



**UNIVERSIDADE ESTADUAL
PAULISTA**

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO" – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

EDSEL FREITAS PORTILHO

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA FONTE SONÓRA COM
DIRECIONAMENTO CONTROLADO, VOLTADO PARA EXAMES DE
AUDIOMETRIA.**

Ilha Solteira

2017

EDSEL FREITAS PORTILHO

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA FONTE SONÓRA COM
DIRECIONAMENTO CONTROLADO, VOLTADO PARA EXAMES DE
AUDIOMETRIA.**

**Dissertação apresentado à Faculdade de Engenharia
do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica. Especialidade em Mecânica
dos Sólidos.**

**Prof. Dr. João Antônio Pereira
Orientador**

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Portilho, Edsel Freitas.
P863e Estudo e desenvolvimento de uma fonte sonora com direcionamento controlado, voltado para exames de audiometria. / Edsel Freitas Portilho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
101 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Mecânica dos Sólidos, 2017

Orientador: João Antônio Pereira
Inclui bibliografia

1. Fonte sonora. 2. Propagação do som. 3. Espaço auditivo virtual. 4. Engenharia biomédica. 5. Exame audiométrico. 6. Equipamento exames audiométrico..

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Estudo e desenvolvimento de uma fonte sonora com direcionamento controlado voltada para exames de audiometria

AUTOR: ESEL FREITAS PORTILHO
ORIENTADOR: JOAO ANTONIO PEREIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA MECÂNICA, área: MECANICA DOS SÓLIDOS pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOAO ANTONIO PEREIRA
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SAMUEL DA SILVA
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ADRIANO SILVA BORGES
Engenharia Mecânica / UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Ilha Solteira, 23 de junho de 2017.

DEDICO,

Ao meu pai Dr. Edsel Emrich Portilho (in Memoriam), a minha mãe Nair Freitas dos Santos Portilho, meus educadores e eternos exemplos de retidão, e a meu filho Victor Gabriel S. F. M. Portilho, como exemplo que o aprendizado continuado e conhecimento são os maiores bens que um indivíduo possa adquirir e possuir, nessa oportunidade de passagem terrena.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela inspiração, oportunidade, amparo material, saúde e força espiritual para a realização desse trabalho.

Aos Meus Avós Paternos Epaminondas Portilho (in memoriam), exemplo busca pelo conhecimento gosto pelas ciências e engenharias, Else Emrich Portilho (in Memoriam), educadora exemplar, Avós maternos Benedito Alves dos Santos (in memoriam) , Alice Freitas dos Santos (in memoriam) por todo ensinamento, amor e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. João Antônio Pereira pela oportunidade concedida, confiança no meu trabalho, grande paciência, ensinamentos e, acima de tudo, pela amizade construída durante todos esses anos. Aos professores e educadores da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Dr. João Batista Aparecido, Dr. Amarildo T. Paschoalini, Dr. Márcio A. Bazani, Dr. Samuel da Silva, Prof. Msc Antonio E. Turra, Dr. Celso R. Sokei, Dr. José Luiz Gasche, Phd. Luiz de P. do Nascimento, Prof. Dr. Michael J. Brennan, Dr. Ruís C. Tokmatsu, Dr. Vicente L. Júnior, Dr. Vicente A. Ventrella, e a todos os funcionários e professores que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho em especial aos professores do Departamento de Engenharia Mecânica.

Ao Reitor da UniRV Dr. Sebastião Lazaro Pereira, Diretor Msc. Nagib Yassim, aos diretores das Faculdades de Eng. Mecânica e de Produção da Universidade de Rio Verde, Prof. Dr. Warley Augusto Pereira, Prof. Dr. Giancarlo Ribeiro Vasconcelos e Prof. Msc. João Pires, pela confiança no meu trabalho na Universidade de Rio Verde.

Aos amigos que conviveram comigo durante minha passagem por Ilha Solteira: Ana Paula Guimarães, Daniella Cabral, Delma Erks, Diogo B. Fernandes, Daniel Fernando, Marcelo Rozan, Gustavo C. Jaime, Msc. Ronaldo Lourenço Ferreira. Aos amigos inspiradores Rosilene Ferreira, Ana Cláudia F. Bonfim, Sirlene Simpson, Fabio J. R. do Couto, Ricardo Latorraca, Mônica P. Castro, Derônise F., Dra. Huang Ying e Katia Leão, pelo apoio nas horas mais difíceis.

E principalmente, aos meus pais Dr. Edsel Emrich Portilho (in Memoriam), a minha mãe Nair Freitas dos Santos Portilho, a meu filho Victor Gabriel S. F. M. Portilho, Meus irmãos Edna Portilho de Souza, Edwal Freitas Portilho, Dra. Ednea Freitas Portilho, meu cunhado Edson Borges de Souza, e meus sobrinhos Ellen, Paulo Henrique e Ruan Portilho de Souza, Edsel Neto e Adna Alice, Isabela, Isadora e Otávio Leão Portilho, tios e demais familiares, aos quais caberiam inúmeras citações das contribuições em meu aprendizado de vida. Obrigado pela compreensão com minha ausência durante longos períodos desta jornada.

“Tudo deveria se tornar o mais simples possível, mas não simplificado.”

Albert Einstein

“Você tem que acordar cada manhã com determinação se você pretende ir para a cama com satisfação.”

George Lorimer

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

Martin Luther King

"O que falece aos nossos financeiros em geral é esse singelo rudimento da ciência das finanças: que o primeiro elemento de fertilização da terra consiste na fecundação do entendimento do povo; que a produtividade de um país está na razão direta da propagação da ciência entre os seus habitantes; que uma nação será sempre tanto mais pobre, quanto menos difundida se achar nas camadas populares a educação técnica e o saber positivo."

Rui Barbosa

"Não é possível refazer este país, democratizá-lo, humanizá-lo, torná-lo sério, com adolescentes brincando de matar gente, ofendendo a vida, destruindo o sonho, inviabilizando o amor. Se a educação sozinha não transformar a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda."

“Ai daqueles que pararem com sua capacidade de sonhar, de invejar sua coragem de anunciar e denunciar. Ai daqueles que, em lugar de visitar de vez em quando o amanhã pelo profundo engajamento com o hoje, com o aqui e o agora, se atrelarem a um passado de exploração e de rotina.”

Paulo Freire

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.”

São Francisco de Assis

RESUMO

O presente trabalho trata do estudo de uma fonte acústica com direcionamento sonoro controlado. A proposta envolve o desenvolvimento do projeto de um equipamento de teste para uso biomédico na aplicação e análises fonoaudiológicas, em que é proposto o dimensionamento de uma fonte acústica direcional, com adequada isolamento e direcionamento do som emitido em relação ao posicionamento do ouvido do paciente, para ser usada dentro de um ambiente acusticamente isolado, dimensionado para permitir os testes, treinamentos e análise dos exames fonoaudiológicos relativos às percepções espaciais binaurais.

Palavras-chave: Equipamento. Biomédico. Fonoaudiologia. Teste. Fonte sonora. Acústica. Isolação acústica. Exame aural. Exames binaurais.

ABSTRACT

The present work deals with the study of an acoustic source with controlled sound direction. The proposal involves the development of the design of a test equipment for biomedical use in the application and phonoaudiological analyzes, in which it is proposed the dimensioning of a directional acoustic source, with adequate isolation and directness of the emitted sound in relation to the positioning of the patient's ear, To be used within an acoustically isolated environment, sized to allow the testing, training and analysis of speech-language pathology examinations related to binaural spatial perceptions.

Keywords: Cabin. Analyzer. Phonoaudiology. Tests. Accustic ambient isolation. Sound. power Sound box. Aural test. Binaural test. Registry. Analyzes. Biomedical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detector de aviação inimiga.	17
Figura 2 - Galpão Cardiff-Miller I.	18
Figura 3 - Galpão Cardiff-Miller II.	18
Figura 4 - Galpão Cardiff-Miller III.	18
Figura 5 - Orelha, Vista geral semi-esquemática; meato acústico externo, cavidade timpânica e tuba auditiva, bem como a parte petrosa do temporal aberto; vista anterior (D, 110%).	26
Figura 6 - Fisiologia do aparelho auditivo. Meato acústico externo; cavidade do tímpano e cóclea; corte frontal; Vista posterior. Direita.	25
Figura 7 - Direcionamento do som pela orelha	28
Figura 8 - Orelha externa; vista lateral, Direita.	28
Figura 9 - Cone de confusão: a) no plano horizontal e b) em perspectiva.	30
Figura 10 - Vista superior da colocação dos conjuntos de fontes sonóras nas laterais.	31
Figura 11 - cxs., com respectivos cones de propagação sonora, saindo das cornetas.	31
Figura 12 - L, L1 e L2 são as representações dos comprimentos de trajetória.	32
Figura 13 - Caminhos de Propagação do Som, Cones de Confusão e fonte virtual Vc.	33
Figura 14 - Caminhos de Propagação Som em Ambiente Acústico Virtual Bidimensional.	34
Figura 15 - Posicionamento espacial do ponto Virtual, Vc.	35
Figura 16 - Caminhos de Propagação do Som Ambiente Acústico Virtual Bidimensionais. Modelo.	39
Figura 17 -Vista superior da base do auto falante com a corneta direcional.	40
Figura 18 -Vista lateral em corte, do autofalante com a corneta direcional.	40
Figura 19 - Vista lateral em corte, autofalantes com as cornetas direcionais.	40
Figura 20 -Vista superior dos auto falantes dispostos a 45 graus.	41
Figura 21 - Modelo de posicionamento dos autofalantes, cabines de exames atuais.	42
Figura 22 - Representação em diagrama de blocos do projeto, monofônico.	42
Figura 23 - protótipo para teste da ideia básica do modelo da corneta.	44
Figura 24 - projeto do tampo com dimensionamento. Vista frontal.	44
Figura 25 - Foto dos cortes dos sulcos de saída de som no tampo.	45
Figura 26 - Projeto das peças para base dos autofalantes.	45
Figura 27 - Projeto do corte da base para formar o sulco da corneta.	46
Figura 28 - Foto da visão interna do duto da corneta.	46
Figura 29 - Foto da corneta fixada às bases do autofalante.	46

Figura 30 – Foto das cornetas fixadas ao tampo das caixas, vista lateral.	47
Figura 31 – Foto detalhe da colocação das cornetas na caixa.	47
Figura 32 – Foto detalhe da colocação das bordas do tampo. I.	47
Figura 33 – Foto detalhe da colocação das bordas do tampo. II.	48
Figura 34 – Foto detalhe da colocação isolamento acústica interna, entre as cornetas.	48
Figura 35 – Foto detalhe da isolamento acústica do autofal. central e do fundo da caixa.	48
Figura 36 – Foto detalhe da colocação da isolamento acústica interna e fundo.	49
Figura 37 – Foto detalhe da colocação da isolamento acústica interna.	49
Figura 38 – Foto detalhe dos autofalantes com da isolamento acústica interna.	50
Figura 39 – Foto terminando a colocação das ripas externas e acabamento Eucatex.	50
Figura 40 – Foto interna, com ligação parcial dos autofalantes.	51
Figura 41 – Foto interna da caixa com todos os autofalantes conectados.	51
Figura 42 – Foto pesagem das caixas terminadas.	51
Figura 43 – Foto da caixa pronta. Pesagem.	52
Figura 44 – Foto das caixas terminadas.	52
Figura 45 – Desenho do layout do quadro de controle.	53
Figura 46 – Foto da vista dos circuitos internos da caixa de controle.	53
Figura 47 – Foto caixa de controle terminada e desligada.	54
Figura 48 – Foto caixa de controle ligada, sem alimentação das chaves seletoras.	54
Figura 49 – Foto caixa de controle ligada, mas sem a seleção dos autofalantes.	54
Figura 50 – Foto da cx. controle ligada, com seleção canal esquerdo, autofal. Central.	55
Figura 51 – Foto cx. controle ligada, seleção dos dois canais e autofalantes centrais.	55
Figura 52 – Foto caixa ligada, com seleção dois canais e autofalantes anteriores, 1.	55
Figura 53 – Foto, com a seleção dois canais e autofalantes anteriores superiores 8.	56
Figura 54 – Foto, com a seleção mono canal e autofalante anterior superior direito 8.	56
Figura 55 – Esquema do campo sonoro ambiente com posição referencia do decibelímetro	57
Figura 56 – Equipamento, montagem para ensaio no laboratório.	58
Figura 57 - Decibelímetro, Digital Sound Level Meter.	58
Figura 58 - Amplitude de frequência no tempo, sinal de teste, $f=440\text{Hz}$.	59
Figura 59 – Posicionamento do equipamento de medição.	59
Figura 60 - Teste e medidas para o autofalante 1.	60
Figura 61 - Teste e medidas para o autofalante 5.	61
Figura 62 - Decibelímetro colocado na posição central, e as medições de cada autofalante.	62
Figura 63 - Decibelímetro colocado na posição 1, e as medições de cada autofalante.	63

Figura 64 - Decibelímetro colocado na posição 3, e as medições de cada autofalante.	63
Figura 65 - Decibelímetro colocado na posição 5, e as medições de cada autofalante.	64
Figura 66 - Decibelímetro colocado na posição 7, e as medições de cada autofalante.	64
Figura 67 - Timpanometria tipo A, B, C, As e Ad.	93
Figura 68 -. Teste de localização sonora em cinco direções.	95
Figura 69 - Protocolo de avaliação do teste da fala filtrada e fusão binaural.	97

LISTA DE ABREVIATURAS

AASI - *Aparelho de Amplificação Sonora Individual ou prótese auditiva*

ABA - *Academia Brasileira de Audiologia*

ABNT – *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

ANSI - *American National Standard Institute, "Instituto Nacional Americano de Padrões" semelhante a ABNT no Brasil.*

ASHA - *American Speech Hearing and Language Association – Associação Americana de fala, audição e linguagem.*

A.Px.D(dB) – *Amplitude do autofalante “x” Direito. (x = C,1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)*

A.Px.E(dB) – *Amplitude do autofalante “x” Esquerdo. (x = C,1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)*

BERA- *Respostas Auditivas de Tronco Encefálico*

CCEs - *Células Ciliadas Externas.*

CCIs - *Células Ciliadas Internas.*

DII – *Diferença de Intensidade Interaural.*

DTI – *Diferença de Tempo Interaural.*

EOA – *Emissão Otoacústica.*

EIA - *Encontro Internacional de Audiologia.*

FF - *fala filtrada.*

FB - *fusão binaural.*

Gap - *lacuna de frequência audível.*

HHIE - *Hearing Handicap Inventory for the Elderly. Inventariando as desvantagens ocorridas pelas perdas auditivas em idosos.*

HHIE-S - *Hearing Handicap Inventory for the Elderly – Screening, Triagem de inventario das desvantagem ocorridas pelas perdas auditivas em idosos.*

INMETRO - *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial*

IPRF - *Índice Percentual de Reconhecimento de Fala,*

KLD - *King Level Difference,*

MID - *Midle ear Difference*

MLD - *Masking Level Difference*

NA - *Nível Audível ou Nível de Audição.*

NIS - *Nível de Intensidade Sonora.*

NPS - *Nível de Pressão Sonora.*

PTA - *Perda Total Auditiva*

SBFa - *Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*

SCAN - *Screening Test for Auditory Disorders, teste de triagem para desordem auditiva.*

SNC - *Sistema nervoso central.*

SOBRAC – *Sociedade Brasileira de Acústica*

SRT - *Limiar de Recepção de Fala; e*

SSW - *teste dicótico de dissílabos alternados.*

VAS - *Virtual Auditory Space, espaço auditivo virtual*

VETA – *Variações Espectrais Transferidas Anatomicamente.*

VERT – *Variações espectrais transferidas relacionadas com a cabeça.*

A.Px.DdB – Autofalante, posição X, Px e caixa Direita

A.Px.EdB - Autofalante, posição X, Px e caixa Esquerda.

Autofalantes – Central “C”, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 E A8.

Px – Posicionamento do decibelímetro, referentes aos autofalantes.

Px – PC, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8.

$V1=V_e$, amplitude da fonte esquerda e $V2=V_d$, amplitude do sinal da fonte direita.

V_c = Amplitude constante na direção resultante da fonte virtual.

Θ = Angulo formado entre a direção resultante da fonte virtual e eixo X.

Θ_o = Angulo formado entre a direção da fontes $V1, V2$ e eixo X.

γ = angulo entre o plano xy e o eixo z

L1 = Distância entre a fonte e ponto médios entre orelhas. Lado esquerdo.

L11 = Distância entre a fonte e orelha ipsilateral. Lado esquerdo.

L12 = Distância entre a fonte e orelha contralateral. Lado esquerdo.

L2 = Distância entre a fonte e ponto médios entre orelhas. Lado direito.

L21 = Distância entre a fonte e orelha ipsilateral. Lado direito.

L22 = Distância entre a fonte e orelha contralateral. Lado direito.

SÍMBOLOGIA.

A – Amplitude de onda.

cps – ciclos por segundo.

dB – Decibel

f – Frequência.

F₀ – Frequência

F_p – Frequência fundamental.

F_r – Frequência percebida pelo ouvinte.

Hz – Hertz.

I – Intensidade.

I₀ – Intensidade de referência.

kHz – Kilo Hertz

N/m² - Newton por metro quadrado.

V_f – Velocidade da fonte sonora em relação ao ponto fixo.

V_s – Velocidade do som

λ - Comprimento de onda.

μPa – Micro Pascal.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
2.	OBJETIVO.	22
2.1.	A contribuição do projeto para a audiologia.	22
3.	REVISÃO DE LITERATURA.	23
4.	ESBOÇO GERAL DO PROJ. E FORMULAÇÃO DO ESPAÇO AUDITIVO	30
4.1	Formulação simplificada do modelo proposto.	31
4.2	Cornetas Direcionais e Montagem do Arranjo das Fontes.	39
4.3	Metodologia e Esboço do Projeto.	41
5.	EXECUÇÃO DO PROJETO.	44
6.	ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DO DISPOSITIVO.	57
6.1	Primeiro Ensaio.	60
6.2	Segundo Ensaio.	62
7.	CONCLUSÃO.	65
8.	TRABALHOS FUTUROS.	66
	REFERÊNCIAS.	67
	ANEXOS:	70
	ANEXO A - Anexo 1 da ISO 8253-1.	70
	ANEXO B - Anexo 2.1 - da Norma 8253-1.	71
	ANEXO C - Anexo 2.2 - da Norma 8253-1.	72
	ANEXO D - Anexo 3 - da norma 8253-1.	73
	ANEXO E - Recomendação CFFa nº11, de 08 de março de 2010.	74
	ANEXO F - Padronização internacional em audiologia.	80
	ANEXO G - Materiais e custo.	88
	ANEXO H – Ferramentas.	89
	ANEXO I - Programa de geração de ruído sonoro para teste.	90
	ANEXO J - Anotações áreas e limites sonoros, da norma ISO 8253-1.	91
	ANEXO K - Alguns exames auditivos.	92
	ANEXO K.1 - Audiometria tonal.	92
	ANEXO K.2 - Audiometria vocal/ Logoaudiometria.	92
	ANEXO K.3 – Timpanometria.	92
	ANEXO K.4 - Reflexo estapediano.	93
	ANEXO K.5 - Aparelho vestibular.	93
	ANEXO K.6 - Teste Pediátrico de Inteligibilidade de Fala (PSI).	94

ANEXO K.7 - Teste da Fala Filtrada.	94
ANEXO K.8 - Teste da Fusão Binaural.	94
ANEXO K.9 - Exame da Fala no ruído.	94
ANEXO K.10 - Teste da fala competitiva.	95
ANEXO K.11 - Teste de localização sonora em cinco direções.	95
ANEXO K.12 - Teste de (HHIE- S).	96
ANEXO K.13 - Weber audiométrico.	98
ANEXO K.14 - Audiometria vocal.	99
ANEXO K.15 - Limiar de Reconhecimento da Fala, Speech Reception Threshold(SRT) .	99
ANEXO K.16 - Limiar de Detecção de Fala (LDF), Speech Detective Threshlod (SDT) .	100
ANEXO K.17 - Índice Percentual de Reconhecimento da Fala (IPRF).	100
ANEXO K.18 - Audiometria de Altas Frequências	100

1 INTRODUÇÃO

A importância da percepção auditiva do ambiente.

É inegável a importância, para sobrevivência humana, a capacidade de se perceber o ambiente pelos ruídos e sons audíveis. Diante dessa necessidade o homem criou muitos sistemas, de forma a melhorar e permitir esta percepção. Desde o uso da mão, conchas de crustáceos, chifres de animais ou cones e auscultadores médicos, o ser humano busca a muito, desenvolver equipamentos das mais diversas formas para melhorar a percepção sonora espacial do ambiente em que se encontra. Desde o uso de curiosos sistemas de detecção, usados pela Inglaterra na segunda guerra mundial, figura 1, com a finalidade de identificar a aproximação da aviação inimiga e alertar as tropas.

Figura 1 - Detector de aviação inimiga



Fonte: Para os Curiosos (2016).

Atualmente uma experiência desta percepção espacial dá-se através da arte, no museu Inhotim de arte contemporânea, tem em exposição permanente o Galpão Cardiff & Miller, trabalho dos artistas George Bures Miller - Janet Cardiff, intitulado *The Murder of Crows*, (2008). O espaço é dedicado ao som e suas impressões sensoriais usando alto falantes, amplificadores, computador e diversos materiais. Trata-se de um trabalho com a percepção espacial do ambiente através do som, Cardiff e Miller, são artistas considerados artistas da vanguarda de uma geração, “*que emprega tecnologia de ponta em suas obras. Eles se valem de múltiplas linguagens, entre elas o vídeo, a instalação e a gravação sonora, para pesquisar a percepção audiovisual e a experiência do espectador, por meio da criação de*

Figura 2 - Exposição Galpão Cardiff-Miller ,Museu Inhotim, *The Murder of Crows*, 2008. I



Fonte: Cardiff-Miller (2008).

Figura 3 - Exposição Galpão Cardiff-Miller ,Museu Inhotim, *The Murder of Crows*, 2008. II



Fonte: Cardiff-Miller (2008).

Figura 4 - Exposição Galpão Cardiff-Miller ,Museu Inhotim, *The Murder of Crows*, 2008. III



Fonte: Cardiff-Miller (2008).

A localização sonora é considerada uma das principais habilidades relacionadas ao processamento auditivo e é possível pela possibilidade da audição binaural, que nos possibilita formas de interpretação do ambiente do externo e situação espacial. Esta habilidade auditiva para determinar a posição de uma fonte sonora no espaço, é realizada utilizando tanto pistas monoaurais percebidas por uma orelha, quanto das binaurais percebidas pelas duas orelhas. Dessa forma, um som que se origina do lado direito de um ouvinte chegará primeiro à orelha direita, que está mais próxima da fonte sonora e, após um breve intervalo alcançará a orelha esquerda, que está mais distante. A diferença no tempo de recepção do som pelas duas orelhas é que faz com que a primeira orelha estimulada indique a direção de origem do som. A interpretação da localização do som é realizada por meio do funcionamento das estruturas das vias do sistema nervoso central, principalmente em nível do tronco encefálico no complexo olivar superior e no córtex auditivo.

Dentre as atividades de estudo desta percepção, destaca-se o trabalho dos audiólogos, que tem sua área de interesse na investigação de como o som é interpretado pelo indivíduo. O que envolve aspectos da acústica, codificação neural, estudos comportamentais e psicofísicos. A avaliação e determinação dos principais aspectos envolvidos nessa interação interdisciplinar, dá-se com o uso de cabines ou em consultórios com ambiente sonoro controlado, sendo essas ferramentas importantes para os testes e exames audiométricos. Determinantes na pesquisa e análise da compreensão dos mecanismos pelos quais o sistema auditivo capta e codifica a direção do som e proporciona a percepção da localização da fonte sonora. São realizados testes que atendem desde infantes e adultos acidentados às pessoas de idade avançada, faixa etária onde a perda auditiva torna-se alta, causando riscos à saúde e a integridade física do indivíduo.

O problema detectado atualmente os equipamentos usados em clínicas e laboratórios fonoaudiológicos, de forma geral, se mostraram limitados quanto a gama de possibilidades dos exames oferecidos para análise do paciente, assim como o controle e a implementação de novas opções de testes, além de apresentarem problemas de padronização. Não permitindo alterar a posição da fonte sonora, nem permitindo alterar ou incrementar novos parâmetros para a análise binaural que possa auxiliar na avaliação da interpretação e cognição.

Este trabalho tem como intuito o estudo e desenvolvimento do projeto de um equipamento sonoro, para a realização de exames voltados à percepção sensorial espacial e audiometria em clínicas e laboratórios fonoaudiológicos, objetivando a realização de testes aurais e binaurais utilizados nos exames de avaliação audiológica básica, como a audiometria tonal liminar, limiar de recepção da fala, e índice percentual de reconhecimento da fala. O

projeto é de uma fonte sonora, atuando dentro do “cone de confusão”, apto a realizar alguns dos testes fonoaudiológicos existentes, quanto proporcionar o desenvolvimento de novas técnicas de treinamento auditivo e na adaptação e regulação dos sinais recebidos por portadores de aparelhos amplificadores auditivos individuais. O equipamento possibilitara a variação controlada de alguns parâmetros de forma a produzir variações e alterações nas direções da fonte de acordo com os limiares de audibilidade considerados normais, pela adoção do Padrão da norma ISO 7566. Norma esta, empregada para a determinação dos parâmetros de medidas dos limiares tonais, obtidos nas frequências sonoras audíveis pelo ouvido humano. Para tanto novas cabines e modelos de fontes sonoras para exames audiométricos, são estudados visando atender segmentos tais como a identificação, determinação e treinamento de portadores de déficits auditivos entre outros

No objetivo do projeto considerou-se que para o trabalho do audiologista, é importante que se tenha uma padronização de condições e parâmetros, permitindo a repetibilidade e confiabilidade nos testes e análises em consultório ou ambiente laboratorial. Necessita-se, desta forma, que as análises sejam feitas em um ambiente com as distâncias das fontes sonoras padronizadas com relação ao ouvido, permitindo controle do posicionamento ou direção do som emitido, da intensidade, duração e tempo de defasagem entre os sinais sonoros. Para a execução dos exames audiométricos, tanto como para permitir a opção de inserção de novos parâmetros de avaliação, tais como geração, corte e variação do sinal sonoro através de filtros para as frequências de maior importância no campo auditivo humano, é necessário o uso de equipamentos mais flexíveis que possibilitem uma melhor adequação para as diferentes condições de testes e avaliação.

O desenvolvimento deste sistema, envolve a montagem e avaliação de um arranjo de fontes sonoras direcionais a partir do uso de um conjunto de cornetas, para direcionar o som gerado na fonte (autofalante), de forma que fosse possível variar o controle de direção e intensidade do som. A distribuição e controle do som no espaço auditivo devem atender os requisitos de testes tais como identificação direcional, determinação e treinamento de portadores de déficits auditivos e usuários de Amplificadores Individuais. O controle das direções dos sons no espaço virtual auditivo poderia permitir simular situações em que o Fonoaudiólogo possa avaliar como o paciente se interage com o meio a sua volta e seus reflexos auditivos. Numa primeira etapa visamos a avaliação do arranjo proposto foi feita a partir da medição do som gerado por cada corneta dispostas nas diferentes direções, convergindo em um eixo monodirecional, como um eixo passando pelo centro do ouvido. Os testes nos protótipos foram realizados em uma sala com tratamento acústico e não em uma

cabine, visto que essa é uma tendência atual, de adotar o tratamento acústico dos consultórios de fonoaudiologia visando controlar acusticamente o ambiente, pelo isolamento acústico de toda área do consultório em substituição ao uso de cabine isolada.

Em resumo o texto apresenta inicialmente a introdução no capítulo 1, focalizando a área de conhecimento da pesquisa e área de abrangência da proposta. No capítulo 2, é tratado o Objetivo e a Contribuição do projeto para audiologia. No capítulo 3 apresenta uma revisão da literatura, com os conceitos básicos do sistema auditivo. No capítulo 4 é apresentado o esboço do projeto e formulação do modelo proposto, já o desenvolvimento e a execução do projeto é discutido no capítulo 5. O capítulo 6, apresenta os testes e ensaios do modelo, com a avaliação do protótipo. No capítulo 7 é apresentada a conclusão do trabalho. Capítulo 8, apresenta uma breve discussão e propostas para trabalhos futuros. No capítulo 9, tem-se as referências bibliográficas, no capítulo 10 temos alguns Anexos considerados mais importantes entre normas e apresenta dados de alguns exames auditivos, os quais forneceram dados e informações com as bases biométricas, que nortearam este trabalho. Trata-se de literatura com levantamento de alguns trabalhos na área audiológica, dos testes mais usuais, dos fundamentos básicos envolvidos no trabalho e normas técnicas das áreas audiológicas.

2 OBJETIVO.

Este trabalho tem por objetivo, o desenvolvimento do projeto de uma caixa de som que visa direcionar as amplitudes de ondas sonoras, projetando-as em ângulos diferentes na direção da orelha do paciente. Trabalhando no campo auditivo virtual do paciente através do controle das fontes, instaladas disposta de forma a simular o “cone de confusão”, parábola descrita pela distância da fonte e diferença entre a distância dos ouvidos. Para tal, serão feitos projeto, análise matemática, execução do projeto com construção dos protótipos, desenvolvimento e simulação de testes, execução dos testes e análises dos resultados.

2.1- A CONTRIBUIÇÃO DO PROJETO PARA A AUDIOLOGIA.

Considerando a premissa, que os audiólogos desejam dispor de testes padronizados e confiáveis. A pretensa contribuição dá-se no sentido de parametrizar alguns exames audiológicos, disponibilizando aos profissionais da área condições de repetir exames com as mesmas condições, tais como nas ações realizadas para o teste nas cinco direções, onde um guizo ou diapasão é posto a soar em diferentes localizações em torno da cabeça do paciente em cima, atrás, à frente, à direita e à esquerda, no plano da cabeça da paciente com os olhos fechados e sentada em uma cadeira, instruindo-a para indicar com a mão a posição detectada da origem sonora. Entretanto a localização sendo manual e a intensidade aplicada ao acionamento do guizo, podem variar não mantendo um padrão exato. Procuramos contribuir disponibilizando um equipamento que permita serem feitas análises em conformidade com as distancias padronizadas das fontes sonoras, através da seleção e controle da posição do som emitido com relação ao ouvido, assim como permitir a intensidade, a duração e o tempo de defasagem entre as fontes, com a utilização dos áudios gravados usados para os exames em cabine. Seu uso poderá ser destinado tanto a identificação e determinação de problemas relativos ao sistema auditivo, feitos por alguns testes audiológicos existentes, tais como os limiares de audibilidade, teste das 5 direções, fala com mascaramento, entre outros e também quanto ao uso no desenvolvimento de técnicas de treinamento para portadores de deficiências auditivas, usuários de Amplificadores Individuais e como para portadores de implantes coclear.

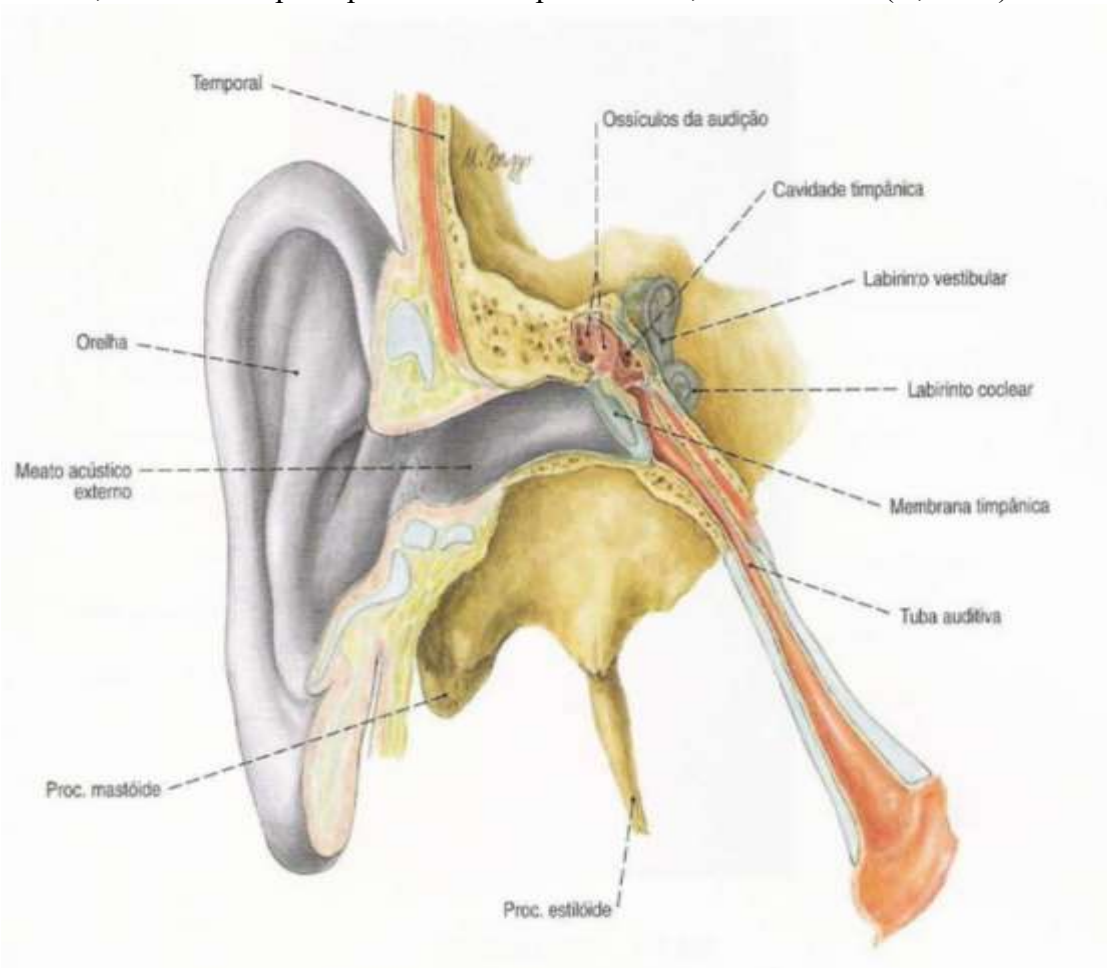
3. REVISÃO DA LITERATURA, CONCEITOS BASICOS DO SISTEMA AUDITIVO.

Estudos audiológicos procuram desenvolver métodos de análise e validação de ferramentas que podem proporcionar a avaliação adequada da real dificuldade de ouvir ou interpretar o que foi dito, com interferência ou não de ruído ambiente, bem como o quanto essa dificuldade poderia interferir na vida de uma pessoa. Diferentes avaliações e Estudos mensurando e qualificando a falha auditiva do paciente são encontrados na literatura de Russo (1999), Sindhusake et al. (2001), Gates et al. (2003), Pizan-Faria e Iorio (2004), Yueh et al. (2007), Silman e Silverman (1997). Nestes trabalhos são discutidos e apresentados estudos, em que são comparados o grau de *handicap*, desvantagem ou prejuízo apresentado pela sensibilidade auditiva, bem como correlação entre as medidas para quantificação e qualificação de falhas auditivas.

Considerando que as estruturas responsáveis pela audição são o ouvido externo (OE), o ouvido médio (OM) e a cóclea. Os canais semicirculares, o sáculo e o utrículo, são responsáveis pelo equilíbrio. Determinam o grau de prejuízo social, ao qual o indivíduo está submetido, quando acometido por problemas de labirintite ou dificuldade de interpretar mensagens. O ouvido externo é composto pela orelha, que funciona como uma concha captadora de sons, figura 5, pelo epitélio que reveste o canal auditivo externo, separado pelo tímpano do ouvido médio, figura 6, que é um canal estreito e cheio de ar, onde existem três pequenos ossos denominados martelo, bigorna e estribo, localizado dentro do osso temporal. Local onde as vibrações das ondas mecânicas sonoras externas vibram o tímpano, que transmite esta vibração pelos ossos do martelo, bigorna e estribo, excitando à cóclea. Estas vibrações são transformadas pelas células ciliadas, em sinais ou impulsos elétricos neurológicos, os quais são transmitidos via o nervo auditivo ao SNC (Sistema Nervoso Central), para serem interpretados no cérebro. O contato do estribo com a membrana flexível da janela oval, comprime o líquido do interior funcionando como um êmbolo, como a cóclea é um caracol ou tubo ósseo enrolado em espiral, dividido por meio de membranas longitudinalmente em três compartimentos cheios de líquido, onde seu vestíbulo contém duas janelas, uma oval e outra redonda, uma em cada compartimento, sendo no compartimento central, onde se encontra o Órgão de Corti, com aproximadamente 15000 células ciliadas, sendo as mais grossas e duras no início próximo janela oval, responsáveis pela captação dos sons mais graves e mais finas e sensíveis aos agudos no final. Esta rigidez é devida, entre outras coisas, a espessura e largura da membrana basilar que são as responsáveis pela sensação da audição, através da captação dos movimentos do líquido circundante. É na

cóclea, o lugar onde a energia mecânica do som é convertida em sinal elétrico que é transmitido ao cérebro para interpretação e processamento da informação. A orelha e partes internas do ouvido podem ser vistas nas figuras 1 e na Figura 2, em que é apresentada a fisiologia do aparelho auditivo, apresentando o meato acústico externo; a cavidade do tímpano e a cóclea; em corte frontal; da vista posterior.

Figura 5 - Orelha, vista geral semi-esquemática; meato acústico externo, cavidade timpânica e tuba auditiva, bem como a parte petrosa do temporal aberto; vista anterior (D,110%).

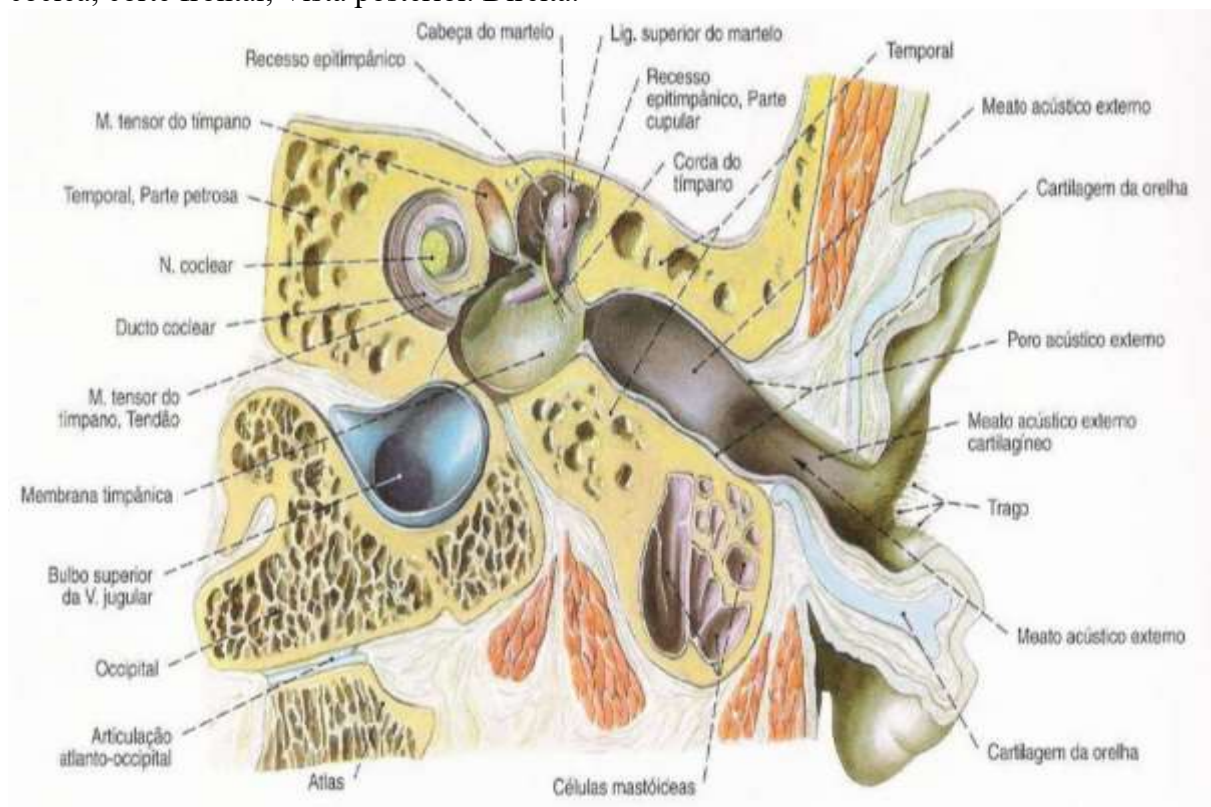


Fonte: Sobotta (2002).

Audição é definida, segundo Carvalho, (1997), como: “a transferência de energia que ocorre quando a onda sonora alcança o meato acústico externo e uma pressão sonora é aplicada na membrana timpânica. A passagem do fluxo de energia provoca a movimentação da membrana timpânica, da orelha média e da orelha interna. Esta transferência de energia pode ser analisada, medindo-se o fluxo de energia na altura da membrana timpânica. A orelha média não é um transdutor perfeito, de modo que, somente parte da energia incidente consegue atravessar o sistema, que oferece, assim, uma certa oposição à passagem do som. Essa oposição à passagem de energia (som) é expressa pela impedância acústica (Z),

enquanto que a energia que efetivamente flui pelo sistema é expressa pela admitância acústica (Y). A avaliação da imitância do sistema auditivo pode ser alcançada através de procedimentos que medem a impedância ou, ao contrário, de procedimentos que medem a admitância”³.

Figura 6 - Fisiologia do aparelho auditivo. Meato acústico externo; cavidade do tímpano e cóclea; corte frontal; Vista posterior. Direita.



Fonte: Sobotta, (2002).

A medida dinâmica da imitância acústica, de acordo com o American National Standard Institute, (ANSI) Instituto Nacional Americano de Padrões, semelhante a ABNT no Brasil, é definida para especificar a transferência de energia sonora. A Impedância, (Z), equivale à dificuldade imposta à passagem do som, expressando a total oposição a passagem deste fluxo. Já a sua recíproca denominada Admitância Y ($Y=1/Z$) equivale a facilidade a passagem do fluxo. Imitância Acústica é uma expressão genérica adotada na fonoaudiologia, para designar tanto a admitância como a impedância acústicas. Como podemos ver pela definição dada pelas pesquisadoras, Russo e Santos ,(1993): “A admitância acústica expressa a facilitação por um sistema à passagem do fluxo de energia sonora. A impedância expressa a total oposição à passagem deste fluxo. Admitância e impedância acústicas são recíprocas. Um sistema que oferece alta impedância (oposição) à transferência de energia sonora,

apresenta baixa admitância (facilitação acústica e viceversa)”.

A American Speech Hearing and Language Association (ASHA) define o processamento auditivo como: *“mecanismos e processos do sistema auditivo que são responsáveis por diversos fenômenos comportamentais, incluindo fala e linguagem, tendo correspondência neurofisiológica e funcional. Para que isso ocorra, é necessário que o sinal acústico seja analisado e interpretado para que se transforme em uma mensagem com significado. O cérebro é responsável pelo processamento da fala, que inicia na cóclea, no qual a atividade mecânica é transformada em impulsos nervosos. A atividade de ouvir, no sentido fisiológico integra três fatores: atividade periférica, atividade auditiva central e os processos do SNC. Quando há uma ruptura em qualquer um desses fatores, resulta-se em um déficit na habilidade de reconhecimento da fala. A percepção do som acontece pela atividade central e a sensação do som é fruto das atividades periféricas. Todas essas análises e interpretações fazem parte do processamento auditivo. Enquanto o sistema auditivo periférico recebe e analisa os estímulos auditivos do meio ambiente, o sistema auditivo central e o cérebro analisam as representações internas desses estímulos acústicos e uma resposta é programada pelo indivíduo. Para que isso aconteça é necessário que ocorra o funcionamento das habilidades de detecção, sensação, discriminação, localização, reconhecimento, compreensão, atenção e memória.”* Ventry e Weisntein (1983).

A urbanização dos seres humanos proporcionou o adensamento demográfico e a migração do trabalho para cidades, com a criação de zonas empresariais e industriais, apresentando novos riscos e perigos a saúde, como periculosidade e insalubridades. Essas questões veem sendo estudadas e adaptações ergonômicas no sentido de minimizar os problemas auditivos têm sido aplicadas para a solução destes problemas, tais como o uso de protetores auriculares.

Há pessoas que apresentam distúrbios de processamento auditivo, sendo que, elas escutam os sons mas têm dificuldade de entendê-los, armazená-los e para localizá-los espacialmente no ambiente. Este tipo de problema é uma deficiência que se encontra na transmissão da informação pelo sistema nervoso, onde o ouvido externo funciona perfeitamente e as informações são ouvidas normalmente, havendo uma deficiência neurológica que prejudica a transmissão dos sinais pela cóclea e nervo auditivo na compreensão das informações. As características apresentadas pelo indivíduo vão desde a dificuldade de ouvir com a presença de ruído em uma rua barulhenta, exigindo muito esforço para a compreensão, assim como da localização de onde vem do som, o indivíduo não tem sentido direcional, sentem problemas em compreender e seguir instruções nos ambientes de trabalho, apresentam dificuldade musical não entendendo ritmo, entonação e ênfase das

pronúncias. Causando dificuldade de se manter concentrado, ocasionando problemas de aprendizagem, escrita, linguagem e por consequência, falhas ao transmitir a informação recebida, quando repassa uma história.

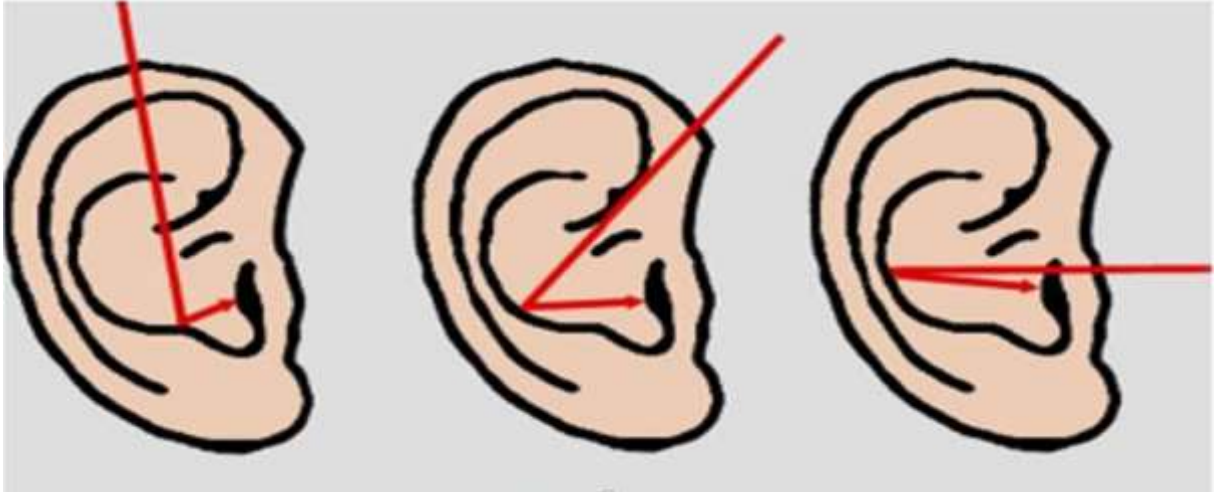
Uma das ocorrências que chamam a atenção de especialistas fonoaudiólogos é o quanto o déficit de audição afeta o indivíduo no convívio social, assim como influencia suas ações, respostas e cuidados no convívio. Características determinantes por problemas auditivos podem ser correlacionado ao déficit de atenção em crianças, prejudicando a sua aprendizagem, aos problemas de filtragem da fala em ambientes ruidosos, problemas causados pelo uso de fones de ouvido com volume muito alto, casos constatados em adolescentes, profissionais da área musical e funcionários de indústrias, que apresentam quadros relatando enxaqueca, tontura e enjoo depois de exposto muito tempo ao ruído intenso. Em outros casos são analisados problemas, além dos causados no ouvido externo. Situações em que o aparelho auditivo está em perfeito funcionamento, mas o sinal sonoro depois de transformado em sinais elétricos, para transporte das informações ao SNC, sistema nervoso central, sofrem distorções e ou perdas impossibilitando o SNC de fazer o processamento deste sinal no córtex cerebral, interpretando e dando resposta, compelindo a ação do indivíduo. Nestes casos pode ocorrer a deturpação da mensagem na presença de ruído ambiente, impedindo a correta interpretação da informação. Essas falhas, geralmente em casos extremos, conduzem o indivíduo ao isolamento social e depressão.

“Ventry e Weinstein, (1982), introduziram um questionário para avaliar a autopercepção psicossocial do prejuízo auditivo em idosos como um suplemento a audiometria tonal na eficácia do processo de protetização. Esse questionário, o Hearing Handicap Inventory for the Elderly (HHIE) era composto de 25 itens distribuídos em aspectos sociais e emocionais. E em 1983, as autoras publicaram uma versão resumida do HHIE, o Hearing Handicap Inventory for the Elderly - Screening (HHIE-S) com 10 questões também divididas em aspectos sociais e emocionais, que foi proposto como instrumento de screening- para detectar o grau de queixa do indivíduo idoso.” Ventry e Weisntein (1983).

Menezes (2002), em sua tese descreveu as diferenças da forma de recepção do som pelo ouvido com relação a direção da fonte, ou seja, com relação a posição da incidência do som na orelha. Seu trabalho analisa como o ouvinte localiza a fonte sonora de acordo com a direção incidente e como estes sinais são projetados pela orelha para o interior do ouvido.

Exemplos de tais vetores podem ser vistos na figura 7.

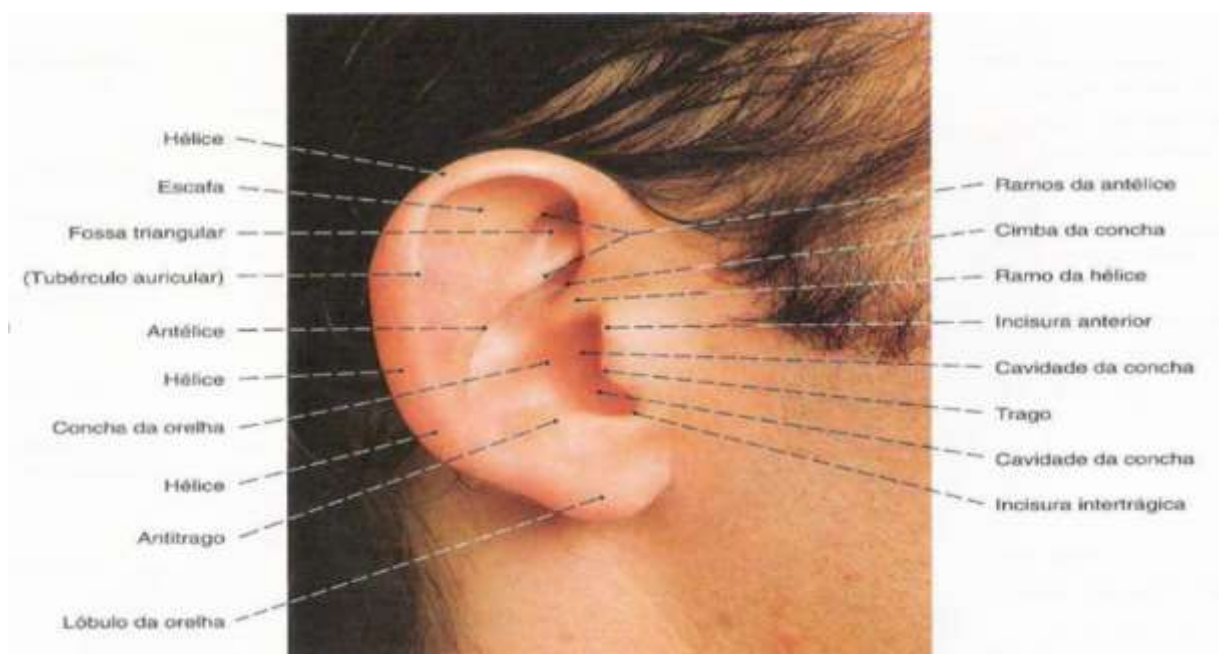
Figura 7- Direcionamento do som pela orelha



Fonte: Menezes (2002).

Considerando as várias curvaturas e cavidades da orelha, estas formas abauladas da superfície têm a função de direcionar o som para dentro do canal auditivo, direcionando ao tímpano. Sua sensibilização pode ser parcial ou mais intensa em uma determinada área, permitindo identificar qual lado foi mais ativado, as fibras das partes basilares da cóclea do núcleo coclear posterior, pelas partes apicais e para o núcleo coclear anterior na tuba auditiva, parte primordial na localização e posicionamento ambiente de uma fonte sonora por um indivíduo. Na figura 8, estão definidas estas, protuberâncias da superfície da orelha.

Figura 8 – Orelha externa; vista lateral, Direita.



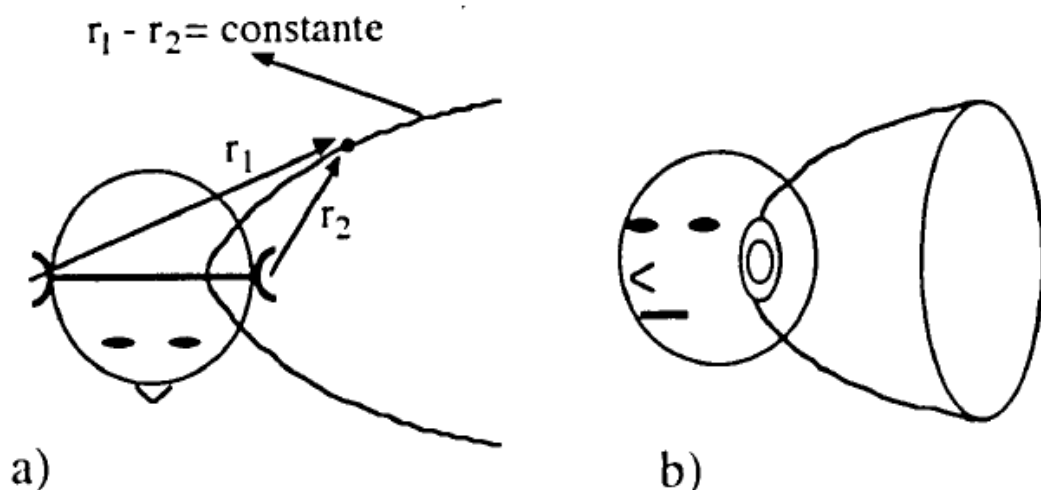
Fonte: Sobotta (2002).

Estas protuberâncias nas orelhas direcionam o som de forma diferenciada para o interior do canal auditivo, e conforme o som atinge a parte interior do canal auditivo, excita conjuntos diferentes de células, cuja análise das informações permite ao cérebro identificar a direção da fonte.

4 ESBOÇO GERAL DO PROJETO E FORMULAÇÃO DO ESPAÇO AUDITIVO.

A proposta do projeto é desenvolver um arranjo de fontes sonoras direcional, com controle de direção e intensidade para exames e testes de assimilação auditiva em ambiente acusticamente isolado. A distribuição e controle do som no espaço auditivo deve ser atender os requisitos de testes tais como identificação direcional, determinação e treinamento de portadores de déficits auditivos. Deve possibilitar ainda executar alteração e incremento de novos testes e técnicas no desenvolvimento de treinamento para adaptação e regulação dos sinais recebidos por portadores de implantes coclear, desde infantes a adultos incluindo pessoas em idade avançada. Nessa faixa etária, a idade avançada leva a perda auditiva que torna sumariamente importante e preocupante nesta idade, podendo causar riscos à saúde e integridade física do indivíduo. A localização espacial da fonte tem como base a simulação do “cone de confusão”, apresentado por Azevedo (1994). O cone é dimensionado em formato de uma hiperbole formada pela diferença dos raios medidos a partir das orelhas, que é responsável pela orientação e localização da origem da fonte sonora. A Figura 9 mostra o esboço do cone de confusão.

Figura 9 – Cone de confusão: a) no plano horizontal e b) em perspectiva.



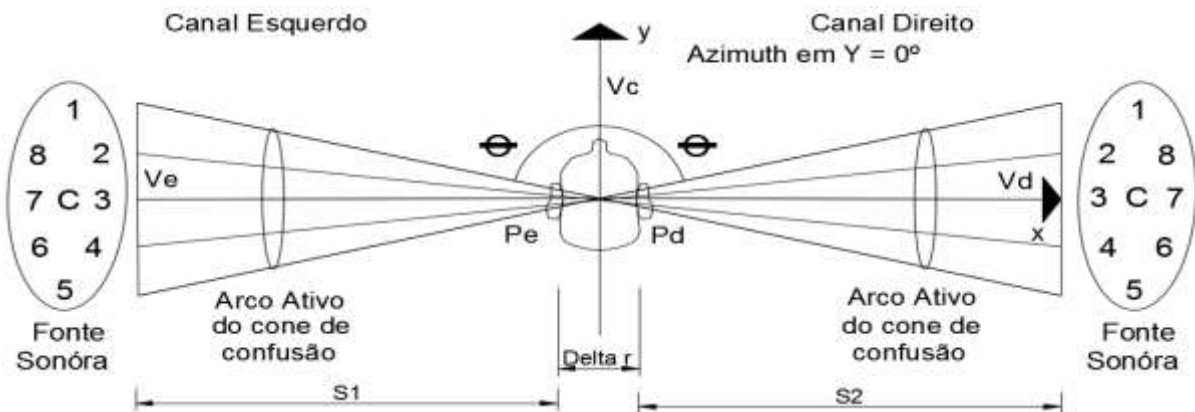
Fonte: Azevedo (1994).

O trabalho visa obter uma ferramenta de controle das direções dos sons, num espaço virtual auditivo, de modo a simular situações que proporcionem ao Fonoaudiólogo, analisar como o paciente se interage com o meio a sua volta e seus reflexos auditivos.

4.1 Formulação simplificada do modelo proposto.

A configuração stéreo de dois altofalantes é proposta devido a sua compatibilidade com o equipamentos de áudio existentes. A colocação dos conjuntos de fontes sonoras nas laterais, diametralmente opostas possuem cornetas direcionadas ao ouvido do paciente, o detalhe da localização das caixas é apresentado na figura 10.

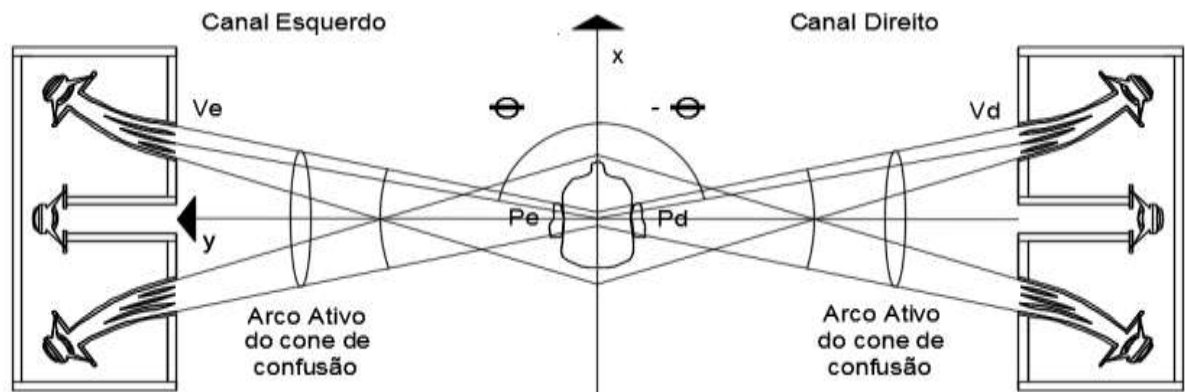
Figura 10 -Vista superior da colocação dos conjuntos de fontes sonoras nas laterais.



Fonte: o autor.

Na formulação do problema, é feita a suposição de que a propagação sonora ocorre em um campo livre, sem difração ou reflexão da cabeça e quaisquer outros obstáculos físicos entre os altofalantes e cliente. Figura 11.

Figura 11 - esquema das cxs., respectivos cones de propagação sonora, saindo das cornetas.

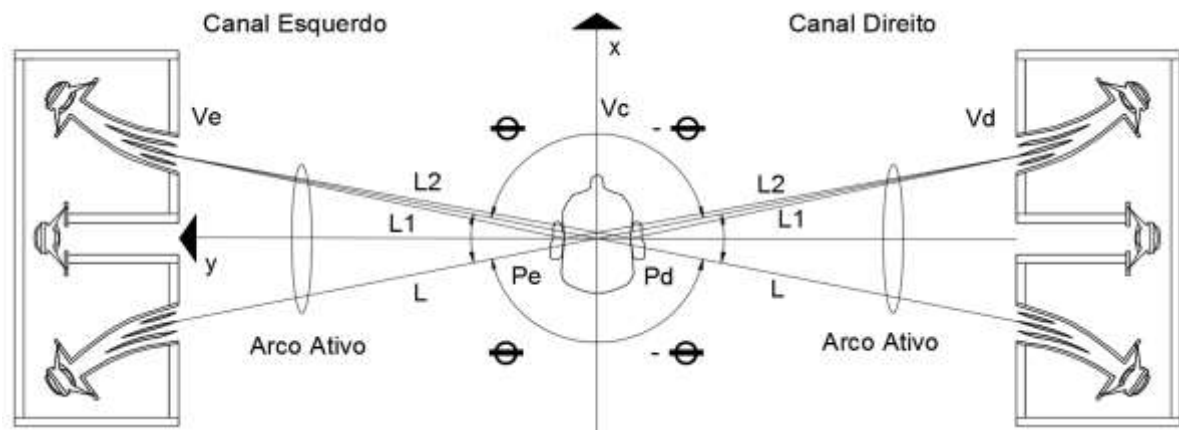


Fonte: o autor.

Para essa condição, um conjunto de medidas métricas foi definido, seguido de uma análise vetorial que serão úteis para avaliar a formulação matemática do modelo e as matrizes de transformação que governa o problema. Considerando as relações da formulação trigonométrica para, $S1= S2= 60\text{cm}$. $75^\circ \leq \theta_o \leq 105^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ Para análise foi adotado os volumes ou as amplitudes sonoras individuais, independentes de cada fonte V_i e

V_2 , esquerdo e direito respectivamente. Considerado a ocorrência de delay para o Tempo (t), de chegada diferente para a frente de onda, em cada um dos ouvidos. A diferença de amplitude (interaural level difference - ILD) e a diferença de tempo (interaural time difference - ITD) são dois de três principais fatores importantes para a localização do som no espaço. Essas duas informações de localização, formam os círculos conhecidos como cones de confusão, no entanto, necessitam da posição vertical da fonte sonora para permitir uma localização precisa, que é determinada pela interação da orelha com a onda sonora que alcança o receptor, refletindo a onda sonora modificada e de forma diferente, para cada posição de fonte sonora incidente, permitindo que a localização da fonte seja feita. Ao longo de qualquer círculo paralelo ao plano YZ e com centro no eixo X, azimuth=0°, não existem diferenças de nível e tempo entre as ondas que chegam aos ouvidos. Essa interação também permite distinguir se a fonte está localizada à frente ou atrás do receptor.

Figura 12 – L, L1 e L2 são as representações dos comprimentos de trajetória



Fonte: o autor.

Na figura 12, L1 e L2 são as representações dos comprimentos de trajetória entre qualquer uma das duas fontes e a orelha, sendo L1 ipsilateral e L2 contralateral, respectivamente. L é o valor do comprimento até o ponto médio entre orelhas. θ é o ângulo formado entre L e o eixo x, azimuth = 0°. Considerando-se $V_1=V_e$, amplitude da fonte esquerda e $V_2=V_d$, amplitude do sinal da fonte direita. Tem-se pelas relações trigonométricas,

$$V_1^2 + V_2^2 = V_c \quad (1)$$

$$2 * \text{sen}\theta = \left(\frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \right) \quad (2)$$

Onde:

$$V_1 \text{ e } V_2 \in [0, 1]$$

$V1=Ve$, amplitude da fonte esquerda e $V2=Vd$, amplitude do sinal da fonte direita.

Vc = Amplitude constante na direção resultante da fonte virtual.

Θ = Angulo formado entre a direção resultante da fonte virtual e eixo X.

Θ_0 = Angulo formado entre a direção da fontes $V1, V2$ e eixo X.

γ = angulo entre o plano xy e o eixo z, elevação.

$L1$ = Distância entre a fonte e ponto médios entre orelhas. Lado esquerdo.

$L11$ = Distância entre a fonte e orelha ipsilateral. Lado esquerdo.

$L12$ = Distância entre a fonte e orelha contralateral. Lado esquerdo.

$L2$ = Distância entre a fonte e ponto médios entre orelhas. Lado direito.

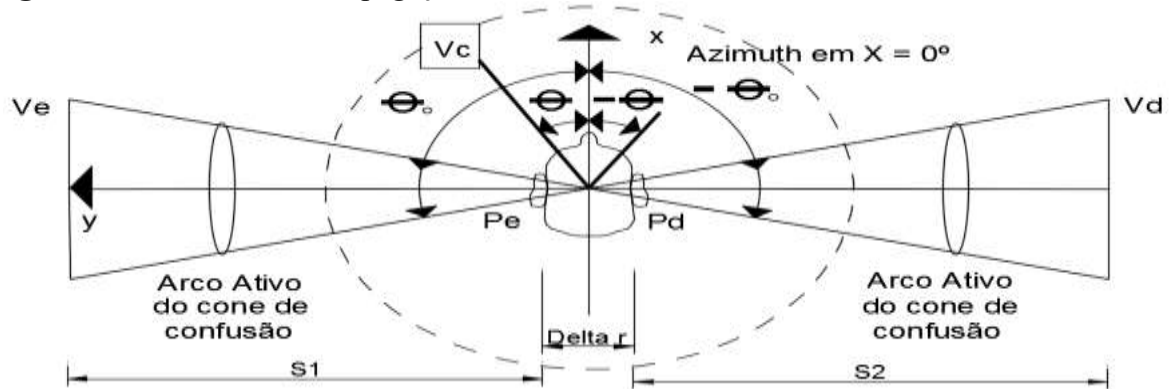
$L21$ = Distância entre a fonte e orelha ipsilateral. Lado direito.

$L22$ = Distância entre a fonte e orelha contralateral. Lado direito.

No espaço ambiente a fonte virtual Vc , pode ser virtualmente posicionada de acordo com a amplitude sonora e fonte selecionada, figura 13, onde pela lei dos senos definimos a equação 3.

$$\left(\frac{\sin \theta}{\sin \theta_0} \right) = \left(\frac{V1-V2}{V1+V2} \right) \quad (3)$$

Figura 13- Caminhos de Propagação do Som, Cones de Confusão e fonte virtual Vc .



Fonte: o autor.

O valor do ganho absoluto bidimensional é satisfeita. Pela lei da tangente.

$$\left(\frac{\tan \theta}{\tan \theta_0} \right) = \left(\frac{V1-V2}{V1+V2} \right) \quad (4)$$

Formulando para base vetorial bidimensional, tem-se a posição virtual P :

$$P = P_y + P_x \quad (5)$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (6)$$

Onde:

$$P_1 = V_1 * L_1 \quad (7)$$

$$P_2 = V_2 * L_2 \quad (8)$$

Resultando de (7) e (8) em (6):

$$P = V1 * L1 + V2 * L2 \quad (9)$$

Desta, forma-se a base vetorial panorâmica de amplitude (VBAP), vector base amplitude panning, que determina a localização espacial do local onde a fonte virtual é formada. Como representado na Figura 14. A base é definida pelos vetores unitários da matriz transposta das distancias intra-aurais L1 e L2.

$$L1 = [L11 \quad L12]^T \quad (10)$$

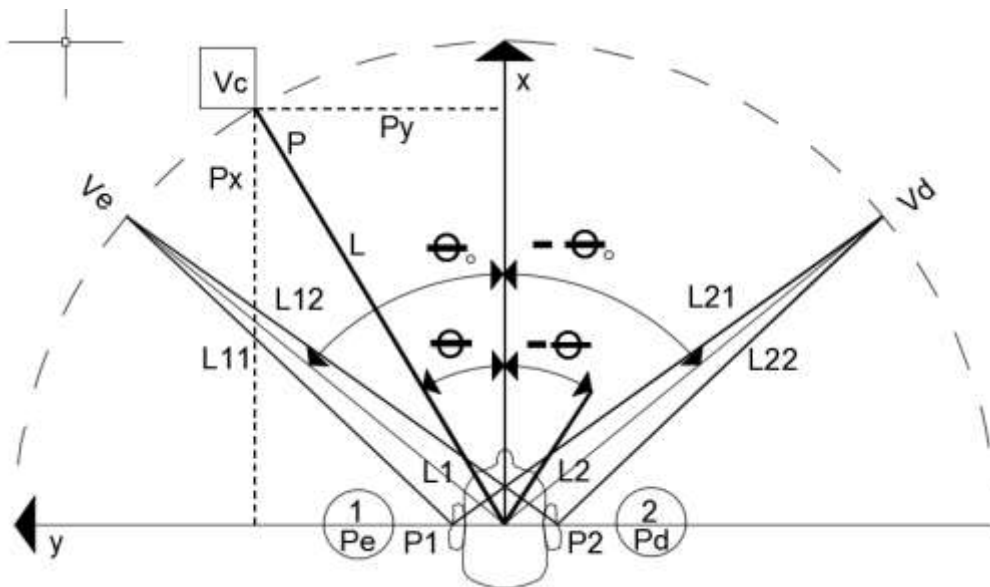
$$L2 = [L21 \quad L22]^T \quad (11)$$

$$L = [L1 \quad L2] \quad (12)$$

A combinação linear de vetores P1 e P2, apresenta a localização espacial da fonte virtual Vc de resultante P.

$$P = [P1 \quad P2]^T \quad (13)$$

Figura14 - Propagação do Som em Ambientes Acústicos Virtuais Bidimensionais



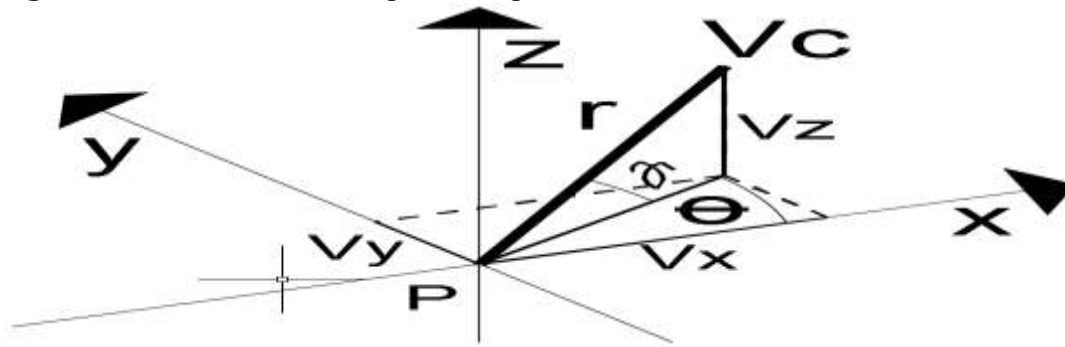
Fonte: o autor.

O volume ou ganho de amplitude, do ponto virtual Vc, figura 15, sera dado pela matriz transposta.

$$Vc = [V1 \quad V2]^T \quad (14)$$

No domínio da frequência, a pressão do ar no campo livre localizado a uma distancia “r” da fonte sonora de frequência ω é dada por:

Figura15 - Posicionamento espacial do ponto Virtual, V_c .



Fonte: o autor.

Pode-se obter as condições de contorno de acordo com os autofalantes:

$$\varphi = \Theta + \Theta_0 \quad (15)$$

$$V_x = \cos \theta * \cos \gamma \quad (16)$$

$$V_y = \sin \theta * \cos \gamma \quad (17)$$

$$V_z = \sin \gamma \quad (18)$$

$$V_c = r \quad (19)$$

No domínio da frequência a pressão do ar $p(r, i\omega)$, em um campo livre localizado a uma distancia “ r ” da fonte sonora mono, emitindo o som de frequência ω é dada por:

$$p(r, i\omega) = \left(\frac{\frac{i\omega * \rho_0 * q}{4\pi}}{\frac{e^{-ikr}}{r}} \right) \quad (20)$$

Sendo que, ρ_0 é a densidade do ar, λ o comprimento de onda, cs a velocidade do som no ar de 340,3 m/s, e q a força exercida pela fonte em volume por tempo e o número ou constante de onda k :

$$k = 2\pi/\lambda = \omega/cs \quad (21)$$

Convenientemente definimos $V = i\omega * \rho_0 * q/4\pi$, que é a derivada do tempo de $\rho_0 q/(4\pi)$, como a massa de ar emitida do centro da fonte. Assim recebendo os sinais sonoros dos dois lados, cada ouvido recebe uma parcela do sinal total de cada fonte, desta forma, para o lado esquerdo podemos calcular a pressão de ar recebida como:

$$P1(i\omega) = \left(\left(\frac{e^{-ikL1}}{L1} \right) * V1(i\omega) \right) + \left(\left(\frac{e^{-ikL2}}{L2} \right) * V2(i\omega) \right) \quad (22)$$

Da mesma forma para a orelha direita tem-se:

$$P2(i\omega) = \left(\left(\frac{e^{-ikL2}}{L2} \right) * V1(i\omega) \right) + \left(\left(\frac{e^{-ikL1}}{L1} \right) * V2(i\omega) \right) \quad (23)$$

Considera-se ainda $L1$ e $L2$ a distancia média entre a fonte e cada orelha, tem-se a diferença de comprimento do percurso ΔL e a razão de comprimento do percurso g , Δr sendo o diâmetro da cabeça ou a distância efetiva entre as entradas do canal auditivo das orelhas, e L a distância entre a fonte e o ponto mediano intra aural, figura (14). Onde constata-se da geometria ilustrada, que $\theta < g < L$, e que os comprimentos de percurso podem ser expressos como:

$$\Delta L \equiv L1 - L2 \quad (24)$$

$$g = \left(\frac{L1}{L2} \right) \quad (25)$$

$$L1 = \sqrt{\left(L^2 + \left(\frac{\Delta r}{2} \right)^2 - (\Delta r * L * \sin \theta) \right)} \quad (26)$$

$$L2 = \sqrt{\left(L^2 + \left(\frac{\Delta r}{2} \right)^2 + (\Delta r * L * \sin \theta) \right)} \quad (27)$$

A disposição angular dos autofalante é :

$$\Theta = 2\theta \quad (28)$$

Observando que para $L \gg \Delta r * \sin \theta$, na maioria dos ajustes dos sistemas de autofalantes tem-se $g \cong 1$. A defasagem de tempo entre uma onda atingir as orelhas é chamada de delay e é dada por:

$$\tau c = \left(\frac{\Delta L}{cs} \right) \quad (29)$$

Que é o tempo τc que a onda de som leva para percorrer o caminho ΔL . Usando as equações 22 e 23 pode-se reescrever as potências percebidas em forma matricial.

$$\begin{bmatrix} P1(i\omega) \\ P2(i\omega) \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} 1 & ge^{-i\omega\tau c} \\ ge^{-i\omega\tau c} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V1(i\omega) \\ V2(i\omega) \end{bmatrix} \quad (30)$$

Onde α , é um atraso da transmissão, no domínio do tempo, dividido pela constante $L1$, assim razão esta que não afeta a forma do sinal.

$$\alpha = \left(\frac{e^{-\frac{i\omega L1}{cs}}}{L1} \right) \quad (31)$$

O vetor fonte

$$Vc = [V1(i\omega), V2(i\omega)]^T \quad (32)$$

é obtido a partir do vetor de um sinal pré-gravado.

$$D = [D1(i\omega) \quad D2(i\omega)]^T \quad (33)$$

Obtem-se através da transformação;

$$V = HD \quad (34)$$

$$H = \begin{bmatrix} H11(i\omega) & H21(i\omega) \\ H12(i\omega) & H22(i\omega) \end{bmatrix} \quad (35)$$

onde H é a matriz de resultante do sinal 2×2 procurada, este sinal será usado como referência em sistemas de filtro para som ambiente. Figura 14. Portanto, a partir da Eq. (30), temos:

$$P = \alpha CHD \quad (36)$$

Onde:

$$P = [P1(i\omega) \quad P2(i\omega)]^T \quad (37)$$

É o vetor de pressão do ar nas orelhas e C é a matriz de transferência do sistema:

$$C \equiv \begin{bmatrix} 1 & ge^{-i\omega\tau c} \\ ge^{-i\omega\tau c} & 1 \end{bmatrix} \quad (38)$$

Que é simétrica, devido a:

$$D = [D1(i\omega) \quad D2(i\omega)]^T \quad (39)$$

e à simetria da geometria de:

$$Vc = [V1(i\omega) \quad V2(i\omega)]^T \quad (40)$$

Em resumo, a transformação do sinal \mathbf{d} , através do filtro \mathbf{H} , figura 16, para as variáveis de fonte \mathbf{v} , então através da propagação da onda de sinal das fontes para o ponto de pressão \mathbf{p} nas orelhas do ouvinte, pode ser escrita simplesmente como:

$$P = \alpha DCH \quad (41)$$

Desta forma teremos:

$$\left(\frac{P}{\alpha D}\right) = R \quad (42)$$

Onde R, é o resultado de performance da filtragem do sinal adotada para os valores de H, e será definida por:

$$R = \begin{bmatrix} R11(i\omega) & R21(i\omega) \\ R12(i\omega) & R22(i\omega) \end{bmatrix} \equiv CH \quad (43)$$

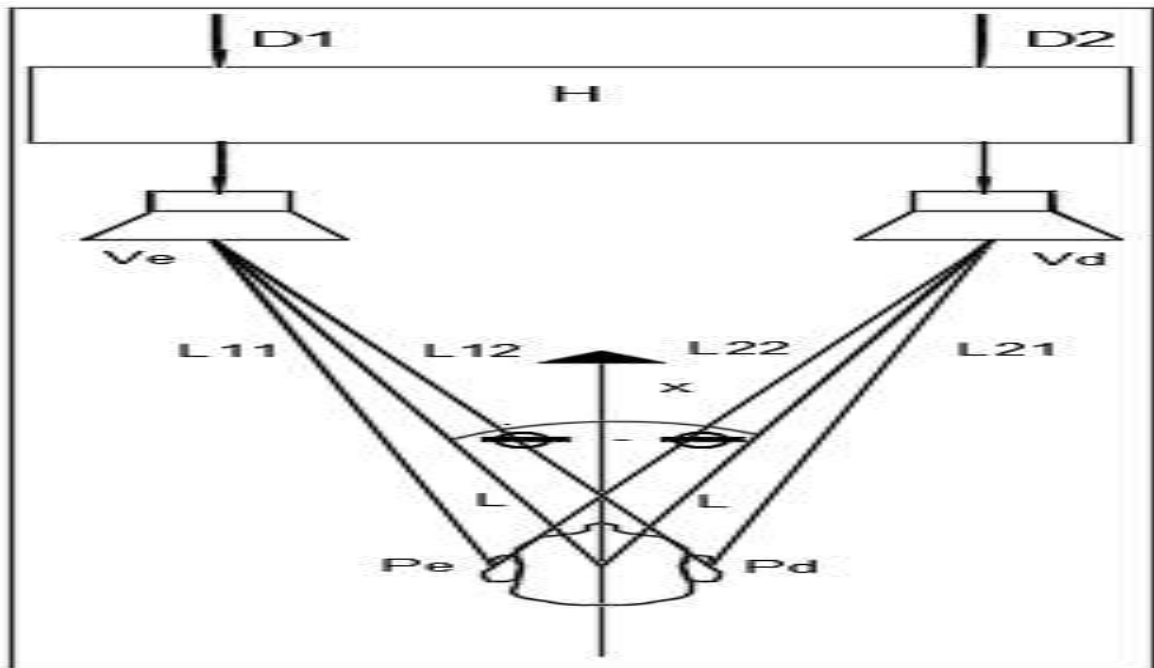
Pode-se dizer que

$$P = \alpha DR \quad (44)$$

Onde P é a pressão de ar na orelha do paciente.

Esta abordagem matemática foi toda baseada nos artigos de Choueiri (2011) e Pulkki (1999). Sua representação esquemática pode ser vista na figura 16.

Figura16 - Caminhos de Propagação do Som em Ambientes Acústicos Virtuais Bidimensionais.Modelo.



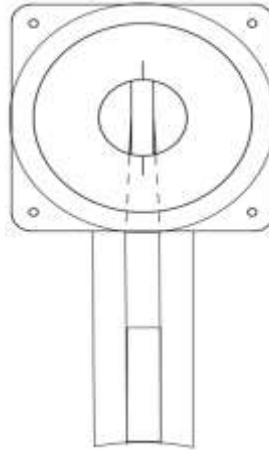
Fonte: o autor.

4.2 Cornetas Direcionais e Montagem do Arranjo das Fontes.

A proposta de desenvolver e dimensionamento, o conjunto de fontes sonoras com colimadores ou cornetas direcionais, com as devidas camadas de isolantes e resistência mecânica. Permite o uso de dois canais, da esquerda e da direita, podendo o fonoaudiólogo optar pelo acionamento independente por lado e por direção. A fonte pode ser frontal, trazeira, acima e abaixo, com uso unidirecional ou bidirecional. O dispositivo deve permitir também os testes tradicionais, adotando defasamento do sinal entre os lados, acrescentando um sinal de ruído em fase com a fala e/ou de gravações das frases testes, pré selecionadas. O sistema vai operar em uma faixa de frequência e intensidade variável, que permite detectar a partir de qual intensidade sonora em (dB) se percebe determinadas frequências. A faixa de frequência de funcionamento é variável de 40 a 8000 Hz e a variação de amplitude atua dentro da faixa de 0 até 105 db, O dispositivo é formado por um conjunto de cornetas com autofalantes, de forma a colimar o som, direcionando este de sua forma longitudinal saída da fonte sonora em um feixe transversal, para permitir sua emissão na direção do ouvido externo. Os desenhos mostrados a seguir, apresentam os detalhes do projeto onde o detalhe da corneta, onde deve ser colocado o autofalante, até a proposta final do arranjo das fontes.

A figura 17, ilustra os detalhes da montagem da corneta direcional com o autofalante.

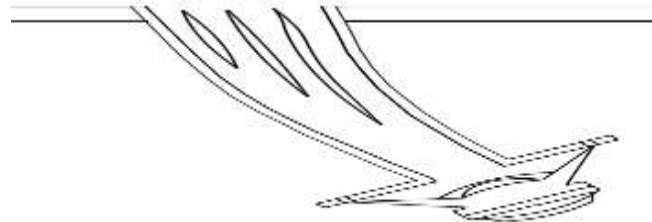
Figura 17 -Vista superior da base do auto falante com a corneta direcional.



Fonte: o autor.

A figura 18, apresenta a representação da corneta em corte, com o posicionamento do autofalante, já na posição que o mesmo vai ficar dentro do isolante sonico, em espuma de isolamento acústico. A intensidade do som que sai do auto falante não deve ser amplificada pela corneta direcional, mantendo a amplitude e a fidelidade do sinal.

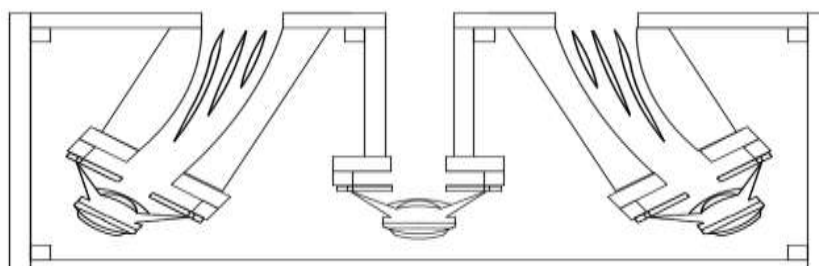
Figura 18 -Vista lateral em corte, do autofalante com a corneta direcional



. Fonte: o autor.

A figura 19, apresenta a vista lateral em corte dos autofalantes com a corneta direcional, dentro da caixa de isolamento acústico, de forma que o uso de uma fonte, não sofra interferência ou provoque vibração em outra colocada lateralmente, evitando alteração e ruídos na fonte.

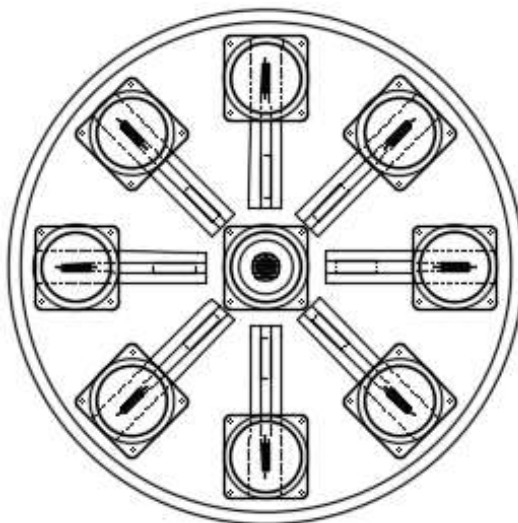
Figura 19 -Vista lateral em corte, autofalantes com as cornetas direcionais.



Fonte: o autor.

A disposição de forma a proporcionar a opção de seleção entre os autofalantes, de modo a posicionar o ângulo que o som atinge o ouvido externo com a mudança da fonte, de acordo com a direção desejada para o exame, é ilustrada na Figura 20.

Figura 20 -Vista superior dos auto falantes dispostos a 45 graus.



Fonte: o autor.

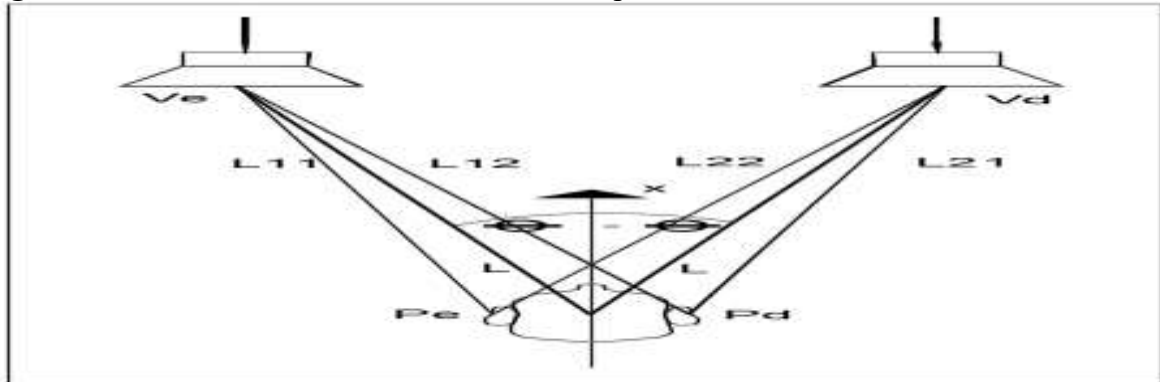
O trabalho visa obter uma ferramenta de controle das direções dos sons simulando um espaço virtual auditivo, de modo que proporcionem ao fonoaudiólogo apresentar situações diversas de estímulos, no campo espacial do ambiente sonoro, para analisar a resposta como o paciente se interage com o meio a sua volta e quais os níveis de atenção devem ser adotados, nas atividades decorrentes na vida social dele. Cuidados esses, a serem tomados de acordo com as respostas do funcionamento de seus reflexos auditivos.

4.3 Metodologia e Esboço do Projeto

Nos métodos para avaliação de ambientes para testes audiométricos, a avaliação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente deve ser realizada conforme a metodologia descrita na Recomendação CFFa nº 11 e pressupõe a utilização de um sistema de medição composto por analisador de terços de oitavas associado a microfone e calibrador de nível sonoro. Neste caso os equipamentos devem atender os requisitos de normas e ser calibrados anualmente pelo no INMETRO ou laboratório integrante da RBC - Rede Brasileira de Calibração. Os certificados de calibração devem ser do próprio Inmetro ou exibir a logomarca da acreditação pela RBC, visualizável no site do Inmetro <http://www.inmetro.gov.br/>.”

O modelo adotado atualmente em consultórios e clínicas de exames, são as cabines com os autofalantes frontais, ao paciente como o visto na figura 21.

Figura 21 - Posicionamento dos autofalantes, disponíveis nas cabines de exames atuais.



Fonte: o autor.

O arranjo proposto, conforme discutido anteriormente, apresenta uma fonte com a distribuição sonora espacial e isolamento acústico, permitindo a regulação da intensidade e a posição do autofalante de acordo com o ângulo de incidência desejado. Possui um sistema estéreo com 9 saídas de som controladas individualmente. O conjunto de alto-falantes pode ser comutados por chave seletora, que permite definir quais devem ser ativados, para que assim, mudando a direção da emissão do som até a orelha do paciente o mesmo pudesse identificar de qual direção estaria partindo o som. Desta forma simulando o espaço virtual 3D, do cone de confusão. A figura 22 mostra o diagrama de bloco do esquema de ligação, que ilustra como é feita as ligações e como pode ser escolhido o autofalante ativo de forma a colimar o som direcionando o na sua forma longitudinal na saída da fonte sonora em um feixe transversal, para permitir sua emissão angular, na direção do ouvido externo, via acionamento da chave seletora.

Figura 22 – Representação em diagrama de blocos do projeto, monofônico.



Fonte: o autor.

As distancias e dimensões necessárias para a distribuição sonora foram definidas analisando as normas atuais sobre ambientes acústicos destinadas a exames fonoaudiológicos e do trabalho de isolamento acústica necessária, adequada aos requisitos normatizados no Padrão ISO 7566. O Equipamento foi projetado e especificado tecnicamente de forma que a estrutura

física da fonte sonora permite atender adequadamente aos possíveis testes fonoaudiológicos a serem aplicados. Tanto na identificação das atividades auditivas, quanto nos casos de perdas de captação do som ou na deficiência da transmissão dos sinais, como na consequente dificuldade de interpretação das informações recebidas pelo ouvido e transmitidas à cóclea, assim como nos problemas decorrentes da transmissão neurológica e interpretação pelo SNC. O controle direcional do som ambiente é um requisito fundamental, e neste caso foi adotada uma estratégia de controle simples em que cada conjunto de corneta. Permitindo o autofalante ser acionado isoladamente. Para isso foi adotado um equipamento amplificador de som e as chaves seletoras para os auto-falantes, atendendo as especificações normatizadas e permitindo os testes e exames laboratoriais. O tratamento do Ambiente Acústico em Cabina/Sala de Teste, é definido em norma, elaborada pelo Sistema Conselhos Federal e Regionais de Fonoaudiologia, que dispõe sobre o nível de pressão sonora das cabinas/salas de testes audiológicos. Resolução CFFa nº 364/09, dispõe sobre metrologia, calibração, instalação e audiológica, dos equipamentos promovidas pelo Sistema dos Conselhos de Fonoaudiologia.

5- EXECUÇÃO DO PROJETO

Neste capítulo descreve-se o desenvolver da execução do projeto idealizado, dimensionado o equipamento, passou-se a viabilização da execução do projeto, foi feita a discriminação e cotação dos materiais para aquisição, anexo 7, de acordo com o cronograma de execução e seleção dos equipamentos e do ferramental necessário, anexo 8, para a execução do projeto. Iniciado os primeiros testes da ideia, confeccionou-se uma primeira corneta, num primeiro protótipo feito em compensado naval. Serviu para a análise do trabalho a ser executado e avaliação da escolha do material, bem como a viabilidade da produção demais peças semelhantes, a necessária distancia para a acomodação das peças no interior da caixa e seu funcionamento. Figura 23.

Figura 23 – protótipo para teste da ideia básica do modelo da corneta.



Fonte: o autor.

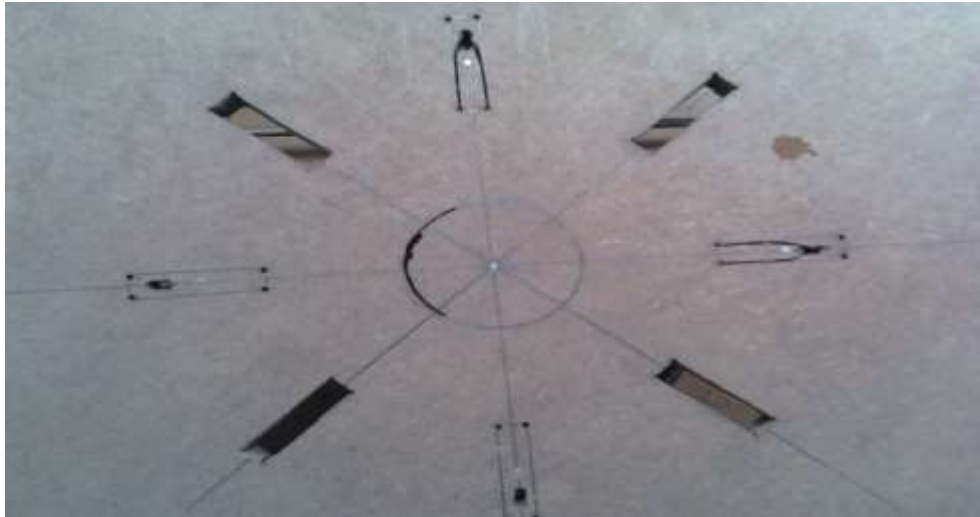
O projeto do tampo é apresentado na figura 24 e o trabalho de marcação do tampo com posterior corte, demonstrado na figura 25, onde foram desenhados os sulcos quadrados de 1,5 cm por 6,0 cm com raio interno de 10 cm e corte do furo circular central de 10cm. No Tampo foram fixados as cornetas posteriormente direcionadas, alinhadas aos orifícios feitos. Como descrevemos a seguir.

Figura 24 – projeto do tampo com dimensionamento. Vista frontal.



Fonte: o autor.

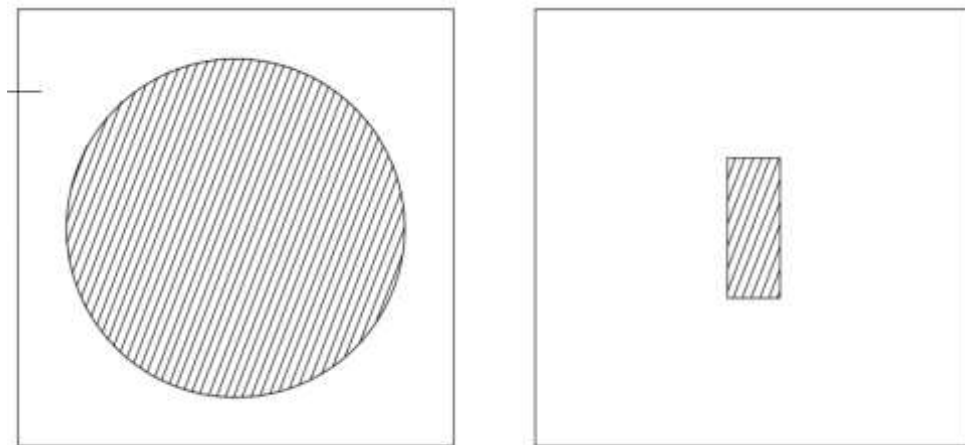
Figura 25 – Foto dos cortes dos sulcos de saída de som no tampo.



Fonte: o autor.

Após a marcação e corte dos sulcos do tampo, passou-se a execução da base dos autofalantes, com peças de 12,5x12,5 cm, sendo algumas com furo central de 9,7cm e outras com rasgo retangular de 1,5 por 4,0 cm, para saída de som. MDF com 1,5 cm. Figura 26.

Figura 26 – Projeto das peças para base dos autofalantes.

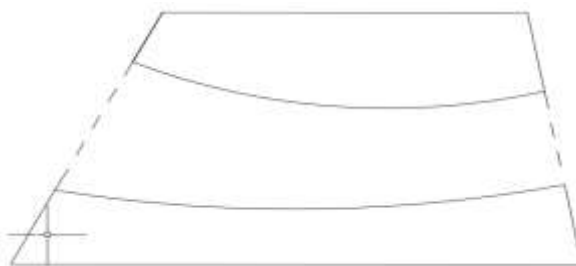


Fonte: o autor.

As peças de 1,5 cm de espessura em MDF, foram pregadas e coladas, para formar as bases dos autofalantes.

O trabalho de confecção das cornetas, partiu do desenho dos blocos de base e topo, figura 26, assim como o corte necessário a ser feito na peça para se obter as vias de condução do som na corneta. Definidas as dimensões das peças da corneta, foram selecionadas as peças para se marcar a forma da corneta a ser cortada, sendo reservadas peças para às bases e para os topos.

Figura 27 – Projeto do corte da base para formar o sulco da corneta.



Fonte: o autor.

As laterais colocadas sobre a base mostram o formato final do duto, figura 27 e 28, por onde deve passar o som canalizado no interior da corneta.

Figura 28 – Foto da visão interna do duto da corneta.



Fonte: o autor.

Como uma produção em série das cornetas, todas as peças foram previamente furadas e colocado pregos para fixação das partes com cola para madeira, nos locais projetados e demarcados.

Essas etapas finalizadas as cornetas direcionais, está registrada na figura 29, com a fixação das cornetas às bases dos autofalantes como apresentado.

Figura 29 - Foto da corneta fixada às bases do autofalante.



Fonte: o autor.

Foram feitas as fixações das mesmas ao tampo das caixas figura 30. Após a fixação das cornetas, figura 30, foi preparado a colocação do duto circular do autofalante central.

Figura 30 – Foto das cornetas fixadas ao tampo das caixas, vista lateral.



Fonte: o autor.

No desenvolvimento do projeto, foram marcados e perfurados os locais dos pregos guia para a colagem das ripas de borda, de 6x24cm em MDF 1,5 cm, visto nas figuras 31, 32 e 33, mostrando os detalhes da fixação destas peças na borda do tampo, alinhadas ao fundo das caixas.

Figura 31 – Foto detalhe da colocação das cornetas na caixa.



Fonte: o autor.

Figura 32 – Foto detalhe da colocação das bordas do tampo. I.



Fonte: o autor.

Figura 33 – Foto detalhe da colocação das bordas do tampo. II.



Fonte: o autor.

As figuras seguintes mostram os detalhes da colocação das isolações acústicas por espuma, no interior das caixas, de modo a evitar a interferência entre as fontes. São demonstradas nas figuras 34, 35, 36, 37.

Figura 34 – Foto detalhe da colocação da isolamento acústica interna, entre as cornetas.



Fonte: o autor.

Figura 35 – Foto detalhe da isolamento acústica do autofalante central e do fundo da caixa.



Fonte: o autor.

Figura 36 – Foto detalhe da colocação da isolamento acústica interna e fundo.



Fonte: o autor.

Figura 37 – Foto detalhe da colocação da isolamento acústica interna.



Fonte: o autor.

Nas fotos das figuras 36 e 37, observa-se a colagem das cintas de estabilidade das bordas, as quais serviram de suporte e resistência no interior das caixas para apoio e colagem das ripas de borda. Constando de duas em cada caixa, uma junto ao tampo e outra para apoio de resistência mecânica para moldar e aparafusar o fundo. Terminado a moldagem da isolamento acústica foram fixados os autofalantes, figura 38, para posterior colocação da isolamento acústica periférica e colagem dos aros de resistência mecânica interna.

Figura 38 – Foto detalhe dos autofalantes com da isolamento acústica interna.



Fonte: o autor.

Finalizando a montagem das caixas, foi concluído a colocação das últimas ripas da estrutura externa, figura 39, vê-se uma das caixas já com a cobertura de Eucatex 3mm de acabamento. .

Figura 39 – Foto terminando a colocação das ripas externas e acabamento de Eucatex.



Fonte: o autor.

A figura 40 e a figura 41, mostra a ligação do polo comum ou terra, com positivo apenas no autofalante central apresenta todos os autofalantes conectados em 9 opções individuais, para serem ligados ao conector de acesso externo da caixa.

Figura 40 – Foto interna, com ligação parcial dos autofalantes.



Fonte: o autor.

Figura 41 – Foto interna da caixa com todos os autofalantes conectados.



Fonte: o autor.

A massa total de cada caixa totalizou 24 kg, figura 42, na figura 43 temos a foto da pesagem da caixa terminada com o conector externo para ligação do circuito amplificador e na figura 44, são vistas as duas caixas prontas.

Figura 42 – Foto pesagem das caixas terminadas.



Fonte: o autor.

Figura 43 – Foto da caixa pronta. Pesagem.



Fonte: o autor.

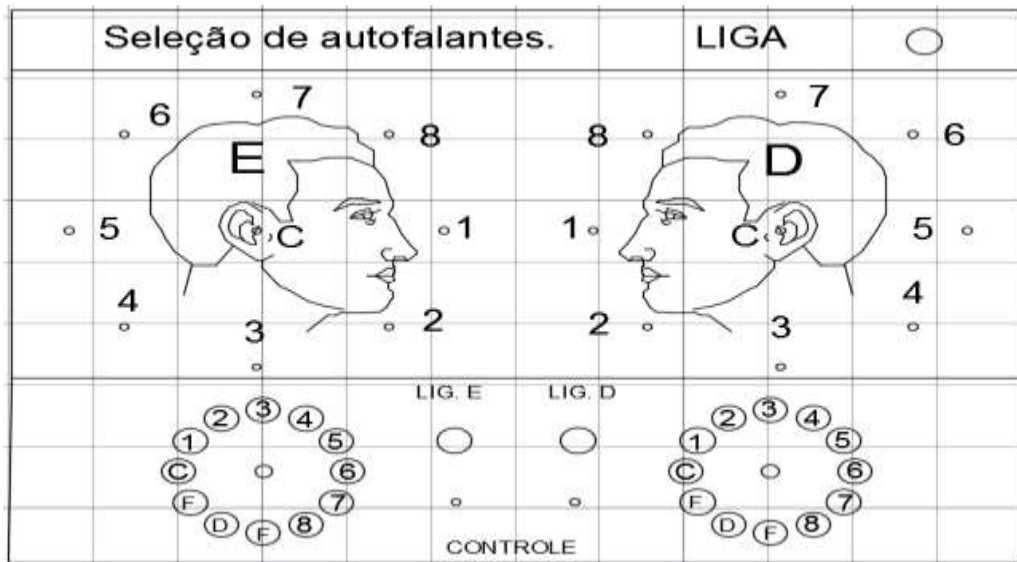
Figura 44 – Foto das caixas terminadas.



Fonte: o autor.

A montagem da caixa de controle da sinalização e comutação das fontes sonoras, caracterizou-se pela colocação da fonte DC, que transforma 220vca em 12Vcc para alimentar o amplificador que alimenta o sinal dos autofalantes e sinais de led de posição. Acomoda esta caixa também as chaves seletoras os autofalantes e leds sinalizadores de qual autofalante está sendo usado, permitindo o uso de apenas um canal ou dos dois. O desenho do layout do quadro de controle é visto na figura 45. Enquanto a figura 46 mostra a construção do circuito citado na figura 22.

Figura 45 – Desenho do layout do quadro de controle.



Fonte: o autor.

Figura 46 – Foto da vista dos circuitos internos da caixa de controle.



Fonte: o autor.

A figura 46 apresenta em detalhe, os circuitos internos das chaves seletoras para os autofalantes e sinalização da posição da fonte em uso. A figura 47, apresenta a caixa de controle terminada e desligada, enquanto na figura 48 pode-se vê-la ligada, mas sem alimentação para seleção dos autofalantes. Na figura 49 as chaves seletoras já se encontram alimentadas, mas sem escolha do autofalante.

Figura 47 – Foto caixa de controle terminada e desligada.



Fonte: o autor.

Figura 48 – Foto caixa de controle ligada, mas sem alimentação das chaves seletoras.



Fonte: o autor.

Figura 49 – Foto caixa de controle ligada, mas sem a seleção dos autofalantes.



Fonte: o autor.

A figura 50 apresenta a caixa de controle ligada, com a seleção do canal esquerdo e autofalante central, CE. Na figura 51, tem-se os dois canais ligados e a alimentação dos dois autofalantes centrais, CE e CD. Na figura 52, tem-se os dois autofalantes frontais ou anteriores, ligados para os dois canais. Autofalantes 1E e 1D.

Figura 50 – Foto da cx. controle ligada, c/ seleção do canal esquerdo, autofalante central C.



Fonte: o autor.

Figura 51 – Foto cx. controle ligada, com a seleção dos dois canais e autofalantes centrais, C.



Fonte: o autor.

Figura 52 – Foto caixa ligada, com a seleção dos dois canais e autofalantes anteriores, 1.



Fonte: o autor.

A figura 53 apresenta a caixa de controle ligada e tem-se os dois autofalantes anteriores superiores ligados, para os dois canais. Autofalantes 8E e 8D. Na figura 54, tem-se o canal anterior superior direito ligado e a alimentação do autofalante, 8D.

Figura 53 – Foto, com a seleção dos dois canais e autofalantes anteriores superiores 8.



Fonte: o autor.

Figura 54 – Foto, com a seleção mono canal e autofalante anterior superior direito 8.



Fonte: o autor.

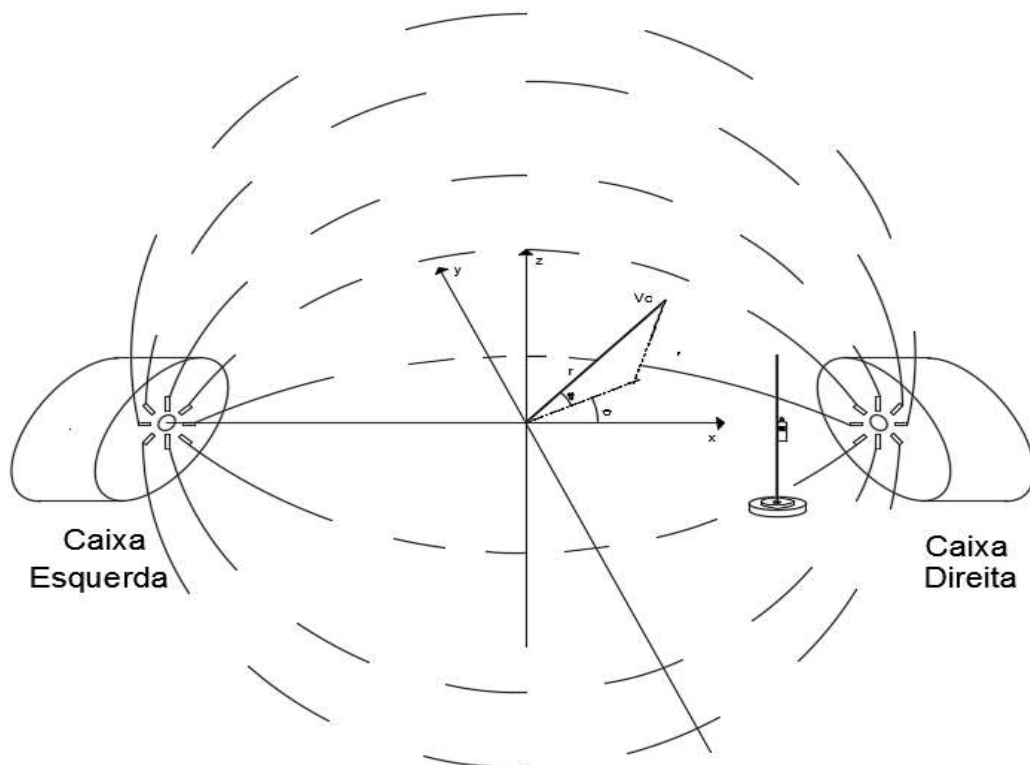
Assim, seleciona-se as opções de conexões disponíveis aos propostos testes fonoaudiométricos. O equipamento permite ao examinador a mudança da amplitude e da fonte, de cada um dos lados, virtualmente mudando a referência da localização da fonte virtual V_c . Todo controle de amplitude sonora ficará a critério do usuário de acordo com os testes que julgar necessário, pelo computador ou fonte de sinal. A função deste equipamento é disponibilizar a direção de onde o som passa a ser emitido.

6. ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DO DISPOSITIVO

O ensaio de avaliação do dispositivo constitui, basicamente, na medição do sinal sonoro emitido por cada autofalante de forma individual e análise de como se dá a distribuição do som no espaço virtual auditivo com o intuito de verificar direção do som e possibilidade de percepção da localização da fonte sonora.

Na figura 55 é mostrado esquematicamente a disposição das duas caixas uma em relação a outra, com o medidor posicionado próximo a caixa direita. O sinal utilizado para alimentar os alto-falantes nas diferentes medições foi sempre o mesmo e foi definido a partir da medição do valor de 100 dB captado com o decibelímetro posicionado a 20 cm do autofalante central Direito, na direção do eixo X.

Figura 55 - Esquema do campo sonoro ambiente, com decibelímetro posicionado para medida referencial.



Fonte: o autor.

Na figura 56 apresenta-se um registro fotográfico da fase de preparação e posicionamento dos equipamentos, onde as duas caixas são posicionadas uma em frente a outra a uma distancia de 1,2m. Neste caso, a posição central esta a 0,6 m da face da cada caixa.

Figura 56 – Equipamento, montagem para ensaio no laboratório.



Fonte: o autor.

O equipamento de medição utilizado foi um decibelímetro, Digital Sound Level Meter apresentado na figura 57. Este equipamento foi posicionado nas distancias de 20, 40, 60, 80 e 100cm da fonte. Considerou-se os sinais captados nas 9 posições de autofalantes e nas 5 distâncias para cada uma das caixas, totalizando 45 leituras para cada um dos 9 autofalantes de cada caixa, direita e esquerda.

Figura 57 - decibelímetro, Digital Sound Level Meter.

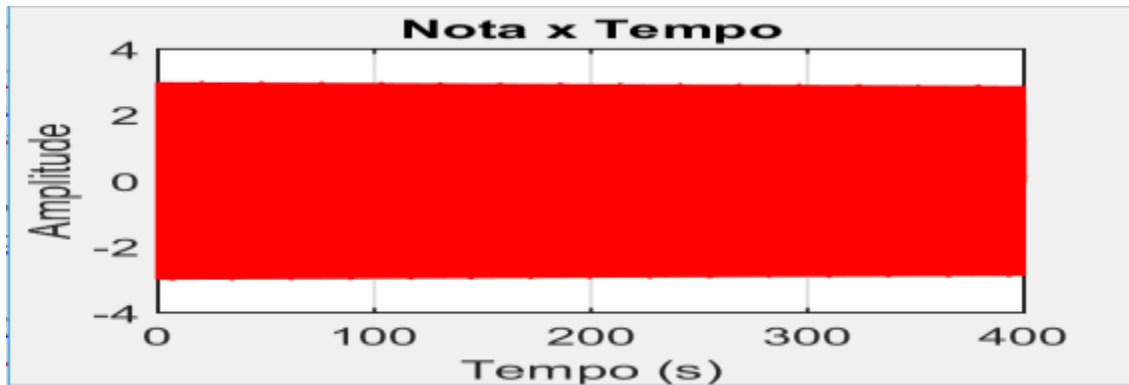


Fonte: o autor.

Os ensaios foram realizados em um ambiente não totalmente controlado, com ruído de fundo entre 43 e 45,5 dBs. O sinal foi gerado no software matlab, utilizando o comando “*sound*” e enviado para o amplificador, via saída de fones de ouvido do computador. Nos diferentes testes o mesmo sinal de referencia (100 dB medido a 20 cm do autofalante central

Direito, na direção do eixo X) era enviado para cada auto-falante em específico e o valor era medido. O sinal utilizado foi uma senóide de frequência fixa de $f=440$ Hz com tempo de duração suficiente para a análise, Figura 58.

Figura 58 - Amplitude de frequência no tempo, sinal de teste, $f = 440$ Hz.



Fonte: o autor.

Os testes tiveram como objetivo verificar a capacidade do aparato direcionar o som para o ponto de interesse, ou seja, o ponto especificado pelo projeto. Neste caso, esse ponto seria a posição em que deveria se encontrar a orelha do paciente na realização do teste de audiometria.

Os testes foram separados, basicamente, em dois ensaios envolvendo diferentes medições. No primeiro ensaio foi medido e analisado a intensidade do som para diferentes distancias medidas a partir da caixa em direção ao ponto de interesse (posição da orelha do paciente). Já no segundo ensaio, a distância do medidor em relação caixa foi fixada, a posição do medidor variava apenas em relação à linha do alto-falante central, tanto para a esquerda com para a direita. A figura 59 mostra uma foto da montagem em que é possível observar o posicionamento do medidor em relação a caixa.

Figura 59 – Posicionamento do equipamento de medição.



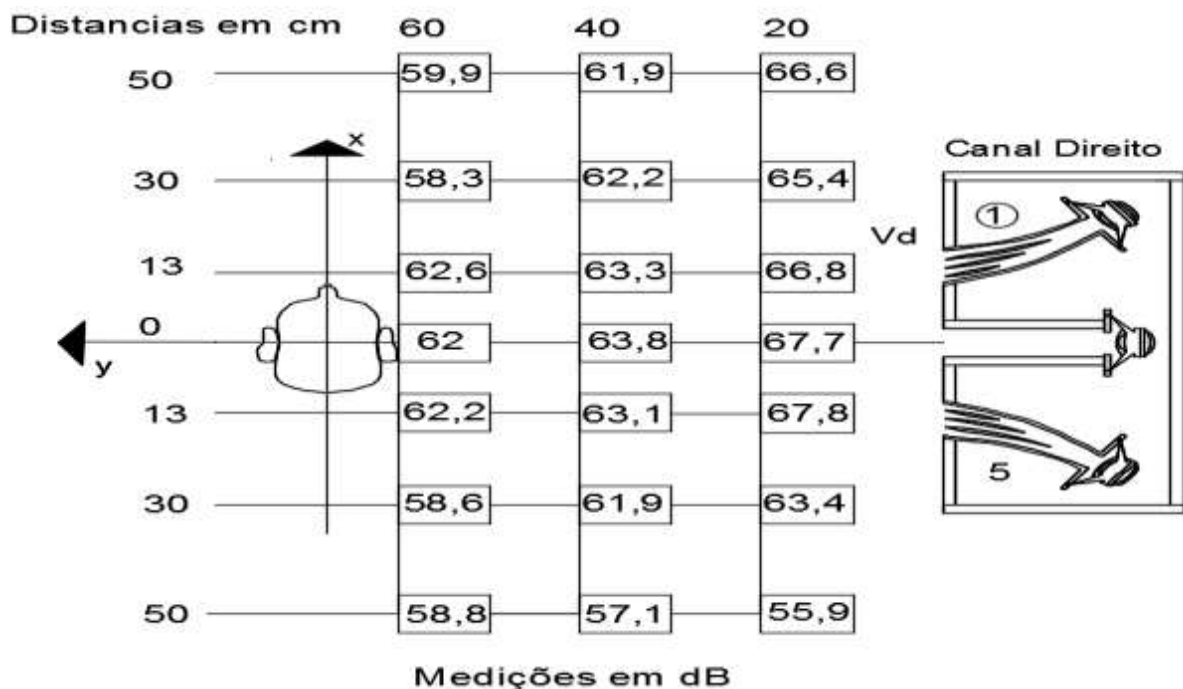
Fonte: o autor.

6.1 – Primeiro Ensaio

Nestes primeiro ensaio, com intuito de analisar a propagação do som na frente das caixas selecionamos pontos em linhas paralelas para as medidas, foi medido e analisado a intensidade do som para as diferentes distancias medidas a partir da caixa em direção a posição da orelha do paciente.

Neste caso as medições foram feitas em um plano com o microfone do medidor na altura do autofalante central, foram marcadas três linhas paralelas numa distância de 20cm, 40 cm e 60 cm das caixas. As medidas foram feitas inicialmente no eixo central (alto falante central) e posteriormente o medidor foi deslocado, na mesma altura, para as demais posições. Posições a 13 cm, 30 cm e 50 cm para o lado esquerdo com referência a posição central e depois para o lado direito. Primeiramente foi medido o som gerado no alto falante 1, os resultados são mostrados no esquema da figura 60, onde os valores em dB estão dentro dos quadros e as distancias marcadas externamente. Foram constatadas as maiores amplitudes audiométricas, proximo a orelha do ouvinte.

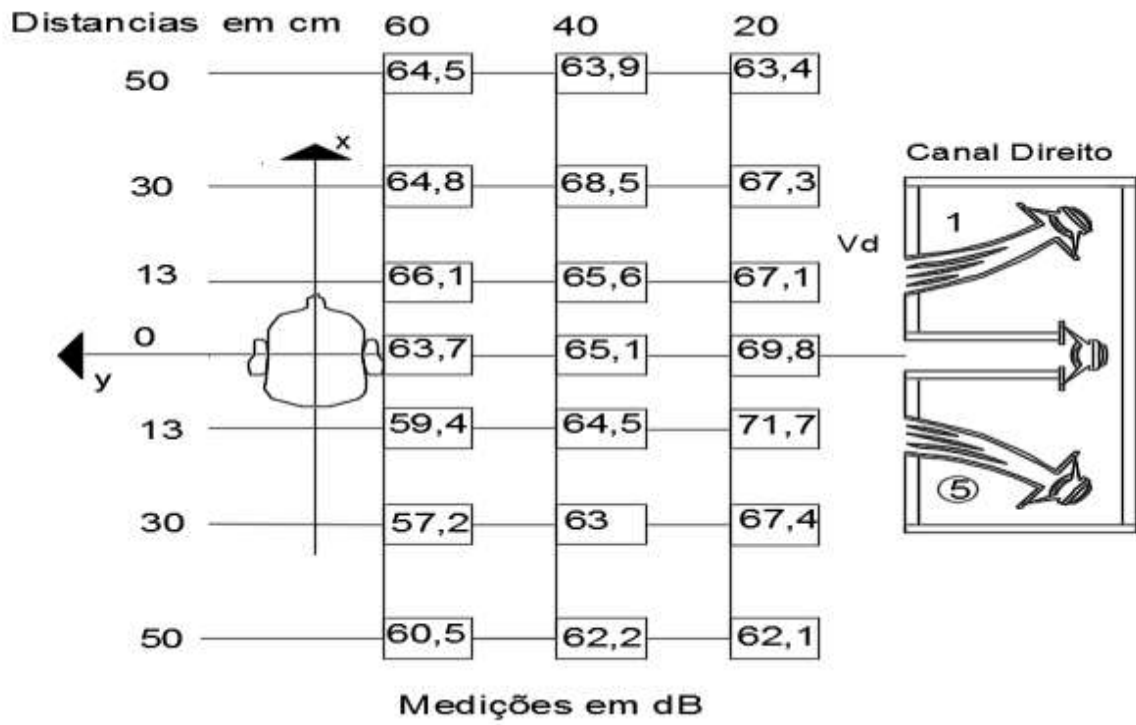
Figura 60 - Teste e medidas para o autofalante 1.



Fonte: o autor.

Na figura 61 são mostrados os resultados para o autofalante (5), também foram constatadas as maiores amplitudes audiométricas, próximo a orelha do ouvinte. Para a distância pré-determinada de 60cm.

Figura 61 - Teste e medidas para o autofalante 5.



Fonte: o autor.

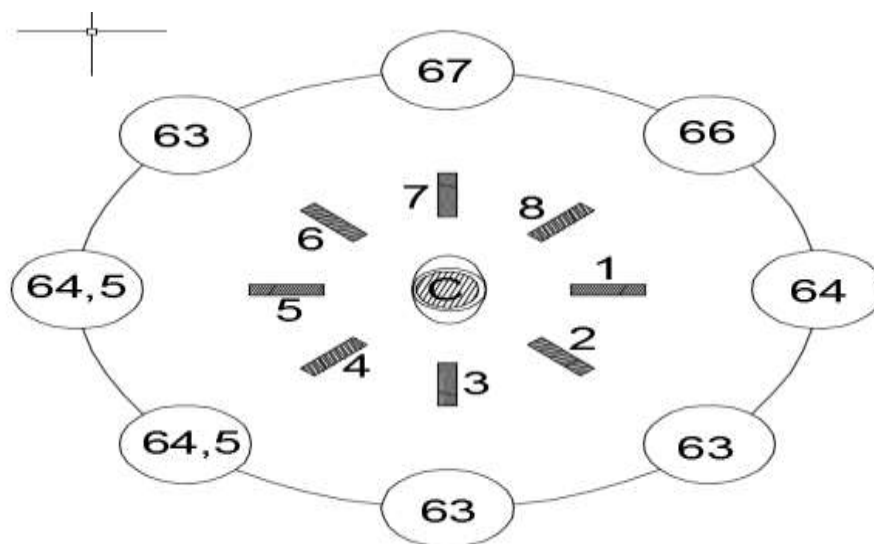
Nesses ensaios podemos observar como o som tem amplitude maiores nas posições diametralmente opostas a fonte emissora.

6.2 – Segundo Ensaio

No segundo ensaio, foi realizado um primeiro teste com o microfone posicionado na linha do alto-falante central e posteriormente, foram realizados mais quatro testes com microfone posicionado, respectivamente, na linha do alto-falante 1, 3, 5 e 7. Em todos os testes o microfone estava a uma distancia fixa de 0,6m da face da caixa.

Na figura 62 são mostradas as posições de cada um dos oito alto-falantes, a posição do medidor e os valores medidos. Neste primeiro teste, conforme salientado, os resultados foram obtidos com o medidor posicionado na direção do alto-falante central, sendo que a cada medição os alto-falantes eram comutados e registrado o valor da amplitude audiométrica para aquele alto-falante em específico. Os valores estão anotados nos círculos externo da figura.

Figura 62 – Decibelímetro fixo na posição central, e respectiva medição de cada autofalante.

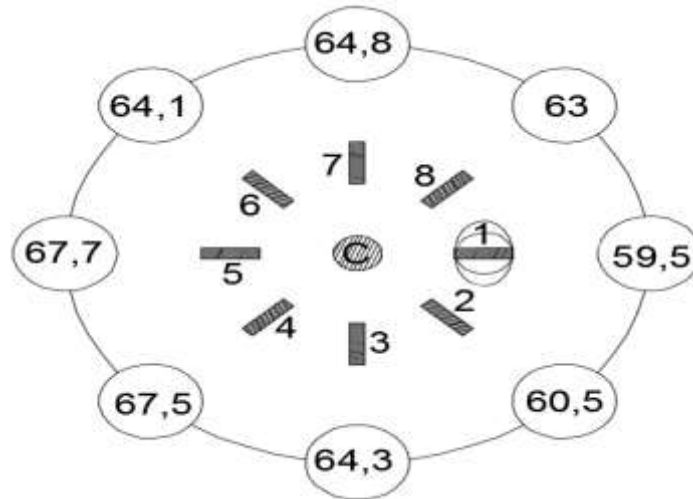


Fonte: o autor.

Os valores obtidos foram muito próximos para todos os auto-falantes, com um pequeno aumento para o alto-falante 7.

Na figura 63 os resultados são mostrados da mesma forma, mas agora com o decibelímetro posicionado em frente ao autofalante 1, também a uma distância de 0,6 m da face da caixa. Neste caso, os valores apresentam maior intensidade para os auto-falantes diametralmente opostos, auto-falantes 4, 5 e 6. Os valores medidos para os auto-falantes dispostos do mesmo lado do equipamento de medição apresentaram valores menores que o valor de referência, auto-falantes 1, 2 e 8.

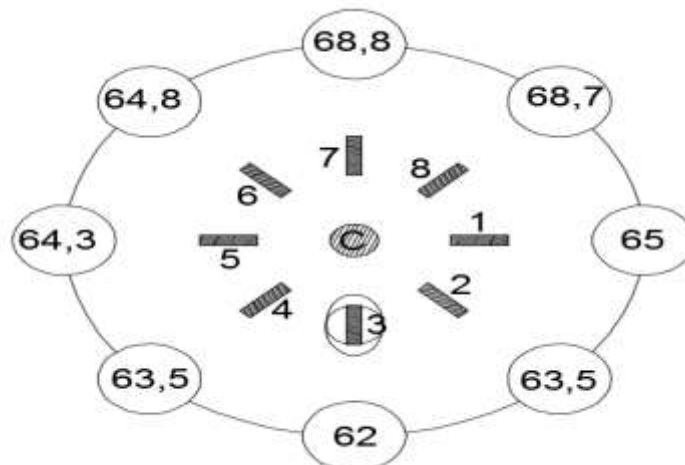
Figura 63 - Decibelímetro fixo colocado na posição 1, e as medições de cada autofalante.



Fonte: o autor.

Na figura 64 são mostrados os resultados para decibelímetro posicionado em frente ao alto-falante 3, a uma distância de 60 cm, como no caso anterior, os maiores valores medidos foram os dos alto-falantes diametralmente opostos ao medidor, auto-falantes 6, 7 e 8 e os menores valores medidos foram os dos auto-falantes dispostos do mesmo lado do medidor, auto-falantes 2, 3 e 4.

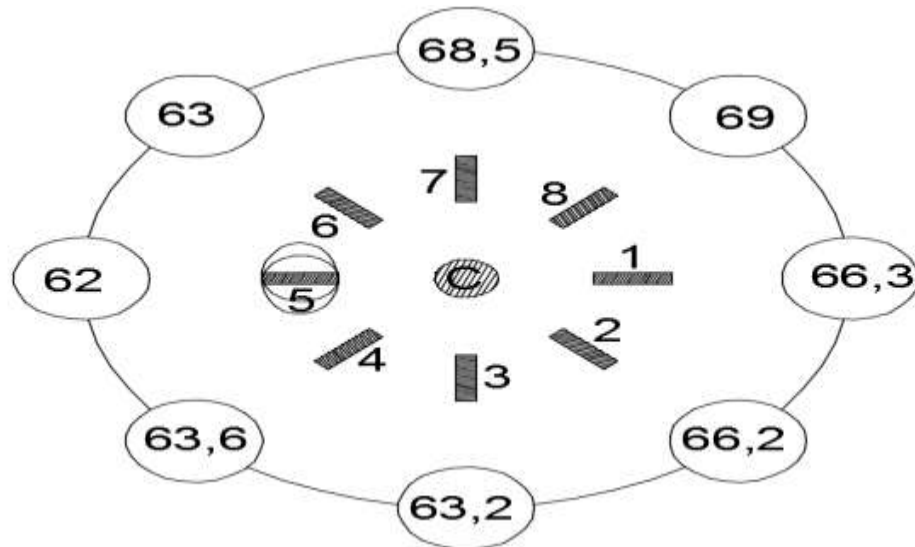
Figura 64 - Decibelímetro fixo colocado na posição 3, e as medições de cada autofalante.



Fonte: o autor.

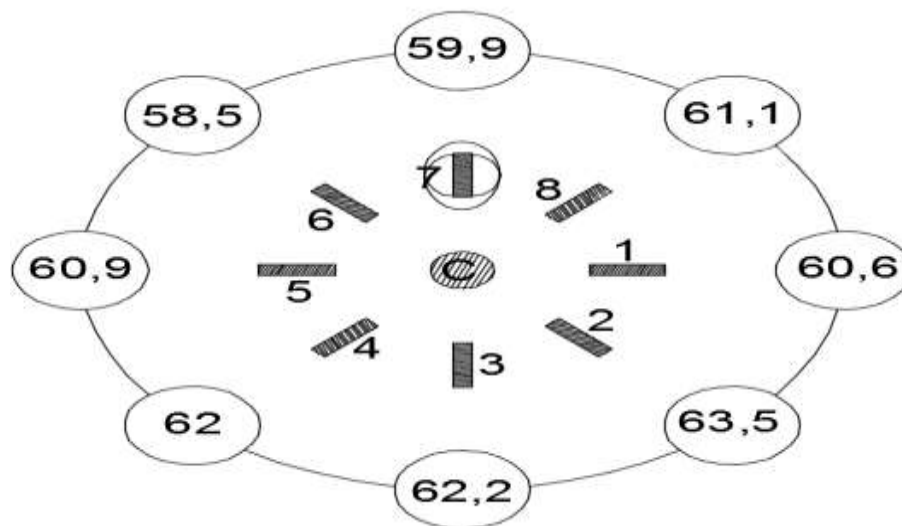
Na figura 65 são mostrados resultados para o decibelímetro na posição em frente ao alto-falante 5 e na figura 66 os resultados para o decibelímetro na posição em frente ao alto-falante 7, ambos a uma distância de 0,6 cm da face da caixa. Os resultados são similares aos anteriores com valores maiores captados para os auto-falantes diametralmente opostos ao medidor e valores menores para os auto-falantes dispostos do mesmo lado do equipamento.

Figura 65 - Decibelímetro fixo colocado na posição 5, e as medições de cada autofalante.



Fonte: o autor.

Figura 66 - Decibelímetro fixo colocado na posição 7, e as medições de cada autofalante.



Fonte: o autor.

Os resultados mostraram que o dispositivo proposto é capaz de colimar e direcionar o som para o ponto desejado, os valores obtidos para medição na posição equivalente a posição da orelha, 0,6 m da distancia da face da caixa, são semelhantes para as diferentes direções, ou seja, para cada alto-falante. O sistema de comutação possibilitou ainda a mudança da direção do som de forma simples e controlada, o que poderia ser utilizado para identificação da direção do som em testes de audiometria.

7 - CONCLUSÃO

Neste trabalho foi discutido e apresentado o estudo e desenvolvimento de um modelo de caixa de som como dispositivo voltado à percepção sensorial, espacial e audiométrica, objetivando a realização de testes aurais e binaurais utilizados nos exames básicos de avaliação audiológica. Foram utilizados um conjunto de cornetas ou colimadores para direcionar o som gerado em auto-falantes em um eixo, monodirecional. O desenvolvimento do sistema envolveu a montagem e avaliação do arranjo de fontes sonoras, de forma que fosse possível variar o controle de direção e intensidade do som. Testes experimentais de laboratório foram utilizados na avaliação da proposta.

Os resultados obtidos nos testes experimentais mostraram que o dispositivo proposto é capaz de colimar e direcionar o som para o ponto desejado e ainda permite mudar a direção do som de forma simples e controlada, o que poderia ser utilizado para identificação da direção do som em testes de audiometria.

Considero particularmente que o projeto é o desenvolvimento, bem sucedido, da teoria de um dispositivo que visa contribuir no estudo e desenvolvimento de novos equipamentos para laboratórios e salas audiológicas. É a concretização de uma ideia, a qual apresenta característica de inovação na busca de opções para exames, pois é de formato inédito e criado especificamente para auxílio aos tratamentos e no estudo das percepções auditivas espaciais. Considero entretanto, que os testes e resultados são avaliações da comprovada eficácia do equipamento e a continuidade no seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, poderá vir a ser uma contribuição social.

Edsel Freitas Portilho.

8. Trabalho futuro.

Testes adicionais serão necessários para uma avaliação mais detalhada do equipamento, sendo necessário o controle acústico mais refinado do ambiente de ensaio, melhoria na captação dos sinais com a utilização de equipamentos mais precisos, decibelímetros. Avaliação de outras frequências de interesse inserindo outros parâmetros, geração e corte através de filtros passa-baixa, passa-faixa e passa-alta para as frequências de maior importância no campo auditivo humano de 180, 250, 400, 500, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 6000, 7000, 8000 Hz, e desenvolvimento de uma interface computacional de controle, registro e análise com gráficos comparativos, respeitando os valores especificados em normas e protocolos específicos da área.

Com os avanços da audiologia e surgimento de novas tecnologias e novas linhas de pesquisa, há a necessidade de desenvolvimento e aprimoramento constante de novas ferramentas, tanto para aplicação nos testes de diagnósticos audiológicos existentes, quanto ao desenvolvimento de novos equipamentos e softwares para a reabilitação auditiva.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, J. A. R. **Localização e simulação de som tridimensional**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadoras na Área de Telecomunicações) – Universidade do Porto, Porto, 1994.

CARDIFF, Janet B. & MILLER, George B.. *The Murder of Crows*, 2008. Museu Inhotim de arte contemporânea, exposição permanente Galpão Cardiff & Miller <http://www.inhotim.org.br/inhotim/arte-contemporanea/obras/galpao-cardiff-miller>

CARVALLO, R. M. M. et all. **Padrões timpanométricos em adultos jovens e em idoso**. In XII Encontro Internacional de Audiologia, Sta. Maria, 1997. Anais do XII Encontro Internacional de Audiologia, 1997.

CHOUERI, E. Y. **Optimal Crosstalk Cancellation for Binaural Audio with Two Loudspeakers**. Disponível em: <<https://www.princeton.edu/3D3A/Publications/BACCHPaperV4d.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

CONSELHO FEDERAL DE FONOAUDIOLOGIA. Padrão internacional em audiometria. 2015. Disponível em: <<http://www.fonoaudiologia.org.br/cffa/wp-content/uploads/2013/07/manual-iso.pdf>> ISO8253-7 >. Acesso em: 12 abr. 2017.

GATES, G. A. et al. Screening for handicapping hearing loss in the elderly. **The Journal of Family Practice**, Parsippany, v. 52, n. 1, p. 56-62, 2003.

MANZONI, C. T. (Coord.). **Ambiente acústico em cabina/sala de teste**. [S.l.: CFF, 2010. Disponível em: <http://www.fonoaudiologia.org.br/publicacoes/ambiente_acustico.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017. http://forl.org.br/Content/pdf/seminarios/seminario_22.pdf

MENDES, S. C. et al., Limiar diferencial de mascaramento: valores de referência em adultos. http://www.scielo.br/pdf/acr/v22/en_2317-6431-acr-2317-6431-2016-1746.pdf

MENEZES, P. L. **Localização de fontes sonoras por ouvintes normais em ambiente reverberante**. 2002. 95 f. Dissertação (Mestrado em Biofísica) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da saúde, Recife, 2002. Disponível em: <

http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/4980/arquivo4423_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em: 12 jun. 2017.

PARA OS CURIOSOS. **Trabalhos extremamente estranhos que não existem mais**. 2016. Disponível em: < <https://www.paraoscuriosos.com/a2902/11-trabalhos-extremamente-estranhos-que-nao-existem-mais?page=2> >. Acesso em: 12 jun. 2017.

PEREIRA, L. D.; SCHOCHAT E., **Processamento auditivo central: manual de avaliação**. Lovise, 1997.

PINZAN-FARIA, V. M.; IORIO, M. C. M. Sensibilidade auditiva e autopercepção de handicap: um estudo em idosos. **Distúrbios da Comunicação**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 289-299, 2004. Disponível em: < <https://revistas.pucsp.br/index.php/dic/article/view/11651/8380> >. Acesso em: 10 jul. 2017.

PORTAL DA EDUCAÇÃO. Principais exames auditivos. 2016. Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/fonoaudiologia/artigos/40833/principais-exames-auditivos>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

PULKKI, V. Uniform spreading of amplitude panned virtual sources. In: PROCEEDINGS OF THE IEEE WORKSHOP ON APPLICATIONS OF SIGNAL PROCESSING TO AUDIO AND ACOUSTICS, New Paltz, 1999. **Proceedings of the...** New Paltz York: IEEE, 1999.

ROUSH, J.; TAIT, C. A. . Binaural fusion, masking level differences, and auditory brainstem responses in children with language-learning disabilities. **Ear Hearing**, Philadelphia, v. 5, p. 37-41, 1984.

RUSSO, I. C. P.; SANTOS, T. M. M. **Audiologia infantil**. São Paulo: Cortês, 1994.

RUSSO, I. C. P.; Distúrbios da audição: a presbiacusia. In: RUSSO, I. C. P. (org.). **Intervenção fonoaudiológica na terceira idade**. São Paulo: Ed. Revinter; 1999. p.51-82.

SILMAN, S.; SILVERMAN, C. A. Basic audiologic testing. **Auditory diagnosis-principles and applications**. San Diego: Singular, 1997. p 38-58.

SINDHUSAKE, D. et al. Validation of self-reported hearing loss: the blue mountains hearing study. **International Journal of Epidemiology**, Oxford, v. 30, p. 1371-1378, 2001. < <http://ije.oxfordjournals.org/content/30/6/1371.full.pdf+html?sid=4381161e-e472-4002-bc9a-ce6508f868a2> >

SOBOTTA, J. **Atlas de anatomia humana**. 21 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. Cabeça Pescoço e extremidade superior.

SWEETOW, R. W.; REDDELL, R. C. The use of masking level differences in the identification of children with perceptual learning problems. **Journal of the American Auditory Society**, Philadelphia, v. 4, p. 52-56, 1978.

TAKEUCHI, T.; NELSON, P. A. Optimal source distribution for binaural synthesis over loudspeakers. **Journal of the Acoustical Society America**, Melville, v. 112, n. 6, p. 2786-2797, 2002. Disponível em: <<http://resource.isvr.soton.ac.uk/staff/pubs/PubPDFs/Pub1671.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

VENTRY, I. M.; WEINSTEIN, B. E. The hearing handicap inventory for the elderly: a new tool. **Ear and Hearing**, Philadelphia, v. 3, n. 3, p. 128-134, 1982.

VENTRY, I.; WEINSTEIN, B. Identification of elderly people with hearing problems. **Asha**, Rockville, v. 25, n. 7, p. 37-42, 1983.

YUEH, B. et al. J. et al. Screening for auditory impairment - which hearing assessment test (SAI - WHAT): RCT design and baseline characteristics. **Contemporary Clinical Trials**, Philadelphia, v. 28, p. 303-315, 2007.

ZEIGELBOIM, B. S. et al. Avaliação do processamento auditivo central em pacientes com doença de Parkinson. **Arquivos Internacionais de Otorrinolaringologia**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 190-194, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aio/v15n2/a11v15n2>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

ANEXOS

ANEXO A - Anexo 1 da ISO 8253-1

Anexo 1

Frequência central da banda de 1/3 de oitava Hz	Níveis máximos de pressão sonora permitidos para o ruído ambiente L _{max} (referência: 20 µPa)dB		
	Faixa de frequências do tom de teste		
	125 Hz a 8.000 Hz	250 Hz a 8.000 Hz	500 Hz a 8.000 Hz
31,5	56	66	78
40	52	62	73
50	47	57	68
63	42	52	64
80	38	48	59
100	33	43	55
125	28	39	51
160	23	30	47
200	20	20	42
250	19	19	37
315	18	18	33
400	18	18	24
500	18	18	18
630	18	18	18
800	20	20	20
1.000	23	23	23
1.250	25	25	25
1.600	27	27	27
2.000	30	30	30
2.500	32	32	32
3.150	34	34	34
4.000	36	36	36
5.000	35	35	35
6.300	34	34	34
8.000	33	33	33

Nota: Utilizando-se os valores acima, o menor nível do limiar auditivo a ser medido é de 0 dB, com uma incerteza máxima de + 2 dB devido ao ruído ambiente. Se uma incerteza máxima de + 5 dB devida ao ruído ambiente é permitida, os valores podem ser incrementados em 8 dB.

Fonte: ISO 8253-1

Salienta-se observar que, de acordo com a ISO 8253-1, os níveis de pressão sonora devem ser menores ou iguais a 18 dB para a determinação de limiares tonais de via aérea e menores ou iguais a 4 dB para a via óssea. Portanto os níveis de ruído no ambiente, especialmente para a determinação de limiares tonais de via óssea, exigem a utilização de microfones especiais que permitam medir níveis bem baixos de ruído. Considerando os níveis de ruído do ambiente, determinante para a qualidade de serviços de audiolgia e saúde

auditiva, tenha embasamento sobre a metodologia de medição e controle do ruído. Sendo necessário realizar modificações acústicas para reduzir estes níveis, de maneira que não mascarem os sinais de teste.

Para os ambientes de teste em que os níveis de ruído excedem os recomendados pela ISO 8253-1.

A cabina audiométrica deve promover um nível de isolamento suficiente para que os níveis de ruído em seu interior não sejam superiores aos níveis determinados na ISO 8253-1. exemplificando, se o ambiente apresenta nível de ruído em 1 kHz de 43 dB, deve-se verificar se a curva de isolamento a ser oferecido pela cabine é de, no mínimo, 20 dB para garantir o nível máximo permitido na ISO 8253-1 para a condução aérea, que é de 23 dB.

Para calcular os níveis de isolamento necessários para uma cabina, outros exemplos de como adequar o ambiente, são apresentados na tabela da norma ISO-8253-1 e estão descritos no Anexo 2 da norma.

ANEXO B - Anexo 2 norma ISO-8253-1, Anexo 2.1, Primeira pagina.



A tabela ao lado demonstra como calcular o isolamento necessário ao adquirir uma cabina, a partir dos níveis de ruído existentes na sala onde será instalada.

Os níveis de ruído de uma sala hipotética encontram-se descritos na Coluna 1. As Colunas 2 e 4 apresentam os níveis máximos permitidos para a realização de exames audiométricos por condução aérea e óssea respectivamente, segundo a norma ISO 8253-1. Os valores que são ultrapassados no ambiente em que a cabine será instalada estão em negrito, para cada tipo de audiometria (aérea ou óssea).

O isolamento que uma cabina deve prover, para que esses exames sejam realizados de acordo com a ISO 8253-1, se encontram nas Colunas 3 (condução aérea) e Coluna 5 (condução óssea) respectivamente. Nas frequências cujos valores são XX, os níveis de ruído estão abaixo do exigido pela ISO 8253-1.

Exemplificando: Na situação hipotética apresentada, o nível de ruído medido na frequência de 500 Hz é de 31 dB (coluna 1). Considerando que o valor máximo para condução aérea determinado na norma ISO 8253-1 é de 18 dB (coluna 2), o isolamento necessário que uma cabina deve oferecer neste caso para a determinação de limiares é de 13 dB (coluna 3): valor coluna 1 menos o valor da coluna 2 ou $[31 - 18 = 13]$. Já para a determinação de limiares por condução óssea, como o valor de referência é de apenas 8 dB (coluna 4), o isolamento que a cabina deve oferecer nesta frequência é de 23 dB (coluna 5): valor da coluna 1 menos o valor da coluna 4 ou $[31 - 8 = 23]$.

Fonte: ISO 8253-1

ANEXO C - Anexo 2 norma ISO-8253-1, Anexo 2.2, Segunda pagina.



Frequência central da banda de 1/3 de oitava Hz	Níveis de pressão sonora em bandas de 1/3 de oitavas - dB				
	Coluna 1 Nível de ruído medido (sala)	Condução aérea		Condução óssea	
		Coluna 2 ISO 8253-1 (250 Hz a 8 kHz)	Coluna 3 Isolamento sonoro necessário	Coluna 4 ISO 8253-1 250 Hz a 8 kHz	Coluna 5 Isolamento sonoro necessário
31,5	53	66	XX	63	XX
40	52	62	XX	56	XX
50	49	57	XX	49	XX
63	47	52	XX	44	3
80	45	48	XX	39	6
100	42	43	XX	35	7
125	39	39	XX	28	11
160	37	30	7	21	16
200	37	20	17	15	22
250	37	19	18	13	24
315	36	18	18	11	25
400	32	18	14	9	23
500	31	18	13	8	23
630	31	18	13	8	23
800	26	20	6	7	19
1 000	25	23	2	7	18
1 250	25	25	XX	7	18
1 600	24	27	XX	8	16
2 000	24	30	XX	8	16
2 500	22	32	XX	6	16
3 150	20	34	XX	4	16
4 000	19	36	XX	2	17
5 000	18	35	XX	4	14
6 300	16	34	XX	9	7
8 000	16	33	XX	15	1

A

Fonte: ISO 8253-1

“Resolução – RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Ministério da Saúde “dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde”. Esta resolução determina que a cabina audiométrica deve possuir dimensão mínima de 1,4 m² e a sala para comando do exame 4 m².

Para a compra de uma cabina, especialmente quando a aquisição ocorre por processo licitatório, é importante realizar um detalhamento sobre o descritivo técnico da cabina. Neste sentido, uma orientação pode ser obtida junto ao Sistema de Apoio à Elaboração de Projetos de Investimentos em Saúde – SomaSUS.


O SomaSUS é uma ferramenta elaborada, pela equipe técnica da Secretaria Executiva do Ministério da Saúde, para auxiliar gestores e técnicos de instituições de saúde a planejar, avaliar e elaborar projetos de investimentos em infra-estrutura. Além da consulta a respeito das características físicas dos serviços de saúde, o SomaSUS apresenta informações sobre seus respectivos ambientes e equipamentos, incluindo margens de preço. A ficha descritiva E-486 (Anexo 3) refere-se a “cabine acústica de campo livre”. Nesta ficha há a descrição técnica do equipamento e as características técnicas, podendo ser utilizada”

http://www.fonoaudiologia.org.br/publicacoes/ambiente_acustico.pdf(24)

Da norma 8253-1, o Anexo 3, que determina as características básicas da norma de cabines.

ANEXO D - Anexo 3 da norma 8253-1

Anexo 3


E486 - Cabine Acústica de Campo Livre

Sinônimos: Cabine Acústica de Campo Livre, Sistema de Campo Livre

Descrição Técnica: Cabine fechada, de campo livre, com revestimento acústico, montada em piso suspenso, utilizada em avaliações audiométricas.

Características Técnicas/Acessórios: Além da descrição básica, deve conter características e/ou informações referentes a(o): Definir revestimento interno e externo; Possuir iluminação com lâmpada fluorescente compacta; Possuir abertura para troca térmica e equilíbrio pressostático; Necessidade de estar apoiada sobre amortecedores de vibração; Possuir visor com três vidros isolantes (dois paralelos e um em diagonal); Especificar trinco de pressão, facilitando a abertura da porta pelo lado de dentro; Dobradiças com tratamento anti-ferrugem (aço inoxidável ou cromados); Possuir entrada frontal para os cabos dos equipamentos; Apresentar uma isolamento de pelo menos 50dB a 500Hz com paredes duplas e recheio isolante nas paredes, teto, piso e porta; Definir necessidade e características do piso antiderrapante.

Necessidades especiais de infra-estrutura: Não se aplica.

Observações: Existe modelo adaptado para cadeira de rodas, com dimensões maiores.

Potência: 50W

Parâmetro: Não Aplica

Tipo: Mobiliário Hospitalar

Ambientes relacionados a este Equipamento

Código: MGR 13

Nome: Área de comando para: audiometria, potenciais evocados e estudo do sono

Fonte: ISO 8253-1

ANEXO E - **Recomendação CFFa nº 11, de 08 de março de 2010****CONSELHO FEDERAL DE FONOAUDIOLOGIA****Recomendação CFFa nº 11, de 08 de março de 2010**

“Dispõe sobre métodos para avaliação de ambientes para ensaios audiométricos.”

O Conselho Federal de Fonoaudiologia, no uso de suas atribuições legais e regimentais;

Considerando o disposto na Lei nº 6965/81, de 9 de dezembro de 1981 e o Decreto nº 87.218/82;

Considerando o Código de Ética da Fonoaudiologia;

Considerando que os níveis de pressão sonora do ruído ambiente em uma cabina audiométrica ou em uma sala de teste audiológico devem ser controlados de modo a evitar o mascaramento dos tons de teste e fornecer resultados fidedignos;

Considerando os projetos de norma produzidos pelo grupo de especialistas coordenado pelo INMETRO denominado GT-3, do qual fazem parte os Conselhos Federal e Regionais de Fonoaudiologia, especialmente os projetos: 03-029.01-027/1 (Eletroacústica - Métodos para avaliação de ambientes para testes audiométricos - Parte 1: Medição direta) e 03:029.01-027/2 (Eletroacústica - Métodos para avaliação de ambientes para testes audiométricos - Parte 2: Medição indireta através da determinação do isolamento).

Recomenda que:

Art. 1º - A avaliação de ambientes para testes audiométricos realizada por **medição direta** utilize a seguinte instrumentação, método e registro:

1. Instrumentação:

O sistema de instrumentação deve atender aos requisitos para um instrumento classe 1. Todos os equipamentos utilizados para a medição de níveis de ruído devem possuir certificados de calibração válidos, emitidos por um laboratório integrante da Rede Brasileira de Calibração (RBC), pelo INMETRO ou por organismo participante de reconhecimento mútuo com o INMETRO (membro do ILAC). A periodicidade de calibração não deve ser superior a dois anos.

Antes e após cada série de medições, a estabilidade e o ajuste de toda a instrumentação devem ser verificados em uma ou mais frequências na faixa de frequências de interesse, usando-se um calibrador de nível sonoro.



SRTVS – Q. 701 – Ed. Palácio do Rádio II Sala 624.630
 CEP: 70.340-902 Brasília – DF
 Fone: (61) 3322-3332 Fax: (61) 3321-3946
www.fonoaudiologia.org.br fono@fonoaudiologia.org.br



CONSELHO FEDERAL DE FONOAUDIOLOGIA



Devido ao ruído autogerado pela instrumentação, níveis de ruído muito reduzidos podem ser mascarados pela própria instrumentação. Todo cuidado deve ser tomado na correta seleção da instrumentação envolvida na medição, consultando-se os respectivos manuais dos equipamentos utilizados.

2. Método de medição

O local de teste deve estar configurado de acordo com a sua utilização normal, porém sem a presença do indivíduo sob teste. O técnico responsável pela medição também não deve estar presente no local de teste.

Devem ser utilizadas três posições fixas de microfones, distribuídas em uma esfera de raio de 0,2m, centrada no ponto de referência, a uma altura de 1,20m. Em pelo menos duas destas posições, os microfones devem estar direcionados para a porta, o visor ou eventuais entradas de ventilação ou áreas vulneráveis da cabine.

As medições devem ser realizadas com ponderação em frequência linear utilizando-se filtros de bandas de 1/3 de oitavas centradas nas frequências normalizadas de 31,5 Hz a 8 000 Hz.

As medições devem ser integradas em um período de tempo de pelo menos 60 s (L_{eq} em 60 s). Todos os resultados de medição devem ser apresentados em decibels e arredondados para o inteiro mais próximo.

3. Relatório de medição

Devem constar no relatório de medição as seguintes informações:

- a) identificação e endereço do solicitante da medição;
- b) identificação da cabine (nome, marca, fabricante, modelo, número de série, quando disponível);
- c) identificação dos equipamentos utilizados na medição (marca, modelo, número de série, número do certificado de calibração e data);
- d) identificação do responsável pela medição;
- e) identificação do relatório de medição, de forma unívoca;
- f) os resultados para o ruído ambiente, em terços de oitava, apresentados em forma de tabela;
- g) declaração de que as medições foram realizadas de acordo com esta Recomendação;





CONSELHO FEDERAL DE FONOAUDIOLOGIA



- h) data de realização da medição;
- i) descrição do local de instalação da cabine;
- j) posição da cabine na sala;
- k) incerteza de medição.

Art. 2º - A avaliação de ambientes para testes audiométricos realizada por **medição indireta pela determinação do isolamento** utilize a seguinte instrumentação, método e registro:

1. Instrumentação

O sistema de instrumentação deve atender aos requisitos para um instrumento classe 1. Todos os equipamentos utilizados para a medição de níveis de ruído devem possuir certificados de calibração válidos, emitidos por um laboratório integrante da Rede Brasileira de Calibração (RBC), pelo INMETRO ou por organismo participante de reconhecimento mútuo com o INMETRO (membro do ILAC). A periodicidade de calibração não deve ser superior a dois anos.

Antes e após cada série de medições, a estabilidade e o ajuste de toda a instrumentação devem ser verificados em uma ou mais frequências na faixa de frequências de interesse, usando-se um calibrador de nível sonoro.

A fonte de ruído para as excitações deve ser um ruído branco ou rosa (preferencialmente), cobrindo uma faixa de frequências no mínimo de 100 Hz a 10 000 Hz.

2. Medições do desempenho do isolamento sonoro

Um campo de pressão sonora é gerado por alto-falante na sala e a diferença entre o nível de pressão sonora entre a sala e a cabine é medido.

A cabine deve ser instalada conforme especificado pelo fabricante e estar configurada de acordo com a sua utilização normal, porém sem a presença do indivíduo sob teste.

O número de posições de fontes sonoras deve ser maior ou igual a três. A distância entre as posições da fonte sonora deve ser de pelo menos 1 m. As posições da fonte sonora devem ser uniformemente distribuídas ao redor da cabine. A distância entre a cabine e a fonte sonora deve ser maior ou igual a 1 m. A cada posicionamento da fonte, os níveis de pressão sonora devem ser medidos dentro e





CONSELHO FEDERAL DE FONOAUDIOLOGIA



fora da cabine para efeito de cálculo do isolamento sonoro aparente. As medições devem ser realizadas seqüencialmente.

As medições devem ser integradas em um período de tempo de pelo menos 15s (L_{eq} em 15s). Os níveis de pressão sonora médios, externo e interno à cabine, entre as diferentes posições de microfones, devem ser calculados de acordo com a seguinte equação:

$$\bar{L}_p = 10 \log \left(\frac{10^{0,1L_{p1}} + 10^{0,1L_{p2}} + \dots + 10^{0,1L_{pn}}}{n} \right) \text{ dB}$$

onde:

$L_{p1}, L_{p2}, \dots, L_{pn}$ são os níveis de pressão sonora, em decibels;
 n é o número de valores para o qual se calcula a média.

O som gerado deve ser estável e ter um espectro contínuo em freqüência na faixa de freqüências considerada. A medição deve ser realizada utilizando-se bandas de terços de oitava, e o espectro deve ser aproximadamente plano dentro de cada banda de oitava. Os três níveis de um terço de oitava não devem diferir por mais que 6 dB na banda de oitava de 125 Hz, 5 dB na banda de oitava de 250 Hz e 4 dB nas bandas de oitava de freqüências superiores. O nível de saída deve ser suficientemente alto para gerar um nível de pressão sonora no interior da cabine que exceda o nível de ruído ambiente em pelo menos 6 dB, e preferencialmente mais que 12 dB para todas as bandas de freqüências de interesse.

Devem ser medidos os níveis de ruído tanto com a fonte ligada quanto com a fonte desligada, interna e externamente à cabine.

Caso a diferença em cada banda de freqüências seja maior que 6 dB, mas inferior a 20 dB, as medições dos níveis de pressão sonora, em bandas de freqüências, devem ser corrigidas com respeito à influência do ruído de fundo, para cada banda de freqüências, de acordo com a seguinte equação:

$$\bar{L} = 10 \log (10^{0,1L'_p} - 10^{0,1L''_p}) \text{ dB}$$

onde:

L'_p é o nível de pressão sonora médio, em uma dada banda de freqüências, em decibels, medido com a fonte sonora ligada;





$L'p$ é o nível de pressão sonora médio do ruído de fundo, em uma dada banda de frequências, em decibels, medido com a fonte sonora desligada.

Os níveis de pressão sonora na sala, em bandas de um terço de oitava para cada posicionamento da fonte sonora, devem ser determinados com a fonte sonora posicionada de acordo com a descrição acima. Três posicionamentos de microfones devem ser utilizados. As medições devem cobrir as bandas de terços de oitava de 100 Hz a 12 500 Hz. A distância entre qualquer posição de microfone e a fonte sonora deve ser de pelo menos 1 m.

Para cabines com a posição de indivíduo sob teste bem definida, devem ser utilizadas duas posições de microfones fixos, a 1 m de altura e separados entre si em 0,30 m, preferencialmente em torno da posição da cabeça do indivíduo.

O nível de pressão sonora médio entre as duas posições de microfones deve ser calculado com base na equação:

$$\bar{L}_p = 10 \log \left(\frac{10^{0,1L_{p1}} + 10^{0,1L_{p2}} + \dots + 10^{0,1L_{pn}}}{n} \right) \text{ dB}$$

3. Isolamento sonoro aparente, $D'p$

O isolamento sonoro aparente, $D'p$, em bandas de um terço de oitava é dado por:

$$D'p = (\bar{L}_p)_{\text{sala}} - (\bar{L}_p)_{\text{cabine}}$$

onde:

$(\bar{L}_p)_{\text{sala}}$ é o nível de pressão sonora médio, em uma dada banda de frequências de terço de oitava, na sala, em decibels;

$(\bar{L}_p)_{\text{cabine}}$ é o nível de pressão sonora médio, na mesma banda de frequências de terço de oitava, no interior da cabine, em decibels.

Uma vez determinado o isolamento sonoro aparente, $D'p$, de uma dada cabine, este poderá agora ser utilizado para a inferência do nível de ruído ambiente em uma cabine. O ruído externo (ruído da sala) deve ser medido em bandas de terços de oitava e a ele ser aplicada a correção devida ao isolamento sonoro aparente, $D'p$, da cabine, conforme a equação:





CONSELHO FEDERAL DE FONOAUDIOLOGIA



$$(L_p)_{cabine} = (L_p)_{sala} - D_p$$

onde:

$(L_p)_{cabine}$ é o nível de pressão sonora estimado médio no interior da cabine;

$(L_p)_{sala}$ é o nível de pressão sonora médio medido na sala em que está instalada a cabine.

4. Relatório de medição

Devem constar no relatório de medição as seguintes informações:

- a) identificação e endereço do solicitante da medição;
- b) identificação da cabine (nome, marca, fabricante, modelo, número de série, quando disponível);
- c) identificação do equipamento utilizado na medição (marca, modelo, número de série, número do certificado de calibração e data);
- d) identificação do responsável pela medição;
- e) identificação do relatório de medição, de forma unívoca;
- f) os resultados para o ruído ambiente, em terços de oitava, apresentados em forma de tabela;
- g) declaração de que as medições foram realizadas de acordo com esta Recomendação;
- h) data de realização da medição;
- i) descrição do local de instalação da cabine;
- j) posição da cabine na sala;
- k) incerteza de medição.

Brasília-DF, 08 de março de 2010

Leila Coelho Nagib
Presidente/CFFa

Claudia Regina Charles Taccolini Manzoni
Presidente da Comissão de Saúde/CFFa



SRTVS – Q. 701 – Ed. Palácio do Rádio II Sala 624/630
CEP: 70.340-902 Brasília – DF

Fone: (61) 3322-3332 Fax: (61) 3321-3946

www.fonoaudiologia.org.br fono@fonoaudiologia.org.br

ANEXO F - Padronização internacional em audiometria.

PADRONIZAÇÃO INTERNACIONAL EM AUDIOMETRIA

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR
STANDARDIZATION (ISO) 8253-1
Versão 2010

Neste material você encontrará
informações sobre a ISO 8253 - Parte 1
versão 2010 e sua relação com a Norma
Regulamentadora (NR7) do Ministério do
Trabalho e Emprego.

Junho/2015

Conselho Federal
de Fonoaudiologia

Pela importância de se comunicar bem
www.fonologia.org.br



Acústica

Métodos para testes audiométricos

AISO é uma desenvolvedora de normas de padronização voluntária em todo o mundo, fundada desde 1947, e atualmente possui 163 países membros, dentre eles o Brasil.

Devido à grande relevância do exame audiométrico, a ISO padronizou três normas relacionadas ao tema. São elas:

ISO 8253 – Parte 1 /versão 2010 – Audiometria de tom puro por condução aérea e óssea;

ISO8253 – Parte 2 /versão 2009 – Audiometria de campo sonoro com sinais de tom puro e banda estreita;

ISO 8253 – Parte 3 /versão 2012 – Audiometria de Fala.

1. AUDIOMETRIA DE TOM PURO POR CONDUÇÃO AÉREA E ÓSSEA

A primeira versão da ISO 8253-1 foi editada em 1989 com o objetivo de padronizar procedimentos envolvidos na audiometria tonal por vias aérea e óssea. Em 2010, passou por uma revisão e foi reeditada.

Contém orientações sobre métodos para pesquisa do limiar auditivo por via aérea e óssea, calibração do audiômetro, procedimento para triagem, o nível máximo de ruído permitido no ambiente de exame e, no anexo A, faz referência à estimativa da incerteza de medição do exame de audiometria tonal. É uma norma internacional, portanto seguida em todo o mundo.

2. A ISO 8253-1 E A AUDIOLOGIA OCUPACIONAL

Na legislação brasileira, a ISO 8253-1 é referendada pela Norma Regulamentadora (NR) 7 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO). O anexo I da NR7 apresenta o Quadro II com as diretrizes e parâmetros mínimos para avaliação e acompanhamento da audição em trabalhadores expostos a níveis de pressão sonora elevados. O item 3 do Quadro II estabelece os princípios e os procedimentos básicos para a realização do exame audiométrico, em que a norma ISO 8253-1 é preconizada para a calibração de audiômetro e, também, para os limites máximos de ruído permitidos no ambiente de exame.

3. PRINCÍPIOS E PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA A REALIZAÇÃO DO EXAME AUDIOMÉTRICO

- > Aferição acústica anual.
- > Calibração acústica, sempre que a aferição acústica indicar alteração, e obrigatoriamente a cada 5 anos.
- > Os procedimentos constantes nos itens 3.2.1 e 3.2.2 da NR-7 devem seguir o preconizado na norma ISO 8253-1, e os resultados devem ser incluídos em um certificado de aferição e/ou calibração que acompanhará o equipamento.
- > O exame audiométrico será realizado em cabina audiométrica, cujos níveis de pressão sonora não ultrapassam os níveis máximos permitidos, de acordo com a norma ISO 8253-1.
- > Nas empresas em que existir ambiente acusticamente tratado, que atenda à norma ISO 8253-1, a cabina audiométrica poderá ser dispensada.

4. RECOMENDAÇÕES DA ISO 8253-1:2010 PARA CALIBRAÇÃO

Item 12 – Manutenção e calibração do equipamento audiométrico.

Este item descreve três estágios que devem ser seguidos:

Estágio A – Rotina de checagem diária do equipamento como verificação da emissão do tom puro, integridade de fios, fones e vibrador ósseo;

Estágio B – Checagem objetiva periódica, ou seja, calibração realizada num intervalo de 12 meses contendo os seguintes testes:

- > frequência dos sinais de teste;

- > níveis de pressão sonora dos fones no acoplador acústico ou ouvido artificial;
- > níveis de força vibratória do vibrador no acoplador mecânico (mastóide artificial);
- > níveis de mascaramento;
- > passos do dial atenuador de intensidade;
- > teste de distorção harmônica.

Estágio C – Deve ser realizado por laboratório competente, para checagem dos requisitos descritos na norma da International Electrotechnical Commission (IEC) 60645-1, como previsto no item 3.2.2 da NR-7.

5. RECOMENDAÇÕES DA ISO 8253-1:2010 REFERENTE AO NÍVEL DE RUÍDO AMBIENTE PERMITIDO

Item 11 – Nível de ruído ambiente permitido.

O nível máximo de ruído permitido no ambiente de teste não deve exceder os valores contidos nas tabelas 2 e 4 da ISO 8253-1:2010.

TABELA 2

Níveis máximos de pressão sonora permitidos no ambiente para audiometria por via aérea, para pesquisa de limiar auditivo até 0 dB, quando utilizados fones de ouvido supra-aurais.

Frequência centrais de bandas de 1/3 de oitava Hz	Nível máximo de pressão sonora permitida no ambiente $L_{s,max}$ (Referência: $20\mu Pa$) dB		
	Faixa de frequência de tom puro		
	125 Hz a 8.000 Hz	250 Hz a 8.000 Hz	500 Hz a 8.000 Hz
31,5	56	66	78
40	52	62	73
50	47	57	68
63	42	52	64
80	38	48	59
100	33	43	55
125	28	39	51
160	23	30	47
200	20	20	42
250	19	19	37

Frequência centrais de bandas de 1/3 de oitava Hz	Nível máximo de pressão sonora permitida no ambiente $L_{s,max}$ (Referência: 20 μ Pa) dB		
	Faixa de frequência de tom puro		
	125 Hz a 8.000 Hz	250 Hz a 8.000 Hz	500 Hz a 8.000 Hz
315	18	18	33
400	18	18	24
500	18	18	18
630	18	18	18
800	20	20	20
1000	23	23	23
1250	25	25	25
1600	27	27	27
2000	30	30	30
2500	32	32	32
3150	34	34	34
4000	36	36	36
5000	35	35	35
6300	34	34	34
8000	33	33	33

Usando os valores dados, o menor limiar auditivo a ser medido é 0 dB, com uma incerteza máxima de +2 dB devido ao ruído ambiente. Se uma incerteza máxima de +5 dB devido ao ruído ambiente for permitida, os valores podem ser crescidos em 8 dB.

Fonte: ISO 8253-1: 2010

Esses valores máximos devem ser medidos em banda de terço de oitava e baseiam-se em dados experimentais de dois tipos de fones de ouvido supra-aurais, disponíveis comercialmente.

TABELA 4

Níveis máximos de pressão sonora permitidos no ambiente para audiometria por via óssea, para pesquisa de limiar auditivo até 0 dB, quando utilizado vibrador ósseo.

Frequência centrais de bandas de 1/3 de oitava Hz	Nível máximo de pressão sonora permitida no ambiente $L_{s,max}$ (Referência: 20 μ Pa) dB	
	Faixa de frequência de tom puro	
	125 Hz a 8.000 Hz	250 Hz a 8.000 Hz
31,5	55	63
40	47	56
50	41	49
63	35	44
80	30	39
100	25	35
125	20	28
160	17	21
200	15	15
250	13	13
315	11	11
400	9	9
500	8	8
630	8	8
800	7	7
1000	7	7
1250	7	7
1600	8	8
2000	8	8
2500	6	6
3150	4	4
4000	2	2
5000	4	4
6300	9	9
8000	15	15

Usando os valores dados, o menor limiar auditivo a ser medido é 0 dB, com uma incerteza máxima de +2 dB devido ao ruído ambiente. Se uma incerteza máxima de +5 dB devido ao ruído ambiente for permitida, os valores podem ser crescidos em 8 dB.

Fonte: ISO 8253-1: 2010

6. INCERTEZA DE MEDIÇÃO

A Metrologia reconhece que o resultado de qualquer medição é somente uma estimativa do valor que é medido. Para garantir que as respostas encontradas estejam dentro de um intervalo de confiança (para mais ou para menos), utiliza-se a declaração da incerteza.

A revisão da ISO 8253-1:2010 traz como inovação o Anexo A, que faz referência à incerteza de medição associada ao resultado do exame audiométrico. Isso porque alguns fatores podem influenciar as respostas do exame audiométrico, como:

- > determinação do limiar auditivo de acordo com os procedimentos da ISO 8253-1:2010;
- > performance do audiômetro utilizado (um audiômetro não é igual ao outro);
- > tipo e colocação dos fones e vibrador ósseo;
- > condições ambientais, especialmente o ruído;
- > uso inadequado de mascaramento;
- > experiência do examinador;
- > cooperação do examinado;
- > situações difíceis de medir.

Para garantir que as respostas encontradas estejam dentro de um intervalo de confiança (margem de erro para mais ou para menos), a ISO 8253-1:2010 sugere a utilização da declaração de incerteza, que será específica para cada serviço, pois depende do controle realizado em cada um dos fatores que influenciam no resultado do exame audiométrico. No entanto, essa declaração de incerteza ainda é realizada apenas em pesquisas.

Para mais esclarecimentos e dúvidas, procure o Conselho Regional de Fonoaudiologia.

REFERÊNCIAS

ISO 8253-1:2010. Acoustics - Audiometric test methods - Part 1: Pure-tone air and bone conduction audiometry.


BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 7**. Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Brasília, 1978.




**Conselho Federal
de Fonoaudiologia**

Pela importância de se comunicar bem
www.fonoaudiologia.org.br

fono@fonoaudiologia.org.br | (61) 3321-0081

 @cffonaudiologia

 Conselho Federal de Fonoaudiologia

ANEXO G - Lista de materiais:

Madeiramento em MDF 15mm e Eucatex 3mm: R\$ 650,00
Colas:R\$ 35,00
Pregos: R\$ 42,00
Parafusos: R\$ 15,00
Fitas adesivas (2): R\$ 9,00
Fita isolante: R\$ 6,00
Suporte Conexão de Fios: R\$ 27,00
Auto Falantes (18): R\$ 544,00
Cabos (100m, 2x0,5mm): R\$ 79,00
Chave De Onda - Chave Rotativa - Rotary Switch 2 X 23 Nova: R\$ 66,00
Led Alto Brilho 5mm 5 Cores + Resistores: R\$ 44,00
Resistor Fio Tubular Ajustavel 50w 82r 82ohms Resistencia: R\$ 37,00
Decibelímetro Digital Medidor Sonoro Decibéis Som 30/130 Db: R\$ 91,00
Vôltemetro Vu Meter Tuning 4 Relogios Para Caro/ Booster: R\$ 115,00
Solda estanho: R\$ 15,00
Potência Amplificador Usb Carro Moto 2 Canais, Amplificador: R\$ 125,00
Espuma para isolamento acústico 1,75x1,90m, densidade 20, espessura 30mm.: R\$ 75,00
Total do investimento: R\$ 1975,00

ANEXO H - Equipamentos utilizados:

Alicate de corte.
Alicate de pressão.
Alicate 6".
Alicate ponta fina.
Bancada de trabalho.
Chave de fenda. Média e pequena.
Chave phillips. Média e pequena.
Compasso.
Computador Dell, I7.2015.
Esmerilhadeira.
Esquadro metálico.
Estilete.
Ferro de solda.
Fotos Cel. Discovery, Land Rover
Furadeira aparafusadeira 12vcc
Furadeira de bancada.
Furadeira manual.
Impressora hp Deskjet.
Martelo.
Moldes em papelão.
Lapiz, borracha caneta.
Régua.
Revolver de cola quente.
Sargentos de fixação.
Serra Tico-tico.
Serra manual.
Softwares Autocad 2016, Office 2013. Matlab R2015A.
Sugador de solda estanho.
Tesoura.
Transferidor, goniômetro.
Trena/esquadro laser.
Mão de obra 320 horas.
Assessoria: Victor Gabriel S.F.M. Portilho.



ANEXO H - Programa de geração de ruído sonoro para teste.

```
%Mestrado Minter 20170102
%Aluno Edsel Freitas Portilho
%Som de teste do equipamento.
%nota La, por 400 segundos
% notas musicais
close all
clear all
clc
f_nota = 440; % entrando a frequencia de nota musical
fs= 44000; % frequencia de Sample
Ts = 1/fs; % período de sample
Tmax= 400;
tempo = [0:Ts:Tmax];
amp = 3;
Tal = 10000/1; % amortecimento Tal
k= exp (-tempo/Tal);
% Marcando a saída de som
y = amp*sin(2*pi*f_nota*tempo).*k;
sound (y,fs)
% fazendo o gráfico.
plot (tempo,y, 'color',[1 0 0], 'linewidth',2)
set(gca, 'fontsize',20, 'linewidth',1.5)
title('Nota x Tempo')
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Amplitude')
grid on
```

ANEXO I - Anotações da norma. ISO 8253-1.

Norma Instalações físicas e ambiente acústico.

Também é importante observar que de acordo com a ISO 8253-1, os níveis de pressão sonora devem ser menores ou iguais a 18 dB para a determinação de limiares tonais de via aérea e menores ou iguais a 4 dB para a via óssea.....

A cabina audiométrica deve promover um nível de isolamento suficiente para que os níveis de ruído em seu interior não sejam superiores aos níveis determinados na ISO 8253-1. Por exemplo, se a sala escolhida apresenta nível de ruído em 1 kHz de 43 dB, deve-se verificar se a curva de isolamento oferecido pela cabina escolhida é de, no mínimo, 20 dB para garantir o nível máximo permitido na ISO 8253-1 para a condução aérea, que é de 23 dB.

A Resolução – RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Ministério da Saúde “dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde”. Esta resolução determina que a cabina audiométrica deve possuir dimensão mínima de 1,4 m² e a sala para comando do exame 4 m².....

ANEXO K - Alguns exames auditivos

Esclarecimento sobre alguns testes básicos e exames aplicados, na busca da identificação de onde se encontra o problema auditivo.

ANEXO K.1 - Audiometria tonal

E utilizada para a determinação dos limiares auditivos, tem função de detectar deficiência auditiva, é um exame auxiliar no topodiagnóstico das lesões auditivas (OE/OM/OI) Ouvido Externo, Ouvido Médio, Ouvido Interno e fornecer dados para indicação de (AASI), Aparelho de Amplificação Sonora Individual.

ANEXO K.2 - Audiometria vocal/ Logaudiometria

Estuda o grau de recepção e reconhecimento do indivíduo para a linguagem oral, faz-se o topodiagnóstico, com a detecção de perdas auditivas funcionais ou não orgânicas, avalia a evolução do rendimento auditivo-social do indivíduo, juntamente com a confirmação de limiares tonais, de acordo com indicação do AASI;

ANEXO K.3 - Timpanometria

É a medida dinâmica da imitância acústica, verifica a mudança na complacência decorrente da variação de pressão do ar no canal auditivo externo, sendo o timpanograma de vários tipos: como os gráficos apresentados na figura 67.

Tipo A - Determina o pico de máxima complacência, pacientes com ouvido médio normal. *Fig. 67.*

TYPE A.

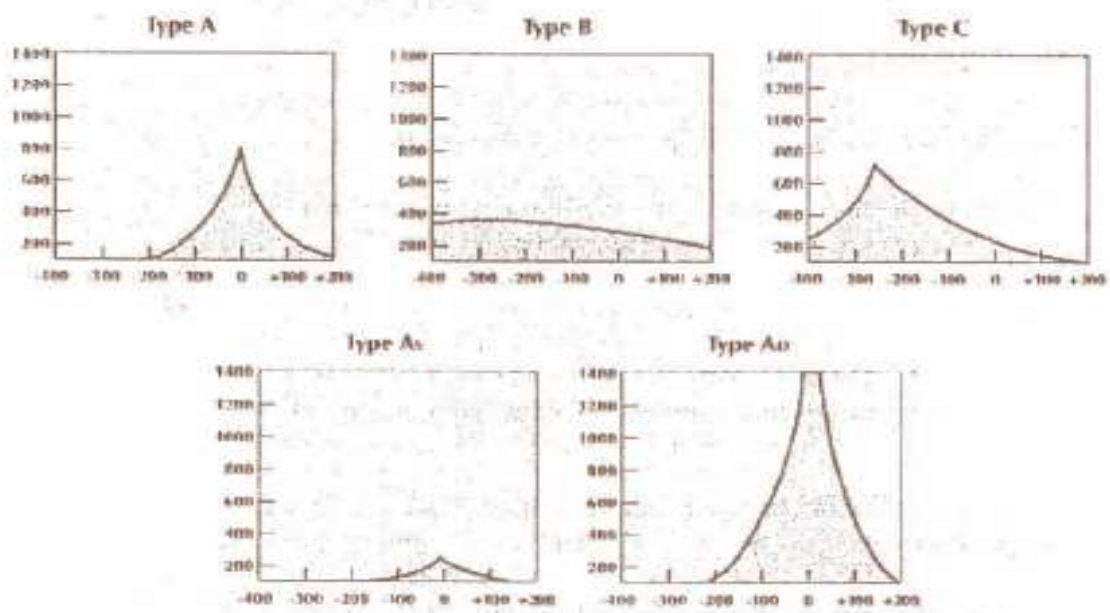
Tipo B - Quando não apresentam pico de máxima complacência em nenhuma pressão de ar. Determina o indicativos de fluidos no ouvido médio (otite média serosa) ou pequenas perfurações em membrana timpânica. *Fig. 67. TYPE B.*

Tipo C - Determina o pico de máxima complacência. Indicativo de disfunção de tuba auditiva; *Fig. 67. TYPE C.*

Tipo As - Determina a baixa complacência. RIGIDEZ. Paciente com otosclerose ou timpanosclerose. *Fig. 67. TYPE As.*

Tipo Ad - Determina o altamente complacente. Pacientes portadores de disfunção de cadeia ossicular. *Figura 67. TYPE Ad.*

Figura 67 - timpanometria tipo A, B, C, As e Ad.



Fonte: Zeigelboim (2011).

ANEXO K.4 - Reflexo estapediano

Determina a contração involuntária dos músculos do ouvido médio em resposta a um estímulo sonoro.

ANEXO K.5 - Aparelho vestibular

Receptor dos estímulos da gravidade e das acelerações linear e angulares. Oferece informação constante, tanto em repouso como em movimento, da posição do corpo no espaço. Determina os sinais e sintomas dos distúrbios vestibulares tais como:

- a.) Vertigem - determinado pela sensação alucinatória de giro do indivíduo em relação ao ambiente, ação subjetiva, ou do ambiente em relação ao indivíduo, ação objetiva;
- b.) Enjôo - sensação subjetiva, “mal do mar”, paciente refere como deslocamento do chão ou como caminhar sobre algodão;
- c.) Acúfenos (tinnitus) - ocorrência de ruídos, zumbido, nas orelhas e na cabeça, na ausência de fonte externa. Pode ser sinal de trauma acústico, doença de meniére, otosclerose, presbiacusia ou acúmulo de cerume que afeta o tímpano e oclui o canal auditivo externo;
- d.) Outros - sintomas como dor de cabeça, hipersensibilidade aos sons, fotofobia, dor muscular, também podem ser responsabilizados por déficits auditivos.

ANEXO K.6 - Características dos testes realizados na atualidade

Teste Pediátrico de Inteligibilidade de Fala (PSI) (*Pediatric Sentence Identification*);
Teste Pediátrico de Inteligibilidade de Fala em escuta Monótica (*Pediatric Sentence Identification* – PSI-MCI).

ANEXO K.7 - Teste da *Fala Filtrada*

Avalia o fechamento auditivo, tem o objetivo de distorcer a fala, ou seja, analisa a percepção para as diferentes faixas de frequências audíveis, usando como audiômetro um filtro passa baixo, que permite a atenuação progressiva de 400 a 800HZ de até 2dB. Usa 1 canal e o teste é feito para os dois ouvidos. Protocolo 4, de avaliação do teste da fala filtrada e fusão binaural da faixa 10 do cd de exames de Pereira e Schochat 1997.

ANEXO K.8 - Teste da *Fusão Binaural*

Analisa a forma pela qual o indivíduo percebe o meio ao seu redor e forma a Figura-Fundo, trata-se da percepção do sinal sonoro pelas duas orelhas, seu processamento neuronal e sua interpretação cognitiva do ambiente espacial que se encontra, assim como a identificação da fonte, a distância que se encontra e o posicionamento em relação ao sinal.

ANEXO K.9 - Exame da *Fala no ruído*

As palavras monossilábicas são pronunciadas no mesmo fone com a inserção de ruído

branco. Os ruídos poderão ser gerados em frequências específicas, dentro dos parâmetros audíveis humanos. Mantendo uma relação entre sinal e ruído de +5dB.

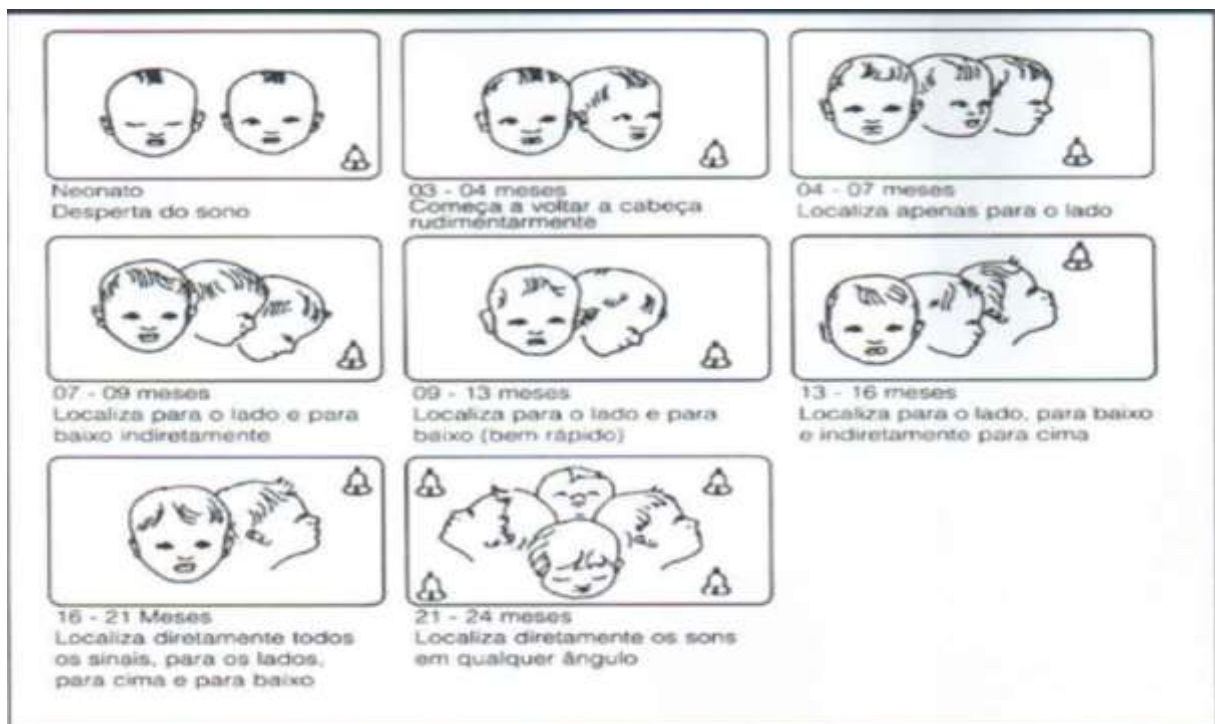
ANEXO K.10 - Teste da *fala competitiva*

Quando analisam as dificuldades em lidar com a informação auditiva recebida simultaneamente pelas duas orelhas e sua interação binaural, neste tipo de exame, frases diferentes são gravadas e colocadas para serem ouvidas alternadamente ou simultaneamente com delay entre elas, estimulando alternadamente as duas orelhas e analisando a cognição.

ANEXO K.11 - Teste de *localização sonora em cinco direções*

Consiste em tocar um guizo em cima, atrás, à frente, à direita e à esquerda, no plano da cabeça do indivíduo, que com os olhos fechados, indicar com a mão ou diz a posição detectada da origem sonora. Considerando-se a habilidade de localização sonora normal, quando pelo menos quatro das cinco direções testadas serem apontadas corretamente. É considerado normal como limiar de audibilidade, valores encontrados até “25 dB (Padrão ISO 7566) nas frequências sonoras avaliadas, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 e 8000 Hz”.

Figura 68 -. Teste de localização sonora em cinco direções



Fonte: Roush; Tait (1984).

ANEXO K.12 - Teste de (HHIE- S) Shortened Hearing Handicap Inventory for Elderly

Consiste em 10 perguntas básicas do cotidiano e aspecto social, administra-se durante o exame de audição, que incluiu audiometria tonal. As perguntas simples do HHIE- S são repetidas para comparação das perdas medidas nos níveis > 25 , o nível de > 40 e > 60 (dB) decibéis de audição para indicar quão é o nível da deficiência auditiva, se leve, moderada ou acentuada, analisando também por médias tonais em vários testes com frequências diferentes, para se obter a (PTA) perda total auditiva filtrada, de frequências de respostas para 500 , 1000, 2000 e 4000 Hz . As frequências podem ser acrescentadas em novas sequências, assim como numa sequência de 4 exames com um mesmo paciente. Pode-se obter as médias dos limiares tonais nas frequências sonoras de (PTA 1), 500, 1000 e 2000 Hz, de (PTA 2) 500, 1000, 2000 e 4000 Hz , de (PTA 3), 500, 1000, 2000, 4000 e 6000 Hz , de (PTA 4), 250, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000 , 10000, 12000 Hz . Sendo considerado como "Audição Normal" para as médias dos limiares de audibilidade de até 25 dB NA e como "Audição Alterada" para as médias dos limiares de audibilidade superiores a 25 dB NA. Ainda há a possibilidade de ruídos presentes nos ambientes que poderão ser simulados e introduzidos nos exames.

Foram testadas crianças de 4 a 12 anos, com frequências variáveis cobrindo todo o espectro, de 40Hz a 8000Hz e usando sinal puro de 500 Hz, onde constatou-se que o MLD não diferenciou muito para os resultados de testes com adultos, variando a potência sonora audível, resultando o MLD, para o espectro de frequência variou entre 6 e 8 dB e para a frequência pura de $f=500\text{Hz}$ de 9 e 10dB para ambos os grupos. Roush J, Tait CA. (1984). Examinou crianças de 6 a 12 anos para a frequência pura de $f=500\text{Hz}$ e indentificou para o MLD na faixa de 10 a 14 dB. Onde os resultados apresentaram um acréscimo do MLD com a faixa etária. Menezes (2002).

Figura 69 - Protocolo de avaliação do teste de fala filtrada e fusão binaural

TESTES AUDITIVOS COMPORTAMENTAIS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO AUDITIVO CENTRAL
 LILIANE DESOQUILDO PEREIRA E ELIANE SCHOCHAT

PROTÓCOLO 4

TESTE DE FALA FILTRADA (FF) E TESTE DE FUSÃO BINAURAL (FB)

Faixa 10 do CD: Teste de Fala Filtrada e Fusão Binaural.

(Pereira e Schochat, 1997)

Nome:		Idade:
Avaliador:	Data da avaliação:	

FF	FB	FF	FB
Intensidade de Fala OD:	Intensidade de Fala OD (Passa-Baixa):	Intensidade de Fala OE:	Intensidade de Fala OE (Passa-Baixa):
	Intensidade de Fala OE (Passa-Alta):		Intensidade de Fala OD (Passa-Alta):
Lista D1	Lista D2	Lista D3	Lista D4
1. TIL	1. CHA	1. DOR	1. JAZ
2. JAZ	2. DOR	2. BOI	2. CÃO
3. ROL	3. MIL	3. TIL	3. CAL
4. PUS	4. TOM	4. ROL	4. BOI
5. FAZ	5. ZUM	5. GIM	5. NU
6. GIM	6. MEL	6. CAL	6. FAZ
7. RIR	7. TIL	7. NHÁ	7. GIM
8. BOI	8. GIM	8. CHÁ	8. PUS
9. VAI	9. DIL	9. TOM	9. SEIS
10. MEL	10. NU	10. SUL	10. NHÁ
11. NU	11. PUS	11. TEM	11. MIL
12. LHE	12. NHÁ	12. PUS	12. TEM
13. CAL	13. SUL	13. NU	13. ZUM
14. MIL	14. JAZ	14. CÃO	14. TIL
15. TEM	15. ROL	15. VAI	15. LHE
16. DIL	16. TEM	16. MEL	16. SUL
17. DOR	17. FAZ	17. RIR	17. CHÁ
18. CHÁ	18. LHE	18. JAZ	18. ROL
19. ZUM	19. BOI	19. ZUM	19. MEL
20. NHÁ	20. CAL	20. MIL	20. DOR
21. CÃO	21. RIR	21. LHE	21. VAI
22. TOM	22. CÃO	22. LER	22. DIL
23. SEIS	23. LER	23. FAZ	23. TOM
24. LER	24. VAI	24. SEIS	24. RIR
25. SUL	25. SEIS	25. DIL	25. LER
OD: % de acertos	OD: % de acertos	OE: % de acertos	OE: % de acertos

Fonte: cd de exames, Pereira e Schocha (1997).

“Mascaramento: É um ruído utilizado tanto na medida da via aérea como na via óssea, para evitar o fenômeno de lateralização, que é a percepção do estímulo pela orelha contra-lateral à testada. Este fenômeno aparece no audiograma quando a curva da orelha pior é semelhante ao da orelha melhor, mas em intensidades maiores. Para que esse ruído seja efetivo, o ideal é que ele tenha uma faixa restrita de frequências e nelas esteja contida a frequência a ser mascarada no tom puro.

a) *Mascaramento na audiometria tonal aérea: condições básicas. Sempre que os limiares obtidos por via aérea diferirem em mais de 40 dB entre as duas orelhas, sem mascaramento ou quando o limiar por via óssea da orelha não testada for 40 dB melhor que o limiar (não mascarado) por via aérea da orelha testada.*

b) *Mascaramento na audiometria tonal óssea: Quando houver um Gap, uma lacuna, menor ou igual a 15 dB na orelha testada e uma diferença menor do que 10 dB entre os limiares auditivos das duas orelhas por via óssea ou quando houver deficiência auditiva profunda bilateral.*

Para determinar a intensidade do mascaramento, o limiar é obtido sem mascaramento. O ruído mascarante é apresentado numa intensidade de 10 dB acima do limiar da orelha não testada, com nova pesquisa do limiar. Aumentos sucessivos da intensidade do mascaramento são feitos em passos de 10 em 10 dB com nova determinação do limiar até encontrar um limiar na orelha testada que não sofra modificações com os incrementos na intensidade do ruído mascarante.

Tipos de perda

- *Perda Condutiva ou de Transmissão: apresenta curva óssea normal e curva aérea rebaixada, com o aparecimento do chamado gap aéreo-ósseo (diferença maior ou igual a 10 dB entre curva aérea e óssea). Gap (lacuna de frequência audível).*

- *Perda Neurossensorial: apresenta curvas óssea e aérea rebaixadas, sem a existência de gap aéreo-ósseo.*

- *Perdas Auditivas Mistas: apresenta curvas aérea e óssea rebaixadas com a existência de gap entre elas. Temos a seguinte Classificação das Perdas auditivas:*

Normal: 10 a 25 dB

Perda leve: 26 a 40 dB

Perda moderada: 41 a 55 dB

Perda moderada severa: 56 a 70 dB

Perda severa: 71 a 90 dB

Perda profunda: > 90 dB

ANEXO K.13 - WEBER AUDIOMÉTRICO

É um teste de via óssea que complementa a audiometria tonal confirmando ou não o tipo de perda encontrado. É realizado com vibrador na região frontal na linha mediana.

Se houver patologia condutiva, há lateralização para a orelha com perda auditiva condutiva. Se houver patologia neurosensorial há lateralização para a orelha com melhor audição.

Representa-se lateralizado para direita com " " e para esquerda com " ". Na ausência de lateralização anotam-se as duas setas com sentidos opostos.

ANEXO K.14 - AUDIOMETRIA VOCAL

A audiometria vocal tem como objetivo avaliar a habilidade de perceber e reconhecer os sons da fala. A avaliação audiológica básica geralmente inclui:

- 1. Limiar de Reconhecimento de Fala ou Speech Reception Threshold (SRT).*
- 2. Limiar de Detecção de Fala ou Speech Detection Threshold (SDT).*
- 3. Índice Percentual de Reconhecimento da Fala (IPRF) ou índice percentual de discriminação.*

ANEXO K.15 - Limiar de Reconhecimento da Fala ou Speech Reception Threshold (SRT)

Corresponde à menor intensidade com a qual o paciente é capaz de repetir 50% das palavras faladas (geralmente dissílabos para adultos ou trissílabos e ordens simples para crianças). O paciente repete palavras que são representadas com intensidades cada vez menor. Inicia-se o teste com 30 - 40 dB acima da média tonal nas frequências de 500, 1.000 e 2.000. A cada palavra corretamente repetida, diminui-se 10 dB, até que o paciente não consiga repetir ou ouvir. Então, aumenta-se 5 dB e mais quatro palavras são solicitadas para o paciente repetir, chegando a um determinado ponto em que acerte 50% das palavras apresentadas. O SRT deve corresponder à média dos limiares tonais por via aérea nas frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz; podendo ser obtido nas intensidades de 5 - 10 dB acima desta média. Caso a média das frequências de fala, não corresponda ao SRT, deve-se suspeitar que o paciente tenha uma perda auditiva que prejudique a compreensão da fala. O teste de recepção e reconhecimento da fala podem ser aplicados em criança, mas com algumas modificações.

O SRT em crianças pequenas de 18 - 36 meses de idade:

- Instruídas para apontar para Várias partes do corpo, como "Cadê a mão?", "Cadê o pé?" ou ainda atender ordens simples como: "Dar tchau", "Dar beijo".

Em crianças de 3 a 5 anos:

- Repetir as palavras (geralmente trissílabas)*
- Executar ordens simples*

- Crianças com problemas de fala (trocas, omissões, distorções fonêmicas) apontam para o quadro que contém as figuras das palavras apresentadas.

ANEXO K.16 - Limiar de Detecção de Fala (LDF) ou Speech Detective Threshlod (SDT)

Mede a menor intensidade com qual o paciente consegue detectar a presença de fala. É realizado quando o paciente não consegue ou não quer repetir as palavras de SRT. O limiar obtido ao SDT é o melhor limiar obtido nas frequências testadas.

ANEXO K.17 - Índice Percentual de Reconhecimento da Fala (IPRF) ou Índice Percentual de Discriminação

Mede a habilidade do paciente em repetir palavras (monossílabos ou dissílabos) com aproximadamente 40 dB Nível de Sensação, ou seja, 40 dB acima de média de limiar das frequências de 500, 1000 e 2.000 Hz. Caso o paciente refira desconforto a 40 dB NS, deve-se ajustar a intensidade sonora até que o paciente refira conseguir repetir as palavras sem apresentar desconforto. Os resultados dependem do grau e tipo de perda auditiva que o paciente apresenta.

Em crianças menores de 3 anos de idade. O IPRF pode ser realizado com pranchas de figuras para facilitar a cooperação da criança.

Em indivíduos normais, a discriminação pode variar de 88 a 100%. Entre 60 e 88 %, podemos suspeitar de lesão coclear e com discriminação < 60%, a suspeita é de lesão retrococlear.

ANEXO K.18 - Audiometria de Altas Frequências

É um teste subjetivo de audição. Realizado em cabine acústica com fones de orelha especialmente calibrados para emitir sons extremamente agudos nas frequências de 8.000 a 16.000 Hz.

Ainda não há um consenso a respeito do padrão de normalidade a ser adotado como experiência na clínica diária para o teste de audiometria de altas frequências.

A sensibilidade auditiva para tons puros de altas frequências decresce com o aumento da frequência e com o avanço da idade.

É um exame ideal para detectar fases precoces de doenças que estão relacionadas ao sistema auditivo e monitorar estados de risco para audição como a quimioterapia oncológica e administração de todas as drogas potencialmente ototóxicas”. Sindhusake (2001).