



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA



Faculdade de Engenharia

Campus de Bauru

JAMES LUIZAR DE QUEIROZ

**APLICAÇÃO DE EXAME DE RESPOSTA AUDITIVA DE
ESTADO ESTÁVEL PARA AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO
DE PROTETORES AURICULARES**

BAURU
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA



Faculdade de Engenharia

Campus de Bauru

JAMES LUIZAR DE QUEIROZ

APLICAÇÃO DE EXAME DE RESPOSTA AUDITIVA DE ESTADO ESTÁVEL PARA AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE PROTETORES AURICULARES

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus Bauru, para Exame de Qualificação, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. João Candido Fernandes

BAURU
2009

Queiroz, James Luizar de.

Aplicação de exame de Resposta Auditiva de Estado Estável para avaliação da atenuação de protetores auriculares / James Luizar de Queiroz, 2009.

79 f.

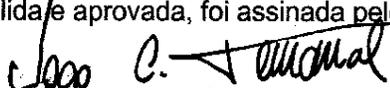
Orientador: João Candido Fernandes

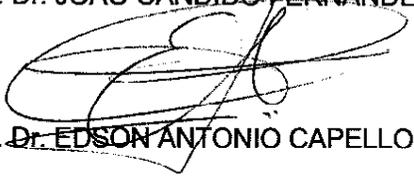
Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2009

1. Protetor auditivo. 2. Atenuação do som. 3. Resposta Auditiva de Estado Estável. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JAMES LUIZAR DE QUEIROZ, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 18 dias do mês de dezembro do ano de 2009, às 09:00 horas, no(a) ANFITEATRO DO STI, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOAO CANDIDO FERNANDES do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. EDSON ANTONIO CAPELLO SOUSA do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. ANDREA CINTRA LOPES do(a) Departamento de Fonoaudiologia / Faculdade de Odontologia de Bauru - Usp, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JAMES LUIZAR DE QUEIROZ, intitulado "APLICAÇÃO DE EXAME DE RESPOSTA AUDITIVA DE ESTADO ESTÁVEL PARA AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE PROTETORES AURICULARES". Após a exposição, o discente foi argüido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO _____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. JOAO CANDIDO FERNANDES


Prof. Dr. EDSON ANTONIO CAPELLO SOUSA


Profa. Dra. ANDREA CINTRA LOPES

Ao Eterno Deus,
que a todos dá coragem e força para os
desafios da vida.

À minha esposa, CILIONE,
e ao meu filho THOMAS ABNER,
pelo carinho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Meus mais profundos e sinceros agradecimentos àqueles que colaboraram para concretização deste trabalho, entre os quais ressalto em particular:

Prof. Dr. JOÃO CANDIDO FERNANDES,
que magistralmente me ensinou a lidar com a ciência do som, sua propagação, suas medições, e que me inspirou na consecução desta pesquisa.

Aos professores Dr. ALCIDES PADILHA, Dr. BENTO RODRIGUES DE PONTES JUNIOR e Dr. VICENTE LUIZ SCALON,
que não menos, ampliaram os horizontes para o conhecimento científico e para pesquisa.

À Prof^a. Dr^a. Kátia Alvarenga de Freitas, da Universidade de São Paulo – Faculdade de Otondologia de Bauru – FOB,
pelos valiosos ensinamentos sobre o sistema auditivo, eletrofisiologia e procedimentos para pesquisa, apresentados nesta dissertação.

À RAQUEL AGOSTINHO PESSE, mestranda em fonoaudiologia pela FOB,
pela preciosa ajuda durante o processo de coleta de dados.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

Tenha em mente que tudo que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações. Receba essa herança, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos de seus filhos.

Albert Einstein

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi determinar os níveis de atenuação de Dispositivos de Proteção Auditivos (DPAs), usando um teste chamado Resposta Auditiva de Estado Estável (RAEE). O teste RAEE é um exame eletrofisiológico que usa elétrodos para captar a atividade elétrica do tronco encefálico, sem depender da resposta do indivíduo, eliminando a subjetividade, assim como aspectos ligados à atenção, tempo de resposta, níveis de audição, etc. Neste método foram avaliados dez indivíduos, por meio da RAEE, estimulando-se o sistema de audição, primeiro sem protetor e, subsequentemente, com dois tipos de protetores auditivos, a saber, um de inserção intra-auricular outro circunauricular de uso comum no mercado. Os resultados evidenciaram valores inferiores àqueles expressos no Certificado de Aprovação: para o *plug*, uma diferença de 10,3 dB, e para a concha, 4,3 dB. Na repetição dos testes, encontrou-se uma boa repetitividade, com diferença entre zero e 5 dB para 72,2% das frequências testadas.

Palavras-chave: Proteção Auditiva; Atenuação do Som; Métodos de avaliação auditiva objetivo e subjetivo; Equipamento de Proteção Auditiva; Resposta Auditiva de Estado Estável; RAEE; Ruído.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the levels of attenuation of Hearing Protection Devices (HPDs) using a test called Auditory Steady-State Response (ASSR). The ASSR test is an electrophysiological examination that uses electrodes to capture the electrical activity of the auditory nerve and the brainstem without depending on the individual's response, thus eliminating the subjectivity of personal factors such as attention, response time, hearing ability, etc. This paper presents the results of a ten test which evaluated the hearing threshold of individuals, by first stimulating the hearing system without a protector and subsequently with two kinds of hearing protector, called earplug and earmufflers, both commercial used . The results of this study were lower than those expressed in the Certificate of Approval: to *plug* a gap of 10.3 dB and 4.3 dB the ear mufflers. The repetition of tests found a good repeatability with a difference between zero and 5 dB for 72,2% of the frequencies tested.

Keywords: Hearing Protection; Sound Attenuation, Subjective and Objective Hearing Protection Evaluation Method; Hearing Protection Devices; Auditory Steady-State Response.

Lista de Figuras

Figura 1	- As antigas muralhas cananeias de Jericó (reprodução)	17
Figura 2	- Ruínas da cidade de Jericó	17
Figura 3	- Fotos da Ponte de Tacoma (EUA), em 1940	18
Figura 4	- Faixas de frequências audíveis	23
Figura 5	- Apresentação das transformações de W/m ² para deciBel	26
Figura 6	- Representação da movimentação das moléculas de ar com demonstração dos pontos de alta pressão (A) e de rarefação (B)	27
Figura 7	- Ondas longitudinais comprimindo o ar até vibrar o tímpano	27
Figura 8	- Os meios de propagação do som: reflexão, absorção e transmissão	29
Figura 9	- Princípio de Huygens-Fresnes da difração	29
Figura 10	- Orelhas externa, média e interna	30
Figura 11	- Detalhe das orelhas médias e interna, ossículos e ligamentos. - Vista dos músculos estapédio e tensor do tímpano	31
Figura 12	- Orelha interna, transmissão da vibração	33
Figura 13	- Modelo de propagação de uma onda na membrana basilar	34
Figura 14	- Vista das escalas vestibular, timpânica e média da cóclea	34
Figura 15	- Resposta da membrana basilar às diversas frequências	35
Figura 16	- Vista do Órgão de Corti	36
Figura 17	- Detalhe da propagação sonora e a excitação dos estereocílios	37
Figura 18	- Deslocamento dos estereocílios após vibração da membrana - basilar	37
Figura 19	- Despolarização das células ciliadas	38
Figura 20	- Enervação das células ciliadas pelos neurônios do gânglio espiral	38
Figura 21	- Curvas do limiar de audibilidade para uma população de indivíduos	40
Figura 22	- Comportamento da audição em função das frequências	41
Figura 23	- Função logaritmo da curva de Sensação x Estímulo	42
Figura 24	- Protetores auriculares (tipos <i>plug</i> e concha com suas peças internas)	43
Figura 25	- Formas de introdução do som no sistema auditivo	44
Figura 26	- Câmara anecóica	45
Figura 27	- Cabeça artificial – parâmetros construtivos	46
Figura 28	- Cabeça artificial – dispositivo em uso	46
Figura 29	- Comparação entre o NRR obtido em laboratório (norma ANSI S3.19-1974) e dados reais obtidos em campo, para protetores tipo <i>plug</i> e concha	50

Figura 30 - Resultado de testes comparativos entre as normas ANSI 1974, ANSI S12.6 (1997) – Método B e Mundo Real – para protetor tipo <i>plug</i>	51
Figura 31 - Resultado de testes comparativos entre as normas ANSI 1974, ANSI S12.6 (1997) – Método B e Mundo Real – para protetor tipo concha	51
Figura 32 - Localização dos canais neurais que conduzem o som até o córtex cerebral	56
Figura 33 Detalhe da caixa craniana	57
Figura 34 Posicionamento dos eletrodos	57
Figura 35 - Gráficos polares representando a disposição dos vetores na análise da RAEE	62
Figura 36 - Representação da RAEE no domínio da frequência pelo FFT	63
Figura 37 - Audiodosímetro de ruído para avaliação do NPS de campo no interior da cabina	64
Figura 38 - Cabina de testes da Faculdade de Odontologia de Bauru (FOB), da Universidade de São Paulo (USP)	65
Figura 39 - Resultados dos limiares dos dez testes	72

Lista de Tabelas

Tabela 1	- Resultado dos testes, norma ANSI S12.6 (1997) – Método B)	50
Tabela 2	- Formato de cálculo do NRR	52
Tabela 3	- Exemplo de cálculo do NRR	52
Tabela 4	- Valores de “a” para vários níveis de proteção	53
Tabela 5	- Exemplo de cálculo dos valores assumidos de proteção (APV_{f84})	53
Tabela 6	- Exemplo de cálculo da diferença entre L_{af} (k) e APV_{f84}	54
Tabela 7	- Limiares obtidos nos testes	70
Tabela 8	- Média dos limiares	71
Tabela 9	- Desvio padrão e atenuação com desvio	72
Tabela 10	- Cálculo da atenuação dos protetores (dBNA)	73
Tabela 11	- Comparação entre as atenuações para o protetor <i>plug</i>	73
Tabela 12	- Comparação entre as atenuações para o protetor concha	74
Tabela 13	- Comparação entre a atenuação dos protetores (dB)	74
Tabela 14	- Verificação da repetitividade	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 O som: história	15
2.2 O fenômeno físico chamado som	22
2.2.1 Características do som	23
2.2.1.1 Frequência	23
2.2.1.2 Timbre	24
2.2.1.3 Intensidade	24
2.2.2 O som e sua propagação	26
2.2.2.1 Reflexão	28
2.2.2.2 Absorção	28
2.2.2.3 Transmissão	28
2.2.2.4 Difração	29
2.3 Fisiologia do Sistema Auditivo	30
2.3.1 Sistema auditivo	30
2.3.2 As submodalidades da audição	39
2.4 Psicoacústica	40
2.5 Protetores Auriculares	42
2.5.1 Dispositivos de proteção auditiva: sua aplicação e limitações	42
2.5.2 Determinação da atenuação dos protetores auditivos	45
2.5.3 Cálculo dos níveis de proteção	52
2.6 Exame eletrofisiológico Resposta Auditiva de Estado Estável (RAEE)	55
3 MATERIAL E MÉTODO	64
3.1 Materiais e equipamentos empregados	64
3.1.1 Protetores auditivos	64
3.1.2 Audiódosímetro de ruído e calibrador	64
3.1.3 Audiômetro	65
3.1.4 RAEE	65
3.1.5 Cabina acústica e caixa acústica para ruído de campo	65
3.2 Critérios de inclusão dos participantes na pesquisa	66
3.3 Método	66
3.3.1 Procedimentos preliminares ao exame	66
3.3.2 Procedimentos para a realização do exame	67
3.4 Limitações	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5 CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

A rápida evolução tecnológica introduziu mais máquinas, ferramentas e equipamentos no cotidiano da humanidade; some-se a isso, as inúmeras atividades para adequar o meio ambiente ao homem e o resultado poderá ser observado em grandes obras, construções e reformas, entre outros.

Paralelamente a esta evolução, encontra-se um parque industrial que envelhece ano a ano: máquinas e equipamentos obsoletos, geradores de Níveis de Pressão Sonora (NPS) cada vez mais elevados e, conseqüentemente, em grande parte responsável pelos danos à saúde do homem, em todos os matizes das atividades e processos. Como se vê, a ocorrência do ruído é indissociável dos eventos artificiais.

Com a Revolução Industrial (século XVIII), a produção se tornou prioridade e o homem nunca mais conseguiu melhorar o ambiente em que habita. O desenvolvimento tecnológico do século XX, especialmente com a introdução do rádio e do amplificador, na década de 1920, com o aparecimento do automóvel e desenvolvimento da aviação militar, promoveu um incremento do ruído na zona urbana.

De acordo com Shafer (1991), quanto mais primitiva a cultura, menores os NPS encontrados, referindo que enquanto na cultura primitiva a composição do som era 69% natural e somente 5% por utensílios, na cultura contemporânea o ruído produzido por utensílios é de 68% e os sons naturais somente 6%. Portanto, uma mudança inversamente proporcional nos NPS.

Fernandes e Queiroz (2009) relataram, com propriedade, os efeitos do ruído no homem, destacando que o som talvez seja o que mais sensibiliza o ser humano, podendo provocar relaxamento, alegria, tristeza, no caso da música, ou irritação, como no caso de uma goteira que impede conciliar o sono. Conforme os autores, com o desenvolvimento das indústrias e o surgimento dos grandes centros urbanos, o silêncio deixou de existir em grande parte do planeta.

Para Fernandes (2001), o homem teve que se acostumar com o som produzido contemporaneamente, como quem se acostuma a uma companhia desagradável.

Queiroz (2006) destacou que, dentro das atividades modernas, o ruído é um dos principais geradores de doenças – ocupacionais ou não – relatando a necessidade de se realizar estudos e análises, tomando-se medidas baseadas em normas e padrões, para o controle da exposição do homem ao ruído.

O uso de proteção auditiva vem se tornando cada vez mais preconizado, como uma forma de resguardar a saúde auditiva de milhares de trabalhadores, uma vez que são extremamente conhecidos os danos causados pelos altos NPS aos quais estão submetidos os trabalhadores, em suas ocupações, bem como toda a população, em muitas atividades de lazer.

Nos últimos anos, com a crescente conscientização mundial quanto aos problemas ambientais, órgãos ligados a agências reguladoras em meio ambiente vêm tratando o problema do ruído como assunto de degradação do meio ambiente e este, bem entendido, é todo espaço onde se desenvolve a vida, incluindo todas as atividades do homem, dos animais e vegetais (BRASIL, 2002), seja meio ambiente de lazer, de trabalho e circunvizinhança geral a estes pontos de geração de ruído.

Como se pode observar, o que degrada o meio ambiente degrada a saúde humana, de maneira que, os elevados NPS encontrados já se transformaram em um caso de saúde pública.

Embora não seja objeto desta pesquisa, inúmeras legislações no mundo visam o equilíbrio do meio ambiente, procurando mitigar os efeitos do ruído sobre a saúde humana.

Para Fernandes e Queiroz (2009), o silêncio deve ser visto como um direito do cidadão e não somente um fator determinante de conforto ambiental.

Como referido anteriormente, os protetores auriculares são dispositivos de proteção de larga difusão, porém, o seu nível de atenuação apresenta uma complexidade técnica, visto que tal avaliação está diretamente ligada a alguns fatores objetivos – material constitutivo, geometria – e, principalmente, subjetivos – associados à percepção dos usuários avaliados.

Os protetores, embora bastante conhecidos, carecem de estudos e pesquisas para determinar de maneira mais eficiente qual é a sua real atenuação e, desta forma, viabilizar melhorias. Um protetor, por mais simples e básico que seja, é realmente muito melhor do que a exposição direta a fontes sonoras que, sem dúvida, ocasionam inúmeros casos de deficiência auditiva. Para Gerges (2000) até a simples

introdução do dedo indicativo no conduto auditivo já é capaz de trazer conforto acústico frente aos altos NPS encontrados.

Em razão das inúmeras dificuldades em se estabelecer qual é o nível real de atenuação de protetores auditivos, surgiram ao longo do tempo diversos métodos desenvolvidos para determinar um número único que expresse a atenuação de um protetor auricular. Todo valor encontrado, porém, é passível de discussão, uma vez que as metodologias utilizadas envolvem aspectos subjetivos. A questão que se impõe, portanto, é: como estabelecer objetivamente o nível de atenuação de protetores auditivos?

Buscando responder a esta questão, buscou-se desenvolver nesta pesquisa uma avaliação objetiva do nível de atenuação dos protetores, independentemente da subjetividade do indivíduo, medindo-se diretamente na região do tronco encefálico próximo ao córtex cerebral, o ruído que chega no sistema auditivo, ou seja, medindo-se o sinal elétrico que um som provoca, sem proteção e com proteção. Presume-se que esta seria a maneira mais direta e objetiva de avaliar um protetor, sem interferências da percepção humana.

Para tal, foram utilizados conceitos e técnicas empregados modernamente na Audiologia. A pesquisa foi realizada, em três etapas, empregando-se a Resposta Auditiva de Estado Estável (RAEE), para determinar o limiar eletrofisiológico, ou seja, o sinal elétrico que chegou na região do tronco encefálico próximo ao córtex cerebral: primeiramente sem proteção e, após, com dois tipos diferentes de protetores auriculares – *plug* e *concha*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O som: história

Ao falar sobre o som, Pierce (1994) retrocedeu ao momento histórico em que a seleção natural deu origem a um ser com a faculdade de ouvir, aspecto importantíssimo para uma maior capacidade de sobrevivência.

De acordo com o autor, a comunicação já existia desde o aparecimento dos dinossauros:

(...) com o aparecimento do Australopiteco (há cerca de 30 milhões de anos), e de sua postura ereta, mãos e braços puderam ser utilizados e, assim possibilitou a construção de artefatos musicais, que por sua vez, através de experimentos empírico-intuitivos, passou de geração em geração. Com o advento e o domínio do fogo pelo **Homo Erectus** (há cerca de 1,5 milhão de anos), e da fixação deste à terra pelo domínio da agricultura, possibilitou-se uma maior proliferação dos conhecimentos musicais e, o homem dantes responsável pela busca contínua de alimentos, caracterizada por um cotidiano nômade, passou a ocupar-se também do entretenimento (PIERCE, 1994, p. 3).

Pierce (1994) destacou, ainda, que a invenção da roda (aproximadamente 5.500 anos atrás) abriu caminho para a construção de dispositivos que diminuiriam os esforços físicos do homem, porém, aumentaram os sons artificiais no cotidiano, superando os níveis existentes na natureza.

(...) os sons compostos quase que na sua totalidade por fenômenos naturais, foram gradativamente substituídos por sons artificiais, ao longo do desenvolvimento industrial e das invenções do homem. Muitos escritos (invenção da escrita há cerca de 5.000 anos), permitiram ao homem organizar melhor os conhecimentos adquiridos. Contudo, catástrofes naturais (como o dilúvio) e, até artificiais, como a queima de livros (destruição de todos os livros da cultura chinesa pelo imperador Shih Huan-ti, há cerca de 2.300 anos, o incêndio da biblioteca de Alexandria, por Júlio César, em 47 a.C., para que não caísse nas mãos dos egípcios), fizeram com que muitos dos registros, que poderiam confirmar ou informar algumas das suposições atuais, não tenham sobrevivido. Interessantemente, escritos épicos, datados de 4.000 a.C., dão conta que o dilúvio foi um castigo dos deuses, devido à perturbação de seu sossego, pelo excessivo ruído produzido pelos homens da época (PIERCE, 1994, p. 3).

Relatos com inúmeras referências à música são encontrados na Bíblia: “E o nome do seu irmão era Jubal. Ele mostrou ser o precursor de todos os que manejam a harpa e o pífaro” (Gênesis 4, vs. 21).

Há quem considere, inclusive, que instruções dadas por Deus a Moisés, em Êxodo 26, 7-8, têm motivos acústicos: uma vez que os tecidos têm grande capacidade de absorção sonora, fato perfeitamente observável e corroborado em locais com muitas roupas penduradas, como nas antigas tinturarias ou lavanderias, ou em feiras livres, onde se concentram as barracas de venda de roupas.

E tens de fazer panos de pêlo de cabra, para a tenda sobre o tabernáculo. Farás onze panos de tenda. O comprimento de cada pano de tenda é de trinta côvados e a largura de cada pano de tenda é de quatro côvados. Há uma só medida para os onze panos de tenda (Êxodo 26, 7-8).

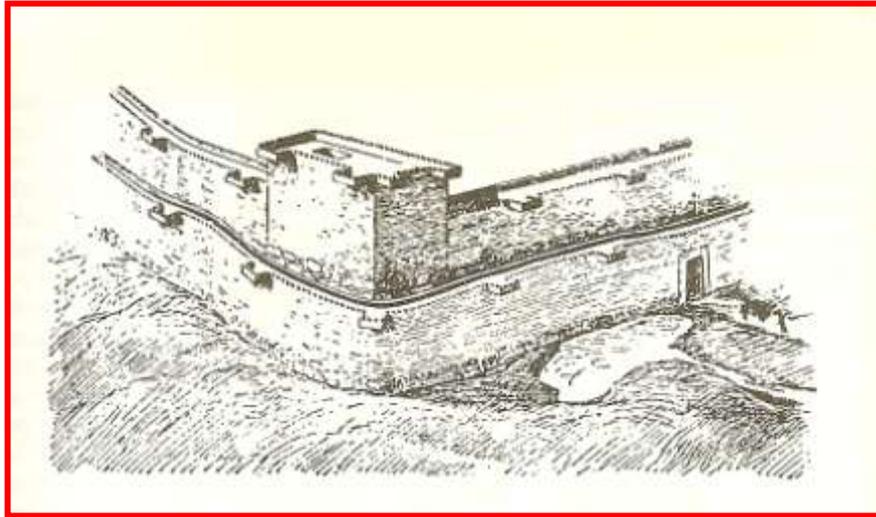
Não é difícil comparar tais instruções com os atuais modelos de tratamento acústico dos recintos fechados.

Existem inúmeras outras referências bíblicas que poderiam ser citadas neste trabalho, como a canção de Moisés, após a passagem pelo Mar Vermelho (Êxodo 15, 1); a festa comandada por Miriã, irmã de Moisés, no mesmo episódio; todas elas destacando que as canções eram acompanhadas por um instrumento – o tamborim (Êxodo 15, 20), sem mencionar as inúmeras canções escritas por Davi, no livro dos Salmos.

Também há quem mencione a passagem bíblica em Josué 6, 3-20, como a primeira manifestação da ressonância acústica¹ (por volta de 1.400 a.C.). Em tal episódio, as muralhas da cidade de Jericó (Figuras 1 e 2), construídas em torno de 6.850 a.C., ruíram após um período de sucessivos abalos gerados pela vibração das trombetas dos hebreus. Ou seja, supõe-se que as muralhas tenham vibrado na frequência de ressonância das trombetas e aquela estrutura rígida passou a vibrar infinitamente. Como não havia um sistema de amortecimento que absorvesse a energia de vibração, a muralha chegou à tensão de ruptura – colapsamento, conforme relatado no texto bíblico:

¹ Este fenômeno, chamado de vibração, é a base para a formação do som, ou seja, todo corpo que vibra é capaz de gerar som (como as cordas de um violão, as cordas vocais, entre outros) – alguns audíveis ao ser humano, outros, porém, inaudíveis.

Vocês, todos os guerreiros, rodeiem a cidade, dando uma volta ao redor. Façam isso durante seis dias.
(...) Ao ouvir o toque de trombeta, o povo deu um grande grito e a muralha da cidade veio abaixo. O povo entrou para a cidade, cada um do seu lugar, e tomou a cidade (Josué 6, 3;20)



Fonte: Keller (1978, p. 179)

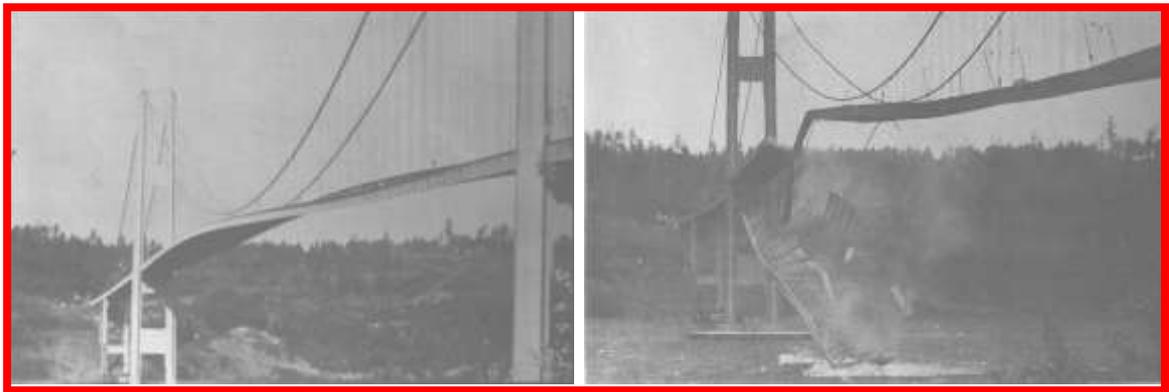
Figura 1 - As antigas muralhas cananéias de Jericó (reprodução)



Fonte: Sociedade Bíblica do Brasil (2007)

Figura 2 – Ruínas da cidade de Jericó

Tal ocorrência se repetiria outras vezes na história. A mais famosa ocorreu em 1940, com a queda da ponte de Tacoma (Figura 3), nos Estados Unidos. Nesta ponte, sobre o canal de Tacoma, o mesmo fenômeno – o da ressonância – levou uma estrutura de concreto e ferros ao colapso em poucos minutos, no dia 7 de setembro de 1940.



Fonte: Smith (1974)

Figura 3 – Fotos da Ponte de Tacoma (EUA), em 1940

Pierce (1994) afirmou que, a partir de 2.500 a.C., na Grécia Antiga, existem registros datados que dão parâmetros relacionados ao som, quando grandes pensadores começavam suas tentativas em dar respostas a questões que envolviam o som. Conforme o autor, Aristóteles (384-322 a.C.) foi o precursor desses estudos e pensamentos, ainda que sem base científica, entendendo o som como o resultado do movimento do ar. Aristóteles, como hoje se sabe, erroneamente, relacionava a altura do som (NPS) com as suas diferentes velocidades.

Em seguida, os pitagóricos (Pitágoras, 550 a.C., e seus discípulos) foram os primeiros a dar enfoque matemático ao estudo do som, fazendo relações entre o comprimento das cordas dos alaúdes e os sons produzidos por elas. Porém, suspeita-se que os chineses tenham sido os primeiros a estudar o assunto, aproximadamente a 1.000 a.C.

A música, antes monofônica, sob o domínio dos gregos – que muito contribuíram para o estudo do som e da música, desenvolvendo inclusive instrumentos musicais (*phorminx*) –, ganhou característica polifônica, com o

heptatonismo (sete notas musicais), somente no século VIII, com o domínio Romano. O maior testemunho do conhecimento grego sobre acústica são os anfiteatros, muitos deles usados até os dias de hoje. A qualidade dos anfiteatros gregos deve-se a três conceitos fundamentais: boa visibilidade do palco, uso de uma parede refletora na parte posterior do palco e ruído ambiente ínfimo.

Outras culturas também deram sua inestimável contribuição ao estudo do som, escrevendo sobre ele ou tomando medidas de controle deste fenômeno. Os etruscos, cerca de 600 a.C., separavam as zonas de trabalho sob ruído, das zonas de moradias. Júlio César (100-44 a.C.) proibia que bigas circulassem em certas regiões de Roma, durante certas horas do dia, em especial à noite. Tal medida prosperou nos governos seguintes e Marco Aurélio (121-180 d.C.) estendeu-a a todo o Império Romano. Marcus Vitruvius Pollio, também romano, escreveu uma obra em 10 volumes, *De Architectura* (aproximadamente 40 a.C.), com instruções de como melhorar o som dos teatros. Nero, o imperador romano (37-68 d.C.), introduziu nos jogos olímpicos um concurso musical.

Com a proclamação do cristianismo como religião oficial do Império Romano, a música foi “aprisionada” nos mosteiros, passando a ser novamente de domínio público no século XII d.C., com o surgimento dos trovadores. Nos mosteiros, muito se desenvolveu a estruturação musical, com as partituras dos sons polifônicos. O conceito de altura do som e a sua utilização musical existem desde 500 a.C., porém, com os trabalhos dos pesquisadores Marin Mersenne (1588-1648) e Galileo Galilei (1564-1642), associou-se, definitivamente, a altura do som com a frequência de vibração.

Em 1660, o pesquisador Robert Boyle (1627-1691) fazendo experimentos com a propagação do som no vácuo, concluiu que era imprescindível a presença de matéria, no caso o ar, para que o som se propagasse, e deu ao som um modelo ondulatório, em meio à matéria (PIERCE, 1994).

Depois de conhecido e aceito os trabalhos de Mersenne e Galilei, a comunidade científica começou a se preocupar com a determinação das frequências-limite da audição humana. Em 1830, Felix Savart (1791-1841), estudando o assunto, criou um dispositivo capaz de percutir uma membrana elástica (Roda Dentada de Savart) e, estabeleceu os valores-limite para a audição humana entre 8 e 24.000 Hz. Tal estudo demonstrou-se subjetivo e, atualmente, sabe-se que as frequências-limite da audição humana são 20 Hz e 20 kHz. Tão desafiante quanto

descobrir as frequências audíveis, foi descobrir qual a intensidade sonora audível para as diversas faixas de frequências entre 20 e 20.000 Hz. Os primeiros estudos conhecidos, de autoria de Toepler (1836-1912) e Boltzmann (1844-1906), remontam a 1870 (PIERCE, 1994).

Depois de muitos anos de discussão e estudos sobre fenômenos relacionados ao som, e conseguindo deduzir algumas equações de propagação, a comunidade científica passou a estudar como o sistema auditivo humano “analisa” as vibrações.

Em 1843, Georg Simon Ohm (1789-1854), estabeleceu que a sensação da *altura de sons musicais* é proporcional à frequência fundamental do som e o timbre refere-se a diferentes combinações da intensidade dos harmônicos, iniciando o ramo da Psicoacústica.

Em 1860, Gustav Theodor Fechner (1801-1884), baseado em trabalhos anteriores de Ernst H. Weber (1795-1878), publicou a obra *Elements of Psychophysics*, onde estabeleceu que enquanto o estímulo é aumentado multiplicadamente, a sensação é aumentada aditivamente, proposição conhecida por *Lei de Fechner-Weber*. Ainda que, atualmente, saiba-se que não é exata nem universal, tal lei é um pilar da Psicofísica, levando Fechner a responder aos seus críticos numa célebre frase:

A Torre de Babel nunca foi completada porque os trabalhadores não se entendiam no modo como a construir; o meu edifício psicofísico manter-se-á de pé, porque os trabalhadores não se entendem no modo como o destruir (ROSSING, 1990, p.77).

Em 1862, Helmholtz publicou um trabalho que dava suporte à lei de Ohm, ao considerar que o sistema auditivo humano, possui vários ressonadores, sintonizados para diferentes frequências, efetuando assim uma análise espectral. Sabe-se, hoje, que Ohm e Helmholtz estavam no bom caminho, mas, o processamento cerebral da audição é mais complexo do que uma “simples” transformação de Fourier (KRUTH; STOBART, 2000).

Só em 1923, Harvey Flecher, possivelmente inspirado no trabalho de Fechner, introduziu o conceito de Unidade de Sensação Auditiva: um incremento de

0,1 no logaritmo, de base 10, do valor médio do quadrado da pressão sonora, correspondente a um aumento de uma unidade de sensação.

Em 1924, *The International Advisory Committee on Long Distance Telephony* propôs o termo Bel, em honra a Alexander Graham Bell (1847-1922), o inventor do telefone, para a unidade de sensação de Fletcher. Passado pouco tempo, a utilização do décimo do Bel (decibel, dB), generalizou-se (TOLKIEN, 1997).

Em 1931, Fletcher e Wallace Munson determinaram as *curvas de igual sensação de intensidade*, em função da frequência, e introduziram o conceito de Fone.

Em 1975, S. S. Stevens estabeleceu uma relação mais rigorosa entre a intensidade sonora e a sensação de intensidade, introduzindo o conceito de *Sone*. Com o término da Segunda Guerra Mundial, em 1945, surgiu um elevado número de soldados com problemas auditivos e, por esta razão, numa tentativa de resolver o problema, teve início o ramo da Audiologia. Foi também a Segunda Guerra Mundial que levou ao desenvolvimento dos sonares, cujas técnicas de utilização de ultrassons abriram as portas às Técnicas Não-Destrutivas de Análise (FERNANDES, 2005).

Outra área que, indubitavelmente, o séc. XX consagrou, foi a acústica de espaços fechados (Acústica de Edifícios). Ainda que este tema remonte à Grécia e à Roma antiga, pode-se considerar que o advento moderno começou em 1898, quando Wallace Clement Sabine (1868-1919), publicou *Architectural Acoustic*, obra em que é explicitada a idealização de que, em uma sala reverberante, a média da energia sonora por unidade de volume é constante, o que permitiu deduzir uma expressão analítica para obtenção do tempo de reverberação.

Em 1930, Carl F. Eyring estendeu a hipótese de Sabine a salas não-reverberantes.

Em 1951, H. Haas constatou que é necessária uma diferença de 35 m, para que o ser humano possa distinguir a chegada de dois sons. Tal efeito ficou conhecido por *Efeito de Haas* ou *Efeito de Procedência*, e é de vital importância para a estereofonia de salas (FERNANDES, 2005).

Leo Leroy Beranek, em 1962, publicou *Music, Acoustics and Architecture*, estudo no qual relacionava conceitos subjetivos da qualidade acústica de uma sala (intimidade e vida) com características objetivas (tempo de atraso da primeira reflexão em relação ao som direto e tempo de reverberação) (FERNANDES, 2005).

A instrumentação acústica, deixando de fora os instrumentos musicais, começou, talvez, em 1819, com a invenção do estetoscópio, por René Laënnec (1781-1826). Contudo, sem qualquer dúvida, o invento mais importante foi o telefone, em 1876, por Alexander Graham Bell, o qual abriu portas ao importante ramo da Eletroacústica.

Em 1926, a Warner Brotar apresentava o primeiro filme sonoro, com equipamento dos laboratórios Bell. Em 1965, os laboratórios Dolby introduziam técnicas de redução de ruído para as gravações de áudio. O primeiro *Compact Disc* foi editado em 1982 e, em 1987, começavam os estudos de compressão áudio, baseados nos conhecimentos já existentes de psicoacústica, que originam o conhecido formato MP3, generalizado pela Internet.

Desde a queda do Império Romano até a invenção do motor de combustão interna, o ser humano deixou, aparentemente, de se preocupar com os efeitos nocivos do ruído. Só em 1929, se dá início à fiscalização do ruído emitido por veículos automotores; a Inglaterra delega aos policiais a verificação, subjetiva, da emissão sonora excessiva (FERNANDES, 2005).

2.2 O fenômeno físico chamado som

De acordo com Fernandes (2005), o som é um fenômeno físico que possui nuances complexas de serem observadas e entendidas pela maioria das pessoas, especialmente pela necessidade de conhecer e dominar conceitos científicos pertinentes ao assunto, como os pertencentes à Física, Matemática e Fisiologia.

A própria impossibilidade de visualizar a ocorrência do fenômeno, dificulta sua quantificação. Geralmente, pessoas expostas a NPS elevados definem como barulho ou ruído aquela sensação de desconforto gerada.

A falta – ou ineficiência – de especialistas em explicar o fenômeno, também é fator preponderante e contribui com a ignorância sobre o assunto. Compreender os malefícios que o ruído excessivo causa à audição é imprescindível para a saúde daqueles que estão expostos a ele. Assim, a divulgação do tema “poluição sonora”, numa fala simples e acessível para o público em geral, tal qual ocorre com outros temas corriqueiramente noticiados, discutidos e difundidos –

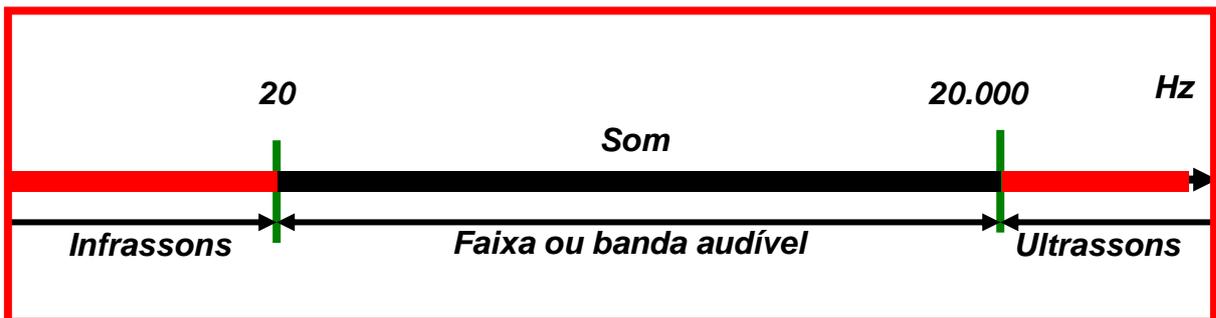
como a contaminação de águas, ar e solo – é importantíssimo para que, igualmente, os conceitos de prevenção da poluição sonora sejam absorvidos.

O som, independentemente de ser caracterizado como insalubre ou incômodo, tem suas características e princípios de propagação intrínsecos e, muito antes de ser sentido pelo sistema auditivo humano, se propaga no meio material, o ar. As características que definem o som são: frequência, timbre e intensidade. Conhecendo suas características é possível estudar suas formas de propagação conhecidas – como difração, reflexão, absorção e transmissão – e estabelecer como esse fenômeno polui o meio ambiente, interferindo na vida do homem (FERNANDES, 2005).

2.2.1 Características do som

2.2.1.1 Frequência

A frequência do som varia em uma larga escala: desde o infrassom, sons audíveis e os ultrassons. O ser humano pode ouvir sons em uma escala de frequência que vai de 20 a 20.000 Hz (Figura 4).



Fonte: Fernandes (2005, p. 18)

Figura 4 – Faixas de frequências audíveis

Frequência é o número de vezes que determinado evento ocorre num espaço de tempo ou período, também podemos dizer que é o número de ciclos ocorridos num período. No caso do som, é possível especificar a frequência como o número oscilações, por segundo, do movimento vibratório, ou seja, o número de

ondas sonoras (impulsos sonoros) que passam por um determinado ponto em um segundo. A unidade empregada para definir esta característica é ciclos por segundo (ciclos/s) ou Hertz. A esse respeito, algumas considerações precisam ser feitas:

- os valores de 20 Hz e 20.000 Hz, como limites da faixa audível de frequência, são relativos, pois dependem da intensidade sonora, da sensibilidade auditiva, entre outros fatores;
- infrassons são importantes para o estudo da física: a comunicação entre baleias e o som produzido por terremotos são infrassons. Frequências muito graves (baixas frequências) não são audíveis e trazem vibração ao corpo humano;
- os ultrassons (sons agudos) também têm importantes aplicações na engenharia e na medicina. Sons muito agudos não são audíveis e trazem sudorese e mal-estar.

2.2.1.2 Timbre

Esta característica relaciona-se com o som produzido numa mesma frequência (chamada frequência fundamental) de determinada fonte sonora e que permite distingui-la. Um exemplo clássico explica facilmente o que é timbre: embora a frequência e intensidade sonora do som produzido por um violão e um piano sejam as mesmas, é possível reconhecer ambos distintamente, devido à diferença de timbres dos instrumentos. Desta forma, o mesmo princípio pode ser extrapolado para outras fontes sonoras: se duas pessoas repetem uma mesma frase, numa mesma frequência e mesmo NPS, é possível distinguir uma fala da outra, devido ao timbre de cada voz, que está relacionado à frequência fundamental. De modo técnico, diz-se que timbre é a forma de onda da vibração sonora que permite reconhecer a fonte sonora.

2.2.1.3 Intensidade

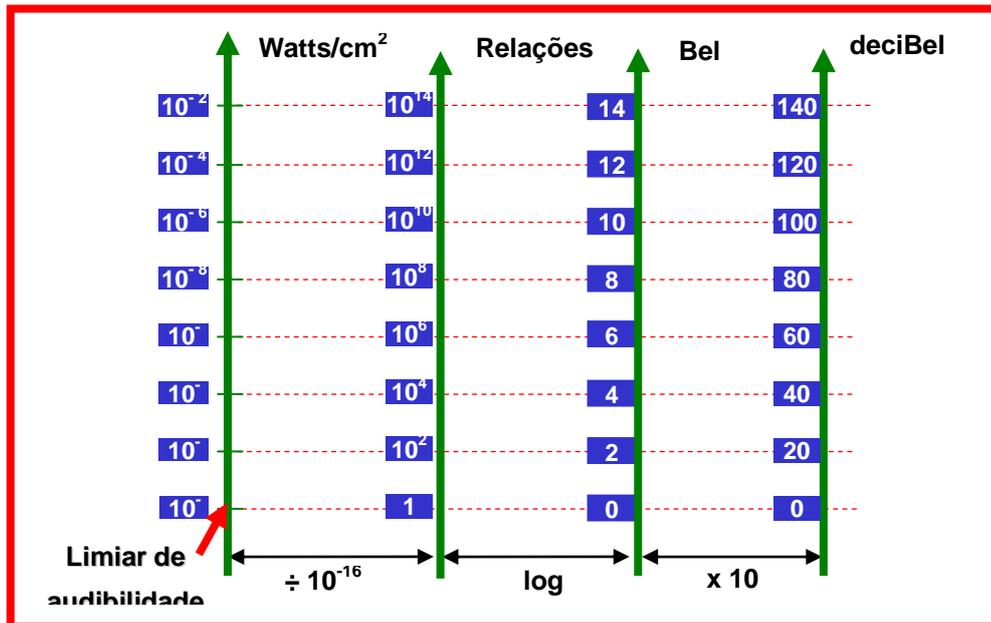
Intensidade sonora refere-se à potência sonora distribuída em uma área ou espaço, tendo em vista que o som se propaga esfericamente. A unidade empregada para expressar esta dimensão é o *Watts* (W), potência dividido pela área (m^2 ou cm^2), ou seja, W/m^2 . A potência sonora está relacionada com a capacidade

de determinado equipamento (aparelho de som, máquina, voz, entre outros) fazer vibrar mais ou menos moléculas do ar, de modo que sua excitação possa alcançar diferentes distâncias, ou seja, cobrir maiores ou menores áreas, mantendo o som perceptível a pessoas em diferentes distâncias. Para um ouvinte a uma grande distância, seria necessária uma potência sonora muito maior para excitar o sistema auditivo por esta fonte sonora, do que para um indivíduo próximo a ela, para quem o som captado seria incômodo ou até prejudicial.

O complexo sistema auditivo percebe o som em escala logarítmica, assim, igualmente, a mensuração do som obedece a uma escala logarítmica, pois seria muito inconveniente ou impróprio expressar o som na unidade de W/m^2 , a pressão mínima para excitar o sistema auditivo, para a maioria dos seres humanos com a audição dentro dos padrões de normalidade, é algo na ordem de $10^{-12} W/m^2$, assim, seria preciso utilizar muitos algarismos (0,000000000001) para expressá-la.

Para resolver essa questão, e tornar a medição mais simples, foi criada a unidade de medida denominada deciBel (dB), que nada mais é do que a pressão sonora mensurada no ambiente, dividida pela menor pressão sonora capaz de excitar o sistema auditivo ($10^{-12} W/m^2$). Desta relação, calcula-se o seu logaritmo, cujo valor é igual ao expoente de base 10, multiplicando-o por 10. Assim, encontra-se um número mais acessível e de melhor compreensão, que é o deciBel (Figura 5).

Portanto, quando se afirma que determinado som possui, por exemplo, 62 dB, na verdade se faz referência a uma pressão do som sobre o ar e deste sobre o sistema auditivo, convertido para a escala que leva o nome de Graham Bell (FERNANDES, 2005).



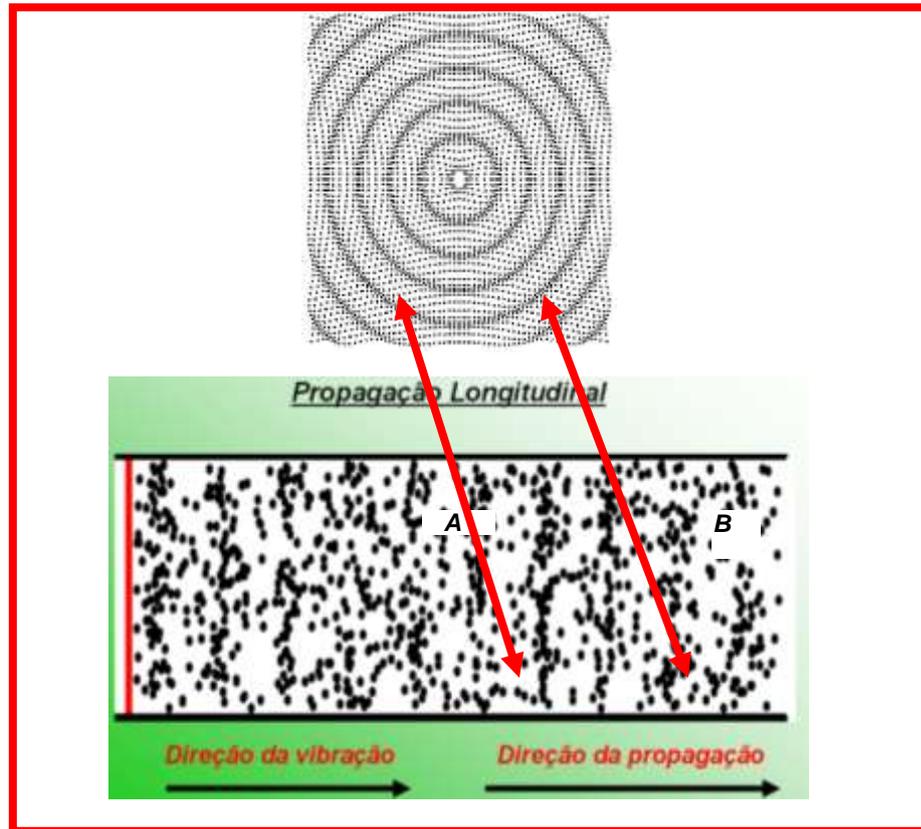
Fonte: Fernandes (2005, p. 21)

Figura 5 – Apresentação das transformações de W/m² para decibel

2.2.2 O som e sua propagação

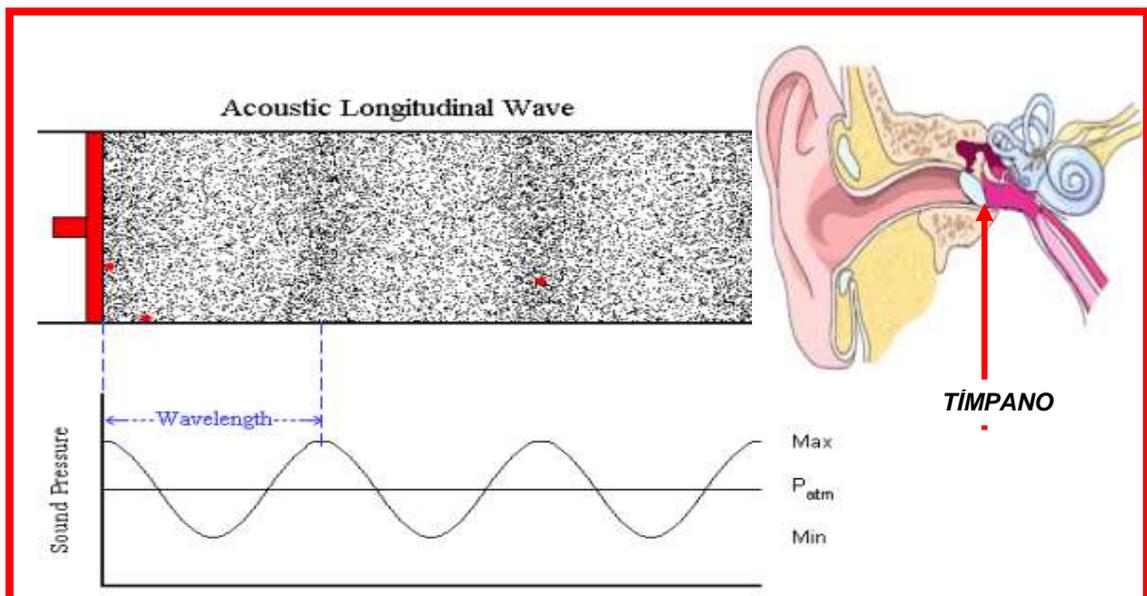
A mecânica do som ocorre com a vibração de um corpo, o qual excita as moléculas do ar e faz que estas se propaguem longitudinalmente e produzam uma compressão, empurrando as moléculas seguintes. As moléculas que primeiramente empurraram, retornam ao seu ponto de excitação (Figura 6), enquanto as que foram empurradas impelem as próximas e também retornam ao seu ponto de excitação. Este processo ocorre sucessivamente, a uma velocidade de 340 m/s, gerando pontos de alta e baixa pressão (compressões e rarefações); assim, o som penetra o sistema auditivo pelo pavilhão auricular até comprimir e fazer vibrar o tímpano (Figura 7), momento em que a audição se dá. Este processo somente terminará com o fim do abalo ou excitação, ou ainda, do impulso de um meio elástico qualquer, gerador das vibrações. (QUEIROZ, 2006).

Som está intrinsecamente vinculado à sensação ou percepção; se uma energia sonora não produz estímulo ao sistema auditivo, não pode ser classificado como som. Sendo assim, o som é reconhecido pelo animal que o percebe: o que pode ser som para um golfinho, passa despercebido para o homem (LENT, 2001, p. 243).



Fonte: Fernandes (2005)

Figura 6 – Representação da movimentação das moléculas de ar com demonstração dos pontos de alta pressão (A) e de rarefação (B)



Fonte: Fernandes (2005)

Figura 7 – Ondas longitudinais comprimindo o ar até vibrar o tímpano

Lançadas as bases fundamentais da física do som, é possível falar sucintamente dos seus meios de propagação. Este fenômeno não obedece a limites de espaço e, na maioria das vezes, ultrapassa ou contorna grandes barreiras, como por exemplo, as ondas do mar, que ao baterem num arrecife de pedras o contornam, formando outras ondas (FERNANDES, 2005). Apresenta-se, a seguir, as características da propagação do som.

2.2.2.1 Reflexão

Ocorre quando o som, obstruído por uma barreira física qualquer que se oponha a sua passagem, reflete-se, obedecendo às leis da reflexão óptica. A reflexão do som pode gerar confusão para o entendimento da fala no ambiente, devido ao fenômeno da reverberação. Superfícies muito duras, de granito, mármore, concreto, azulejos, refletem quase 100% do som incidido sobre elas.

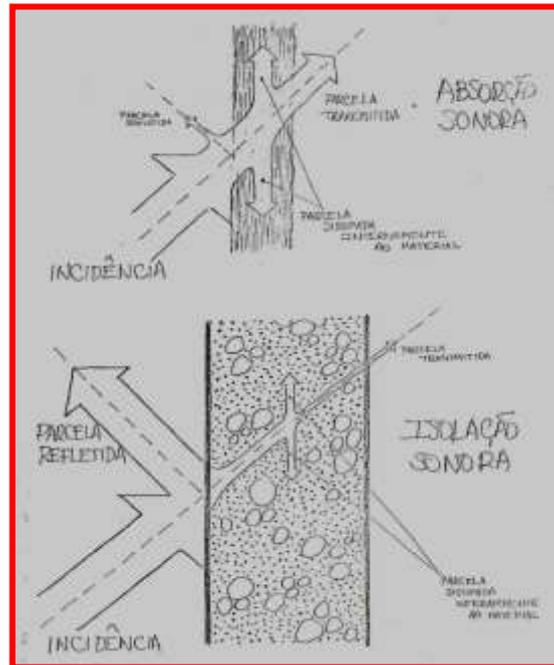
2.2.2.2 Absorção

Ocorre quando parte do som incidente fica retido ou é absorvido por uma superfície qualquer, especialmente aquelas com maior porosidade. Materiais absorventes têm a capacidade de transformar a energia sonora em energia calorífica (calor).

2.2.2.3 Transmissão

É a parte do som que, por suas características como frequência e intensidade, ultrapassam a superfície onde incide e é transmitida para o outro lado. É comum, devido a este fenômeno, ouvirem-se conversações provenientes de uma sala vizinha.

A Figura 8 sintetiza as três características da propagação do som, referidas anteriormente.

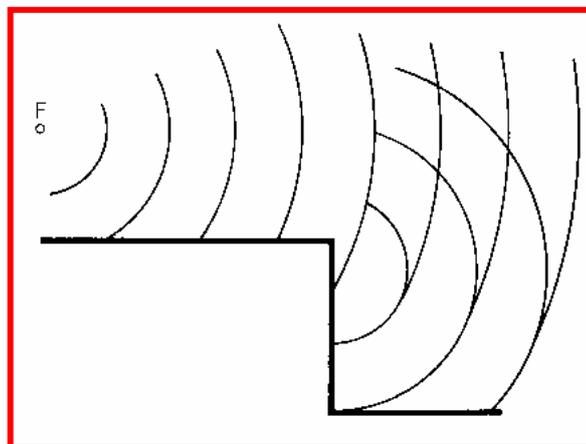


Fonte: Queiroz (2006)

Figura 8 – Os meios de propagação do som: reflexão, absorção e transmissão

2.2.2.4 Difração

Ocorre quando o som encontra uma barreira e a contorna, através de frestas, vértices e laterais, e continua se propagando pelo meio. Tal fenômeno atende ao Princípio de Huygens-Fresnel (1818). Os sons graves, que possuem maior comprimento de onda, atendem melhor a este princípio (Figura 9).



Fonte: Fernandes (2005, p. 37)

Figura 9 – Princípio de Huygens-Fresnel da difração

2.3 Fisiologia do Sistema Auditivo

2.3.1 Sistema auditivo

Este item tem a finalidade de descrever e explicar o mecanismo pelo qual o sistema auditivo recebe as ondas sonoras, discrimina suas frequências e transmite informações auditivas para o Sistema Nervoso Central, onde seu significado é decifrado. O complexo sistema da audição é dividido, didaticamente, em três partes, para facilitar seu estudo e compreensão. Os autores Guyton e Hall (2002) e Bear, Connors e Paradiso (2008), em seus respectivos trabalhos, expõem a composição do trato auditivo (Figuras 10 e 11):

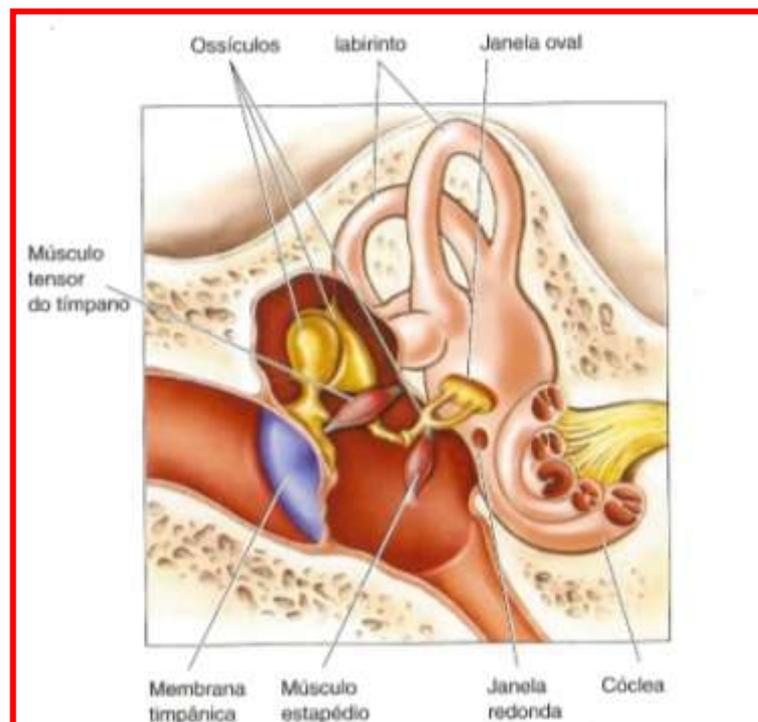


Fonte: Fernandes (2005)

Figura 10 – Orelhas externa, média e interna

- **orelha externa:** pavilhão auricular, conduto auditivo externo (meato acústico externo e tímpano);
- **orelha média:** composta pelos ossículos, martelo, bigorna e estribo; pela janela oval (fechada pelo estribo) e redonda (fechada por uma fina membrana), que são as aberturas da cóclea (caracol); e, por último, a tuba auditiva (antiga trompa de Eustáquio);

- **orelha interna:** composta pela janela oval, um canal semicircular – que leva à cóclea (parecido com um caracol). Todo este sistema está imerso na perilinfa. Na cóclea encontra-se o Órgão de Corti (em homenagem ao anatomista italiano que a identificou primeiramente), onde estão as células auditivas (cílios auditivos), um pequeníssimo sistema composto de milhares de células receptoras, em um volume não superior a um grão de arroz.



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, 350)

Figura 11 – Detalhe das orelhas médias e interna, ossículos e ligamentos. Vista dos músculos estapédio e tensor do tímpano

O resultado do abalo ou perturbação de um meio elástico qualquer faz vibrar as moléculas do ar, as quais se deslocam e empurram, sucessivamente, as seguintes, até que tal energia sonora penetre o sistema auditivo. Um complexo sistema fisiológico transforma a energia sonora em mecânica, desta para energia hidráulica e, por fim, em energia elétrica (QUEIROZ, 2006).

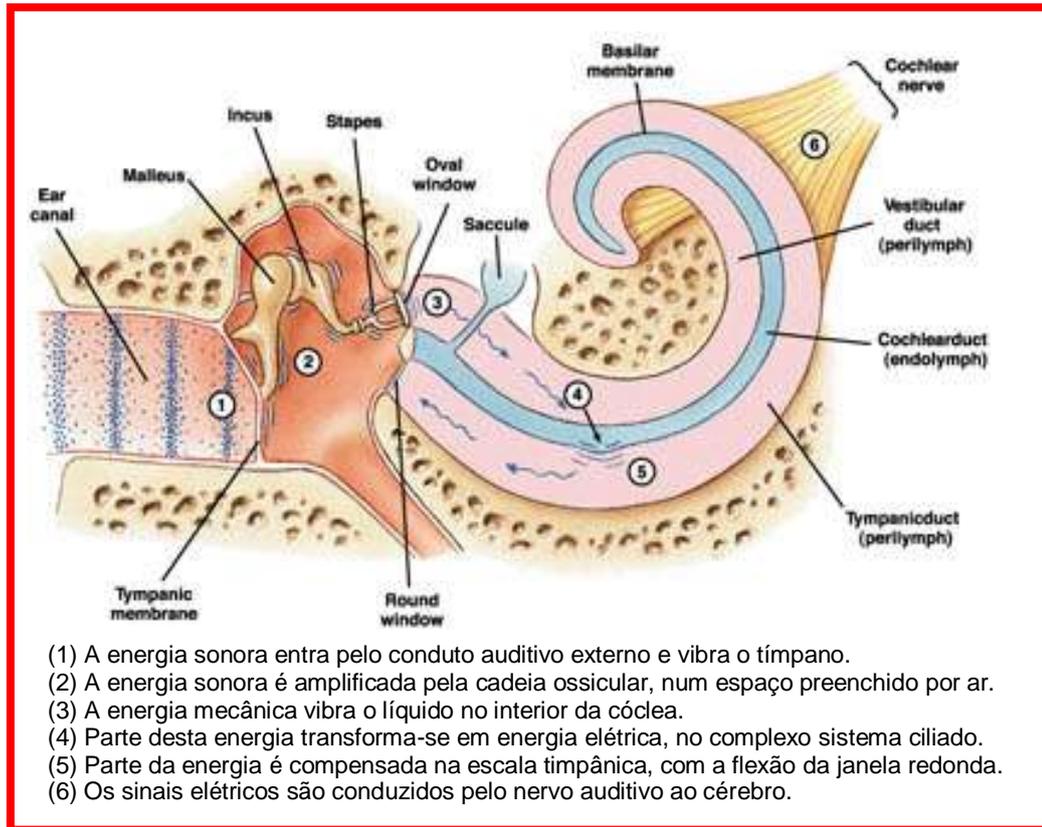
Como um sistema sensorial, o sistema da audição é composto de um conjunto de receptores que realizam a transdução dos estímulos sonoros em potenciais receptores. Estes receptores transmitem a informação sonora para

neurônios de segunda ordem, encarregados de realizar a codificação. Esses neurônios constituem o nervo auditivo, que juntamente com os neurônios vestibulares constituem o oitavo nervo craniano, Nervo Véstibo-Coclear (LENT, 2001, p. 249).

Logo depois do tímpano temos o ouvido médio: uma cavidade cheia de ar conhecida também como cavidade do tímpano, cujo volume é da ordem de $1,5 \text{ cm}^3$ e que contém 3 ossículos: o martelo (23 g), a bigorna (27 g) e o estribo (2,5 g). A função de tais ossículos é, através de uma alavanca, acoplar mecanicamente o tímpano à cóclea (caracol), triplicando a pressão do tímpano. Na parte interna da cavidade do tímpano, existem as janelas oval e redonda, que são as aberturas do caracol. As áreas de tais janelas são da ordem de $3,2$ e 2 mm^2 respectivamente. A janela redonda é fechada por uma membrana e a oval é fechada pelo "pé" do estribo (FERNANDES, 2005, p. 41).

O primeiro ossículo, o martelo, de um lado é fixo no centro do tímpano e, na outra extremidade, ligado ao segundo ossículo, a bigorna, e deste para o estribo, cuja extremidade, chamada platina, acopla-se à membrana da janela oval, proporcionando uma ligação flácida (GUYTON; HALL, 2002).

Na orelha interna (Figura 12), este movimento de compressão e descompressão (puxa-empurra), transmite os movimentos do estribo para o interior da escala vestibular, fazendo o fluido – a perilinfa – agitar-se e chegar até a membrana da janela redonda. Esta sofre uma deformação elástica, compensando parte da pressão transmitida pelo estribo. Ao movimentar-se, a perilinfa faz mover a membrana de Reissner, que transmite parte da vibração para a endolinfa, no interior da escala média. Esta, por sua vez, transmite vibrações à membrana basilar. A vibração sonora poderia chegar à orelha interna, no entanto, sem o sistema de amplificação da energia, a intensidade sonora, seria de 15 a 20 deciBels, portanto, imperceptível ao sistema auditivo do ser humano.

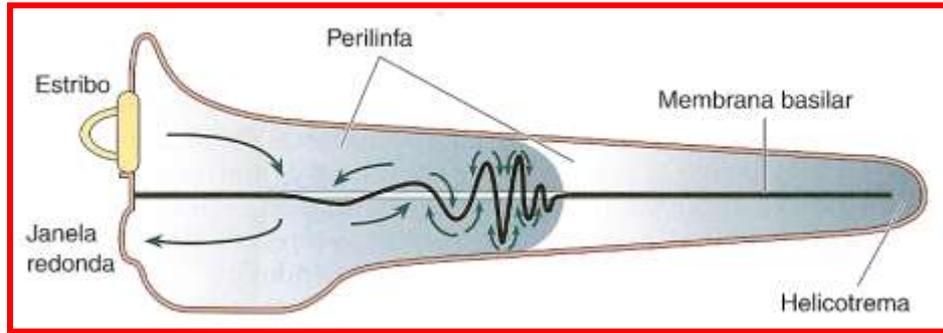


Fonte: Fernandes (2005)

Figura 12 – Orelha interna, transmissão da vibração

As áreas do tímpano e da janela oval são respectivamente, em média, 55 mm^2 e $3,2 \text{ mm}^2$. Esta razão, 17 vezes superior, multiplicada pela força promovida pelo conjunto de alavancas dos ossos – igual a 1,3 vezes – é capaz de gerar uma pressão, sobre o líquido, 22 vezes superior àquela que chega ao tímpano, a fim de movimentar a perilinfa, líquido muito mais viscoso que o ar (GUYTON; HALL, 2002).

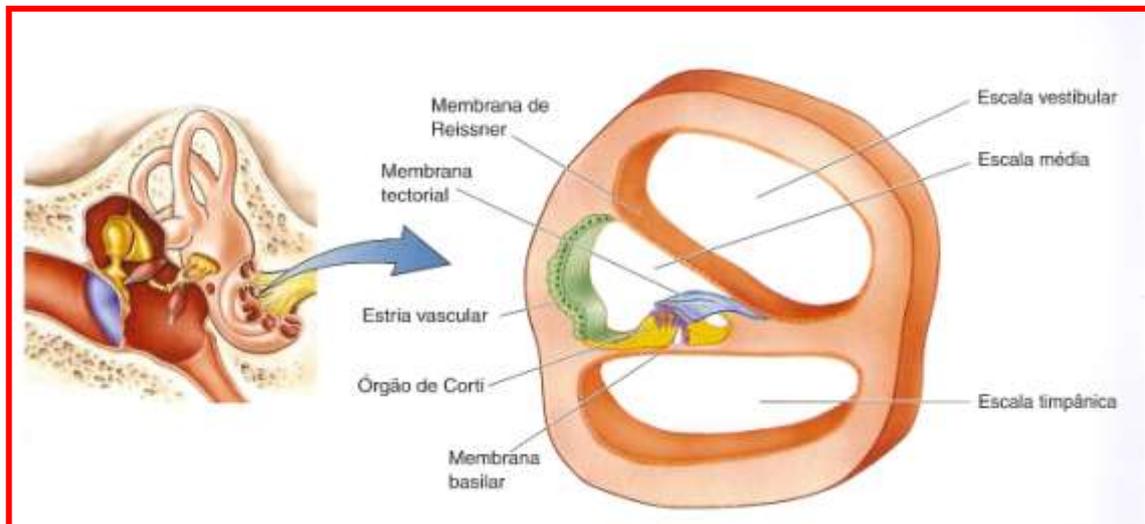
A cóclea localiza-se no interior da orelha interna e tem um formato espiral. É um sistema de tubos enrolados, percorrido pela perilinfa. Estes tubos são denominados *escala vestibular*, *escala timpânica* e, entre estas, a *escala média*. As escalas vestibular e timpânica, no ápice, comunicam-se por um orifício chamado helicotrema; nas bases, a janela oval comunica-se com a escala vestibular, enquanto a janela redonda comunica-se com a escala timpânica (GUYTON; HALL, 2002). A Figura 13 apresenta uma representação da cóclea didaticamente distendida.



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, p. 353)

Figura 13– Modelo de propagação de uma onda na membrana basilar

A escala vestibular é separada da média pela membrana vestibular ou de Reissner; a escala média é separada da escala timpânica pela membrana basilar (Figura 14). Na escala média, sobre a membrana basilar, encontra-se o órgão de Corti, recoberto pela membrana tectorial. O órgão de Corti contém as células ciliadas, eletromecanicamente sensíveis; nelas são gerados os impulsos nervosos (energia elétrica). Os impulsos são conduzidos ao córtex cerebral através do nervo da audição, onde as informações contidas na energia sonora inicial são decifradas (GUYTON; HALL, 2002).

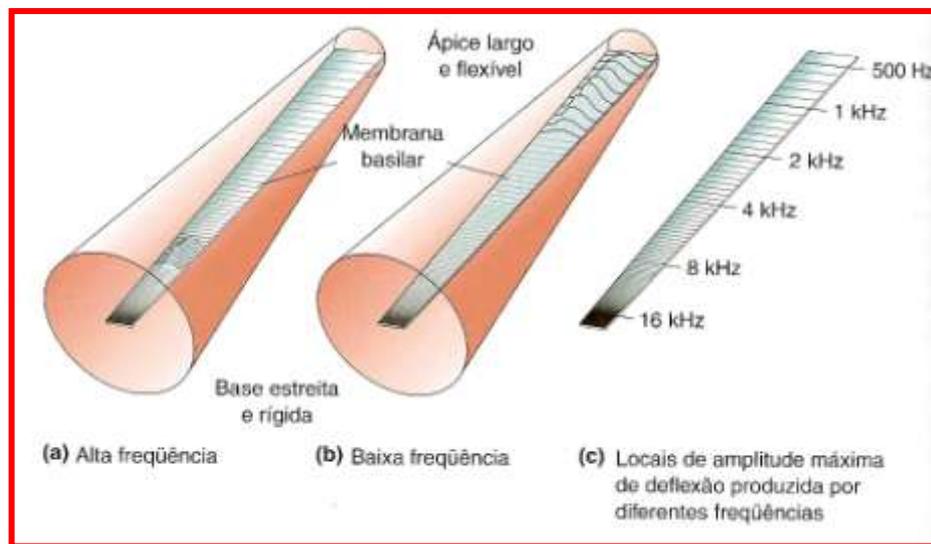


Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, p. 351)

Figura 14 – Vista das escalas vestibular, timpânica e média da cóclea

Na membrana basilar encontram-se 20 a 30 mil fibras basilares rígidas, fixas em uma extremidade, na estrutura óssea, e livres na outra, o que permite sua

movimentação (Figura 15). Estas fibras, na base da cóclea (janelas oval e redonda), têm tamanho aproximado de 0,04 mm, chegando até 0,5 mm na região apical, o helicotrema. No entanto, seu diâmetro reduz em até 100 vezes, da base (janelas oval e redonda) até o ápice (helicotrema). Desta forma, as fibras funcionam como um diapasão, ressoando em função das vibrações externas que compõem o som. Sabe-se que o ser humano tem a capacidade de ouvir dentro de um espectro de frequências que vai de 20 a 20.000 Hz (GUYTON; HALL, 2002).

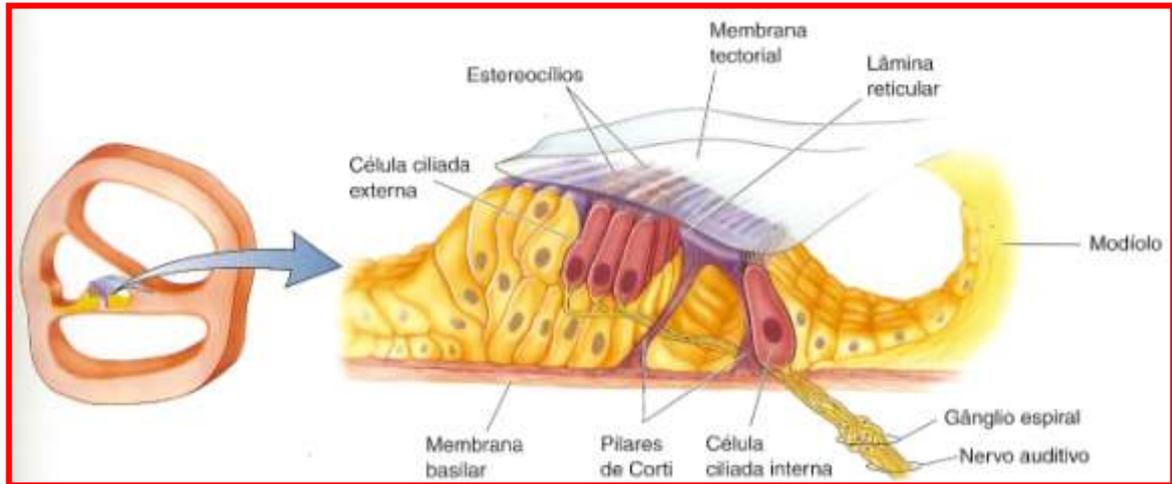


Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, p. 354)

Figura 15 – Resposta da membrana basilar às diversas frequências

Em razão da altura e rigidez das fibras próximas da base, estas ressoam melhor nas frequências altas, enquanto que, na região apical, ressoam melhor nas frequências baixas. Em outras palavras, as frequências têm seu ponto de discriminação de acordo com o local de estimulação máxima da fibra, que depende, por sua vez, da própria estrutura ao longo da membrana basilar, onde as ondas de deslocamento progressivo “carregam” as frequências (GUYTON; HALL, 2002).

No órgão de Corti (Figura 16), encontram-se as células ciliadas externas (CCE), cerca de 15 a 20 mil, e as células ciliadas internas (CCI), cerca de 3.500, que são células nervosas especializadas (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2008).



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, p. 355)

Figura 16 - Vista do Órgão de Corti

As células ciliadas fazem sinapse estimulando a rede de fibras nervosas da cóclea e conduzem o sinal ao gânglio espiral, que envia axônios², em torno de 30.000, para o nervo coclear e daí para o sistema nervoso central (GUYTON; HALL, 2002).

As CCE/CCI estão presas entre a membrana basilar e apoiadas numa fina membrana, chamada *lâmina reticular*. No ápice das células ciliadas, projetam-se os estereocílios, cerca de 100 microvilosidades para cada célula, acima da lâmina reticular. Estes tocam na região gelatinosa da membrana tectorial, cheia de endolinfa. Na outra extremidade, permanece na superfície da membrana tectória, que está na escala média; a lâmina é sustentada pelos bastões de Corti e estes fixos às fibras basilares. Este conjunto (fibras basilares, bastões de Corti e lâmina reticular), movimenta-se uniformemente; assim, quando vibra a membrana basilar, a lâmina reticular sobe e desce, fazendo os estereocílios das células ciliadas tocarem na membrana tectória, num movimento para cima e para frente, depois para baixo e para trás. Portanto, quando vibra a membrana basilar, as células ciliadas são excitadas (GUYTON; HALL, 2002).

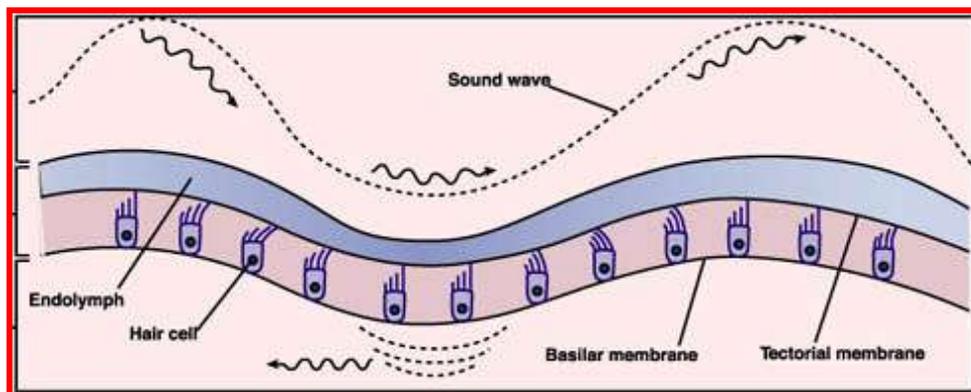
No Órgão de Corti ocorre um fenômeno denominado *potencial endococlear*, que é a diferença de potencial existente entre a endolinfa e a perilinfa. Ou seja, a *endolinfa* (na escala média), com alta concentração de potássio (K^+) e baixa concentração de sódio (Na^+) e a *perilinfa* (nas escalas vestibular e timpânica),

² Axônio é uma parte do neurônio responsável pela condução dos impulsos elétricos, que partem do corpo celular, até outro local mais distante, como um músculo ou outro neurônio.

com alta concentração de sódio e baixa de potássio, mantêm uma diferença de potencial constante de 80 milivolts, ocorrência diretamente ligada à transdução auditiva (GUYTON; HALL, 2002).

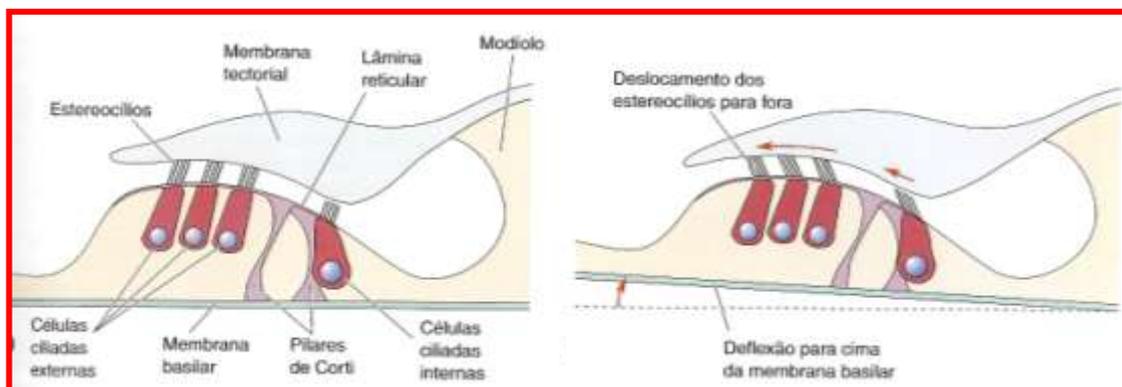
Quando, por um som, ocorre a vibração da membrana basilar, esta se movimenta e os estereocílios (Figura 17), que têm uma ligação filamentosa entre si, inclinam-se para frente e para trás (Figura 18), abrindo de 200 a 300 canais iônicos. Isso permite o rápido ingresso de potássio para o interior das células ciliadas, causando uma despolarização que, por sua vez, ativa os canais de cálcio (Ca^{++}) e libera neurotransmissores que ativam os axônios do gânglio espiral, os quais têm contato pós-sináptico com as células ciliadas.

Este conjunto é denominado de potencial de ação e faz a transdução do som em potencial elétrico, levando sinal elétrico ao nervo da audição, após o gânglio espiral (Figuras 19 e 20) (GUYTON; HALL, 2002).



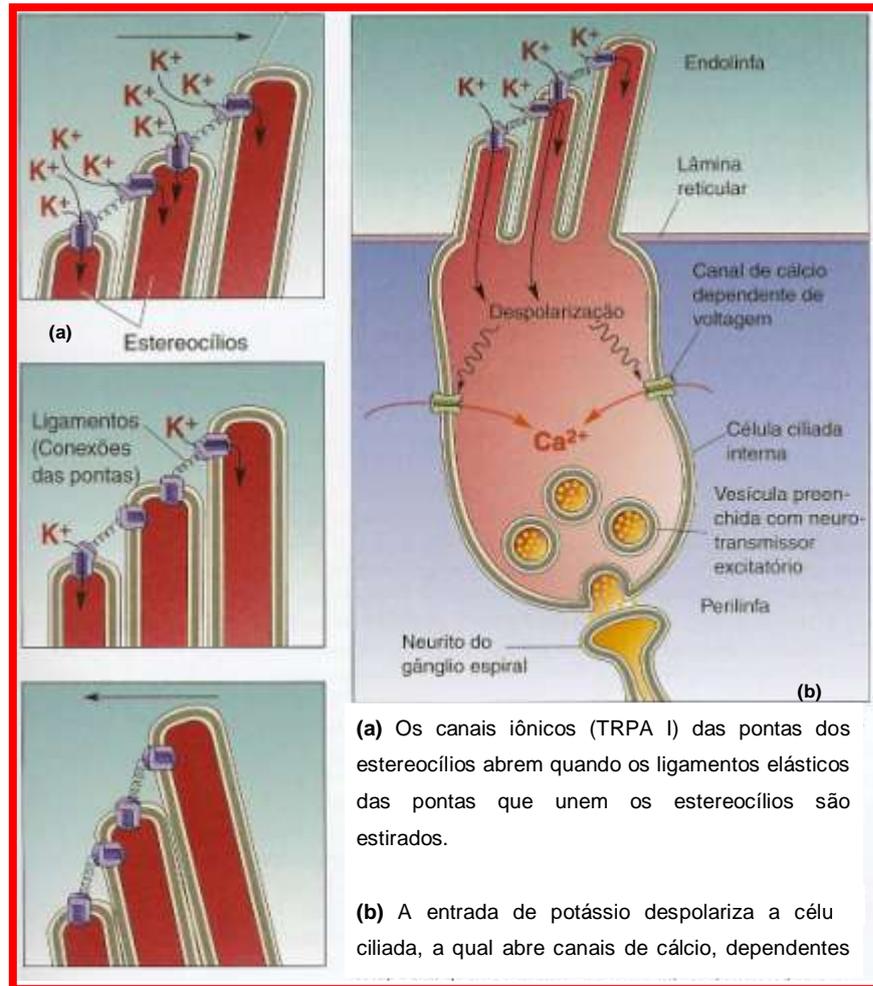
Fonte: Fernandes (2005)

Figura 17 – Detalhe da propagação sonora e a excitação dos estereocílios



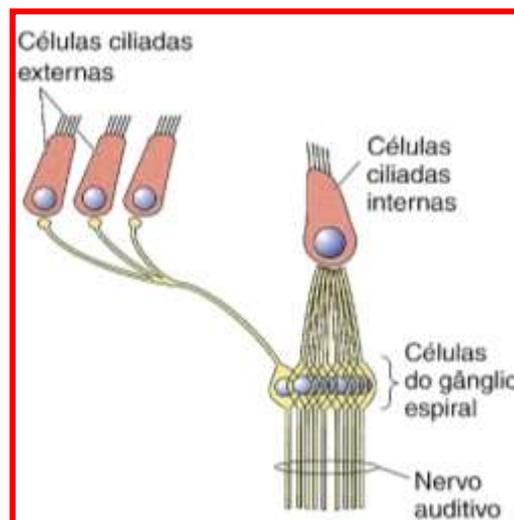
Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, 357)

Figura 18– Deslocamento dos estereocílios após vibração da membrana basilar



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, p. 359)

Figura 19 – Despolarização das células ciliada



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2008, p. 359)

Figura 20 – Enevação das células ciliadas pelos neurônios do gânglio espiral

2.3.2 As submodalidades da audição

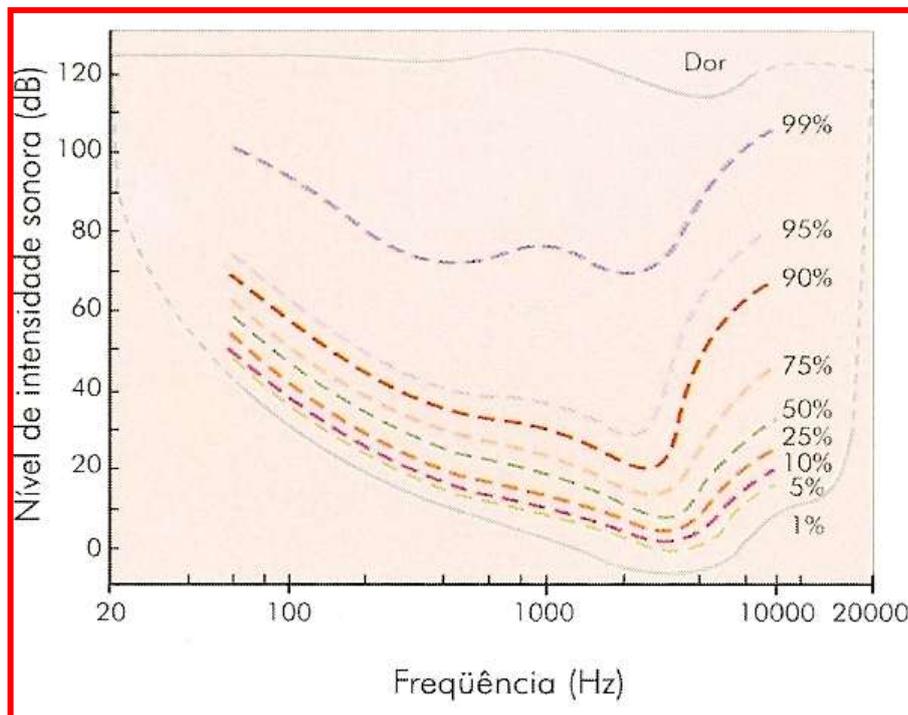
O sentido da audição e seu complexo conjunto serve, então, para determinar quatro principais variáveis relacionadas com o som: intensidade, tom ou frequência, timbre e a localização espacial.

A intensidade é a submodalidade que relaciona a amplitude da onda sonora com a vibração da membrana basilar. Quanto maior a amplitude, isto é, a intensidade do som, maior a vibração transmitida para a membrana basilar, que por sua vez aumenta o potencial de ação das fibras auditivas e número de elementos recrutados neste processo, dando o sentido de volume do som (LENT, 2001, p. 242). Essa submodalidade está intrinsecamente ligada ao limiar de audibilidade dos indivíduos: uns precisam de mais intensidade e outros menos, para ter o sentido da audição estimulado, dependendo de idade, doenças auditivas, perdas auditivas por diversos motivos. A Figura 21 mostra os níveis de intensidade sonora que os indivíduos são capazes de ouvir.

A frequência, outra submodalidade, é discriminada através da tonotopia do Órgão de Corti, onde a onda de deslocamento progressivo, contendo diversas frequências sofre uma verdadeira decomposição em senos e co-senos (FFT), acionando CCE especializadas. Devido a sua estrutura, na determinação de uma frequência específica, varia de 20 a 20000 Hz.

A terceira modalidade ligada à frequência é o timbre, que distingue as características de um dó de um violão e de um piano. O sistema auditivo, como na Análise de Fourier, decompõe a frequência complexa, distinguindo a frequência fundamental e seus harmônicos e permitindo o reconhecimento da fonte geradora do som.

Por fim, a localização espacial do som, dividida em horizontal e vertical, permite decidir qual ação realizar: virar, olhar, observar, fugir, etc. (LENT, 2001, p. 242-249).



Fonte: Lent, Robert (2001, p. 247)

Figura 21 – Curvas do limiar de audibilidade para uma população de indivíduos

2.4 Psicoacústica

O sentido da audição é complexo e tem uma reação de atenuação e compensação do som para cada frequência sentida ou percebida. Resumidamente, para as baixas frequências há uma grande atenuação, isso significa que para os sons graves o ser humano é “mais surdo”, enquanto que para os sons agudos (altas frequências) o sistema auditivo é mais aguçado, necessitando de um NPS menor (Figura 22). Tal reação explica, inclusive, porque as perdas auditivas se iniciam nas frequências altas, em torno de 4.000 Hz (FERNANDES, 2005).

100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
-19	-16	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-2	-1	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
-16		-9			-3			0		1			1				

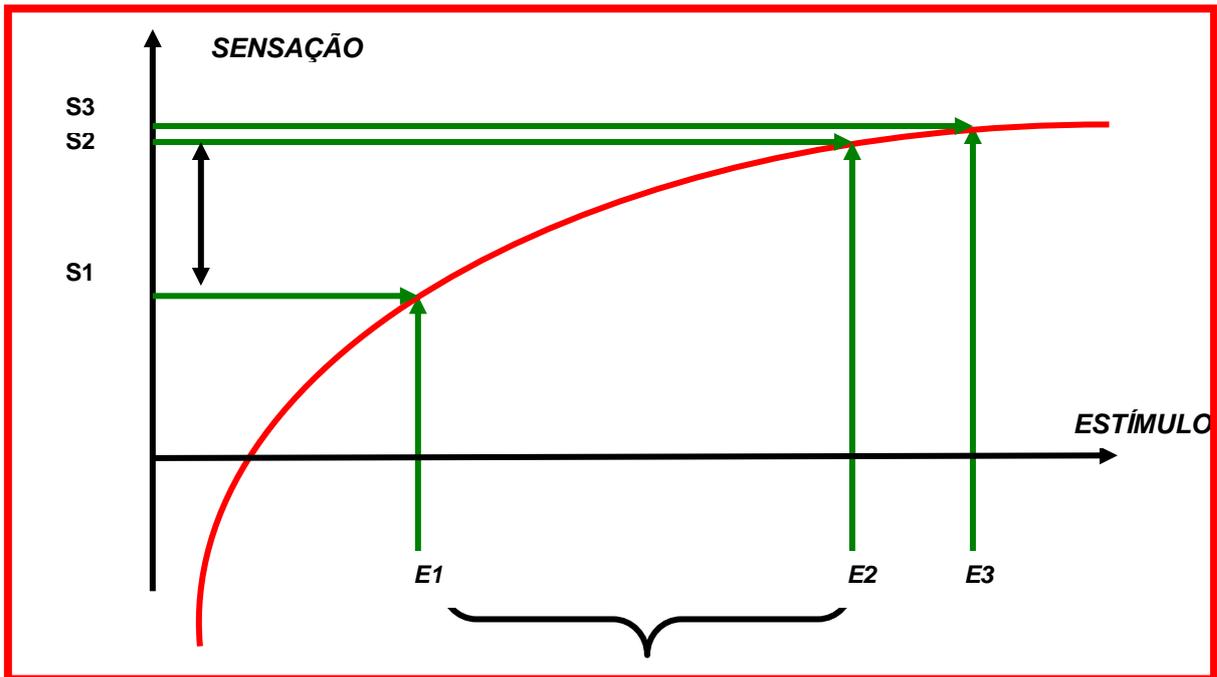
1ª Linha: as frequências, testadas em Hz testadas.
2ª Linha: Nível de Pressão Sonora (NPS) necessária para excitar o sistema auditivo na faixa de frequência testada, bandas de terças de oitava. Note-se que, para frequências acima de 1.000 Hz, existe um acréscimo de 1 dB ao NPS gerado.
3ª Linha: valores adotados quando se trabalha com frequências em bandas de oitava.

Fonte: Queiroz (2006, p. 31)

Figura 22 – Comportamento da audição em função das frequências

Outro aspecto importante da percepção auditiva é que, com o aumento do NPS, ocorre uma aparente *resistência* ao som. Tal ocorrência foi explicada pela Lei de Fechner-Weber, de estímulo/sensação (Figura 23): enquanto o estímulo é aumentado multiplicadamente, a sensação é aumentada aditivamente.

Esta lei é muito empregada na psicoacústica e explica porque todos os sentidos perdem sua sensibilidade com o aumento do estímulo: todos os sentidos humanos respondem não de forma linear, mas, logarítmica aos estímulos. Isto explicaria porque, no passado, antes de aplicar-se uma injeção, o profissional dava um ou dois tapas nas nádegas ou apertava a região de aplicação, pois a sensação da introdução da agulha seria menos percebida (sentida). Outro exemplo clássico, é a sensação de luminosidade ao acender-se uma vela num ambiente escuro: após serem acesas duas, três e assim por diante, em dado momento, a sensação visual somente será estimulada com um acréscimo muitíssimo grande de velas acesas (FERNANDES, 2005).



Fonte: Queiroz (2006, p. 32)

Figura 23 – Função logarítmica da curva de Sensação x Estímulo

2.5 Protetores Auriculares

2.5.1 Dispositivos de proteção auditiva: sua aplicação e limitações

Os dispositivos de proteção auditiva (DPAs) têm como objetivo final atenuar os NPS elevados que chegam ao sistema auditivo daqueles que se encontram em atividades ruidosas. Desta forma, os protetores não podem ser comercializados de qualquer maneira: devem passar por rigorosos testes de qualidade, para constatação de sua real atenuação frente ao ruído. Posteriormente, são aprovados e recebem um Certificado de Aprovação (CA), documento expedido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Só então poderão ser comercializados pelos fabricantes ou importadores.

Os DPAs são comumente conhecidos como Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e utilizados para proteção do sistema auditivo. Seus modelos, formatos e material de constituição variam de fabricante para fabricante. Os modelos básicos são: o circun-auricular, batizado de “concha” ou “fone” e o de inserção intra-auricular, comumente chamado de “plug” ou “tampão” (Figura 24).



Figura 24 – Protetores auriculares (tipos *plug* e concha com suas peças internas)

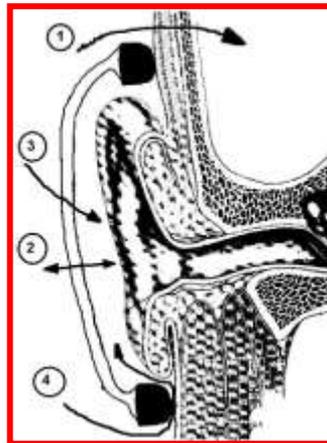
O uso dos DPAs também possui limitações, que dependem de quatro fatores, conforme explicitou Gerges (2000):

- **peçoal:** uso contínuo e correto quanto à colocação, aderência a necessidade do uso, nível de conscientização, adaptação, emprego conjunto com outros EPIs e conhecimento do risco;
- **constitucional:** sudorese intensa (principalmente para o tipo concha), geometria, quantidade de cerúmen e sensibilidade da pele da cavidade auditiva (meato acústico externo);
- **relacionado ao protetor:** tipo, geometria e tamanho, material construtivo, nível de atenuação, pressão exercida pelo arco (tipo concha), facilidade de colocação, facilidade de higienização, facilidade para guardar e tipo de atividade (exerce grande influência na determinação do tipo de protetor);
- **ambiental:** NPS, espectro de frequências constituinte do som, propagação do som, fontes sonoras e temperatura ambiente.

Dada a gama de variáveis, para a seleção de um protetor, deve-se considerar: conforto, aceitação do usuário, custo, durabilidade, comunicabilidade, segurança e forma de higienização (GERGES, 2000).

O mesmo autor ainda explicita outros fatores, agora relacionados diretamente aos protetores: são as formas de penetração do som (Figura 25) no sistema da audição, mesmo com uso de proteção. Devido a sua importância, eles são apresentados a seguir:

- **transmissão via óssea e tecido:** a proteção de um DPA é somente contra a propagação aérea do som, a energia sonora transmitida pela vibração de ossos e tecidos à orelha interna depende mais especificamente do frequência, sendo mais importante nas baixas.
- **vibração do protetor:** o som incidente sobre os tipos de protetores, leva-os a vibrar e conseqüentemente a massa de ar no interior do protetor ou entre este e o sistema auditivo, vibra e propaga-se excitando todo o sistema. Este fenômeno também dependente da faixa de frequência, sendo mais preponderante nas baixas.
- **transmissão através do material do protetor:** a energia sonora incidente ultrapassa o material, isto depende diretamente do tipo de material e de seu coeficiente de transmissão. Materiais menos densos, possuem maior coeficiente de transmissão.
- **vazamento através do contato:** nos pontos de contato entre o protetor e a cabeça e a pele, são pontos críticos e, portanto, uma boa colocação e ajuste atenua melhor o som incidente.



Fonte: Gerges (2000, p. 613)

Figura 25 – Formas de introdução do som no sistema auditivo

2.5.2 Determinação da atenuação dos protetores auditivos

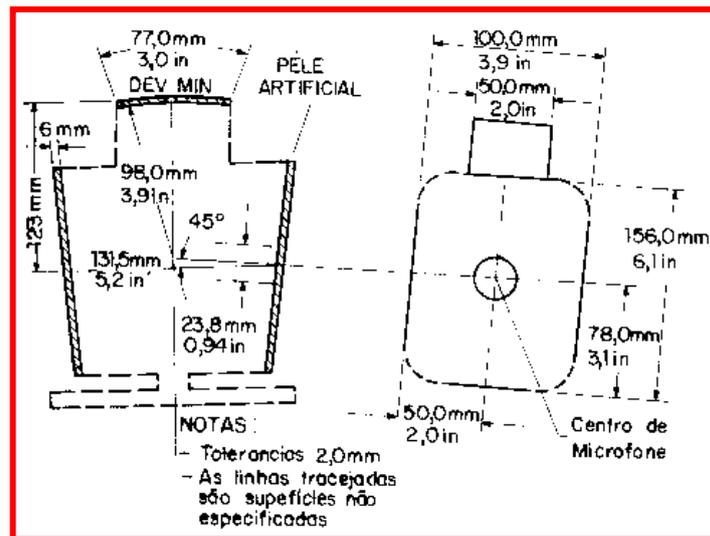
A *American National Standard Institute* (ANSI), em 1957, aprovou a Norma Z 24.22/1957 “Medição do Limiar em Ouvido Real, de Protetores Auditivos” (ANSI, 1957). O campo acústico deve ser formado por tons puros gerados por alto-falantes, em uma câmara anecóica (Figura 26), tratada acusticamente, no teto, piso e paredes, com material absorvente que elimina as reflexões das ondas mecânicas do som. A metodologia preconizava que o protetor auditivo deveria ser colocado pelo próprio usuário, selecionado aleatoriamente, e foi a primeira implantada com a método *Real Ear Attenuation Threshold* (REAT).



Fonte: Wikipédia Enciclopédia Livre (2009)

Figura 26 – Câmara anecóica

Em 1974, foi realizada uma revisão da norma, renomeada como ANSI S3.19/1974 “Método para Medição da Proteção em Ouvido Real de Protetores Auditivos e Atenuação Física dos Protetores Tipo Concha” (ANSI, 1974). Esta revisão ainda preconizava o método REAT, mas, com uma inovação: o uso do método denominado *Acoustic Test Feature* (ATF), que consistia em uma cabeça mecânica (artificial), que simula a cabeça humana (Figura 27), inserindo-se nela um microfone, na mesma posição do pavilhão auricular, num duto que simularia o conduto auditivo externo. No entanto, obviamente, esse artifício pode ser empregado somente para testes de protetores auriculares tipo concha.



Fonte: Gerges (2000, p. 615)

Figura 27 – Cabeça artificial – parâmetros construtivos

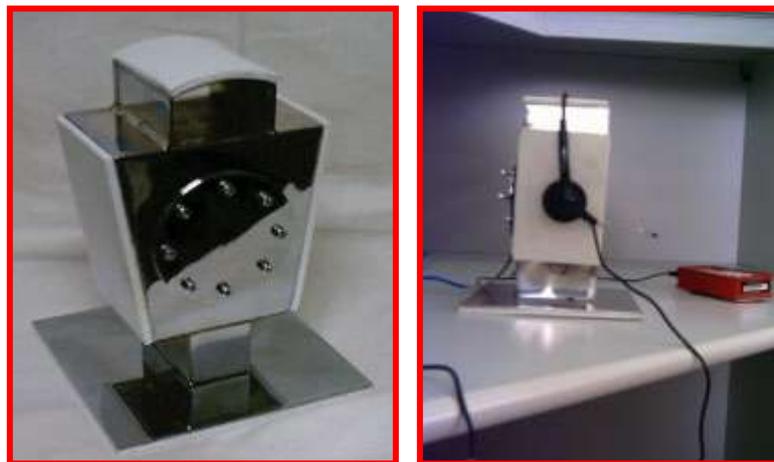


Figura 28 – Cabeça artificial – dispositivo em uso

Em 1984, uma outra revisão ocorreu e a nova ANSI S12.6/1984 foi batizada como “Método para Medição da Atenuação em Ouvido Real de Protetores Auditivos” (ANSI, 1984). Sua maior inovação foi a diminuição do tempo de reverberação para menos de 1,6 segundos, presumindo-se que isso proporcionaria melhores condições de atenuação do som da sala de testes, e a determinação de um campo sonoro gerado em bandas de 1/3 de oitava. A colocação do protetor deveria ser feita pelo ouvinte, porém, supervisionada e orientada, ou seja, o usuário era previamente instruído e treinado, além de ter seu protetor selecionado pelo supervisor.

Em 1990, surgiu a norma ISO 4869-1/1990 “Medição da Atenuação Sonora de Protetores Auditivos – Método Subjetivo” (ISO, 1990), também baseada no REAT. Tal qual a norma anterior, a colocação do protetor deveria ser assessorada por um supervisor, chegando-se a um valor de atenuação máxima nos testes. Concluiu-se que ambas eram incapazes de chegar a valores que refletissem a situação real encontrada no cotidiano de seus usuários.

O ano de 1997 marcou uma nova atualização da ANSI S12.6/1984, dando origem à ANSI S12.6/1997 “Métodos para Medição da Atenuação em Ouvido Real de Protetores Auditivos”. A grande novidade nesta norma foi, após anos de pesquisa, a aprovação de um método em que o próprio ouvinte reconhecidamente um leigo no assunto, colocasse o protetor, objetivando encontrar a pior atenuação, contrariamente aos métodos anteriores, nos quais se desejava alcançar a melhor atenuação, com supervisão de um técnico. Esta é, atualmente, a metodologia mais adequada, representando o mundo real dos protetores auditivos.

Como esta é a norma adotada no país para determinação do nível de atenuação dos protetores, será abordada com mais detalhes neste trabalho. A ANSI S12.6/1997 especifica duas formas de medição (BRANDOLT, 2001):

- **Método A: “*Experimenter - Supervised Fit*” ou Colocação Supervisionada pelo Experimentador**

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

Para o teste atual, o indivíduo e o experimentador deverão entrar na câmara de teste, e o indivíduo deverá colocar o protetor auditivo, o ruído de ajuste

deverá ser introduzido e o indivíduo deverá ser instruído a manipular o protetor, a fim de se minimizar o ruído no sistema auditivo. Uma vez que a pessoa esteja satisfeita com o ajuste, o experimentador deverá checar o posicionamento de cada protetor, usando somente análise visual para assegurar-se de uma boa colocação e vedação acústica. Quando julgar necessário, o experimentador deverá requisitar que o indivíduo recoloca ou reajuste o protetor auditivo, ou ambos, quantas vezes forem necessárias para um melhor ajuste antes do teste, porém, nunca depois de o teste ter começado. Depois de iniciada a aquisição dos dados, ficam proibidas instruções adicionais ao indivíduo ou manipulação do protetor auditivo.

Quanto ao número de medições, onde na norma anterior o ouvinte realizava três conjuntos de ensaio, esta orienta que a atenuação – para cada indivíduo, em todas as frequências de teste – deverá ser medida em duas tentativas durante uma única visita ao laboratório. Cada tentativa deverá consistir de um par: limiar aberto e fechado, ou seja, sem e com proteção, cuja ordem deve ser contrabalançada entre os indivíduos.

Ao iniciar a realização do ensaio, o ouvinte tem um período de, no mínimo, dois minutos de adaptação (na norma anterior era, no mínimo, de cinco minutos). O ouvinte é então posicionado na cadeira, sem comando verbal do experimentador e sem a presença de sinais de teste. Após este tempo, a determinação do limiar pode começar. Quando forem feitos teste com protetores que necessitem de um tempo para expandir ou se conformar ao canal auditivo ou regiões circun-auricular – como o *plug* de ouvido, de espuma com restauração lenta – as medições de limiar fechado devem começar, no mínimo de dois e no máximo de quatro minutos, após a colocação do protetor auditivo.

▪ **No Método B: “*Experimenter - Subject Fit*” ou Colocação pelo ouvinte**

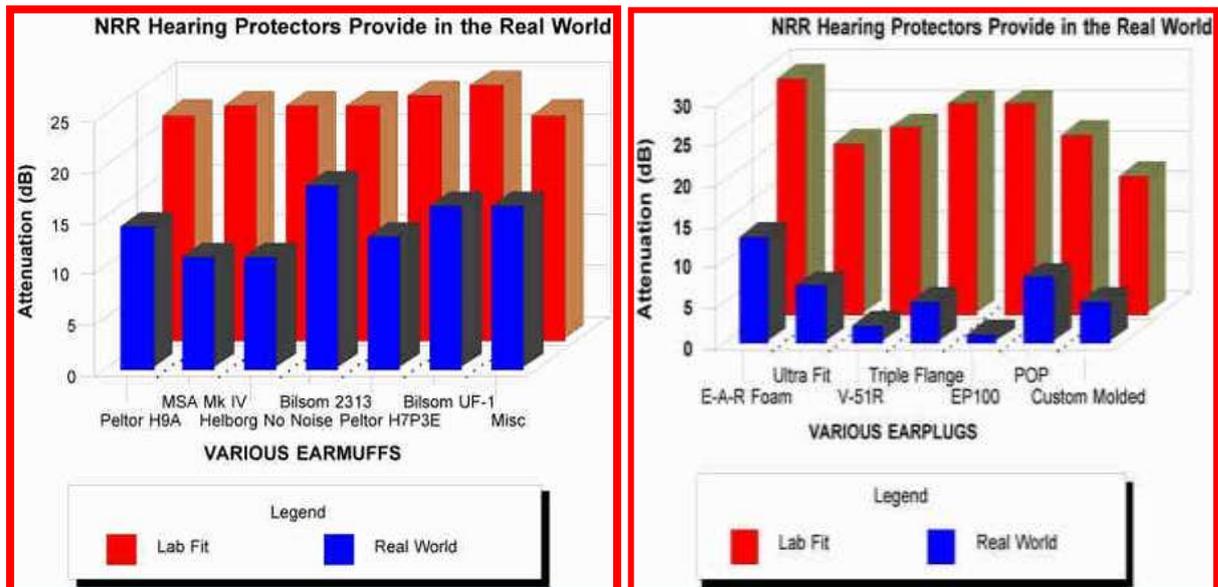
Descreve condições para aceitar ou rejeitar o ouvinte para a aplicação deste método; formula algumas perguntas a serem respondidas pelo ouvinte; e, também, estabelece as limitações para o ouvinte realizar novos ensaios. Como este ensaio é realizado por ouvintes leigos quanto ao uso do protetor auditivo, a norma descreve as instruções que o responsável pelo ensaio passará ao ouvinte, inclusive o tempo antes da sua entrada na câmara de teste, que não deverá exceder a cinco minutos (desde o momento em que o ouvinte começa a ler as instruções do

fabricante até o ajuste do protetor auditivo). Após o ouvinte ter indicado o término da colocação do protetor ou de terem passado os cinco minutos, ele deverá remover o protetor auditivo e entrar na câmara de teste. O indivíduo deverá então ficar sentado por dois minutos em silêncio ou ser instruído pelo experimentador para o teste ocluso e, subsequentemente, colocar o protetor auditivo e ficar em silêncio por um período de dois minutos. Após o período de silêncio, o teste de limiar deverá começar.

No Brasil, a atenuação de ruído dos DPA são medidas em laboratórios credenciados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e MTE. Com ambiente acústico adequado, os procedimentos seguem a norma ANSI S12.6/1997, cuja metodologia adotada é a do REAT método B. Esta norma descreve os procedimentos para constatação da proteção alcançada pelo protetor testado, expondo o ouvinte a um ruído de campo, gerado por caixas acústicas no interior de uma câmara específica para os testes. Este procedimento difere dos exames audiométricos em dois aspectos: não usa fones e o som emitido é composto por bandas de oitava ou faixas de frequências; não é um tom puro.

Determina-se, assim, o limiar auditivo dos ouvintes com e sem proteção auditiva e, pela diferença entre as medições, constata-se a atenuação do protetor. As normas ISO 4869, ANSI S3.19-1974, S12.6-1984 e ANSI S12.6-1997 (A), preconizam as metodologias que alcançam os maiores níveis de atenuação, por realizar os ensaios com ouvintes bem treinados e com auxílio de um técnico especializado para conduzir os procedimentos, e são chamados *Noise Reduction Rating* (NRR).

Os procedimentos referidos anteriormente, resultam em valores de atenuação que não correspondem à realidade constatada em campo ou comumente chamada de “mundo real”, quando os protetores são colocados pelos próprios trabalhadores, muitas vezes leigos e sem treinamento apropriado, e sujeitos às diversas variáveis comentadas anteriormente, como demonstra a Figura 29.



Fonte: NIOSH (1996)

Figura 29 – Comparação entre o NRR obtido em laboratório (norma ANSI S3.19-1974) e dados reais obtidos em campo, para protetores tipo *plug* e concha

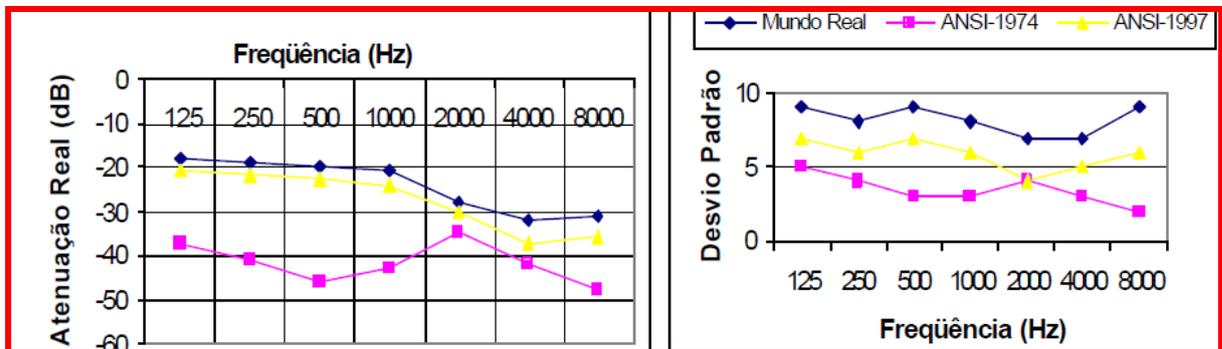
A metodologia atualmente empregada na determinação dos níveis de atenuação é prescrita na última edição, em 1997, da norma *American National Standard Institute S12.6 – Método B – Ouvido Real (Colocação pelo Ouvinte)* (ANSI, 1997) e foi adotada, no Brasil, pelo Departamento Nacional de Segurança e Saúde do Trabalhador (DNSST), da Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT), do (MTE), por intermédio da Portaria 48 de 25/03/2003 (BRASIL, 2003).

Nesse procedimento, preconiza-se que o protetor seja colocado pelo próprio ouvinte, um leigo, sem ajuda de qualquer instrutor, após leitura do manual do fabricante. O grupo de ouvintes deve ser trocado após poucos testes, eliminando-se o vício. Provavelmente, resultará numa proteção muito ruim, já que o leigo poderá colocar o protetor de maneira incorreta. Os resultados de atenuação nas frequências testadas são então inseridos em uma planilha (Tabela 1) cujo resultado é denominado *Noise Reduction Rating – Subject Fit* (NRRsf). Desta maneira chega-se a valores de atenuação mais coerentes com a realidade.

Tabela 1 – Resultado dos testes, norma ANSI S12.6 (1997) – Método B

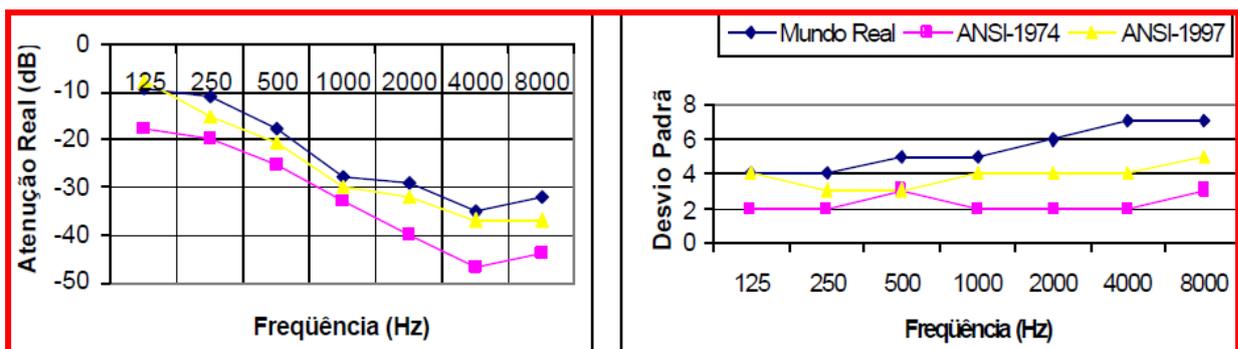
Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000	NRRsf
Atenuação (dB)	19,5	21,7	23,3	21,3	27,2	-	29,8	-	38	16
Desvio Padrão	5,9	6,6	7	3,6	5	-	8,4	-	7,3	-

As Figuras 30 e 31 apresentam as comparações entre as normas ANSI (1974 e 1997) com protetores do tipo *plug* e concha.



Fonte: Gerges (2000, p. 618)

Figura 30 – Resultado de testes comparativos entre as normas ANSI 1974, ANSI S12.6 (1997) – Método B e Mundo Real – para protetor tipo *plug*



Fonte: Gerges (2000, p. 618)

Figura 31 – Resultado de testes comparativos entre as normas ANSI 1974, ANSI S12.6 (1997) – Método B e Mundo Real – para protetor tipo *concha*

Como se pode observar, os ensaios jamais poderão basear-se numa amostragem unitária ou muito pequena, necessitando de um número razoável de ouvintes, para que exista certa confiabilidade nos resultados ao final dos testes (GERGES, 2000).

É preciso destacar, diante do que foi descrito, que existe um componente bastante importante na realização dos testes: a subjetividade. Todos os resultados dependem das condições psicoacústicas do ouvinte, da maneira como ele coloca o protetor, suas condições físicas e psicomotoras no momento do teste e sua habilidade de discriminar o som.

2.5.3 Cálculo dos níveis de proteção

O nível de redução de ruído é baseado nas recomendações da NIOSH (1975) e calculado para dados de ensaios das normas referenciadas. Calcula-se o *Noise Reduction Rating* (NRR) considerando-se um ambiente com ruído padrão, chamado *ruído rosa*³, com 100 dB em cada banda, subtraindo-se dois desvios padrão das atenuações médias do protetor auditivo para cada banda de frequência (Tabelas 2 e 3) e, ainda, subtraindo-se 3 dB no valor final como fator de segurança.

Tabela 2 – Formato de cálculo do Noise Reduction Rating

Frequências centrais [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	8k
a) Níveis em dB(A) de ruído rosa de 100 dB por banda							
b) Atenuação média medida							
c) Desvio Padrão x 2							
d) Níveis em dB(A) com o uso do protetor auditivo (d)=(a)-(b)+(c)							
e) Nível total com protetor = a soma logaritmo da linha (d) =							
Soma log da linha a = (f) NRR = (a) – (e) – 3,0							
O valor de 3 dB(A) é um fator de segurança para evitar superestimação da proteção.							

Fonte: Gerges (2000, p. 621)

Tabela 3 – Exemplo de cálculo do Noise Reduction Rating

Frequências centrais [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k	8k
a) Níveis em dB(A) de ruído rosa de 100 dB por banda	83,9	91,4	96,8	100,0	101,2	101,0	98,9
b) Atenuação média medida	13,0	13,0	18,0	27,0	30,0	41,5	38,5
c) Desvio Padrão x 2	4,8	3,6	6,0	6,8	6,0	9,0	14,6
d) Níveis em dB(A) com o uso do protetor auditivo (d)=(a)-(b)+(c)	75,7	82,0	84,8	79,8	77,2	68,5	75,0
e) Nível total com protetor = a soma logaritmo da linha (d) = 88,4 dB(A)							
Soma log da linha a = (f) NRR = 106,9 – (e) – 3,0 = 15,5 = 16 dB(A)							
O valor de 3dB(A) é um fator de segurança para evitar superestimação da proteção.							

Fonte: Gerges (2000, p. 621)

³ É o ruído em que aparecem componentes tonais em toda a banda audível, porém, com intensidade inversamente proporcional à frequência. O ruído rosa é padronizado internacionalmente e o seu nome também é uma referência à luz: uma luz com maior intensidade dos componentes de menor frequência teria a cor avermelhada.

O cálculo do *Single Number Rating* (SNR) é realizado conforme a norma ISO 4869-2. O roteiro de cálculo do SNR é similar ao do NRR, com exceção de dois parâmetros. O primeiro é que o SNR pode ser calculado para diferentes níveis de proteção (a porcentagem da população que pode ser protegida). O segundo é que não tem a subtração de 3 dB, como no NRR. Diferentes níveis de proteção são mostrados na Tabela 4, junto com o fator multiplicador “a” que é aplicado no desvio padrão.

Tabela 4 – Valores de “a” para vários níveis de proteção

Nível de proteção (%)	“a”
75	0,67
80	0,84
84	1,00
85	1,04
90	1,28
95	1,64
98	2,00

Fonte: Gerges (2000, p. 622)

No SNR é indicado o nível de proteção usado no seu cálculo. Por exemplo, SNR_{84} significa que foi usado “a = 1,00” no cálculo. Este valor é similar àquele usado no cálculo do NRR e, neste caso, $SNR_{84} = NRR - 3$. As Tabelas 5 e 6 exemplificam a procedimento.

Tabela 5 – Exemplo de cálculo dos valores assumidos de proteção (APV_{f84})

Frequências centrais [Hz]		125	250	500	1k	2k	4k	8k
Linha 1	Atenuação média (mf)	17,9	19,0	21,0	24,7	29,9	35,6	34,6
Linha 2	Desvio padrão (sf)	7,3	6,3	7,3	6,4	5,3	5,0	5,4
Linha 3	a * sf (a=1,00)	7,3	6,3	7,3	6,4	5,3	5,0	5,4
Linha 4	$APV_{f84} = mf - a * sf$	10,6	12,7	13,7	18,3	24,6	30,6	29,2

Fonte: Gerges (2000, p. 622)

Tabela 6 – Exemplo de cálculo da diferença entre Laf (k) e APV_{f84}

Frequências centrais [Hz]		125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Linha 1	Ruído rosa	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	100 dB (C)
Linha 2	Correção para escala A	- 16,1	- 8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
Linha 3	Laf (k) = Linha 1-Linha 2	75,4	82,9	88,3	91,5	92,7	92,5	90,4	98,5 dB(A)
Linha 4	APV _{f84} (Tabela 5)	10,6	12,7	13,7	18,3	24,6	30,6	29,2	
Linha 5	Laf (k) - APV _{f84}	64,8	70,2	74,6	73,2	68,1	61,9	61,2	78,6 dB(A)

Fonte: Gerges (2000, p. 622)

O primeiro passo é o cálculo dos valores assumidos de proteção (APV), que são calculados conforme demonstrado nas tabelas anteriores, onde “a” = 1,0, para casos de 84% de proteção.

O segundo passo é tomar como base um ruído rosa, com nível de pressão sonora total de 100 dB(C). Transformando-se estes valores para a escala A, tem-se a terceira linha da Tabela 6, com os valores de Laf(k).

Com os valores de APV em mãos (linha 4 da Tabela 6), faz-se agora a diferença Laf(k) – APV_{f84}, ou seja, os níveis de ruído na escala A menos os valores assumidos de proteção. Esta operação é mostrada na linha 5 da Tabela 6.

Com os valores das Tabelas 5 e 6, basta calcular o valor de SNR, pela equação:

$$\text{SNR}_{84} = 100\text{dB} - 10 \log (10^{0,1 \times 64,8} + 10^{0,1 \times 70,2} + 10^{0,1 \times 74,6} + \dots + 10^{0,1 \times 61,2}) = 21$$

ou

$$100 - 78,6 = 21,4 \text{ dB}$$

O recente NRRsf é calculado, para dados obtidos de ensaios, com a norma ANSI S12.6-1997(B), com base no SNR, para o nível de proteção de 84%, equivalente a um desvio padrão de a = 1. Conhecido o SNR, o NRRsf pode ser

calculado. Para o caso onde $SNR = 21$ dB, tem-se o valor único abaixo, que significa que 84% dos usuários terão uma proteção de 16dB.

$$NRR_{sf} = SNR_{84} - 5 = 16 \text{ dB}$$

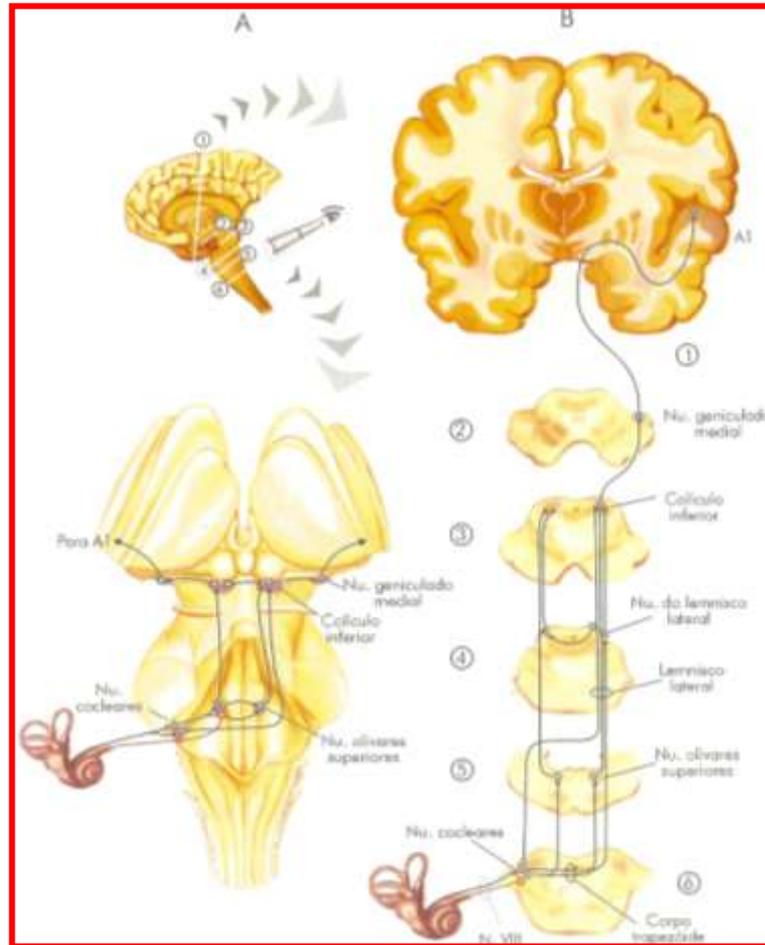
Como se pode verificar, constata-se a subjetividade intrínseca nas avaliações, ou seja:

1. Na Tabela 2, para o cálculo do NRR, subtrai-se 3 dB no valor encontrado “para não superestimar a proteção”.
2. Já para o cálculo do NRR_{sf} , novo procedimento, subtrai-se 5 dB, o que mostra os desvios, dúvidas e, portanto, a subjetividade encontrada.

Notadamente, percebe-se a dificuldade de se parametrizar as reações orgânicas ou biológicas frente a um fenômeno das ciências exatas, a Física. Pode-se considerar ou até, no mínimo, suspeitar de inúmeras variáveis relacionadas com o comportamento auditivo frente ao som, que por si justifica o propósito desta pesquisa.

2.6 Exame eletrofisiológico Resposta Auditiva de Estado Estável (RAEE)

Como descrito na Introdução deste trabalho, esta pesquisa lançou mão de uma metodologia que independe da resposta ou intervenção humana, captando os sinais elétricos diretamente na região do tronco encefálico próximo ao córtex cerebral, identificadas como Lemnisco Lateral e Colículo Inferior (Figura 32), após a emissão de um sinal sonoro, que estimula o complexo sistema da audição.

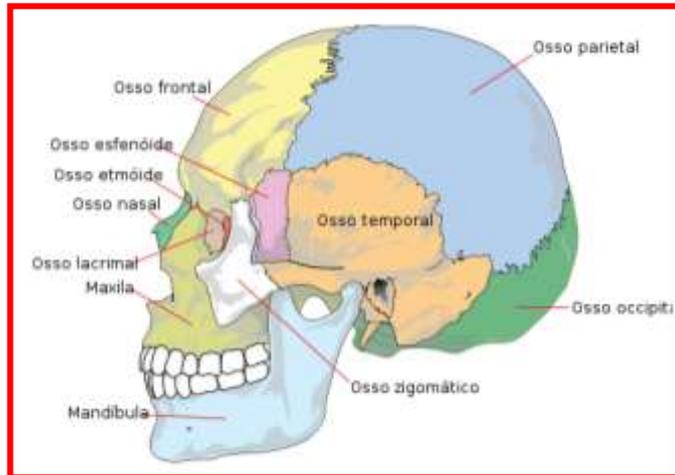


Fonte: Lent (2001, p. 252)

Figura 32 – Localização dos canais neurais que conduzem o som até o córtex cerebral

Resposta Auditiva de Estado Estável (RAEE) é um exame eletrofisiológico, que consiste na captação da atividade elétrica, produzida pelo estímulo do sistema da audição, próximo ao córtex cerebral, por intermédio de três eletrodos colocados em pontos específicos da caixa craniana, sendo:

- ✓ Eletrodo terra (Fpz) próximo ao osso esfenóide;
- ✓ Eletrodo (Fz), na linha média do osso frontal;
- ✓ Eletrodo (Oz), na região posterior do crânio no osso occipital;



Fonte: Wikipédia Enciclopédia Livre (2009)

Figura 33 – Detalhe da caixa craniana



Figura 34 – Posicionamento dos eletrodos

Duarte (2007) citou a importância dos exames eletroacústicos e eletrofisiológicos, nas avaliações audiológicas, já que não dependem do indivíduo frente ao estímulo sonoro, pois ele pode estar naturalmente dormindo ou sedado (LEVI; FOLSON; DOBIE, 1993; PETHE; VON SPECHT; HOCKE, 2001).

Este estímulo é feito por um som de campo, ou seja, não se utiliza fones sobre o pavilhão auricular, utilizando-se uma caixa acústica. O som emitido contém as frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz e é gerado pelo equipamento denominado *Multiple Auditory Steady-State Response (MASTER)*, que realiza o estímulo simultâneo das duas orelhas, cujas respostas à excitação da audição são captadas pelos eletrodos. Essas frequências excitam as células ciliadas em pontos distintos da cóclea, ou seja, há cílios especializados em captar e ressoar em

determinada frequência, como visto anteriormente, enviando informação para o cérebro. Os eletrodos captam e conduzem o sinal ao equipamento que realiza uma análise espectral (análise de Fourier) ou *Fast Fourier Transformation* (FFT) das ondas provenientes do tronco encefálico. Enquanto o sistema auditivo estiver sendo excitado, há sinal sendo captado, até que se obtenha o limiar com e sem proteção.

O som modulado nessas frequências é emitido em diversas intensidades sonoras, a fim de estimular o sistema auditivo. A seguir, o som vai decaindo em níveis previamente programados no equipamento, até que não haja mais sinal elétrico captado pelos eletrodos.⁴

Duarte (2007) explicitou que a RAEE é um procedimento que permite avaliar ao mesmo tempo os limiares auditivos de várias frequências, em ambas às orelhas, reduzindo o tempo de teste. Também permite estimular até níveis próximos a 125 dBNA, caracterizando assim, a audição residual, cujo objetivo é verificar a aplicabilidade da RAEE para determinar os limiares auditivos nos diferentes graus de perda auditiva neurossensorial coclear.

Duarte (2007) referiu que, conforme a literatura atual, trabalhos realizados com utilização da RAEE tem sua maior aplicabilidade na avaliação de indivíduos com audição dentro dos padrões de normalidade ou com perda auditiva neurossensorial (coclear) de diversos graus, sendo necessária novas pesquisas para fixar a relação da RAEE com os limiares comportamentais.

Esclarece ainda que, na RAEE, a detecção da resposta é realizada no domínio da frequência, utilizando-se algoritmos que são aplicados ao sinal do registro do eletroencefalograma (EEG) para a análise da magnitude e da fase da atividade cerebral correspondente à modulação de frequência do estímulo acústico. Desta maneira, a resposta é determinada por meio de uma verificação estatística, diminuindo a participação do avaliador na análise da resposta.

Simpson et al. (2005) referiu que as respostas de estado estável são conhecidas como uma medida fisiológica da sensibilidade cerebral a um estímulo periódico e tem sido descrita para todas as modalidades sensoriais. O RAEE é considerado um potencial evocado auditivo, pois trata-se de uma atividade elétrica no sistema auditivo, frente a uma estimulação, mas que se diferencia dos demais

⁴ Modulado é uma variação gradativa e contínua da frequência gerada, por exemplo variação de ± 80 Hz em 500 Hz. É a mesma sensação de vibrar a corda de um violão e em seguida girar a sua cravelha (Lent, 2001, pg. 245).

potenciais pela maneira como é gerada e analisada. A RAEE é obtida apresentando-se um estímulo com uma taxa de apresentação suficientemente rápida, de modo que não há tempo para o sistema nervoso voltar à condição inicial, gerando assim uma sobreposição de respostas. Esta resposta neural contínua é denominada *estado estável* e, caracteristicamente, segue a mesma forma de onda do estímulo contínuo que está sendo apresentado ao indivíduo (STAPELLS et al., 1984; LINS, 2002; VENEMA, 2004).

A amplitude da frequência varia devido às atividades cerebrais, o que prejudica a caracterização do real estímulo proveniente da audição. As pesquisas revelam que, para evitar tal interferência, é melhor que o paciente esteja em estado de sono, bem como a frequência portadora deve ser modulada entre 80 a 110 Hz, ou seja, 500 Hz deve ser modulado entre 420 a 580 Hz, de tal forma que as ondas geradas no ponto de captação (Figura 31), sejam preservadas.

Segundo Luts e Wouters (2004), frequência portadora é a frequência de estímulo teste que se pretende avaliar no limiar auditivo e que será modulada para gerar uma RAEE.

Segundo Lins (2002), a modulação neste espectro gera RAEE proveniente do tronco encefálico, fato constatado por meio da pesquisa dos Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico (PEATE) com diferentes taxas de apresentação. Com o aumento da taxa de apresentação do estímulo, as ondas I e III do PEATE tendem a desaparecer e nas taxas de apresentação, entre 80-100Hz, resta somente as ondas sobrepostas, resultando no denominado estado estável.

Conforme relatado por Small e Stapells (2005), a RAEE pode ser registrada pela modulação de uma única frequência e/ou múltiplas frequências, que podem estimular uma orelha (estimulação monótica) e/ou ambas as orelhas (estimulação dicótica) ao mesmo tempo. Estudos mostraram que não ocorre diferença estatisticamente significativa ao se comparar os modos de estimulação sonora. Alguns equipamentos de teste põem à disposição apenas uma apresentação simples por vez, outros disponibilizam a estimulação múltipla e dicótica, que permite avaliar uma ou quatro frequências portadoras ao mesmo tempo, nas duas orelhas.

De acordo com a Fisiologia da Audição, o som que penetra o sistema da audição e chega à cóclea gera ondas de deslocamento progressivas, sobre a membrana basilar, estimulando uma dada região específica, conforme a frequência,

como um fino diapasão. Esta locomoção da onda concorre para a inclinação das CCI, cujos estereocílios – ligados aos cílios – tocam na membrana tectória, momento em que ocorre a despolarização das CCI e, conseqüentemente, gera o potencial de ação no nervo auditivo. Na direção oposta, ocorre a hiperpolarização das mesmas, elidindo o tal potencial de ação (GUYTON; HALL, 2002).

O tom puro apresentado ao sistema auditivo, quando modulado em amplitude, terá um espectro acústico com três picos de energia: um correspondente à frequência portadora e os outros dois correspondem à frequência de modulação (VAN DER REIJDEN; MENS; SNIK, 2006; JOHN; DIMITRIJEVIC; PICTON, 2002). Este tom puro modulado irá estimular a membrana basilar na região correspondente ao envelope, ou seja, frequência portadora \pm frequência de modulação, e quando gera potencial de ação na despolarização das CCI, o nervo auditivo transmite uma versão retificada do estímulo sonoro, que apresenta um componente espectral da frequência de modulação. Isso explica como a RAEE tem energia espectral na frequência de modulação, enquanto o estímulo não tem (LINS, 2002).

Assim, a atividade cerebral é então sincronizada com a frequência de modulação do estímulo – e na mesma fase – podendo ser registrada por eletrodos posicionados na superfície do crânio (HERDMAN et al., 2002). A grande vantagem da RAEE é a análise da presença de respostas. Ao contrário dos outros potenciais evocados auditivos, que dependem da experiência do profissional em detectar visualmente as respostas que são medidas no domínio do tempo, a RAEE é detectada, no domínio da frequência, de forma objetiva e automática, diminuindo a participação do profissional na sua definição. A conversão da resposta para o domínio da frequência é realizada pelo *Fast Fourier Transformation*.

De acordo com Stapells et al. (1984), um oscilador dispara um gerador de estímulo a uma velocidade de frequência f (Hz) e, enquanto o indivíduo recebe a estimulação auditiva, gera a RAEE, o seu (EEG) amplificado e enviado para o analisador de Fourier, para ser multiplicado pelo seno e o cosseno da frequência da repetição do estímulo. Estas multiplicações convertem os componentes do EEG, com a mesma frequência de modulação do estímulo, em uma saída digital, que será utilizada para medir a amplitude e a fase, enquanto todos os outros componentes de frequência são convertidos em uma saída analógica e removidos por um filtro passa-baixa.

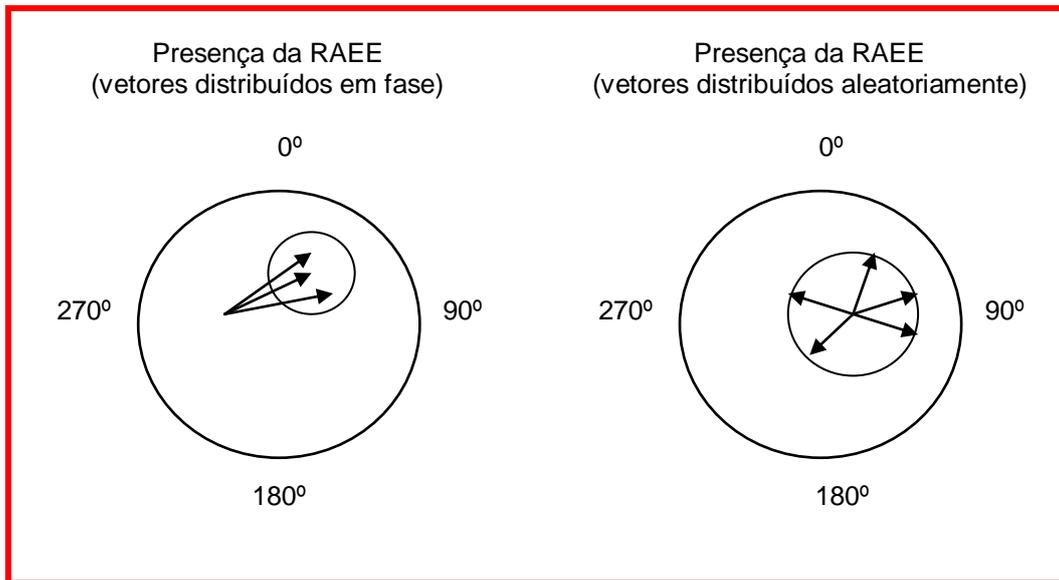
Segundo Lins e Picton (1995), Picton et al. (2001) e Lins (2002), o FFT converte a forma original da onda (amplitude-tempo) em uma série de ondas cosseno com frequências, amplitudes e fases específicas. Desta maneira, o FFT representa os componentes da onda como vetores em plano bidimensional, dando seus parâmetros nas coordenadas X e Y, que são transformadas em coordenadas polares com amplitude e fase. A amplitude é representada pelo comprimento do vetor e a fase pela rotação do vetor em relação ao eixo X.

Desta forma, a fase é um fenômeno circular, que ocorre a intervalos de 0° a 360° . De acordo com John e Picton (2000), mesmo que os dados da fase estivessem sempre disponíveis para análise, não seriam utilizados, pois somente a amplitude e a frequência da análise do FFT são suficientes para a análise do sinal.

Para Sartori e Joaquim (2003), o conhecimento da fase pode ser, no entanto, um parâmetro crucial para a informação exata do sinal. A fase pode representar não só a RAEE para uma determinada frequência de modulação, mas também todas as frequências do ruído que está sendo captado juntamente com esta resposta. O método pelo qual é possível identificar uma resposta no meio do ruído, consiste no ruído que gera vetores que se ordenam de forma aleatória no gráfico polar e com amplitudes menores e variadas, enquanto que ocorre o inverso na presença de resposta. Como o vetor que representa a resposta vai sempre possuir uma amplitude maior e vai estar agrupado ou ordenado para uma determinada direção, quando ocorre a promediação da resposta com o ruído, será gerado um vetor resultante, que irá se orientar para o lado que ocorreu maior amplitude.

O gráfico polar também representa o intervalo de confiança de 95% para o ruído, que é representado por um círculo centrado na ponta final do vetor. Quanto mais distante este círculo estiver da origem do vetor, ou seja, do centro do gráfico polar, mais a resposta sairá do limite de 95% de ruído estimado tendo somente 5% de chance para que seja uma RAEE (JONH; PICTON, 2000).

A Figura 35 ilustra a presença e ausência da RAEE, com a ordenação dos vetores e o intervalo de confiança do ruído.



Fonte: Duarte (2007, p. 31)

Figura 35 – Gráficos polares representando a disposição dos vetores na análise da RAEE

Picton et al. (2001) relataram que há basicamente dois tipos de testes para verificar a presença de resposta: um baseado na similaridade entre a fase e, o outro, na diferença entre a medida da frequência de modulação (sinal) e as outras medidas (ruído) no espectro.

A Figura 36 apresenta uma representação da RAEE no domínio da frequência pelo FFT, cujas frequências portadoras de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, foram moduladas em 91,406; 93,750; 96,094 e 98,437 Hz, para ambas as orelhas, já que foram testadas simultaneamente com um ruído de campo. Os picos em amarelo indicam a amplitude da RAEE que será analisada pelo teste F, com a amplitude do ruído nas frequências adjacentes.



Figura 36 – Representação da RAEE no domínio da frequência pelo FFT

Picton et al. (2001) demonstraram que protocolos que utilizaram, também, a coerência de fase e a amplitude para detectar a RAEE, foram mais eficientes do que aqueles que utilizaram somente a coerência da fase.

Após serem analisadas por testes estatísticos específicos para cada tipo de análise, geralmente teste T2 para coerência de fase e teste F para análise da amplitude, as RAEE são então apresentadas na tela do computador, permitindo ao clínico interpretá-las na definição dos limiares auditivos que serão utilizados para montar o audiograma.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Materiais e equipamentos empregados

Para a execução desta pesquisa, utilizou-se os materiais e equipamentos que se seguem:

3.1.1 Protetores auditivos

- Tipo *plug* CA n. 11512 com NRRsf 16 dB, composto em silicone, fabricado pela Maxxi Royal[®] Ind. e Com. de Produtos Auriculares Equip. de Prot. Seg. Individual Ltda.
- Tipo concha CA n. 15247 com NRRsf 21 dB, composto com duas conchas com almofada interna, ligadas por um arco, Marca Thunder[®] T1, fabricado pela BILSON e comercializado no Brasil pela empresa Sperian Produtos de Segurança Ltda.

3.1.2 Audiodosímetro de ruído e calibrador

Dosímetro marca Quest[®] (Figura 37), modelo Q400, número de série QDC110019, data de calibração 24/AGO/2006, procedência americana. Calibrador marca Quest[®], modelo QC10, número de série QIC110057, data de calibração 24/AGO/2006, procedência americana.



Figura 37 – Audiodosímetro de ruído para avaliação do NPS de campo no interior da cabina

3.1.3 Audiômetro

Marca MADSEN[®], modelo Midimate 622, utilização de fones supra-aurais tipo TDH 39; as frequências analisadas são as determinadas pela NR-7 do Ministério do Trabalho.

3.1.4 RAEE

Os limiares da RAEE foram pesquisados empregando o sistema MASTER (*Multiple Auditory Steady-State Response*), versão 2.04.i00 da marca Bio-logic Systems Corp[®]. As frequências pesquisadas foram 500, 1000, 2000 e 4000 Hz.

3.1.5 Cabina acústica e caixa acústica para ruído de campo

A Figura 38 apresenta a cabina empregada na pesquisa, que é regularmente calibrada e tem sua estrutura aterrada eletricamente.



Figura 38 – Cabina de testes da Faculdade de Odontologia de Bauru (FOB), da Universidade de São Paulo (USP)

3.2 Critérios de inclusão dos participantes na pesquisa

Para inclusão dos participantes nesta pesquisa alguns parâmetros foram fixados, de maneira que se isolasse qualquer variável que viesse a intervir nos resultados finais. Para tal, ficou estabelecido que:

- homens e mulheres, com idade entre 19 e 35 anos;
- o ouvinte não deve possuir histórico de exposição a ruído, aspecto verificado por entrevista;
- o ouvinte deve possuir audição dentro dos padrões de normalidade, verificada por meio de audiometria tonal limiar nas frequências de 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 6 e 8 kHz, e realizar uma avaliação das condições da orelha externa, que deverá estar isenta de impedimentos para realização do exame (etapa esta acompanhada por profissional fonoaudiólogo).

3.3 Método

Após o preenchimento das condições de inclusão na pesquisa, os participantes realizam o exame eletrofisiológico RAEE, que se desenvolveu da seguinte maneira:

3.3.1 Procedimentos preliminares ao exame

- Limpar e higienizar a pele onde os eletrodos serão aplicados na superfície do crânio (base do crânio e frente), para impedir impedância, utilizando-se um gel abrasivo – Skin Prepping Gel – não tóxico e sem potencial alergênico.
- Aplicar pasta condutiva, para melhoria da captação do sinal elétrico no tronco encefálico - não tóxico e sem potencial alergênico.
- Instalar os eletrodos pré-determinados, conforme programação do software – Eletrodos Adesivos Condutores para Eletroencefalograma.

- Conduzir o ouvinte para o interior da cabina audiométrica.
- Pedir para que deite na maca e fique na postura de decúbito dorsal, confortavelmente, já que o teste dura em torno de 3 horas e 30 minutos.
- Conectar os eletrodos no dispositivo de captação dos sinais;
- Ligar o equipamento e a caixa acústica.
- Introduzir os parâmetros do ouvinte e os parâmetros de teste, como limites superior e inferior de ruído, e o gradiente de decréscimo.

3.3.2 Procedimentos para a realização do exame

- O ambiente da cabina audiométrica (aferida dentro de parâmetros normatizados) encontrava-se escuro e isento de ruídos de fundo, para não prejudicar o teste.
- Foi emitido um sinal sonoro de campo, a distância de 30 centímetros de ambos os pavilhões auriculares do participante, proveniente de uma caixa acústica. O som foi modulado iniciando com uma intensidade em torno de 80 dB(NA), decrescendo conforme o gradiente ajustado conforme limites do equipamento, ou seja, o som diminuía de 5, 10 ou 15 dB. O primeiro teste foi realizado sem a proteção auditiva.
- Um audiodosímetro foi mantido no ambiente e seu microfone foi alocado a 5 cm do pavilhão auricular, a fim de, determinar o NPS equivalente (L_{eq}) durante cada teste (sem proteção, com proteção tipo *plug* e com proteção tipo concha).
- Após a determinação do limiar de audibilidade sem o protetor, o exame prosseguiu, empregando-se o mesmo método com os protetores.

3.4 Limitações

Algumas limitações relativas ao exame foram consideradas:

- o exame eletrofisiológico normalmente é realizado com o fone diretamente no pavilhão auricular do examinando; no caso desta pesquisa, foi emitido um sinal sonoro utilizando-se uma caixa acústica devidamente calibrada; sendo assim o limiar eletrofisiológico poderá ter valores superiores àqueles realizados como no padrão, ou seja, será necessário um som maior para a percepção ou excitação auditiva;
- interferências elétricas, relacionadas com atividades cerebrais, tais como, movimentos voluntários ou involuntários das pálpebras, ronco, tosse, espirro, movimentação de membros e músculos, etc. Estas interferências, são denominadas de artefatos e, prejudicam o eletroencefalograma exclusivo das atividades resultantes das sinapses realizadas pela excitação do sistema da audição;

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 7 mostra os dados levantados com dez testes (dez participantes) e as respectivas atenuações para cada frequência testada, conforme padrão do MASTER 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 kHz.

Na Tabela 8, encontram-se os valores médios de cada condição, ou seja, sem protetor, com proteção através de *plug* e com proteção através de concha e as médias das atenuações.

Na Tabela 9, pode-se verificar o desvio padrão dos resultados correspondentes das linhas “*ATENUAÇÃO PLUG*” e “*ATENUAÇÃO CONCHA*” da Tabela 7 e a atenuação correspondente, considerando uma vez o desvio, ou seja, com “ $a = 1,0$ ”.

Tabela 7 – Limiares obtidos nos testes

Condição	Frequências de Teste (Hz)																																							
	500										1000										2000										4000									
	Limiares em dB(NA)																																							
Testes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Sem proteção	55	55	60	40	50	30	40	35	55	45	30	45	60	55	40	50	30	20	45	25	20	25	50	30	25	25	25	25	30	20	20	20	50	30	45	25	35	35	35	20
Com plug	60	100	60	60	65	45	70	50	75	60	55	50	60	55	65	60	60	40	70	40	40	45	50	45	60	55	70	60	50	45	45	35	60	60	75	45	80	55	85	45
Com concha	65	80	80	85	75	50	75	60	80	80	80	85	60	60	85	80	65	55	80	60	65	60	60	60	60	70	60	60	55	50	60	50	80	50	80	50	75	65	65	50
Aten. Plug*	5	45	0	20	15	15	30	15	20	15	25	5	0	0	25	10	30	20	25	15	20	20	0	15	35	30	45	35	20	25	25	15	10	30	30	20	45	20	50	25
Aten. concha**	10	25	20	45	25	20	35	25	25	35	50	40	0	5	45	30	35	35	35	35	45	35	10	30	35	45	35	35	25	30	40	30	30	20	35	25	40	30	30	30

* **Atenuação do plug** = diferença entre dos valores registrados com protetor tipo *plug* e sem proteção auditiva;
 ** **Atenuação da concha** = diferença entre dos valores registrados com protetor tipo concha e sem proteção auditiva;

Pn = Participante com n variando de 1 a 10.

Tabela 8 – Média dos limiares (dBNA)

Ordem	Condição	Frequências (Hz)			
		500	1000	2000	4000
		Médias			
A ⁽¹⁾	Sem proteção	46,5	40,0	27,5	31,5
B ⁽²⁾	Com plug	64,5	55,5	52,0	58,5
C ⁽³⁾	Com concha	73,0	71,0	60,0	62,5
D ⁽⁴⁾	Atenuação com plug	18,0	15,5	24,5	27,0
E ⁽⁵⁾	Atenuação com concha	26,5	31,0	33,5	31,0

- (1) Média dos registros da linha SEM PROTEÇÃO da Tabela 7;
- (2) Média dos registros da linha COM PLUG da Tabela 7;
- (3) Média dos registros da linha COM CONCHA da Tabela 7;
- (4) Média dos registros da linha ATENUAÇÃO PLUG da Tabela 7;
- (5) Média dos registros da linha ATENUAÇÃO CONCHA da Tabela 7;

Tabela 9 – Desvio padrão e média da atenuação com desvio (dBNA)

Frequências (Hz)		500	1000	2000	4000
Uso de Plug					
1	Desvios Padrão	12,5	11,2	12,6	12,5
2	Limiar c/proteção + desvio*	41,0	35,7	15,6	17,0
Uso de Concha					
3	Desvios Padrão	9,7	16,1	10,1	6,1
4	Limiar c/proteção + desvio **	29,7	25,1	5,1	6,6

* Diferença das linhas A e D da Tabela 8 e linha 1 da Tabela 9;

** Diferença das linhas A e E da Tabela 8 e linha 3 da Tabela 9;

Observa-se um desvio padrão elevado, especialmente devido a um número reduzido de testes. Observou-se durante os testes que, com o aumento do número de amostras, o desvio padrão diminuía rapidamente.

As linhas 2 e 4 da Tabela 9, correspondem respectivamente ao valor médio de atenuação (para cada uma das quatro frequências testadas) somado ao desvio padrão para cada tipo de protetor auditivo, para proteção de uma população de 84% dos usuários.

A Figura 39 apresenta os limiares obtidos com os registros dos testes.

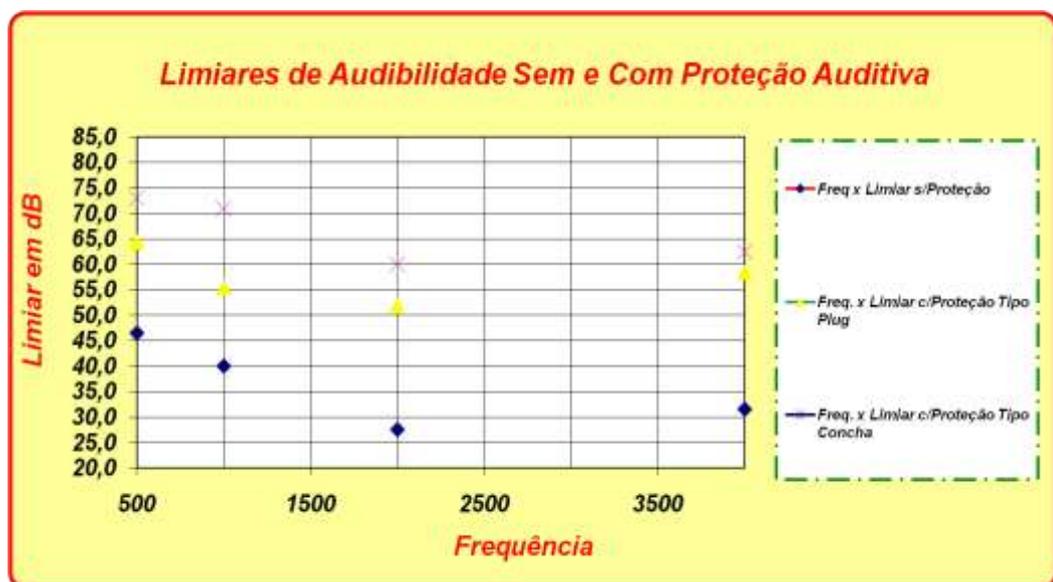


Figura 39 – Resultados dos limiares dos cinco primeiros testes

O cálculo do valor único da atenuação alcançada na metodologia aplicada nesta pesquisa é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Cálculo da atenuação dos protetores (dBNA)

Linha	Procedimento	Resultado
A	Soma logarítmica da linha A da Tabela 8	47,5
B	Soma logarítmica da linha 2 da Tabela 9	42,1
C	Soma logarítmica da linha 4 da Tabela 9	31,0
D	Diferença das linhas A e B desta Tabela	5,4
E	Diferença das linhas A e C desta Tabela	16,5

O resultado da linha D da Tabela 10, corresponde à atenuação total encontrada nesta pesquisa, para o protetor tipo *plug*, ou seja, 5,4 dB. Da mesma forma, a linha E da mesma tabela, expressa o resultado da atenuação do protetor tipo concha, sendo 16,5 dB.

Obviamente, tais valores, resultam da metodologia desenvolvida para consecução desta pesquisa, ou seja, levantamento dos limiares eletrofisiológicos, constatados com uso da RAEE e, cálculos considerando-se a metodologia prescrita na ANSI 12.6.

A Tabela 11 apresenta os valores comparativos entre a atenuação fornecida pelo fabricante e os resultados desta pesquisa para o *plug*.

Tabela 11 – Comparação entre as atenuações para o protetor *plug*

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Fornecedo	Atenuação (dB)	19,5	21,7	23,3	21,3	27,2	-	29,8	-	38,0
	Desvio Padrão	5,9	6,6	7,0	3,6	5,0	-	8,4	-	7,3
Pesquisa	Atenuação (dB)	-	-	18,0	15,5	24,5	-	27,0	-	-
	Desvio Padrão	-	-	12,5	11,2	12,6	-	12,5	-	-

A Tabela 12 apresenta os valores comparativos entre a atenuação fornecida pelo fabricante e os resultados desta pesquisa para a concha.

Tabela 12 - Comparação entre as atenuações para o protetor concha

Frequência (Hz)		125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
Fornecedo	Atenuação (dB)	12,3	20,4	25,9	28,3	33,3	-	32,4	-	33,6
	Desvio Padrão	4,1	4,0	2,9	2,0	2,5	-	2,3	-	8,5
Pesquisa	Atenuação (dB)	-	-	26,5	31,0	33,5	-	31,0	-	-
	Desvio Padrão	-	-	9,7	16,1	10,1	-	6,1	-	-

Nas comparações das Tabelas 11 e 12 deve-se considerar que as frequências dos testes não coincidem: para determinação do CA dos protetores auditivos (norma ANSI) são usadas as frequências centrais dos terços de oitava, enquanto que no equipamento MASTER para pesquisa da RAEE tem suas frequências padronizadas em 500, 1000, 2000 e 4000 Hz.

Tabela 13 – Comparação entre a atenuação dos protetores (dB)

<i>Protetor</i>	<i>NRRsf</i>	<i>Esta pesquisa</i>
Plug	16	5,4
Concha	21	16,5

Para averiguar a repetitividade, foi realizada a repetição do teste com 3 indivíduos escolhidos aleatoriamente, resultando num total de 36 medições, ou seja, cada indivíduo foi novamente testado sem e com 2 tipos de protetores em 4 frequências. Esses dados são apresentados na Tabela 14. As diferenças encontradas resultaram em:

- 27,8% dos testes apresentaram diferença de 0 dB;
- 44,4% dos testes apresentaram diferença de 5 dB;
- 8,3% dos testes apresentaram diferença de 10 dB;
- 16,7% dos testes apresentaram diferença de 15 dB;
- 2,8% dos testes apresentaram diferença de 20 dB.

Tabela 14 – Verificação da repetitividade

Amostra		Testes				Sequência
		Frequência (Hz)				
		500	1000	2000	4000	
A	Sem proteção	55	30	20	20	P1
		40	25	20	25	P11
	Com plug	60	55	40	45	P1
		50	50	45	60	P11
	Com concha	65	80	65	60	P1
		70	60	65	75	P11
B	Sem proteção	35	20	25	35	P8
		25	25	20	30	P12
	Com plug	50	40	60	55	P8
		50	55	60	70	P12
	Com concha	60	55	60	65	P8
		60	60	60	60	P12
C	Sem proteção	45	25	20	20	P10
		50	25	20	20	P13
	Com plug	60	40	45	45	P10
		60	45	50	60	P13
	Com concha	80	60	50	50	P10
		75	55	55	60	P13

P = Participante.

P1 é o mesmo participante P11, enquanto que P8 e P10, são respectivamente P12 e P13.

5 CONCLUSÕES

Tendo por base os resultados, pode-se concluir:

- os valores das atenuações dos protetores, encontram-se próximos daqueles indicados no CA, em sua devida faixa de frequência, restando o aumento do número de amostras (testes) para convergência do desvio padrão e a média aritmética;
- a atenuação total obtida, na população estudada dentro da faixa de frequência de 500 a 2000Hz, foi menor que aquela encontrada no CA, devido ao número de amostras desta pesquisa ser baixo, o que resulta num desvio padrão elevado;
- a repetição do teste mostrou uma boa repetitividade do método. 72,2% das 36 medições apresentaram variação entre 0 e 5 dB;
- esta pesquisa apresenta uma opção para os futuros ensaios de protetores auditivos por meio de uma metodologia objetiva;
- o tempo de teste para obtenção da atenuação do protetor pelo método da RAEE é grande, aproximadamente 2 horas.

REFERÊNCIAS

- ANSI. American National Standard Institute. **American Standard Method for the Measurement of the Real-Ear Attenuation of Ear Protectors at Threshold**. ANSI Z24-22-1957, New York, 1957.
- ANSI. American National Standard Institute. **Standard Method for the Measurement of Real-Ear Protection of Hearing Protectors and Physical Attenuation of Earmuffs**. ANSI S3.19-1974, New York, 1974.
- ANSI. American National Standard Institute. **Method for the Measurement of Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors**. ANSI S12.6-1984, New York, 1984.
- ANSI. American National Standard Institute. **Method for the Measurement of Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors A and B**. ANSI S12.6-1997, New York, 1997.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. Os sistemas auditivo e vestibular. In: _____. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 3. ed. Traduzido por Carla Damaz et al. Porto Alegre: Artmed, 2008. p. 343-384.
- BRANDOLT, P. R. M. **Análise das características acústico-mecânico e dos protetores auditivos**. 2001. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 306, DE 5 DE JULHO DE 2002. Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais, Anexo I § XII. **Diário Oficial da União**, 19 jul. 2002.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n. 6**. Portaria 48 de 25 de Março de 2003. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 22 abr. 2009.
- DUARTE, J. L. **A utilização da Resposta Auditiva de Estado Estável para estimar limiares auditivos em indivíduos com perda auditiva neurosensorial**. 2007. Dissertação (Mestrado em Fonoaudiologia) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 2007.
- FERNANDES, J. C. **Ruído e vibrações**. Apostila do Curso de Especialização em Segurança do Trabalho. Bauru: UNESP, 2001.
- FERNANDES, J. C. **Curso de ruído e vibrações**. Curso a Distância. Bauru: CREA-SP/UNESP, 2005.
- FERNANDES, J. C.; QUEIROZ, J. L. Poluição sonora. In: ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí, 3., 2009. **Anais...** Itajaí, 2009. 1CD-ROM.
- GERGES, S. H. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: SNY Gerges, 2000.

- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. O sentido da audição. In: _____. **Tratado de fisiologia médica**. 10. ed. Traduzido por Charles Alfred Esberard et al. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. p. 561-570.
- HERDMAN, A. T., et al. Intracerebral sources of human auditory steady-state responses. **Brain Topogr**, New York, v. 15, n, 2, p. 69-86, 2002.
- ISO. International Standartization Organization. **Acoustic hearing protectors**. ISO 4869-1/1990 (parte 1), 1990.
- JOHN, M. S.; DIMITRIJEVIC, A.; PICTON, T. W. Auditory steady-state responses to exponential modulation envelopes. **Ear Hear**, Baltimore, v. 23, n. 2, p. 106-117, Apr. 2002.
- JOHN, M. S., PICTON, T. W. Human Auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phases and latency measurements. **Hear Res**, Amsterdam, v. 141, n. 1-2, p. 57-79, March 2000.
- KELLER, W. **E a Bíblia tinha razão...** Tradução de João Távora. São Paulo: Melhoramentos, 1978. p. 179.
- KRUTH, P.; STOBART, H. **Sound**. New York: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0-521-57209-6. p. 65-88.
- LENT, R. **Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de Neurociência**. São Paulo: Atheneu, 2001.
- LEVI, E. C.; FOLSON, R. C.; DOBIE, R. A. Amplitude-modulation following response (AMFR): effects of modulation rate, carrier frequency, age and state. **Hear Res**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 42-52, June 1993.
- LINS, O. G. **Audiometria fisiológica tonal utilizando respostas de estado estável auditivas do tronco cerebral**, 2002. Tese (Doutorado em Medicina) – Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2002.
- LINS, O. G.; PICTON T. W. Auditory Steady-State Responses to Multiple Simultaneous Stimuli. **Electroencephalogr Clin Neurophysiol**, Amsterdam,, v. 96, n. 5, p. 420-432, Sept 1995.
- LUTS, H.; WOUTERS, J. Hearing assessment by recording multiple auditory steady-state response: the influence of test duration. **Int J Audiol**, Hamilton, v. 43, n. 8, p. 471-478, Sept. 2004.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Preventing occupational hearing loss: a practical guide. **NIOSH Publication**, n. 96-110, June 1996. Disponível em : <<http://www.cdc.gov/niosh/docs/96-110/personal.html>>. Acesso em: 25 maio 2009.
- PETHE, J.; VON SPECHT, H.; HOICHE, T. Amplitude modulation following responses in awake and sleeping humans: a comparison for 40 Hz and 80 Hz modulation frequency. **Scand Audiol Suppl**, Copenhagen, Supplement 52, v. 30, n. 1, p. 152-155, Jan. 2001.

PICTON, T. W. et al. The use of phase in the detection of auditory steady-state responses. **Clin Neurophysiol**, Amsterdam, v. 112, n. 9, p. 1698-1711, Sept. 2001.

PIERCE, A. D. **Acoustics, An Introduction to Its Physical Principles and Applications**. 3. ed. New York: Acoustical Society of America, 1994, ISBN 0-88318-612-8.

QUEIROZ, J. L. **Ruído e vibrações**. Apostila Curso de Especialização em Higiene Ocupacional. São Paulo: SENAC, 2006.

ROSSING, T. D. **The science of sound**. 2. ed. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1990. ISBN 0-201-15727-6.

SARTORI, J. C.; JOAQUIM, M. B. **Análise de Fourier**: introdução à análise de Fourier. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 2003.

SCHAFER, R. M. **A afinação do mundo**. São Paulo: Edunesp, 2001. ISBN 8571393532.

SIMPSON, M. I. G. et al. Imaging the dynamics of the auditory steady-state evoked responses. **Neurosci Lett**, Amsterdam, v. 385, n. 3, p. 195-197, 16 Sept. 2005.

SMALL, S. A.; STAPPELLS, D. R. Multiple auditory steady-state responses to bone-conduction stimuli in adults with normal hearing. **J Am Acad Audio**, Burlington, v. 16, n. 3, p. 172-183, March 2005.

SMITH, D. **Photos of the Bridge collapsing**. 1974. Disponível em : <<http://www.enm.bris.ac.uk/anm/tacoma/tacoma.html#photos>>. Acesso em agosto de 2009.

SOCIEDADE BÍBLICA DO BRASIL. **Bíblia em multimídia**. Ilumina Brasil, 2007.

STAPPELLS, D. R. et al. Human Auditory Steady Potentials. **Ear Hear**, Baltimore, v. 5, n. 2, p. 105-113, 1984.

TOLKIEN, J. R. R. **O silmarillion**. Trad. Fernanda Pinto Rodrigues Mem Martins: Publicações Europa América, 1997. ISBN 972-1-04325-7.

VAN DER REIJDEN, C. S.; MENS, L. H.; SNIK, A. F. M. Frequency-specific objective audiometry: tone-evoked brainstem responses and steady-state responses to 40 Hz and 90 Hz amplitude modulated stimuli. **Int. J. Audiol**, Hamilton, v. 45, n. 1, p. 40-45, Jan. 2006.

VENEMA, T. A Clinician's Encounter with the Auditory Steady-State Response (ASSR). An introduction to ASSRs and their implications in real-world fitting environment. **Hearing Review**, Alberta, v. 11, n. 5, p. 22-28; 69-71, 2004.

WIKIPEDIA. Enciclopédia Livre. **Câmara anecóica**. Disponível em: <http://www.pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A2mara_anec%C3%B3ica>. Acesso em: 26 set. 2009.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)