



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

EFEITOS DE VIBRAÇÕES E NÍVEIS DE PRESSÃO
SONORA ELEVADOS NA MUDANÇA TEMPORÁRIA DE
LIMIAR AUDITIVO

RENATA IZUMI

Belo Horizonte, 07 de novembro de 2006

Renata Izumi

**EFEITOS DE VIBRAÇÕES E NÍVEIS DE PRESSÃO
SONORA ELEVADOS NA MUDANÇA TEMPORÁRIA DE
LIMIAR AUDITIVO**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como registro parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Projetos Mecânicos

Orientadora: Prof^a. Maria Lúcia Machado Duarte. PhD

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2006



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – 31.270-901 – Belo Horizonte – MG

Tel.: +55 31 3499-5245 – Fax.: +55 31 3443-3783

www.demec.ufmg.br - E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

**EFEITOS DE VIBRAÇÕES E NÍVEIS DE PRESSÃO
SONORA ELEVADOS NA MUDANÇA TEMPORÁRIA DE
LIMIAR AUDITIVO**

RENATA IZUMI

Dissertação defendida e aprovada em 07 de novembro de 2006, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “**Mestre em Engenharia Mecânica**”, na área de concentração de “**Projetos Mecânicos**”.

Prof^ª. Dra. Maria Lúcia Machado Duarte

Orientadora – Ph.D., Depto. de Engenharia Mecânica, UFMG

Prof. Dr. Eduardo Bauzer de Medeiros

Examinador – Ph.D., Depto. de Engenharia Mecânica, UFMG

Prof. Dr. Marco Aurélio Rocha Santos

Examinador – Dr., Hospital Felício Rocho

Prof^a. Luciana Macedo de Resende

Examinadora – M.Sc., Depto. de Fonoaudiologia, UFMG

Prof. Dr. Francisco de Assis das Neves

Examinador – Dr., Depto. de Engenharia Civil, UFOP

(Dedico este trabalho aos meus pais, por todo o amor, carinho e força que me deram durante toda a minha vida.)

AGRADECIMENTOS

À Maria Lúcia que conseguiu me transmitir conhecimento em uma área totalmente nova e nada fácil, sempre com otimismo e perseverança, foi muito mais do que uma professora, mas uma amiga. Minha sincera gratidão ao Dr. Marco Aurélio, que forneceu ajuda de forma despretensiosa, sem imaginar a proporção de seu ato. Aos “meninos” Wanderson, Lucas e Bernardo, sem os quais, com certeza, eu não teria chegado ao final desse percurso. Aos voluntários. Ao Rodrigo, amado marido, por seu companheirismo e compreensão. Por fim aos meus pais, que sempre me incentivaram a crescer e me dedicar aos estudos.

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VI
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	1
1.2 Considerações Iniciais	1
1.3 Justificativa para o trabalho	1
1.4 Relevância do trabalho.....	2
1.5 Objetivos.....	3
1.6 Estrutura do trabalho.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Introdução	5
2.2 Vibrações de Corpo Inteiro – VCI.....	5
2.2.1 Características.....	6
2.2.2 Efeitos na Saúde.....	10
2.3 Níveis de Pressão Sonora Elevados – NPSE	14
2.3.1 Ruído Ocupacional	15
2.3.2 Efeitos na saúde	16
2.4 Efeitos de NPSE e VCI na audição.....	17
2.4.1 Efeito de NPSE na audição: Perdas Auditivas Ocupacionais.....	19
2.4.2 Efeitos de VCI na audição	21
2.4.3 Estudos sobre o efeito combinado de Ruído e Vibrações.....	22
2.5 Mudança Temporária de Limiar – MTL.....	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 Introdução	27
3.2 Informações sucintas sobre os testes	27
3.3 Seleção dos voluntários	28
3.4 Exames auditivos	29

3.4.1	Meatoscopia.....	29
3.4.2	Timpanometria.....	30
3.4.3	Audiometria Tonal.....	30
3.4.4	Emissões Otoacústicas (EOA) por Produto de Distorção.....	31
3.5	Testes com VCI	34
3.5.1	Descrição dos equipamentos e <i>set-up</i> utilizados:	36
3.6	Testes com NPSE (ruído)	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1	Introdução	42
4.2	Considerações Iniciais	42
4.3	Justificativa para o tamanho da amostra	43
4.4	Testes estatísticos.....	43
4.5	Análise dos resultados em decibels	45
4.5.1	Análise dos testes realizados após exposição a VCI isolada.	45
4.5.2	Análise dos testes realizados após exposição a NPSE isolados....	48
4.5.3	Análise dos testes realizados após exposição a VCI e NPSE associados.....	50
4.5.4	Análise dos testes realizados após exposição a VCI e NPSE associados comparados com os testes após exposição a NPSE isolado.....	52
4.6	Análise dos resultados em linear	55
4.6.1	Resultados dos exames de audiometria	56
4.6.2	Resultados dos exames de EOAs.....	57
4.7	Análise dos testes realizados com a amostra só de homens	58
4.8	Discussão dos resultados	59
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	62
5.1	Introdução	62
5.2	Conclusões	62
5.3	Sugestões para trabalhos futuros.....	63
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
	ANEXO A– CARTA DE AUTORIZAÇÃO DO COEP.....	74
	ANEXO B– ANAMNESE / TERMO DE COMPROMISSO.....	75
	ANEXO C– TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	78
	ANEXO D- INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO IMPEDANCIÔMETRO	82
	ANEXO E- MODELO DE AUDIOGRAMA	83

ANEXO F- INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS AUDIÔMETROS.....	84
F.1 Audiômetro Siemens SD-25	84
F.2 Audiômetro Maico MA-41	84
ANEXO G- INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO APARELHO DE EOAS	86
ANEXO H- INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO PROTETOR AUDITIVO	87
ANEXO I..– INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS EXPOSIÇÕES A VCI	88
I.1 Acelerômetro triaxial	88
I.2 Acelerômetro Piezelétrico.....	88
I.3 Amplificador de Sinais	89
I.4 Excitador	90
I.5 Analisador de Sinais	91
I.6 Gerador de Sinais.....	92
ANEXO J- TESTE DE WILCOXON	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Eixos de vibração considerados em estudos de Vibração de Corpo Inteiro (VCI).....	7
Figura 2.2 – Curvas de Ponderação usuais para VCI	9
Figura 2.3 – Circuitos de compensação para medição de NPS	15
Figura 2.4 – Representação das estruturas anatômicas da orelha.	18
Figura 3.1 – Gráfico Dp-gram. Equipamento AUDX – Bio-logic®	33
Figura 3.2 – Detalhes de montagem das molas utilizadas no <i>set-up</i> experimental.	36
Figura 3.3 – Detalhes da haste utilizada para transmissão da excitação no <i>set-up</i> experimental.....	36
Figura 3.4 – Detalhes da guia utilizada para garantir excitação apenas no eixo z do <i>set-up</i> experimental.....	37
Figura 3.5 - Desenho esquemático da montagem.	37
Figura 3.6 – Foto da montagem completa	38
Figura 3.7 – Foto do <i>set-up</i> para exposição a NPSE	41
Figura 4.1 – Explicação para os gráficos “ <i>Boxplots</i> ”	44
Figura 4.2 – Gráfico <i>boxplot</i> para VCI isolada (Audiometria) - dB.....	46
Figura 4.3 – Gráfico <i>boxplot</i> para VCI isolada (EOA) – dB	47
Figura 4.4 – Gráfico <i>Boxplot</i> para NPSE isolada (audiometria).....	49
Figura 4.5 – Gráfico <i>boxplot</i> para NPSE isolado (EOA)	50
Figura 4.6 – Gráfico <i>Boxplot</i> para VCI e NPSE associados (Audiometria) - dB.....	51
Figura 4.7 – Gráfico <i>Boxplot</i> para VCI e NPSE associados (EOA) - dB.....	52
Figura 4.8 – Gráfico <i>Boxplot</i> para a diferença VCI e NPSE - NPSE (Audiometria) - dB ..	53
Figura 4.9 – Padrão de audibilidade para tons puros	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Sensibilidade dos Sistemas Humanos à Vibração	11
Tabela 3.1 – Duração máxima diária de exposição permissível em função do nível de ruído	40
Tabela 4.1 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI isolada – Resultados de audiometria - dB	46
Tabela 4.2 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI isolada – Resultados de EOA - dB	47
Tabela 4.3 - Teste de Wilcoxon para os testes de NPSE isolado – Resultados de Audiometria - dB	48
Tabela 4.4 - Teste de Wilcoxon para os testes de NPSE isolado – Resultados de EOA - dB	48
Tabela 4.5 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados – Resultados de Audiometria - dB	50
Tabela 4.6 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados – Resultados de EOAs - dB.....	51
Tabela 4.7 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados em comparação com NPSE isolado – Audiometria – dB	53
Tabela 4.8 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados em comparação com NPSE isolado – INVERSO – Audiometria - dB.....	54
Tabela 4.9 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados em comparação com NPSE isolado – INVERSO – EOA - dB.....	54
Tabela 4.10 - Teste de Wilcoxon para os testes de NPSE isolado – Resultados de EOA - valores lineares	58
Tabela I.1 – Acelerômetro triaxial.....	88
Tabela I.2 – Acelerômetro piezelétrico.....	88
Tabela I.3 – Performance do amplificador	89
Tabela I.4 – Especificações técnicas do excitador.....	90
Tabela J.1 – Valores críticos de T no testes de Wilcoxon	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COEP	Comitê de Ética em Pesquisa
dB	Decibel
dBNA	Decibel Nível de Audição
dBNPS	Decibel Nível de Pressão Sonora
EAV	<i>Exposure Action Value</i>
ELV	<i>Exposure Limit Value</i>
EOA	Emissões Otoacústicas
Hz	Hertz
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kHz	Kilohertz
MTL	Mudança Temporária de Limiar
NPS	Nível de Pressão Sonora
NPSE	Nível de Pressão Sonora Elevado
NR	Norma Regulamentadora
PAIR	Perda auditiva Induzida por Ruído
r.m.s.	<i>root mean square</i>
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VDV	<i>Vibration Dose Value</i>
VMB	Vibração de Mãos e Braços

RESUMO

A combinação dos riscos físicos, ruído e vibrações, é a mais encontrada nos ambientes ocupacionais. Os efeitos da combinação na saúde das pessoas têm sido muito pouco estudados e portanto, pouco conhecidos, principalmente os efeitos na audição. Este último é, portanto, o principal objetivo deste trabalho. A fim de verificar o efeito de Vibrações de Corpo Inteiro (VCI) e do ruído na audição, foram realizados testes laboratoriais experimentais. Um total de 13 voluntários (10 homens e 3 mulheres), adultos jovens sem problemas auditivos e sem exposição ocupacional a ruído e/ou vibrações foram submetidos a três situações de teste: exposição a Níveis de Pressão Sonora Elevados (NPSE) (ruído do tipo *white-noise* a 100 dBNA durante 15 minutos); exposição a VCI (eixo z, 6 Hz a 2,45 m/s² r.m.s. durante 18 minutos) e exposição combinada a NPSE e VCI nas mesmas condições anteriores, sendo que o 1º se iniciou 3 min. após a exposição a VCI. A audição dos voluntários foi avaliada antes da realização dos testes através dos exames de audiometria e Emissões Otoacústicas por Produto de Distorção (EOAPD). O resultado desses exames foi utilizado como referência para comparação com os exames realizados após cada exposição de teste. Imediatamente após as exposições era realizada nova audiometria, e em seguida, aproximadamente 2 minutos após o término da exposição, era realizada nova pesquisa das EOA por Produto de Distorção. A comparação dos resultados dos exames realizados pré e pós-exposições visou verificar a ocorrência de Mudanças Temporárias de Limiares (MTL) auditivos. Os resultados foram analisados estatisticamente através do teste de hipóteses de Wilcoxon, que permitiu afirmar que para os testes com VCI isolada, não houve alterações auditivas significativas. Para os testes de estimulação a NPSE isolados, a MTL auditivo está presente nas frequências de 0,5 a 8 kHz, com maiores alterações quantitativas em ambos os exames nas frequências de 3 a 6 kHz. Para os testes da associação de NPSE e VCI, observou-se resultado similar aos do teste de ruído isolado. Quantitativamente, apenas na frequência de 4 kHz, a MTL auditivo foi menor, mostrando que para os níveis utilizados, a combinação de VCI com o NPSE não tem caráter somatório sequer sinérgico na MTL, pelo contrário, observou-se uma redução nos efeitos auditivos se comparados aos efeitos da exposição a ruído isolado.

Palavras Chaves: *Vibração de Corpo Inteiro (VCI), ruído, efeito combinado, audição, Mudança Temporária de Limiar (MTL).*

ABSTRACT

The most common combination of physical risks in working environments is noise and vibration. The effects of this combination on the health of people has been very little researched and, for that reason, little understood, specially the effects on hearing. Therefore, the latter is the main objective of this work. In order to verify the effects of whole-body vibration (WBV) and noise on hearing, experimental tests were performed. A total of 13 subjects (10 males and 3 females), young adults without any hearing problem and with no history of occupational exposure to noise and/or vibration were submitted to three test conditions, to know: exposure to high Sound Pressure Levels (SPL) (white-noise at 100 dBNA for 15 minutes); exposure to WBV (z-axis, 6 Hz at 2.45 m/s for 18 minutes) and the combined exposure to high SPL and WBV using the same conditions as before, where the first was started 3 minutes after the exposure to WBV. The hearing of the subjects was evaluated before each test condition using pure-tone audiometry and the distortion product otoacoustic emission (DPOAE) test. The results of these exams were used as references to the comparison with the exams performed just after each exposure test. Immediately after the exposures a new audiometric test was performed followed by a new evaluation of DPOAE taken approximately 2 minutes after the exposures. The before and after exposure results comparison aimed to investigate the occurrence of hearing Temporary Threshold Shift (TTS). The results were analyzed statistically using the non-parametric Wilcoxon signed-rank test, allowing concluding that for WBV alone, there was no significant hearing variation. For the tests using high SPL alone, the TTS was present at 0.5 and 8 kHz frequency, being the highest variations for both exams at the 3 and 6 kHz frequency. For the tests using a combination of high SPL and WBV, similar results to noise alone were observed. Quantitatively, only at 4 kHz the TTS was small, showing that, for the used levels, the combination of WBV and high SPL had no additive, or synergic characteristics on the TTS. On the contrary, what was observed was a reduction on the hearing effects if compared with the noise alone exposure effects.

Key-words: *Whole-body Vibration (WBV), noise, combined effects, hearing, Temporary Threshold Shift (TTS).*

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo fará uma introdução ao problema a ser estudado. Considerações iniciais serão apresentadas, assim como uma justificativa para este tipo de trabalho e sua relevância para a pesquisa e saúde ocupacionais. Logo em seguida serão apresentados os objetivos e a estrutura do trabalho.

1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Unificar campos do saber e integrar conhecimentos é a grande proposta deste trabalho. A saúde auditiva do trabalhador costuma ser vista como um assunto de natureza médica, mas é preciso sempre considerar que as causas dos transtornos da saúde vão além, estão relacionadas diretamente com a atividade desenvolvida pelo trabalhador.

Ao conhecer melhor os riscos ocupacionais (vibrações e ruído) é possível conhecer melhor os efeitos. A fonoaudiologia aprofunda conceitos teóricos e práticos acerca das perdas auditivas ocupacionais. A engenharia traz conhecimentos essenciais sobre acústica e vibrações. A ciência evolui através de iniciativas de interdisciplinaridade.

Com este trabalho espera-se entender mais a fundo os efeitos de Vibrações de Corpo Inteiro (VCI) na audição, estando ou não associadas ao ruído. A proposta metodológica é a utilização da Mudança Temporária de Limiar (MTL) como forma de verificar os efeitos na audição de exposições a ruído e Vibrações de Corpo Inteiro (VCI).

1.3 JUSTIFICATIVA PARA O TRABALHO

VCI podem ser percebidas em várias situações do dia-a-dia das pessoas: nos meios de transporte, atividades de lazer, e até em movimentos de edifícios. O que faz desta exposição um risco ocupacional é o tempo de exposição e amplitude das vibrações. Em geral trabalhadores permanecem 8 horas do seu dia de trabalho, expostos a níveis elevados de VCI, Silva (2002).

Operadores de máquinas de grande porte e veículos pesados são o grupo de exposição mais afetado. Segundo trabalhos de Silva (2002), Goglia e Grbac (2005) e Santos Filho et al. (2003), em grande parte desses veículos encontram-se níveis de VCI acima dos permitidos segundo normas internacionais, a saber, ISO 2631-1 (1997) e Directive EU (2002).

Em geral a exposição a VCI é associada à exposição ao ruído, sendo a combinação desses riscos físicos a mais comum nos ambientes de trabalho, Seidel et al. (1989, 1992 e 1997). Os Níveis de Pressão Sonora Elevados (NPSE) ou ruído são sabidamente causas de vários transtornos de saúde e os problemas auditivos são os mais significativos e conhecidos, em especial a perda auditiva ocupacional; Guerra et al. (2005), Mc Reynolds (2005), Almeida et al. (2000) e Eleftheriou (2002).

Bovenzi (2006) afirma que os objetivos para o controle da saúde ocupacional de indivíduos expostos a vibrações são: informar aos trabalhadores sobre o risco a que estão expostos, providenciar acesso à saúde, diagnosticar precocemente problemas relacionadas à exposição à vibração e verificar a efetividade das medidas de prevenção em longo prazo.

A prevenção é a forma de impedir que os riscos ocupacionais levem a problemas de saúde. Conhecer os riscos e seus reais efeitos permite atuar em prevenção de forma mais eficaz, sendo essa a principal justificativa para este trabalho.

1.4 RELEVÂNCIA DO TRABALHO

O estudo das Vibrações de Corpo Inteiro (VCI) presentes em ambientes ocupacionais traz à tona um fator de relevância maior, ou seja, conhecer o efeito da exposição na saúde dos trabalhadores. VCI são consideradas um risco ocupacional justamente porque podem trazer problemas de saúde. Dentre estes, podem ser citados problemas na coluna vertebral, problemas digestivos, no sistema reprodutor feminino, na audição, dentre outros; Mabbott et al. (2001).

A combinação de riscos ocupacionais tem sido foco de inúmeras pesquisas nos últimos anos. É possível por exemplo, se afirmar que determinados produtos químicos como os solventes orgânicos, atuam de forma sinérgica com o ruído e mesmo sem a presença do ruído no ambiente podem causar perdas auditivas, Morata et al. (1993 e 1995).

A tendência atual de se pesquisar mais a fundo os riscos ocupacionais leva a questionamentos pertinentes acerca da prevenção de possíveis danos à saúde. Portanto, a relevância principal deste trabalho é verificar se as VCI ocupacionais, associadas ou não ao ruído, podem trazer danos à audição, e desta forma sugerir que programas de prevenção e conservação auditiva abordem estes riscos objetivamente, levando em consideração todos os aspectos de saúde que podem ser afetados. Quando se fala em ruído não se pode pensar apenas em problemas auditivos, visto que existem efeitos em todo o organismo. Da mesma forma quando o risco é VCI deve-se levar em conta não apenas problemas ortopédicos, mas o organismo como um todo.

1.5 OBJETIVOS

Diante do que foi mostrado acima, este trabalho tem como principais objetivos:

- 1) Desenvolver uma metodologia para que os efeitos de VCI, Níveis de Pressão Sonora Elevados (NPSE) e VCI associadas a NPSE possam ser estudados em condições laboratoriais;
- 2) Conhecer os efeitos de VCI e NPSE na MTL auditivo para as situações testadas;
- 3) Estabelecer uma referência a mais no estudo combinado dos efeitos de ruído e de vibração na audição;
- 4) Verificar a necessidade de se sugerir que programas de prevenção desenvolvidos nas empresas abordem o risco VCI de uma forma mais abrangente.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização do trabalho encontra-se em uma seqüência estruturada da forma descrita abaixo a fim de facilitar a leitura:

- Cap. 2 - Revisão bibliográfica: estudo detalhado das informações relevantes encontradas em artigos e publicações, de livros e demais fontes técnicas sobre VCI, ruído e seus efeitos, além de uma revisão sobre MTL.

- Cap. 3 - Metodologia: descrição em pormenores dos equipamentos utilizados, seleção dos voluntários, montagens, critérios e procedimentos, devidamente fundamentados com justificativas de escolhas, seja por motivos técnicos, ou referências prévias.
- Cap. 4 - Resultados e discussões: apresentação dos resultados obtidos durante os testes, análises estatísticas das informações coletadas nos testes realizados e interpretação dos resultados, comparação dos resultados encontrados com achados bibliográficos anteriores.
- Cap. 5 - Conclusões e trabalhos futuros: em função dos resultados obtidos no capítulo anterior, apresentar as conclusões que foram obtidas com este trabalho, em função também dos objetivos propostos. Fornecer sugestões para futuros pesquisadores que se interessem por desenvolver temas semelhantes e/ou possíveis continuações para este trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados através de uma revisão bibliográfica, aspectos sobre VCI, ruído e seus efeitos. Também será apresentada uma pesquisa sobre a Mudança Temporária de Limiar (MTL) que é o recurso utilizado para determinar as possíveis alterações auditivas causadas pelas exposições dos voluntários nos testes práticos do trabalho.

Com esta revisão bibliográfica pretende-se, por meio de estudos anteriores que abordaram o mesmo assunto, levantar informações a respeito do tema proposto e fundamentar a metodologia aplicada.

Como se trata de um trabalho interdisciplinar, uma apresentação básica sobre os principais conceitos que serão utilizados ao longo do texto será realizada no início de cada tópico.

2.2 VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO – VCI

O cientista Galileo Galilei foi pioneiro no estudo da vibração de um pêndulo simples com a publicação de um trabalho abordando corpos vibrantes, trazendo conceitos de frequência e ressonância. A partir de seus estudos, muitos outros cientistas desenvolveram teses e conceituações sobre acústica e vibrações, Rao (1995).

O termo vibração, ou oscilação, se refere a qualquer movimento que se repete depois de um intervalo de tempo. A teoria de vibrações lida com o estudo de movimentos oscilatórios de corpos e forças associadas ao movimento, Rao (1995).

As vibrações são movimentos oscilatórios que podem acontecer em qualquer corpo dotado de massa e elasticidade, ou seja, tanto máquinas e equipamentos, quanto pessoas, podem sofrer vibrações, Thomson (1978).

Qualquer vibração produzida por um evento externo que atua no corpo humano é entendida por vibração no corpo humano. Usa-se o termo Vibração de Corpo Inteiro (VCI), quando o corpo está suportado em uma superfície vibrante e esta atinge o corpo

como um todo, Griffin (1996). Quando a vibração é localizada no segmento mão-braço, recebe o nome de Vibração transmitida por meio de Mãos e Braços (VMB). Neste trabalho optou-se por abordar somente as VCI.

No ambiente ocupacional é possível citar inúmeros exemplos de exposições dos trabalhadores à VCI, como em máquinas de mineração, colheitadeiras e tratores em geral, veículos de transporte (caminhões, trens e barcos) e inúmeros outros exemplos observáveis no dia-a-dia.

As VCI estão entre os riscos ocupacionais mais incidentes nas indústrias da Inglaterra, Chaffin et al. (2001), Bovenzi (2006) e Palmer et al. (2000), sendo tema de muitos trabalhos científicos envolvendo aspectos como conforto, danos à saúde geral, fadiga, danos ao sistema ósseo vertebral, transmissibilidade de diferentes tipos de assentos, entre outros. Da mesma forma, outros países também sofrem com este mesmo problema, não estando o Brasil excluído desta lista.

A seguir serão apresentadas conceituações básicas e características gerais das VCI utilizadas nos estudos, e em seguida seus efeitos mais relevantes na saúde.

2.2.1 Características

Vibrações podem ser caracterizadas quanto ao tipo, amplitude, frequência e duração. Griffin (1996) traz essas definições de forma bastante clara e didática. A descrição a seguir é baseada nessa publicação.

2.2.1.1 *Eixos de vibração*

Segundo a norma internacional ISO 2631-1 (1997), existe um sistema de coordenadas ortogonais para expressar a amplitude das vibrações incidentes no corpo em diferentes direções. O sistema tem origem no ponto onde a vibração entra no corpo.

A Figura 2.1 mostra os eixos de vibração para o corpo em três posições distintas, a saber: sentado, em pé e deitado. Os eixos são sempre considerados a partir do indivíduo, sendo o eixo x de trás para frente do corpo, o eixo y, da esquerda para a direita e o eixo z, de baixo para cima, no sentido da cabeça; independente da posição em que o corpo se encontra, facilitando desta forma a sua identificação.

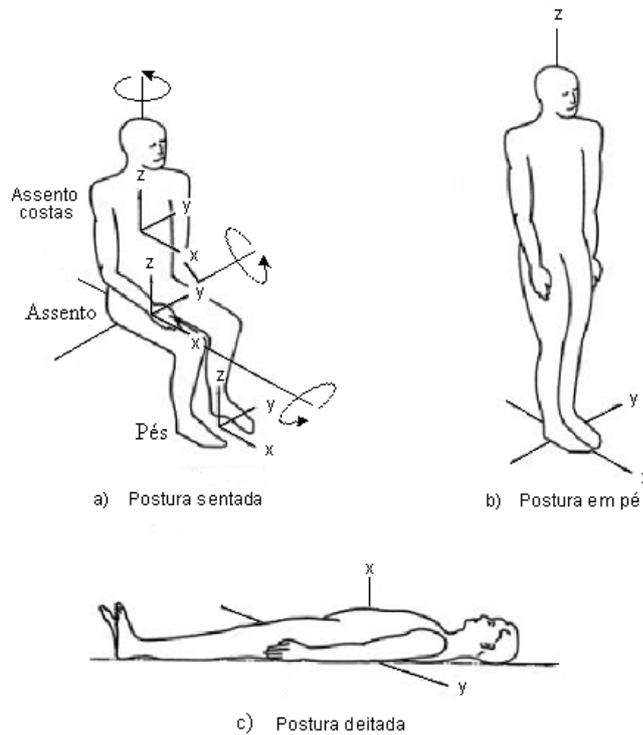


Figura 2.1 – Eixos de vibração considerados em estudos de Vibração de Corpo Inteiro (VCI)

FONTE – ISO 2631-1, 1997

2.2.1.2 Tipos de Vibrações

O movimento oscilatório pode ser Determinístico ou Estocástico. Quando a natureza do movimento pode ser definida por oscilações anteriores, temos um movimento determinístico (movimentos senoidais, por exemplo). Quando o movimento só pode ser caracterizado por propriedades estatísticas define-se por movimento estocástico, ou randômico. As vibrações encontradas no dia-a-dia do trabalho e transportes são um exemplo de vibrações randômicas, Griffin (1996).

2.2.1.3 Amplitude das Vibrações

A amplitude das vibrações pode ser definida pela quantificação em termos de velocidade, deslocamento ou aceleração do movimento, Griffin (1996).

A exposição humana a vibrações deve ser medida em termos de aceleração ao invés de velocidade ou deslocamento. A unidade internacional para medidas de aceleração é metros por segundo ao quadrado, ou seja, m/s^2 , Griffin (1996).

No caso da quantificação da severidade da exposição humana, a recomendação é medir a amplitude da aceleração em valores de *root-mean-square* (r.m.s.), que representa a raiz quadrada do valor médio do quadrado da aceleração medida. A escolha do valor r.m.s. não é aleatória, mas justificada pela conveniência em se adequar os valores medidos a outras áreas da engenharia, Griffin (1996).

Vibrações com amplitude abaixo de 0,01m/s² r.m.s. dificilmente serão sentidas em baixas frequências (1-20 Hz). Valores acima de 10 m/s² r.m.s. são consideradas perigosas e dependendo da frequência e duração, os valores podem ser bem mais baixos, até 1 m/s². Amplitudes de veículos em geral podem variar de 0,2 m/s² r.m.s. ou mais de 1,0 m/s² r.m.s. e até 2,0 m/s² r.m.s. em veículos fora de estrada, Griffin (1996).

Há ainda, valores expressos em *Vibration Dose Value* – VDV (ou “Valor da Dose de Vibração”) que é um método eficaz de expressar a severidade de vários tipos de movimentos, determinístico, randômico, estacionário, não-estacionário, transiente ou choques. A EQ. (2.1) para o cálculo do VDV segundo a ISO 2631-1 (1997), pode ser vista a seguir, onde $a_w(t)$ representa a aceleração ponderada instantânea (m/s²) em função do tempo t , e T corresponde à duração da medição, em segundos:

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad [m/s]^{1,75} \quad (2.1)$$

2.2.1.4 Frequência das Vibrações

A frequência do movimento é o número de ciclos (repetições) por unidade de tempo. No sistema internacional sua unidade é ciclos por segundo (c.p.s.) ou Hertz (Hz), Griffin (1996).

O movimento harmônico simples (MHS) é o tipo de vibração mais simples, pois só contém uma frequência de oscilação, geralmente senoidal, porém, é mais comum se encontrar movimentos com combinações de mais de uma frequência. Em alguns casos, muitas das frequências são harmônicas, múltiplos de uma frequência fundamental, Griffin (1996).

A resposta humana e o grau de vibração que é transmitido para o corpo em VCI dependem diretamente da frequência da vibração ou também conhecida como frequência de excitação, Griffin (1996).

As frequências de VCI geralmente associadas a problemas de saúde, atividades e conforto estão entre 0,5 a 100 Hz. Frequências consideradas muito baixas (abaixo de 0,5 Hz) em geral estão relacionadas a enjôos do movimento, ISO 2631-1 (1997). No caso das vibrações veiculares encontram-se valores abaixo de 20 Hz, Griffin (1996).

Freqüentemente as amplitudes das frequências são ponderadas, ou seja, são definidas por curvas e gráficos de valores nos quais para cada frequência considerada, a sua amplitude deve ser multiplicada, para ser compensada de modo a simular os efeitos que causam na saúde, conforto ou percepção.

A Figura 2.2 traz as curvas de ponderação da norma ISO 2631-1 (1997), onde W_k refere-se as vibrações no eixo z e W_d refere-se à ponderação nos eixos x e y.



Figura 2.2 – Curvas de Ponderação usuais para VCI

FONTE – ISO 2631-1, 1997.

2.2.1.5 Duração da vibração

É a medida da exposição no tempo e pode ser realizada de diversas formas, conforme o interesse da pesquisa. Geralmente, cada sinal é obtido várias vezes de modo a se ter um valor estatístico mais confiável, sendo que para isto as médias retangulares ou exponenciais são as mais utilizadas. É importante destacar que as respostas aos estímulos vibratórios dependem diretamente da duração, Griffin (1996).

2.2.2 Efeitos na Saúde

Ao se entender vibrações por movimentos oscilatórios, (Griffin 1996), pode-se dizer que a grande maioria das atividades humanas envolve algum tipo de vibração, como a respiração, que é associada a movimentos dos pulmões; o caminhar, que está diretamente relacionado com movimentos oscilatórios de pernas e braços; a fala e a audição, Rao (1995).

Em máquinas, as vibrações também são inerentes ao seu funcionamento e podem gerar falhas ou fadigas nos materiais (resultantes das variações cíclicas), além de desgastar mais rapidamente componentes estruturais, gerando ruídos.

O ser humano é parte integrante de muitos sistemas de engenharia e a transmissão da vibração ao corpo pode levar a vários problemas nas pessoas, Rao (1995). No caso da exposição humana ainda é preciso levar em conta efeitos psicológicos, Gerges (1992). O corpo humano, por sua vez, também pode ser considerado como um sistema mecânico e o estudo dos efeitos das vibrações no corpo envolve conhecimentos de engenharia, ergonomia, matemática, medicina, física, fisiologia e estatística, Griffin (1996).

Existe uma grande dificuldade em se estudar os efeitos nocivos de VCI no corpo humano, pois é difícil fazer este tipo de exposição em laboratório. Usar cobaias muitas vezes é inviável, devido às diferenças não só em tamanho, mas estruturas anatômicas e fisiológicas muito diferentes, Harris (1998).

A sensibilidade do corpo humano às vibrações depende de diversos fatores como postura corporal e tensão musculares, além da predisposição individual e das características das vibrações.

Chaffin et al. (2001), consideram que o corpo humano tem em sua estrutura diferentes órgãos, tecidos e ligamentos que não respondem da mesma forma aos estímulos vibratórios. A resposta do nosso organismo poderá variar de acordo com características biomecânicas do corpo e também das características do estímulo, causando uma resposta mecânica, sensitivo-motora e/ou psicológica.

A Tabela 2.1 traz descrita faixas de frequências relacionadas com a estrutura do corpo que sofrerá maior estímulo, assim como os fatores causadores desta vibração.

Tabela 2.1 - Sensibilidade dos Sistemas Humanos à Vibração

Intervalo de frequência	Frequência	Sensibilidade	Fator causador da vibração
Baixa	0 a 1-2 Hz	Sistema Vestibular	Navios, guindastes e aeronaves
Média	2 a 20-30 Hz	Biomecânica: ressonância dos tecidos corporais	Veículos e aeronaves
Alta	20 a 300 Hz	Mecanorreceptores somestésicos dos músculos, tendões e tecidos cutâneos	Ferramentas e maquinário

FONTE – Chaffin et al., 2001.

Informações precisas sobre as VCI permitem conhecer o ambiente ocupacional dos trabalhadores e a resposta humana a este ambiente, Griffin (1996).

Griffin (1996), divide os efeitos de VCI na saúde em agudos e crônicos, sendo que os agudos são imediatamente após a exposição e os crônicos decorrentes de situações de exposição mais prolongada, como um efeito cumulativo de meses ou anos.

Pode-se citar diversos problemas de saúde associados à exposição a vibrações mecânicas, como problemas ortopédicos, cardiovasculares, respiratórios, problemas nas articulações, circulação sanguínea, entre outros. De modo geral as VCI podem afetar, Griffin (1996):

- a resposta subjetiva: causando desconforto, dor, etc.
- perturbação da atividade: visão, controle dos movimentos das mãos, controle dos movimentos dos pés, etc.
- efeitos nocivos: problemas da coluna, sistema respiratório, etc.
- mal do transporte: náusea, vômito, redução do desempenho, etc.

Os efeitos nocivos mais conhecidos e pesquisados relacionados à exposição a VCI são problemas de coluna, em especial a dor lombar, Griffin (1996), Sorainen et al. (1998), Lenzuni e Pieroni (2003), Palmer et al (2000), Goglia e Grbac (2005) e Mabbott et al (2001). Queixas relacionadas a problemas de coluna como: dor, deslocamento de discos intervertebrais, degeneração da coluna vertebral e osteoartrite, foram reportadas em Griffin (1996). VCI transientes na direção vertical, testadas em diversas frequências e intensidades podem causar desconforto, variando de acordo com a amplitude do estímulo, Matsumoto e Griffin (2005). A exposição medida em máquinas de corte de madeira (*framesaw*) quando em valores superiores ao permitido pela norma ISO 2631-1 (1997) registra aumento nas

queixas de sérios problemas na coluna. Desta forma, Goglia & Grbac (2005) recomendam uma exposição máxima diária de 4 horas para esses equipamentos.

A grande maioria das publicações que buscam associar a exposição a VCI a dor lombar apresentam resultados questionáveis em vários aspectos, levando a conclusões dúbias se de fato existe uma relação direta exposição-dor, ou apenas uma combinação de fatores, como posturas viciosas, Kittusamy & Buchholz (2006), Lings & Yde (2000). Apesar disso, muitos achados levam a acreditar em claras evidências do aumento do risco de dor lombar em indivíduos expostos a vibrações, devido à fadiga muscular causada pela sobrecarga mecânica imposta à coluna vertebral, Bovenzi & Hulshof (1999).

Mabbott et al. (2001), em seu estudo, mostraram que motoristas sofrem de fadiga e ainda consideraram como queixas relacionadas à exposição: desordens nas articulações, músculos; desordens da circulação sanguínea; alterações cardiovasculares, respiratórias, endócrinas e metabólicas; problemas no sistema digestivo; dano reprodutivo em mulheres; prejuízo na visão e/ou equilíbrio; interferência com atividades; desconforto; dor lombar por degeneração vertebral precoce, além de fadiga muscular e rigidez. Irritabilidade, problemas de visão, deformações lombares e problemas digestivos foram citados por Santos Filho et al. (2003).

Vale destacar que é preciso que o indivíduo seja exposto a VCI durante vários anos para ocorrerem mudanças em seu estado de saúde e ainda deve-se considerar o caráter subjetivo dos indivíduos quando se trata de desconforto, Fernandes & Morata (2002).

Ao se utilizar VCI em pesquisas sobre saúde em geral, os autores precisam definir três parâmetros característicos das VCI, a saber: a amplitude, a duração e a frequência, que caracterizarão o movimento e induzirão respostas diferenciadas de acordo com os parâmetros selecionados.

Segundo a Diretiva Européia EU *Directive* 2002/44/EG (2002), para se evitar problemas de saúde em exposições a vibrações, deve-se ter em mente dois valores distintos: o EAV (*Exposure Action Value* ou “Valor de Exposição para Ação”) e o ELV (*Exposure Limit Value* ou “Valor de Exposição Limite”) que são estabelecidos de acordo com o tipo de agente causador da vibração, ou seja, VCI ou VMB (Vibração de Mãos e Braços). O EAV é o valor total de exposição diária a partir do qual o empregador deve tomar medidas preventivas e implementar programas para redução dos níveis de vibração. Para VCI, o valor do EAV é de $0,5 \text{ m/s}^2$ para 8 horas de exposição (ou um VDV de $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$). O ELV refere-se a níveis que, segundo a diretiva, em nenhuma situação devem ser excedidos para uma exposição total diária de 8 h. Para VCI, o valor de ELV é de $1,15 \text{ m/s}^2$

para 8 horas de exposição (ou um VDV de 21 m/s^{1,75}). Existem na *internet* várias planilhas que calculam os valores de EAV e ELV a partir de medições de máxima amplitude r.m.s. ou VDV, obtidos conforme recomendação da ISO 2631-1 (1997). Quando se utiliza a máxima amplitude r.m.s., deve-se calcular os valores de exposição a partir do eixo de maior valor.

Apesar da diretiva europeia fixar valores de EAV e ELV para 8 horas de exposição, é possível se estimar a aceleração r.m.s. ponderada para um dia de trabalho de 8 horas, considerando-se dados de exposição obtidos para menos de 8 horas. Para tal, se assume que a resposta humana é relacionada à energia e que a exposição é mantida constante durante o dia de trabalho, conforme mostrado pela EQ. (2.2):

$$T_1 = \left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right)^e T_2(8h) \quad (2.2)$$

Onde a_{w2} é o valor recomendado na diretiva, a_{w1} é o valor medido, $e = 2$ quando se utiliza amplitude máxima r.m.s. e $e = 4$ quando se utiliza VDV (Rehn et al., 2005). Temos T_1 como o tempo estimado para a jornada de trabalho e T_2 para a jornada padrão de 8 horas.

No trabalho aqui apresentado foi utilizado o valor de a_w como sendo a amplitude r.m.s. ponderada em frequência. Este valor é baseado na potência de dois do histórico no tempo de aceleração, em qualquer uma das 3 direções perpendiculares, ou seja, direções x-, y- ou z-, conforme mostrado na ISO 2631-1(1997) e na EQ. (2.3):

$$a_w = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right\}^{1/2} \quad [\text{m/s}^2] \quad (2.3)$$

Segundo a EQ. (2.4), o valor total de vibração é a soma dos vetores das amplitudes de aceleração ponderadas em frequência conforme mostrado na ISO 2631-1 (1997). Essa equação não foi utilizada neste trabalho visto que a estimulação deu-se apenas em um eixo de direção:

$$a_w = \sqrt{(1,4a_{wx})^2 + (1,4a_{wy})^2 + a_{wz}^2} \quad [\text{m/s}^2] \quad (2.4)$$

Scarlett e Stayner (2005) fizeram medições de vários veículos usados em construção e mineração, calculando os valores de EAV e ELV, a partir do procedimento

proposto na Diretiva Européia e direcionando valores para segurança e para prevenção. Além deles, Diaz et al. (2003) também mediram os níveis de vibrações ponderadas nos três eixos ortogonais em vários tipos de veículos utilizados na construção civil. Estes autores constataram em tal estudo que grande parte dos equipamentos estudados produziram um nível de VCI maior do que o valor recomendado para o EAV, estando a sua grande maioria entre o EAV e o ELV. O mesmo tipo de conclusão foi observada nos estudos de Rehn et al. (2005), onde foi constatado que a amplitude de vibração de veículos fora de estrada são consideravelmente maiores do que os valores de EAV da diretiva ou das zonas de precaução para saúde da norma ISO 2631-1 (1997). A direção dominante da vibração variou dependendo do tipo de máquina considerada.

Os efeitos das VCI na audição serão discutidos mais adiante em um tópico específico para esse assunto, por se tratar do tema central deste trabalho.

2.3 NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA ELEVADOS – NPSE

O som é uma variação de pressão, uma forma de energia que é transmitida por uma série de compressões e rarefações emitidas por uma fonte sonora. É a transmissão pela colisão das moléculas umas com as outras, em forma de energia sonora, Gerges (1992).

A orelha humana é capaz de detectar sons em uma grande escala de intensidades, do limiar auditivo ao limiar da dor. A escala decibel (dB) é utilizada a fim de tornar mais fácil e conveniente lidar com a grande variação de sensibilidade da audição humana, sem serem necessários números muito grandes, Everest (2001). O Nível de Pressão Sonora (NPS) é uma grandeza acústica importante. É proporcional ao quadrado da pressão acústica e representa a pressão sonora, em decibels, referente a um nível fixo de pressão (20μPa). É a grandeza utilizada em medidores de pressão sonora. Na EQ. (2.5) temos a definição de NPS, como:

$$\text{NPS} = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (2.5)$$

Onde: $P_0 = 0,00002$ [Pa] é o valor de referência e corresponde ao limiar da audição em 1 kHz.

Os medidores de pressão sonora, que quantificam os valores encontrados em ambiente utilizam escalas e critérios diferenciados. Essas escalas são curvas de

compensação, classificadas em A, B, C e D, de acordo com o circuito eletrônico utilizado. Cada circuito eletrônico apresenta variações correspondentes ao padrão de respostas da orelha humana para os diferentes tipos de sons. O circuito A faz aproximação com a audibilidade a sons de baixa intensidade, os circuitos B e C são similares ao A, porém para sons médios e intensos, já o D foi criado para situações especiais de medições em aeroportos, Gerges (1992). A Figura 2.3 apresenta as curvas dos circuitos de compensação.

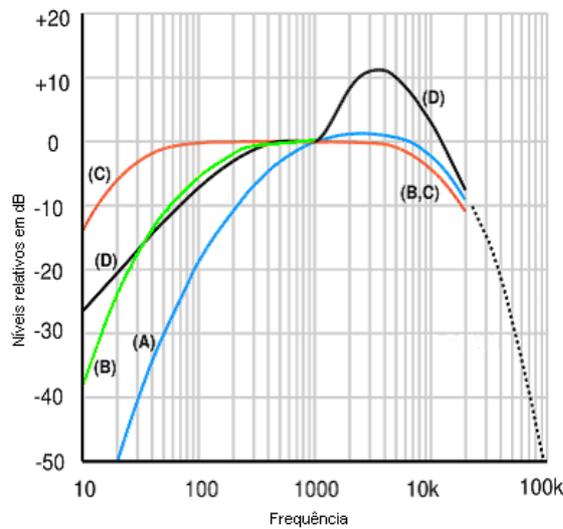


Figura 2.3 – Circuitos de compensação para medição de NPS

FONTE – Gerges, 1992.

Atualmente as medições são realizadas, em sua maioria, no circuito A, portanto, quando encontramos valores de medição de NPS ambientais temos a referência dB(A) como unidade. Esta apresenta apenas um nível global em dB, sem informações sobre as frequências medidas, Gerges (1992).

O termo NPSE é utilizado em referência a níveis sonoros acima de 80 dB(A). É o nível recomendado por normas de segurança NHO-01 da Fundacentro (1999) em postos de trabalho em que pessoas ficam expostas a ruído. Exposições a NPS abaixo de 80 dB(A) não causam perdas auditivas para 90% da população, Gerges (1992).

2.3.1 Ruído Ocupacional

Gerges (1992) afirma que os conceitos de som e ruído não são sinônimos, e que o ruído caracteriza-se apenas como um tipo de som e conceitua ruído como sons desagradáveis e indesejáveis, o que traz ao termo uma conotação um tanto quanto subjetiva. Everest (2001) afirma que muitas vezes é difícil distinguir entre o que é

considerado informação, daquilo que é ruído, sendo que certos sons podem ser ambos. Um exemplo disto é o ruído de um automóvel, que pode conter informações importantes sobre o seu funcionamento.

Nudelmann et al. (1997), em um conceito mais elaborado, definem ruído por um *sinal acústico aperiódico, originado da superposição de vários movimentos de vibração com diferentes frequências, as quais não apresentam relação entre si.*

O ruído ocupacional é aquele gerado por máquinas e equipamentos da rotina de atividades de trabalho. É encontrado em altas intensidades e, dependendo do tempo de exposição, pode levar a problemas na saúde e na audição, aspectos que serão discutidos a seguir.

2.3.2 Efeitos na saúde

É possível citar uma série de efeitos imediatos do ruído no organismo, como aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea e estreitamento dos vasos sanguíneos. Em médio/longo prazos, a exposição pode causar uma sobrecarga cardíaca, secreções anormais de hormônios e tensões musculares. Essas alterações físicas também podem levar a mudanças no comportamento como: fadiga mental, frustração, nervosismo e até prejuízo do desempenho no trabalho, Gerges (1992).

Nudelmann et al. (2001) descrevem seis itens, chamados de sintomas não auditivos relacionados à exposição a ruído: problemas na comunicação, perturbações no sono, manifestações neurológicas (como tremores nas mãos e dilatação da pupila), dificuldades no equilíbrio e na marcha, alterações no trato digestivo e problemas comportamentais. Mc Reynolds (2005) encontrou relatos de doenças cardiovasculares, hipertensão, distúrbios do sono, fadiga, frustração, stress e depressão em indivíduos expostos a ruído de aeronaves.

Apesar desses estudos, Musiek & Rintelmann (2001) afirmam que não é possível concluir por evidências que o ruído cause efeitos não auditivos na saúde, como irritação, hipertensão e ansiedade. Adicionalmente, Santos et al. (1992) afirmam que as referências sobre os efeitos da exposição ao ruído no organismo são pouco conclusivas e controversas, acreditando que as possíveis alterações não auditivas no organismo são do tipo neuropsíquicas. O efeito neuropsíquico pode ser justificado devido ao caminho do estímulo sonoro pelas vias subcorticais das funções vegetativas. Como alterações neuropsíquicas entendem-se aquelas decorrentes de dois mecanismos de reação do

organismo: reação de alarme e reação neurovegetativa. Ambas podem levar a conseqüências na habilidade (como diminuição do rendimento), alterações cardiocirculatórias, alterações na visão (dilatação da pupila), alterações gastrointestinais e alterações neuropsíquicas (como ansiedade, inquietude, depressão e alterações no sono).

Nudelmann et al. (1997) também alertam para a dúvida em relação à precisão de se afirmar sobre os efeitos não auditivos do ruído, levantando a hipótese de associação de fatores ambientais patogênicos. Ainda assim relacionam uma série de transtornos ou sintomas levantados em uma revisão bibliográfica que fizeram sobre o tema: transtornos da comunicação, alterações do sono, transtornos neurológicos, transtornos vestibulares, transtornos digestivos, transtornos comportamentais, cardiovasculares e hormonais.

É consenso de que o maior efeito danoso do ruído na saúde é no aparelho auditivo. Apesar de questionáveis, os efeitos do ruído na saúde devem ser analisados em um conjunto de sintomas e sinais, a fim de estabelecer medidas de diagnóstico e prevenção. A seguir serão apresentados os efeitos de NPSE e VCI na audição, de forma isolada e combinada.

2.4 EFEITOS DE NPSE E VCI NA AUDIÇÃO

Uma breve descrição da anatomia e fisiologia da orelha interna se faz necessária para melhor entendimento do efeito do ruído e VCI na audição, a perda auditiva.

A orelha humana é anatomicamente dividida em três partes: externa, média e interna (Figura 2.4). As orelhas externa e média são consideradas transmissores da energia sonora, mas é na orelha interna que as vibrações sonoras são transformadas em estímulo nervoso, onde encontramos o órgão de Corti, receptor e analisador do som, que então envia a informação sonora pelas vias auditivas até o córtex cerebral, Hungria (1972).

Na orelha interna encontra-se o labirinto ósseo, com três porções, o vestíbulo, a cóclea e os canais semicirculares. Dentro do labirinto ósseo estão alojadas estruturas do labirinto membranoso.

Na cóclea encontram-se as estruturas sensoriais da audição, o órgão de Corti. A cóclea é uma formação óssea em espiral, duas ou três voltas enroladas em um eixo central. A porção do labirinto membranoso que a preenche apresenta três subdivisões básicas, a rampa timpânica, o ducto coclear e a rampa vestibular, que por sua vez são preenchidas por um líquido chamado perilínfa, Russo (1993).

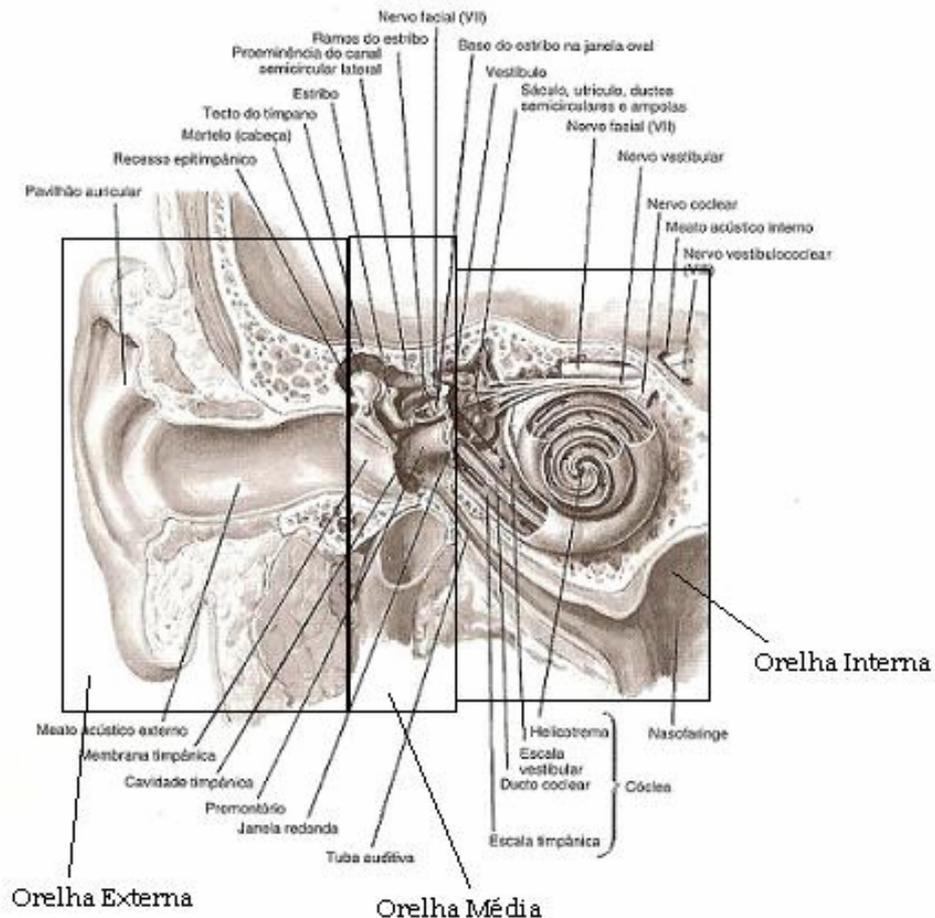


Figura 2.4 – Representação das estruturas anômicas da orelha.

FONTE – Frota, 1998.

O ducto coclear sustenta o órgão de Corti, que está localizado na parte interna da membrana basilar (parede posterior do ducto coclear, separando-o da rampa timpânica). De forma resumida, o órgão de Corti é composto por dois tipos de células, as de sustentação e as ciliadas. As células ciliadas são as células sensoriais da audição, altamente diferenciadas e recebem ligações dendríticas do nervo auditivo. São divididas em internas e externas. Seus cílios são cobertos por uma membrana gelatinosa chamada membrana tectória. As células internas são dispostas em uma fileira única, e as externas têm de 3 a 5 fileiras, Hungria (1973).

A vibração sonora é recebida na orelha externa e transmitida pela orelha média até a orelha interna. A vibração da perilinfa resulta em deslocamentos de ondas mecânicas dentro do labirinto membranoso da cóclea. Com a movimentação do ducto coclear e do órgão de Corti, há movimentação da membrana tectória, que estimula os cílios das células sensoriais. A movimentação ciliar gera mudanças na carga elétrica dentro das células,

gerando impulsos nervosos transmitidos às fibras do nervo auditivo que são conectadas às células ciliadas.

No Capítulo 3, item 3.4.4, será feita uma descrição um pouco mais detalhada do funcionamento das células ciliadas. A explicação realizada acima foi resumida, uma vez que não é objetivo deste trabalho aprofundar conhecimentos de anatomia e fisiologia auditivas. O objetivo é facilitar o entendimento da dinâmica auditiva e os efeitos danosos dos riscos pesquisados na audição.

Na seqüência, os efeitos de NPSE e VCI na audição serão descritos em separado, para então seguir-se à descrição dos efeitos da combinação desses riscos na audição.

2.4.1 Efeito de NPSE na audição: Perdas Auditivas Ocupacionais

A perda auditiva causada por ruído pode ser do tipo trauma acústico, geralmente relacionado a uma exposição única a elevados níveis de pressão sonora, causando alterações imediatas e muitas vezes permanentes na audição. As perdas auditivas causadas por ruído também podem ser progressivas como consequência de exposições contínuas a ruídos acima de 80-85 dB(A).

O tipo de perda é decorrente do tipo de ruído presente no ambiente ocupacional, que pode ser contínuo, flutuante, intermitente ou de impulso, Katz (1999). As perdas progressivas serão analisadas mais a fundo, por serem de maior interesse ocupacional decorrente da exposição contínua a NPSE.

A classificação de normalidade auditiva pode seguir diversos critérios. A princípio, qualquer redução na capacidade auditiva pode ser considerada uma perda auditiva.

A Portaria nº 19 da NR-7 do Ministério do Trabalho, Brasil (1998), das leis trabalhistas brasileiras considera que a perda auditiva causada por NPSE tem características definidas, é do tipo sensorineural decorrente da exposição prolongada e sistemática, além de ser irreversível e de progressão gradual com o tempo de exposição ao risco. Para fins de prevenção, a norma técnica considera que as respostas dos limiares auditivos em qualquer frequência testada do audiograma sejam menores ou iguais a 25 dB Nível de Audição (NA).

A mesma Portaria ainda considera que um indivíduo com audição aceitável e limiares menores do que 25 dB (NA) podem ter um desencadeamento de perda auditiva

ocupacional caso um exame anterior comprove que houve piora nos limiares dos exames comparativos, mesmo sem ultrapassar o limite de 25 dB (NA).

O Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva, Brasil (1994), traz a seguinte definição de Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR):

*a) ser sempre neurossensorial, por comprometer as células de órgão de Córti;
b) ser quase sempre bilateral (ouvidos direito e esquerdo com perdas similares) e, uma vez instalada, irreversível;*

c) muito raramente provocar perdas profundas, não ultrapassando geralmente os 40 dB (NA) (decibels Nível Auditivo) nas frequências baixas e 75 dB(NA) nas altas;

d) a perda tem seu início, e predomina, nas frequências de 6.000, 4.000 e/ou 3.000 Hz, progredindo lentamente às frequências de 8.000, 2.000, 1.000, 500 e 250 Hz, para atingir seu nível máximo, nas frequências mais altas, nos primeiros 10 a 15 anos de exposição estável a níveis elevados de pressão sonora;

e) por atingir a cóclea, o trabalhador portador de PAIR pode desenvolver intolerância a sons mais intensos (recrutamento), perda da capacidade de reconhecer palavras, zumbidos, que somando-se ao déficit auditivo propriamente dito prejudicarão o processo de comunicação;

f) cessada a exposição ao nível elevado de pressão sonora, não há progressão da PAIR. Exposições progressas não tornam o ouvido mais sensível a exposições futuras; ao contrário, a progressão da perda se dá mais lentamente à medida que aumentam os limiares auditivos;

g) os seguintes fatores influenciam nas perdas: características físicas do agente causal (tipo, espectro, nível de pressão sonora), tempo e dose de exposição e susceptibilidade individual.

Nudelmann et al. (1997) dividem a perda auditiva ocupacional em três fases características de evolução: na fase 1 ocorre morte celular sem alterações nos limiares auditivos, na fase 2 já é possível detectar alterações nos limiares entre 3 e 6 kHz e na fase 3, que pode acontecer após décadas de exposição, a perda se espalha até as frequências mais baixas e de fala (0,25; 0,5; 1 e 2 kHz).

A alteração nos limiares auditivos é consequência de lesões na orelha interna, onde a irrigação sanguínea para a cóclea é comprometida, há alterações nas células sensoriais da audição, nas células nervosas e demais estruturas cocleares, Musiek & Rintelmann (2001). As maiores alterações são encontradas em células ciliadas externas, com alterações metabólicas, modificações no arranjo e desintegração dos cílios, morte

celular. As células ciliadas internas são afetadas em menor grau, as células de suporte também sofrem alterações, além disso, pode ocorrer desintegração das terminações nervosas, Nudelmann et al. (1997).

Os danos cocleares causados pela exposição a NPSE são decorrentes de alterações vasculares que afetam o suprimento de sangue para a cóclea e suas estruturas; Nudelmann et al. (1997), Musiek & Rintelmann (2001), Hungria (1972), Katz (1999). Hungria (1972), fala em indivíduos predispostos, o que Musiek & Rintelmann (2001) chamam de orelhas sensíveis. Ambos se referem ao fato de as perdas auditivas causadas por NPSE variarem em grau de acometimento de um indivíduo para outro, o que também pode ser chamado de susceptibilidade individual.

É consenso de que a lesão coclear causada pelo ruído acontece devido à exposição crônica a ruídos, dependendo da faixa de frequências, da intensidade e da duração, Musiek & Rintelmann (2001), Nudelmann et al. (1997), sendo que os últimos se referem a uma média de 90 dB NPS, 8 horas por dia durante vários anos.

A seguir, serão abordados os efeitos de VCI na audição.

2.4.2 Efeitos de VCI na audição

Na literatura pesquisada foram encontradas poucas referências sobre os efeitos de VCI na audição de forma isolada.

Um único trabalho encontrado que trata o efeito de VCI na audição como risco isolado, utilizou cobaias, porquinhos-da-índia. A audição de porquinhos-da-índia expostos a VCI (10 Hz, 14m/s² r.m.s.) por períodos de 1 a 6 meses (equipamento não ruidoso) foi avaliada por um teste de microfonia celular. Depois de sacrificados, suas cócleas e nervos auditivos foram observados em microscópio eletrônico. Todos os grupos analisados apresentaram alterações. As lesões cocleares foram visivelmente mais evidentes na porção coclear superior (células ciliadas internas e externas), se espalhando gradualmente em direção à base, afetando a audição especialmente nas frequências baixas e médias. As bainhas de mielina dos nervos auditivos também se apresentaram danificadas, sendo que todos os danos observados foram diretamente proporcionais ao tempo de exposição. Os resultados dessa pesquisa fundamentam o mecanismo fisiopatológico da perda auditiva causada por vibrações, ou seja, os danos na orelha interna podem causar piora na audição, principalmente em frequências médias e baixas, Bochnia et al. (2005).

A grande maioria de estudos que abordam os efeitos de VCI na audição traz a combinação de NPSE e VCI. Existem alguns pesquisadores que também utilizaram VCI isolada, mas por terem focado ambos os riscos, tais trabalhos serão descritos no próximo tópico.

2.4.3 Estudos sobre o efeito combinado de Ruído e Vibrações

Na maioria dos ambientes ocupacionais existe combinação de riscos. Por exemplo, a vibração é comumente associada a fatores como calor e ruído.

Quando existe a associação de fatores é preciso saber se o efeito combinado será correspondente aos efeitos de cada um em separado. Em geral, a combinação pode resultar em: efeito aditivo, quando os efeitos são maiores do que os agentes isolados, mas não mais do que a soma dos efeitos de cada fator isolado. Efeito sinérgico, quando a combinação causa efeitos maiores do que a soma dos efeitos isolados de cada agente. Efeito antagônico, quando o efeito da combinação é menor do que um dos agentes isolados. Por fim a combinação dos riscos pode gerar ausência de efeitos, quando esses são iguais aos efeitos de cada fator isolado, Griffin (1996).

A combinação de ruído e vibrações é provavelmente a combinação de fatores físicos mais comum nos ambientes de trabalho. Os efeitos dessa associação podem ser físicos e/ou psicológicos, dependendo do tipo e tempo de exposição, Seidel et al. (1989, 1992 e 1997).

Existem relatos de efeitos não auditivos da associação. A performance cognitiva (em tarefas do tipo memória de curto prazo e tempo de reação) pode não estar afetada em situações diversas de ruído e vibrações, mas causam irritação e stress, Ljungberg et al. (2004). Também podem ocorrer alterações no ritmo cardíaco, Manninen (1983a e 1984a). Griffin (1996) encontrou estudos que relataram efeitos da combinação ruído e vibração em tarefas que dependem diretamente de habilidade cognitiva, como a memória cognitiva. Tarefas de funções motoras e atividades relacionadas ao controle visual e manual também são afetadas.

Dois autores se destacaram na pesquisa laboratorial do efeito combinado de NPSE e VCI, pesquisando os efeitos na audição e em outros parâmetros de saúde e desempenho, Seidel et al. (1989, 1992 e 1997) e Manninen (1983a, 1983b, 1984a, 1984b, 1985 e 1986). Seidel et al. (1989 e 1997) realizaram estudos laboratoriais com humanos em

diferentes situações de exposição a ruído e vibrações e mostraram que subjetivamente a audição é afetada. Howarth & Griffin (1999) também observaram efeitos subjetivos.

Seidel et al. (1992) também avaliaram a audição com método objetivo, através de um exame de potenciais evocados de longa latência (auditory-event related brain potentials - ERP). O seu objetivo foi investigar o comprometimento do processamento de informações pelo sistema nervoso central, avaliando se o ruído pode afetar a capacidade de discriminação e realização de atividades, muito diferente do objetivo do trabalho aqui proposto. Os resultados mostram que a combinação ruído e VCI em diferentes valores leva a alterações nos resultados dos exames auditivos. O ruído apresenta um forte efeito sistemático nas respostas de exames ERP, o que pode ser agravado pela VCI, com atenuação nas amplitudes e aumento de latências das respostas.

Manninen (1983a, 1983b, 1984a, 1984b, 1985 e 1986) realizou testes envolvendo a pesquisa da MTL em situações onde a audição foi medida pré e pós-exposição. Tais estudos permitem comparar resultados e verificar efeitos imediatos na audição dos indivíduos em teste. Nos trabalhos ele utiliza várias combinações de diferentes tipos e valores de sinais de ruído e VCI. Analisa muitas variáveis, como alterações na frequência cardíaca, postura, conforto e carga psicológica. Nas associações de VCI e NPSE com a temperatura, Manninen (1983a), e testes com esforço muscular dinâmico, Manninen (1984a), foi verificado que na exposição combinada ruído e vibração esses fatores também contribuem para piora nas alterações de MTL. O aumento da temperatura ambiente aumenta as desordens cardiovasculares, o que aceleraria o desenvolvimento de distúrbios funcionais na orelha interna, Manninen (1983a). Em todas as situações testadas por Manninen, a MTL foi maior nos grupos de exposição combinada. Situações de exposição somente a ruído ou VCI também causaram MTL (sendo VCI isolada em menor proporção), mas o efeito sinérgico foi significativo. Nestes trabalhos foram utilizadas VCI senoidais e estocásticas na sua grande maioria na faixa de 0,66 a 11,2 Hz com acelerações variando de 1 a 2,14 m/s² r.m.s. combinadas de diferentes formas, variando também no tempo de exposição, que em geral consistia de mais de uma exposição na mesma situação de teste.

Um outro estudo comparou resultados de Emissões Otoacústicas por Produto de Distorção e realizou análise coclear por microscópio eletrônico de porquinhos-da-índia, em três situações de exposição: ruído (100 dB *white-noise*), VCI (6-8 Hz) e VCI associado com ruído (mesmas condições) sendo que o nível de amplitude utilizado não foi informado. Durante 4 semanas, 6 horas diárias, foram observadas alterações em todos os grupos de exposição. Os danos à orelha interna foram claramente maiores no grupo de

exposição combinada a ruído e vibração. O efeito sinérgico da associação de fatores pode ser justificado pelo fato de a análise das cócleas do grupo exposto somente a ruído ter mostrado um dano maior nas células ciliadas externas, enquanto o grupo exposto somente a vibrações apresentou maiores danos em células ciliadas internas. Já no grupo ruído+VCI a lesão apresentou-se homogênea, Soliman et al. (2003).

Hamernik et al. (1989) dizem em seu trabalho que existe uma sugestão na literatura que a vibração potencializa os efeitos de ruído de modo a aumentar o risco de perda auditiva. Porém, tais estudos são limitados a baixas amplitudes por motivos de segurança e os resultados podem ser questionados. Desta forma, utilizaram cobaias (chinchilas) em seu trabalho de modo a poder estudar os fenômenos empregando tanto maiores amplitudes, quanto maiores períodos de exposição. Os autores chegaram a conclusão que as exposições estudadas poderiam alterar as medições de audição. Entretanto, do ponto de vista estatístico, este efeito só foi significativo nos exames auditivos para altos níveis de vibrações.

Existem estudos realizados *in-loco*, com trabalhadores em seus locais de trabalho. Motoristas de ônibus da cidade de São Paulo expostos a VCI em níveis altos e ruído em níveis médios, tiveram sua audição avaliada levando em consideração o histórico ocupacional da exposição. Não houve associação entre a exposição a VCI e a perda auditiva ocupacional, nem com a associação ao ruído, observando-se a ressalva de recomendar análises posteriores, Silva (2002). Trabalhadores de uma empresa de conservação e limpeza das vias públicas da cidade de Curitiba expostos a VCI e ruído ou vibração transmitida por meio das mãos e braços, também tiveram sua audição avaliada e os resultados comparados entre os grupos de exposição. Ambos os grupos apresentaram problemas auditivos, sendo que no grupo VCI a incidência foi menor do que o grupo VMB, Fernandes & Morata (2002).

A pesquisa envolvendo a associação de NPSE e VCI é muito rica e foi pouco explorada até então, principalmente quando se refere à audição. Espera-se, com o trabalho proposto nesta dissertação, trazer mais informações científicas confiáveis sobre o tema.

2.5 MUDANÇA TEMPORÁRIA DE LIMIAR – MTL

A MTL permite verificar danos imediatos na audição. São alterações temporárias uma vez que a orelha consegue se recuperar e ter seus limiares auditivos

normais após um intervalo de tempo. A MTL foi descrita por Nudelmann et al (1997) como fadiga auditiva pós-estimulatória, que produz perda temporária após exposição ao ruído. Segundo Katz (1999), apesar de ser difícil obter informações a partir de investigações sistemáticas sobre a relação entre a exposição ao ruído e a MTL, dados relativos à MTL são utilizados para prognosticar os efeitos danosos do ruído, baseando-se na suposição de que os mesmos processos envolvidos no desenvolvimento da MTL estão envolvidos no processo da Mudança Permanente de Limiar (MPL).

Nas mudanças temporárias, acontecem alterações nas células ciliadas da orelha interna, com redução da rigidez dos estereocílios e mudanças no acoplamento dos cílios com a membrana tectorial. Além disso, pode-se encontrar edema das terminações nervosas da audição, alterações na vascularização e na química intracelular e exaustão metabólica. As alterações são reversíveis e as lesões dependem da localização na cóclea, da frequência do som, da intensidade e duração do estímulo sonoro, Nudelmann et al. (1997).

Musiek & Rintelmann (2001) afirmam que, tanto as alterações temporárias da audição, quanto as permanentes causadas por ruído, acontecem pela exposição prolongada a níveis de ruído que causam mudanças vasculares na orelha interna. Toda exposição que seja capaz de induzir uma MTL em curto prazo é potencialmente capaz de levar a problemas permanentes em longo prazo, como um sinal de alerta, não como uma medida quantitativa, ou seja, uma MTL grande em curto prazo não significa uma perda permanente da mesma forma.

Na MTL, a orelha reduz a sensibilidade auditiva quando exposta a sons altos, reduzindo o limiar de audibilidade de acordo com a intensidade e duração do estímulo. Cessado o estímulo, a orelha se recupera totalmente após determinado período de tempo. O tempo de recuperação também varia de acordo com as características de tempo e intensidade do som, Kinsler et al. (1982).

A MTL não acontece nas bandas de oitava de 250 e 500 Hz em sons abaixo de 75 dB, independente do tempo de exposição. Já nas bandas 1, 2 e 3 kHz a MTL não acontece em intensidades inferiores a 70 dB. Exposições a níveis sonoros de até 70 dB, além de não causar MTL, não influem no seu agravamento ou recuperação. Quando a intensidade do estímulo sonoro está entre os valores de 80 e 105 dB, os valores de MTL variam com o tempo de exposição, Kinsler et al. (1982).

Em termos de frequência, a MTL acontece em seus valores máximos de $\frac{1}{2}$ a 1 oitava acima da frequência do estímulo fornecido. Em um exemplo, teríamos o valor

máximo de MTL acontecendo em 1 kHz caso o estímulo oferecido seja em 0,7 kHz, Kinsler et al. (1982).

A MTL tem sido utilizada em diversas pesquisas como meio de verificar, em laboratório ou *in loco* as alterações auditivas de diversos agentes, como ruído, vibrações e calor, Manninen (1983a, 1983b, 1984b, 1985), Katz (1999), Santos et al. (2005), Keeler (1968), Nordmann et al. (2000), Strasser et al. (2003), Quaranta et al. (2003), Nassar (2001). A MTL auditivo é muito utilizada em pesquisas laboratoriais por fornecer inferências acerca da mudança permanente de limiar auditivo, Kinsler et al. (1982).

Existem na literatura informações sobre o tempo de medida da MTL, onde é indicado que as maiores amplitudes de MTL são observáveis 2 minutos após o término da exposição, Kinsler (1982).

Para que aconteça a completa recuperação dos limiares auditivos em uma MTL é necessário que o indivíduo fique em repouso auditivo. A portaria nº 19 da NR-7 do Ministério do Trabalho, Brasil (1998), indica que para a realização de exames audiométricos de referência é necessário um repouso auditivo de 14 horas entre o exame e a última exposição a NPSE.

Neste trabalho a MTL será utilizada como método comparativo em três situações de teste. A comparação dos resultados nas diferentes condições permitirá inferir os efeitos dos agentes testados na audição.

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

Após uma análise do que existe na literatura acerca dos parâmetros estudados, neste capítulo será apresentada a metodologia que foi adotada para a realização dos testes experimentais com todo o embasamento necessário, tanto para a seleção dos voluntários, quanto para a escolha do *set-up* experimental, níveis utilizados e procedimentos adotados. De modo a já familiarizar o leitor com o que foi realizado, a seguir será apresentada uma informação sucinta sobre os testes realizados, sendo que uma explicação mais detalhada será dada ao longo do capítulo.

3.2 INFORMAÇÕES SUCINTAS SOBRE OS TESTES

A coleta de dados foi realizada nas dependências do Setor de Otorrinolaringologia do Hospital Felício Rocho. É importante ressaltar que esta pesquisa obteve autorização junto do Comitê de Ética em Pesquisas – COEP da Universidade Federal de Minas Gerais, conforme pode ser visto no Anexo A.

As situações de teste foram três distintas, realizadas com cada voluntário em dias separados. Os testes foram os seguintes:

- Exposição a VCI isolada: VCI na direção vertical, 6 Hz a $2,45 \text{ m/s}^2$ por 18 minutos.
- Exposição a NPSE isolado: ruído de banda larga do tipo *white-noise*, 100 dB por 15 minutos.
- Exposição a VCI simultaneamente com o NPSE: nas mesmas condições anteriores, sendo que o 2º foi iniciado 3 min. após iniciada a exposição a VCI.

Segundo Griffin (1996), estudos que tenham por objetivo analisar os efeitos de NPSE e VCI na audição devem proporcionar condições onde as exposições variem independentemente e possam ser quantificadas. Os efeitos devem ser avaliados em cada indivíduo testado e então devidamente comparados.

Os pesquisadores decidiram por testar apenas uma orelha de cada voluntário, sendo esta escolhida baseada em padrões aleatórios. A decisão de escolher uma orelha está fundamentada no fato de haver limitações técnicas da aparelhagem utilizada, que não permite a estimulação por NPSE bilateral. Ao longo da metodologia, tal limitação será melhor explicada.

Segue abaixo a descrição criteriosa das situações de teste e as justificativas das escolhas dos níveis de exposição utilizados.

3.3 SELEÇÃO DOS VOLUNTÁRIOS

A população escolhida para servir como voluntários no estudo foram adultos jovens com audição normal, sem histórico de exposição ocupacional a ruído e/ou vibrações, obtidos em boa parte no próprio meio acadêmico. Foram utilizados ao todo 13 voluntários, sendo 10 homens e 3 mulheres, com idade média de 23,9 anos (desvio padrão de 5,6), peso médio de 70,2 quilos (desvio padrão de 10,8) e altura média de 1,75 metros (desvio padrão de 0,07). Calculando o Índice de Massa Corpórea (IMC) dos voluntários obteve-se o valor de 22,6 com desvio padrão de 2,45.

Os voluntários foram submetidos a uma anamnese (Anexo B), onde foram questionados sobre a saúde auditiva em geral, hábitos, riscos ocupacionais e sobre eventuais fatores que impossibilitassem sua participação ou pudessem afetar os resultados dos testes de alguma forma. Os voluntários considerados aptos após a entrevista da anamnese receberam todas as orientações relacionadas aos testes por escrito e após concordarem em participar e estarem cientes de todo o procedimento, assinaram um Termo de Consentimento, cujo modelo encontra-se no Anexo C.

Griffin (1996) cita que o British Standards Institution recomenda que devem ser excluídos como voluntários de pesquisas envolvendo VCI, pessoas com algum problema relacionado a doenças no sistema respiratório, trato gastro-intestinal, doenças no sistema uro-genital, sistema cardiovascular, doenças ou defeitos no sistema músculo-esquelético, doenças crônicas ou desordens no sistema nervoso ou saúde mental, gravidez, trauma recente ou procedimentos cirúrgicos e ainda usuários de próteses. Tal recomendação foi adotada durante esta pesquisa.

3.4 EXAMES AUDITIVOS

Todos os voluntários foram submetidos a uma bateria de testes audiológicos para verificação da boa acuidade auditiva e também para determinação de referências para futura comparação pós-testes.

Foram excluídos voluntários que apresentaram qualquer alteração nos exames auditivos, pois poderiam mascarar ou mesmo impossibilitar a detecção de uma possível MTL. Também foram excluídos da amostra aqueles indivíduos que apresentaram queixas de problemas de saúde conforme as recomendações de Griffin (1996).

Neste trabalho, procurou-se respeitar um tempo mínimo de 14h de repouso auditivo entre as exposições, pois conforme mostrado no item 2.5, é imprescindível que exista esse tempo de modo a permitir a completa recuperação da orelha após as estimulações a ruído e vibrações.

Existe ainda uma colocação a se fazer relacionada ao momento de se medir a MTL após a exposição. O ideal seria medir a MTL 2 minutos após cessada a exposição, de modo a detectar a MTL no momento de maior amplitude. Manninen (1986, 1985, 1984a, 1984b, 1983a, 1983b) consegue precisão no tempo de controle entre o término da exposição e a medição da audição pois os testes auditivos utilizados por ele eram restritos a algumas frequências específicas e realizados automaticamente. Neste trabalho, os exames auditivos realizados após a estimulação eram mais longos e demorados. Procurou-se controlar o tempo dos intervalos entre os exames, realizando a audiometria imediatamente após a exposição, o que ocasionaria a realização do exame das EOAs aproximadamente 2 minutos após a exposição.

A seguir serão descritos os testes audiológicos realizados.

3.4.1 Meatoscopia

Consiste da investigação luminosa do conduto auditivo externo. É imprescindível que o conduto auditivo externo esteja livre de quaisquer tipos de obstruções para que seja realizada a seqüência da bateria de exames audiológicos (timpanometria, audiometria tonal e Emissões Otoacústicas) que atestarão a capacidade auditiva dos indivíduos.

As alterações constatadas foram encaminhadas ao médico Otorrinolaringologista para avaliação.

3.4.2 Timpanometria

Exame que mede a função e a integridade do sistema tímpano – ossicular. É um teste objetivo, pois não requer nenhuma resposta comportamental do paciente. Não causa dor nem traumatiza. A timpanometria é uma das medidas de imitância acústica. As medidas de imitância vêm sendo utilizadas com muito êxito, principalmente no que se refere ao diagnóstico diferencial entre as perdas auditivas condutivas, Frota (1998).

Os casos que apresentaram alterações na timpanometria características de problemas condutivos, foram dispensados de continuar os testes, pois indivíduos com problemas condutivos são, em geral, indecisos quando próximos do limiar, Russo e Santos (1993), o que poderia acarretar na dificuldade de obtenção dos resultados pretendidos de detecção da MTL.

A timpanometria detecta mudanças nas propriedades físicas das estruturas da membrana timpânica e da orelha média, através da alteração da pressão no conduto auditivo externo. Segundo a classificação proposta por Jerger, descrita em Katz (1999), o parâmetro de normalidade deste exame é classificado em curva timpanométrica do tipo A, onde é possível observar um pico que representa o ponto de máxima admitância da membrana timpânica, em valores próximos ao da pressão atmosférica normal (dentro da faixa de +25 a -100 daPa).

Todos os voluntários válidos apresentaram como resultado do testes timpanométricos uma curva do tipo A.

O equipamento utilizado para os testes foi o impedanciômetro AZ-7, marca Interacoustics. As especificações técnicas do mesmo estão apresentadas no Anexo D.

3.4.3 Audiometria Tonal

O limiar auditivo é a menor intensidade sonora perceptível de um tom, ou a menor intensidade sonora necessária para provocar a sensação auditiva no indivíduo, que pode ser detectada em cada frequência audível, Kinsler et al. (1982).

O exame de audiometria tonal consiste em determinar o limiar auditivo em uma gama de frequências. É um exame subjetivo da audição (depende da resposta do paciente), sendo importantíssima a explicação precisa por parte do examinador e a compreensão exata do paciente. O exame é realizado com fones de ouvido, em cabina acústica.

Segundo Katz (1999), as respostas para o teste podem variar de acordo com a temperatura, umidade, iluminação e nível de ruído do ambiente, além da calibração do equipamento (audiômetro), a metodologia e instruções de teste. O voluntário também pode variar suas respostas dependendo de seu estado emocional, motivação e familiaridade.

A fim de minimizar esses efeitos, as audiometrias foram realizadas todas no mesmo ambiente, mesmo equipamento e com o mesmo examinador, tomando o cuidado de orientar devidamente os voluntários a se familiarizarem com o exame. Foram fornecidas orientações sobre como proceder nos dias que antecederam os testes, como dormir bem e evitar lugares ruidosos ou de música amplificada e/ou escutar música alta ou qualquer outra atividade ruidosa que poderiam gerar MTL e conseqüentemente mascarar os resultados e deixar os voluntários indispostos.

Foram determinados os limiares auditivos de cada indivíduo, registrados em um audiograma (modelo de audiograma no Anexo D). Foram testadas as freqüências de 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6 e 8 kHz. Os voluntários passaram por várias situações para se familiarizarem com o exame e serem capazes de fornecer respostas precisas e fidedignas.

Os audiogramas foram classificados de acordo com os resultados, normais ou alterados, segundo a classificação de Russo e Santos (1993). Aqueles alterados seriam excluídos. Todos os voluntários apresentaram normalidade no exame audiométrico, ou seja, a média dos limiares das freqüências de 500, 1000 e 2000 Hz abaixo de 25 dBNA.

O primeiro exame realizado pré-testes foi considerado referencial e serviu como comparação para a busca da MTL. As demais audiometrias realizadas, no caso, após cada situação de teste, foram comparadas ao primeiro exame referencial.

Foi necessário utilizar dois audiômetros no processo de coleta de dados experimentais. Conforme será descrito a seguir, o audiômetro Siemens foi utilizado para a geração do ruído nos testes que envolviam NPSE. A fim de se evitar transtornos com o transporte dos equipamentos, nesses casos, julgou-se prudente utilizar outro audiômetro para os exames de audiometria. Os equipamentos utilizados foram: audiômetro da marca Siemens®, modelo SD-25 e audiômetro da marca Maico, modelo MA-41. Ver Anexo F para especificações técnicas.

3.4.4 Emissões Otoacústicas (EOA) por Produto de Distorção

A fim de compreender melhor o exame das EOAs é importante conhecer o mecanismo fisiológico da audição na orelha interna.

Existem dois mecanismos de processamento sonoro internos, que dependem da intensidade do estímulo sonoro que chega até a orelha interna. Sons considerados intensos (acima de 40-60 dBNPS) acionam na cóclea o mecanismo passivo, enquanto sons abaixo dessas intensidades acionam o mecanismo de audição ativo, Figueiredo (2003). O mecanismo passivo responde às energias sonoras fortes o suficiente para ativar diretamente as células ciliadas internas, gerando despolarização. Esta por sua vez provoca a liberação de neurotransmissores no nervo auditivo que geram potencial de ação necessário para transmissão do sinal auditivo recebido para o Sistema Nervoso Central, Figueiredo (2003). No mecanismo ativo, a energia sonora recebida não é suficiente para estimulação direta das células ciliadas internas. Haverá estimulação das células ciliadas externas, onde acontecerá o processo chamado de amplificador coclear. O amplificador coclear utiliza a energia metabólica das células ciliadas externas para aumentar a movimentação do ducto coclear e daí possibilitar a estimulação do processo passivo das células ciliadas internas, Musiek & Rintelmann (2001).

As EOAs são resultado da amplificação da movimentação do ducto coclear devido ao processamento ativo dos sons nas células ciliadas externas. A energia liberada é transmitida de volta ao conduto auditivo externo onde são mensuradas, Figueiredo (2003).

Existem duas classificações para as EOAs, as espontâneas e as evocadas. Neste trabalho a pesquisa realizada foi do tipo evocadas por Produto de Distorção, onde é possível investigar respostas nas faixas de frequências de 500 a 8000 Hz.

A avaliação por meio das Emissões Otoacústicas é uma forma de monitorar a função coclear. É um teste objetivo, não invasivo, de grande sensibilidade e especificidade. As EOAs estão presentes em 100 % das pessoas com audição normal. Trata-se do registro da emissão da função micromecânica coclear, mais especificamente das células ciliadas externas, Pialarissi & Gattaz (1997).

O produto de distorção é gerado na cóclea por duas frequências diferentes (f_1 e f_2). As frequências capazes de gerar maiores amplitudes de respostas são na relação de $f_2/f_1=1,22$. Os estímulos são apresentados simultaneamente, gerando na cóclea a incapacidade de amplificá-los de forma linear, o que resulta em uma intermodulação, que é o produto de distorção na frequência resultante de maior resposta, correspondente a $2f_1-f_2$, Figueiredo (2003).

As respostas também podem variar de acordo com a intensidade dos estímulos das frequências sendo a intensidade de f_1 igual a L_1 e a intensidade de f_2 igual a L_2 . As intensidades podem variar, por exemplo: $L_1=L_2$ ou $L_1>L_2$, Figueiredo (2003).

O estímulo sonoro é transmitido por uma sonda que é colocada no conduto auditivo externo por meio de uma oliva de borracha. Esta mesma sonda capta a resposta coclear ao estímulo oferecido, sendo que essa resposta é a EOA.

O equipamento AUDX – Bio-logic® foi utilizado para registro das emissões otoacústicas, cujas características técnicas estão apresentadas no Anexo G.

O critério utilizado para considerar a presença das EOAs foi a presença da intensidade da emissão por produtos de distorção 6 dBNPS acima do ruído de fundo, Musiek & Rintelmann (2001). É importante ressaltar que o exame pode apresentar respostas positivas em casos de perdas auditivas de grau leve a moderado até 50 dBNA. As respostas em frequências baixas sofrem muita interferência de ruídos, sendo que o melhor desempenho do teste é para frequências acima de 2 kHz, Figueiredo (2003). Vale destacar também que os testes podem sofrer variações decorrentes do ruído de fundo do ambiente, do próprio paciente e do posicionamento da sonda. Considerando-se esta observação, neste trabalho, julgou-se prudente realizar dois exames a cada situação testada.

O exame é registrado em um gráfico chamado Dp-gram (ver Figura 3.1), que apresenta as amplitudes das respostas medidas em um gráfico intensidade x frequência. Nesta figura tem-se que L1 e L2 representam as intensidades dos estímulos auditivos, DP é a resposta medida, ou seja, o produto de distorção, e NF representa o ruído de fundo.

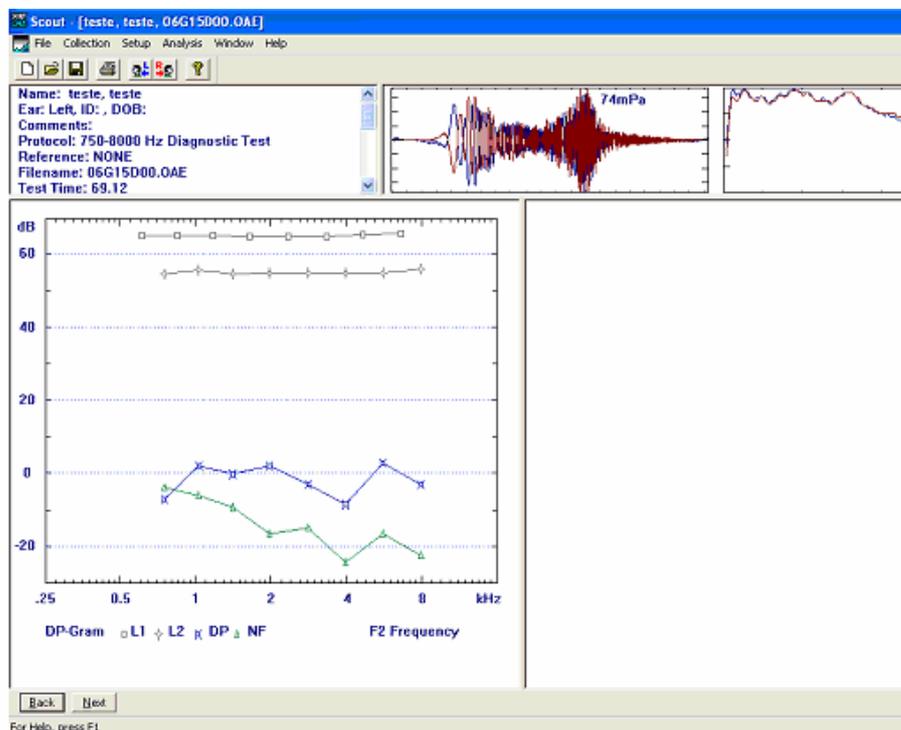


Figura 3.1 – Gráfico Dp-gram. Equipamento AUDX – Bio-logic®

Os resultados da média dos dois exames realizados antes de qualquer exposição foram agrupados e devidamente registrados para que, da mesma forma que a audiometria tonal, sejam referência para comparação com os exames realizados após os testes. O mesmo procedimento foi adotado para os exames após cada tipo de exposição.

3.5 TESTES COM VCI

A fim de determinar os valores de frequência e amplitude da excitação a serem utilizados nos testes com VCI buscou-se obter níveis que fossem condizentes com situações similares às condições de trabalho reais. Entretanto, procurou-se respeitar os valores de EAV (*Exposure Action Value*) de acordo com a diretiva europeia EU Directive 2002/44/EG (2002), conforme descrito na revisão bibliográfica item 2.2.2. Apesar de vários estudos mencionados anteriormente terem chegado a valores reais na grande maioria entre os valores de EAV e o ELV, optou-se por se utilizar o nível EAV neste estudo de modo a não causar danos aos voluntários, portanto, não utilizando excitações em nível maior do que aquela recomendada pela Diretiva Europeia. Conforme já mencionado no item 2.2.2, este valor seria de $0,5 \text{ m/s}^2$ para 8h de exposição.

Quanto maior o nível de vibração fornecido aos voluntários, menor o tempo que os mesmos precisariam ficar expostos à vibração, portanto, diminuindo o tempo total de teste. Em um primeiro cálculo, substituindo-se o valor de $a_{w2} = 0,5 \text{ m/s}^2$ (conforme Diretiva Europeia), o $T_1 = 20 \text{ min}$ e o valor de $e = 2 \text{ r.m.s.}$, na EQ. (2.2) repetida abaixo:

$$T_1 = \left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right)^e T_2(8h) \quad (2.2)$$

chega-se a um valor de $a_{w1} = 2,45 \text{ m/s}^2$. Com base nesses cálculos, estipulou-se um tempo máximo de 18 min para o teste, mantendo o nível levemente abaixo do valor EAV, garantindo a segurança dos voluntários. Desta forma, na EQ. (2.2), utilizando o $T_1 = 18 \text{ min}$ e o $a_{w1} = 2,45 \text{ m/s}^2$ chega-se a um $a_{w2} = 0,47 \text{ m/s}^2$ (ou seja, um EAV menor do que o indicado na Diretiva Europeia). Portanto, foram evitadas excitações muito grandes porque o equipamento disponível poderia não ser capaz de fornecer a excitação necessária, e para que não fosse ocasionado nenhum risco aos voluntários.

Em nenhum dos trabalhos encontrados onde se mede EAV ou ELV, existe referência a alguma frequência específica. Isto porque, em condições reais, as excitações são geralmente aleatórias. Quando se opta por utilizar senoides, as frequências das VCI utilizadas em estudos laboratoriais envolvendo saúde geralmente são definidas baseadas em referências bibliográficas prévias. No caso de um estudo envolvendo a audição, Manninen (1985), estudando as mudanças cardiovasculares e a Mudança Temporária de Limiar auditivo devido a VCI e ruído, utilizou VCI no eixo z, em uma frequência de 5 Hz, com valores de aceleração r.m.s de 2,12 m/s². Segundo a norma ISO 2631-1 (1997), na faixa de 5 a 8 Hz, a curva de ponderação para o eixo z possui valores próximos de 1 (ver Figura 2.2), o que significa que o sinal não se encontra atenuado nesta faixa de frequência, portanto, representando uma situação mais favorável. Seidel et al (1997), em pesquisa laboratorial sobre os efeitos subjetivos de irritação e audibilidade, utilizaram frequências próximas a este valor (variando entre 2 a 4 Hz). Soliman et al. (2003) realizaram estudo laboratorial com cobaias utilizando ruído e VCI em diferentes combinações, sendo que as frequências de VCI variaram entre 6-8 Hz, e o objetivo foi medir o dano auditivo causado pelas exposições.

Portanto, os trabalhos similares ao aqui proposto que serviram como base para a metodologia utilizada, a grande maioria utilizou frequências abaixo de 8 Hz. Balbinot (2001), Scarlett & Stayner (2005) e Rehn et al. (2005) mostraram que para grande parte dos veículos em situações reais, a frequência onde ocorre o pico máximo está em torno ou abaixo de 6 Hz. A idéia inicial era seguir as referências de Manninen (1986, 1985, 1984a, 1984b, 1983a e 1983b) que utilizou a frequência de 5 Hz nas situações que usava uma frequência específica, mas por razões de limitações técnicas, o equipamento utilizado nos testes não foi capaz de manter o sinal sem variações nesta frequência. Este fato pode ter sido ocasionado pelo fato de que, segundo Liang & Chiang (2006), ao pesquisarem um modelo biodinâmico para o corpo humano na direção vertical para indivíduos assentados, nesta frequência acontece a maior transmissibilidade assento-cabeça (STH – *seat to head*). Optou-se portanto, por fazer as estimulações de VCI na frequência de 6 Hz, que também apresenta valor elevado de STH, porém menor do que em 5 Hz, e ainda há de se considerar, que segundo a norma ISO 2631-1 (1997), a curva de ponderação para essa frequência está próxima de 1, mostrando que os valores possuem a máxima influência sobre os voluntários.

A justificativa para se excitar apenas no eixo z, além da limitação técnica mencionada acima, também foi baseada na literatura encontrada, visto que grande parte dos trabalhos em laboratório foram feitos para este eixo, conforme mostrado no item 2.4.3.

3.5.1 Descrição dos equipamentos e set-up utilizados:

Para excitar o voluntário no nível de vibração desejada, ou seja, em 6 Hz a 2,45 m/s² r.m.s. médio, utilizou-se uma chapa de aço com dimensões 750 x 1000 x 3 mm e bordas dobradas, apoiada sobre quatro molas de compressão também de aço com diâmetro médio da espira de 76 mm, altura de 350 mm, diâmetro do arame de 6 mm e 9 espiras. As molas eram guiadas por tubos de PVC externos a um tubo de aço soldado em uma base plana de metal de modo a garantir o movimento vertical da mola, conforme detalhes mostrados na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Detalhes de montagem das molas utilizadas no *set-up* experimental.

Instalou-se um excitador da marca Dynamics Solution®, modelo VTS150, sob a chapa. Para transmitir o movimento do excitador à chapa, usou-se uma haste de aço com 3,0 mm de diâmetro, 107 mm de comprimento, com parafusos de 5,0 mm de diâmetro soldados em cada ponta. Desta forma, a haste garantiu a transmissão contínua da oscilação do excitador para a chapa, uma vez que estava rosqueada tanto no excitador quanto na chapa (ver Figura 3.3).



Figura 3.3 – Detalhes da haste utilizada para transmissão da excitação no *set-up* experimental.

Foi necessária a utilização de guias para limitar as oscilações nos eixos x e y da chapa, a fim de direcionar a excitação apenas no eixo z devido a problemas que estavam sendo gerados pelo excitador. As guias consistiam de uma estrutura metálica, com placas de polipropileno fixadas nos cantos internos. A chapa também recebeu placas de polipropileno nos cantos, que ficavam em contato com as placas da guia (ver detalhe na Figura 3.4). O contato entre as placas de polipropileno foi lubrificado com graxa a fim de reduzir o atrito.



Figura 3.4 – Detalhes da guia utilizada para garantir excitação apenas no eixo z do *set-up* experimental.

Em cima dessa montagem apoiou-se uma cadeira metálica, com assento e encosto de madeira sem qualquer acolchoamento, onde o voluntário assentava-se.

Um desenho esquemático da montagem pode ser visto na Figura 3.5, assim como uma foto da mesma na Figura 3.6.

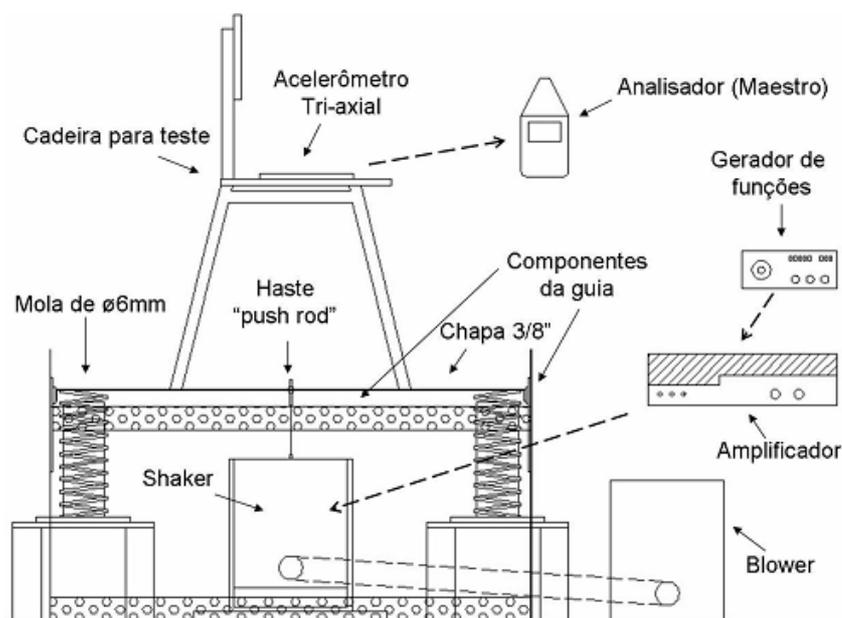


Figura 3.5 - Desenho esquemático da montagem.



Figura 3.6 – Foto da montagem completa

O sinal senoidal de 6 Hz enviado ao excitador foi gerado por um gerador de sinais Topward Function Generator® 8102 e amplificado por um amplificador Crown Amplifier® CE2000. Sobre o assento da cadeira colocou-se um acelerômetro tri-axial APTechnologies® AP5213 embutido em adaptador de assento padronizado (Griffin, 1996) e ligado a um analisador de sinais de quatro canais com ponderações da norma ISO 2631-1 para vibrações de corpo inteiro modelo Maestro da marca 01dB. Uma descrição mais detalhada sobre os equipamentos pode ser vista no Anexo I. A aceleração ponderada fornecida pelo analisador era utilizada para ajustar a amplitude enviada pelo gerador de sinais até se atingir o nível desejado de $2,45 \text{ m/s}^2$. Após se estabilizar neste nível, ou seja, em torno de $(2,45 \pm 0,05) \text{ m/s}^2$, a excitação foi mantida por 18 min. Tal controle foi feito de forma manual pelos pesquisadores.

Nos testes com VCI isoladas, os voluntários utilizaram protetores auriculares da marca 3M modelo 1435 (CA 7442) (ver Anexo H para detalhes), para garantir que o efeito auditivo medido seria exclusivamente resultado da exposição a VCI, sem interferências de ruído externo.

Como dito anteriormente, as VCI foram utilizadas em duas das três situações de testes: isoladas e associadas aos NPSE, a saber:

- VCI isolada – neste teste o voluntário permaneceu sentado na cadeira posicionada sobre o *set-up* descrito acima. Após os 18 minutos de estimulação o voluntário seguia para a realização dos exames auditivos comparativos;

- NPSE associado a VCI – a grande diferença deste teste com o teste anterior é que o voluntário recebeu a estimulação auditiva concomitantemente à estimulação de VCI. O teste teve início com exposição a VCI apenas durante os 3 minutos iniciais, visto que a exposição a VCI tinha duração de 18 minutos, portanto, 3 minutos a mais do que a exposição a NPSE apenas (ver próximo item). Passado esse tempo, o gerador de ruído era ligado e o voluntário recebia o estímulo concomitante durante os 15 minutos restantes. Da mesma forma, ao término da exposição, o voluntário foi submetido a exames auditivos.

3.6 TESTES COM NPSE (RUÍDO)

O nível de ruído utilizado foi determinado de forma que o tempo e a intensidade da exposição fossem suficientes para causar uma MTL sem afetar a audição permanentemente.

Segundo a norma NHO – 01, Fundacentro (1999), criada com o objetivo de estabelecer parâmetros para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído que implique risco potencial de perdas auditivas ocupacionais, os valores de exposição diária de um trabalhador em ambientes com ruído é calculado a partir de fórmulas específicas que consideram como referência uma dose diária de 100% de exposição a valores de 85 dB(A) durante 8 horas de trabalho.

Segundo a Tabela 3.1 os valores do ruído crescem proporcionalmente ao que o tempo decresce. Nesta tabela está apresentado o tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído, sendo que encontra-se mostrado também o tempo em horas para facilidade de visualização.

Nos testes com NPSE utilizou-se ruído a 100 dB (A) durante 15 minutos, o que corresponde a uma dose diária de 100%. O ruído selecionado foi do tipo *white-noise*. Trata-se de um ruído de banda larga, onde a energia sonora é distribuída uniformemente ao longo do espectro, abrangendo todo o espectro de frequências audíveis (20 a 20000 Hz) em intensidades equivalentes, Everest (2001). A escolha do tipo de ruído buscou permitir estimular a cóclea de forma uniforme a fim de averiguar os efeitos em uma grande gama de frequências. Conforme mostrado nos itens 2.4.1 e 2.4.2 do Capítulo 2, estudos anteriores utilizaram o mesmo tipo de ruído; Manninen (1984a, 1984b, 1985), Figueiredo (2003), Zhu et al. (1997).

Tabela 3.1 – Duração máxima diária de exposição permissível em função do nível de ruído

Nível de ruído [dB(A)]	Tempo máximo diário permissível (Tn) [minutos]
80	1.523,90 (25h:23min:54s)
81	1.209,52 (21h:30min:31,2s)
82	960,00 (16h)
83	761,95
84	604,76
85	480,00 (8h)
86	380,97
87	302,38
88	240,00 (4h)
89	190,48
90	151,19
91	120,00 (2h)
92	95,24
93	75,59
94	60,00 (1h)
95	47,62
96	37,79
97	30,00 (1/2h)
98	23,81
99	18,89
100	15,00 (1/4h)

FONTE – Fundacentro, 1999.

Conforme comentado na introdução deste capítulo, foi selecionada apenas uma orelha de cada voluntário. O motivo que justifica a escolha é o fato do equipamento gerador de ruído ter saída em apenas um dos fones (direito ou esquerdo). Esses equipamentos são utilizados no dia-a-dia de exames audiológicos clínicos, e o recurso do gerador de ruído é utilizado sempre em apenas uma das orelhas. Na prática clínica não há necessidade de estimular ambas as orelhas com ruído mascarante. Os audiômetros, em sua maioria, não têm o recurso de estimulação de ruído bilateral.

O sinal do ruído foi gravado em um CD e transmitido pelo mesmo audiômetro utilizado nos exames de audiometria tonal (Siemens® SD-25). O audiômetro recebe o sinal e transmite aos fones do tipo TDH-39 devidamente regulados e mensurados. Na Figura 3.7 encontra-se uma foto desses equipamentos.



Figura 3.7 – Foto do *set-up* para exposição a NPSE

Foram dois testes envolvendo NPSE:

- NPSE isolado – neste teste, o voluntário permaneceu sentado em uma cadeira com encosto. Os fones foram colocados ao redor de ambas as orelhas, mas o estímulo foi fornecido em apenas uma. A estimulação durava 15 minutos. Após o término da estimulação seguia-se para a realização dos exames auditivos comparativos.
- NPSE associado a VCI – Tal teste foi descrito no item anterior.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INTRODUÇÃO

As informações que serão apresentadas neste capítulo representam os resultados dos testes descritos no capítulo anterior, metodologia, que descreveu as minúcias de realização dos mesmos.

A análise dos efeitos dos agentes testados na audição dos voluntários será feita pela comparação dos resultados dos exames auditivos realizados pré e pós-testes e entre si.

A primeira seção a seguir apresenta considerações gerais sobre o tratamento de dados que será realizado. Em seguida, será apresentada uma descrição do teste estatístico utilizado, assim como a justificativa para a escolha do mesmo. Logo após, serão apresentados os resultados das análises dos exames auditivos comparados pré e pós-testes em separado, em decibels e em valores lineares. Por fim, apresentar-se-á a análise final de todos os resultados obtidos.

4.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo serão analisados os resultados dos dois exames auditivos utilizados na detecção e quantificação da MTL, a audiometria tonal e as EOAs. Por ser um teste subjetivo, a audiometria tonal foi realizada após um treino com os voluntários, para que os mesmos se familiarizassem com o padrão de respostas. Já as EOA são um teste objetivo, apesar de poderem sofrer variações no mesmo indivíduo, devido a ruídos e posicionamento da sonda. A fim de minimizar tais variações nas EOAs, foram realizados dois exames para cada situação testada (conforme mencionado no item 3.4.4) e a análise dos resultados contemplou a média desses dois exames. Ambos os testes representam respostas auditivas em decibels, no caso dBNA (nível de audição) para audiometria e dBNPS (nível de pressão sonora) para EOAs. A metodologia e descrição dos testes foram melhor relatada no capítulo anterior, cabe aqui a sua interpretação.

Uma análise detalhada na revisão bibliográfica de trabalhos que utilizaram os mesmos testes levou a uma observação importante. Verificou-se o fato desses trabalhos utilizarem métodos estatísticos para análise das informações em decibels como se fossem

uma escala linear. Tal observação gerou dúvidas, uma vez que não há citações sobre conversões da escala decibel (logarítmica) para uma escala numérica linear, o que leva a entender que não houve a conversão. Haveria de se pensar que tal conversão seria óbvia para determinados testes estatísticos, principalmente aqueles que utilizam médias aritméticas e cálculos, não sendo necessário citar o processo da conversão nos trabalhos. Mas o que se observou é que não há conversão, independente do método estatístico utilizado. Aparentemente existe um costume em se tratar as informações desta maneira.

Optou-se neste trabalho por se fazer ambas as análises, permitindo comparar a diferença nos resultados para o teste estatístico selecionado e gerar informações passíveis de comparação com trabalhos anteriores.

Os primeiros resultados apresentados no item 4.5 referem-se exclusivamente aos dados tratados em decibels, sem conversão. O item 4.6 tratará os resultados convertidos para valores lineares.

A seguir serão apresentadas justificativas para o tamanho da amostra e do teste estatístico selecionado para o tratamento dos resultados dos exames.

4.3 JUSTIFICATIVA PARA O TAMANHO DA AMOSTRA

Houve uma grande dificuldade em se conseguir voluntários que estivessem dispostos a participar dos testes. Foram necessários três dias distintos para realização dos mesmos e alguns deles não poderiam comparecer aos três dias de testes. Havia ainda os limitadores de idade e doenças auditivas progressivas que cortaram voluntários da amostra.

De modo geral, outros pesquisadores tiveram aparentemente problemas similares, dado ao pequeno número de voluntários em muitas das pesquisas laboratoriais, como é o caso de Manninen (1984b), Seidel et al. (1989, 1992, 1997) e Zhu et al. (1997).

O teste estatístico utilizado é adequado para pequenas amostras, apresentando resultados confiáveis, conforme será colocado a seguir, o que não comprometeu portanto, o tamanho da amostra utilizado.

4.4 TESTES ESTATÍSTICOS

O teste selecionado para as análises estatísticas dos resultados foi o teste não-paramétrico de Wilcoxon.

Segundo Siegel (1975), os testes não paramétricos são particularmente interessantes de serem aplicados a populações que não se enquadram no padrão de distribuição normal, além de poderem ser aplicados a dados que não são exatos do ponto de vista numérico, mas classificáveis por ordem. A maior vantagem do uso dos testes não-paramétricos é a excelente aplicabilidade a pequenas amostras, que é o caso desta pesquisa.

O teste de hipóteses de Wilcoxon é bastante poderoso para amostras pequenas e relacionadas. Em comparação com o teste paramétrico t de *Student* (utilizado para amostras com distribuição normal), pode-se afirmar que a sua eficiência é de 95 %.

Considerou-se a Hipótese nula (H_0) como ausência de diferenças entre os resultados dos exames pré- e pós-estimulações (NPSE e/ou VCI) e a Hipótese alternativa (H_1) como sendo que a diferença entre os resultados pré- e pós-estimulações é presente e estatisticamente significativa. Utilizou-se aqui o nível de confiança (ou nível de significância α) igual a 0,05, o que significa que a probabilidade de acontecer um erro do tipo I, onde se rejeitaria H_0 no caso dela ser verdadeira é de 5%. Uma explicação mais detalhada sobre este tipo de teste encontra-se no Anexo J.

Para os exames de audiometria, H_1 consiste em pesquisar se o exame pós-teste apresentou limiares maiores do que a referência (ou seja, pós VCI > referência). Para os exames de EOAs se tem o contrário, ou seja, é pesquisado se o exame pós-teste apresentou resultados menores do que a referência, uma vez que para esse exame, se busca a diminuição na amplitude da resposta da orelha após o estímulo (ou seja, pós VCI < referência).

Os resultados também foram representados em gráficos chamados “*Boxplots*”, ou diagramas de caixa, onde há a representação do valor dos quartis de variação. A Figura 4.1 representa um modelo de *Boxplot* com referências das representações.

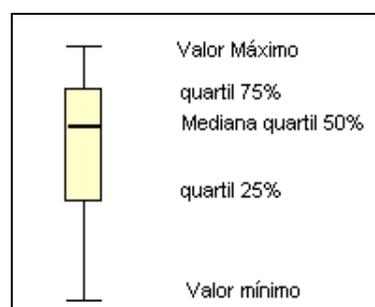


Figura 4.1 – Explicação para os gráficos “*Boxplots*”

FONTE – Fisher & Belle, 1993.

Os quartis dividem um conjunto de dados em quatro partes iguais a partir da ordenação da amostra. Desta forma a mediana representa o valor referente ao quartil de 50%, ou seja, é o valor que divide a amostra ao meio. O quartil q_1 é o valor em que 25% da amostra é inferior a ele e o quartil q_3 75%. Nos gráficos, a mediana representa a tendência central, ou seja, o valor do meio, e os quartis indicam a dispersão dos dados. Este tipo de gráfico é bastante útil na representação de tendências centrais, dispersão e distribuição dos dados, uma vez que além dos quartis, representam também os valores extremos da amostra (Triola, 1999).

A seguir serão apresentados os resultados dos testes estatísticos.

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS EM DECIBELS

Neste item serão apresentados os resultados dos exames sem nenhum tipo de conversão. Os dados em dB foram tratados diretamente, assim como a plotagem dos gráficos *boxplots*.

Os resultados foram organizados de forma a facilitar o entendimento das comparações pré e pós-testes. Os exames pré-testes foram realizados antes de qualquer exposição ou intervenção, estabelecendo-se desta forma uma referência para comparação com os exames pós-testes. Estes por sua vez, foram realizados imediatamente após a exposição para as três situações: NPSE isolado, VCI isolada e NPSE associado a VCI.

Como foi explicado na Metodologia, o exame de audiometria foi realizado primeiro, e em seguida o das EOAs. As descrições dos resultados também serão apresentadas nesta seqüência para cada situação de teste.

A amostra de voluntários foi composta por 13 indivíduos, sendo 10 homens e 03 mulheres. Os resultados apresentados referem-se à amostra completa, mas ao observar a grande diferença na prevalência de indivíduos do sexo masculino, os indivíduos do sexo feminino foram retirados da amostra para se verificar a influência do gênero nos testes estatísticos. Foram observadas poucas diferenças neste sentido, sendo que as observações pertinentes foram feitas ao longo da descrição do item no qual se observaram diferenças nos resultados para a amostra sem as mulheres.

4.5.1 Análise dos testes realizados após exposição a VCI isolada.

A exposição a VCI isolada foi realizada utilizando o *set-up* descrito no item 3.5.1, onde os voluntários ficaram expostos à VCI no eixo z, em uma frequência de 6 Hz, com valores de aceleração r.m.s de 2,45 m/s² por 18 minutos.

Imediatamente após a exposição o voluntário seguia para a realização do exame de audiometria. Para realizar o teste de Wilcoxon, os resultados obtidos nos exames pós-teste foram subtraídos do exame de referência, estabelecendo a diferença entre eles.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados do teste de Wilcoxon para a primeira situação testada, onde a hipótese nula (H_0) é a ausência de diferença entre as situações antes e depois e a hipótese alternativa (H_1) considera que os resultados dos testes pós-exposição foram piores que a referência.

Tabela 4.1 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI isolada – Resultados de audiometria - dB

$\alpha = 0,05$	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz	6 kHz	8 kHz
Rejeita H_0 ?	não	não	não	não	não	não	não	não	não
$H_1: VCI > \text{referência}$									

É possível observar que não se rejeita H_0 , ou seja, para o nível de significância de 0,05, não houve diferenças significativas entre os valores dos exames de referência e os exames realizados após a exposição a VCI.

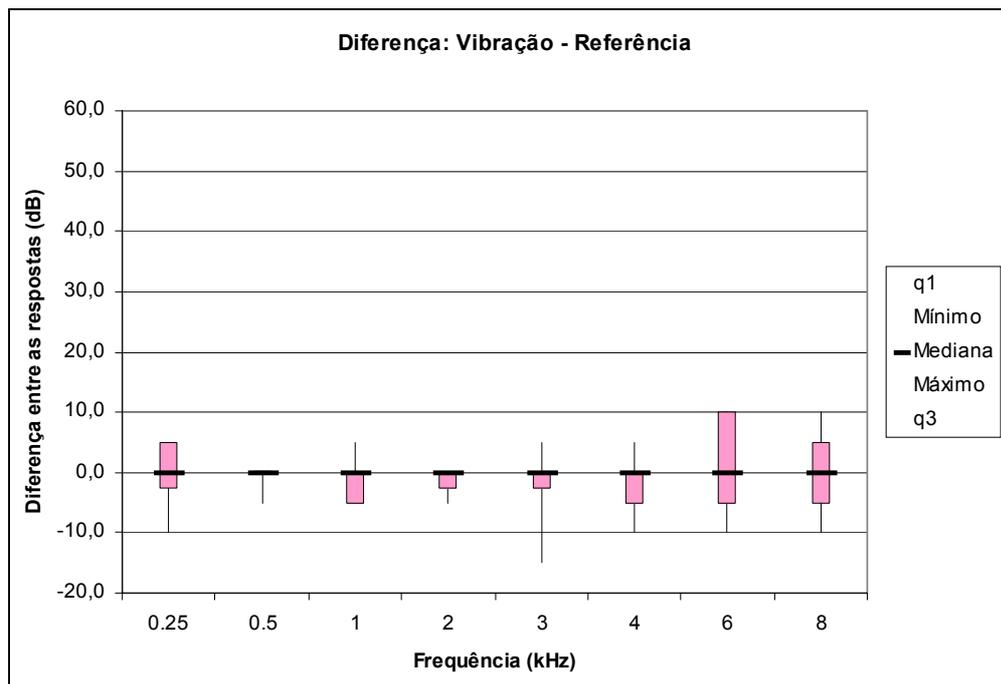


Figura 4.2 – Gráfico *boxplot* para VCI isolada (Audiometria) - dB

O gráfico representado na Figura 4.2 foi feito com base na diferença dos valores pré e pós-testes. Os resultados foram ordenados indicando o valor da mediana entre eles e os quartis de variação, sendo $q_1=25\%$ e $q_3=75\%$. Para a situação pós-exposição a VCI isolada, observa-se claramente que a mediana de todas as frequências encontra-se no

valor 0 dBNA, evidenciando ainda mais a ausência de efeitos auditivos para a referida exposição.

Após a realização da audiometria os voluntários foram submetidos ao exame de EOA por Produto de Distorção. Da mesma forma que o exame audiométrico, os resultados do teste de Wilcoxon para as EOAs estão representados na Tabela 4.2 e apresentam o mesmo tipo de resposta, ou seja, H_0 não é rejeitada, confirmando os resultados do exame de audiometria.

Tabela 4.2 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI isolada – Resultados de EOA - dB

$\alpha = 0,05$	676 Hz	932 Hz	1283 Hz	1797 Hz	2566 Hz	3640 Hz	5133 Hz	7288 Hz
Rejeita H_0 ?	não	não	não	não	não	não	não	não
H_1 : VCI < referência								

Na Figura 4.3 observam-se os valores das medianas alinhadas próximas ao valor correspondente à diferença igual a 0 dBNPS, com pequenas variações acima e abaixo, sendo estas não representativas estatisticamente.

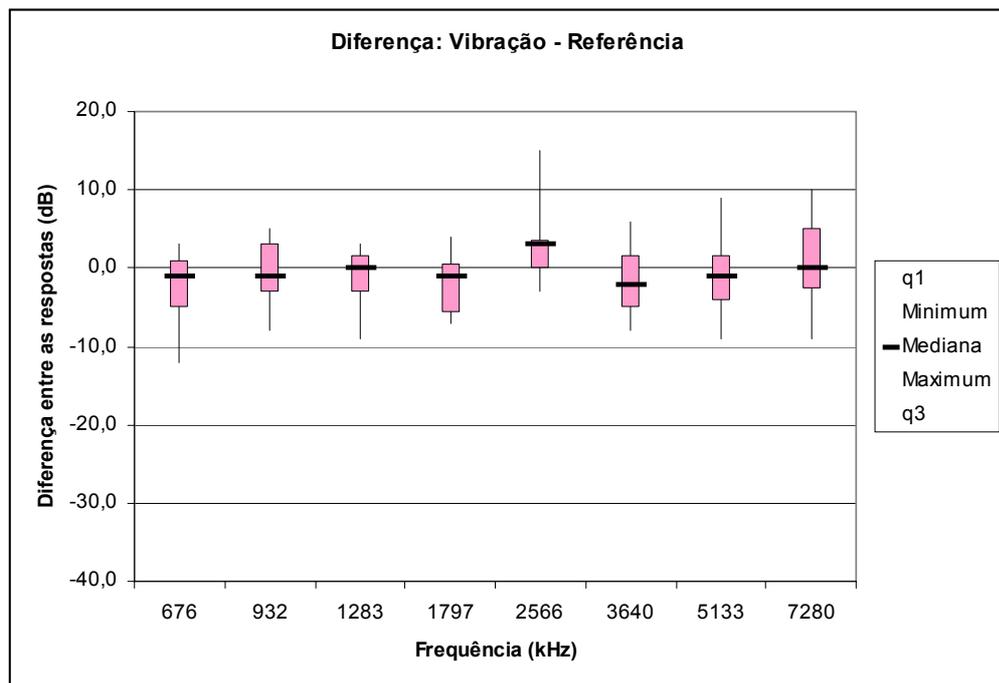


Figura 4.3 – Gráfico *boxplot* para VCI isolada (EOA) – dB

Pode-se afirmar que para o nível de vibração utilizada nas condições testadas, não se encontrou alterações auditivas em MTL para os exames de audiometria tonal e EOAs produto de distorção em nenhuma das frequências testadas.

4.5.2 Análise dos testes realizados após exposição a NPSE isolados

Na exposição a NPSE os voluntários escutavam ruído tipo *white-noise* através de fones de ouvido calibrados para a intensidade de 100 dBNA durante 15 minutos. Da mesma forma que no teste anterior, após a exposição a NPSE foram realizados dois exames auditivos. Os resultados do teste de Wilcoxon para a diferença nos resultados dos exames de audiometria pré e pós-estimulação, estão apresentados na Tabela 4.3, e os resultados para os exames de EOAs estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.3 - Teste de Wilcoxon para os testes de NPSE isolado – Resultados de Audiometria - dB

$\alpha = 0,05$	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz	6 kHz	8 kHz
Rejeita H_0 ?	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
H_1 : NPSE > referência									

Tabela 4.4 - Teste de Wilcoxon para os testes de NPSE isolado – Resultados de EOA - dB

$\alpha = 0,05$	676 Hz	932 Hz	1283 Hz	1797 Hz	2566 Hz	3640 Hz	5133 Hz	7288 Hz
Rejeita H_0 ?	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
H_1 : NPSE < referência								

Observando os resultados do teste para o exame de audiometria (Tabela 4.3), é possível rejeitar a hipótese nula H_0 para as frequências de 0,5 a 8 kHz, ou seja, nessas frequências, os exames realizados após a estimulação a NPSE apresentaram resultados piores do ponto de vista estatístico. Tal fato já era esperado visto que o nível de NPSE utilizado deveria justamente provocar uma MTL diante do tempo de exposição utilizado. Apenas para a frequência de 0,25 observou-se que não se rejeita H_0 , ou seja não há diferenças significativas entre os exames pré e pós-estimulação a NPSE.

Para os resultados do teste para o exame de EOAs (Tabela 4.4), a resposta foi a mesma para todas as frequências testadas, ou seja, H_0 foi rejeitada, confirmando a hipótese alternativa de que a amplitude das respostas dos exames realizados após a estimulação a NPSE foram significativamente mais baixas.

Vale ressaltar que o teste de EOA não engloba a faixa de frequência ao redor de 0,25 kHz, onde para o teste de audiometria H_0 não foi rejeitada, demonstrando um padrão de resposta correspondente para ambos os testes.

A Figura 4.4 fornece uma imagem quantitativa das MTL causadas pela exposição a NPSE. Para os testes de audiometria, como dito anteriormente, é possível observar que o teste de Wilcoxon (Tabela 4.3) mostra que houve sim uma diferença entre os testes pré e pós-estimulação para as frequências de 0,5 a 8 kHz, mas de forma gráfica (Figura 4.4), pelos valores das medianas é possível observar que as maiores alterações ocorreram nas frequências de 3 a 8 kHz, com diferenças absolutas (em dB, não convertidos) de 30 a 40 dBNA, sendo a frequência de 4 kHz a mais afetada.

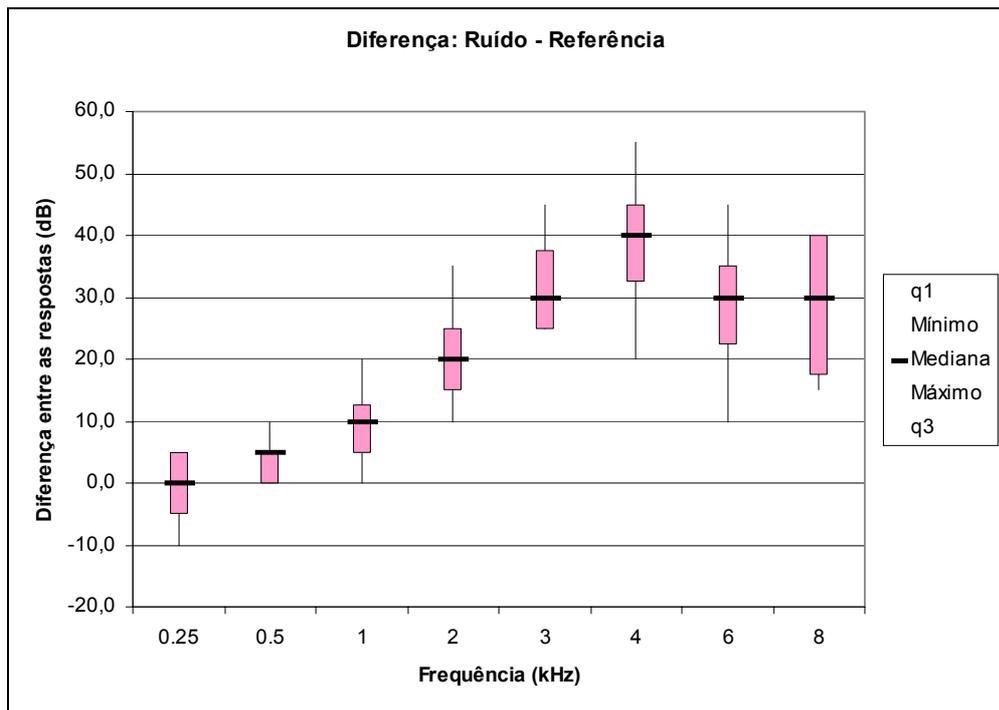


Figura 4.4 – Gráfico *Boxplot* para NPSE isolada (audiometria)

A representação gráfica quantitativa dos valores dos quartis para as diferenças dos exames de EOA na Figura 4.5 mostra que a maior diminuição da amplitude aconteceu para a frequência de 3640 Hz, da mesma forma que os exames de audiometria apresentaram piores limiares para a frequência de 4000Hz.

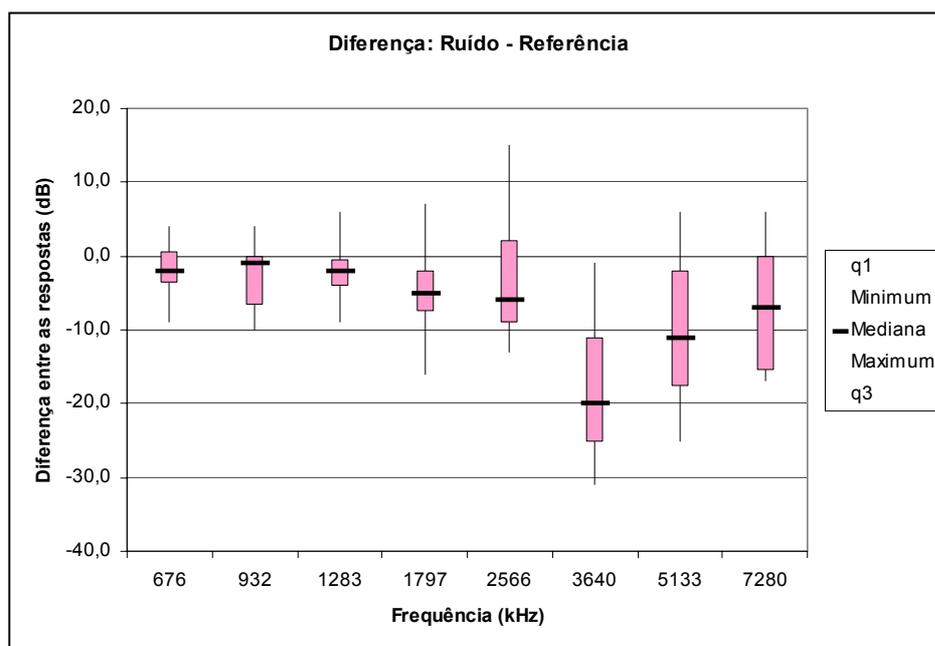


Figura 4.5 – Gráfico boxplot para NPSE isolado (EOA)

4.5.3 Análise dos testes realizados após exposição a VCI e NPSE associados

Nesta seção serão analisados os resultados dos exames realizados pré e pós a estimulação concomitante a VCI e NPSE. O primeiro resultado apresentado na Tabela 4.5 é referente ao teste de hipóteses de Wilcoxon para o exame de audiometria das diferenças antes e depois, onde a hipótese nula (H_0) é a ausência de diferença e a hipótese alternativa (H_1) considera que os resultados dos testes pós-exposição foram piores que a referência, para valores em decibels.

Tabela 4.5 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados – Resultados de Audiometria - dB

$\alpha = 0,05$	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz	6 kHz	8 kHz
Rejeita H_0 ?	sim	não	sim						
H_1 : VCI+NPSE > referência									

De forma similar aos resultados obtidos na situação de estimulação a NPSE isolado (Tabela 4.3), observa-se que H_0 foi rejeitada para quase todas as frequências. Portanto, aceita-se a hipótese alternativa como verdadeira, ou seja, os resultados das audiometrias realizadas após a estimulação foram piores do que a referência de comparação.

Os resultados da exposição a NPSE isolado (Tabela 4.3) diferem da exposição combinada (Tabela 4.5) nas frequências graves de 0,25 e 0,5 kHz. Aqui não se comprova que as diferenças pré e pós-estimulação foram significativas para a frequência de 0,5 kHz, enquanto na situação NPSE isolado existe a diferença. O inverso acontece para a frequência de 0,25 kHz que apresentou resultado positivo para o teste de hipótese apenas na situação combinada VCI e NPSE.

Na Figura 4.6 verifica-se que os valores para as medianas das frequência de 0,25 e 0,5 kHz é em torno de 0 dBNA e que o quartil q_1 em 0,25 kHz é maior, possivelmente detectado pelo refinamento do teste de Wilcoxon que o definiu como estatisticamente significativo, rejeitando H_0 . Ainda observando os resultados gráficos, percebe-se que as maiores diferenças numéricas estão nas frequências de 2 a 8 kHz, apresentando pico máximo de 40 dB para a frequência de 4 kHz.

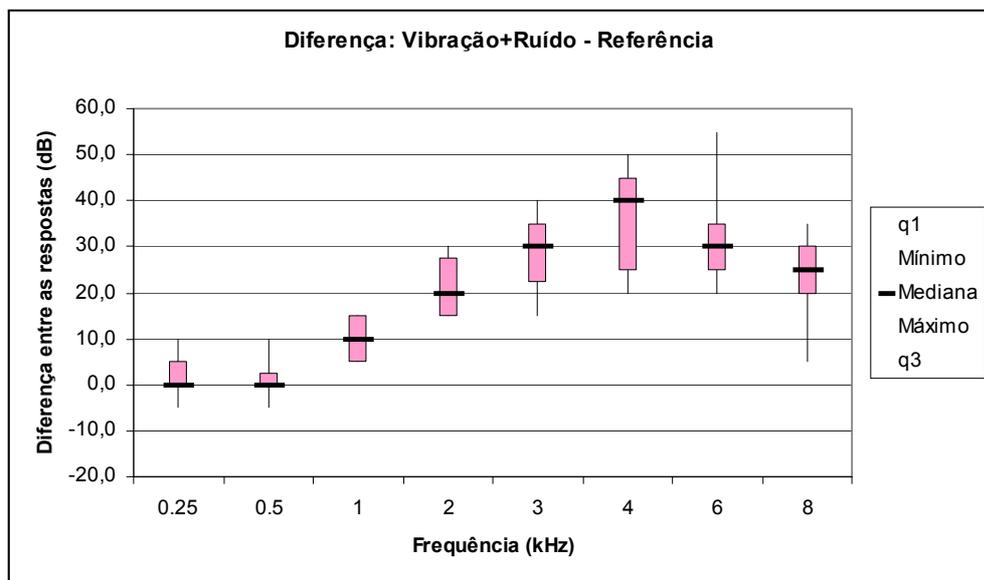


Figura 4.6 – Gráfico *Boxplot* para VCI e NPSE associados (Audiometria) - dB

Conforme apresentado na Tabela 4.6, para os resultados dos exames de EOAs, o teste de hipóteses apresenta resultados diferentes em relação aos resultados das audiometrias (Tabela 4.5) em algumas frequências.

Tabela 4.6 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados – Resultados de EOAs - dB

$\alpha = 0,05$	676 Hz	932 Hz	1283 Hz	1797 Hz	2566 Hz	3640 Hz	5133 Hz	7288 Hz
Rejeita H_0 ?	não	não	sim	sim	não	sim	sim	não
H_1 : VCI+NPSE < referência								

Para as frequências de 676, 932, 2566 e 7288 Hz a hipótese nula não foi rejeitada, o que significa que as diferenças das amplitudes pré e pós-testes não foram significativas para essas frequências. A análise desses resultados traz a dúvida de se realmente essas frequências não foram alteradas pela estimulação ou se o teste das EOAs não foi capaz de detectá-las, uma vez que os testes de EOAs podem apresentar resultados presentes e normais para perdas auditivas de até 50 dB segundo Figueiredo (2003) conforme apresentado no capítulo 2.

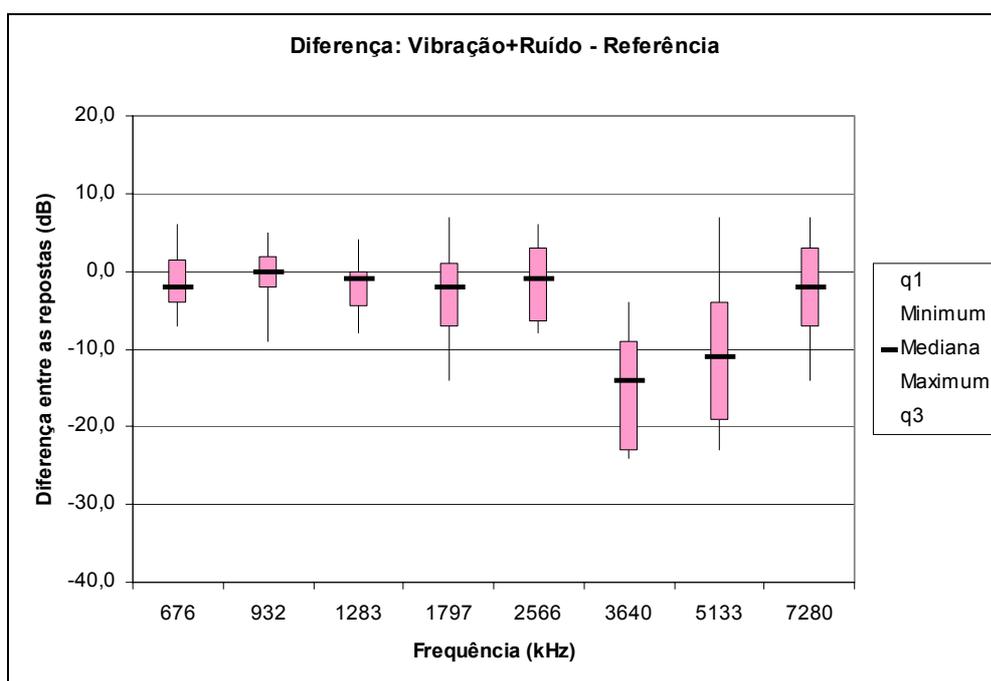


Figura 4.7 – Gráfico *Boxplot* para VCI e NPSE associados (EOA) - dB

Ao observar a Figura 4.7, é possível perceber que as alterações mais significativas em termos de valores estão nas frequências de 3640 e 5133 Hz. Mais uma vez em concordância com os resultados de audiometria.

4.5.4 Análise dos testes realizados após exposição a VCI e NPSE associados comparados com os testes após exposição a NPSE isolado

A seguir será organizada uma comparação dos testes da associação de VCI e NPSE com os testes de NPSE isolado. Não se julgou necessário realizar uma comparação dos resultados de VCI associado a NPSE com os resultados de VCI isolada visto que nesta última, não houve alterações significativas.

A primeira análise foi realizada com o teste de hipóteses de Wilcoxon, analogamente às situações descritas neste mesmo capítulo e está apresentada na Tabela 4.7 para os resultados das audiometrias analisados em decibels.

Tabela 4.7 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados em comparação com NPSE isolado
– Audiometria – dB

$\alpha = 0,05$	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz	6 kHz	8 kHz
Rejeita H_0 ?	não	não	não	não	não	não	não	não	não
H_1 : VCI+NPSE > NPSE isolado									

É claramente observado que a hipótese nula não foi rejeitada em nenhuma das frequências, o que significa que na comparação realizada, a exposição à combinação dos fatores VCI e NPSE não apresentou alterações auditivas maiores do que a exposição a NPSE isolado.

Ao observar o gráfico *boxplot* representado na Figura 4.8, é possível verificar que de fato os valores das medianas estão muito próximos ao 0 dBNA. Uma observação mais detalhada mostra que nas frequências de 3 e 4 kHz os valores estão negativos, completamente contrários ao observado nos gráficos anteriores.

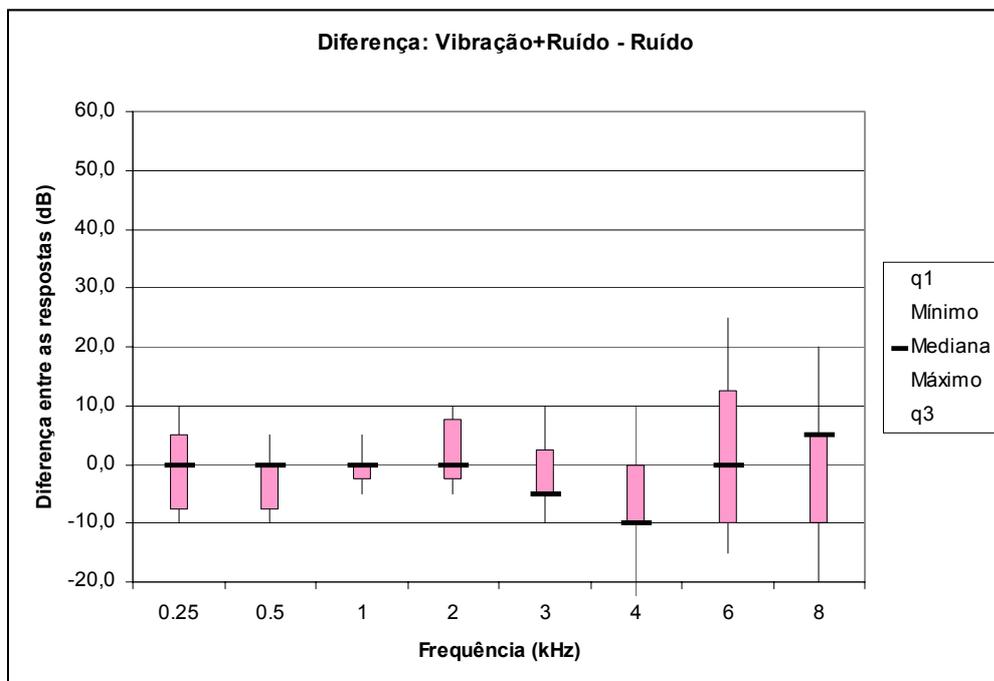


Figura 4.8 – Gráfico *Boxplot* para a diferença VCI e NPSE - NPSE (Audiometria) - dB

A partir dessa observação, surgiu a dúvida se o inverso não seria verdadeiro, ou seja, se os valores observados na exposição combinada não foram melhores do que os valores das audiometrias após a exposição a NPSE isolado.

A Tabela 4.8 mostra o resultado do teste de Wilcoxon para a situação onde a hipótese alternativa H_1 considera que os valores pós-teste de VCI associado a NPSE são menores do que os valores de NPSE isolado.

Tabela 4.8 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados em comparação com NPSE isolado
– INVERSO – Audiometria - dB

$\alpha = 0,05$	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz	6 kHz	8 kHz
Rejeita H_0 ?	não	não	não	não	não	sim	não	não	não
H_1 : VCI+NPSE < NPSE isolado									

Observa-se que na frequência de 4 kHz a hipótese nula é rejeitada, o que significa que nesta frequência os resultados dos exames pós-exposição da associação de VCI e NPSE foram melhores do que os resultados da exposição a NPSE isolado, ou seja, a exposição a ruído isolado afeta mais a audição na frequência de 4 kHz do que a associação com a VCI. Em outras palavras, a associação de VCI e NPSE é menos nociva do que NPSE isolado. Para as demais frequências o efeito é o mesmo.

Para os exames de EOAs foi feita a mesma análise. Ao pesquisar se as amplitudes das respostas dos exames pós-exposição combinada eram menores do que as da exposição a NPSE isolado, a resposta do teste foi negativa para todas as frequências, mostrando que não haviam diferenças neste sentido. Partiu-se então para o teste se as amplitudes das respostas após a exposição combinada eram então maiores, ou seja, melhores do que as amplitudes dos pós-testes da exposição a NPSE isolado. O resultado do teste está representado na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Teste de Wilcoxon para os testes de VCI e NPSE associados em comparação com NPSE isolado
– INVERSO – EOA - dB

$\alpha = 0,05$	676 Hz	932 Hz	1283 Hz	1797 Hz	2566 Hz	3640 Hz	5133 Hz	7288 Hz
Rejeita H_0 ?	não	sim	não	sim	não	sim	não	não
H_1 : VCI+NPSE > NPSE isolado								

Para as frequências de 932, 1797 e 3640 Hz a hipótese nula foi rejeitada, ou seja, nessas frequências as amplitudes foram melhores. Pode-se afirmar que o efeito da combinação de VCI e NPSE foi menor do que o efeito de NPSE isolado para essas frequências.

Comparando os resultados de audiometrias (Tabela 4.8) e EOAs (Tabela 4.9) encontra-se uma concordância no que diz respeito aos resultados na frequência de 4kHz para a audiometria e a de 3640 Hz, correspondente no teste de EOAs

4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS EM LINEAR

No item anterior foram apresentados resultados em decibels, no caso dBNA para audiometrias e dBNPS para EOAs. Serão dispostas a seguir, as diferenças nos resultados das análises estatísticas dos exames auditivos convertidos para linear.

Nos resultados das audiometrias em que foram utilizados valores em linear foi necessário converter os resultados apresentados pelos exames, de dBNA para dBNPS, e então converter para linear. Isto porque a orelha humana responde a intensidades diferentes para cada frequência. O limiar de audição corresponde à pressão acústica mínima que a orelha pode detectar e é diferente para cada frequência, conforme mostrado na Figura 4.9.

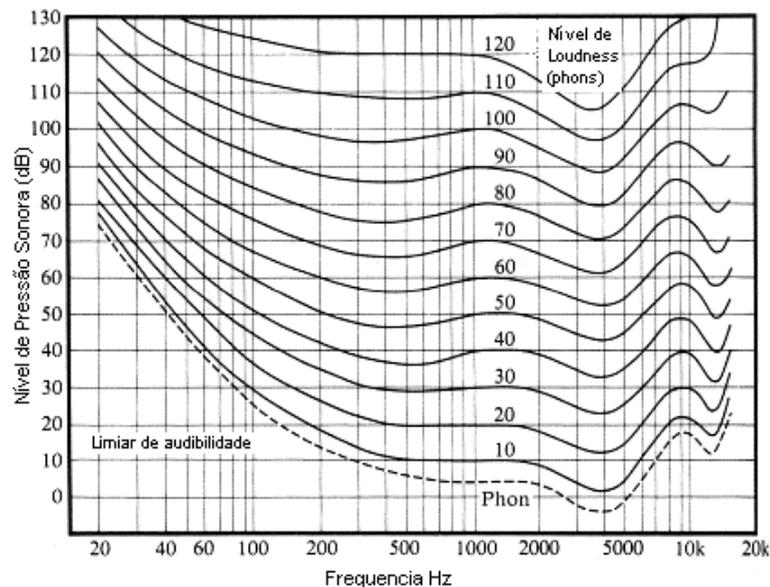


Figura 4.9 – Padrão de audibilidade para tons puros

FONTE – Gerges, 1992.

As respostas apresentadas em dBNA são baseadas em uma escala que recebeu ponderação, para que as respostas sejam equivalentes em todas as frequências. Portanto, para converter dBNA em valores lineares é preciso primeiro convertê-los para valores dBNPS.

Não foram encontradas, em nenhuma referência, informações a respeito da conversão de dBNA para dBNPS. Para tal, considerou-se os valores de compensação do circuito A, representados no gráfico da Figura 2.3, que corresponde à curva de audibilidade, na qual valores de dBNA são estabelecidos. A conversão foi feita utilizando-se a EQ. (4.6); Wolfe, (2006):

$$dB_{A(f)} = \frac{12200^2 \cdot f^4}{(f^2 + 20,6^2) \cdot (f^2 + 12200^2) \cdot \sqrt{(f^2 + 107,7^2)} \cdot \sqrt{(f^2 + 737,9^2)}} \quad (4.6)$$

Como os resultados dos exames auditivos são fornecidos em dB, neste item, para os resultados apresentados em valores lineares, realizou-se a conversão antes de qualquer tratamento nos dados.

No caso da conversão de dBNPS para linear, foi utilizada a equação (2.5). Para os resultados dos exames de EOA foi feito o cálculo diretamente, mas para os resultados de audiometrias (em dBNA) houve a transformação para dBNPS, conforme mostrado na EQ. (4.6) acima.

Não é possível plotar gráficos boxplots com resultados em linear, devido às grandes variações nos valores, para tal seria necessário fazer a conversão dos valores novamente para dB. Não foram observadas diferenças dignas de nota nos gráficos plotados com os valores em linear reconvertidos para dB, motivo pelo qual estes não serão apresentados.

4.6.1 Resultados dos exames de audiometria

Após o processo de conversão citado acima, realizado antes de qualquer tratamento nos dados, procedeu-se a realização do teste de Wilcoxon, tal qual foi feito para os resultados em dB. Para os exames de audiometria não se encontraram diferenças. Todos os resultados dos testes de Wilcoxon para valores lineares foram iguais aos valores em dBNA.

Vale destacar aqui que o teste de Wilcoxon é um teste de posicionamento dos valores. Não é realizado nenhum cálculo de média ou similar, onde os valores são tratados numericamente. Ressalva deve ser feita na realização da diferença entre os testes pré e pós-estimulação, onde o exame realizado após a exposição é comparado com o exame de referência. No caso de valores em dB pode-se considerar correto subtraí-los diretamente sem conversão, devido ao fato de que, segundo a EQ. (4.7), as diferenças em dB acabam por coincidir com a diferença absoluta; Wolfe, (2006):

$$P_{\text{exp}}[\text{dB}] - P_{\text{ref}}[\text{dB}] = 20 \log \left(\frac{P_{\text{exp}}}{P_{\text{ref}}} \right) [\text{dB}] \quad (4.7)$$

4.6.2 Resultados dos exames de EOAs

Conforme comentado anteriormente, foram realizados dois exames de EOAs para cada situação, a fim de diminuir as variações que são normais desse exame. Foi feita uma média entre os resultados dos exames e essa média recebeu os tratamentos estatísticos. Para o tratamento de dados em linear a média dos exames foi feita após a conversão de dB para linear. Para o tratamento dos dados em dB, conforme mostrado no item 4.5, a média foi feita diretamente, sem conversão. Este comentário se faz relevante, uma vez que esta situação não aconteceu para os exames de audiometria que apresentavam apenas um resultado absoluto. A realização do cálculo da média entre dois resultados expressos em dB, se feita sem converter os valores para linear, traz resultados incorretos e muito diferentes daqueles calculados após a conversão, o que pode justificar em parte a ausência de diferenças nos testes estatísticos linear x dB para o exame de audiometria.

Apenas as observações relevantes acerca do tratamento de dados realizado com os resultados dos exames convertidos para valores lineares serão apresentados.

A única diferença encontrada foi na situação de comparação dos exames realizados após a exposição a NPSE isolados com os exames de referência. O resultado do teste de Wilcoxon para os valores em dB sem conversão encontram-se dispostos na Tabela 4.4. Para os valores em linear, vale observar o resultado comparativo na Tabela 4.10. Nesta última, a hipótese nula foi rejeitada para apenas 5 faixas de frequência, enquanto para os valores em decibels, H_0 foi rejeitada em todas as frequências testadas, o que significa que em dB considerou-se que os resultados após estimulação foram piores, caracterizando a

MTL para todas as frequências. Já para os valores lineares, o que se viu foi que em algumas frequências não se pode considerar que houve diferenças entre as situações pré e pós-exposição. O fato das frequências de 676, 2566 e 7288 Hz não terem apresentado alteração em escala linear ressalta a importância da conversão.

Tabela 4.10 - Teste de Wilcoxon para os testes de NPSE isolado – Resultados de EOA - valores lineares

$\alpha = 0,05$	676 Hz	932 Hz	1283 Hz	1797 Hz	2566 Hz	3640 Hz	5133 Hz	7288 Hz
Rejeita H_0 ?	não	sim	sim	sim	não	sim	sim	não
H_1 : NPSE < referência								

4.7 ANÁLISE DOS TESTES REALIZADOS COM A AMOSTRA SÓ DE HOMENS

Foi comentado na apresentação do item 4.5 deste capítulo que os testes estatísticos também foram realizados para a amostra sem as mulheres no grupo. Foram observadas algumas diferenças.

Nos resultados das audiometrias observou-se apenas uma diferença. Para a situação onde a análise dos efeitos de VCI e NPSE combinados foi comparada com a referência, para os valores em dB, na frequência de 0,25 kHz, verifica-se que H_0 não é rejeitada, significando que não existem diferenças nas situações comparadas. Tal dado não agrega nenhuma informação aos resultados, motivo pelo qual não será considerada relevante.

Para os testes de EOA foram encontradas algumas diferenças nos resultados só de homens. Observou-se que na comparação dos exames pós-estimulação a ruído isolado, H_0 é rejeitada em todas as frequências, enquanto na amostra mista as frequências de 676, 2566 e 7288 Hz não são afetadas para valores em linear.

De modo geral as diferenças dos testes sem as mulheres foram sem significado clínico, não representando variações significativas no resultado. Seria necessária uma amostra maior, tanto de homens quanto de mulheres para verificar a influência do gênero nos resultados.

4.8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme mostrado no capítulo 2 (Revisão Bibliográfica), estudos anteriores que abordaram o mesmo tema obtiveram consenso no que diz respeito aos efeitos do ruído na MTL. Dependendo da intensidade e duração da exposição a NPSE, é causada MTL na maioria dos indivíduos com audição normal, Manninen (1983a, 1983b, 1984a, 1984b, 1985 e 1986), Katz (1999), Keeler (1968), Nordmann et al. (2000), Strasser et al. (2003) Quaranta et al. (2003) e Nassar (2001).

O mesmo foi detectado neste estudo. Para os valores de estimulação referidos, a MTL aconteceu nas frequências de 0,5 a 8 kHz com seu efeito máximo nas frequências de 3 a 6 kHz. Ao observar o gráfico que representa a curva de audibilidade por frequência, representado na Figura 4.9, percebe-se que a audição humana é mais sensível exatamente para esta faixa de frequências. Além disto, conforme mostrado no item 2.4.1, a Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR) tem seu início justamente nesta faixa de frequência.

Ainda buscando referências prévias, encontra-se a afirmativa de que existe uma correlação entre a MTL e a MPL, Musiek & Rintelmann (2001). Segundo o Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva, Brasil (1994), a MPL tem seu início e predominância nas frequências de 3, 4 e 6 kHz. Considerando-se que a MPL em geral é causada por exposições a ruídos de diferentes características acústicas, mesmo assim existe uma indicação bastante definida das frequências acometidas, mostrando que esta região da cóclea é mais susceptível a lesões. Portanto, os resultados observados nesta pesquisa mostram uma concordância no que diz respeito às frequências mais afetadas pela estimulação ao ruído.

Os efeitos encontrados causados pela exposição a VCI isolada não corresponderam exatamente ao que foi descrito por outros autores que estudaram o efeito de VCI associada ao ruído. Manninen (1983a, 1983b, 1984a, 1984b, 1985 e 1986), Seidel et al. (1989 e 1997), Hamernik et al. (1989) e Soliman et al. (2003), encontraram efeitos auditivos em MTL após exposições a VCI isolada. Para as situações de estimulação utilizadas neste trabalho não foram encontrados efeitos auditivos causados por VCI isolada sendo que tal diferença talvez possa ser justificada pelos níveis utilizados.

Outra discordância com a literatura foi encontrada na análise dos efeitos auditivos da combinação VCI e NPSE. Os estudiosos afirmam que o ruído, quando associado a VCI produz um efeito sinérgico na audição, ou seja, o efeito nocivo do ruído é

potencializado pela associação à VCI, Manninen (1983a, 1983b, 1984a, 1984b, 1985 e 1986), Seidel et al (1989 e 1997), Hamernik et al (1989) e Soliman et al (2003). Tal fato não foi detectado neste estudo em particular, onde o que se viu foi o contrário, a combinação levou a resultados menores do que a exposição a ruído isolado para a frequência de 4 kHz e similar nas demais frequências.

Vale ressaltar que nos trabalhos citados acima, as características das exposições e os níveis de ruído e VCI diferiram muito do que foi realizado aqui. Manninen (1985), por exemplo, utilizou VCI a 5 Hz, com aceleração de $2,12\text{m/s}^2$ e ruído a 90 dBNA durante três exposições de 16 minutos, elevando o valor total do EAV na somatória da exposição para um EAV de $0,67\text{ m/s}^2$. Seidel et al. (1992), utilizaram a frequência de 2,01 Hz e aceleração de 2 m/s^2 , *white-noise* a 80 dB em duas exposições de 11 minutos. Além disso, utilizaram testes auditivos diferenciados (potenciais evocados) na pesquisa comparativa. O mesmo acontece com as demais referências. Apesar de a escolha dos níveis de ruído e VCI neste trabalho ter sido feita baseada nessas mesmas referências, por diversas razões citadas na Metodologia, não há nenhuma pesquisa prévia que tenha utilizado os mesmos valores daqueles utilizados neste trabalho.

Silva (2002) foi o único trabalho que apresentou resultados similares aos encontrados aqui. Ao pesquisar o efeito combinado de ruído e vibração na audição de motoristas de ônibus foram realizadas medições *in-loco* que encontraram valores médios da aceleração da vibração ponderada entre 0,74 e $1,09\text{ m/s}^2$ para diferentes modelos de ônibus. Ao utilizar a técnica de regressão logística para relacionar problemas auditivos às exposições, não foi encontrada associação entre a exposição a VCI com a perda auditiva ocupacional, nem interação com a exposição associada ao ruído (níveis medidos de 77 a 84 dB). Porém, tal autor faz a ressalva de também ter encontrado referências contrárias e recomenda que sejam feitos estudos posteriores. Seu estudo também difere muito em metodologia do aqui apresentado, mas chegou a conclusões mais próximas do que foi descrito neste trabalho.

Em relação às diferenças encontradas nas análises dos resultados em decibels e em linear, observa-se que utilizar cálculos estatísticos em dB apresenta diferenças em algumas situações. É preciso levar em consideração o tipo de cálculo realizado. No caso do teste de Wilcoxon, por exemplo, não haveria de se esperar que houvesse diferenças, visto que é um teste de emparelhamento de valores. Mas, como existe o cálculo das diferenças dos resultados pré e pós-exposições e ainda o cálculo da média dos dois exames de EOAs realizados para cada situação, o tratamento matemático dos valores dB ou linear difere

bastante e acaba por afetar os resultados para algumas situações. É importante destacar que esta conclusão é limitada para esta pesquisa e para os métodos estatísticos utilizados aqui, sendo necessário um maior número de dados para uma conclusão mais concreta.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

5.1 INTRODUÇÃO

A seguir serão descritas as conclusões do trabalho apresentado, com as considerações da autora acerca daquilo que foi encontrado nos resultados e discussões do capítulo anterior.

Também serão feitas sugestões de trabalhos futuros que surgiram a partir de questionamentos e observações ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

5.2 CONCLUSÕES

O principal propósito que motivou a realização deste trabalho foi verificar o efeito de VCI na audição, em especial o efeito da combinação de NPSE e VCI.

Com este trabalho foi possível desenvolver uma metodologia de testes para pesquisa dos efeitos de VCI e NPSE na audição em condições laboratoriais eficazes, o que possibilitou a realização do trabalho em condições fixas e bem definidas. Ao rever as referências de literatura sobre o tema verificou-se haver uma escassez de informações científicas a este respeito. Os trabalhos diferem muito em metodologia e formas de avaliação da audição, o que torna a comparação de resultados um tanto quanto difícil.

De modo geral, os trabalhos anteriores convergem para uma só conclusão, a de que existe de fato um efeito auditivo na exposição a VCI isolada e que o efeito da combinação VCI e NPSE na audição é sinérgico, afirmando que a concomitância da VCI traz um agravamento nos efeitos do ruído na audição.

Os resultados deste trabalho não mostraram a mesma posição. Além de não confirmar o que outros autores encontraram, foi observada uma total discordância. Na situação aqui testada encontrou-se que a exposição a VCI isolada não afeta a audição em MTL e que o efeito da associação ruído e VCI é menor do que o efeito da exposição a NPSE isolado, demonstrando um efeito antagônico da associação. Cabem aqui considerações acerca da limitação desses resultados, que foram obtidos em uma amostra muito reduzida de voluntários, as exposições a VCI limitadas a situações laboratoriais onde utilizou-se vibração senoidal, durante tempos de exposição reduzidos.

Apesar de os resultados encontrados não terem sido totalmente de acordo com as referências anteriores no que diz respeito aos efeitos de VCI na audição, considerando o que estudos prévios afirmam, cabe aqui sugerir que os programas de conservação da audição e da saúde desenvolvidos em empresas abordem o risco VCI, realizando medições *in loco* a fim de controlar as exposições, estabelecendo medidas de controle dos níveis e principalmente respeitando os limites de exposição para a saúde. Bovenzi (2006) afirma que a prevenção de desordens causadas por vibrações requer a implantação de medidas administrativas, técnicas e médicas.

Um outro assunto abordado que trouxe informações relevantes relaciona-se com o tratamento de resultados de exames auditivos, que apresentam informações sobre a audição dos indivíduos em decibels, sendo que cada exame difere no tipo de dB utilizado conforme utilização de curvas de ponderação ou não. O exemplo deste trabalho é dos exames de audiometria, que utiliza valores em dBNA, e de EOA que utiliza valores em dBNPS.

Na revisão bibliográfica apresentada, foi mostrado que o decibel é uma escala de valores logarítmicos, e como tal não pode ser tratada matematicamente sem as devidas conversões. Por outro lado, aparentemente é costume da comunidade científica ignorar este fato e utilizar os valores em dB indiscriminadamente sem conversões, o que trouxe ao fato uma certa legalidade, uma vez que direciona novas pesquisas a utilizarem os mesmos métodos para comparações e referências.

Ao realizar ambas as formas de cálculo (com e sem conversão), foi possível observar que para o tratamento de dados realizados nesta pesquisa, a conversão de decibels para linear não acarretou diferenças realmente significativas, mas ao mesmo tempo, não é possível descartar a necessidade de se tratar os dados corretamente.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, foi possível observar uma série de questões relacionadas ao mesmo tema de pesquisa que não eram exatamente o objetivo aqui proposto, e portanto, aparecem neste capítulo como sugestões para trabalhos futuros. Da mesma forma, fatores limitadores deste trabalho podem servir como temas de pesquisas futuras.

Eis algumas sugestões:

- Aumentar significativamente o tamanho da amostra.
- Pesquisar as diferenças nas respostas de homens e mulheres.
- Utilizar uma metodologia similar àquela aqui proposta para verificar o efeito de diferentes níveis de ruído e VCI na audição.
- Utilizar vibrações randômicas que são mais condizentes com a realidade de exposição a VCI no ambiente de trabalho.
- Pesquisar VCI em diferentes eixos de direção no corpo humano.
- Utilizar outros métodos de avaliação da audição, como os potenciais auditivos cerebrais e comparar qual método seria mais útil.
- Monitorar diferentes condições ambientais como temperatura e luminosidade.
- Efetuar estudos mais específicos da MTL, medindo o tempo de recuperação e quantificando os valores de forma comparativa.
- Pesquisar efeitos de VCI e ruído em diferentes condições psicológicas do indivíduo.
- Fazer estudos *in loco* e comparar os resultados com estudos laboratoriais semelhantes.
- Pesquisar diferentes populações.
- Monitorar sinais corporais dos indivíduos durante a exposição, como pressão sanguínea e temperatura corporal.
- Pesquisar o efeito de VCI nas funções do labirinto.

Ainda existe muito que se pesquisar nesta área onde os sistemas humanos se fundem com o ambiente em seu entorno. Aqui, no caso, pesquisou-se um pouco sobre o sistema auditivo e o ambiente de trabalho. As atividades ocupacionais trouxeram ao homem condições extremas de exposições a riscos para sua saúde, criando a necessidade de se estudar para conhecer melhor os riscos e seus efeitos, e a partir daí atuar em prevenção e segurança.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALMEIDA, S. I. C.; ALBERNAZ, P. L. M., ZAIA, P. A.; XAVIER, O. G.; KARAZAWA, E. H. I. História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído. Revista Ass. Med. Brasil 2000, v.46, n. 2, p. 143-158, 2000.
- 2 BALBINOT, A. Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde. 311f. Dissertação Tese (de doutorado em Engenharia, engenharia Mecânica) – Programa de Pós graduação em engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.
- 3 BOCHNIA, M.; MORGENROTH, K.; DZIEWISZEK, W.; KASSNER, J. Experimental vibratory damage of the inner ear. Eur. Arch. Otorhinolaryngol., v. 262, p. 307-313, 2005.
- 4 BOVENZI, M.; HULSHOF, C. T. J. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). International Archives Occupational Environmental Health, v. 72, p. 351-365, 1999.
- 5 BOVENZI, M. Health risks from occupational exposure to mechanical vibration. La Medicina Del Lavoro, v. 97, p. 535-541, 2006.
- 6 BRASIL. Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva. Perda auditiva induzida pelo ruído relacionada ao trabalho – Bol. n° 1 – São Paulo, 29/jun/1994.
- 7 BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria SSSTb n. 19, de 09.04.98. Estabelece diretrizes e parâmetros mínimos para avaliação e acompanhamento da audição em trabalhadores expostos a NPS elevados. Diário Oficial da União, São Paulo, 22/abr/1998.

- 8 CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. Biomecânica Ocupacional. Belo Horizonte. 3a ed. Editora Ergo; 2001.
- 9 DIAZ, J. M. S.; CUERVO, A. F.; ARIAS, V. M. L. Exposición a vibraciones globales em maquinaria de obra pública. Estudio de situación. Instituto Austuriano de Prevención de Riesgos Laborales, Universidad de Oviedo, proyecto SV-PA-02-16, 2003.
- 10 DIRECTIVE 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council, 2002. On the Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of workers to the risks Arising From Physical Agents (vibration), 2002.
- 11 ELEFThERIOU, P. C. Industrial noise and its effects on human hearing. Applied Acoustics, v. 63, n. 1, p. 35-42, 2002.
- 12 EVEREST, F. A. The master handbook of acoustics. 4ª ed. Ed. Mc Graw-Hill Companies Inc. USA, 2001.
- 13 FERNANDES, M.; MORATA, T. C. Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, v. 68, n. 5, 2002.
- 14 FIGUEIREDO, M. S. Emissões Otoacústicas e BERA. São José dos Campos, SP: Editora Pulso, cap. II, p. 35-75, 2003.
- 15 FISHER, L. D.; BELLE, G. V. Biostatistics a methodology for the health sciences. John Wiley & Sons, Inc, 1993.
- 16 FROTA, S. Fundamentos em audiologia. São Paulo, Editora Guanabara Koogan, 1998.
- 17 FUNDACENTRO. Avaliação da exposição ocupacional ao ruído, NHO-01. São Paulo, 1999.

- 18 GERGES, S. N. Y. Ruído: Fundamentos e Controle. 1ª ed. Biblioteca universitária da Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- 19 GOGLIA, V.; GRBAC, I. Whole-body vibration transmitted to the framesaw operator. *Applied Ergonomics*, v. 36, p. 43-48, 2005.
- 20 GRIFFIN, M. J. Handbook of human vibration. London, Academic Press, 1996.
- 21 GUERRA, M. R.; LOURENÇO, P. M. C.; TEIXEIRA, M. T. B.; ALVES, M. J. M. Prevalência de perda auditiva induzida por ruído em empresa metalúrgica. *Revista Saúde Pública*, v. 39, n. 2, p. 234-244, 2005.
- 22 HAMERNIK, R. P.; AHROON, W. A.; DAVI, R. I.; AXELSSON, A. Noise and vibration interactions: Effects on hearing. *J. Acoust Soc Am*, v. 86, n. 6, p. 2129-2137, 1989.
- 23 HARRIS, C. M. Shock and Vibration Handbook. 4th ed. Mc Graw-Hill Ed., 1998.
- 24 HOWARTH, H. V. C.; GRIFFIN, M. J. The relative importance of noise and vibration from railways. *Applied Ergonomics*, v. 21, n. 2, p. 129-134, 1999.
- 25 HUNGRIA, H. Manual de Otorrinolaringologia. Rio de Janeiro. 3ª ed. Ed. Guanabara Koogan; 1972.
- 26 ISO 2631/1 – International Organization for Standardization. ISO 2631/1, 1997. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements. 2. ed. Geneve: International Organization for Standardization, 1997.
- 27 KATZ, J. Tratado de Audiologia Clínica. Terceira Edição, São Paulo. Editora Manole, 1999.

- 28 KEELER, J. S. Compatible exposure and recovery functions for temporary threshold shift- Mechanical and electrical shifts. *Journal of Sound and Vibration*, v. 2, p. 220-235, 1968.
- 29 KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. *Fundamentals of Acoustics*. New York. 3rd. Edition. Ed. John Wiley & Sons; 1982.
- 30 KITTUSAMY, N. K.; BUCHHOLZ, B. Whole-body vibration and postural stress among operators of construction equipment: A literature review. Lowell (MA): University of Massachusetts Lowell. Construction Occupational Health Project. <<http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/wvaps.pdf>>. Cited: 27 Abr. 2006.
- 31 LENZUNI, P.; PIERONI, A. Lifetime exposure of bus drivers to shocks and impulsive acceleration. Tenth International Congress on Sound and Vibration; Stockholm Sweden, 2003.
- 32 LIANG, C. C.; CHIANG, C.F. A study on biodynamic models of seated human subjects exposed to vertical vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 36, p. 869-890, 2006.
- 33 LINGS, S.; YDE, C. L. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992 - 1999. *International Archives Occupational Environmental Health*, v. 73, p. 290-297, 2000.
- 34 LJUNGBERG, J.; NEELY, G.; LUNDSTROM, R. Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole-body vibration and noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v.51, n. 4, p. 289-297, 2004.
- 35 MABBOTT, N.; FOSTER, G.; MCPHEE, B. Heavy vehicle seat vibration and driver fatigue. Sidney: Australian Transport Safety Bureau - Department of Transport and Regional Services, Report No: CR203, 2001.

- 36 MANNINEN, O. Simultaneous effects of sinusoidal whole body vibration and broadband noise on TTS2's and R-wave amplitudes in men at two different dry bulb temperatures. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 51, n. 4, p. 289-297, 1983a.
- 37 MANNINEN, O. Studies of combined effects of sinusoidal whole body vibrations and noise of varying bandwidths and intensities on TTS2 in men. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 51, n. 3, p. 273-288, 1983b.
- 38 MANNINEN, O. Hearing threshold and heart rate in men after repeated exposure to dynamic muscle work, sinusoidal vs stochastic whole body vibration and stable broadband noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 54, n. 1, p. 19-32, 1984a.
- 39 MANNINEN, O. Single and joint actions of noise and sinusoidal whole body vibration on TTS2 values and low frequency upright posture sway in men. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1984, v. 54, n. 1, p. 1-17, 1984b.
- 40 MANNINEN, O. Cardiovascular changes and hearing threshold shifts in men under complex exposures to noise, whole body vibrations, temperatures and competition-type psychic load. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 56 n. 4, p. 251-274, 1985.
- 41 MANNINEN, O. Bioresponses in men after repeated exposures to single and simultaneous sinusoidal or stochastic whole body vibrations of varying bandwidths and noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 57, n. 4, p. 267-295, 1986.
- 42 MATSUMOTO, Y.; GRIFFIN, M. J. Nonlinear subjective and biodynamic responses to continuous and transient whole-body vibration in the vertical direction. *Journal of Sound and Vibration*, v. 287, n. 4-5, p. 919-937, 2005.
- 43 MC REYNOLDS, M. C. Noise induced hearing loss. *Air Medical Journal* v. 24, p. 2, March-april, 2005.

- 44 MORATA, T. C.; DUNN, D. F.; KRETSCHMER, L. W.; LEMASTERS, G. K.; KEITH, R. W. Effects of occupational exposure to organic solvents and noise on hearing. *Scand. J. Work Environ. Health*, v. 19, n. 4, p. 245-254, Aug., 1993.
- 45 MORATA, T. C.; NYTEN, P.; JOHNSON, A. C.; DUNN, D. F. Auditory and vestibular functions after single or combined exposure to toluene: a review. *Arch. Toxicol.*, v. 69, n. 7, p. 431-443, 1995.
- 46 MUSIEK, F. E.; RINTELMANN, W. F. *Perspectivas atuais em avaliação auditiva*. Baurueri. Editora Manole, 2001.
- 47 NASSAR, J. The human temporary threshold shift after exposure to 60 minutes' noise in an aerobics class. *British Journal of Audiology*, v. 35, n. 1, p. 99-101, 2001.
- 48 NORDMANN, A. S.; BOHNE, B. A.; HARDING, G. W. Histopathological differences between temporary and permanent threshold shift. *Hearing Research*, v. 139, p. 13-30, 2000.
- 49 NUDELMANN, A. A.; COSTA, E. A.; SELIGMAN, J.; IBÁÑEZ, R. N. *PAIR – Perda Auditiva Induzida Por Ruído*. Porto Alegre, Editora Bagagem Comunicação, 1997.
- 50 NUDELMANN, A. A.; COSTA, E. A.; SELIGMAN, J.; IBÁÑEZ, R. N. *PAIR – Perda Auditiva Induzida Por Ruído. Vol II*. Porto Alegre, Editora Revinter, 2001.
- 51 PALMER, K. T.; GRIFFIN, M. J.; BENDALL, H.; PANETT, B.; COGGON, D. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national Survey. *Occupational Environmental Medicine*, v. 57, p. 229-236, 2000.
- 52 PIALARISSI, P. R.; GATTAZ, G. *Emissões Otoacústicas: Conceitos básicos e aplicações clínicas*. *Arquivos da fundação Otorrinolaringológica*, v. 01, n. 2, 1997.

- 53 QUARANTA, A.; SCARINGI, A.; FERNANDEZ-VEJA, S.; QUARANTA, N. Effect of ipsilateral and contralateral low-frequency narrow-band noise on temporary threshold shift in humans. *Acta Otolaryngology*, v. 123, n. 2, p. 164-167, 2003.
- 54 RAO, S. S. *Mechanical Vibrations*. Reading, Massachusetts Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- 55 REHN, B.; NILSSON, T.; OLOFSSON, B.; LUNDSTROM, R. Whole-body vibration exposure and non-neutral neck postures during occupational use of all-terrain vehicles. *Ann. Occup. Hyg*, v. 49, n. 3, p. 267-275, 2005.
- 56 RUSSO, I. C. P.; SANTOS, T. M. M. *A prática da audiologia clínica*. São Paulo. 4ª ed. Cortez Editora, 1993.
- 57 SANTOS FILHO, P. F.; FERNANDES H.C.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, A. M.; CAMILO, A. J. Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados. *Revista Arvore*, v. 27, n. 6, p. 887-895, 2003.
- 58 SANTOS, L.; MORATA, T. C.; ALBIZU, E. Temporary threshold shift of disc jockeys (DJs) from Curitiba/Brazil. Congress and Exposition on Noise Control Engineering – INTERNOISE, 07-10 August, Rio de Janeiro Brazil, 2005.
- 59 SANTOS, U. P.; MATOS, M. P.; MORATA, T. C.; OKAMOTO, V. A. *Ruído – Riscos e Prevenção*. São Paulo, 3ª ed. Ed. Hucitec, 1992.
- 60 SCARLETT, A. J.; STAYNER, R. M. Whole body vibration on construction mining and quarrying machines – Evaluation of emission and estimated exposure levels. Prepared by Silsoe Research Institute for the Health and Safety Executive, HSE Research Report (RR-400), 2005.
- 61 SEIDEL, H.; RICHTER, J.; KUREROV, N. N.; SCHJAPAK, E. J.; BLUTHNER, R.; ERDMANN, U.; HINZ, B. Psychophysical assessment of sinusoidal whole-body

- vibration in z-axis between 0.6 and 5 Hz combined with different noise levels. *International Archives Occupational Environmental Health*, v. 61, p. 413-422, 1989.
- 62 SEIDEL, H.; BLUTHNER, R.; MARTIN, J.; MENZEL, G.; PANUSKA, R.; ULLSPERGER, P. Effects of isolated and combined exposures to whole-body vibration and noise on auditory-event related brain potentials and psychophysical assessment. *European Journal of Applied Physiology*, v. 65, p. 376-382, 1992.
- 63 SEIDEL, H.; SHUST, M.; SEIDEL, H.; BLUTHNER, R. Subjective evaluation of the effects of noise with a different tonality combined with random low-frequency whole-body vibration. Presented at the United Kingdom Group Meeting on Human Response to Vibration held at the ISVR, University of Southampton, SO17 1BJ, England, 17-19 September 1997.
- 64 SIEGEL, S. *Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento*. São Paulo. Ed Mc Graw-Hill do Brasil Ltda, 1975.
- 65 SILVA, L. F. *Estudo sobre a exposição combinada entre ruído e vibração de corpo inteiro e os efeitos na audição de trabalhadores*. 182 f. Dissertação Tese (de Doutorado em Saúde Ambiental, saúde ocupacional) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- 66 SOLIMAN, S.; EL-ATREBY, M.; TAWFIK, S.; HOLAIL, E.; ISKANDAR, N.; ABOU-SETTA, A. The interaction of whole-body vibration and noise on the cochlea. *International Congress Series*, v. 1240, p. 209-216, 2003.
- 67 SORAINEN, E.; PENTTINRN, J.; KALLIO, M.; RYTKONEN, E.; TAATTOLA, K. Whole-body vibration of tractor drivers during harrowing. *Hygiene Association Journal*, v. 59, n. 9, p. 642-644, 1998.
- 68 STRASSER, H.; IRLE, H.; LEGLER, R. Temporary hearing threshold shifts and restitution after equivalent exposures to industrial noise and classical music. *Noise Health*, v. 5, n. 20, p. 7, 2003.

- 69 THOMSON, W. T. Teoria da vibração com aplicações. Rio de Janeiro. Ed. Interciência Itda., 1978.
- 70 TRIOLA, M. F. Introdução à estatística. 7ª ed, Rio de Janeiro. Editora LTC, 1999.
- 71 WOLFE, J. What is a decibel? The University of New South Wales.
<<http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/dB.html>> Cited: 15 Set. 2006.
- 72 ZHU, S. K.; SAKAKIBARA, H.; YAMADA, S. Combined effects of hand-arm vibration and noise on TTS of hearing in healthy subjects. International Archives of Environmental Health, v. 69, p. 433-436, 1997.

Anexo A – CARTA DE AUTORIZAÇÃO DO COEP



Universidade Federal de Minas Gerais
Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG - COEP

Parecer nº. ETIC 488/04

Interessada: Profa. Dra. Maria Lúcia Machado Duarte
Escola de Engenharia - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP, aprovou sem no dia 03 de novembro de 2004, o projeto de pesquisa intitulado « **Efeitos de Vibrações e Níveis de Pressão Sonora Elevados na Mudança Temporária de Limiar** » bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do referido projeto.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.


Profa. Dra. Maria Elena de Lima Perez Garcia
Presidente do COEP/UFMG

Anexo B – ANAMNESE / TERMO DE COMPROMISSO

Nome (iniciais):

Endereço:

Telefone:

Este questionário tem como objetivo verificar a aptidão do voluntário para participação da pesquisa a ser desenvolvida pelos membros do Grupo de Acústica e Vibrações (GRAVI DEMEC – UFMG) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Os pesquisadores se comprometem a tomar todas as medidas necessárias para garantir a segurança do voluntário nos testes.

As informações aqui prestadas serão de uso exclusivo dos pesquisadores, sendo mantidas em total sigilo. As fidelidades nas respostas serão de vital importância para a pesquisa. As informações aqui prestadas são de sua inteira responsabilidade.

Idade:

Cor dos olhos:

Peso:

Altura:

Escolaridade:

Profissão:

É exposto a ruído ocupacional?

() Sim

() Não

Tempo:

É necessário o uso de protetores auriculares?

() Sim

() Não

Caso positivo, faz uso freqüente?

() Sim

() Não

É exposto a algum tipo de vibração no ambiente ocupacional?

() Sim

() Não

Tempo:

Tipo:

- Histórico Ocupacional:

Já foi exposto a ruído ocupacional?

() Sim

() Não

Tempo:

Era necessário o uso de protetores auriculares?

() Sim

() Não

Caso positivo, fazia uso freqüente? Sim Não

Já foi exposto a algum tipo de vibração no ambiente ocupacional?
 Sim Não

Tempo: Tipo:

- Exposição extra-laboral:

Você pratica ou já praticou tiro ao alvo? Sim Não

Serviu exército? Sim Não

Freqüenta discoteca ou locais onde tem música amplificada?

Sim. Freqüência: _____ Não

Pratica alguma atividade barulhenta?

Sim. Especificar: _____ Não

- Saúde geral:

Tem problema de pressão?

Alta Baixa Não

Diabetes? Sim Não

Doenças respiratórias?

Sim. Especificar: _____ Não

Doenças gastrointestinais?

Sim. Especificar: _____ Não

Doenças ou deficiências musculares ou esqueléticas?

Sim. Especificar: _____ Não

Sente dores de cabeça freqüentes?

Sim. Especificar: _____ Não

História de trauma ou cirurgia recentes?

Sim. Especificar: _____ Não

Apresenta algum tipo de prótese?

Sim. Especificar: _____ Não

Sente algum problema de saúde que não tenha sido mencionado?

Sim. Especificar: _____ Não

Já fez uso de medicamento por tempo prolongado?

Sim. Especificar: _____ Não

Faz uso de algum medicamento?

Sim. Especificar: _____ Não

- Saúde auditiva:

Tem dor de ouvido? Sim Não

Quando:

Tem zumbido:

Sim. Especificar: _____ Não

Sente tonteiras:

Sim. Especificar: _____ Não

Você percebeu alguma mudança na sua audição após doença, tomar medicamentos ou outra situação?

Sim. Especificar: _____ Não

Alguma pessoa na família tem problema auditivo? Sim Não

Grau de parentesco:

- Somente para as mulheres:

Está grávida?

Sim. Especificar tempo: _____ Não Não sei

Tem problemas hormonais?

Sim. Especificar: _____ Faz tratamento? _____

Não

Belo Horizonte ____/____/____.

Ao assinar esse termo, o voluntário se responsabiliza pelas informações fornecidas. Caso selecionado, será fornecido um “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, contendo informações específicas de como serão realizados os testes. Este também deverá ser assinado para garantir que o voluntário esteja de acordo com os testes a que será submetido, isentando os pesquisadores de quaisquer problemas decorrentes do mesmo.

Ass: _____

Anexo C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Para atender a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde

NOME (iniciais): _____

TELEFONE: _____

Este formulário tem como objetivo explicar aos voluntários que irão participar da pesquisa: “Análise da Mudança Temporária de Limiar de Indivíduos Expostos a Vibrações Mecânicas e Níveis de Pressão Sonora Elevados”, os procedimentos que serão adotados para obtenção dos dados necessários para a pesquisa. Os voluntários terão sido previamente selecionados através de um termo de compromisso/anamnese, onde fornecerão informações sobre suas condições de saúde. A pesquisa será desenvolvida pelos membros do Grupo de Acústica e Vibrações (GRAVI DEMEC – UFMG) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a saber, Renata Izumi (aluna de mestrado), sob a orientação a Maria Lúcia Machado Duarte (Ph. D.), responsável pelo projeto.

Objetivos e justificativa

O projeto aqui apresentado tem como objetivo estudar o efeito das vibrações mecânicas na audição. Para tal, utilizaremos a Mudança Temporária de Limiar, que é uma leve alteração nos limiares de audição. Pode ser causada por vários agentes, e é utilizada nas pesquisas como um meio de prever qual o dano que esses agentes podem causar na audição das pessoas. A alteração causada é temporária porque passado certo tempo, a audição retorna completamente ao normal.

Saber qual o efeito das vibrações na audição tem relevância se considerarmos o contexto ocupacional, indivíduos que trabalham diariamente expostos a esse risco podem estar sujeitos a problemas. Conhecer melhor esses problemas permite criar medidas de prevenção e proteção que porventura sejam necessárias.

Informações Gerais

No experimento os voluntários serão submetidos a três situações, que serão realizadas em dias distintos.

No primeiro dia de testes cada voluntário passará por uma bateria de exames audiológicos, a saber: meatoscopia, imitanciometria, audiometria tonal e emissões otoacústicas por produto de distorção.

Segue-se a descrição detalhada de cada exame.

- Meatoscopia: inspeção luminosa do canal auditivo externo, para tal, utiliza-se um otoscópio.
- Imitanciometria: teste que mede a integridade da membrana timpânica; é colocada uma oliva (borrachinha) na orelha do paciente que sente apenas uma variação de pressão no canal auditivo.
- Audiometria tonal: teste que define os limiares de audição, ou seja, qual é o som mais baixo que o paciente escuta. É realizado com fones de ouvido, dentro de uma cabine audiométrica, o paciente escuta o estímulo sonoro e deve responder positivamente.
- Emissões Otoacústicas: mede a integridade da orelha interna, utiliza-se uma oliva (borrachinha), similar àquela usada na imitanciometria, o paciente apenas escuta uma série de sons, mas não é necessário fazer nada.

Todos os exames são rápidos e inofensivos ao paciente.

Depois de realizados os exames audiológicos, o voluntário será submetido à primeira exposição: Exposição a Níveis de Pressão Sonora Elevados.

O voluntário se encontrará sentado, da forma como preferir, então, serão colocados fones de ouvido. Pelos fones ele escutará um som, parecido com um chiado, durante 15 minutos. Depois de passados dois minutos, será novamente submetido aos exames de audiometria tonal e emissões otoacústicas.

No segundo dia de testes, o voluntário será exposto à segunda situação: Exposição a vibrações mecânicas.

O voluntário estará sentado em uma cadeira com encosto, colocada sobre uma placa com dimensões 750 x 1000 x 3 mm e bordas dobradas, apoiada sobre quatro molas de compressão também de aço com diâmetro médio da espira de 76 mm, altura de 350 mm, diâmetro do arame de 6 mm e 9 espiras. A cadeira apresentará encosto e não será

acolchoada, pois isso alteraria os resultados encontrados. Este conjunto (pessoa, cadeira, placa e molas) será submetido à vibração, na direção vertical.

Após a exposição, o voluntário será submetido aos exames de audiometria tonal e emissões otoacústicas.

No terceiro e último dia os voluntários serão expostos às mesmas situações dos dois últimos dias, porém, concomitantemente. O paciente estará sentado na cadeira sobre a placa vibrante com os fones de ouvido emitindo ruído.

Após a exposição o voluntário será novamente submetido aos exames de audiometria tonal e emissões otoacústicas.

É importante salientar que o voluntário pode solicitar ser excluído da pesquisa a qualquer momento, desde que isso seja feito por escrito aos integrantes responsáveis.

Serão garantidos aos voluntários total sigilo e privacidade sobre os dados fornecidos pelos mesmos para realização da pesquisa, assim como sobre os dados obtidos durante os testes, que serão divulgados de forma anônima. Não está previsto nenhum ressarcimento ou indenização aos voluntários que participarem da pesquisa.

Coleta de dados – Procedimento Experimental

Além da explicação aqui apresentada, pretende-se convocar todos os voluntários que irão participar da pesquisa antes do início dos testes de forma a esclarece-los melhor sobre os procedimentos adotados e elucidar quaisquer dúvidas que por ventura venham a persistir. Entretanto, a qualquer momento durante a pesquisa, os voluntários poderão solicitar informações adicionais. Este termo de consentimento, assim como a explicação mais detalhada do procedimento a ser adotado, ficarão por conta da aluna de mestrado Renata Izumi, a quem todas as dúvidas devem ser dirigidas. Durante os testes ela será a pessoa responsável perante os voluntários.

No plano de coleta de dados que se pretende seguir, cada pessoa participará de três sessões de teste, divididas em três dias distintos.

O tempo estimado para cada uma das exposições e a intensidade dos sinais ainda não foram precisamente determinados, uma vez que a metodologia não se encontra totalmente definida.

A análise dos dados obtidos será feita de forma estatística. É importante salientar que esta etapa será feita a posteriori, não sendo mais necessário a presença do voluntário.

Belo Horizonte, ____/____/____.

Ao assinar esse termo, o voluntário está de acordo com os procedimentos de testes a que será submetido e isenta os pesquisadores de quaisquer problemas decorrentes do mesmo.

Ass.: _____

Anexo D - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO IMPEDANCIÔMETRO

Gerador de pressão interno de +300 a -600 daPa.

Capacidade de medir complacência de 0,5 a 5 ml.

Intensidades máximas para pesquisa do reflexo estapediano:

Contralateral: 250/500 Hz – 90 dBNA, 1000Hz – 110 dBNA e 2000/3000/4000/6000/8000 Hz – 120 dBNA.

Ipsilateral: 250/500 Hz – não faz, 1000/2000 Hz – 110 dBNA, 3000/4000 Hz – 120 dBNA e 6000/8000 Hz – não faz.

Acessórios que acompanham o equipamento: 1 Fone completo TDH-39, Arco com 1 sonda composta por transdutor de impedância (transdutor 220Hz e microfone), transdutor de reflexo estapediano e medidor de reflexo estapediano.

Anexo E - MODELO DE AUDIOGRAMA

Data: ____/____/____

Nome: _____ Repouso Auditivo: _____

Audiômetro: _____ Fabricante: _____ Data calibração: ____/____/____

Meatoscopia: OD: _____ OE: _____

Observações: _____

TRAÇADO AUDIOMÉTRICO

		Frequência em kHz							
		0,25	0,5	1	2	3	4	6	8
-	10								
	0								
	10								
	20								
	30								
	40								
	50								
	60								
	70								
	80								
	90								
	100								
	110								
	120								
130									

SÍMBOLOS		
Respostas presentes	OD	OE
Via de Condução	○	×
Aérea	∧	∨
Respostas ausentes	OD	OE
Via de Condução	⊖	⊗
Óssea	⊕	⊘

Anexo F - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS AUDIÔMETROS

F.1 Audiômetro Siemens SD-25

Audiômetro portátil de 1 canal

Frequências: 125/250/500/750/1000/1500/2000/3000/4000/6000/8000/12000 Hz

Via Óssea: 250/500/750/1000/2000/3000/4000/6000/8000 Hz

Atenuador aéreo: -10 dBNA a +100 dBNA com incremento de +20 dBNA para as frequências de 500/1000/2000/3000/4000 Hz

Atenuador ósseo: -10 dBNA a +50 dBNA para 250/6000/8000 Hz e de -10 a +70 para 500/1000/2000/3000/4000 Hz

Atenuador Mascaramento: 0 dBNA a +90 dBNA com incremento de +20 dBNA

Tipo de tom puro: contínuo, pulsátil

Sinal de mascaramento: *Narrow band noise, speech band noise.*

Teste de logaudiometria por microfone

Pulse tone, 25 pulsed/seg.

Voltagem: 117 +/- 10 % - 50 - 60 Hz- 234 W +/- 10% - 50 - 60 Hz.

Acessórios que acompanham o equipamento: Fone completo TDH-39, Arco ósseo completo com vibrador B. 71, Microfone para logaudiometria.

F.2 Audiômetro Maico MA-41

Audiômetro portátil de 1 canal

Frequências: 250/500/750/1000/1500/2000/3000/4000/6000/8000 Hz

Via Óssea: 250/500/750/1000/2000/3000/4000 Hz

Atenuador aéreo: -10 dBNA a +110 dBNA

Atenuador ósseo: -10 dBNA a +70 dBNA

Atenuador Mascaramento: -10 dBNA a +110 dBNA

Tipo de tom puro: contínuo, pulsátil, *warble* e FM +/- 15%.

Sinal de mascaramento: *Narrow band noise, speech band noise.*

Teste de logaudiometria por microfone ou gravador, *Talk back* e monitor.

Talk fwd.

Pulse tone, 25 pulsed/seg.

Voltagem: 117 +/- 10 % - 50 - 60 Hz- 234 W +/- 10% - 50 - 60 Hz.

Acessórios que acompanham o equipamento: Fone completo TDH-39, Arco ósseo completo com vibrador B. 71, Microfone para logoaudiometria, kit de retorno para logoaudiometria e saída FF para audiometria em campo.

Anexo G - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO APARELHO DE EOAS

Equipamento: AUDX SCOUT SPORT

Fabricante: Biologic

Apresenta dois tipos de sinais, o produto de distorção e os cliks (utilizados na pesquisa de emissões evocadas Transientes). Portátil e de fácil utilização com resultados objetivos. Utiliza baterias recarregáveis, memória para 10 testes no aparelho, microfone protegido, novo e melhorado, com a ponta fácil de limpar e que dificulta entupimento ou contaminações.

Protocolo de teste para exame EOA por Produto de Distorção Teste diagnóstico:

Tipo *display*: DP-Gram

Eixo horizontal: F2 frequência

Frequência inicial (Hz): 8000

Frequência final (Hz): 750

Razão F1/F2: 1.22

Nível L1(dB): 55

Nível L2(dB): 40

Pontos por oitava: 2

Limite tempo ponto (segundos): 20

Amplitude mínima PD (dB): -5.0

Ruído (dB): -17.0

Razão sinal/ruído (dB): 8.0

Tamanho *buffer*: 50

Anexo H - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO PROTETOR AUDITIVO

Certificação de Aprovação

Nº do CA: 7442

Nº do Processo: 46000.017653/76-18

Data de Emissão: 26/6/2002

Validade: 26/06/2007

Tipo do Equipamento: PROTETOR AUDITIVO

Natureza: Importado

Descrição do Equipamento: protetor auditivo, circum-auricular, constituído por duas conchas de plástico, revestida com almofadas de espuma em suas laterais (que entram em contato com a cabeça do usuário) e no interior das conchas. Possui também um arco que serve para manter as conchas firmemente selada contra a região das orelhas do usuário. REF.: 3M 1435.

Dados Complementares

Norma: ansi s12.6 - 1997 método b - método do ouvido real - colocação pelo ouvinte

Fabricante: 3M DO BRASIL LTDA

Aprovado: proteção auditiva do usuário contra ruídos superiores à 85 db, conforme tabela de atenuação a seguir.

Observação: Não Informado.

Laudos/Atenuação

Tipo do Laudo: Laboratório

Laboratório: LARI - UFSC/SC

Número Laudo: 018/2001

Data do Laudo: Não Informado

Responsável: Não Informado

Registro Profissional: Não Informado

Frequência(Hz):	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRRsf
Atenuacao(dB):	13,62	19,45	28,39	33,7	33,8	-	39,23	-	38,79	22
Desvio Padrão:	4,4	5,1	4,8	3,6	3,9	-	3,5	-	3,8	-

Anexo I – INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS EXPOSIÇÕES A VCI

I.1 Acelerômetro triaxial

Modelo: AP 2083

Nº de série: 5019

Informações técnicas:

Tabela I.1 – Acelerômetro triaxial

Sensibilidade Axial (mV/g)	X: 10,2 /Y: 9,9 /Z: 10,0
Sensibilidade transversa relativa (%)	X: <3,0 /Y: <2,9 / Z: <2,7
Voltagem (<i>suply voltage</i>) (V)	+15 a 30
Corrente (<i>suply current</i>) (mA)	2 a 20
Nível de ruído (g)	<0,0003
Saída bivolt (V)	8 a 10
Impedância de saída (Ω)	< 500
Escala de Amplitude (pico g)	500
Frequência de ressonância (kHz)	>25
Escala de Frequencia (Hz) ± 1 dB	0,5 a 8000
Escala de Temperatura ($^{\circ}$ C)	-40 a +125
Peso sem o cabo (gramas)	35
Material	Liga de Titânio

I.2 Acelerômetro Piezelétrico

Tabela I.2 – Acelerômetro piezelétrico

Informações	
Modelo	353B34

Fabricante	PCB – Piezotronics, Inc.
Sensibilidade	101,7 mV/g
Sensibilidade transversa	1,8%
Frequência de ressonância	29,5 kHz
Nível de saída (<i>output Bias level</i>)	10,0 V
Constante de tempo	0,7 s
Intervalo de alcance	± 50g
Resolução	0,001g
Temperatura de trabalho	-65/+250° F

I.3 Amplificador de Sinais

Modelo: CE 2000

Potência mínima garantida:

120 VAC, 60 Hz unidades, modo stereo, por canal, ambos os canais dirigidos:

1 kHz com 0,5 % THD

2 ohms - 975 W

4 ohms - 660 W

8 ohms - 400 W

1 kHz com 0,1 % THD

4 ohms - 1950 W

8 ohms - 1320 W

Performance:

Tabela I.3 – Performance do amplificador

Frequencia de resposta (a 1W, 20HZ - 25kHz)	± 0,2 dB
Resposta de fase (a 1W, 20Hz – 20 kHz)	± 15°
Escala de sinal para ruído abaixo da potência (<i>rated power</i>) (20 Hz a 20 kHz)	>100 dB
Distorção harmônica total (THD) na potência (<i>rated power</i>) de 20 Hz a	0,5%

20 kHz	
Distorção de intermodulação (IMD) 60 Hz e 7 kHz a 4:1, de 163 miliwatts para total potência de largura de banda (<i>bandwidth</i>)	<0,1%
Fator de amortecimento: 10 Hz a 400Hz	>400
<i>Crosstalk</i> (20 Hz a 20 kHz)	>55dB
Modo comum de rejeição (CMR) (20 Hz a 1 kHz)	>70 dB
Carga de impedância: Stereo	2,4,8 ohms
Ponte mono	4, 8 ohms
Saída DC <i>offset</i> (saída curta)	± 10mV
Impedância de entrada nominalmente balanceada, nominalmente desbalanceada	20 k ohms, 10 k ohms
Ganho de voltagem: 26 dB	26 dB
1,4V	32,1 dB
Controles AC requeridos	50/60 Hz, 100-240 VAC
Potência (<i>draw at idle</i>)	90 W
Ventilação	Ventilador proporcional
Dimensões: largura, peso e profundidade	48,3cm x 13,34cm x 31,11 cm
Peso total	20, 98 Kg

I.4 Excitador

Modelo: VTS 150

Tabela I.4 – Especificações técnicas do excitador

Força máxima (Pico Seno)	150 lbf
Ventilador para amplificador	incluso
Ventilador para o vibrador	Incluso
Curso (p-p)	1,0"

Velocidade	70 ips
Aceleração máxima	110 g
Peso da armadura	.71 lbs
Rigidez da suspensão	40 lbs/in
Primeira ressonância principal	5400 Hz
Escala de frequência	2 - 8500 Hz
Impedância nominal	6 ohms
Potência	28 A/ 120 V 15 A/ 240 V

I.5 Analisador de Sinais

Modelo: Maestro WB

Possui 4 canais compatível com acelerômetro triaxial permitindo medição nos três eixos de vibração simultaneamente. Memória de 2 MB para aproximadamente 999 medições que podem ser descarregadas em computador por uma porta serial para o software incluso (dB MAESTRO) de análise e armazenamento.

Em cada versão o Maestro possui as seguintes características gerais :

- Alimentação para sensores pré-amplificados (tipo ICP®).
- Calibração por sensibilidade e por calibrador externo.
- 2MB de memória para armazenamento de dados.
- Porta serial RS232C para descarregamento dos dados armazenados na memória.
- Saídas de sinais AC para cada canal.

As Configurações possíveis com o Maestro são:

- WB – Corpo Inteiro (“Whole Body”) (3 canais) – para medições de vibrações do corpo humano (WB) e da Transmissibilidade Efetiva de Aceleração para o Assento (opção SEAT). Medição VDV e MTVV.
- HA – Mãos e Braços (3 canais) – para medições de vibrações de Mãos e Braços (H&A).
- VIB (1 canal) – Para medições de Vibração em geral.

- NO (1 canal) – Para medições de Ruído.

I.6 Gerador de Sinais

Modelo: Topward Function Generator 8102

Distorção: 1%

Nível de saída: 20ns

Rise/fall: 100ns

Sensibilidade: 25mVrms

Contador de Frequência: LED Display verde com 6 dígitos 0,4”
1 canal

Formas de onda: pulso, pampa, seno, quadrado e triangular

Frequência mínima: 0,1 Hz

Frequência máxima para onda seno: 2 Mhz

Exatidão de frequência: 0,01%

Voltagem de saída máxima: 20V

Impedância de saída: 50 Ohm

Anexo J - TESTE DE WILCOXON

Segundo Siegel (1975), o teste de Wilcoxon é um teste estatístico não paramétrico indicado para analisar duas amostras relacionadas, onde cada indivíduo é o seu próprio controle, sendo submetido a duas situações diferentes. Testes não paramétricos são utilizados para amostras que não se caracterizam por uma distribuição normal. O teste consiste em atribuir maior ponderação a resultados que indicam maiores diferenças entre os pares.

Seja a hipótese nula H_0 a ausência de diferenças entre as duas situações a testar e a hipótese alternativa H_1 que as amostras são diferentes.

Considerando um par de resultados a serem comparados, seja d_i a diferença entre cada par. Serão atribuídos postos a cada d_i na seguinte ordem: menor valor de d_i posto 1 e assim seqüencialmente todos os resultados, independente do sinal. Após todos os valores escalonados, coloca-se o valor do sinal correspondente.

O próximo passo é somar os postos de valor positivo e somar os postos de valor negativo, a soma que tiver o menor valor absoluto (T) será comparada com o valor representado na Tabela J.1.

Tabela J.1 – Valores críticos de T no testes de Wilcoxon

N	Nível de significância para prova unilateral		
	0,025	0,01	0,005
	Nível de significância para prova bilateral		
	0,05	0,02	0,01
6	0	-	-
7	2	0	-
8	4	2	0
9	6	3	2
10	8	5	3
11	11	7	5
12	14	10	7
13	17	13	10
14	21	16	13
15	25	20	16
16	30	24	20
17	35	28	23
18	40	33	28

FONTE: Siegel, 1975.

Caso o valor encontrado for menor do que o referenciado na tabela, considera-se que H_0 será rejeitada, conforme o nível de significância indicado, o que indica que as situações são diferentes.

Podem acontecer empates, quando dois resultados apresentam diferença igual a zero ou quando dois ou mais d_i apresentam o mesmo valor. No primeiro caso os pares são excluídos e os demais reordenados, em casos de valores iguais, os mesmos receberão o mesmo posto, por exemplo, sejam os valores $-1, -1$ e 1 os valores de d_i correspondentes, realiza-se a seguinte operação $\frac{1+2+3}{3} = 2$ para definição do posto, o próximo posto seria então o posto 4, uma vez que os anteriores já foram utilizados.

No caso de pequenas amostras ($n \leq 25$) a Tabela J.1 fornece dados tanto para provas unilaterais, quanto bilaterais. Utiliza-se valores unilaterais para os casos onde é possível se prever o sinal da menor soma de postos, ou o sentido das diferenças.

Para amostras maiores do que 25, realiza-se um cálculo para se obter o valor de z , segundo a EQ. (J.1).

$$z = \frac{T - \frac{N(N+1)}{4}}{\sqrt{\frac{N(N+1)(2N+1)}{24}}} \quad (\text{J.1})$$

Deve-se então determinar a probabilidade associada de z sob H_0 , com referência nos valores de uma outra tabela que pode ser encontrada na referência consultada aqui, Siegel (1975). nos casos de provas bilaterais duplica-se o valor de p , caso o valor de p for menor do que α , H_0 é rejeitada.