear Attenuation at Treshold ou Método Subjetivo- este método apresenta uma maior dispersão, é mais demorado e de custo maior porém, é o mais aceito e com resultados mais próximos dos valores reais.

⁴ Segundo Gerges é toda câmara onde não ocorra reflexões do ruído emitido por uma fonte. Para isto suas paredes, teto e chão, são revestidos com material altamente absorvente, de forma a eliminar as reflexões.

O ensaio da atenuação do protetor auditivo deve ser feito com no mínimo 10 pessoas, havendo uma repetição de 3 medições para cada uma delas. Quanto à colocação do protetor esta norma indica que este deva ser colocado pelo ouvinte, podendo este movimentar sua cabeça durante o ensaio; este ouvinte é selecionado aleatoriamente.

Em agosto de 1974, com base na Norma Z 24.22 / 1957, o Instituto aprovou sua revisão, denominando-a de Norma ANSI S 3.19 / 1974, sob o título "Método para Medição da Proteção em Ouvido Real de Protetores Auditivos e Atenuação Física dos Protetores Tipo Concha"[17].

Esta Norma baseia-se em dois métodos: o método REAT e o método ATF⁵. Ela além de descrever os procedimentos do método primário (REAT) para medição da proteção do ouvido real, inclui em forma complementar a descrição dos procedimentos de ensaio pelo método físico (ATF), no qual usa uma cabeça artificial para realizar os ensaios de protetores tipo concha.

Esta Norma, ao ser comparada com a Norma de 1957, apresentou, além do fato de conter descrições de 2 métodos para avaliação da atenuação dos protetores, alguns avanços, especificações tais como:

"O tempo de reverberação⁶ da sala de teste deve ter $0,5 < T < 1,6$ segundos e o campo sonoro no seu interior deva ser gerado por bandas de 1/3 de oitava; o número mínimo de alto-falantes deve ser 3 (três) e o

⁵ Acoustic Test Feature ou Método Objetivo- este método consiste em um dispositivo padronizado de acordo com a norma ANSI S 13.9/1974 que simula a cabeça humana. Este possui um microfone que se encaixa com determinada pressão em um duto que se localiza, quando comparado com a cabeça humana, no mesmo local do pavilhão auditivo. Utilizado somente em ensaios de protetores tipo concha.

⁶ De acordo com Sabine, o tempo de reverberação T é definido como o tempo correspondente ao caimento do nível de intensidade de 60 dB.

protetor pode ser colocado pelo executor do ensaio ou pelo indivíduo sendo que não é permitida a movimentação da cabeça durante o teste.”

Em dezembro de 1984 foi aprovada a revisão da Norma ANSI S 3.19 / 1974, recebendo a denominação de ANSI S 12.6 / 1984 intitulado “Método para Medição da Atenuação em Ouvido Real de Protetores Auditivos” [18].

Esta Norma não possui grandes mudanças com relação à sua revisão anterior. Baseia-se no Método REAT e, especifica uma sala de teste com tempo de reverberação menor que 1,6 segundos e campo sonoro no interior da sala de teste gerado em bandas de 1/3 de oitava.

Quanto a colocação do protetor auricular este deve ser colocado pelo ouvinte e supervisionado pelo executor do ensaio. O executor do ensaio deverá fornecer informações precisas ao ouvinte com relação à colocação adequada do protetor e praticar a colocação do mesmo antes de iniciarem-se as medições. Cabe também, ao executor selecionar o tamanho correto do protetor auditivo. Após o ouvinte colocar o protetor, o executor gera um ruído de aproximadamente 60 dB e solicita ao ouvinte que manipule o protetor de maneira a encontrar a posição ideal ou seja de maior atenuação. Como o ensaio é realizado buscando a maior atenuação, seus resultados são mais distantes dos valores obtidos no mundo real. Esta norma orienta ainda que devem ser ensaiados no mínimo 2 protetores de cada modelo usado no teste e devem ser utilizados no mínimo 10 ouvintes, realizando três ciclos de medição com cada ouvinte.

Em 1990, surge a norma Internacional ISO 4869-1/1990 intitulada “Medição da Atenuação Sonora de Protetores Auditivos – método subjetivo”[19] baseando-se no método REAT. Como a norma ANSI S 12.6 / 1984 indica que a colocação do protetor deve ser feita pelo ouvinte e supervisionada pelo executor do ensaio, visando a obter máxima atenuação do protetor. Especifica uma sala de testes com tempo de reverberação menor que 1,6 segundos e campo sonoro gerado em bandas de 1/3 de oitava. Quanto ao número de ouvintes, deve ser usado no mínimo 16 ouvintes devendo ser ensaiado no mínimo 2 protetores de cada modelo, realizando-se três ciclos de medição com cada um ouvinte.

Como a norma ANSI S 12.6 / 1984, os métodos e procedimentos adotados pela norma ISO 4869-1 / 1990 visa a obter melhor atenuação do protetor não vindo a retratar as reais condições do dia a dia do usuário.

Em fevereiro de 1997, foi aprovada a revisão da norma ANSI S 12.6/1984 sendo resultado de 10 anos de pesquisa na área, sendo denominada de norma ANSI 12.6 / 1997, intitulada “Métodos para Medição da Atenuação em Ouvido Real de Protetores Auditivos”[04].

Esta norma (ANSI 12.6 / 1997 – método B: Colocação pelo ouvinte) é, atualmente, a mais aceita e, é sobre ela que iremos concentrar maiores detalhes. A esta norma foram incluídos alguns procedimentos a respeito da seleção dos ouvintes, aspectos anatômicos dos ouvidos, inspeção otoscópica, realização de medições tanto do canal auditivo quanto das dimensões da cabeça. Esta norma prevê ainda que, na realização dos ensaios, deve haver um balanço de sexo ou seja para a população de teste deverá ser de

50/50 \pm 10%. Outro aspecto é quanto a sensibilidade da audição conforme transcrito abaixo.

“5.5- Sensibilidade da Audição

5.5.1- Sensibilidade Mínima

Os indivíduos deverão possuir níveis para limiar de audição de tom puro para condução no ar em frequências centrais em banda de oitava de 125 Hz a 8 kHz, conforme medido usando um audiômetro padrão, que são \leq 25 dB (ANSI S 3.6- 1996).

5.5.2- Sensibilidade Máxima

Nenhum indivíduo, cujo limiar aberto de audição médio em três determinações medidas em banda de terço de oitava no campo sonoro da sala de teste for maior que 3 dB abaixo dos níveis de ruído de ambiente em qualquer frequência de teste de 125 Hz a 8 kHz, deverá ser usado.”

Estas limitações na sensibilidade do limiar aberto relativo aos níveis de ruído de ambiente da sala de teste pretendem reduzir o potencial para a elevação do limiar aberto devido ao mascaramento. Se o mascaramento ocorrer, ele tenderá a decrescer as atenuações médias e possibilitar também o aumento nos desvios padrões.

Quanto ao treinamento dos ouvintes estes deverão ser treinados com um mínimo de 5 audiogramas de campo acústico de ouvido aberto (além daqueles

utilizados para teste de atenuação), administrados todos em uma sessão, sendo a variação dos últimos três verificada. A faixa no limiar aberto de audição para cada frequência não deve exceder 6 dB, e estes procedimentos podem ser repetidos em sessões subseqüentes até que se atinja o limite de 6 dB ou então será rejeitado.

A quantidade de ouvintes, nesta revisão, passou de 10 para 20 ouvintes quando forem ensaiados protetores tipo plug ou dispositivos de semi inserção e, permanecendo em 10 para os ensaios do tipo concha (individuais ou fixos em capacetes).

A norma ANSI S 12.6 / 1997 especifica duas formas de medição: Método A: “Experimenter - supervised fit” ou Colocação supervisionada pelo Experimentador. O procedimento para este teste decorre da seguinte maneira:

o experimentador deve dar, a cada indivíduo, instruções precisas quanto a colocação do protetor a ensaiar e praticar a colocação do protetor auditivo de acordo com as instruções do fabricante. Quando o produto é disposto em vários tamanhos diferentes, o experimentador deverá assistir o indivíduo na escolha do protetor auditivo apropriado. Embora o experimentador possa dar explicações verbais ou assistência física, ou ambos, como parte do processo de instrução, e possa também utilizar a avaliação do indivíduo do loudness relativo do ruído de ajuste, as medições de atenuação acústica não deverão ser parte do procedimento de ajuste e dimensionamento. Uma vez que o experimentador tenha determinado que o indivíduo possa ajustar o dispositivo corretamente, o protetor auditivo deverá ser removido. Para o teste atual, o indivíduo e o experimentador deverão entrar na câmara de teste, e o indivíduo

deverá colocar o protetor auditivo, o ruído de ajuste deverá ser introduzido e o indivíduo deverá ser instruído a manipular o protetor afim de se minimizar o ruído do ouvido. Uma vez que a pessoa esteja satisfeito com o ajuste, o experimentador deverá checar o posicionamento de cada protetor, usando somente análise visual para assegurar boa colocação e uma boa vedação acústica. Quando julgar necessário, o experimentador deverá requisitar ao indivíduo para recolocar ou reajustar o protetor auditivo, ou ambos, quantas vezes forem necessárias para um melhor ajuste antes do teste, porém, nunca depois do teste ter começado. Depois de ter começado a aquisição dos dados audiométricos, instruções adicionais ao indivíduo ou manipulação do protetor auditivo será proibida.

Quanto ao número de medições, onde na norma anterior o ouvinte realizava três conjuntos de ensaio, agora a norma orienta que a atenuação para cada indivíduo em todas as frequências de teste deverão ser medidas em duas tentativas durante uma única visita ao laboratório. Cada tentativa deverá consistir de um par: limiar aberto e fechado, sendo a ordem contrabalançada entre os testados.

Ao iniciar a realização do ensaio o ouvinte tem um período de no mínimo 2 minutos de adaptação, na norma anterior era no mínimo 5 minutos. O ouvinte é então posicionado na cadeira sem comando verbal do experimentador e sem a presença de sinais de teste. Após este tempo, a determinação do limiar pode começar.

Quando ocorrer o teste de protetores, que necessitem de um tempo para expandir ou se conformar ao canal auditivo ou regiões circunaurais como plug

de ouvido de espuma com restauração lenta, as medições de limiar fechado devem começar no mínimo de 2 e no máximo de 4 minutos após a colocação do protetor auditivo.

No Método B: Colocação pelo ouvinte, descreve condições para aceitar ou rejeitar o ouvinte para a aplicação deste método, formula algumas perguntas a serem respondidas pelo ouvinte e também as limitações para o ouvinte realizar novos ensaios. Como este ensaio é realizado por ouvintes leigos quanto ao uso do protetor auditivo, a norma descreve as instruções que o responsável pelo ensaio, passará ao ouvinte, inclusive o tempo desde o momento em que o ouvinte começa a ler as instruções do fabricante e ajuste do protetor auditivo antes da sua entrada na câmara de teste não deverá exceder a 5 minutos.

Após o ouvinte ter indicado término da colocação, ou ter passado os 5 minutos, ele deverá remover o protetor auditivo e entrar na câmara de teste. O indivíduo deverá então ficar sentado por 2 minutos em silêncio, ou ser instruído pelo experimentador para o teste ocluso e subseqüentemente colocar o protetor auditivo e ficar em silêncio por um período de 2 minutos. Após o período de silêncio, o teste de limiar deverá começar.

Esta Norma (ANSI/97), relaciona informações a serem incluídas no relatório de teste. Estas informações encontram-se divididas em 11 subitens que vão desde o tipo de procedimento de teste até relatos de discussões de qualquer requisito especial que tenha sido incluído nos procedimentos de teste tal como a necessidade do indivíduo utilizar equipamento de proteção pessoal, como óculos, durante o teste de dispositivos tipo concha.

Juntamente com a revisão da ANSI encontram-se 6 anexos informativos (anexo A,B,C,E,F,H) e 2 anexos normativos (anexo D,G), na qual se faz um comentário resumido sobre seus conteúdos.

O anexo informativo A, refere-se aos aspectos protocolares para colocação do protetor auditivo pelo ouvinte, incluindo a adequação racional a ser usado para ensaiar protetores auditivos com ouvintes leigos quanto a utilização de protetores auditivos.

Um dos objetivos deste anexo é avaliar o comportamento dos trabalhadores leigos quanto à utilização de protetores auditivos, ao colocarem os protetores, realizando um acompanhamento desde a leitura das instruções do fabricante e avaliando quais os tipos de protetores que estes ouvintes mais gostam de usar.

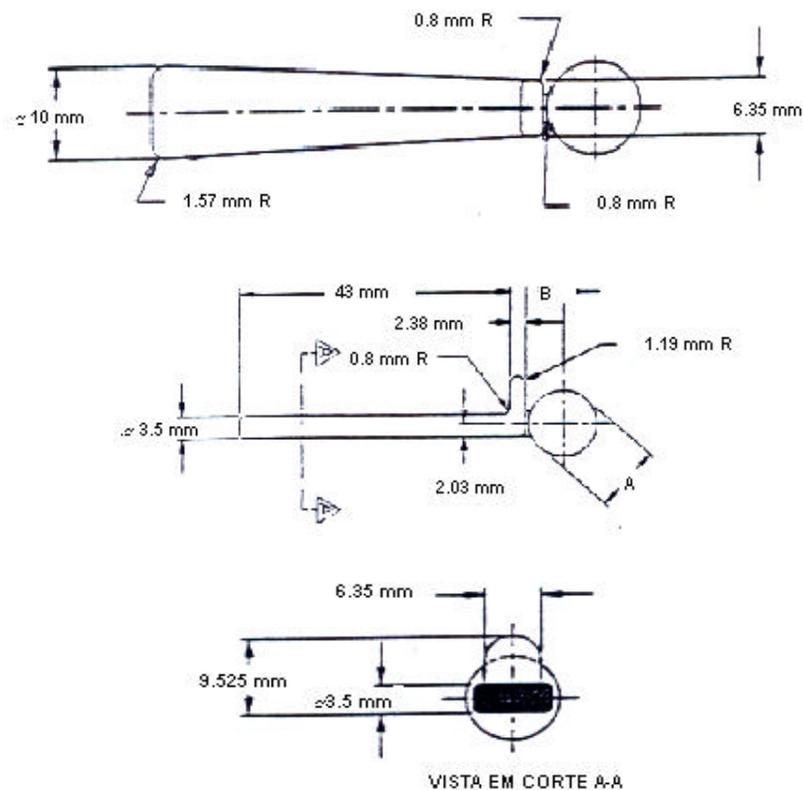
O anexo informativo B, refere-se aos dados da atenuação e a diferença entre o protetor colocado pelo ouvinte e quando supervisionado. Neste informativo, são apresentados, em forma gráfica, os dados obtidos em um dos quatro laboratórios que participaram dos ensaios, com as 2 categorias de ouvintes tanto com protetores tipo plug como com protetores tipo concha.

O anexo informativo C, trata da precisão nas medições da atenuação do protetor em ouvido real, quando colocado pelo ouvinte. Neste informativo, são comentados os diversos fatores que podem influenciar nas medições da atenuação sonora. Também apresenta como se calcular, com base estatística, o número de ouvintes e o número de repetições por ouvinte, tomando como referência determinado intervalo da curva de distribuição.

O anexo normativo D, trata dos procedimentos para a medição do canal auditivo e das dimensões da cabeça. Neste anexo, são apresentados as dimensões e o desenho do dispositivo utilizado para medir o canal auditivo, sendo especificado a tolerância das medidas e o material a ser confeccionado. Consta, neste anexo, as especificações de 5 medidas de esfera, conforme Figura 2.4.

Neste anexo, são especificados ainda como realizar o levantamento antropométrico da cabeça ou seja, a distância entre os tragus e a altura da cabeça (distância do tragus a parte superior da cabeça). Conforme mostrado na Figura 2.5 e 2.6 .

Figura 2.4 – Dimensões de uma ferramenta para classificar o tamanho do canal auditivo

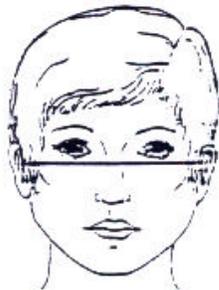


Quadro 2.1: Dimensões de uma ferramenta para classificar o tamanho do canal
auditivo

TAMANHO	A (diâmetro)	B
EXTRA PEQUENO	7,62 mm	4,19 mm
PEQUENO	8,48 mm	4,70 mm
MÉDIO	9,27 mm	5,08 mm
GRANDE	10,46 mm	5,72 mm
EXTRA GRANDE	11,53 mm	6,10 mm

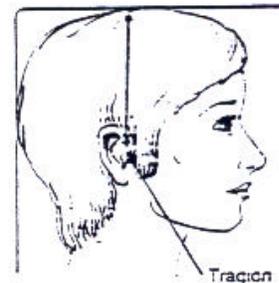
Fonte: Norma ANSI S 12.6 / 1997 [04]

Figura 2.5: Distância entre os Tragus



Fonte : Norma ANSI S 12.6/1997 [04].

Figura 2.6: Altura da Cabeça

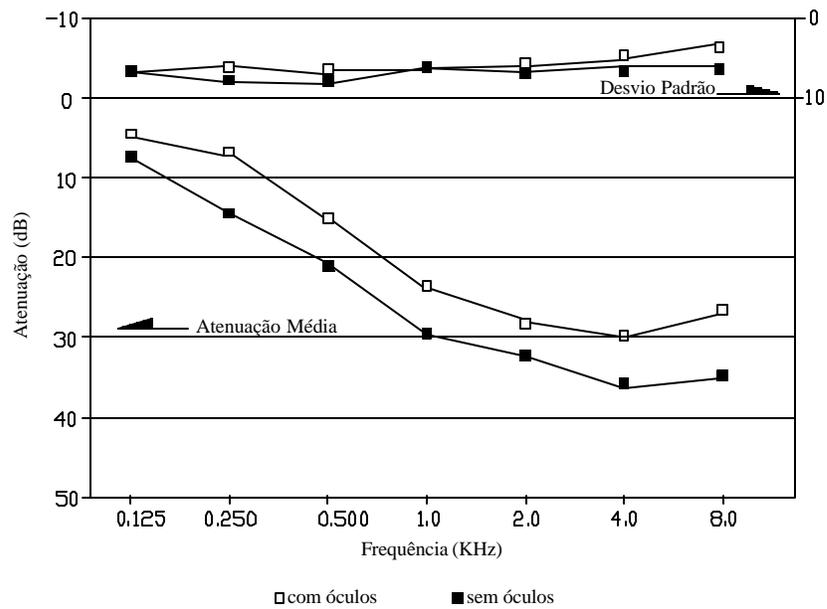


Fonte: Norma ANSI S 12.6/1997 [04]

O anexo informativo E alerta sobre as conseqüências do uso de óculos na atenuação do protetor tipo concha. As hastes destes óculos interferem na vedação entre a almofada da concha e a cabeça do usuário.

Neste anexo, consta os resultados de experimentos realizados em três laboratórios, com os mesmos tipos de protetores onde o ouvinte utiliza óculos no ensaio. Com o uso de óculos os protetores, tipo concha, apresentam uma redução de aproximadamente 5 dB nas sete freqüências testadas. Conforme Figura 2.7:

Figura 2.7 – Efeito do uso de óculos na atenuação de protetor tipo concha



Fonte: Norma ANSI S 12.6 / 1997 [04]

No anexo informativo F, consta uma listagem para implantação dos métodos A e B no qual transcrevemos abaixo:

“Entrevista inicial e primeira visita

- (1) Somente para o método B, entrevistar a pessoa (S) e ver se atende aos quesitos das cláusulas 9.1.1 e 9.1.2.
- (2) Explicar-lhe sobre o que se está estudando e o seu consentimento (ver cláusula 7.1).
- (3) Caso necessário tirar jóias e/ou óculos.
- (4) Realizar exame otoscópicos (ver cláusula 5.2).
- (5) Medir as dimensões do canal auditivo e da cabeça (ver *cláusula 5.3 e registrar os dados*).
- (6) Realizar audiometrias (ver cláusula 5.5.1 e 5.5.2).
- (7) Fazer treinamento de no mínimo 5 audiometrias, com ouvido aberto no campo sonoro (ver cláusula 5.6).”

“Método A: Colocação do protetor supervisionada

- (1) Ver cláusulas 5.1 a 5.7 para os critério 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, prestando-lhe assistência verbal e física, gerando um ruído para ajustar a colocação do protetor (ver cláusula 8.2)

- (3) Entrevistado tira o protetor auditivo e entra na câmara (ver cláusula 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, ajustá-lo pelo ruído gerado, mas sem a assistência do supervisor (ver cláusula 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 ajustado (ver cláusula 8.2)
- (7) Medir os limiares aberto e fechado.”

“Método B: Teste subjetivo- Protetor colocado pelo ouvinte

- (1) Ver na cláusula 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. Confirmar na cláusula 9.1.3, sobre as limitações quanto ao número de vezes para participar dos ensaios.
- (2) Fora da câmara (tempo limite: 5 minutos) a pessoa deve ler verbalmente o texto, sendo-lhe entregue um protetor na sua embalagem original, 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) Entrevistado tira o protetor auditivo e entra na câmara (ver cláusula 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, ajustá-lo pelo ruído gerado, mas sem a assistência do supervisor (ver cláusula 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 ajustado (ver cláusula 8.2)
- (7) Medir os limiares aberto e fechado.”

“Método B: Teste subjetivo- Protetor colocado pelo ouvinte

- (1) Ver na cláusula 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. Confirmar na cláusula 9.1.3, sobre as limitações quanto ao número de vezes para participar dos ensaios.
- (2) Fora da câmara (tempo limite: 5 minutos) a pessoa deve ler verbalmente o texto, sendo-lhe entregue um protetor na sua embalagem original, 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 cláusulas 7.6 e 9.2.1).
- (5) Dentro da câmara (tempo limite:5 min.): iniciar com o teste do limiar aberto ou ler verbalmente o texto para o ouvinte. Sai da câmara. O ouvinte coloca o protetor, sem o auxílio ou assistência 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 cair fora, ver cláusula 9.2.3.
- (7) Medir os limiares aberto e fechado.”

O anexo normativo G trata dos procedimentos para a medição da força do arco dos protetores de semi-inserção . Esta força é medida com um sistema separador equivalente ao da cabeça humana média, similar àquele utilizado para medir a força do arco do protetor tipo concha, nominalmente 145 mm.

Para abrigar o inserto na concha (não na região cerco aural) usase uma orelha flexível, como mostrado na figura G1 e tabelaG1, ambas obtidas da Norma ANSI S 3.16/1985 página 4. A orelha deve ter dureza de 10 e 30 Shore A, medidos com durômetro. Quanto a esta orelha, cada laboratório pode produzir a sua própria, ou adquiri-la com o fabricante KEMAR, orelha modelo DB-065 (orelha esquerda) ou DB-066 (orelha direita) da empresa Knowles Eletronics, Inc.

E , por último, o anexo informativo H, apresenta a Bibliografia onde encontram-se relacionadas as normas e as publicações consultadas para a revisão da Norma ANSI 12.6 /1997.

2.4.2. Norma para ensaio mecânico

A norma Européia foi aprovada pela CEN⁷ em 20 de agosto de 1993, sendo denominada norma Européia EN 352-1 / 1993[05].

Esta norma trata dos ensaios mecânicos dos protetores auditivos circum-auriculares⁸ e especifica requisitos construtivos, de projeto e de desempenho, métodos de testes, requisitos de marcação e informação ao usuário.

A norma EN 352-1/1993 especifica como seria os ensaios mecânicos para protetor auditivo circum-auricular; tais como: ajustabilidade, rotação da concha, força do arco tensor; pressão das almofadas; resistência ao dano após queda; flexibilidade do arco tensor; imersão em água quente; acondicionamento em alta temperatura (opcional); perda por inserção e resistência ao vazamento (para protetores cujas almofadas são preenchidas com líquido).

Devido às limitações deste estudo será abordado apenas alguns testes especificados por esta norma; são eles: força do arco tensor; resistência ao dano após queda e flexibilidade do arco tensor .

⁷ Comitê Europeu de Normatização.

⁸ Protetor auditivo consistindo de uma concha pressionada contra a aurícula ou de uma concha circum-aural pressionada contra a cabeça em torno da aurícula.

Dentro das especificações desta norma, convém dar enfoque aos materiais e construção dos protetores auditivos circum-auriculares e aos testes que serão realizados.

Com relação aos materiais dos protetores auditivos circum-auriculares esta norma especifica que as partes do protetor auditivo circum-auricular que entram em contato com a pele do usuário não devem manchar, devem ser macia, flexíveis e não causadora de irritação à pele, reações alérgicas e qualquer outro efeito adverso à saúde. Todos os materiais que compõem o protetor auditivo circum-auricular não devem apresentar comprometimento após limpeza segundo método especificado pelo fabricante.

Quanto à construção, a norma especifica que todas as partes dos protetores auditivos circum-auriculares devem ser arredondadas e livres de bordas pontiagudas, que possuam almofadas e preenchimentos substituíveis pelo usuário, permitindo a substituição sem o uso de ferramentas. Especifica ainda que todos os protetores auditivos circum-auriculares de tamanho universal devem ser fornecidos com uma tira de cabeça.

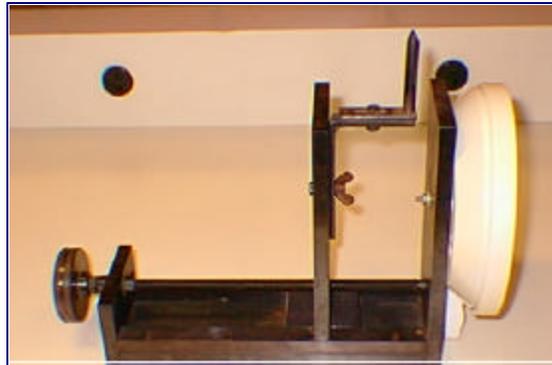
Com relação aos testes especificados pela EN 352-1/1993 [05] temos:

a) Força do arco tensor

Os protetores auditivos são ajustados em um dado ajuste, de modo que as 2 placas estejam paralelas e a separação das superfícies externas delas sejam 145 mm e a força exercida pelas almofadas sobre as placas que a estão

suportando é, então medida por um método que não envolva uma mudança significativa na separação das placas (ver Figura 2.8)

Figura 2.8: Aparelho de medição da força do arco



Procedimentos para realização dos testes:

A norma recomenda que este teste seja realizado simultaneamente com a medida da pressão das almofadas.

- Ajustar as duas placas tal que elas estejam paralelas e a separação das superfícies externas delas sejam 145 mm.
- Colocar os protetores auditivos circum-auriculares no aparelho para teste acústico com o arco tensor na vertical. A abertura nas almofadas deve ser posicionada de maneira que os centros delas coincidam com as montagens dos orifícios nas placas para os simuladores de aurícula.

Ajustar as conchas e o arco tensor dos protetores auditivos circum-auriculares de intervalos de tamanho normal para corresponder a uma altura

de teste de 130 mm para os modelos sobre a cabeça e sob o queixo e ao ponto médio do intervalo de ajuste para os modelos atrás da cabeça.

Ajustar as conchas e o arco tensor dos protetores auditivos circum-auriculares do intervalo do tamanho pequeno ou grande ao ponto médio do intervalo de ajuste.

Certificar-se de que o arco tensor não está em contato com qualquer parte do aparelho para teste acústico.

- Ler o indicador de força 2 min \pm 5 s após a primeira liberação dos protetores auditivos circum-auriculares.
- Relatar a força em Newtons . Determinar e relatar o valor médio da força do arco tensor para as amostras testadas.

b) Resistência ao dano após queda

A norma especifica que os protetores auditivos circum-auriculares devam ser soltos, de uma altura de 1,5 m \pm 1 cm da placa, sobre uma placa de aço plana de não menos que 1 cm de espessura, medindo aproximadamente (50 x 50) cm (ver Figura 2.9).

Procedimento para realização dos testes:

- Colocar a placa de aço sobre um piso nivelado.
- Ajustar as conchas e o arco tensor no ponto médio do intervalo de ajuste.
- Suspender o protetor auditivo circum-auricular pelo centro do arco tensor com as conchas apontando para baixo, tal que a altura do ponto mais baixo

do protetor auditivo circum-auricular seja $1,5 \text{ m} \pm 1 \text{ cm}$ acima da placa de aço.

- Soltar o protetor auditivo circum-auricular uma vez sobre a placa e notar se qualquer parte do protetor (exceto as almofadas substituíveis) quebraram-se ou soltaram-se.

NOTA: Se qualquer parte do protetor soltar-se, ele deve ser remontado e o esquema de teste deve continuar, desde que a correta remontagem possa ser realizada sem o uso de ferramenta ou a substituição da parte que se soltou.

- Relatar se qualquer parte do protetor quebrou-se ou soltou-se.

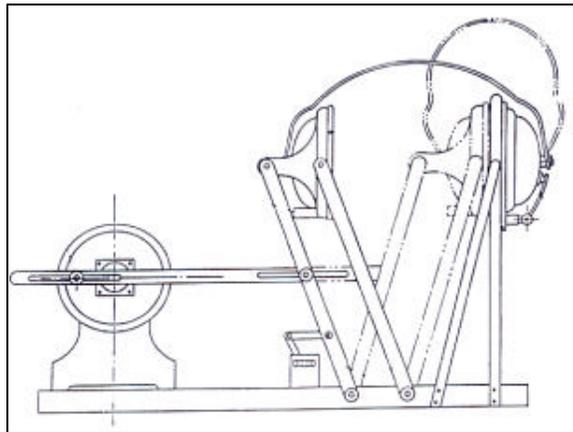
Figura 2.9: Aparelho de teste de resistência a queda



d) Flexibilidade do arco tensor.

A norma especifica que o protetor auditivo circum-auricular seja ajustado a um dispositivo de flexão (ver Figura 2.10) capaz de fornecer movimento senoidal (abrir e fechar) entre as duas placas paralelas. O arco tensor será flexionado até uma extensão de $200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

Figura 2.10: Dispositivo de flexão



Fonte: Norma Inglesa EN 352-1/1993 [05]

Procedimento para realização dos testes

- Ajustar as conchas e o arco tensor no ponto médio do intervalo de ajuste deles. Se o ajuste das conchas e do arco tensor tende a mudar, a posição ajustada deve ser firmada, por exemplo, por meio de uma fita adesiva. Tal meio não deve intervir com o pivotamento normal das conchas no arco tensor.

- Colocar o protetor auditivo circum-auricular no aparelho e fixar as conchas às placas usando, por exemplo, tiras elásticas.
- Ajustar a separação mínima das placas a um valor que corresponda a separação normal das almofadas do protetor auditivo circum-auricular, ou a 25 mm, qualquer um que for o maior.
- Ajustar a separação máxima das placas para $200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.
- O ciclo do protetor auditivo circum-auricular entre a separação mínima e a máxima será de 1000 ciclos a uma taxa de 10 a 12 ciclos por minuto.

NOTA: Deve-se assegurar de que durante o teste nenhuma parte do arco tensor toque qualquer objeto que venha a interferir com ação mecânica dele.

2.5. Desempenho do protetor auditivo

Quando técnicas de controle de ruído não são disponíveis de imediato, ou até que ações sejam tomadas para redução do ruído até o limite permitido, o protetor auditivo de uso individual se apresenta como um dos métodos mais comuns e práticos para reduzir a dose de ruído [11].

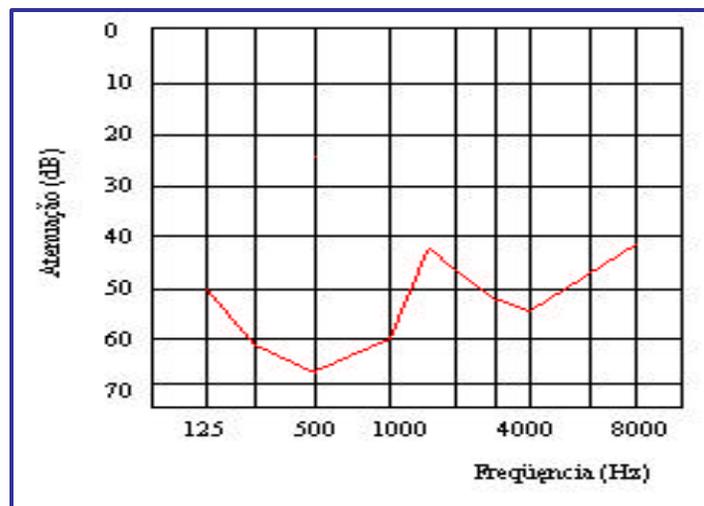
Os protetores auditivos são normalmente empregados para controlar a exposição de níveis elevados de ruído. De acordo com Gerges [1999] existe na atualidade cerca de mil marcas e modelos de protetores auditivos no mercado internacional [20].

Segundo Berger [21], para indivíduos com audição normal, a sensibilidade à condução óssea, para um ouvido não ocluído, é muito mais pobre do que a sua correspondente condução aérea como mostra a figura 08, curva A.

Exemplificando, para 1000 Hz, a sensibilidade do ouvido é 60 dB menor em termos de condução óssea, em relação à condução aérea. Isto significa que, se o caminho da condução aérea for totalmente eliminado por um protetor, a sensibilidade do ouvido seria pior somente em 60 dB. Isto posto significa que, um “perfeito” protetor auditivo poderia, somente oferecer 60 dB de atenuação.

A utilização de um protetor auditivo modifica o caminho da condução aérea e o caminho da condução óssea. Distinguem-se então, a presença de quatro caminhos de condução sonora, conforme pode ser observado na Figura 2.11 [21].

Figura 2.11: Curva A – Razão da condução aérea para condução óssea



Fonte: Berger – Earlog 5, 1982 [21]

a) Transmissão óssea

Tendo em vista, que o objetivo dos protetores auditivos é reduzir a condução aérea e não a condução via óssea, esta transmissão torna-se o caminho de vazamento mais crítico na proteção da audição.

b) Vibrações do protetor

Como o canal auditivo apresenta uma certa flexibilidade, os tampões podem vibrar de maneira semelhante a um pistão; devido a esta vibração, limitaria a sua atenuação em baixas frequências. Com relação aos protetores tipo concha, estes não podem ser fixados rigidamente à cabeça. A concha vibraria contra esta , formando um sistema massa-mola, com rigidez equivalente, governada pela flexibilidade da almofada do protetor, pela parte do ouvido e pelo volume externo de ar debaixo da concha.

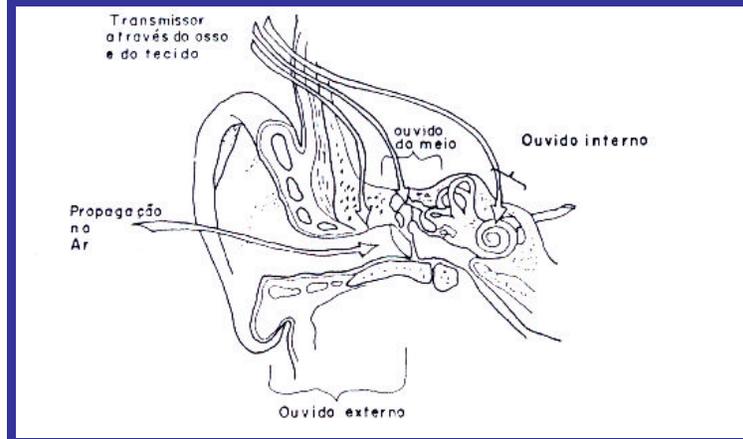
c) Transmissão através do material do protetor

Para os protetores tipo concha, o coeficiente de transmissão acústica dos materiais usados limita a atenuação deste caminho. Como exemplo as almofadas, se apresenta como o caminho mais crítico quanto ao vazamento de energia sonora. No entanto para tampões em geral, este tipo de transmissão é pouco significativa.

d) Vazamento aéreo

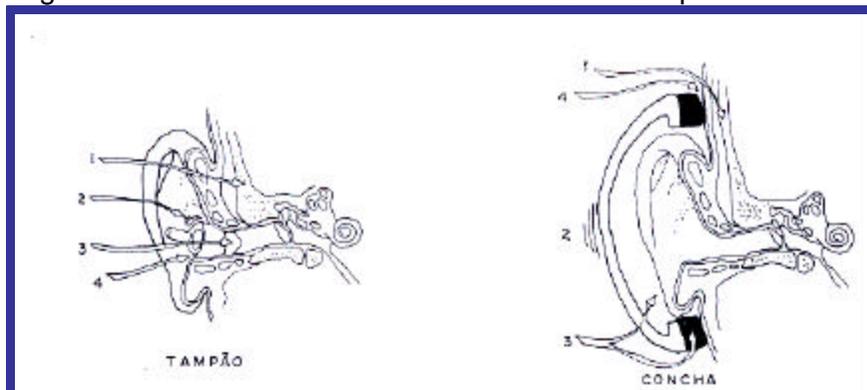
Para que o protetor alcance o seu objetivo ou seja, ofereça o máximo de proteção, deve-se ajustá-lo adequadamente ao canal externo do ouvido, no caso de dispositivos de inserção. No caso de dispositivos do tipo concha deve-se ajustar adequadamente a concha ao redor da orelha. Segundo Berguer citado por Zanim [22] o vazamento aéreo pode reduzir a atenuação de 5 dB a 15 dB.

Figura 2.12: Caminhos de Vazamento - Orelha sem o protetor



Fonte: Gerges Samir N.Y. Ruído fundamentos e controle [23]

Figura 2.13: Caminhos de Vazamento - Orelha com o protetor



Fonte: Gerges Samir N.Y. Ruído fundamentos e controle [23]

2.6. Redução de ruído

O objetivo principal dos protetores auditivos é reduzir a um nível aceitável, os ruídos excessivos, aos quais o usuário está exposto. Os tampões, em geral, são menos eficazes que as conchas. A eficiência de ambos pode ser comprometida se forem colocados de maneira incorreta.

Para comparar a redução do ruído com tipos diferentes de protetores, os ensaios de atenuação de ruído devem ser feitos de acordo com as normas nacionais ou internacionais. Os fabricantes devem relatar as técnicas de ensaio utilizadas e os laboratórios onde os ensaios foram feitos. Protetores que não possuam dados confiáveis de redução dos níveis de ruído medidos em um laboratório credenciado, não devem ser considerados.

As instruções de colocação dos protetores deverão ser fornecidas pelo fabricante e seguidas pelo usuário. Tais instruções deverão ser baseadas nas condições de ensaio especificadas nas normas utilizadas. Por exemplo, para pessoas que utilizam óculos com armação lateral, a atenuação obtida durante o uso pode ser menor do que a especificada pelos ensaios. Neste caso deve-se buscar uma colocação que permita a utilização eficaz de ambos os equipamentos. Além dos níveis de atenuação dos protetores devem também ser relatadas os desvios padrão dos resultados dos ensaios (que são devidas às diferenças anatômicas entre os indivíduos envolvidos durante os testes) e as diferenças entre as diversas amostras do tipo de protetor ensaiado. Os limites inferiores de atenuação podem ser determinados, subtraindo um ou dois desvios padrões da atenuação média do protetor considerado, neste caso, a

confiabilidade atingida será respectivamente 84% e 98%, considerando a variação estatística Gaussiana. [23].

2.6.1. Número simplificado para atenuação dos protetores

A transformação dos dados da atenuação média e desvios em um único número, possibilita uma maneira quantitativa simples, eficiente e rápida para comparação e seleção dos protetores [23].

Os fabricantes e importadores dos protetores auditivos são os responsáveis em fornecer três importantes informações para os compradores;

1-Atenuação média de ruído em dB (neste caso é o mesmo em dBA) do protetor auditivo em função da frequência nas bandas de 1/1 oitava de 125 Hz a 8 kHz (sete valores);

2-Desvio padrão em função da frequência nas bandas de 1/1 oitava de 125 Hz a 8 kHz (sete valores);

3-Um número simples sobre atenuação global tais como NRR, NRR_{sf}, SNR ou HML (um valor para NRR ou NRR_{sf} ou SNR ou três valores para HML).

Todos os índices mencionados NRR, NRR_{sf}, SNR e HML são apenas dados reduzidos das informações de atenuação média e desvio padrão em 7 bandas de frequência (14 números).

Os cálculos dos índices NRR, NRR_{sf}, SNR e HML são baseados num espectro de ruído rosa como ambiente padrão, que não é o caso para todos os usuários.

No presente trabalho, aborda-se somente o cálculo do NRR_{sf}.

2.6.2. Nível de Redução de Ruído - NRR_{sf}

O NRR_{sf} é usado para cálculo do Nível de Pressão Sonora protegido em dBA (com o uso do protetor auditivo) submetido a NPS (dBC) ou NPS (dBA) no ambiente conforme as seguintes equações [30]:

$$NPS_c(dBA) = NPS_s(dBA) - NRR_{sf}, \text{ ou}$$

$$NPS_c(dBA) = NPS_s(dBC) - (NRR+5)$$

Em que:

NPS_c (dBA) é o nível de pressão sonora protegido;

NPS_s (dBA) é o nível de pressão sonora no ambiente;

NRR_{sf} é o nível de redução de ruído (colocação do protetor feita pelo ouvinte) ;

NRR é o nível de redução de ruído (colocação do protetor feita pelo supervisor do ensaio)

O método para obtenção do NRR_{sf} para qualificação dos protetores auditivos é apresentado no Capítulo 3.

3 ENSAIOS DOS PROTETORES

Este capítulo divide-se em duas partes. Na primeira parte são apresentados os ensaios de atenuação de ruído dos protetores auditivos tipo concha e tipo plug. São apresentados os equipamentos utilizados, o desenvolvimento dos ensaios de atenuação dos protetores tipo concha e tipo plug, são abordados os procedimentos de seleção e treinamento dos ouvintes, realização dos ensaios de atenuação de ruído e cálculo do NRRsf.

Na segunda parte são apresentados os ensaios mecânicos e seus desenvolvimentos, descrição dos aparelhos utilizados e ensaio de atenuação dos protetores após o teste de flexão do arco.

3.1. Ensaio de atenuação de ruído

Na realização dos ensaios, pelo método subjetivo, de atenuação de ruídos de protetores auditivos busca-se avaliar a eficiência com relação ao tempo de uso dos protetores auditivos tipo concha e do tipo plug. Estes ensaios de atenuação de protetores auditivos são baseados nos procedimentos especificados na norma ANSI 12.6-1997 [04], método B, onde a colocação do protetor é feita pelo ouvinte sem a supervisão do executor dos ensaios.

A avaliação desses protetores envolve diversos processos que vai desde a qualificação do campo sonoro do ambiente de teste, da adequação do sistema de geração e controle de sinal a ser gerado aos critérios das normas até a seleção dos ouvintes e cálculos de atenuação.

Para a realização destes ensaios partiu-se do princípio de que o campo sonoro do ambiente de teste apresentava-se devidamente qualificado e que o sistema de geração e controle de sinal gerado estavam dentro dos critérios estabelecidos pela norma ANSI S 12.6-1997.

3.1.1. Equipamentos, acessórios e materiais

Na realização dos ensaios de atenuação, utilizou-se os seguintes equipamentos, acessórios e materiais:

- Audiômetro Clínico AC 40, utilizado para fazer audiometrias e gerar sinais para a realização dos ensaios (ver figura 3.6);
- Microcomputador com o software AUDIO programado na linguagem C+, o software AUDIO é que coordena o ensaio (ver figura 3.6);
- Sistema de monitoramento do ouvinte (circuito interno de TV), para observar a realização dos ensaios a fim de evitar imprevistos (ver figura 3.6);
- Amplificador de potência do audiômetro AC 40, proporciona um ganho no sinal gerado pelo audiômetro AC 40 (ver figura 3.6);
- Câmara reverberante com painéis defletores de acrílico, painéis vibrantes tipo membrana e placa de espuma absorvente , para realização dos ensaios e da audiometria segundo as especificações da norma;
- Três caixas acústicas, marca Selenium, modelo HC-2535, com a função de gerar os níveis de pressão sonora na câmara;

- Três caixas acústicas, marca JBL, modelo LX 200, com a função de gerar os níveis de pressão sonora na câmara;
- Botão de resposta, utilizado para obter a resposta do ouvinte submetido ao ensaio;
- Headfone (fone de ouvido utilizado na realização de audiometria);
- Cadeira para o ouvinte realizar os ensaios sentado;
- Dispositivo para o posicionamento da cabeça do ouvinte, é necessário para manter o campo sonoro em torno da cabeça do ouvinte uniforme e dentro das especificações da norma.

3.1.2. Desenvolvimento do ensaio de atenuação do protetor tipo concha

Este tipo de protetor é fabricado com material rígido, revestido com colchão circular de espuma, especialmente projetado para cobrir completamente a orelha (ver Figura 3.1).

Figura 3.1: Exemplo típico de protetor tipo concha



3.1.2.1. Seleção de ouvintes

Os ouvintes foram selecionados com base na norma ANSI 12.6-1997 ou seja:

- Quanto as características anatômicas

Os ouvintes foram selecionados desprezando-se a forma ou o tamanho de suas cabeças, pavilhão e canal do ouvinte. Excluiu-se aqueles que apresentavam problemas de audição.

- Levantamento antropométrico

Antes mesmo da qualificação e participação nos testes de atenuação realizou-se as medições das dimensões dos canais da orelha (direita e esquerda), a largura entre os tracion e altura da cabeça do indivíduo de teste conforme procedimento descrito anteriormente (ver item 2.4.1), anexo D da norma. Ver Figura 3.2, 3.3 e 3.4.

Figura 3.2: Instrumentos utilizados no levantamento antropométrico



Figura 3.3: Medição da altura da cabeça Figura 3.4: Medição do canal auditivo



- Balanço de sexo

O balanço de sexo para a população foi de 50/50 \pm 10%, satisfazendo a norma na qual especifica que o balanço de sexo para a população de teste deverá ser de 50/50 \pm 10%.

- Sensibilidade da audição

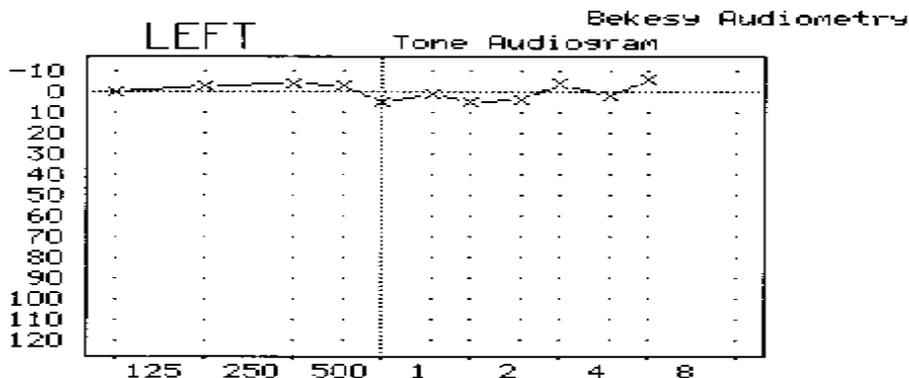
Segundo a Norma ANSI 12.6-1997 item 5.5.1 – Sensibilidade mínima, os indivíduos deverão possuir níveis de \leq 25 dB para limiar de audição de tom puro para condução no ar, em frequências centrais em bandas de oitava de 125 Hz a 8000 Hz, medido em audiômetro padrão.

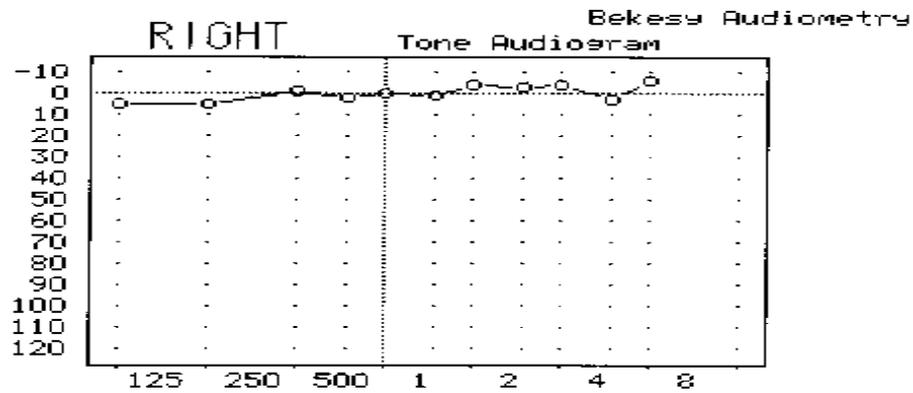
No item 5.5.2 – Sensibilidade máxima, a norma especifica que não deverá ser utilizado nos testes, indivíduos que apresentam mais que 3 dB de limiar aberto de audição média, abaixo dos níveis de ruído do ambiente (ruído de fundo) em qualquer frequência de teste 125 Hz a 8000 Hz.

Convém salientar que as limitações na sensibilidade do limiar aberto relativo aos níveis de ruído de ambiente da sala de teste pretendem reduzir o potencial para a elevação do limiar aberto devido ao mascaramento. Se o mascaramento ocorrer, ele tenderá a decrescer as atenuações médias e possibilitar também o aumento nos desvios padrão.

Os testes de obtenção do limiar auditivo foram realizados com o audiômetro clínico AC-40 que emitia um sinal sonoro (tom puro) nas bandas de 1 oitava desde 125 Hz até 8000Hz (teste Bekesy). Quando este sinal era captado pelo ouvinte através do headfone (fone de ouvido), o mesmo respondia acionando (apertando) um mecanismo manual (botão para resposta do indivíduo ao estímulo sonoro) e soltando o botão no momento em que não havia a percepção do som emitido pelo AC-40. Deste modo, obteve-se um conjunto de pontos de acionamento e desacionamento do mecanismo para as bandas de freqüência analisadas. De posse destes dados extraiu-se a média dos pontos obtendo-se o limiar de audição do ouvinte, ou seja, o mínimo valor de NPS (nível de pressão sonora) que o indivíduo percebe nas bandas de freqüência analisadas (ver Figura 3.5).

Figura 3.5: Audiometria de um dos ouvintes





Devido ao número de ensaios realizados, fez-se um cadastramento destes ouvintes em num banco de dados montado no Microsoft Access no qual constam, dados pessoais, as dimensões de sua cabeça, do canal auditivo e resultado da sua audiometria. Essa ficha também foi utilizada para controle do número de ensaios realizados por cada ouvinte, já que a norma estabelece um número máximo de 12 ensaios para cada um.

3.1.2.2. Treinamento dos ouvintes

Terminada a audiometria clínica do ouvinte e, constatando-se que o limiar da audição estava de acordo com a norma ANSI 12.6/1997, foi iniciado o segundo passo, o treinamento no qual o ouvinte foi submetido a no mínimo 5 passagens (audiogramas) no limiar aberto (sem o protetor auditivo) administrados todos numa mesma sessão, sendo a variação dos 3 últimos verificadas. Como a faixa de variação do limiar aberto de audição para cada frequência não deve exceder 6 dB, realizou-se audiogramas adicionais, nos

casos dos ouvintes que não conseguiram obter esta constância na medição do limiar, até que os mesmos tenham atendido o requisito de não exceder 6 dB em 3 audiogramas consecutivos .

A aparelhagem do treinamento foi a mesma utilizada no ensaio, consistindo basicamente no seguinte funcionamento; o sinal era gerado pelo audiômetro AC 40, esse sinal passava pelo amplificador de potência e em seguida através das caixas acústicas situadas dentro da câmara onde nível de pressão sonora era emitido, o ouvinte ao perceber a existência de um nível de pressão sonora (sinal sonoro) acionava o botão de resposta e soltava-o quando não mais percebia a existência do nível de pressão sonora na câmara reverberante (ver figura 3.7), sendo o audiograma traçado no microcomputador através do software AUDIO e o ouvinte monitorado através do circuito interno de TV conforme pode ser visto na Figura 3.6.

Figura 3.6: Equipamentos utilizados na realização do treinamento e ensaio

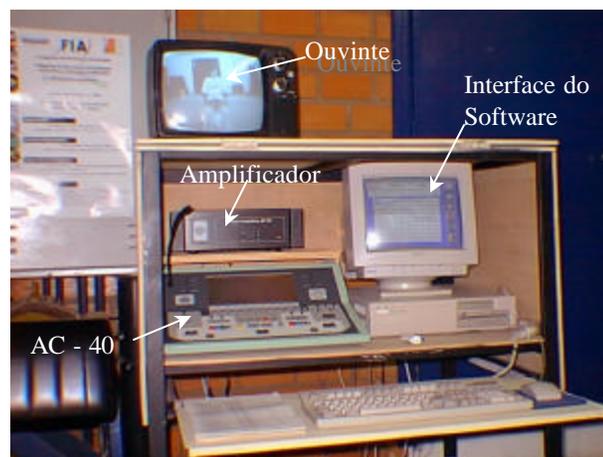
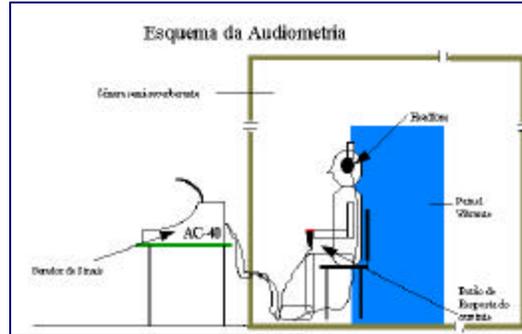


Figura 3.7: Esquema, em corte, da realização da audiometria



3.1.2.3. Realização do ensaio de atenuação

Na realização dos ensaios, busca-se avaliar a vida útil do protetor auricular tipo concha, através dos parâmetros mudança de atenuação de ruído e força do arco.

Utiliza-se a adoção do método do NRRsf (Nível de Redução de Ruído-subject fit), previsto na norma ANSI S 12.6-1997-método B, para obter um número único da atenuação do protetor.

Devido a dificuldade de conseguir uma grande quantia de protetores auditivos, este trabalho limitou-se a ensaiar 29 protetores auditivos do tipo concha com vários tempos de uso. Esses protetores foram divididos em 4 grupos:

1. Grupo C01 – Protetores Novos, composto por 06 protetores auditivos;
2. Grupo C02 – Protetores com 02 a 04 meses de uso, composto por 07 protetores auditivos;
3. Grupo C03 – Protetores com 06 a 10 meses de uso, composto por 08 protetores auditivos;
4. Grupo C04 – Protetores com 12 a 20 meses de uso composto por 08 protetores auditivos.

Convém salientar que, como não foi possível ter 10 protetores auditivos distintos em cada grupo, deforma a satisfazer a norma ANSI S 12.6-1997, optou-se por realizar o ensaio mais de uma vez com o mesmo protetor, porém com ouvintes diferentes.

Tendo uma lista de ouvintes selecionados e já treinados, juntamente com o ambiente da câmara qualificada, pôde-se então dar início aos ensaios com os protetores auditivos.

Os ensaios de atenuação dos protetores são baseados nos procedimentos contidos na norma ANSI 12.6-1997, utilizando-se o método B (Subject fit), no qual a colocação do protetor é feita pelo ouvinte, segundo a sua interpretação da instrução de uso, fornecida pelo fabricante, sem a supervisão do executor dos ensaios.

A atenuação, para cada ouvinte, nas frequências consideradas para o teste, foi medida duas vezes (4 audiogramas) durante uma única visita ao laboratório.

Cada medida consistiu de um limiar aberto e um limiar fechado, cuja ordem foi balanceada entre os ouvintes. Um exemplo dos testes dos limiares pode ser visto abaixo:

Seqüência representativa de teste

	Metade dos indivíduos	Metade dos indivíduos
1ª Medida (2 audiogramas)	Fechado, Aberto	Aberto, Fechado
2ª Medida (2 audiogramas)	Fechado, Aberto	Aberto, Fechado

- Procedimentos:

Fora da câmara:

O operador foi até o ouvinte passando-lhe as seguintes informações:

- depois de fechadas as portas da câmara, podem estas serem abertas pela parte interna a qualquer momento, e a qualquer instante você poderá também se retirar do ensaio , seja qual for o motivo.
- dentro da câmara encontra-se instalada uma micro câmara de TV para a monitoração durante o ensaio, para o caso de você necessitar de alguma coisa , de forma que você será observado durante os testes.
- ao sentar na cadeira dentro da câmara deve utilizar o dispositivo posicionador da cabeça, e não deve movimentá-la durante a execução do ensaio a fim de não causar alterações no mesmo.
- o ensaio constará de duas seqüências medições, uma do limiar aberto (L.A.) e outra do limiar fechado (L.F.). Sendo limiar fechado aquele em que você estará usando o protetor auditivo, e limiar aberto

aquele sem o protetor auditivo. A metodologia usada será igual para a realização das duas seqüências.

- após concluir cada seqüência, você será informado para que coloque ou retire o protetor do ouvido sendo importante que você permaneça dentro da câmara durante as duas seqüências de medições.

- os protetores auditivos devem ser colocados e/ou retirados em cada medição.

- após entrar na câmara e sentar-se na cadeira, você permanecerá em silêncio (sem a presença de qualquer sinal sonoro) por no mínimo 2 (dois) minutos antes de iniciar o ensaio.

Após estas explicações iniciais o operador, solicitou que o ouvinte o acompanhasse até a câmara.

Caso o ouvinte utilizasse óculos, brincos ou outros adornos que pudesse interferir no uso do protetor a ensaiar, o operador solicitava para que o ouvinte os retirasse.

Perguntava-se ao ouvinte se ele tinha alguma dúvida, e se estava tudo bem.

O protetor auditivo era entregue ao ouvinte na embalagem em que era comercializado.

O ouvinte foi instruído como segue:

“O propósito deste teste é estimar a atenuação sonora que seria atingida se você usasse este protetor auditivo em um ambiente ruidoso. Por favor, leia as instruções, coloque e ajuste o protetor auditivo da melhor modo que você conseguir. Eu não posso auxiliá-lo neste processo”.

O ouvinte foi informado da existência e da localização de todas as instruções disponíveis fornecidas pelo fabricante para colocação e ajuste do protetor auditivo.

O tempo total de ajuste, desde o início da leitura das instruções do fabricante até o término da colocação do protetor, não excedeu 5 (cinco) minutos. Caso houvesse necessidade, informava-se que já haviam decorridos 4 (quatro) minutos.

Caso o ouvinte estivesse com o protetor auditivo o mesmo era orientado a retirá-lo antes de entrar na câmara.

Com o ouvinte na câmara:

1. O software AUDIO foi carregado no microcomputador e foram digitados os dados do ouvinte e do protetor a ser ensaiado.
2. Passado os 2 minutos o ouvinte foi avisado que o ensaio seria iniciado e então clicou-se com o mouse no ícone do limiar a ser realizado (aberto ou fechado), dando início ao programa que comanda o audiômetro e recebendo as respostas enviadas pelo ouvinte através do botão de resposta.
3. Quando o ouvinte completou o limiar em toda a banda, o operador lhe informou, através do microfone do audiômetro, que o limiar fora concluído, devendo então (tirar ou colocar) o protetor, informando, com o polegar, quando estivesse pronto para iniciar a 2ª parte da série.

4. Depois de concluída as duas séries, o operador informou ao ouvinte que o ensaio fora concluído e que o mesmo poderia deixar a câmara.
5. Com o mouse clicou-se no ícone de read/save, e novamente clicou-se no save, digitando o nome do arquivo que armazenou os dados do ensaio.
6. Clicou-se no reiniciar, apagando a tela com as curvas do ensaio anterior, dando-se início ao próximo ensaio.

Participaram destes ensaios (40 ensaios) um total de 20 pessoas sendo destas 11 do sexo masculino e 09 do sexo feminino. A estes participantes foram pagos R\$5,00 ao realizarem os testes de qualificação e R\$5,00 na realização de cada ensaio, totalizando um custo, somente com os participantes de R\$300,00.

3.1.2.4. Cálculo do NRRsf

De posse dos valores da atenuação dos protetores apresentados para cada ouvinte, utilizou-se como dado comparativo o NRRsf (Nível de Redução de Ruído – colocação pelo ouvinte ou subject fit).

Este método é previsto pela norma ANSI S 12.6/1997- método B – colocação pelo ouvinte sem a supervisão do executor do ensaio e, é baseado no SNR (Single Number Rating), conforme norma internacional ISO 4869-2, para um nível de proteção de 84% (confiança), equivalente a um desvio padrão ($\alpha=1$).

Apresentaremos a seguir um roteiro explicativo para o cálculo do NRRsf, baseado no método que utiliza o SNR. Para a validação dos resultados obtidos com este roteiro, realizou-se o cálculo do exemplo contido no artigo E-A-R 96-01/HP, de E.H. Berger [24].

1. Primeiramente, toma-se como base um ruído rosa com nível de pressão sonora de 100 dB, na escala C. Transformando-se estes valores para a escala A, tem-se a primeira linha da tabela 3.1, com os valores de $L_{af}(k)$.
2. Segundo passo é o cálculo dos valores de APV (assumed protection values – valores assumidos de proteção), que são calculados conforme a tabela 3.2 (anexo A da norma ISO 4869-2), onde a é uma constante que depende da confiança requerida aos resultados. No caso de 84% de confiança, o valor de a é 1.
3. Com os valores de APV em mãos, faz-se agora a diferença $L_{af}(k) - APV_{f84}$, ou seja, os níveis de ruído na escala A menos os valores assumidos de proteção. Esta operação é mostrada na linha 4 da tabela 3.1.

Faixa de frequência de 125 Hz a 8000 Hz admitindo um nível de proteção de 84%

Tabela 3.1 – Cálculo da diferença entre Laf(k) e APV_{f84} – valores em decibéis

Linha 1	Bandas de Freq.(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Linha 2	Laf(K)	75,4	82,9	88,3	91,5	92,7	92,5	90,4
Linha 3	APV _{f84}	10,6	12,7	13,7	18,3	24,6	30,6	29,2
Linha 4	Laf(K)-APV _{f84}	64,8	70,2	74,6	73,2	68,1	61,9	61,2

Tabela 3.2 – Cálculo do APV_{f84} – valores em decibéis

Linha 1	Bandas de Freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Linha 2	Atenuação média (mf)	17,9	19	21	24,7	29,9	35,6	34,6
Linha 3	Desvio Padrão (sf)	7,3	6,3	7,3	6,4	5,3	5,0	5,4
Linha 4	a. sf (a=1,0)	7,3	6,3	7,3	6,4	5,3	5,0	5,4
Linha 5	APV _{f84} = mf – (a. sf)	10,6	12,7	13,7	18,3	24,6	30,6	29,2

Com as tabelas 3.1 e 3.2 preenchidas, basta calcularmos o valor do SNR, através da seguinte equação:

$$SNR_{84\%} = 100\text{dB} - 10 \cdot \log(10^{0,1.64,8} + 10^{0,1.70,2} + \dots + 10^{0,1.61,2}) \quad (1)$$

Como podemos observar, o SNR é uma subtração do ruído gerado (ruído rosa com 100 dB em escala C) com a soma dos valores da linha 4 da tabela 3.1.

Uma vez conhecido o SNR, o NRRsf pode ser calculado como sendo:

$$NRRsf = SNR - 5 \text{ dB}$$

$$\text{Cálculo do } SNR_{84\%} = 21,39 \text{ dB}$$

$$\text{Cálculo do } NRRsf = 16,39 \text{ dB} \simeq 16 \text{ dB}$$

Este valor significa que 84% dos usuários terão uma proteção de 16 dB.

3.1.3. Desenvolvimento do ensaio de atenuação do protetor de inserção do tipo pré-moldado

Os protetores de inserção pré-moldados (também chamados de protetor tipo plug) devem ser fabricados com materiais elásticos para que rapidamente se adaptem às diversas formas de canais de orelha. O material deve ser não tóxico, de superfície lisa e lavável com água e sabão neutro. O material usado deve garantir que a forma do protetor não se altere durante longos períodos consecutivos, e que não seja afetado pela cera da orelha, pelo suor e por cosméticos . São feitos com materiais de borracha, silicone, termoplástico, entre outros.

Existem vários modelos de protetores de inserção pré-moldados; um destes modelos é mostrado na Figura 3.8.

Alguns modelos são encontrados em até cinco tamanhos diferentes mas, na prática, o tamanho médio atende à 75% da população masculina.

Figura 3.8: Exemplo típico de protetor tipo pré-moldado



3.1.3.1. Seleção de ouvintes

Na seleção dos ouvintes para a realização destes ensaios seguiu-se os mesmos procedimentos descritos no item 3.1.2.1.

3.1.3.2. Treinamento dos ouvintes

Na realização do treinamento dos ouvintes seguiu-se os mesmos procedimentos descritos no item 3.1.2.2.

3.1.3.3. Realização dos ensaios de atenuação

Na realização destes ensaios, busca-se avaliar a vida útil do protetor de inserção tipo pré-moldado, através do parâmetro mudança de atenuação.

Utiliza-se a adoção do método do NRRsf (Nível de Redução de Ruído-subject fit), previsto na norma ANSI S 12.6/1997-método B, para obter um número único da atenuação do protetor. Esta norma especifica que para protetores de inserção sejam ensaiados 20 protetores distintos em cada grupo.

Realizou-se o ensaio de 80 protetores de inserção tipo pré-moldado com variados tempos de uso. Estes protetores foram divididos em 04 grupos:

1. *Grupo P01: Protetores Novos, composto por 20 protetores auditivos;*
2. *Grupo P02: Protetores com 01 a 03 meses de uso, composto por 20 protetores auditivos;*
3. *Grupo P03: Protetores com 04 a 06 meses de uso, composto por 20 protetores auditivos;*

4. Grupo P04: Protetores com 12 a 14 meses de uso, composto por 20 protetores auditivos

De posse da lista de ouvintes selecionados e já treinados, juntamente com o ambiente da câmara qualificado, pôde-se então dar início aos ensaios com os protetores auditivos.

Os ensaios de atenuação dos protetores são baseados nos procedimentos contidos na norma ANSI 12.6/1997, utilizando-se o método B (Subject fit), no qual a colocação do protetor é feita pelo ouvinte, segundo a sua interpretação da instrução de uso, fornecida pelo fabricante, sem a supervisão do executor dos ensaios.

A atenuação, para cada ouvinte, nas frequências consideradas para o teste, foi medida duas vezes (4 audiogramas) durante uma única visita ao laboratório.

Cada medida consistiu de um limiar aberto e um limiar fechado, cuja ordem foi balanceada entre os ouvintes. Um exemplo dos testes dos limiares pode ser visto no item 3.1.2.3.

Participaram destes ensaios (80 ensaios) um total de 30 pessoas sendo destas 16 do sexo masculino e 14 do sexo feminino. Estes participantes foram pagos R\$5,00 ao realizarem os testes de qualificação e R\$5,00 na realização de cada ensaio, totalizando um custo, somente com os participantes de R\$500,00.

3.2. Ensaio Mecânicos

Na realização dos ensaios mecânicos, busca-se simular os desgastes, que o protetor tipo concha, sofre no local de trabalho, a nível industrial.

Tal simulação possibilitou determinar uma possível diferença da atenuação sonora entre os protetores auditivos novos do tipo concha e aqueles envelhecidos em ensaio de laboratório.

Para realização destes ensaios (testes) utiliza-se a norma Européia EN 352-1/1993 na qual considera 10 amostras por marca de protetores auditivos e submete-os a diferentes testes.

Este estudo limitou-se a construção do aparelho para ensaio da flexão do arco tensor (haste) e a realização dos seguintes ensaios: Determinação da força da haste das conchas, flexão da haste, queda livre e inspeção visual.

Na realização dos ensaios mecânicos, utilizou-se a seguinte seqüência:

1. *Desempacotou-se, completamente, todos os protetores auditivos tipo concha (circum auriculares);*
2. *Acondicionou-se todas as amostras por não menos que 4 horas no ambiente especificado. A norma EN 352-1/1993 especifica uma temperatura ambiente de $(22 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e uma umidade relativa de não mais que 85%.*
3. *Pesou-se cada amostra e relatou-se o peso médio das 06 amostras;*
4. *Mediu-se a força do arco tensor ;*
5. *Realizou-se o ensaio de queda livre;*
6. *Realizou-se de flexão do arco tensor (haste)*

7. *Realizou-se a inspeção visual e,*
8. *Para servir de comparação, realizou-se ensaio de atenuação sonora, nas 06 amostras*

3.2.1. Medição da força do arco tensor

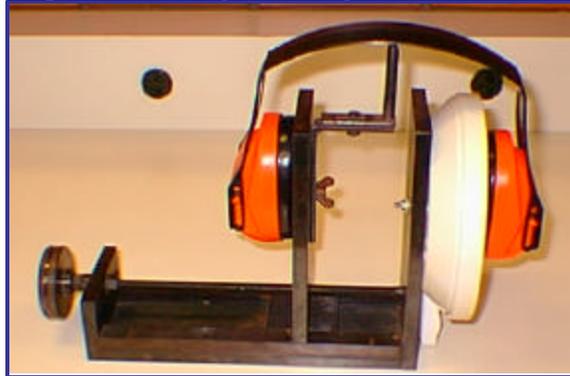
A força do arco tensor dos protetores tipo concha é um fator muito importante no projeto. É ela que irá determinar o conforto adequado e também é ela que irá determinar a existência ou não de vazamento entre a concha e os lados da cabeça. Um exemplo de faixa típica de valor da força é de 10 a 15 Newtons .

Antes de realizar-se os ensaios de atenuação, verificou-se a medição da força do arco tensor do protetor tipo concha.

Para a medição da força exercida pelo arco tensor, utilizou-se um sistema com placas planas contra as quais as almofadas do protetor foram pressionadas. As 2 conchas do protetor ficaram separadas a $145 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ entre a largura das almofadas, correspondente a cabeça média (largura entre os tracion), e uma distância de $130 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ entre a braçadeira da cabeça e uma linha imaginária que passa pelos pinos de conexão do arco e as conchas (altura média da cabeça). O arco permaneceu livre durante o teste.

Esta força foi medida através do aparelho especificado pela norma ANSI S12.6/1997. A Figura 3.9 mostra o aparelho por nós utilizado.

Figura 3.9: Medição da força do arco tensor



3.2.2. Ensaio de queda livre

Para a realização deste ensaio, construiu-se um aparelho que consiste em uma placa de aço plana de 1cm de espessura, de dimensões (50x50) cm, composto por um suporte de metal que permite a regulação da altura em até 2,0 m, no qual serve para suspender o protetor auditivo (ver Figura 3.10).

Figura 3.10: Ensaio de queda livre



Primeiramente colocou-se o aparelho sobre um piso nivelado e através deste suspendeu-se o protetor auditivo pelo centro do arco tensor com as conchas voltadas para baixo, de modo que a altura do ponto mais baixo do protetor auditivo fosse de $1,5\text{ m} \pm 1\text{ cm}$ acima da placa de aço. Logo após soltou-se o protetor auditivo sobre a placa de aço e, observou-se se houve a quebra ou soltura de alguma parte do protetor auditivo.

Este procedimento foi realizado 1 vez com cada um dos 06 protetores auditivos.

3.2.3. Ensaio de flexão do arco tensor

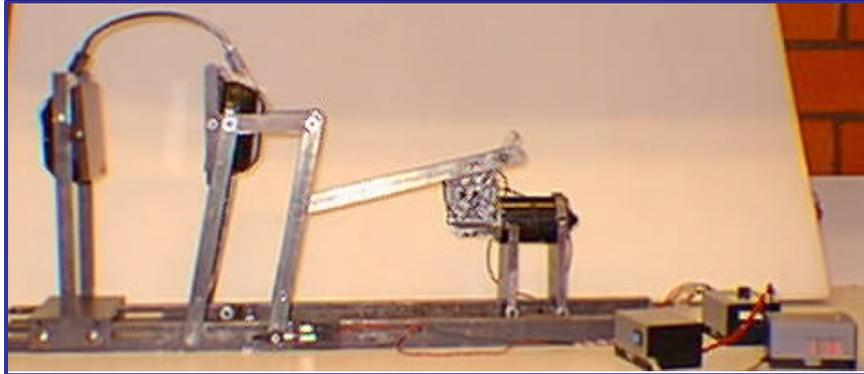
Para a realização deste ensaio, construiu-se um aparelho, especificado pela norma inglesa EN 352-1/1993 (ver Figura 2.10 do Capítulo 2).

Na construção deste aparelho primeiramente, construiu-se um protótipo de madeira (ver Figura 3.11) e após correção dos defeitos construiu-se o aparelho original (ver Figura 3.12); consiste de um dispositivo de flexão capaz de executar movimentos senoidais (abrir e fechar) com 1000 ciclos a uma velocidade de 10 a 12 ciclos/min.

Figura 3.11: Protótipo do aparelho de flexão do arco tensor



Figura 3.12: Aparelho de flexão do arco tensor



Na realização do ensaio utilizou-se o seguinte procedimento:

1. Ajustou-se as conchas e o arco tensor no ponto médio do intervalo de ajuste deles;
2. Colocou-se o protetor auditivo no aparelho de modo que as conchas ficassem fixas;
3. Ajustou-se as placas a uma distância mínima de 25 mm;
4. Ajustou-se as placas a uma distância máxima de $200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$;
5. Ligou-se o aparelho de modo que o mesmo executasse, entre a separação mínima e a máxima, 1000 ciclos a uma taxa de 10 a 12 ciclos por minuto.

Este procedimento foi realizado 1 vez com cada um dos 06 protetores auditivos. Tomou-se o cuidado de nos assegurarmos de que durante o ensaio nenhuma parte do arco tensor tocasse qualquer objeto de maneira que viesse a interferir na ação mecânica deste.

3.2.4. Ensaio de atenuação dos protetores auditivos após teste de flexão

Na realização dos ensaios de atenuação, utilizou-se os critérios estabelecidos pela norma ANSI S 12.6/1997-método B, onde a colocação do protetor é feita pelo ouvinte sem a supervisão do executor do ensaio.

O procedimento para a execução deste ensaio encontra-se descrito no capítulo 3 item 3.1.3.3- Realização dos ensaios de atenuação.

3.3. Considerações finais

Neste capítulo, na primeira parte, especificou-se a metodologia utilizada na realização dos ensaios de atenuação de ruído dos protetores (tipo concha e tipo plug) e o procedimento do cálculo do Nível de Redução de Ruído (NR Rsf).

Na Segunda parte especificou-se a metodologia utilizada nos ensaios mecânicos bem como a metodologia utilizada nos ensaios de atenuação de ruído dos protetores, tipo concha, após estes ensaios.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta, no item 4.1, os resultados dos levantamentos antropométricos de 20 participantes dos ensaios de atenuação. O objetivo deste é a comparação das medidas, altura entre os tracion (distância horizontal) e altura da cabeça (distância vertical), com as dimensões especificadas na norma ANSI 12.6/1997 quando esta refere-se a medição da força do arco.

O item 4.2 apresenta os resultados dos ensaios de atenuação do protetor tipo concha (novos e usados), por frequência em função do tempo de uso, análise comparativa na força do arco tensor em relação ao tempo de uso e análise comparativa dos valores dos NRRsf em função do tempo de uso.

O item 4.3 apresenta os resultados dos ensaios de atenuação do protetor tipo plug de silicone (novos e usados), por frequência em função do tempo de uso e análise comparativa dos valores dos NRRsf em função do tempo de uso.

O item 4.4 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos realizados com protetores tipo concha. Apresenta o resultado da medição do peso dos protetores auditivos, o resultado e análise comparativa da força do arco dos protetores auditivos antes dos ensaios mecânicos e após os ensaios mecânicos, Os resultados e análise comparativa dos ensaios da atenuação, por frequência, dos protetores auditivos antes dos ensaios mecânicos e após os ensaios mecânicos e os resultados e análise comparativa do cálculo do NRRsf dos protetores auditivos antes do ensaios mecânico e após os ensaios mecânicos

No item 4.5 apresenta uma conclusão final deste capítulo.

4.1. Levantamento antropométrico

Realizou-se, o levantamento antropométrico de 20 ouvintes ou seja, mediuse as dimensões dos canais da orelha (direita e esquerda), largura entre os tracion (distância horizontal) e altura da cabeça (distância vertical). Conforme tabela 4.1.

Tabela 4.1: Levantamento antropométrico dos ouvintes

Nome	Distância Horizontal (mm)	Distância Vertical (mm)	Canal da Orelha Direita	Canal da Orelha Esquerda
Elias	150	150	médio	Médio
Lúcio	170	144	grande	Grande
Marcelo	170	150	médio	Médio
Luciane	122	138	médio	Médio
Adriano	172	116	médio	Médio
Ricardo F.	173	116	médio	Grande
Giussepp	177	142	pequeno	Pequeno
Aylhana	146	138	médio	Médio
Ricardo M.	140	162	grande	Grande
Marcos	180	135	grande	Grande
Elizabete	150	130	médio	Médio
Felipe	145	160	médio	Médio
Marcelo V.	135	167	Médio	Médio
Thiago	164	132	Grande	Grande
Marcelo	158	136	Médio	Pequeno
Simone	138	136	Médio	Médio
Halina	158	126	Pequeno	Pequeno
Clarissa	157	125	Médio	Médio
Vanessa	146	137	Médio	Médio
Rodrigo	165	140	Médio	Médio

Após realizada o levantamento antropométrico dos participante e, analisando o tabela 4.2, pode-se observar que a média das distâncias horizontais dos participantes foi de 155,2 mm, a média da distância vertical foi de 145 mm.

Tabela 4.2: Média e desvio padrão das distâncias horizontais e verticais das cabeças dos ouvintes.

Distâncias	Horizontal	Vertical
Média (mm)	155,8	145
Desvio Padrão (mm)	10,6	7,1

Estas distâncias são importantes, pois são elas que irão influenciar diretamente na força do arco, conseqüentemente na eficiência do protetor tipo concha, quanto a atenuação do ruído.

A norma ANSI S 12.6/1997 sugere que, para a medição das forças do arco (ver Capítulo 3), as conchas dos protetores auditivos devem estar separadas por uma distância de 145 mm \pm 1 mm, que corresponde a largura média de uma cabeça humana e a 130 mm \pm 1 mm, que corresponde a distância do centro do canal auditivo a parte superior da cabeça (ver Figura 3.3- Capítulo 3), que corresponde a altura média da cabeça humana.

O tamanho da cabeça tem influência sobre o valor da força do arco, pois quanto maior o tamanho da cabeça, mais elevado será a magnitude desta.

Pode-se observar que as dimensões estipuladas pela norma internacional não retratam as dimensões encontradas nos ouvintes (brasileiros) ensaiados.

Quanto as dimensões dos canais da orelha (ver quadro 4.1) observa-se que 70% das dimensões do canal da orelha direita corresponde ao tamanho médio, 20% ao tamanho grande e 10% ao tamanho pequeno. Nas dimensões do canal da orelha esquerda observa-se que 60% corresponde ao tamanho médio, 5% ao tamanho grande e 3% ao tamanho pequeno.

Estas dimensões são importantes na escolha do protetor do tipo plug, pois o tamanho do protetor do tipo plug deve estar relacionado ao tamanho do canal da orelha.

Os resultados obtidos no levantamento antropométrico dos 20 indivíduos (brasileiros) participantes dos ensaios permitem concluir que as dimensões especificadas pela norma internacional ANSI S 12.6/1997, medição do arco (nesta é levada em consideração o tamanho médio da cabeça), não retratam a realidade da média das dimensões da cabeça dos indivíduos ensaiados.

Quanto as dimensões dos canais da orelha (esquerda e direita) constata-se que a maioria dos ouvintes ensaiados apresentam o canal auditivo no tamanho médio.

Convém salientar que os protetores de inserção ensaiados foram do tipo plug, de silicone, tamanho médio.

4.2. Protetor tipo concha

4.2.1. Resultados da força do arco tensor

A norma ANSI 12.6/1997, anexo G, sugere que, para a medição da força de contato, as conchas dos protetores auditivos devam estar separados por uma distância de 145 mm \pm 1 mm, que corresponde a largura média de uma cabeça humana.

A tabela 4.3 apresenta o valor médio e desvio padrão do parâmetro força do arco, medido em Newtons, através dos procedimentos de medição especificado no Capítulo 3 item 3.2.1, para os protetores:

Grupo C01 - Protetores Novos;

Grupo C02- Protetores com 02 a 04 meses de uso;

Grupo C03- Protetores com 06 a 10 meses de uso e

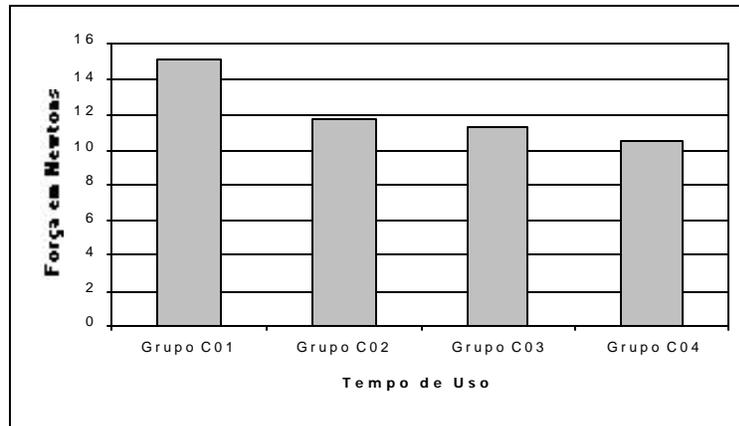
Grupo C04- Protetores com 12 a 20 meses de uso.

Tabela 4.3: Valor médio e desvio padrão do parâmetro força do arco para vários grupos de protetores

GRUPOS	MÉDIA (N)	DESVIO PADRÃO (N)
GRUPO C01	15,12	0,23
GRUPO C02	11,72	1,69
GRUPO C03	11,27	2,04
GRUPO C04	10,47	2,49

A Figura 4.3 apresenta uma comparação dos valores médios do parâmetro força do arco tensor do protetor tipo concha, para os vários grupos ensaiados.

Figura 4.1: Gráfico comparativo da força do arco tensor em relação ao tempo de uso



Pode-se observar que houve uma diminuição na força do arco tensor conforme o tempo de uso do protetor auditivo (uso freqüente do protetor) .

Segundo Gerges [23] a força do arco tensor não pode ser muito grande, para fornecer conforto adequado, e ao mesmo tempo não pode ser pequena, para evitar vazamento de ruído entre a concha e os lados da cabeça; um valor típico da força é na faixa de 10 a 15 Newtons.

Analisando a Figura 4.3 podemos observar que mesmo havendo uma diminuição da força esta permaneceu dentro da faixa de 10 a 15 Newtons.

4.2.2. Resultados da atenuação de ruído

Um dos principais objetivos deste trabalho foi a realização dos ensaios da atenuação do ruído através do uso de protetores auditivos.

Os ensaios foram realizados conforme descrito no item 3.1.2 do Capítulo 3.

As tabelas 4.4, 4.5, 4.6, 4.7., 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam os resultados experimentais das atenuações obtidas para os protetores do Grupo C01, Grupo C02, Grupo C03 e Grupo C04.

- Grupo C01 – Protetor auditivo novo
- Número de protetores ensaiados: 06
- Número de ouvintes: 10

Tabela 4.4: Resultados das atenuações de ruído (medidas em dB)

Frequência Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	17	67	116	212	170	221	275	200	12
	12,6	14,1	22,9	29,1	27,2	31,4	28,5	23,5	16,1
2	86	87	179	292	366	331	246	172	185
	6,0	12,4	21,0	32,9	27,3	31,6	23,2	13,1	15,9
3	39	80	196	253	296	209	186	74	140
	6,4	8,4	18,0	26,1	22,7	25,5	25,5	22,6	15,9
4	-04	-78	38	276	169	245	186	219	214
	6,9	0,7	10,8	29,0	24,1	32,0	21,4	24,8	18,6
5	59	116	234	349	324	351	321	341	359
	6,0	11,4	23,4	32,4	31,4	34,0	34,3	33,7	38,3
6	13	104	191	291	355	335	306	294	254
	9,1	16,1	20	32,7	33,9	38,7	33,6	30,9	28,0
7	136	11	156	336	325	363	296	175	171
	13,3	17,3	20,4	30,5	28,5	31,0	24,8	14,3	18,9
8	50	106	236	311	339	323	327	216	233
	11,3	14,0	21,9	29,7	32,9	28,0	17,9	24,4	23,9
9	97	112	220	304	357	363	265	184	197
	10,9	11,7	21,1	30,0	29,1	28,5	26,7	22,3	24,5
10	14	123	191	327	353	351	363	297	249
	10,1	12,0	19,9	33,0	34,6	26,6	24,3	27,4	24,9

De posse dos resultados dos ensaios calculou-se a Média e o Desvio Padrão, para cada frequência.

Tabela 4.5: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	7,75	10,04	18,91	30,13	29,9	31,14	26,87	22,76	21,86
Desvio-Padrão (dB)	3,1	5,0	4,5	2,6	5,1	3,6	4,2	6,5	6,8

Calculado a Média e o Desvio Padrão, calculamos o NRRsf conforme descrito no item 3.1.2.4 do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 13,47 \simeq 13$$

- Grupo C02 – Protetor com 02 a 04 meses de uso
- Número de protetores ensaiados: 07
- Número de ouvintes: 10

Tabela 4.6: Resultados das atenuações de ruído (medidas em dB)

Frequência Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	10	5,6	10,0	13,0	21,6	22,0	21,3	21,8	21,6
	7,0	10,2	15,9	25,0	28,6	29,3	24,9	26,8	29,0
2	4,5	-2,6	8,3	21,1	32,1	24,1	13,6	6,1	11,4
	-1,0	6,0	17,6	22,5	18,5	19,6	8,5	7,3	11,3
3	6,7	5,4	10,3	23,4	16,0	21,7	16,7	21,6	18,3
	7,7	11,1	12,1	21,9	13,9	21,0	17,5	23,5	22,8
4	6,0	7,6	15,3	14,4	27,1	30,1	27,9	22,4	26,1
	5,1	12,1	13,7	20,1	32,7	29,4	31,0	18,7	17,0
5	11,0	7,7	17,1	25,4	28,7	28,6	25,3	17,0	15,8
	10,3	13,2	17,5	17,1	28,1	34,0	25,7	20,4	12,6
6	2,1	2,6	16,0	22,1	14,2	22,3	20,1	25,3	24,0
	7,5	10,6	12,1	21,4	16,8	20,7	20,6	23,8	24,2
7	4,9	3,7	14,4	24,4	26,5	29,6	22,8	18,5	14,2
	10,0	4,2	17,8	14,2	28,2	31,8	20,5	20,6	16,6
8	5,1	6,5	16,2	26,4	25,3	33,9	26,5	19,7	20,2
	1,3	10,6	23,1	23,1	27,1	33,4	30,6	27,2	23,4
9	5,6	8,4	13,9	22,0	21,4	30,0	25,6	26,7	28,2
	-0,1	5,4	13,1	27,6	23,3	31,4	28,9	21,6	23,4
10	3,2	4,3	19,1	24,1	30,8	34,6	30,9	14,1	19,5
	3,7	11,0	20,8	23,9	31,2	34,4	19,4	14,7	16,8

De posse dos resultados dos ensaios calculou-se a Média e o Desvio Padrão, para cada frequência.

Tabela 4.7: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	5,13	7,18	15,22	21,9	24,61	28,19	22,92	19,89	19,97
Desvio-Padrão (dB)	2,7	2,6	3,0	2,4	5,5	5,0	5,7	5,6	5,1

Calculado a Média e o Desvio Padrão, calculamos o NRRsf conforme descrito no item 3.1.2.4 do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 11,5 \approx 12$$

- Grupo C03 – Protetor com 06 a 10 meses de uso
- Número de protetores ensaiados: 08
- Número de ouvintes: 10

Tabela 4.8: Resultados das atenuações de ruído(medidas em dB)

Frequência Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	2,4	-1,7	4,4	18,6	14,6	21,7	14,0	12,8	11,9
	1,8	8,4	17,5	19,1	19,2	21,9	21,3	23,9	22,2
2	1,7	2,0	17,9	26,5	32,7	23,3	12,7	12,8	20,3
	2,5	6,0	17,4	32,9	28,2	20,7	14,2	7,7	16,2
3	-1,4	5,2	16,6	30,3	32,4	26,3	22,4	17,0	26,0
	3,5	6,9	21,9	30,1	35,1	29,3	23,6	11,6	20,4
4	11,1	14,7	20,0	30,7	27,0	28,1	25,6	22,3	20,6
	9,1	14,9	16,1	30,4	23,3	31,1	25,9	21,7	21,0
5	10,7	14,1	15,0	25,7	23,3	27,6	25,6	23,7	28,4
	11,9	13,7	19,0	31,1	31,7	26,3	22,6	20,9	29,9
6	4,0	3,9	10,1	21,1	26,6	25,5	18,8	21,5	20,1
	10,8	6,8	18,2	28,8	35,2	28,2	24,7	24,2	27,1
7	7,6	8,3	15,3	23,4	26,6	31,4	28,3	27,6	29,1
	9,0	10,0	15,1	21,3	34,0	38,0	31,7	33,0	32,3
8	-1,4	-1,1	7,3	21,9	19,3	18,1	12,0	12,3	17,5
	-0,6	0,2	5,7	20,3	14,2	15,8	15,6	10,2	11,6
9	10,3	11,9	17,6	26,1	30,3	33,7	28,9	20,3	20,6
	2,6	5,6	9,7	28,2	26,9	28,4	27,6	21,3	19,1
10	4,3	13,6	27,1	31,1	30,4	35,2	34,4	29,9	29,9
	9,9	17,4	27,9	36,6	27,4	32,8	36,8	35,9	34,4

De posse dos resultados dos ensaios calculou-se a Média e o Desvio Padrão, para cada frequência.

Tabela 4.9: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	5,49	8,04	15,99	26,71	26,92	27,17	23,34	20,53	22,93
Desvio-Padrão (dB)	4,1	5,4	5,5	4,8	5,8	5,6	7,1	7,4	6,0

Calculado a Média e o Desvio Padrão, calculamos o NRRsf conforme descrito no item 3.1.2.5 do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 10,65 \simeq 11$$

- Grupo C04 – Protetor com 12 a 20 meses de uso
- Número de protetores ensaiados: 08
- Número de ouvintes: 10

Tabela 4.10: Resultados das atenuações de ruído (medidas em dB)

Frequência Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	21	20	80	210	144	184	118	127	121
	2,5	1,4	7,4	19,5	12,9	13,0	7,3	6,4	9,3
2	27	81	120	275	166	266	179	152	188
	-3,1	4,4	11,9	23,2	13,8	25,2	22,4	14,8	16,4
3	61	101	123	261	260	260	240	160	167
	9,1	11,6	14,7	28,0	27,4	27,6	22,3	17,0	20,1
4	72	80	134	330	341	322	246	226	288
	11,2	15,1	21,5	32,3	37,6	35,6	30,2	26,0	24,9
5	60	123	74	184	309	311	182	145	116
	8,7	15,1	21,1	28,6	32,7	33,3	21,9	21,3	18,5
6	60	89	164	278	283	297	177	253	249
	11,1	20,0	16,9	32,0	35,8	31,4	21,5	27,4	24,2
7	111	133	209	262	281	330	271	243	180
	7,3	9,7	14,3	22,7	21,4	23,9	24,6	24,0	16,0
8	117	158	269	330	344	326	274	336	304
	10,8	16,1	29,0	34,7	31,4	31,2	26,3	34,1	32,6
9	79	94	134	327	270	354	273	217	152
	9,3	12,3	17,0	27,3	27,1	32,3	21,4	27,6	23,6
10	100	150	200	301	312	319	293	251	273
	14,3	16,4	23,5	30,1	30,4	28,0	22,4	24,0	25,8

De posse dos resultados dos ensaios calculou-se a Média e o Desvio Padrão, para cada frequência.

Tabela 4.11: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

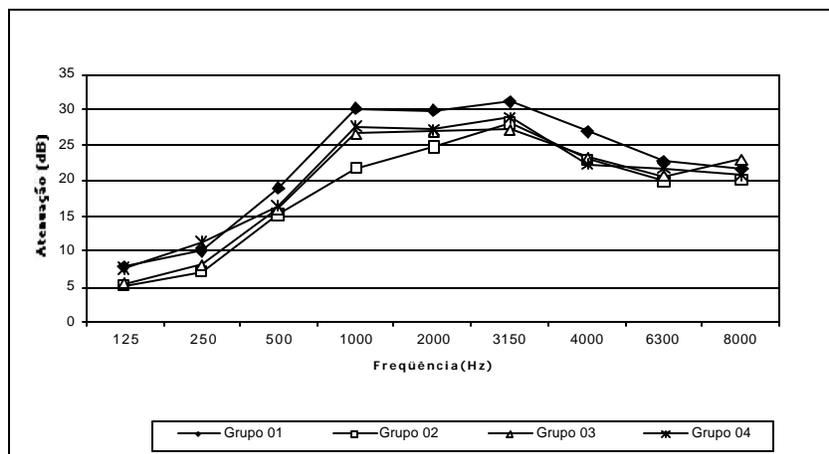
Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	7,6	11,25	16,4	27,71	27,08	28,92	22,28	21,68	20,76
Desvio-Padrão (dB)	3,8	4,4	5,5	4,3	7,4	5,4	5,3	6,9	6,4

Calculado a Média e o Desvio Padrão, calculamos o NRRsf conforme descrito no item 3.1.2.4 do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 12,17 \simeq 12$$

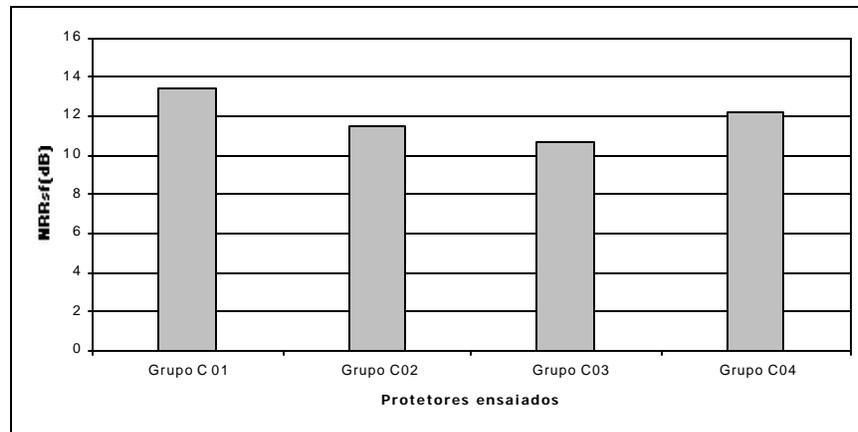
A Figura 4.2 apresenta uma comparação dos valores da atenuação, por frequência, em função do tempo de uso.

Figura 4.2: Gráfico comparativo dos valores da atenuação, por frequência, em função do tempo de uso



A Figura 4.3 apresenta uma comparação dos valores do NRRsf em função do tempo de uso.

Figura 4.3: Gráfico comparativo dos valores dos NRRsf em função dos protetores ensaiados (tempo de uso)



Para melhor avaliar o desempenho dos protetores auditivos do tipo concha, se fez necessário a análise dos mesmos nas regiões de baixa , média e alta frequência dos resultados experimentais, contidos nas tabelas 4.3, 4.5, 4.7 e 4.9 no qual estes estão representados na Figura 4.2. Nesta figura observa-se que o valor médio máximo da atenuação de ruído conseguido nestes testes foi de 31,14 dB, na frequência de 3150 Hz para o protetor do Grupo C01 (protetor novo) e o valor médio mínimo da atenuação de ruído foi de 5,125 dB na frequência de 125 Hz para o protetor do Grupo C02 (protetor com 02 a 04 meses de uso).

Apesar do protetor do Grupo C02 ter atenuado apenas 5,125 dB na frequência de 125 Hz, este encontra-se muito próximo da atenuação de ruído dos demais grupos, como pode ser observado na figura 4.2. O baixo desempenho destes protetores ensaiados, nas faixas de frequências de 125 Hz

a 500 Hz já era esperado, pois segundo Gerges [23] o isolamento acústico em baixas frequências é baixo.

Nas bandas de 1000 Hz a 3150 Hz estes protetores apresentam bons resultados de atenuação de ruído. O valor médio entre estas bandas variou de 21,91 dB (Grupo C02) a 31,14 dB (Grupo C01). A partir da frequência de 3150 Hz houve um caimento da atenuação de ruído onde o valor médio mínimo de 19,97 dB (Grupo C02) se deu na frequência de 8000 Hz (figura 4.2).

A ocorrência de alguns valores negativos da atenuação (nas baixas frequências) como registrados nas tabelas 4.4, 4.6, 4.8 e 4.10 são devido ao fato de uma amplificação do ruído ao invés da atenuação. A ocorrência desta amplificação pode ter sido devido a má colocação do protetor auditivo pelo ouvinte e uma movimentação (da cabeça) deste ouvinte na realização dos ensaios.

Como os ouvintes não são treinados estes só conhecem os procedimentos de colocação do protetor através das instruções contidas na embalagem do produto. A leitura destas instruções resulta em interpretações pessoais de cada ouvinte, conseqüentemente cada ouvinte colocará o protetor de maneira que interpretou ocorrendo muitas vezes em uma má colocação do protetor auditivo.

Na realização do ensaio utilizou-se um “prumo”, dispositivo suspenso por um fio de nylon, com a finalidade de posicionar a cabeça do ouvinte de forma a permanecer inalterada durante o ensaio, conforme sugerido pela norma internacional ANSI S 12.6/1997. Entretanto, ocorreram movimentações da cabeça dos ouvintes, o que pode ter auxiliado na ocorrência de alguns valores negativos na atenuação do ruído.

Na análise dos resultados contidos na Figura 4.3 ou seja, na análise da comparação dos valores dos NRRsf (Nível de redução de ruído – colocação pelo ouvinte) calculados observa-se que os protetores do Grupo C01 (novos) apresenta um nível de redução de ruído maior que os demais grupos, como já era esperado, pois com estes protetores não houve nenhum desgaste por tempo de uso. Pode-se observar também que o grupo que obteve o menor valor do nível de redução de ruído foi o Grupo C03 (protetor com 06 a 10 meses de uso) sendo que o Grupo C04 era o esperado para a obtenção de um menor valor do nível de redução de ruído devido a este protetor auditivo ter maior tempo de uso e, conseqüentemente maior desgaste e menor força do arco (ver Figura 4.1).

A causa do valor do NRRsf, do grupo C04, ter sido maior que os grupos C02 e C03 pode ser devido ao maior desvio padrão encontrado tanto na força do arco (ver tabela 4.3) quanto no próprio ensaio de atenuação (desvio padrão na faixa de $3,8 \text{ dB} \leq \sigma \leq 7,9 \text{ dB}$), tendo em vista que através da inspeção visual este protetor apresenta maior desgastes mecânicos que os outros grupos.

Observa-se na Figura 4.3 os resultados dos NRRsf calculados, a diferença entre o maior NRRsf e o menor NRRsf é de aproximadamente 3 dB. Esta diferença, apesar de pequena, é significativa pois, segundo a NR 15 – Anexo 1 (ver tabela 1.1), um trabalhador ao utilizar este protetor novo (NRRsf = 14 dB) poderá trabalhar por um período de 8 horas diárias, exposto a um nível de pressão sonora máxima no ambiente (ver item 2.6.2) de 99 dB e este trabalhador ainda sim, segundo a NR 15 – Anexo 1, encontra-se em ambiente

salubre. Após um intervalo de tempo de 06 a 10 meses (grupo C03) o protetor sofreu desgastes, vindo a diminuir o NRRsf (NRRsf = 11 dB), este trabalhador, que antes encontrava-se em ambiente salubre, encontra-se em ambiente insalubre pois o nível de pressão sonora máxima permitido no ambiente será de 96 dB.

Os altos desvios padrão encontrado nos ensaios de atenuação de ruído se deve ao método utilizado no qual especifica que deverá ser realizado com pessoas e estas não deverão ter experiência quanto a utilização do protetor auditivo. A falta de experiência dos ouvintes quanto a utilização do protetor auditivo eleva os desvios padrão.

Os resultados obtidos no decorrer dos experimentos permitem afirmar que o tempo de uso dos protetores do tipo concha exerce um papel importante no desgaste da haste levando esta a uma diminuição gradativa da força.

Quanto a atenuação do ruído, este tipo de protetor auditivo, apresenta uma melhor atenuação do ruído nas bandas de frequência de 1000 Hz a 3150 Hz.

Ao realizar-se a análise comparativa entre os protetores auditivos ensaiados é possível afirmar-se que houve uma diminuição da atenuação no decorrer do tempo de uso, sendo que esta começa a ocorrer a partir do segundo mês de uso e que no intervalo de 06 a 10 meses esta diminuição foi de aproximadamente 3 dB.

Convém salientar que as condições de uso do protetor é fator de grande importância na ocorrência ou não do desgaste (diminuição da atenuação) porém, esta análise não faz parte do estudo sendo os protetores recolhidos aleatoriamente em setores de fábricas.

4.3. Resultado dos ensaios da atenuação do protetor tipo plug

Os ensaios da atenuação do ruído através do uso de protetores auditivos tipo plug foram realizados conforme descrito no item 3.1.3.3 do Capítulo 3.

As tabelas 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19 apresentam os resultados experimentais das atenuações obtidas para os protetores dos seguintes grupos: Grupo P01, Grupo P02, Grupo P03 e Grupo P04.

- Grupo P01: Protetor auditivo novo
- Número de protetores ensaiados: 20
- Número de ouvintes: 20

Tabela 4.12: Resultado das atenuações de ruído (medidas em dB)

Frequência Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	25,1	26,1	22,2	25,2	28,2	26	25,1	27,1	20,1
	22	22	22,7	23,3	29,9	19,1	21,3	28,4	39,7
2	23,3	19,3	18,7	19,7	36,1	32,9	28,1	33	44,3
	21,4	12,1	15,3	18,9	29,4	26,7	24,7	28,7	41,7
3	24,4	22,2	22,7	28	24,3	18	14,9	25,5	29,6
	31,9	26,1	25,7	25,9	27,1	30,2	26,6	34,1	38,5
4	21,3	28,1	32,3	29,7	35	41,4	42,6	39,4	46,7
	24,4	24,6	29,7	27,7	30,1	39,3	42,7	48,7	49,3
5	23,1	23,4	26,3	28,7	35,2	31,3	30,1	29,9	33,1
	22,6	26,6	25,6	26	26,7	23	22,4	25,1	33,5
6	22,6	21,9	17	12,7	21	22,4	17,7	13,1	22,4
	19,9	21,3	16,3	15,7	20,1	26,1	20,7	11,7	23,6
7	32,9	33	40,7	35,9	40,1	40,8	38,7	45,1	46,7
	32,1	29,5	30,9	30,7	32,3	34,5	30,5	36,7	42,5
8	7	5,3	8,3	14,4	21,1	29,7	28,7	30,9	37,3
	25,1	23,1	26,1	24,6	25,3	34,2	39,4	43,3	44,7
9	13,6	15,1	17,6	17,5	27,8	28,5	22,7	12,8	17,4
	6,7	1,5	3,1	2,8	20,5	21,5	14,5	11,9	15,8
10	11,9	9,7	20,1	23,4	36,7	32,3	23,9	20,4	29,1
	3	0,7	12,9	21	28,9	28,1	25,7	20	26,4
11	26	26,7	29	24,3	24,4	25,3	25,2	31,1	40,9
	22,1	28,6	27,1	25,1	26	25,3	32,3	30,7	41,1
12	23,1	20,6	30,5	19,4	22,3	28,3	36,3	42,6	48,7
	10,7	13,3	11,6	18,7	23,1	22,1	22,7	33,1	37,5
13	32	31,4	28,5	25,1	33,8	40,9	41,9	45,6	48,9
	21,3	25,6	31,7	20,7	26	33,6	30,1	33,8	41,4
14	34,7	30,9	28,6	28,6	27,4	30,4	31,1	33,1	43,3
	22,7	26,9	27,4	28	35	38,6	33,9	40,3	43,6
15	22,4	20,4	25,9	31,1	31	33,3	34,6	37	38
	21,7	15,3	21,8	26,1	29,7	35	36,5	39,9	40,5
16	37,9	37,4	43,3	35,1	36,7	50,4	45,8	46,5	45,9
	11,7	14,6	24,8	23,4	30,6	33,6	21,2	42	46,5
17	19	21	23,4	24,7	23,2	34,1	37,3	45	37,9
	23	21,5	19,4	18,8	22,2	31,7	20,9	24,6	34,9
18	25,7	22,3	23	23,6	32,6	31,3	29,4	31,3	42,3
	13,7	9,7	10,1	10,9	19	25,7	13,9	15,1	22,3
19	27,9	28,1	27,8	22,5	28	33,3	34,5	48	46,8
	34,7	36,6	35,1	40,3	39,7	40,1	46,8	51,1	52,8
20	22,9	21,2	20,9	19,4	19,3	20,7	28,6	32,4	40,9
	15,7	18	28,9	20,8	19,8	16,6	25,7	34,9	39,1

De posse dos resultados das atenuações de ruído calculou-se a média e o desvio padrão, para cada frequência.

Tabela 4.13: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	22,1	21,5	23,9	23,5	28,1	30,4	29,2	32,7	38,4
Desvio-Padrão (dB)	6,3	7,3	6,8	5,9	5,0	6,4	6,9	10,0	8,5

Calculado a média e o desvio padrão, calculou-se o NRRsf de acordo com o procedimento descrito no item 3.1.3.4. do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 16,78 \simeq 17$$

- Grupo P02: Protetor auditivo com 01 a 03 meses de uso
- Número de protetores ensaiados: 20
- Número de ouvintes: 20

Tabela 4.14: Resultado das atenuações de ruído(medidas em dB)

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	16,9	14,4	23,4	32,3	35,8	35,0	33,6	44,4	47,9
	13,0	12,8	23,6	25,1	29,3	24,4	15,5	26,3	31,3
2	8,3	3,7	6,6	9,0	8,0	8,9	11,4	9,3	10,3
	11,6	9,7	12,9	4,8	3,1	12,9	21,6	22,3	25,3
3	6,0	5,7	9,4	12,9	16,1	20,3	15,9	19,2	22,4
	10,4	10,9	17,4	20,7	24,9	25,3	24,3	28,9	32,6
4	29,1	31,9	31,4	31,2	28,2	34,5	36,9	41,5	48,9
	26,1	27,0	27,4	22,4	25,9	36,1	37,5	42,5	46,9
5	17,6	17,3	12,6	19,0	26,3	22,3	17,8	25,4	33,7
	19,6	20,6	16,8	23,1	29,8	33,6	26,4	18,9	14,0
6	6,3	7,7	17,1	22,6	32,3	29,1	25,4	23,6	32,9
	19,0	19,3	21,0	21,1	35,6	39,8	35,4	40,8	43,5
7	43,0	38,3	36,3	33,4	32,9	36,6	44,2	40,7	48,9
	37,4	38,7	39,6	34,0	38,7	34,9	38,9	42,0	46,3
8	7,6	2,7	12,6	17,3	22,4	21,4	17,7	19,9	26,9
	16,0	16,4	21,1	21,6	19,0	25,0	22,4	21,3	26,6
9	15,0	17,6	14,4	17,6	25,0	29,5	29,2	28,5	32,8
	12,6	10,1	8,6	14,4	22,6	28,1	26,2	18,5	23,9
10	26,3	29,4	31,6	28,7	39,6	39,9	43,1	40,6	42,0
	32,1	30,7	31,7	28,4	33,6	40,0	42,6	46,9	44,7
11	31,6	34,0	32,7	33,0	34,1	42,0	44,0	48,4	45,1
	27,3	26,6	32,7	32,4	30,3	37,1	36,0	34,9	39,7
12	17,3	17,9	17,0	15,6	19,0	24,6	23,3	17,9	22,9
	22,3	23,3	21,3	29,4	24,0	31,9	39,1	45,3	44,1
13	10,1	1,9	2,1	5,9	13,1	19,1	12,7	9,1	8,4
	25,6	18,9	17,4	22,3	24,6	24,1	19,6	21,5	29,4
14	17,9	21,3	18,0	19,1	26,7	21,7	21,0	28,0	18,1
	17,4	17,6	15,6	16,8	28,6	28,1	27,2	28,8	36,7
15	10	8,6	12,7	16,7	24,1	21,9	25	34,7	38,3
	30,9	30,6	33	29,3	30,1	32,1	33,7	44,9	46,1
16	10,4	3,9	0,5	14,1	20,2	25,9	14,8	13,1	18,9
	13,0	9,9	8,7	19,1	23,7	28,3	16,3	14,0	20,3
17	15,4	10,1	12,6	22,3	27,9	27,9	22,6	19,1	22,3
	6,4	8,0	3,0	12,6	22,5	23,0	15,0	15,9	27,3
18	27,9	28,6	21,4	33,8	31,2	25,3	23,1	30,6	32,1
	28,0	30,0	29,0	34,1	38,6	43,9	45,7	44,8	43,4
19	11,7	15,0	18,0	21,1	31,6	29,4	27,9	33,6	41,5
	18,3	19,1	18,9	24,1	31,8	37,7	33,5	31,1	45,3
20	15,7	14,7	9,6	16,4	24,1	23,6	20,6	12,6	12,2
	4,7	3,4	7,3	10,4	18,4	22,9	18,1	12,7	8,9

De posse dos resultados das atenuações de ruído calculou-se a média e o desvio padrão, para cada frequência.

Tabela 4.15: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	18,4	17,71	18,68	21,7	26,34	28,7	27,13	28,56	32,07
Desvio-Padrão (dB)	8,5	9,4	9,2	7,3	7,5	7,0	8,8	10,6	11,0

Calculado a média e o desvio padrão, calculou-se o NRRsf de acordo com o procedimento descrito no item 3.1.3.4. do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 11,69 \simeq 12$$

- Grupo P03: Protetor auditivo com 04 a 06 meses de uso
- Número de protetores ensaiados: 20
- Número de ouvintes: 20

Tabela 4.16: Resultado das atenuações de ruído (medidas em dB)

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	25,4	25,9	18,9	27,6	27,1	20,7	15,5	13,2	20,6
	17,7	17,4	21,9	23,6	22,0	21,3	17,6	19,1	14,3
2	33,0	37,9	37,6	27,1	23,6	30,3	32,1	39,4	48,6
	9,3	13,3	23,1	25,6	24,4	25,9	28,7	36,6	45,0
3	11,3	3,8	7,2	8,5	8,5	12,0	17,3	10,3	17,4
	5,7	9,9	5,8	8,1	10,4	21,5	24,9	15,6	18,8
4	16,3	20,6	21,9	16,9	27,0	30,1	19,6	14,8	16,0
	17,3	17,6	19,0	21,0	30,1	23,7	25,6	24,6	27,3
5	4,7	8,4	6,7	6,6	13,4	19,4	14,0	8,6	15,6
	26,9	23,4	24,0	23,1	29,0	31,4	29,1	25,1	30,3
6	8,4	14,6	23,4	19,2	22,2	28,9	29,5	41,5	45,5
	20,3	20,0	28,1	24,7	22,3	30,3	24,1	33,0	37,3
7	2,6	1,3	8,9	5,6	17,2	17,7	17,3	10,4	20,4
	21,7	19,7	23,8	17,9	19,1	23,5	20,6	15,0	21,4
8	19,4	21,3	20,7	22,1	23,4	23,1	22,5	14,9	15,2
	5,7	7,0	12,1	12,6	17,7	22,0	22,6	14,7	15,1
9	32,4	33,4	30,1	30,9	31,7	29,1	21,9	27,4	33,4
	39,6	39,6	34,4	35,4	38,3	37,3	40,6	39,1	43,7
10	24,4	28,1	29,3	23,3	22,1	26,8	27,7	35,4	38,1
	-0,3	-0,8	9,4	17,5	16,4	21,1	12,5	9,0	11,0
11	33,0	33,3	35,1	31,4	30,0	35,3	37,6	41,7	41,0
	29,3	27,9	29,4	27,0	31,9	40,0	46,0	48,0	47,9
12	7,9	6,3	2,1	12,2	23,6	26,0	22,0	15,3	17,7
	11,1	13,4	22,5	27,3	35,9	33,6	33,0	32,7	31,6
13	11,9	12,4	16,1	17,4	25,3	26,7	28,7	28,3	29,9
	11,7	18,0	15,3	18,3	22,1	21,0	17,4	15,6	21,0
14	4,9	7,4	18,3	20,3	25,1	28,3	21,3	16,9	26,3
	7,7	8,7	16,7	18,4	24,0	26,4	21,1	13,9	21,0
15	38,0	37,7	40,4	37,3	38,3	36,9	38,0	40,6	47,9
	40,3	35,7	38,4	37,4	39,3	35,6	36,7	35,7	44,1
16	17,4	19,7	22,9	15,9	26,3	30,7	26,3	26,2	36,6
	24,5	27,7	25,7	27,6	24,6	28,9	25,1	33,9	37,0
17	25,9	25,4	29,0	24,7	29,3	38,5	37,4	35,1	37,7
	21,6	30,1	27,9	33,1	31,5	36,5	33,8	34,5	33,9
18	26,9	33,7	32,3	28,4	35,4	40,9	37,9	36,7	42,7
	20,3	20,9	24,7	25,3	37,7	46,1	41,4	43,6	41,1
19	3,0	3,4	9,7	17,6	18,1	19,4	16,7	8,6	16,6
	19,7	21,6	19,0	22,1	27,9	21,8	26,8	27,0	30,1
20	12,6	17,1	18,0	20,3	32,7	19,6	21,3	35,1	36,0
	20,7	20,7	17,7	19,7	24,9	18,9	23,4	40,3	38,7

De posse dos resultados das atenuações de ruído calculou-se a média e o desvio padrão, para cada frequência.

Tabela 4.17: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	18,26	19,59	21,69	21,98	25,75	27,68	26,39	26,44	30,35
Desvio-Padrão (dB)	9,0	8,9	8,2	7,0	6,9	7,1	7,3	10,7	10,5

Calculado a média e o desvio padrão, calculou-se o NRRsf de acordo com o procedimento descrito no item 3.1.2.5. do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 13,05 \simeq 13$$

- Grupo P04: Protetor auditivo com 12 a 14 meses de uso
- Número de protetores ensaiados: 20
- Número de ouvintes: 2

Tabela 4.18: Resultado das atenuações de ruído (medidas em dB)

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	19,3	18,4	13,9	13,0	24,0	29,7	22,0	22,3	29,9
	15,4	14,5	13,0	17,5	24,7	31,0	29,1	34,9	27,1
2	8,3	10,1	12,2	7,9	11,4	10,4	15,0	13,6	15,4
	10,4	9,7	11,9	10,6	10,9	13,4	14,6	11,0	14,1
3	12,4	7,6	7,5	9,8	20,2	21,6	15,3	19,2	20,5
	18,1	15,1	16,7	18,7	26,9	24,3	24,1	20,7	28,4
4	30,6	31,0	27,4	30,6	27,4	31,3	38,1	42,4	43,6
	18,0	24,9	29,3	25,0	35,3	42,0	48,3	46,6	49,0
5	3,0	2,6	10,6	12,1	22,3	17,3	13,6	11,8	15,1
	1,7	-2,3	5,1	9,1	16,0	15,1	10,7	10,4	15,3
6	26,4	32,6	36,3	33,1	30,1	36,8	37,4	39,5	45,6
	26,6	29,4	34,1	26,9	31,1	40,6	42,9	51,4	48,9
7	20,4	20,1	20,6	18,4	28,1	28,6	29,1	32,9	34,6
	18,7	19,3	22,0	22,6	26,0	30,1	31,1	39,0	40,7
8	17,1	13,5	16,5	18,6	19,6	26,6	26,4	35,4	38,4
	15,0	15,0	19,1	15,1	22,4	20,3	25,3	25,1	31,3
9	19,1	20,7	25,1	25,3	29,5	26,0	22,6	23,7	31,1
	12,0	14,7	16,2	23,7	29,4	27,1	22,8	19,1	29,3
10	13,0	14,3	18,3	24,1	32,0	36,4	27,4	26,1	33,4
	25,1	32,0	40,0	36,4	38,6	46,9	43,6	44,3	45,3
11	7,9	3,7	4,7	15,4	19,7	21,1	15,5	19,1	22,5
	12,4	12,0	17,1	18,7	26,0	28,4	24,4	27,4	29,6
12	9,3	8,6	4,7	4,0	8,9	14,4	14,9	11,8	13,7
	5,0	-1,9	-1,7	6,4	9,1	9,6	11,9	14,1	3,4
13	18,7	9,6	4,3	2,6	11,3	17,6	11,0	4,1	7,9
	17,7	7,3	4,3	4,6	14,1	17,1	9,7	3,1	10,3
14	22,6	27,6	29,5	23,0	31,3	29,4	28,6	34,1	36,9
	36,5	39,4	37,3	34,6	31,0	35,5	37,2	45,3	49,0
15	37,3	34,1	34,3	38,4	37,4	37,1	39,9	45,3	46,9
	36,4	33,4	37,7	39,0	36,6	35,9	39,3	42,4	45,4
16	16,6	17,2	16,4	21,3	29,3	30,4	25,0	24,3	29,1
	22,9	19,1	20,8	21,1	31,1	31,9	23,2	23,4	30,5
17	10,1	3,9	12,8	18,2	22,9	25,3	24,4	26,3	33,5
	23,1	22,1	27,0	27,1	26,0	35,1	32,0	31,4	32,3
18	12,3	8,1	13,4	15,4	21,4	24,6	14,4	15,0	17,9
	11,1	14,4	9,8	16,9	11,8	23,5	21,1	44,7	37,8
19	0,3	0,3	-3,1	8,5	13,9	16,5	19,9	39,8	35,1
	10,7	3,1	10,3	13,0	20,3	20,9	17,4	14,5	8,0
20	14,4	15,3	17,3	21,4	26,8	28,0	28,9	31,6	37,3
	7,7	9,7	15,9	22,4	19,5	30,3	32,6	43,1	45,4

De posse dos resultados das atenuações de ruído calculou-se a média e o desvio padrão, para cada frequência.

Tabela 4.19: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

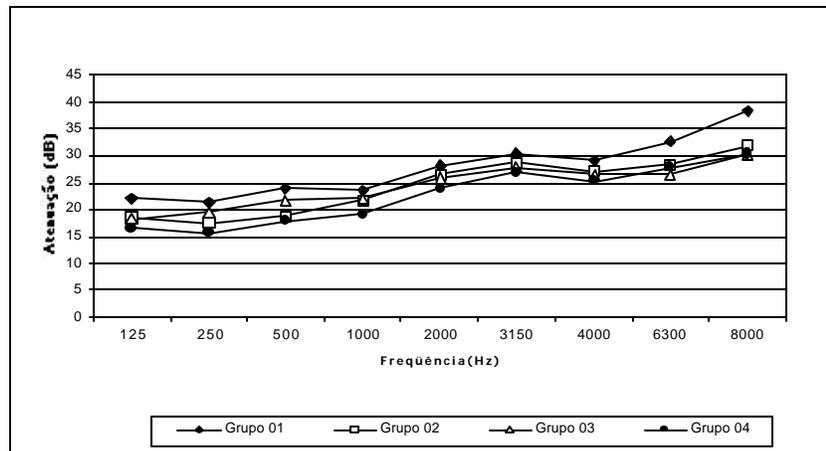
Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	16,59	15,76	17,72	19,26	23,86	26,7	25,27	27,76	30,24
Desvio-Padrão (dB)	8,4	10,0	10,4	9,1	7,9	8,5	9,7	11,9	12,1

Calculado a média e o desvio padrão, calculou-se o NRRsf de acordo com o procedimento descrito no item 3.1.3.4. do Capítulo 3. Logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 8,73 \simeq 9$$

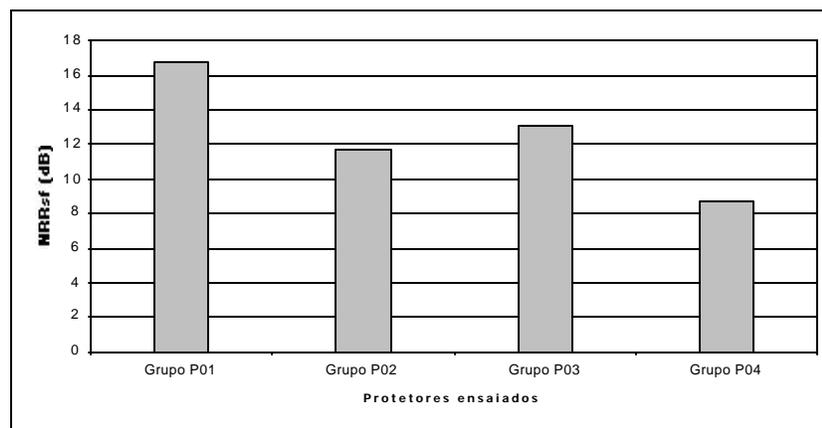
A Figura 4.4 apresenta uma comparação dos valores da atenuação, por frequência, em função do tempo de uso.

Figura 4.4: Gráfico comparativo dos valores da atenuação, por frequência, em função do tempo de uso.



A Figura 4.5 apresenta uma comparação dos valores do NRRsf em função do tempo de uso.

Figura 4.5: Gráfico comparativo dos valores dos NRRsf em função dos protetores ensaiados (tempo de uso).



Para melhor avaliarmos o desempenho dos protetores auditivos do tipo plug, se fez necessário a análise dos mesmos nas regiões de baixa, média e alta frequência dos resultados experimentais, contidos nas tabelas 4.15, 4.16, 4.17 e 4.19 na qual estes são representados na Figura 4.4. Nesta figura observa-se que o valor médio máximo da atenuação de ruído conseguido nestes ensaios foi de 38,4 dB, na frequência de 8000 Hz para o protetor do Grupo P01 (protetor novo) e o valor médio mínimo da atenuação de ruído foi de 15,76 dB na frequência de 250 Hz ou seja na baixa frequência conforme o ocorrido com os protetores do tipo concha (apesar do protetor ensaiado, tipo plug, ter sido mais eficiente na atenuação de ruído do que o protetor ensaiado do tipo concha) esta constatação vem de encontro a afirmação de Gerges [23] de que o isolamento acústico em baixas frequências é o mais crítico.

A Figura 4.4 mostra que os protetores ensaiados tipo plug apresentam curvas com variações suaves, vindo de encontro com as afirmações de Berger, citado por Dias [25], de que a curva dos protetores do tipo plug apresentam variações suaves.

A existência de alguns valores negativos (amplificações acústicas) na atenuação acústica (encontrados somente em baixas frequências) como registrados nas tabelas 4.16 e 4.18 pode ter sido devido a má colocação do protetor auditivo pelo ouvinte e também uma provável movimentação da cabeça deste ouvinte na realização dos ensaios.

Como os ouvintes não são treinados, quanto a colocação do protetor tipo plug, estes só conhecem os procedimentos de colocação deste protetor através das instruções contidas na embalagem do produto fornecido pelo fabricante.

A leitura destas instruções resulta em interpretações pessoais de cada ouvinte, conseqüentemente cada ouvinte colocará o protetor de maneira como interpretou, devido a esta interpretação pode ou não ocorrer uma má colocação do protetor auditivo.

Na realização do ensaio utilizou-se um “prumo” conforme descrito no item 4.1.2, com objetivo de posicionar a cabeça do ouvinte de forma que esta permanecesse inalterada. Entretanto, ocorreram movimentações da cabeça do ouvinte, tendo em vista o tempo de duração de cada ensaio (aproximadamente 40 minutos, dependendo do ouvinte), o que pode ter auxiliado na ocorrência de alguns valores negativos no resultado da atenuação do ruído.

Na análise dos resultados contidos na Figura 4.5 (Gráfico comparativo dos valores dos NRRsf em função dos protetores ensaiados) observa-se que os protetores do Grupo P01 (novos) apresenta um maior valor no nível de redução de ruído que os demais grupos, como já era o esperado, pois com estes protetores, não houve nenhum desgaste por tempo de uso.

Pode-se observar que o grupo que obteve o menor valor do nível de redução de ruído foi o Grupo P04 (protetor auditivo com 12 a 14 meses de uso) o que também já era o esperado pois este grupo de protetor auditivo apresentava desgastes físicos observados visualmente (inspeção visual).

Na observação do Grupo P02 e Grupo P03 nota-se uma diferença de 1dB ou seja o Grupo P02 (NRRsf = 12 dB) apresenta um nível de redução de ruído de 1 dB a menos que o Grupo P03 (NRRsf= 13 dB). Esta pequena diferença, entre estes grupos, já era o esperado pois ambos os grupos apresentavam, através de inspeção visual, desgastes físicos semelhantes e homogêneos.

Quanto aos desvios padrão, apesar de altos, estes apresentaram variações relativamente proporcionais ou seja, o Grupo P01 apresenta um desvio padrão de ($5,0 \leq \sigma \leq 10$) dB, Grupo P02 apresenta um desvio padrão de ($7,0 \leq \sigma \leq 11$) dB, Grupo P03 apresenta um desvio padrão de ($6,9 \leq \sigma \leq 10,7$) dB e o Grupo P04 apresenta um desvio padrão de ($7,9 \leq \sigma \leq 12,1$) dB.

Os altos desvios padrão encontrados se deve ao método utilizado, no qual especifica que deverá ser utilizado pessoas e estas não deverão ter experiência e nem treinamento quanto a utilização do protetor auditivo e também, neste caso, a variação na qualidade do protetor tipo plug. Pode-se observar que o maior desvio padrão ocorreu no Grupo P04, grupo este que apresenta maior tempo de uso , maior desgaste e também é um grupo mais heterogêneo quanto a qualidade do protetor. A heterogeneidade foi observada através da inspeção visual.

Os resultados obtidos através do experimento permitem concluir que, o protetor tipo plug de silicone do grupo P01 (novo) apresentou um NRRsf de 17 dB e ao longo do tempo este foi diminuindo a sua atenuação de ruído, chegando ao final dos 14 meses de uso com uma diminuição na atenuação do ruído de aproximadamente 8 dB.

4.4. Resultados dos ensaios mecânicos

A norma europeia EN 352-1/ 1993 [05] sugere que sejam realizados os ensaios mecânicos com a finalidade de simular os possíveis desgastes que o

protetor auditivo tipo concha, sofre no local de trabalho do funcionário a nível industrial.

Conforme descrito no Capítulo 3 item 3.2, a norma EN 352-1/1993 especifica um número de 10 amostras a serem submetidas aos diferentes ensaios mecânicos. Porém nosso trabalho limitou-se a ensaiar apenas 06 amostras (protetores novos) .

Primeiramente desempacotou-se, completamente, todos os protetores auditivos tipo concha. Após desempacotados acondicionou-se todas as amostras no ambiente especificado pela norma EN 352-1/1993 [05].

Pesou-se cada amostra através de uma balança eletrônica de precisão marca Shimadzu tipo Libror EB – 4300SU. O resultado dos pesos encontram-se na tabela 4.20.

Tabela 4.20: Peso dos protetores do tipo concha

Protetor	01	02	03	04	05	06
Peso (g)	251,7	240,5	255,9	253,1	247,9	252,1
Média (g)	251,5					
Desv. Pad.	2,97					

Observa-se na tabela 4.20 que as amostras apresentam um peso médio de 251,5 gramas e um desvio padrão de 2,97 gramas. Na prática este desvio padrão não é significativo pois o trabalhador não terá como notar esta diferença.

A tabela 4.21 apresenta o valor médio e desvio padrão do parâmetro força do arco antes dos ensaios mecânicos e após os ensaios mecânicos.

Tabela 4.21: Valor médio e desvio padrão do parâmetro força do arco antes dos ensaios mecânicos e após os ensaios mecânicos.

Protetor	Antes do ensaio mecânico	Após ensaio mecânico
Média (N)	15,12	14,13
Desvio Padrão (N)	0,23	2,104

Analisando a tabela 4.21, observa-se que houve uma pequena variação nos valores médios do parâmetro força do arco tensor do protetor tipo concha. Esta variação se deve ao desgaste do arco devido a realização do ensaio mecânico da flexão do arco tensor no qual consistiu em flexionar o arco em um movimento de abrir e fechar de 1000 ciclos a uma velocidade de 10 a 12 ciclos/minuto (ver item 3.2.3). Este ensaio simula o desgaste que o arco do protetor tipo concha apresentaria caso o funcionário o utilizasse em ambiente de trabalho.

Pode-se observar ainda (na tabela 4.21), um aumento no desvio padrão (após ensaio mecânico), este aumento foi devido a ocorrência de desgastes variáveis ou seja, houve perda diferenciada da força do arco entre os protetores ensaiados.

A análise da ocorrência variável do desgaste não faz parte deste trabalho e sim apenas a verificação da sua ocorrência e se esta influencia ou não na atenuação do ruído.

No ensaio de queda livre não houve constatação de quebra ou soltura de nenhuma parte do protetor auditivo tipo concha.

Após a realização dos ensaios mecânicos realizou-se o ensaio de atenuação destes protetores auditivos . No ensaio da atenuação utilizou-se os critérios estabelecidos pela norma ANSI S 12.6/1997- método B.

A tabela 4.4 e 4.5 (ver item 4.2.2) apresenta os resultados experimentais das atenuações obtidas para os protetores sem o desgaste em laboratório.

A tabela 4.22 e 4.23 apresenta os resultados das atenuações obtidas para os protetores após a realização dos ensaios mecânicos .

Tabela 4.22: Resultados das atenuações de ruído (medidas em dB)

Frequência Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Ouvinte									
1	10	6,7	11,0	22,6	25,0	21,1	27,2	25,0	26,0
	5,1	4,4	13,1	31,5	27,7	34,6	25,3	21,2	20,3
2	1,7	6,3	15,6	25,8	27,9	22,9	18,9	16,8	14,0
	2,3	7,7	16,7	26,1	22,7	20,3	23,5	22,6	15,9
3	8,7	9,3	19,4	32,9	35,8	31,6	31,4	26,1	25,6
	10,6	12,1	17,3	31,8	34,6	35,0	36,1	28,6	29,5
4	6,0	9,9	18,9	31,8	31,8	34,1	32,7	22,7	17,9
	7,3	9,7	19,0	31,9	36,5	30,1	26,5	28,0	22,3
5	1,4	3,5	3,8	18,6	22,4	18,9	15,6	12,5	11,0
	2,3	4,6	7,4	17,4	21,3	17,5	18,4	14,6	13,4
6	7,0	12,4	21,9	33,7	38,1	33,6	28,6	30,3	28,1
	8,0	13,3	19,4	30,6	34,3	35,1	30,4	27,0	25,1
7	7,5	11,6	16,2	34,5	32,6	35,2	27,4	27,2	28,4
	7,1	10,4	19,4	37,1	41,4	43,4	31,5	32,0	33,1
8	6,5	11,4	18,2	28,3	32,4	23,9	27,1	30,1	27,2
	7,6	10,3	17,4	30,5	33,6	26,5	26,2	27,0	26,1
9	6,4	4,2	14,8	26,9	29,1	21,8	22,6	13,2	17,3
	4,1	2,3	6,6	18,9	23,3	14,4	14,9	5,4	7,9
10	7,6	7,4	15,2	34,6	33,1	37,1	35,6	24,9	28,6
	6,2	10,7	14,4	28,6	30,9	34,3	29,3	24,3	23,3

De posse dos resultados dos ensaios calculou-se a Média e o Desvio Padrão, para cada frequência.

Tabela 4.23: Média e desvio padrão das atenuações de ruído

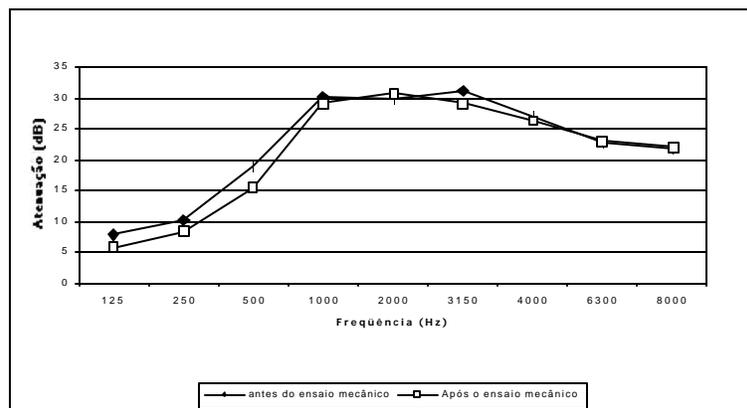
Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Média (dB)	5,92	8,41	15,44	29,21	30,77	29,07	26,47	23,02	22,05
Desvio-Padrão (dB)	2,5	3,3	4,5	5,4	5,3	7,7	5,7	6,8	6,7

Calculado a média e o desvio padrão, calculamos o NRRsf conforme descrito no item 3.1.2.5 do Capítulo 3 logo temos:

$$\text{NRRsf (dB)} = 12,35 \simeq 12$$

A Figura 4.6 apresenta uma comparação dos valores da atenuação, por frequência, dos protetores antes do ensaio mecânico e após o ensaio mecânico.

Figura 4.6: Gráfico comparativo dos valores da atenuação, por frequência, dos protetores antes do ensaio mecânico e após o ensaio mecânico.



Para melhor avaliar o desempenho dos protetores auditivos do tipo concha se fez necessário a análise dos mesmos nas regiões de baixa, média e alta frequência dos resultados experimentais, contidos nas tabelas 4.5 e 4.23 no

qual estes estão representados na Figura 4.6. Nesta figura observa-se que o valor médio máximo da atenuação do ruído conseguido nestes testes foi de 31,14 dB, na frequência de 3150 Hz para o protetor novo (antes dos ensaios mecânicos) e o valor médio mínimo da atenuação de ruído de 5,95 na frequência de 125 Hz para este protetor “após o ensaio mecânico”.

Na análise da Figura 4.6 e na comparação dos resultados dos valores dos NRRsf calculados observa-se que o protetor novo (antes dos ensaios mecânicos) apresenta um nível de redução de ruído maior do que este após o ensaio mecânico. Esta redução no valor do nível de ruído já era esperado devido a perda na força do arco causado pelo ensaio da flexão do arco.

A análise deste estudo permite concluir que o ensaio de flexão do arco interferiu na atenuação do ruído isto é, houve uma diminuição no NRRsf de aproximadamente 1 dB.

4.5. Considerações finais

Este capítulo apresentou no item 4.1 o levantamento antropométrico de 20 participantes dos ensaios de atenuação do ruído. Permitiu a comparação das medidas (distância vertical e distância horizontal) antropométricas das cabeças dos participantes com as dimensões especificadas pela norma internacional ANSI S 12.6/1997 e constatar que as dimensões especificadas por esta norma não retratam a realidade da média das dimensões da cabeça dos indivíduos (brasileiros) ensaiados. Neste item constatou-se também que a maioria dos ouvintes ensaiados apresentam dimensões dos canais da orelha (esquerda e direita) no tamanho médio.

No item 4.2 , Protetor tipo concha, constatou-se que houve uma diminuição da atenuação no decorrer do tempo de uso, sendo que esta começa a ocorrer a partir do segundo mês de uso e que no intervalo de 06 a 10 meses esta diminuição foi de aproximadamente 3 dB.

No item 4.3, Protetor tipo plug, constatou-se que o protetor novo tipo plug (de silicone) apresentou um NRRsf de 17 dB e ao longo do tempo este foi diminuindo a sua atenuação de ruído, chegando ao final dos 14 meses de uso com uma diminuição na atenuação de ruído de aproximadamente 8 dB.

No item 4.4, Resultado dos ensaios mecânicos, constatou-se que o protetor auditivo tipo concha, após exposto ao ensaio de flexão do arco, diminuiu em média 1 N na força do arco e também houve uma diminuição no nível de redução do ruído (NRRsf) de aproximadamente 1 dB.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões gerais do trabalho de pesquisa e algumas propostas para trabalhos futuros.

5.1. Conclusão Final

Este trabalho investigou, na primeira etapa, o levantamento antropométrico de 20 participantes dos ensaios de atenuação de ruído. Permitiu a comparação das medidas (distância vertical e distância horizontal) antropométricas das cabeças dos participantes com as dimensões especificadas pela norma internacional ANSI 12.6/1997 e concluir que:

- As dimensões especificadas pela norma internacional ANSI 12.6/1997 não retratam a realidade da média das dimensões da cabeça dos indivíduos (brasileiros) ensaiados.

Com relação as dimensões dos canais da orelha (esquerda e direita) observou-se que a maioria dos indivíduos ensaiados apresentou o canal da orelha de tamanho médio.

Ainda na primeira etapa investigou-se o efeito do tempo de uso dos protetores (novos e usados) tipo concha e tipo plug (de silicone) através de ensaios de atenuação com base na norma ANSI 12.6/1997 – método B – (métodos para medição da atenuação em ouvido real).

Na análise dos protetores auditivos tipo concha, os resultados obtidos nos mostraram que:

- Houve uma diminuição gradativa da força do arco no decorrer do tempo de uso.
- A atenuação do ruído, em baixas freqüência é baixo.
- Nas bandas de 1000 Hz a 3150 Hz este tipo de protetor apresenta maior atenuação de ruído;
- Na realização dos ensaios de atenuação através do método B – colocação pelo ouvinte pode ocorrer amplificação do ruído em vez da atenuação devido a inexperiência do ouvinte na colocação do protetor e/ou movimentação da cabeça.
- O método B – colocação pelo ouvinte apesar de ser o método, para ensaio da atenuação do ruído, que mais se aproxima da situação de campo, apresenta um alto desvio padrão nas atenuações devido a ser um método subjetivo.
- Houve uma diminuição da atenuação no decorrer do tempo de uso, sendo que esta começa a ocorrer a partir do segundo mês de uso e que no intervalo de 06 a 10 meses esta diminuição foi aproximadamente 3 dB.

Na análise dos protetores auditivos tipo plug (de silicone), os resultados obtidos nos mostraram que:

- O isolamento acústico em baixas freqüências é baixo.
- Este tipo de protetor apresenta uma maior atenuação de ruído em altas freqüências.

- Na realização dos ensaios de atenuação através do método B – colocação pelo ouvinte pode ocorrer amplificação de ruído em vez da atenuação, devido a inexperiência do ouvinte na colocação do protetor auditivo e/ou movimentação da cabeça;
- Este tipo de protetor auditivo apresenta curvas de atenuação com variações suaves.
- O método B – colocação pelo ouvinte apesar de ser o método, para ensaio da atenuação do ruído, que mais se aproxima da situação de campo, apresenta um alto desvio padrão nas atenuações devido a ser um método subjetivo.
- Este tipo de protetor auditivo apresentou, quando novo, um $NRR_{sf} = 17$ dB e ao longo do tempo este foi diminuindo a sua atenuação de ruído, chegando ao final dos 14 meses de uso com uma diminuição na atenuação de ruído de aproximadamente 8 dB.

Na Segunda etapa realizou-se a construção de dispositivos de ensaios mecânicos ou seja, dispositivo de ensaio de flexão da haste tensora e dispositivo de avaliação à resistência ao dano após queda. Nesta etapa foi dado início ao estudo dos ensaios mecânicos com base na norma europeia EN 352-1/1993.

Para as condições experimentais testadas durante esta segunda etapa os resultados obtidos mostraram que:

- Houve uma redução na força do arco após o ensaio mecânico e esta se deve a realização do ensaio de flexão do arco no qual verificou-se um “desgaste” (perda da força) no arco dos protetores ensaiados;
- Ocorreu um aumento no desvio padrão após o ensaio de flexão do arco e a ocorrência deste aumento foi devido a perda diferenciada da força do arco, entre os protetores ou seja, houve maior “desgaste” em uns protetores do que em outros;
- No ensaio de queda livre, como este visa somente simular a queda do protetor em situação de campo, constatou-se que não houve quebra ou soltura de partes de protetor auditivo tipo concha;
- O protetor tipo concha, após exposto ao ensaio de flexão do arco, diminuiu a sua atenuação de ruído em aproximadamente 1 dB.

Este trabalho atingiu plenamente os objetivos propostos, que eram o de gerar tecnologia (equipamentos e conhecimento) para quantificar os parâmetros dos protetores auditivos de forma a melhorar as condições do trabalhador exposto ao ruído excessivo; contribuindo assim com a Ergonomia onde esta apresenta como faixa de domínio o estudo das necessidades humanas bem como as condições ideais para o trabalho.

5.2. Recomendações para futuros trabalhos

Com base no trabalho realizado e como sugestão para continuidade das pesquisas na área de protetores auditivos, recomenda-se alguns tópicos a serem estudados.

- Realizar ensaios de atenuação, visando a estimativa da vida útil do protetor auditivo, utilizando a norma para ensaios objetivo, levando em consideração as medidas do levantamento antropométrico da cabeça dos ouvinte quando for realizado a medição da força do arco.
- Avaliar a influência da subjetividade no ensaio de atenuação de ruído dos protetores auditivos.

Na realização deste tipo de ensaio constatou-se que não basta o ouvinte apresentar uma boa audiometria é também necessário que este ouvinte tenha uma capacidade de permanecer atento ao sinal sonoro por um tempo de aproximadamente 40 minutos. Tendo em vista a importância da atenção e percepção do sinal sonoro recomenda-se um levantamento psicológico dos participantes dos ensaios dando enfoque a atenção e a percepção destes participantes.

- Desenvolver um estudo estatístico dos participante dos ensaios isto é, levantar o desvio padrão de cada ouvinte de forma a estimar a incerteza subjetiva do método B da norma internacional ANSI S 12.6/1997.
- Realizar os ensaios mecânicos estipulados pela norma européia EN 352-1/1993 e verificar o quanto este protetor diminuiu a atenuação do ruído. Após constatação da diminuição na atenuação do ruído estimar o tempo que o indivíduo deveria utilizar o protetor auditivo para que ocorresse a mesma diminuição.

6 BIBLIOGRAFIAS

- [01] GERGES, Samir N.Y. Inimigo invisível. Revista Proteção. v.5, n.2, p.14-15, 1993.
- [02] GERGES, Samir N.Y; BAVASTRI, Elizabete Y.N. Atenuação de ruído dos protetores auditivos por modelagem matemática. I Congresso Iberoamericano de Acústica, I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibração do Mercosul, 18^o Encontro da SOBRAC. Florianópolis – SC. p.683-686.1998.
- [03] BUGUEÑO, Ana M. S.; VÁSQUEZ, Liana; ESPINOSA, José. Estudio Comparativo de la Atenuación sonora y la pérdida de inserción entre protetores auditivos novos (tipo orejas) y aquellos sometidos a envejecimiento en Laboratorio. I Congresso Iberoamericano de Acústica; I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibração do Mercosul, 18^o Encontro da SOBRAC. Florianópolis – SC. p. 551-554. 1998.
- [04] ANSI S 12.6. Method for the measurement of the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors. American National Standard Institute. 1997.
- [05] EN 352-1. Hearing protectors-safety requirements and testing – Part 1:Ear-muffs. European Standard. 1993.

- [06] GERGES, Samir N.Y. Ruído, Fundamentos e Controle. Florianópolis. Editora UFSC. 1ª Edição, 1992. p. 493-528.
- [07] MAYRINK, cristiane Elvas et al. Os efeitos do ruído na audição. Acústica e Vibrações- Revista da Sociedade Brasileira de Acústica. Florianópolis, n:12, p.30-43,1993.
- [08] MANUAL DE LEGISLAÇÃO ATLAS. Segurança e medicina do Trabalho. v.16. 38º Edição. p.123-124. São Paulo – SP. 1997.
- [09] MENDES, René. Patologia do Trabalho. Rio de Janeiro: Editora Atheneu. 1º Edição. p.365-387. 1995.
- [10] GIERKE, Henning; ELDRED, Kneth Mck. Efeitos do ruído no homem Acústica e Vibrações- Revista da Sociedade Brasileira de Acústica. Florianópolis, n: 19, p.2-30, 1997.
- [11] FIALHO,Francisco A. P.; BRAVIANO, Gilson; SANTOS, Neri. Métodos de Tratamento de Dados em Ergonomia. Apostila de aula. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis-SC. 1999.
- [12] HESKETH, José Luiz; HESKETH, Mirian. Características dos Sistemas Homem-Máquina in Fator Humano no Trabalho. Natal: Editora Universidade federal do Rio Grande do Norte, 1995 p 168-173.

- [13] IIDA, Itiro e WIERZBICKI, Henri A .J. Ergonomia. São Paulo: Comunicação Universidade – Cultura Editora, 1994, 292p.
- [14] NEPOMUCENO, Luiza de Arruda. Elementos de acústica física e psicoacústica. São Paulo – SP Editora Edgard Blucher LTDA, 1993, 104p.
- [15] RUSSO, Iêda Chaves P. Acústica e Psicoacústica Aplicadas à Fonoaudiologia. São Paulo-SP. Editora Louise LTDA, 1993, p.153-167.
- [16] ANSI Z 24.22/1957. Method for the Measurement of Real-Ear Protection of Ear Protectors at Threshold. American National Standard Institute. 1957
- [17] ANSI S 3.19/1974. Method for the Measurement of Real-Ear Protection of Hearing Protector and Physical Attenuation of Earmuffs. Acoustical Society of America. American National Standard Institute .1974.
- [18] ANSI S 12.6/1984. Method for the Measurement of Real-Ear Attenuation of Hearing Protector. American National Standard. 1984.
- [19] ISO 4869-1/1990. Acoustics – Hearing Protectors - Part 1: subjective method for the measurement of sound attenuation. International Organization for Standardization. 1990.

- [20] GERGES, Samir N.Y. Protetores auditivos: um novo NRRsf. Acústica e Vibrações – Revista da Sociedade Brasileira de Acústica. Florianópolis, n.23, p.15-22, 1999.
- [21] BERGER, E.H. Hearing Protector PerformanceÇ How they work –and what goes wrong in the real ear world. Earlog 5. 1982.
- [22] ZANIM, Paulo H.T. Estudo sobre os efeitos dos parâmetros do protetor auditivo tipo concha na atenuação do ruído. Florianópolis, 1990. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - curso de pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [23] GERGES, Samir N.Y. Ruído, fundamentos e Controle. Florianópolis. NR Editora 2ª edição. 2000.
- [24] BERGER, Eliot H. In Search of meaningful measures of hearing protector effectiveness – ear 96-01/HP. Versão 1.6. Carolina do Norte (E.U.A): Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado da Carolina do Norte. 1996.
- [25] DIAS, Roberto A . Implementação de um sistema para avaliação subjetiva da atenuação de ruído dos protetores auditivos. Florianópolis, 1996. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –Curso de Pós-

graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.