

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

WELLINGTON BETTINI

**MEDIÇÃO DO NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EM AMBIENTES
REVERBERANTES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

WELLINGTON BETTINI

MEDIÇÃO DO NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EM AMBIENTES REVERBERANTES

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Samuel Soares Ansay

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa “Medição do Nível de Potência Sonora em Ambientes Reverberantes”, realizada pelo aluno Wellington Bettini, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Samuel Soares Ansay

DAMEC, UTFPR

Orientador

Prof. Dr. Nilson Barbieri

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Prof. Dr. Marcio Avelar

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Curitiba, 07 de maio de 2013.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me guiar em todos os momentos, pela força concedida durante mais essa jornada, pelas vezes em que me escutou chorando achando que nada daria certo. E é a Ele que dirijo minha maior gratidão. Obrigado, pois Vem dEle tudo o que sou, o que tenho e o que espero, mas pela Sua graça não devo nada, por que Ele pagou por isso.

Aos meus pais, Hamilton e Zélia que formaram os fundamentos do meu caráter. Vocês que muitas vezes tiveram que trabalhar dobrado renunciando seus sonhos em favor dos meus, o meu mais profundo agradecimento. Obrigado por serem a minha referência de tantas maneiras e estarem sempre presentes na minha vida, mesmo separados por tantos quilômetros.

A minha esposa, Bruna, minha companheira incondicional, o abraço espontâneo e tão necessário, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades.

Aos meus irmãos, sobrinhos, cunhada e cunhado pelo apoio e pela torcida, por vibrarem com as minhas conquistas.

Ao meu professor e orientador deste trabalho, Samuel Ansay, que colaborou de forma fundamental, acreditando sempre nas coisas que eu apresentava-lhe, indicando sugestões que contribuíram de forma significativa, que com muita sabedoria me conduziu até as últimas linhas. Obrigado pela dedicação, competência, ensinamentos e amizade, durante toda a realização deste trabalho. Seus ensinamentos estarão presentes por toda a minha vida.

Especialmente ao meu amigo Rodrigo Costa da Silva, que no momento que eu tinha certeza de desistir do curso, tomou-me pela mão e sendo usado por Deus não me deixou desistir.

Aos amigos de perto e de longe, pelo amor e preocupação demonstrados através de ligações, visitas e orações. Obrigado, a vocês que aliviaram minhas horas difíceis, me alimentando de certezas, força e alegria.

RESUMO

BETTINI, Wellington. Medição do Nível de Potência Acústica em Ambientes Reverberantes. 2013. Monografia (Engenharia Industrial Mecânica) – Departamento Acadêmico de Mecânica. Curitiba, 2013.

A medição do nível de potência sonora em salas reverberantes é regida pela série de normas ISO 3740 a ISO 3747. Estas normas apresentam dois fatores de correção K_{1A} e K_{2A} que compensam os efeitos da absorção sonora e do ruído de fundo do ambiente. Neste trabalho foi realizada a medição do nível de potência sonora em ambientes reverberantes aplicando-se as correções da norma. Foram variadas as condições de ruído de fundo, usando-se um ruído de fundo baixo e um ruído de fundo alto. Além disso, foi variada a absorção sonora através do uso de dois ambientes, um pequeno e um grande com variação do tempo de reverberação. Estas variações foram feitas de modo a se obter diferentes valores para os fatores de correção. Por fim, foram medidos os níveis de potência sonora para dois aparelhos, um aspirador de pó e uma furadeira. A metodologia aplicada é a da norma ISO 3746: 2010. A média logarítmica dos resultados obtidos foram de 92,05 dBA para o aspirador de pó e 93,76 dBA para a furadeira. A medição do órgão oficial brasileiro para o nível de potência sonora para o aspirador de pó aponta 95 dBA. Pode-se, assim concluir que dentro da incerteza de proposta pela norma de 7,2 dBA, os resultados são satisfatórios.

Palavras-chave: ruído de fundo, medição, som, nível de potência sonora, tempo de reverberação.

ABSTRACT

BETTINI, Wellington. Medição do Nível de Potência Acústica em Ambientes Reverberantes. 2013. Monografia (Engenharia Industrial Mecânica) – Departamento Acadêmico de Mecânica. Curitiba, 2013.

The measure of level of sound power is done using the standards ISO 3740 till ISO 3747. These standards show correction factors K_{1A} e K_{2A} that compensates the sound absorption and the background noise of the room. In this work, it was measured the level of sound power in reverberant rooms applying the standards corrections. It uses two conditions of sound background noise (low and high) and two conditions different absorption conditions by changing the room (one big and one small). These variations were done in order to obtain different correction factors. It uses two different machines, a vacuum cleaner and a drill. The methodology used in this is according to the ISO 3746: 2010. The results are 92,05 dBA for the vacuum cleaner and 93,76 dBA for the drill. The Brazilian official organization for the vacuum cleaner is 95 dBA. Therefore, it concludes that according to what the standard shows, the results are pretty good.

Keywords: background noise, measurement, sound, level of sound power, reverberation time.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Onda transversal.....	16
Figura 2 – Onda longitudinal	17
Figura 3 – Análise de Fourier	19
Figura 4 – Avião como fonte esférica	20
Figura 5 – Propagação do movimento em esferas interligadas	23
Figura 6 – Geração do som ilustrada	24
Figura 7 – Produção de onda sonora por um alto-falante.....	24
Figura 8 – Onda gerada por um alto-falante.....	24
Figura 9 – Propagação de onda esférica.....	25
Figura 10 - Ruído Contínuo estacionário.....	27
Figura 11 - Ruído de Impacto.....	27
Figura 12 - Ruído branco	28
Figura 13 - Ruído vermelho.....	28
Figura 14 - Ruído rosa	28
Figura 15 – Curvas de Ponderação.....	29
Figura 16 – Microfone Condensador	32
Figura 17 - Microfone Piezoelétrico	32
Figura 18 – Fonte Omnidirecional	33
Figura 19 – Pré-amplificador	34
Figura 20 – Diagrama de blocos do medidor integrador.....	36
Figura 21 – Medidor integrador	36
Figura 22 – Diagrama de blocos do arranjo de <i>racks</i>	37
Figura 23 – Laboratório acústico com arranjo de <i>racks</i>	37
Figura 24 – Diagrama de blocos do arranjo com PC e placa de aquisição	37

Figura 25 – Câmara anecóica	38
Figura 26 – Câmara reverberante	39
Figura 27 – Sala morta - cinema	40
Figura 28 – Nível de som equivalente contínuo.....	41
Figura 29 – Tempo de reverberação	44
Figura 30 – Medição de isolamento acústico entre ambientes	46
Figura 31 – Paralelepípedo envolvendo uma fonte	47
Figura 32 – Superfície semiesférica de medição envolvendo a fonte	48
Figura 33 – Superfície paralelepipedal de medição envolvendo a fonte	48
Figura 34 – Pontos receptores	49
Figura 35 - Estrutura do ouvido	55
Figura 36 - Campo de audibilidade	58
Figura 37 - Curvas de Fletcher.....	59
Figura 38 – Microfone MCE 212.....	63
Figura 39 – Pré Amplificador PRE 215.....	64
Figura 40 – Calibrador	64
Figura 41 – Medidor integrador	65
Figura 42 – Fonte de Ruído dodecaédrica	65
Figura 43 – Ar condicionado da sala I-002.....	66
Figura 44 – Saídas de ar na I-002.....	66
Figura 45 – Trena métrica usada no experimento	67
Figura 46 – Paquímetro digital KingTools, modelo 502.150BL	67
Figura 47 – Aspirador de pó FLEX 1400 da Electrolux.....	68
Figura 48 – Furadeira KR505-BR.....	68
Figura 49 – Localização da sala I-002.....	69

Figura 50 – Área externa a sala I-002	69
Figura 51 – Detalhe das janelas duplas da sala	70
Figura 52 – Interior da sala I-002	70
Figura 53 – Localização da quadra da UTFPR.....	71
Figura 54 – Interior do ginásio da UTFPR	71
Figura 55 – Medida L1 da furadeira	73
Figura 56 – Medida L2 da furadeira	74
Figura 57 – Medida L3 da furadeira	74
Figura 58 – Base para a furadeira.....	75
Figura 59 – Furadeira encaixada em sua base	76
Figura 60 – Medida L1 do aspirador	77
Figura 61 – Medida L2 do aspirador	77
Figura 62 – Medida L3 do aspirador	78
Figura 63 – Estrutura aramada da sala	80
Figura 64 – Estrutura aramada do ginásio	81
Figura 65 – Pontos receptores do TR na sala	82
Figura 66 – Pontos receptores do TR na sala	83
Figura 67 – Local da fonte para a medição do tempo de reverberação dos pontos 4, 5 e 6.....	83
Figura 68 – Pontos receptores do TR no ginásio	84
Figura 69 – Pontos receptores do TR no ginásio	84
Figura 70 – Ponto A da fonte dodecaédrica	85
Figura 71 – Ponto B da fonte dodecaédrica	85
Figura 72 – Pontos receptores do ruído de fundo na sala	86
Figura 73 – Pontos receptores do ruído de fundo no ginásio	87
Figura 74 – Pontos receptores da sala.....	88

Figura 75 – Medição do nível de pressão sonora.....	89
Figura 76 – Medição do nível de pressão sonora.....	89
Figura 77 – Medição do nível de pressão sonora.....	90
Figura 78 – Medição do nível de pressão sonora.....	90
Figura 79 – Pontos receptores do ginásio	91
Figura 80 – Medição do nível de pressão sonora.....	92
Figura 81 – Medição do nível de pressão sonora.....	92
Figura 82 – Medição do nível de pressão sonora.....	93
Figura 83 – Medição do nível de pressão sonora.....	93
Figura 84 – Medição do nível de pressão sonora.....	94
Figura 85 – Forma real do ginásio.....	96
Figura 86 – Forma assumida do ginásio	96
Figura 87 – Comparação gráfica de resultados das medições	102
Figura 88 – Selo Ruído do Aspirador de Pó	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados para diferentes formas de medição do ruído de impacto	42
Tabela 2 – Medidas das salas de medição e seus volumes	79
Tabela 3 – Erro assumido para o paralelepípedo da furadeira	95
Tabela 4 – Medidas dos paralelepípedos de medição	95
Tabela 5 – Tempo de reverberação	98
Tabela 6 – Coeficiente de absorção sonora A	98
Tabela 7 – Resultados do K_{2A}	99
Tabela 8 – Medições do ruído de fundo	99
Tabela 9 – Cálculo de $L'pA(B)$	99
Tabela 10 – Cálculo de $L'pA(ST)$	100
Tabela 11 – Cálculo de ΔLpA	100
Tabela 12 – Cálculo de $K1A$	100
Tabela 13 – Cálculo de LpA	101
Tabela 14 – Cálculo de LwA	101
Tabela 15 – Diferença percentual relativa	103
Tabela 16 – Diferença percentual relativa	103

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Contexto do Tema	12
1.2	Caracterização do Problema	13
1.3	Objetivos	14
1.4	Justificativa	14
1.5	Conteúdo ou Etapas do Trabalho	15
2	Fundamentação Teórica	16
2.1	Física do Som	16
2.1.1	Onda	16
2.1.2	Onda Transversal e Onda Longitudinal	16
2.1.3	Frequência, Amplitude, Comprimento e Velocidade de uma Onda	17
2.2	Som	17
2.2.1	Intensidade e Potência Sonora	18
2.2.2	Espectro Sonoro	18
2.3	Fontes Sonoras	19
2.3.1	Fontes Pontuais (Esféricas)	20
2.3.2	Fontes em Linha (Cilíndricas)	21
2.4	Campo Sonoro	21
2.4.1	Tipos de Campo Sonoro	21
2.5	Propagação Sonora	22
2.5.1	Propagação da Onda Plana	22
2.5.2	Propagação da Onda Esférica	25
2.5.3	Propagação da Onda Cilíndrica	25
2.6	Ruído	25
2.6.1	Características do Ruído	26
2.6.2	Tipos de Ruído: Quanto a Natureza	26
2.6.3	Tipos de Ruídos de Teste	27
2.7	Medição Acústica	29
2.7.1	Aparelhos de Medição Acústica	30
2.7.2	Ambientes de Medição	38
2.7.3	Tipos de Medição Acústica: Quanto a Natureza do Som	40
2.7.4	Tipos de Medição Acústica: Quanto a Finalidade	42
2.7.5	Metodologia de Medição do Nível de Potência Sonora	46
2.8	Ouvido Humano	54
2.8.1	Psicoacústica	56
2.8.2	Problemas Causados por Ruído	59
3	Procedimento Metodológico	62
3.1	Descrição da Metodologia	62
3.1	Materiais e Métodos	63
3.1.1	Materiais	63
3.1.2	Ambientes Usados no Trabalho	68
3.1.3	Métodos	72
4	Descrição Experimental	73
4.1	Preparação para o Experimento	73

4.1.1	Paralelepípedo de Medição	73
4.1.2	Volume dos Ambientes	78
4.1.3	Confecção do Paralelepípedo de Medição	79
4.2	Caracterização dos Ambientes	82
4.3	Medição do Ruído de Fundo	86
4.4	Medição do Nível de Pressão Sonora	87
5	Resultados	95
5.1	Metodologia Efetivamente Utilizada e a Prevista pela Norma	95
5.1.1	Diferença na Superfície de Medição	95
5.1.2	Volume do Ginásio	96
5.1.3	Interferência da Presença do Operador na Medição	96
5.2	Diferenças entre Cronogramas	96
5.3	Imprevistos	97
5.4	Resultados	97
5.4.1	Fator de Correção do Ambiente K2A	97
5.4.2	Fator de Correção do Ruído de Fundo K1A	99
5.4.3	Nível de Potência Sonora LwA	101
5.4.4	Análise dos Resultados	101
5.5	Produtos do Projeto	104
6	Conclusão	105
7	REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial trouxe consigo a urbanização e a industrialização. Este momento histórico consolidou o capitalismo e gerou o incentivo à produção e acúmulo de riquezas, aliada à necessidade aparente de se adquirir produtos novos a todo o momento (Recco, 2002).

Com o passar dos anos, o crescimento das cidades, da população e do consumo gerou avanços científicos e tecnológicos, desenvolvendo-se novos produtos que proporcionam conforto, comodidade, velocidade, entre outros benefícios. Entretanto esses mesmos itens de tecnologia causam malefícios diversos à saúde humana, da fauna e da flora. A estes malefícios dá-se o nome de poluição.

A poluição é uma alteração ecológica, ou seja, uma alteração na relação entre os seres vivos, provocada pelo ser humano, que prejudique, direta ou indiretamente, a vida ou o bem-estar. Ela pode ser causada pela liberação de matéria, e também de energia (luz, calor, som): os chamados poluentes. A poluição pode ser de diversas formas: sonora, térmica, atmosférica, por elementos radioativos, por substâncias não biodegradáveis, por derramamento de petróleo e por eutrofização, são alguns exemplos (Nass, 2002).

1.1 Contexto do Tema

A poluição sonora é um fato presente no dia-a-dia, esses barulhos são inconvenientes para a saúde e, dependendo do volume e da frequência com que são utilizados, podem causar danos irreversíveis aos sentidos. A soma destes sons prejudicam ainda mais os organismos.

“A ideia de que a perda auditiva induzida por nível de pressão sonora elevado é somente o resultado de um ruído ocupacional é perigosamente equivocada.” Níveis de ruído em lugares como discotecas e shows de rock e em veículos de transportes estão bem acima dos níveis considerados causadores da perda auditiva (Loyola 2007).

“O ruído pode perturbar o trabalho, o descanso, o sono e a comunicação nos seres humanos; além de prejudicar ou provocar reações psicológicas, fisiológicas e até mesmo patológicas.” (Junior et al, 2007).

Durante a infância, a exposição a altos níveis de ruído pode gerar dificuldades no aprendizado da criança como também problemas à sua saúde. Mais tarde, na vida, pessoas de mais idade podem ter problemas com o sono e dificuldades com o repouso (Loyola, 2007).

O conforto ambiental é a adequação dos princípios físicos envolvidos e as necessidades do ambiente, estas necessidades são temperatura, luz, acústica e visual. O conforto acústico, está totalmente ligado ao tão almejado bem-estar, a inexistência de conforto acústico condiciona fortemente a saúde e a produtividade. A ausência de condições acústicas gera problemas como: dificuldade de comunicação, irritabilidade e efeitos nocivos à audição e saúde. “O tratamento acústico visa atenuar o nível de energia sonora, através de isolamento atenuador, tratamento absorvente ou os dois combinados.” (Miranda, 2011).

Segundo informações da World Health Organization (2000), cerca de 4,6% da população mundial possui perda auditiva causada por exposição ao ruído. No Brasil, de acordo com dados coletados pelo Censo 2000, o IBGE (2005) estima que 5,7 milhões de pessoas têm algum grau de insuficiência auditiva.

1.2 Caracterização do Problema

O controle de ruído é feito interferindo-se na fonte, na transmissão ou no receptor. Para tanto é necessário conhecer o nível de potência sonora que os equipamentos emitem.

A medição do nível de potência sonora é realizada em uma câmara anecóica, uma vez que a câmara anecóica é uma câmara que possui grande isolamento acústico e não reflete ondas em seu interior. Entretanto, esta câmara anecóica possui um alto custo de construção, além de ocupar grandes dimensões.

Outra forma de realizar a medição é usar salas reverberantes. As salas reverberantes não possuem isolamento acústico adequado, além de refletir boa parte das ondas que nela se propagam. Assim, as mesmas possuem ruído de fundo e reverberação.

O problema de se fazer estas medições em salas reverberantes é que as características destas salas levam a erros na medição do nível de potência sonora dos equipamentos. O ruído de fundo e a reflexão de ondas mascaram a real leitura do equipamento.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é medir o nível de potência sonora de equipamentos, variando as condições de ruído de fundo e da absorção sonora do ambiente de medição, verificando a eficácia da metodologia da norma ISO 3746:2010 na obtenção do valor correto do nível de potência sonora emitida. Para isto será medido o nível de potência sonora emitida por dois equipamentos diferentes, uma furadeira e um aspirador de pó, em dois diferentes níveis de ruído de fundo, em duas salas com coeficientes de absorção diferentes.

O objetivo secundário é realizar medições avaliando o ruído de fundo e o tempo de reverberação de uma sala.

1.4 Justificativa

A medição do nível de potência sonora em salas reverberantes é suscetível às variações do ruído de fundo e da absorção sonora desse ambiente, ao se realizar a medição do nível de potência sonora de um mesmo equipamento em diferentes condições, é possível verificar a eficácia da metodologia adotada pela norma com a obtenção dos mesmos valores de níveis de potência sonora. Para uma análise mais consistente será necessária a realização do mesmo procedimento para um segundo equipamento.

Para o uso da metodologia adotada pela norma se faz necessário o domínio das técnicas de medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação de uma sala.

1.5 Conteúdo ou Etapas do Trabalho

O trabalho possui seis capítulos.

O capítulo 1 descreve o escopo do trabalho e seus objetivos, mostrando a importância do ruído em nosso dia-a-dia, da medição do nível de potência sonora de ruídos em geral, da dificuldade da medição do nível de potência sonora em ambientes comuns.

O capítulo 2 descreve toda a fundamentação teórica necessária para se entender o presente trabalho desde a base física do som, passando pelos conceitos do som em si, as fontes sonoras, os meios de propagação do som e como essa propagação ocorre, a conceituação de ruído, como é a medição acústica, os tipos de ambiente no qual se mede o som e o funcionamento do ouvido humano.

O capítulo 3 descreve os métodos usados no trabalho, bem como os materiais e locais necessários para a realização do mesmo.

O capítulo 4 descreve como foi realizado o trabalho, isto é, a preparação e como se procedeu a medição em suas etapas.

No capítulo 5 se apresentam os resultados obtidos, sua comparação com o que se esperava e a análise dos mesmos.

O capítulo 6 apresenta a conclusão do mesmo com considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Física do Som

2.1.1 Onda

Segundo Fish (1990) apud Lee (2010), uma onda consiste em um distúrbio mecânico em um meio (gás, líquido ou sólido) que o atravessa a uma determinada velocidade fazendo vibrar suas partículas com compressão ou rarefação.

2.1.2 Onda Transversal e Onda Longitudinal

Nas ondas transversais o distúrbio é perpendicular à direção de propagação, como, por exemplo, na propagação de uma onda em uma corda. Já as ondas longitudinais têm a propriedade de que o distúrbio está na mesma propagação da onda (Lee, 2010).

A Figura 1 mostra uma onda transversal.

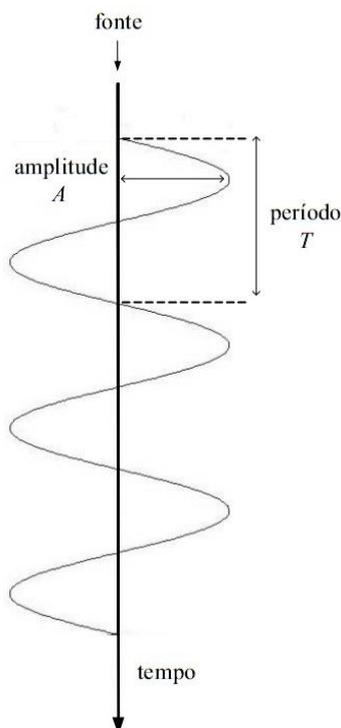


Figura 1 – Onda transversal

Fonte: Lee (2010)

A Figura 2 mostra uma onda longitudinal.

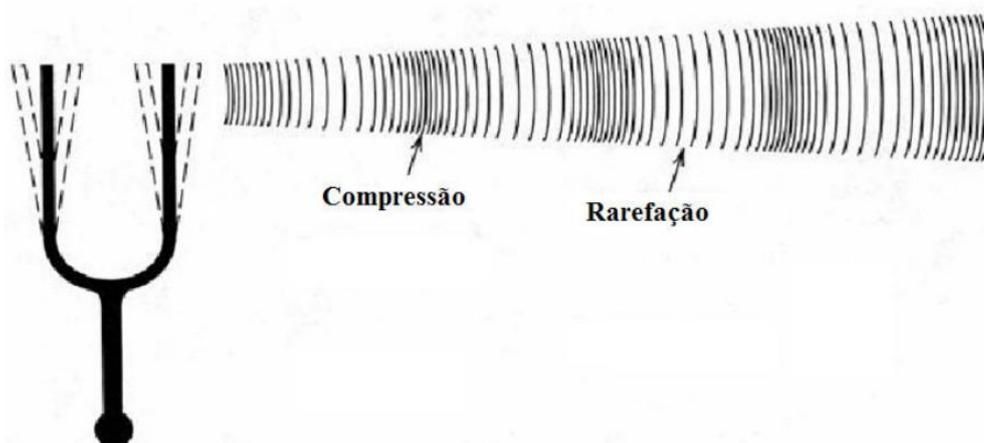


Figura 2 – Onda longitudinal

Fonte: Lee (2010)

2.1.3 Frequência, Amplitude, Comprimento e Velocidade de uma Onda

As ondas, sejam elas transversais ou longitudinais, são caracterizadas pelo comprimento de onda (λ), período (T), amplitude (A) e frequência (f) (Lee, 2010).

Período (T) é tempo que uma onda leva para completar uma oscilação, normalmente este é expresso em segundos.

Para Dinato (2011) e Ichisato (2004), a frequência é o número de oscilações completas por um determinado tempo, sendo normalmente expressa em ciclos por segundo (Hertz). Assim:

$$f = 1/T \quad (1)$$

A amplitude (A) é metade da altura total que uma onda possui, conforme a Figura 1 mostra.

O deslocamento de uma onda para um período completo é o comprimento de onda (λ). Assim, a velocidade da onda é uma relação entre o comprimento de onda e seu período (Lee, 2010). Logo:

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

2.2 Som

Dá-se o nome de som a toda vibração mecânica que se propaga em um meio elástico, desde que as frequências que a compõe encontrem-se dentro de

uma determinada faixa audível de frequências ou audiofrequências (Nepomuceno, 1994).

2.2.1 Nível de Pressão Sonora

2.2.2 Intensidade e Potência Sonora

A energia de uma onda sonora é a medida da quantidade de som nela presente. O som é uma quantidade tridimensional, por isso deve-se levar em conta a área quando se fala em transmissão de energia, isto é, definir uma quantidade de energia por segundo por unidade de área. Essa quantidade é chamada de intensidade sonora, que dá uma medida da potência de um som propagando em uma direção particular (Dinato, 2011).

A intensidade sonora representa o fluxo de energia por unidade de área. Este possui uma escala muito grande de sua variação. Desta forma, e pela maneira em que é percebido o volume sonoro, a intensidade é expressa em escala logarítmica (Lazzarini (1998) apud Dinato (2011)).

Pode-se definir a potência total emitida por uma fonte, multiplicando-se a intensidade sonora pela área total que a mesma abrange (Masiero, 2007).

2.2.3 Espectro Sonoro

Usando a transformada de Fourier, mostra-se que qualquer forma de onda, independentemente de sua origem, é um somatório de ondas senoidais de diferentes frequências, amplitudes e fases.

Um som que se ouve normalmente de um aparelho de som, por exemplo, contém a maior parte das frequências audíveis. Este som também pode possuir predominâncias de frequências baixas, médias ou altas, caracterizando um som como grave ou agudo (Nepomuceno 1994).

Se a forma da onda se repete com o tempo, então as frequências das ondas que compõem o espectro são restritas a valores múltiplos da frequência de repetição da forma da onda resultante (Dinato, 2011).

A frequência destas ondas senoidais que formam o espectro sonoro guardam uma relação numérica com a frequência mais baixa da série que é chamada de frequência fundamental (f_0). Esta relação se dá por múltiplos inteiros de f_0 , ou seja, $2.f_0$, $3.f_0$, $4.f_0$, $5.f_0$ e assim por diante. Essas frequências são conhecidas por tons harmônicos ou frequências harmônicas, sendo registradas como f_1 , f_2 , f_3 , ... f_n . A Figura 3 ilustra a análise de Fourier, do lado se esquerdo se mostra a onda propagada e do lado direito se mostra as frequências que compõe a mesma (Dinato, 2011).

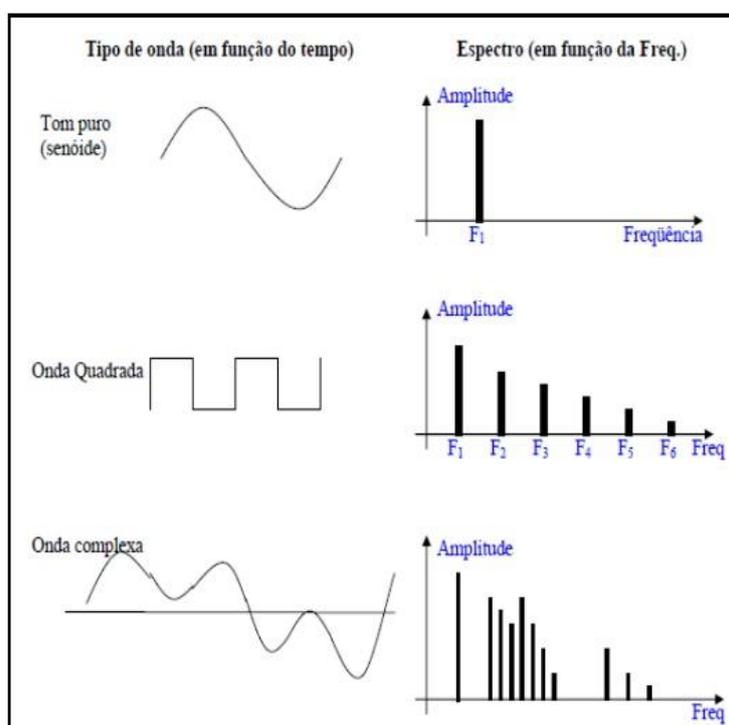


Figura 3 – Análise de Fourier

Fonte: Fernandes (2002) apud Dinato (2011) pág. 47

2.3 Fontes Sonoras

Um transdutor é um dispositivo capaz de transformar uma energia de uma natureza em outra. Uma fonte sonora é um transdutor, ainda que o objetivo principal não seja gerar o som, pois ela é capaz de transformar um tipo de energia em som. De acordo com as formas das fontes sonoras, diferentes serão as formas de irradiação de som (Nepomuceno, 1994).

2.3.1 Fontes Pontuais (Esféricas)

Uma fonte esférica, também chamada de pontual, irradia ondas sonoras esféricas e concêntricas, apresentando igual intensidade em todas as direções. Portanto, trata-se de uma fonte isotrópica (Nepomuceno, 1994).

As ondas sonoras irradiadas por uma superfície esférica pulsante formam frentes de ondas também esféricas, cujas amplitudes de pressão são proporcionais à distância do centro da esfera. Desta forma, a pressão da onda a uma distância $2r$ é metade da pressão da onda a uma distância r . Como consequência, neste tipo de fonte sonora um decréscimo de 6 dB no nível de pressão sonora cada vez que se dobra o raio r , afastando-se da fonte (Nepomuceno, 1994).

Uma aplicação prática dos princípios aplicados a uma fonte esférica pode ser observada em um avião voando, considerado teoricamente como um ponto no espaço, cujo som é propagado em ondas esféricas concêntricas de uma fonte isotrópica. A Figura 4 mostra este tipo de fonte esférica e o decréscimo de pressão sonora (Nepomuceno, 1994).

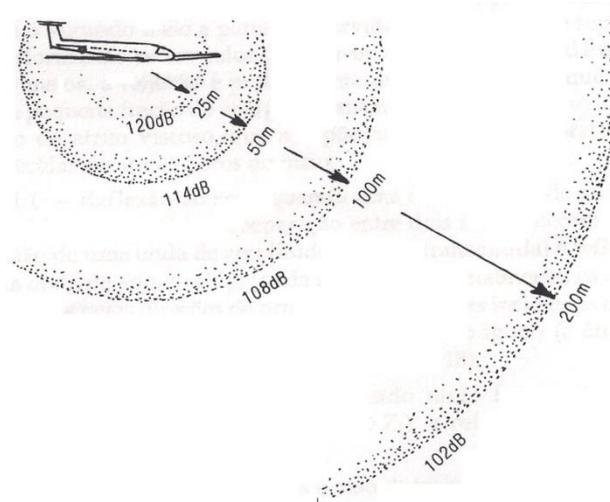


Figura 4 – Avião como fonte esférica
 Fonte: Nepomuceno (1994) pág. 57

A relação entre a potência sonora e a pressão sonora à distância r da fonte é dada pela equação (3) abaixo.

$$NWS = NPS + 20\text{Log}(r) + 11 \text{ (dB)} \quad (3)$$

Na qual NPS é o nível de pressão sonora; NWS é o nível de potência sonora.

2.3.2 Fontes em Linha (Cilíndricas)

Uma fonte cilíndrica emite ondas sonoras uniformemente segundo a forma de um cilindro. As características de irradiação diferem daquelas de uma fonte esférica, apresentando uma redução de 3 dB no nível de pressão sonora, de acordo com a relação de dobro da distância da fonte sonora (Nepomuceno, 1994).

2.4 Campo Sonoro

Segundo Bies e Hansen (2002), o campo sonoro é o meio pelo qual o som é transmitido, caracterizando-se como uma perturbação nas variáveis em regime permanente que descrevem este meio. No caso, essas variáveis para um meio fluido são a pressão sonora, a energia interna, a temperatura e a densidade.

A melhor variável que descreve um campo sonoro é a pressão em um meio fluido, uma vez que resulta em valores escalares e, além disso, precisa ser medida apenas uma vez (Bies e Hansen, 2002).

Outra variável que descreve um campo sonoro é a velocidade de partícula no ambiente.

2.4.1 Tipos de Campo Sonoro

Os campos sonoros podem ser classificados quanto à proximidade da fonte. Segue-se com uma breve descrição dos mesmos.

Campo distante é o campo sonoro afastado de uma fonte sonora, no qual a pressão acústica e a velocidade de partícula estão sempre em fase.

Campo próximo é o campo sonoro perto de uma fonte acústica, no qual a pressão acústica e a velocidade estão substancialmente fora de fase (Felício, 2008).

Os campos sonoros podem ainda ser classificados quanto à refletividade das ondas propagadas em seu interior. Segue-se com uma breve descrição dos mesmos.

Campo reverberante é o campo sonoro no qual as ondas são refletidas mais de uma vez pelos limites do meio de propagação, isto é, um campo no qual a energia se propaga com a mesma probabilidade em todas as direções. Existem também campos reverberantes com alta reflexão como, por exemplo, um banheiro e campos reverberantes com baixa reflexão como, por exemplo, uma sala de estúdio de música ou uma sala de cinema (Felício, 2008).

Campo livre é um campo onde as ondas sonoras podem se propagar livremente, por exemplo, em um meio contínuo sem qualquer objeto interferindo. Campos livres reais são difíceis de obter, um exemplo de campo livre real seria no alto de uma montanha com pico estreito. Na prática, usam-se câmaras anecóicas para se criar campos livres (Felício, 2008).

Campo difuso é o campo onde as ondas se propagam com a mesma probabilidade em todas as direções, isto é, há uma distribuição uniforme da energia sonora no volume da sala.

2.5 Propagação Sonora

De maneira geral, a transmissão do som é complicada e não aberta a uma simples análise. Entretanto, a propagação do som pode muitas vezes ser descrita através das propriedades da propagação da onda acústica (Bies e Hansen, 2002).

A propagação da onda acústica é uma propagação normalmente esférica. Entretanto, as propriedades da propagação da onda esférica são estudadas em propagação da onda plana dentro de tubos.

2.5.1 Propagação da Onda Plana

A propagação de uma onda plana pode ser descrita como o movimento de um conjunto de esferas ligadas por molas (Figura 5). Ao se aplicar uma força em uma das esferas, acontecerá um deslocamento da mesma na direção

da força aplicada que se propagará pelas outras esferas. Nesse caso, a velocidade de propagação dependerá da massa das esferas e da rigidez da mola. Como se pode perceber, o movimento é de propagação longitudinal (lazetta, 2012).

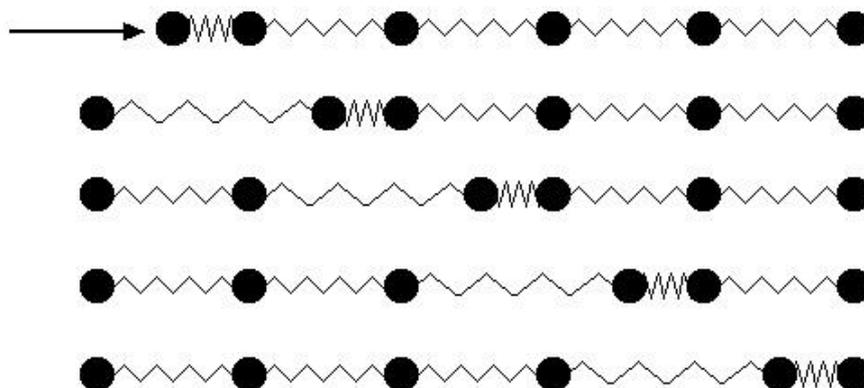


Figura 5 – Propagação do movimento em esferas interligadas

Fonte: lazetta (2012)

A propagação da onda sonora pode ser descrita pelo movimento harmônico de um pistão-cilindro (Figura 6). Quando o cilindro se move para frente, gera uma compressão do ar, esta compressão se propaga pelo meio. Então, o pistão para e reverte seu movimento, gerando uma descompressão do ar que se propagará pelo ar. Essas sucessivas compressões e rarefações do ar descrevem a propagação do som. Em (a) o pistão comprime o ar (b). (c) O pistão para, reverte seu movimento, gerando descompressão como em (d). (e) O pistão se move de maneira cíclica gerando compressões e rarefações (f) (Bies e Hansen 2002).

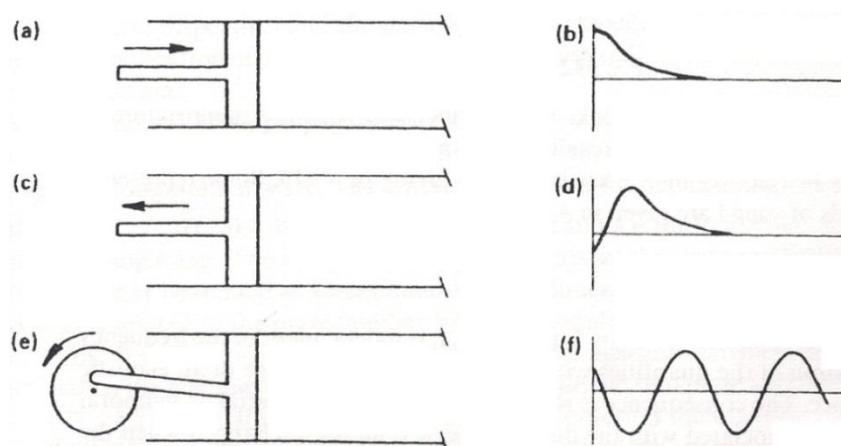


Figura 6 – Geração do som ilustrada

Fonte: Bies e Hansen (2012) pág. 19

A Figura 7 mostra esta compressão e rarefação gerada por um alto-falante.

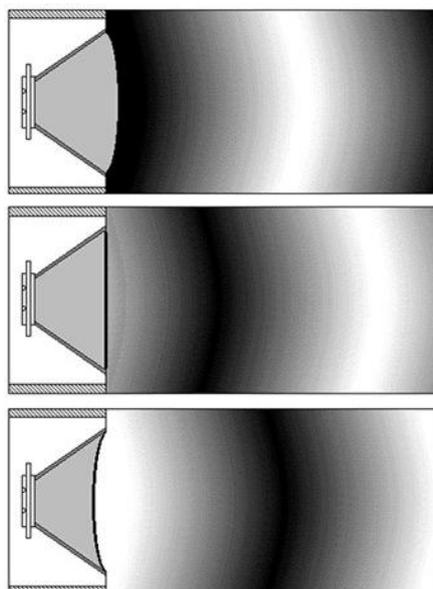


Figura 7 – Produção de onda sonora por um alto-falante

Fonte: lazetta (2012)

A Figura 8 mostra que o movimento de compressão e rarefação pode ser representado por uma onda.

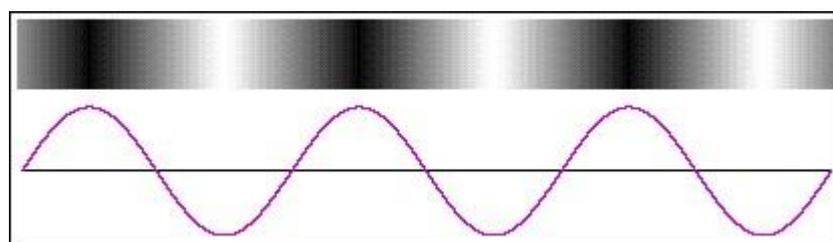


Figura 8 – Onda gerada por um alto-falante

Fonte: lazetta (2012)

2.5.2 Propagação da Onda Esférica

A propagação de uma onda esférica se dá pelas frentes de onda. Estas frentes de onda são o lugar onde a onda se encontra após ter transcorrido um determinado tempo. Assim, se o meio de propagação for homogêneo e isotrópico, as ondas provindas de uma fonte pontual se propagarão esfericamente e os raios desta onda serão perpendiculares à frente de onda. A Figura 9 mostra este tipo de onda se propagando (Perosi, 2000).

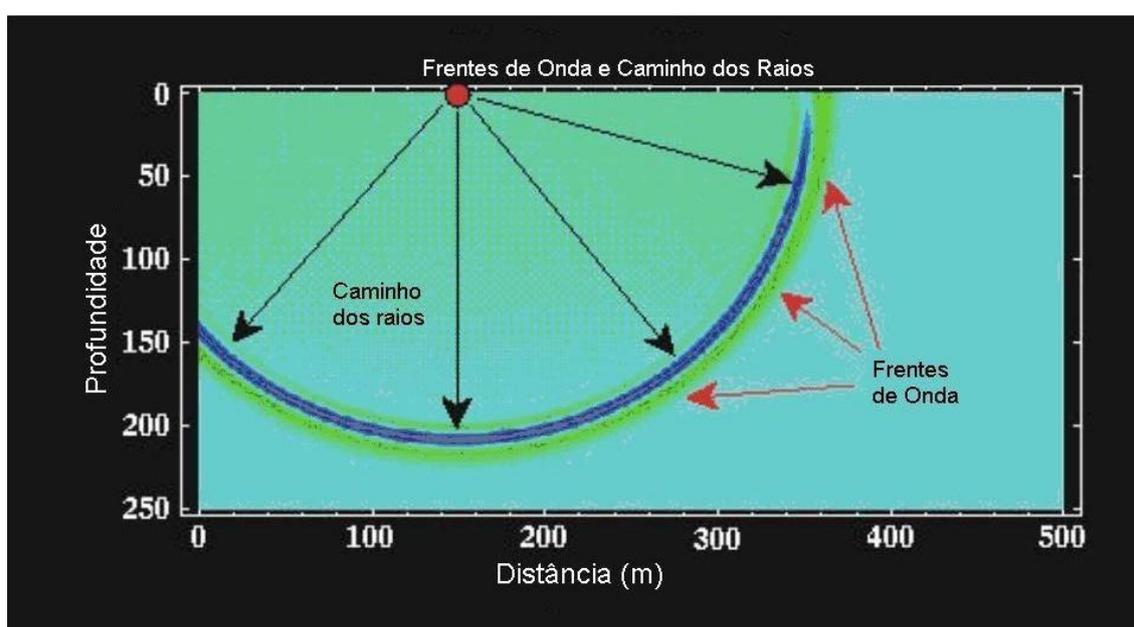


Figura 9 – Propagação de onda esférica
 Fonte: Adaptado de Boyd (1999) apud Perosi (2000)

2.5.3 Propagação da Onda Cilíndrica

Uma onda cilíndrica é a onda que possui uma frente de onda cilíndrica. Assim, sua propagação se dá em uma distância longitudinal l e um raio r , na qual $l \gg r$.

2.6 Ruído

Ruído é um som indesejável. Quando produzidos pelos maquinários das indústrias, estes são chamados de ruído industrial. Entretanto apresentam um espectro passível de ser analisado (Nepomuceno, 1994).

Segundo Azevedo et al (1994) apud Palma et al (2009), o ruído vem sendo reconhecido como um agente nocivo à saúde, e mais recentemente tem crescido o interesse pelo debate acerca desse agente. Os problemas decorrentes do ruído estão sendo socialmente mais conhecidos e considerados objetos de atenção da saúde pública.

2.6.1 Características do Ruído

Segundo Costa (1989) apud Neto (2007), as principais características do ruído são:

- a) frequência: indica o número de vibrações completas em um segundo e em ciclos por segundo ou Hertz
- b) intensidade sonora: a intensidade sonora em um ponto de certa direção indica o fluxo energia sonora (potência) transmitido naquela direção através de uma área de superfície unitária perpendicular à própria direção.
- c) pressão sonora: refere-se ao valor das pressões que variam abaixo e acima da pressão atmosférica quando usado para medir ruído contínuo estacionário. Para ruídos intermitentes ou de impacto é descrita como valores de pico de pressão. A unidade mais utilizada para medir pressão sonora é Newton por metro quadrado [N/m^2].

2.6.2 Tipos de Ruído: Quanto a Natureza

A Norma ISO 2204/1973 classifica o ruído em relação ao seu nível de pressão sonora nos seguintes tipos:

- a) contínuo estacionário: ruído com variações de níveis desprezíveis durante o período de observação (Figura 10);
- b) contínuo não estacionário: ruído cujo nível varia significativamente durante o período de observação;
- c) contínuo flutuante: ruído cujo nível varia continuamente de um valor apreciável durante o período de observação;

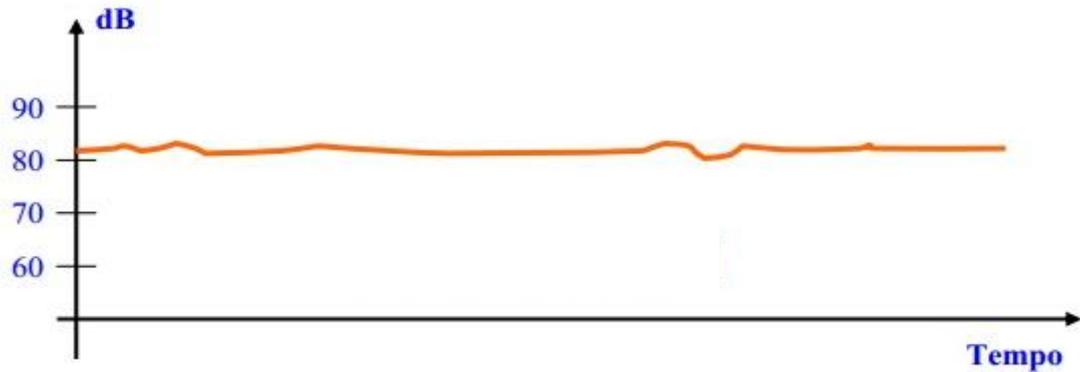


Figura 10 - Ruído Contínuo estacionário

Fonte: Fernandes (2005)

- d) ruído intermitente: ruído cujo nível cai ao valor de fundo (ruído de fundo) várias vezes durante o período de observação, sendo o tempo em que permanece em valor constante acima do valor da ordem de segundos ou mais, podendo, para fins desta norma, ser assumido como contínuo);
- e) ruído de impacto: ruído que se apresenta em picos de energia acústica de duração inferior a um segundo em intervalos superiores a um segundo, conforme a Figura 11 (Neto, 2007).

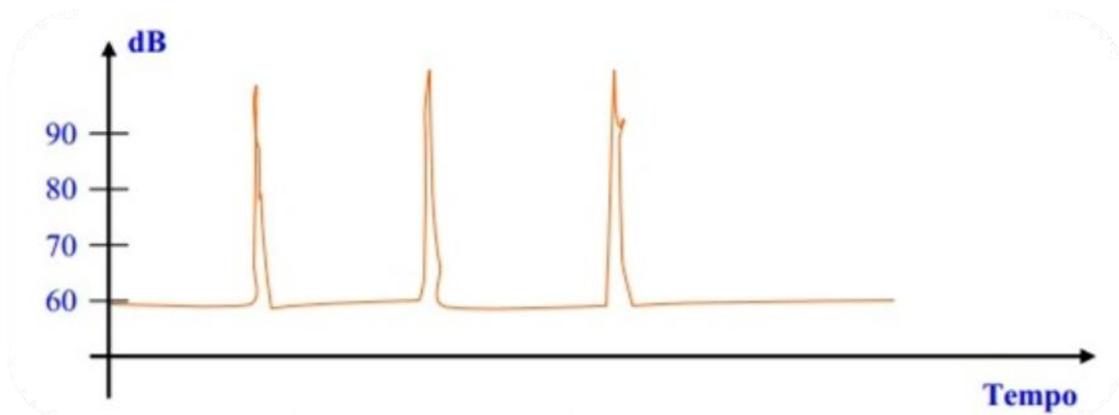


Figura 11 - Ruído de Impacto

Fonte: Adaptado Fernandes (2005)

2.6.3 Tipos de Ruídos de Teste

Para se fazer testes em ambientes determinados, são usados ruídos artificiais específicos. Estes ruídos tentam simular situações naturais. Existem três tipos de ruído artificiais que relacionam intensidade e frequência: branco, vermelho e rosa.

O ruído branco é um sinal com potência igual por unidade de frequência ao longo de uma banda de frequências. Este tipo de ruído é o que está presente quando vemos a estática na televisão (Braga, 2001). A Figura 12 mostra a representação deste tipo de ruído.

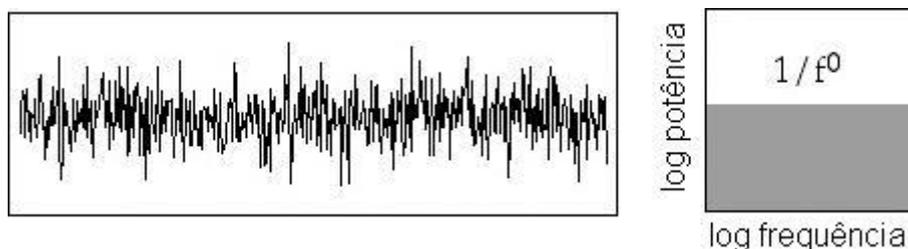


Figura 12 - Ruído branco

Fonte: Adaptado de Gilden Lab (2013)

O ruído vermelho (ou ruído marrom) é o ruído no qual a densidade espectral é inversamente proporcional ao quadrado da frequência, isto é, este possui mais energia em frequências menores. Este ruído se assemelha aquele ouvido em uma cachoeira de grande volume de água (Gilden Lab, 2013; Satanton, 2011). A Figura 13 mostra a representação deste tipo de ruído.

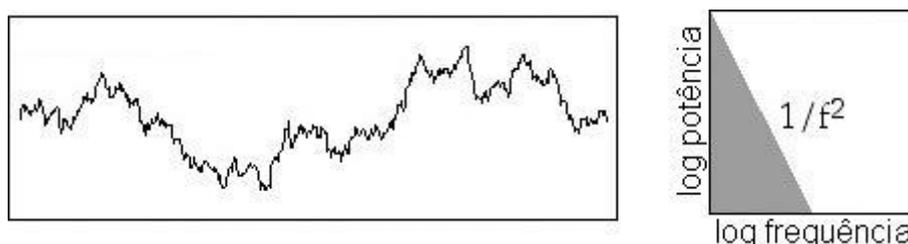


Figura 13 - Ruído vermelho

Fonte: Adaptado de Gilden Lab (2013)

O ruído rosa é o “encontro do ruído vermelho com o ruído branco”, este, assim como o ruído vermelho, possui mais energia em frequências menores, mas sua densidade espectral é inversamente proporcional à frequência elevada a primeira potência. A Figura 14 mostra este tipo de ruído.

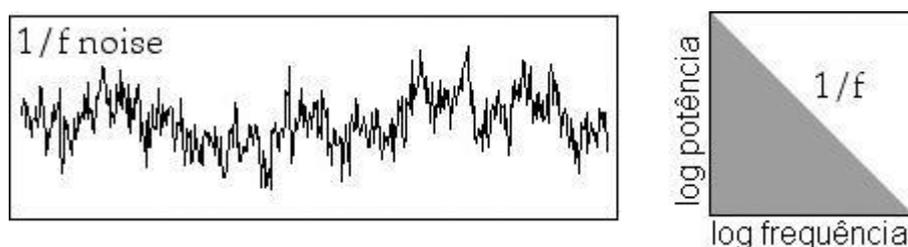


Figura 14 - Ruído rosa

Fonte: Adaptado de Gilden Lab (2013)

2.7 Curvas de Ponderação

A maioria dos instrumentos de medição acústica possuem sistemas que simulam o comportamento do ouvido humano quando estimulados por sons, esses sistemas proporcionam uma ponderação eletrônica. Existem várias curvas de ponderação, entretanto, as mais usadas e indicadas são a curva de ponderação A, B e C.

A curva de ponderação A foi concebida para se aproximar a resposta do ouvido humano em baixos níveis de som. Semelhantemente, as curvas B e C foram concebidas para níveis sonoros entre 55 -85 dB e acima de 85 dB respectivamente. As características destas curvas são mostradas na Figura 15, esta mostra as curvas em 1/3 de oitavo de banda.

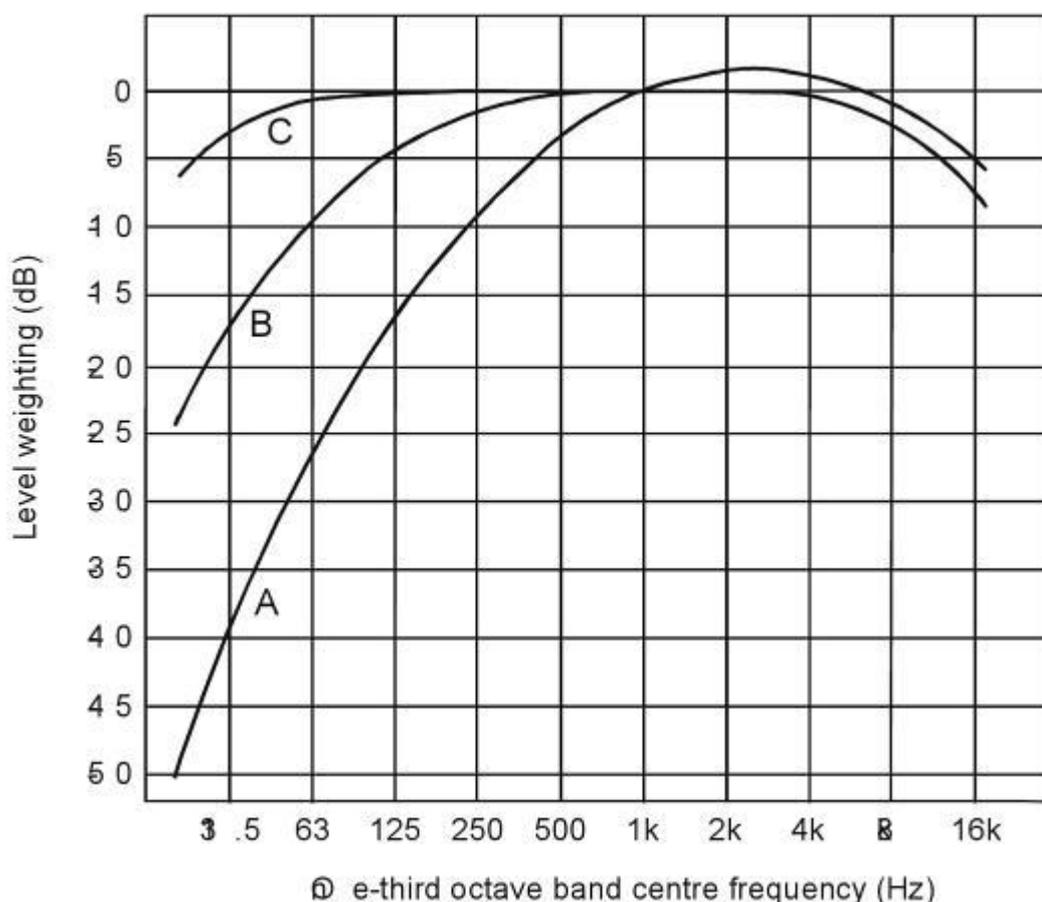


Figura 15 – Curvas de Ponderação

Fonte: Bies & Hansen (2013)

2.8 Medição Acústica

“A medição dos níveis de som é a principal atividade para avaliação dos problemas do ruído em um ambiente.” Pode-se fazer desde uma simples avaliação local, passando por um levantamento mais minucioso, até uma análise de alta precisão usando analisadores de frequência (Fernandes, 2005).

Essas medições devem ser realizadas por medidores de nível de pressão de som, estes devem estar de acordo com as normas internacionais. Além disso, a escolha dos métodos de medição e análise dos dados deve ser feita por pessoas que tenham um conhecimento sobre acústica e devem conhecer as normas nacionais e internacionais, bem como as leis em vigor (Fernandes, 2005).

2.8.1 Aparelhos de Medição Acústica

2.8.1.1 O Medidor de Pressão Sonora

Os instrumentos para medição de ruído são os únicos que possuem regulamentação internacional e que apresentam a maior versatilidade e opção de modelos, desde simples até complexas análises de níveis sonoros, com diferentes graus de exatidão. É importante adquirir equipamentos de boa procedência, pois estes atendem aos padrões da IEC (International Electrotechnical Commission) e do ANSI (American Standards Institute) (Fernandes, 2005).

Os medidores de precisão geralmente são compostos por microfone, atenuador, circuitos de equalização, circuitos integrados, mostrador (digital ou analógico) graduado em dB, calibrador, faixa de medida de 30 a 140 dB, no mínimo, 2 constantes de tempo : lenta (slow) ou rápida (fast) e 2 curvas de ponderação.

Existem no total 4 curvas de ponderação. São elas A, B, C e D. Essas curvas servem para aproximar a audição humana a audição do aparelho (Ichisato, 2004).

2.8.1.2 Microfones

Uma grande variedade de transdutores foi usada ao longo dos anos para converter flutuações de pressão sonora em sinal elétrico mensurável, mas somente dois dispositivos são usados para medições de precisão. Estes são o microfone condensador e o microfone piezoelétrico (Bies e Hansen, 2002).

Estes microfones são usados devido a sua resposta à frequência muito uniforme e sua sensibilidade estável. O microfone condensador geralmente fornece uma medição mais precisa e consistente, mas é muito mais caro que o microfone piezoelétrico (Bies e Hansen, 2002).

Existem dois tipos de microfone condensador, um tipo é polarizado externamente e o outro é pré-polarizado internamente. O microfone polarizado externamente é sensível à poeira e umidade, mas possui alta confiabilidade em altas temperaturas. Já o microfone pré-polarizado não é sensível à poeira e umidade. Ambos os tipos de microfone não são sensíveis à vibração (Bies e Hansen, 2002).

O microfone piezoelétrico é menos sensível a poeira e umidade, mas pode ser danificado quando exposto a altas temperaturas e, em geral, respondem igualmente a vibração e a ondas sonoras, enquanto o condensador vai responder bem a sons e não a todas as vibrações (Bies e Hansen, 2002).

2.8.1.2.1 Microfone Condensador

Um microfone condensador (também chamado de capacitivo) consiste de um diafragma e uma placa polarizada, estas estão separadas por uma pequena coluna de ar. O diafragma serve como um eletrodo de um condensador e a placa polarizada funciona como outro eletrodo. O condensador é polarizado por uma carga de tal maneira que qualquer variação de pressão na coluna de ar resulta em uma variação correspondente na voltagem do condensador. A Figura 16 apresenta um microfone condensador (Bies e Hansen, 2002).

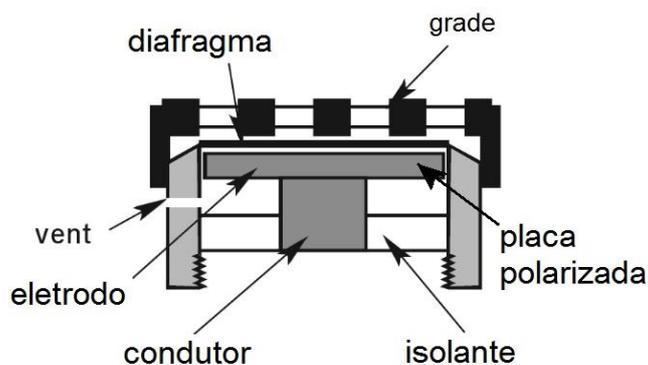


Figura 16 – Microfone Condensador

Fonte: Adaptado Bies e Hansen (2002)

A carga na placa polarizada pode ser provida através de um gerador externo da ordem de 200 V ou pelo uso de um eletreto, o qual faz parte do diafragma ou da placa polarizada (Bies e Hansen, 2002). Os microfones condensadores de eletreto são usados em 99% das marcas disponíveis no mercado (IPAC, 2012).

2.8.1.2.2 Microfone Piezoelétrico

A Figura 17 abaixo mostra um esquema do microfone piezoelétrico. No caso, o som incidente sobre o material piezoelétrico tende a tensionar ou aliviar o material piezoelétrico. Em resposta, o material piezoelétrico gera uma carga sobre seu capacitor (Bies e Hansen, 2002).

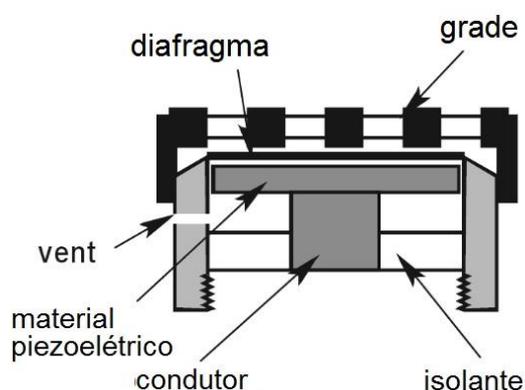


Figura 17 - Microfone Piezoelétrico

Fonte: Adaptado Bies e Hansen (2002)

2.8.1.3 Fonte de Ruído Omnidirecionais

Para a maioria das medições acústicas, a fonte sonora deve irradiar som igualmente em todas as direções para se obter repetitividade e resultados confiáveis. Desta maneira, as normas para medições acústicas requerem o uso de uma fonte omnidirecional (Brüel & Kjær, 2013).

As fontes omnidirecionais usam um grupo de 12 alto-falantes em uma configuração dodecaédrica que irradia som igualmente em uma distribuição esférica. Os alto-falantes estão conectados em série e paralelo para garantir que todos trabalhem em fase e com uma impedância que coincida com a do amplificador. A montagem deste tipo de fonte é leve e, normalmente, vem com tripé que não interfere nas medições. A Figura 18 mostra um exemplo de fonte omnidirecional (Brüel & Kjær, 2013).



Figura 18 – Fonte Omnidirecional

Fonte: (Brüel & Kjær, 2013)

2.8.1.4 Pré-Amplificador

Um microfone condensador deve ser combinado com um pré-amplificador de maneira a prover conversão da impedância e filtro (Brüel & Kjær, 2013). A Figura 19 exemplifica um tipo de pré-amplificador.



Figura 19 – Pré-amplificador

Fonte: Direct Industry (2013)

Os pré-amplificadores são robustos e acusticamente otimizados, permitindo o funcionamento em variadas condições de operação. Quanto mais corrente de saída o pré-amplificador suporta, mais longos podem ser os cabos que se usam. Pré-amplificadores estão disponíveis nas dimensões de ½" e ¼" para conexão com a maioria dos tamanhos de microfone. O ganho de um pré-amplificador pode ser de até 20 dB (Brüel & Kjær, 2013).

2.8.1.5 Calibrador

O calibrador acústico é um gerador de pressão sonora padrão fabricado para a calibração do medidor de pressão sonora e dosímetro de ruído, ambos são fabricados com microfones condensadores de eletreto em 99% das marcas disponíveis no mercado, o que exige que de tempos em tempos seja feita uma recalibração acústica, para compensar variações do microfone para que a precisão do instrumento volte a especificação de fábrica (IPAC, 2012).

Todo e qualquer medidor de pressão sonora digital ou analógico já sai calibrado de fábrica e pronto para uso, todos eles tem um ajuste para acertar o valor indicado pelo medidor de pressão, e nos modelos mais sofisticados pode ser encontrado dois ajustes um para faixa baixa e outra para faixa alta, pois é sabido que o microfone de eletreto e a eletrônica do medidor de pressão

sonora podem sofrer variações com o tempo, daí a necessidade de se ter um calibrador acústico (IPAC, 2012).

2.8.1.6 Classes de Equipamentos de Medição

A norma IEC 60651 especifica quatro classes de equipamentos sonoros quanto a precisão destes, estas classes são 0, 1, 2 e 3. A precisão do equipamento reduz a medida que sua classe sobe, afetando custos de produção dos mesmos. A norma 60651 avalia os seguintes pontos:

- características direcionais;
- características de ponderação de frequências;
- características de ponderação, detecção e indicação do tempo;
- sensibilidade a vários ambientes.

A classe 0 de equipamentos de medição se destina a medição feita em laboratórios. A classe 1 é indicado para uso em laboratório e para campo, no qual o ambiente deve ser controlado. A classe 2 é adequada a medição geral em campo. A classe 3 é indicada para a princípio para pesquisa de ruídos em campo. A resposta de frequência para todos os tipos é definida de 10 Hz a 20000 Hz com maior eficiência de 100 Hz a 8000 Hz (Malchiare, 2013).

As classes 2 e 3 normalmente só incluem as curvas de ponderação A e os modos de operação *FAST* e *SLOW*. São normalmente equipados com um microfone piezoelétrico (Malchiare, 2013).

As classes 0 e 1 são mais versáteis com a possibilidade de medir vibrações ou inserir filtros para harmônicas. Elas normalmente são capazes de medir sinais não ponderados (modo de operação *FLAT*), assim como sinais ponderados por curvas A e C. Elas vêm normalmente equipadas com microfones condensadores de variadas sensibilidades e características (Malchiare, 2013).

2.8.1.7 Arranjos de Equipamentos de Medição

Existem três tipos de arranjos para os aparelhos de medição acústica apresentados acima.

O primeiro arranjo é o medidor integrador, é uma unidade portátil de medição acústica com processamento, softwares específicos (módulos) e é acoplado diretamente nele o pré-amplificador e o microfone. Estes podem ser de um ou dois canais. A Figura 20 mostra um diagrama de blocos esquemático para este arranjo de equipamento.

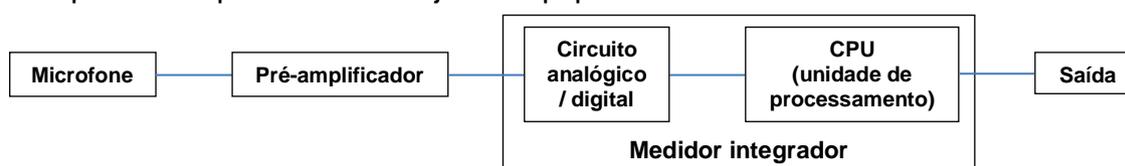


Figura 20 – Diagrama de blocos do medidor integrador

Fonte: autoria própria

A Figura 21 mostra um exemplo de medidor integrador.



Figura 21 – Medidor integrador

Fonte: HighMed (2013)

O segundo é arranjo fixo e é multicanal (*racks*), são normalmente usados em laboratórios. Os microfones e pré-amplificadores são conectados por cabos. O número de canais é expansível e usa plataformas analisadoras

(por exemplo, PULSE da Brüel & Kjær). A Figura 22 mostra um diagrama de blocos esquemático para este arranjo de equipamento.

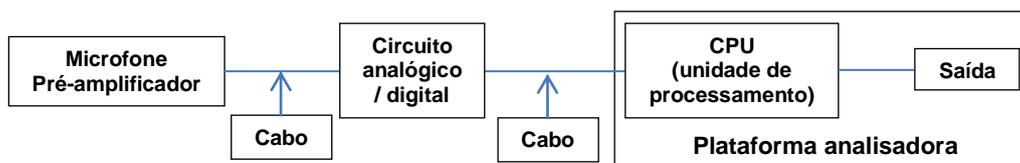


Figura 22 – Diagrama de blocos do arranjo de *racks*

Fonte: autoria própria

A Figura 23 apresenta um laboratório que possui este arranjo.



Figura 23 – Laboratório acústico com arranjo de *racks*

Fonte: Univpm (2013)

O terceiro tipo de arranjo é um PC com programas (que não deixam o sistema preso a uma determinada marca) e uma placa de aquisição de dados. A Figura 24 mostra um diagrama de blocos esquemático para este arranjo de equipamento.

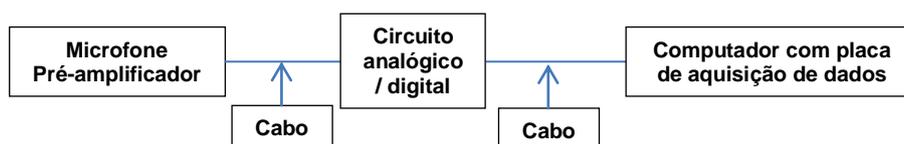


Figura 24 – Diagrama de blocos do arranjo com PC e placa de aquisição

2.8.2 Ambientes de Medição

2.8.2.1 Câmara Anecóica

Uma câmara anecóica é uma câmara com máxima absorção de ondas e mínima reflexão (Felício, 2008). A câmara anecóica possui elevado isolamento a ruídos externos. Medidas que requerem grande sensibilidade e relacionadas baixo nível de sinal são geralmente efetuadas nestas (Heleno, 2006).

O custo de construção de uma câmara anecóica é alto e o espaço físico necessário a sua construção também é bastante grande (Heleno, 2006). A Figura 25 mostra a representação da construção de uma câmara anecóica, no qual:

1- parede metálica; 2- absorvedores de micro-ondas (pirâmides de espuma impregnadas de carbono); 3- mesa com movimento em todas as direções e ângulo; 4- mesa com possibilidade de variação de altura; 5- equipamento em teste; 6- antena; 7- cabo; 8- painel especial para conexões.

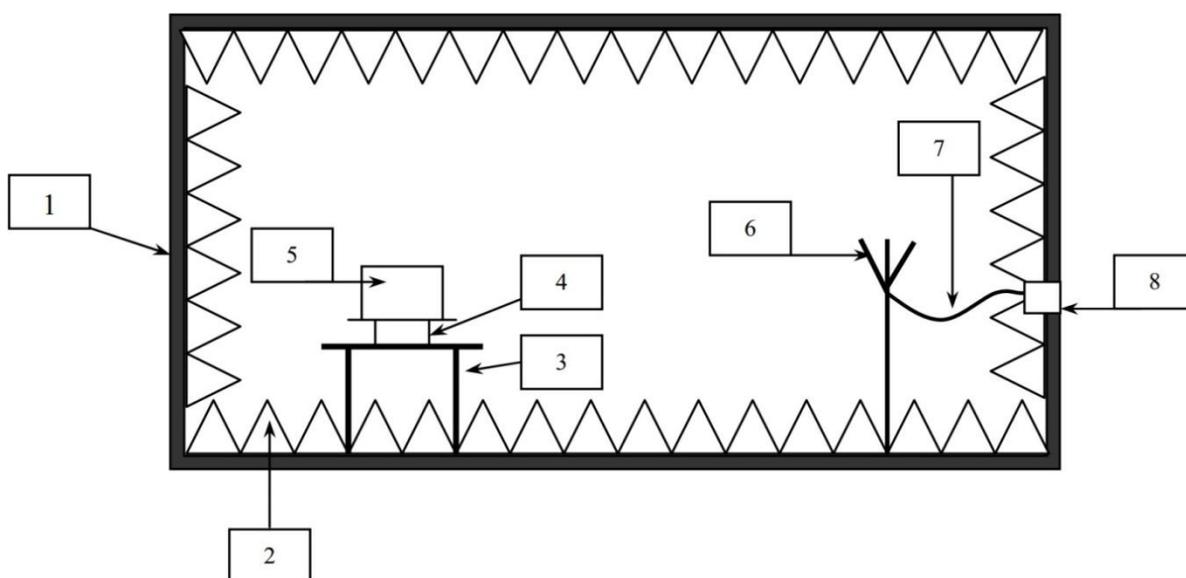


Figura 25 – Câmara anecóica

Fonte: Heleno (2006)

2.8.2.2 Câmara Reverberante

Em uma câmara reverberante, tenta-se recriar um campo reverberante. Assim, a reflexão de ondas acontece pelos limites da sala em todas as direções em variadas frequências e amplitudes grandes. As paredes de uma

câmara reverberante normalmente são de concreto pintada para que haja o mínimo de absorção e o máximo de reflexão (Oberreuter, 2011), além disto, muitas possuem placas refletoras distribuídas ao longo da sala para aumentar o grau de difusão, garantindo uma maior uniformidade ao ambiente, a Figura 26 mostra este tipo de câmara.

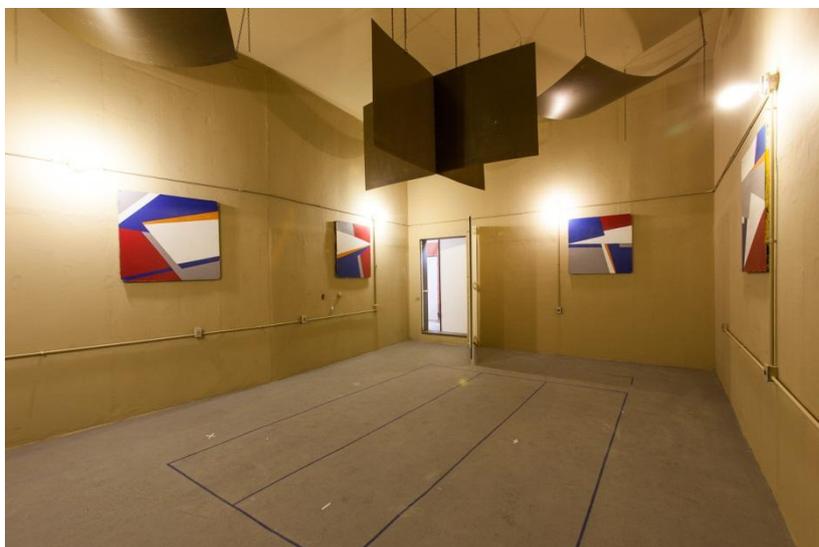


Figura 26 – Câmara reverberante

Fonte: UFSM (2013)

Outro tipo de câmara reverberante existe é a chama **sala morta**, esta se aproxima mais de uma câmara anecóica, possuindo menor reverberação (Portela, 2013). Suas paredes são normalmente revestidas com elementos absorvedores acústicos a fim de prover esta menor reverberação. Este tipo de câmara é muito usada em estúdios musicais e cinemas. A Figura 27 mostra uma sala de cinema.



Figura 27 – Sala morta - cinema

Fonte: Lessa (2010)

2.8.3 Tipos de Medição Acústica: Quanto a Natureza do Som

2.8.3.1 Medição de Ruídos Contínuos

A medição de ruídos contínuos é feita com o medidor do nível de pressão sonora. Aproxima-se o aparelho da fonte e lê-se o nível de ruído local. A variação nos valores marcados pelo aparelho deverá ser baixa, uma vez que se trata de um ruído contínuo. O medidor deve estar na curva de ponderação A e com a constante de tempo em lenta (Slow = RMS da pressão sonora em 1 segundo) (Fernandes, 2005).

2.8.3.2 Medição de Ruídos Flutuantes

Existem vários métodos para medição de ruído flutuante, todos eles têm por objetivo encontrar um valor que represente de forma significativa todas as variações de pressão sonora em dB (Fernandes, 2005).

O Nível de Som Contínuo Equivalente, também conhecido como L_{eq} , representa as variações de nível de um ruído flutuante. O L_{eq} leva em consideração que o som é uma fonte de energia e, para se avaliar os ruídos, deve-se considerar não apenas os níveis sonoros, mas também seu tempo de duração. Nesse método de medição obtêm-se um nível de ruído contínuo que possui a mesma energia acústica que os níveis flutuantes originais, durante um período de tempo. O princípio da mesma energia assegura sua precisão, sendo

adotado pela Norma ISO e muitas normas nacionais (Fernandes, 2005; Dinato, 2011). L_{eq} é definido pela equação (4):

$$L_{eq} = 10 \cdot \text{Log}_{10} \cdot \int_0^t \frac{P_{\alpha}(t)}{P_0} \cdot dt \quad (4)$$

A Figura 28 mostra o L_{eq} graficamente.



Figura 28 – Nível de som equivalente contínuo

Fonte: Adaptado de Fernandes (2005) pág. 67

Este método é bem preciso para avaliar o risco auditivo. Neste método, o tempo de medição varia conforme a indústria ou o tipo de ruído. Este tempo pode ser 60 segundos, 30 minutos, 1 hora, entre outros. Para esse método, usa-se a constante de tempo em “lento” e a ponderação na curva “A” (Fernandes, 2005).

2.8.3.3 Medição de Sons de Impacto

“Os critérios de risco auditivo devido a sons de impacto ainda não estão totalmente definidos”. A Norma ISO sugere uma aproximação, para medição de sons feitos por martelos e rebiteadeiras, o nível medido em dB na curva “A”, com resposta lenta, mais de 10 dB. Esse critério é impreciso, principalmente para martelos pneumáticos, britadeiras, prensas hidráulicas, entre outras que geram impactos maiores, fazendo com que uma variação dos métodos em vários países. Várias Normas Nacionais, por exemplo, a ABNT, usam a resposta rápida “fast” junto com a curva “A” ou “C”. Algumas Normas Nacionais já estão adotando os limites de ruído de impacto em termos da

constante de tempo para "impulso" (0,035 s). Os medidores de nível de ruído mais sofisticados do mercado já possuem a escala impulso (Fernandes, 2005).

Outra forma de medir o som de impacto é usar a escala "valor de pico" (peak): trata-se do valor máximo atingido pela pressão sonora durante a medição. Ensaios mostram que o ouvido humano não pode suportar níveis de impacto superiores a 140 dB (pico) (Fernandes, 2005).

A tabela 1 mostra os ruídos medidos com diversas constantes de tempo.

Tabela 1 – Resultados para diferentes formas de medição do ruído de impacto

Constante de Tempo	Fonte de Ruído		
	Martelo Manual	Martelo Pneumático	Prensa excêntrica
Rápida	105 dB (A)	112 dB (A)	93 dB (A)
Impulso	112 dB (A)	113 dB (A)	97 dB (A)
Pico	131 SPL	128 SPL	121 SPL

Fonte: Fernandes (2005) pág. 68

2.8.4 Tipos de Medição Acústica: Quanto a Finalidade

Além da medição dos tipos de ruído, existem várias finalidades de medição acústica. Entre estas finalidades, citam-se a medição de potência sonora, parâmetros arquitetônicos, intensidade sonora, isolamento acústico e legislação para o trabalho. A seguir, discorre sobre cada uma destas finalidades.

2.8.4.1 Nível de Intensidade sonora

A intensidade sonora em uma direção específica em um determinado ponto é a taxa média de energia sonora transmitida na direção em questão por uma unidade de área normal a esta direção no ponto específico (LMS, 2013).

Na maioria das situações é o componente do vetor intensidade sonora na qual a medição acontece (LMS, 2013).

Para determinar a intensidade sonora, pode-se medir a pressão instantânea e a velocidade da partícula correspondente simultaneamente. Isto se faz através de uma sonda de intensidade sonora (LMS, 2013).

Na prática, a pressão sonora pode ser obtida usando-se diretamente um microfone. A velocidade instantânea da partícula pode ser calculada a partir do gradiente de pressão entre dois microfones bem próximos. Uma sonda de intensidade sonora consiste de dois microfones bem próximos um ao outro que medem tanto a pressão sonora quanto o gradiente de pressão entre os microfones (LMS, 2013).

Para cálculos em bandas de frequência, pode ser mostrado que a intensidade sonora pode ser calculada a partir da parte imaginária da *sobreposição* entre os sinais dos dois microfones. A equação (5) é usada (LMS, 2013).

$$I = \text{Imag}\left(\frac{S_{1,2}}{2\pi f \rho d}\right) \quad (5)$$

Na qual $S_{1,2}$ é a sobreposição dos dois lados dos sinais captados pelos microfones; f é a frequência do sinal d é a distância entre os microfones; r é a densidade do ar (LMS, 2013).

Para esta equação, todos os canais são processados em pares de canais, cada canal consistindo em pares de canais. Isto requer que um número par de canais seja definido (LMS, 2013).

A intensidade Sonora Reativa (energia que não está se propagando, apenas refletindo) é calculada a partir da equação (5) (LMS, 2013).

$$I_{\text{reactive}} = \left(\frac{S_{1,1} - S_{2,2}}{2\pi f \rho d}\right) \quad (5)$$

Para medições em campo livre e na direção de propagação, a intensidade sonora reativa é zero (LMS, 2013).

2.8.4.2 Nível de Potência Sonora

Este tipo de medição visa medir a quantidade de energia total emitida por uma fonte por unidade de tempo. Os aparelhos em geral medem a pressão sonora emitida pelas fontes e, através de equacionamentos específicos de acordo com cada norma, transformam o nível de pressão sonora em nível de potência sonora.

2.8.4.3 Parâmetros Arquitetônicos

Os parâmetros arquitetônicos em acústica dizem respeito a qualidade que o som tem em um ambiente específico. Alguns destes parâmetros se destacam, estes são listados a seguir.

O **tempo de reverberação** (TR) é o intervalo de tempo necessário para verificar uma queda de 60 dB ou 30 dB no nível sonoro, após o desligamento da fonte sonora, conforme a Figura 29 (Mateus, 2008).

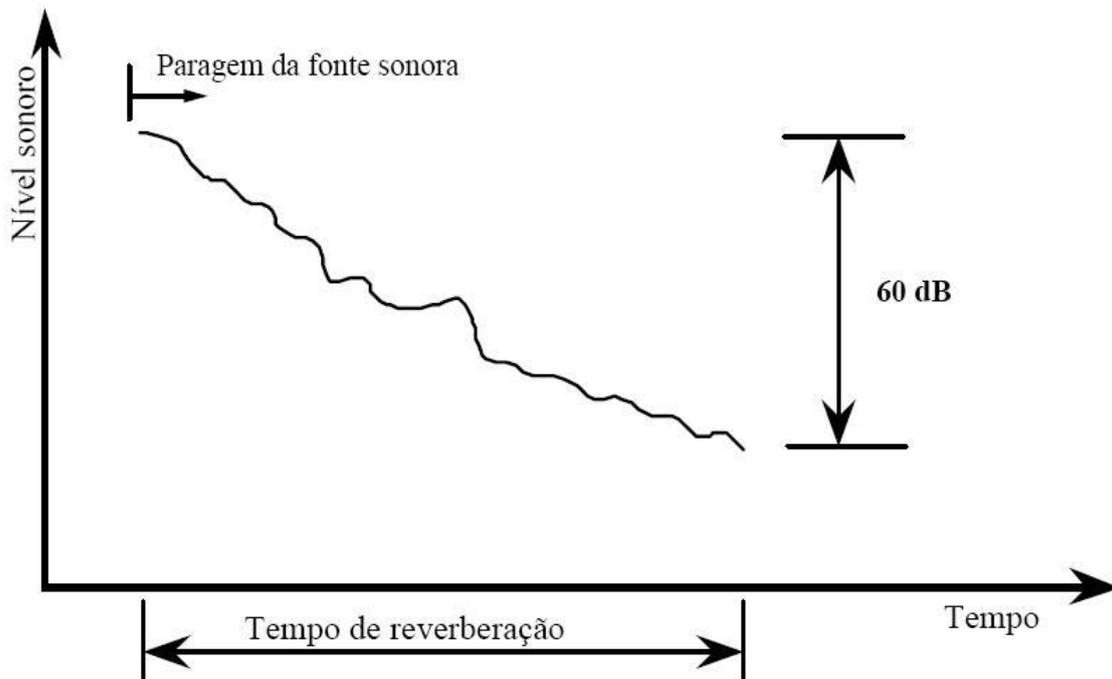


Figura 29 – Tempo de reverberação

Fonte: Mateus (2008) pág. 14

O som que ouvimos é composto de componentes discretos que correspondem as notas para a música e aos fonemas para a fala. O quanto estes componentes ficam separados um do outro é chamado **clareza / definição** e é um atributo importante do som percebido. Esta característica se refere ao quão limpo a qualidade do som é. Estes fatores dependem da acústica da sala, quanto da habilidade e intenção do palestrante / músico. Por exemplo, uma palestra dada de forma rápida e com articulação das palavras pobre em uma sala reverberante será terá mais clareza se for dada de forma lenta e com palavras melhores articuladas. A mesma palestra lenta pode ser ainda mais clara se for dada em uma sala menos reverberante. **Definição**

(D_{50}) é usada falas e é definido como a energia dos 50 ms iniciais de uma fala sobre o total de energia da fala. Já a **clareza** (C_{80}) é usada em música e é definida como a energia dos 80 ms iniciais sobre a energia depois dos 80 ms iniciais (Concert Hall Acoustics, 2013; Cirillo & Martellotta, 2006).

A qualidade acústica do local é também definida pela **inteligibilidade** do som, ou seja, a porcentagem de som que um ouvinte consegue entender. Uma das causas da falta de inteligibilidade nos espaços é a reverberação. Uma das formas de controlar a reverberação e auxiliar na uniformização do campo acústico, garantindo a inteligibilidade é através de colocação de forros (Rosso, 2012).

Existem outros parâmetros de acústica arquitetônica, mas os mesmos não tem importância para este trabalho.

2.8.4.4 Nível de Isolamento Acústico

A energia sonora produzida numa dada sala de uma edificação não fica exclusivamente nesse ambiente, ela se propaga por todo o edifício por qualquer caminho disponível e pode chegar a outros ambientes como ruído. A transmissão dessa energia pode ser direta (através de elementos de separação entre as salas) ou indireta (através de paredes laterais, teto e chão). A energia sonora pode ser transmitida pelo ar através de ondas longitudinais, ou por meio sólido, quando a propagação ocorre em uma estrutura da edificação, gerando ganho de incerteza em medições (Michalski, 2011).

A medição de Isolamento acústico pode se dar através da medição de uma sala em relação a outra, isto é, uma sala é colocada como emissora, na qual um sinal é gerado, e a outra sala, a sala receptora, aquela que se deseja medir o nível de isolamento acústico, conforme Figura 30. Mede-se então a diferença de nível de pressão sonora em diferentes bandas de frequência entre as salas (Michalski, 2011).

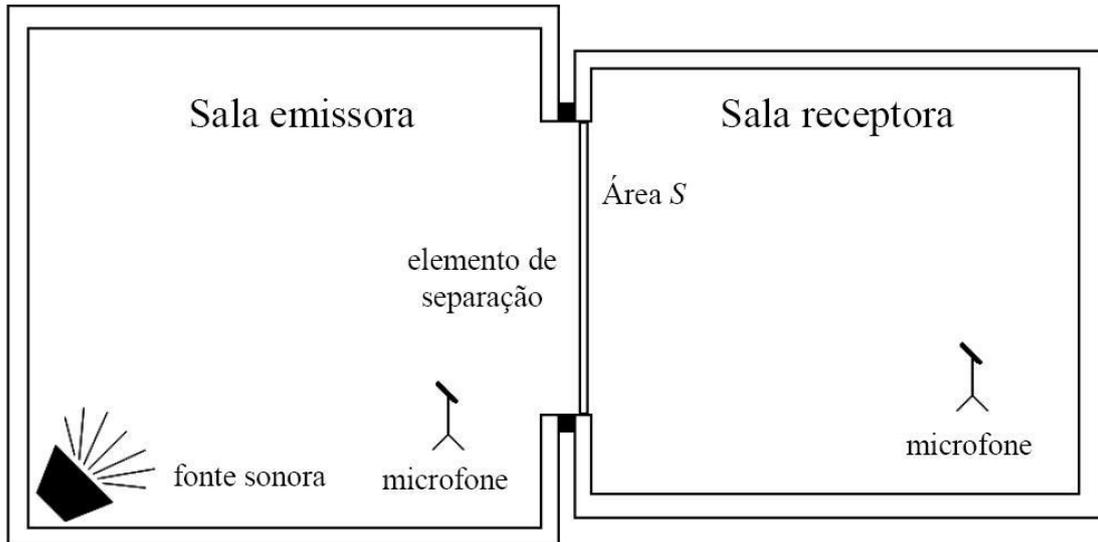


Figura 30 – Medição de isolamento acústico entre ambientes

Fonte: Michalski (2011) pág. 7

2.8.4.5 Exposição ao Ruído: Dose de Ruído

O método de Dose de Ruído é semelhante ao de Nível de Som Equivalente. Entretanto, é medido para jornadas de trabalho. São duas as diferenças entre L_{eq} e Dose de Ruído:

- o medidor de Dose de Ruído é chamado de dosímetro, é um pequeno aparelho que pode ser transportado na camisa durante a jornada;
- enquanto o L_{eq} expressa o ruído em dB, o dosímetro apresenta a medida como uma porcentagem da exposição diária permitida (Fernandes, 2005).

Portanto, o aparelho serve não simplesmente para medição de um determinado ruído, mas sim para “avaliar o risco do trabalhador”.

Como este trabalho é voltado para a medição de potência acústica, detalhamos a seguir alguns métodos para a medição de potência acústica mais usados.

2.8.5 Metodologia de Medição do Nível de Potência Sonora

Existem vários métodos para a medição do nível de potência acústica. A seguir, citam-se alguns deles, incluindo o que será usado neste trabalho.

2.8.5.1 Medição de Potência Sonora em Câmaras Anecóicas

A medição em câmaras anecóicas é regida pela norma ISO 3745 (Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic test rooms and hemi-anechoic test rooms). De acordo com esta norma e outras da série ISO 374X (X representa mais de uma norma, isto é, as normas ISO 3740 a ISO 3749 tratam de medição acústica), o valor de L_{WA} , que determina o nível de potência sonora de uma fonte, é calculado pela equação (6).

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \log \frac{S}{S_0} \quad [\text{dBA}] \quad (6)$$

$\overline{L_{pA}}$ é o nível de pressão sonora médio sobre a superfície de medição, em dB, usando a curva de ponderação A; S é a área da superfície de medição; S_0 é a área de referência, igual a 1 m^2 .

2.8.5.1.1 Cálculo da Área da Superfície de Medição S

Supondo-se um paralelepípedo de dimensões L_1 , L_2 e L_3 que tangencia a fonte em suas superfícies mais externas – caixa de referência (Figura 31) existe duas maneiras de se determinar a superfície de medição S . Uma maneira é através de uma superfície semiesférica de diâmetro D , conforme Figura 32.



Figura 31 – Paralelepípedo envolvendo uma fonte

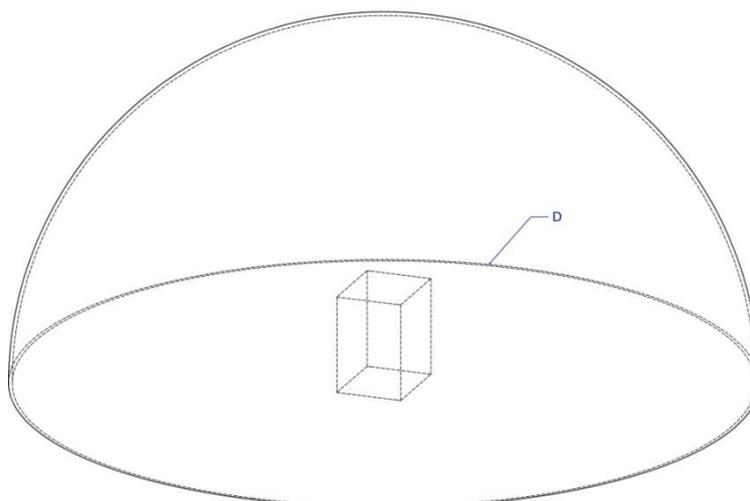


Figura 32 – Superfície semiesférica de medição envolvendo a fonte

A outra maneira é através de uma superfície paralelepipedal com distância d medida a partir das extremidades da fonte, conforme Figura 33, sendo $2a$ medida frontal; $2b$ medida de profundidade; c medida de altura. A medida d deve ser no mínimo 0,15 m, mas preferencialmente, deve valer 1m ou mais.

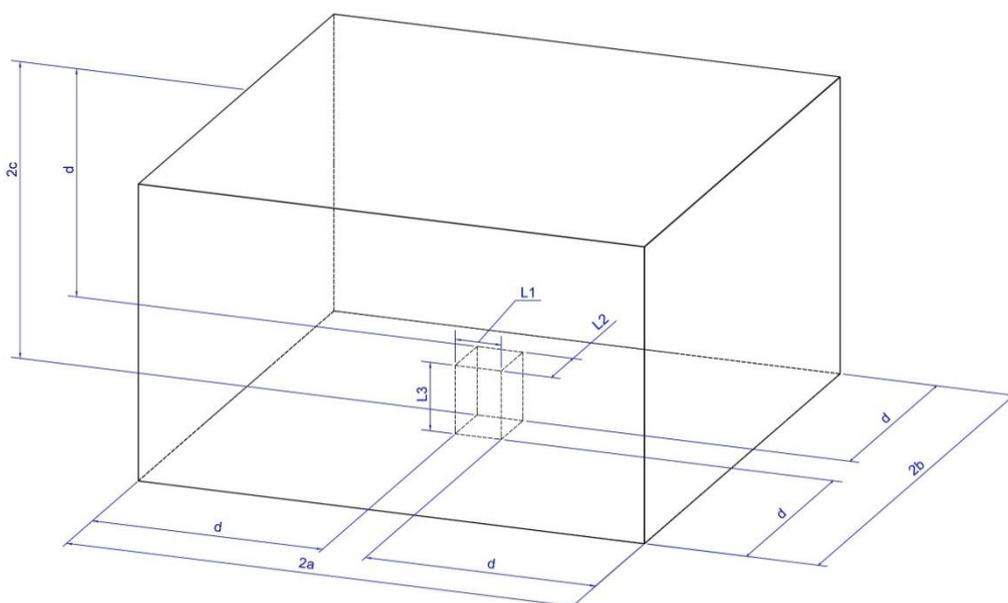


Figura 33 – Superfície paralelepipedal de medição envolvendo a fonte

As dimensões da superfície de medição são dadas pelas equações (7), (8) e (9).

$$a = \frac{L_1}{2} + d \quad [\text{m}^2]$$

(7)

$$b = \frac{L_2}{2} + d \quad [\text{m}^2] \quad (8)$$

$$c = L_3 + d \quad [\text{m}^2] \quad (9)$$

Assim, a área de superfície de medição S é dada pela equação (10).

$$S = 4(b \cdot a + c \cdot b + c \cdot a) \quad [\text{m}^2] \quad (10)$$

A base do paralelepípedo é desprezada, pois é uma superfície refletora.

2.8.5.1.2 Determinação do Número e Posição dos Pontos Receptores

O anexo C de todas as normas da série de Normas ISO 374X, demonstra como se determina o número de postos de medição e a localização dos mesmos.

Supondo-se a fonte localizada no centro do ambiente e $L_1 \leq d$, $L_2 \leq d$ e $L_3 \leq d$, diz que a fonte é pequena e tem-se a localização dos pontos conforme Figura 34. Na qual A é a superfície refletora; B é a caixa de referência; ● é ponto receptor onde é colocado o microfone para medição.

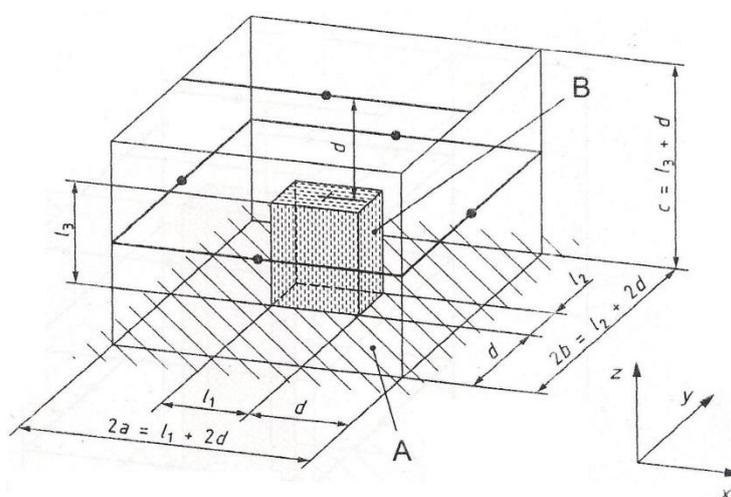


Figura 34 – Pontos receptores

Fonte: ISO 3746:2010, página 35.

Pode-se ainda acrescentar mais pontos receptores nas superfícies para garantir uma precisão maior.

2.8.5.1.3 Determinação Nível Médio de Pressão Sonora do Sobre a Superfície de Medição $\overline{L_{pA}}$

A ISO 3745 afirma que são necessárias ao menos uma medição da pressão sonora em cada uma das superfícies do paralelepípedo de medição. Desta forma, são realizadas no mínimo cinco medições do nível de pressão sonora. A partir destas medições é calculado o $\overline{L_{pA}}$ através da equação (11).

$$\overline{L_{pA}} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0,1L_{pAi}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (11)$$

N_M é a quantidade de superfícies de medição.

L_{pAi} é o valor de pressão sonora avaliado sobre a superfície do paralelepípedo de medição, ponderado pela curva A.

Assim, aplicando-se a equação 5 obtêm-se o valor da nível de potência sonora de uma fonte.

2.8.5.2 Medição de Potência Acústica em Ambientes Reverberantes

A medição em ambientes reverberantes é diferente, pois dois fatores se apresentam aqui com grande importância.

O primeiro fator é a reflexão junto com a absorção das ondas (Felício, 2008), o segundo fator é a falta de isolamento acústico do local. Com estes, o microfone não capta somente o sinal direto da fonte, uma vez que este é modificado pela reflexão e absorção das ondas, além de ruído de fundo presentes no local. Por isso existem as normas para medição em ambiente reverberante.

A medição em ambientes reverberantes é regida pelas normas ISO 3744 e 3746. De acordo com estas, o valor de L_{WA} , que determina o nível de potência sonora de uma fonte, é calculado pela equação (6) repetida abaixo.

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \log \frac{s}{s_0} \quad [\text{dBA}] \quad (6)$$

\overline{L}_{pA} é o nível de pressão sonora médio sobre a superfície de medição corrigido, em dB, usando a curva de ponderação A; S é a área da superfície de medição; S_0 é a área de referência, igual a 1 m^2 .

Esse nível de pressão sonora médio é obtido pela equação (12).

$$\overline{L}_{pA} = \overline{L'_{pA(ST)}} - K_{1A} - K_{2A} \quad [\text{dBA}] \quad (12)$$

$\overline{L'_{pA(ST)}}$ é o nível médio de pressão sonora obtido na superfície de medição, usando a curva de ponderação A; K_{1A} é o fator de correção devido ao ruído de fundo, usando a curva de ponderação A; K_{2A} é o fator de correção devido ao ambiente de medição, usando a curva de ponderação A.

2.8.5.2.1 Cálculo do Fator de Correção Devido ao Ambiente de Medição K_{2A}

O anexo A de todas as normas ISO da série 374X mostra como se determina o fator de correção devido ao ambiente de medição (K_{2A}), esta é a equação (13).

$$K_{2A} = 10 \log\left(1 + 4 \frac{S}{A}\right) \quad (13)$$

A é a área absorção sonora equivalente do ambiente de medição; S é a área da superfície de medição.

O cálculo da área da superfície de medição S é idêntico ao da metodologia para medição acústica em câmaras anecóicas, conforme a equação (10) repetida a seguir.

$$S = 4(b \cdot a + c \cdot b + c \cdot a) \quad [\text{m}^2] \quad (10)$$

2.8.5.2.2 Cálculo da Área de Absorção Sonora Equivalente A

A dissipação de energia sonora na superfície de um material nomeia-se absorção sonora (Moreira, 2013). Assim, deseja-se determinar o quanto o ambiente de medição absorve energia sonora nele emitida.

Conforme o anexo A das normas, existem duas maneiras de se obter a área equivalente de absorção sonora A . A primeira é calculando-se a partir de

um coeficiente de absorção sonora médio do ambiente α aplicado em toda sua superfície (equação (14)).

$$A = \alpha \cdot S_v \quad [\text{m}^2] \quad (14)$$

S_v é a área da superfície de medição.

A segunda maneira é calcular o tempo de reverberação T_R a partir da fórmula de Sabine, conforme a equação (15).

$$T_R = 0,161 \frac{V}{A} \quad [\text{s}] \quad (15)$$

V é volume da sala, que é dado por $V = F \cdot P \cdot H$. Onde F é a medida de frente do ambiente, P é a profundidade do ambiente e H é a altura do ambiente; T_R é o tempo de reverberação do ambiente medido diretamente no ambiente.

2.8.5.2.3 Cálculo do Fator de Correção Devido ao Ruído de Fundo K_{1A}

A variação do fator K_{1A} se obtém pela avaliação do ruído de fundo. Este fator é calculado pela equação (16).

$$k_{1A} = -10 \log(1 - 10^{-0,1\Delta L_{pA}}) \quad [\text{dB}] \quad (16)$$

Onde,

$$\Delta L_{pA} = \overline{L'_{pA(ST)}} - \overline{L'_{pA(B)}} \quad [\text{dB}] \quad (17)$$

$\overline{L'_{pA(ST)}}$ é o nível médio de pressão sonora obtido na superfície de medição, usando a curva de ponderação A; $\overline{L'_{pA(B)}}$ é o nível médio de pressão sonora do ruído de fundo no ambiente de medição.

Se os valores de ΔL_{pA} forem superiores a 10 dB, o ruído de fundo tem pressão muito menor que a pressão do ruído a ser medido e, portanto, considera-se K_{1A} igual a 0 dB.

Se os valores de ΔL_{pA} estiverem entre 3 dB e 10 dB, a equação 16 será usada para cálculo do valor de K_{1A} .

Para valores inferiores a 3 dB, assume-se que K_{1A} será igual a 3 dB. Isto implica que o ruído de fundo é muito elevado e a precisão das medições será afetada.

2.8.5.2.4 Determinação do Valor Médio de Pressão Sonora do Ruído de Fundo no Ambiente de Medição $\overline{L'_{pA(B)}}$

O ruído de fundo no ambiente de medição é obtido por meio de medição direta do ruído no ambiente por meio de um medidor integrador.

São realizadas no mínimo 2 medições no ambiente para garantir a repetitividade do processo e com estes resultados, calcula-se o ruído de fundo médio do ambiente pela equação (18) abaixo.

$$\overline{L'_{pA(B)}} = 10 \log \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0,1L_{pAi(B)}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (18)$$

N_M é número de posições de medição do microfone.

$L_{pAi(B)}$ é o valor de pressão sonora do ruído de fundo medido na posição i do microfone, ponderado pela curva A.

2.8.5.2.5 Determinação do Valor Médio de Pressão Sonora do Sobre a Superfície de Medição $\overline{L'_{pA(ST)}}$

A ISO 3746:2010 afirma que são necessárias ao menos uma medição da pressão sonora em cada uma das superfícies do paralelepípedo de medição. Desta forma, são realizadas no mínimo cinco medições do nível de pressão sonora. A partir destas medições é calculado o $\overline{L'_{pA(ST)}}$ através da equação (19).

$$\overline{L'_{pA(ST)}} = 10 \log \left[\frac{1}{N_S} \sum_{i=1}^{N_S} 10^{0,1L_{pAi(ST)}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (19)$$

N_S é a quantidade de superfícies de medição avaliadas.

$L_{pAi(ST)}$ é o valor de pressão sonora avaliado sobre a superfície i do paralelepípedo de medição, ponderado pela curva A.

2.8.5.3 Medição de Potência Acústica por Holografia Acústica

Na holografia, são feitas medições de um campo acústico sobre uma superfície bidimensional, obtendo-se assim o holograma medido. Os dados obtidos são utilizados para reconstruir o campo acústico completo no espaço

tridimensional de interesse. O que torna isso possível é o fato de que pode-se usar uma função de Green conhecida e o fato de que o holograma medido obedece a equação da onda. Ou seja, na holografia, medem-se condições de contorno uniformes sobre uma superfície em que existe uma função de Green conhecida (função usada para resolver equações diferenciais não homogêneas sujeitas a condições iniciais ou condições de contorno determinadas), de maneira que o processo de reconstrução holográfica é simplesmente a convolução dos valores medidos com a função de Green. O holograma medido é obtido em uma única frequência de radiação (Colinas, 1999).

Portanto, a medição da potência sonora por holografia é robusta ao ruído de fundo e reverberação do ambiente, não sendo necessários os fatores de correção do ambiente, se aproximando do conceito de campo livre, sem necessidade de uma câmara anecóica.

2.9 Ouvido Humano

O ouvido consiste em ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno. Cada parte serve para uma função específica para interpretar o som. O ouvido externo coleta o estímulo sonoro o leva por um canal ao ouvido médio. O ouvido médio transforma a energia do estímulo sonoro em vibrações internas da estrutura óssea do ouvido médio, isto é, a cadeia ossicular formada por martelo, bigorna e estribo, e finalmente transforma estas vibrações em uma onda de compressão ao ouvido interno. O ouvido interno serve para transformar a energia da onda de compressão dentro de um fluido em impulsos nervosos que podem ser transmitidos ao cérebro. As três partes do ouvido podem ser vistas na Figura 35 (Bertulani, 2012).

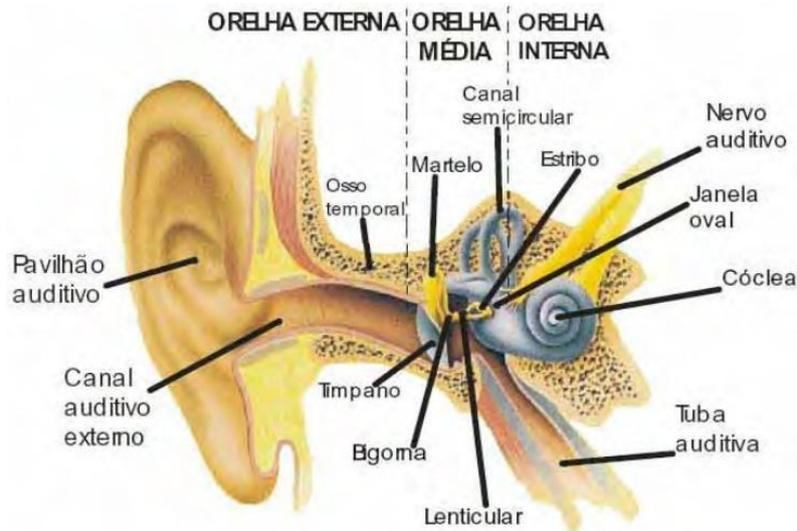


Figura 35 - Estrutura do ouvido

Fonte: Bastos (2005)

O ouvido externo consiste da orelha e um canal de aproximadamente 2 cm. A orelha serve para proteger o ouvido médio e prevenir danos ao tímpano. A orelha também canaliza as ondas que alcançam o ouvido para o canal e o tímpano no meio do ouvido. Devido ao comprimento do canal, ele é capaz de amplificar os sons com frequências de aproximadamente 3000 Hz. À medida que o som propaga através do ouvido externo, o som ainda está na forma de uma onda de pressão. Somente quando o som alcança o tímpano, na separação do ouvido externo e médio, a energia da onda é convertida em vibrações na estrutura óssea do ouvido (Bertulani, 2012).

O ouvido médio é uma cavidade cheia de ar, consistindo na bigorna, martelo e estribo, estes são três pequenos ossos interconectados, eles também são chamados de cadeia ossicular. O tímpano é uma membrana muito durável e bem esticada que vibra quando a onda a alcança. Uma compressão força o tímpano para dentro e a rarefação o força para fora. Logo, o tímpano vibra com a mesma frequência da onda e, como ela está conectada ao martelo, os movimentos do tímpano colocam o martelo, a bigorna, e o estribo em movimento com a mesma frequência da onda. O estribo é conectado ao ouvido interno. Assim, as vibrações do estribo são transmitidas ao fluido do ouvido médio e criam uma onda de compressão dentro do fluido. A cadeia ossicular age como amplificador das vibrações da onda sonora. O ouvido médio é uma cavidade cheia de ar que é conectada à cavidade nasal através do tubo de

Eustáquio e ao ouvido externo. Esta conexão permite a equalização da pressão das cavidades cheias de ar do ouvido (Bertulani, 2012).

O ouvido interno consiste de uma cóclea, canais semicirculares, e do nervo auditivo. A cóclea e os canais semicirculares são cheios de um líquido. O líquido e as células nervosas dos canais semicirculares não têm função na audição; eles simplesmente servem como acelerômetros para detectar movimentos acelerados e na manutenção do equilíbrio do corpo. A superfície interna da cóclea está alinhada com células nervosas que exercem as funções mais críticas na capacidade de ouvir. À medida que uma onda de compressão se move da interface entre o martelo do ouvido médio para a janela oval do ouvido interno através da cóclea, as células nervosas na forma de cabelos entram em movimento. Quando a frequência da onda de compressão casa com a frequência natural da célula nervosa, a célula irá ressoar com uma grande amplitude de vibração. Esta vibração ressonante induz a célula a liberar um impulso elétrico que passa ao longo do nervo auditivo para o cérebro. Em um processo que ainda não é compreendido inteiramente, o cérebro é capaz de interpretar as qualidades do som pela reação dos impulsos nervosos (Bertulani, 2012).

2.9.1 Psicoacústica

Segundo Fernandes, (2005), a Psicoacústica estuda as sensações auditivas para estímulos sonoros. Esta trata dos limiares auditivos, limiares de dor, percepção da intensidade da frequência do som, e os efeitos da audição binaural (localização das fontes, efeito estéreo, surround etc.). Para Nepomuceno (1994), a Psicoacústica procura interpretar como o sistema auditivo responde aos sons.

A região de maior sensibilidade do ouvido situa-se entre 2.000 Hz e 3.000 Hz, dentro da faixa de frequências audíveis que vão, normalmente de 16 Hz a 20.000 Hz. A audição humana é tão sensível, que seria capaz de discriminar diferenças de pressões tão pequenas, da ordem de 10^{-5} N/m², que corresponde à pressão de agitação térmica de moléculas no ar. Entretanto, as

interferências dos sons ambientais e fisiológicos não o permitem (Nepomuceno, 1994).

2.9.1.1 Lei de Weber-Fechner

A Lei de Weber-Fechner relaciona a intensidade física de uma excitação e a intensidade subjetiva da sensação de uma pessoa. De maneira geral, a Lei de Weber-Fechner diz que o aumento do estímulo necessário para produzir um aumento mínimo na sensação é proporcional ao preexistente. Assim:

$$S = k \cdot \log(I), \quad (20)$$

na qual S é a sensação, I é a intensidade e k é uma constante (Fernandes, 2005).

Para acústica, a lei diz que sons de frequência constante, cujas intensidades físicas variam em progressão geométrica, produzem sensações cujas intensidades subjetivas variam em progressão aritmética (Fernandes, 2005).

2.9.1.2 Audibilidade

A audibilidade é o estudo de como o ouvido recebe e interpreta as flutuações da pressão sonora associadas às variações de frequência (Fernandes, 2005). Com o desenvolvimento dos aparelhos eletrônicos, deficiências e dificuldades no desenvolvimento da audibilidade foram removidas (Nepomuceno, 1994).

Para determinar o limiar de audibilidade, um observador saudável é colocado de frente a uma fonte sonora e esta deve estar a 1 m. Testam-se frequências de 60 Hz a 15.000 Hz. O observador ouve um som e pressiona um botão indicando que ouviu o mesmo, o experimentador diminui a o volume deste som, isto é, a amplitude do tom, gradualmente até chegar ao limiar de audibilidade do indivíduo (Nepomuceno, 1994).

Para determinar o limiar de dor do observador, coloca-se uma fonte vibrando a 1 kHz a 1 m do observador. Aumenta-se a intensidade sonora até

que o observador sinta uma sensação dolorosa acompanhada da audição, repete-se isto para tantas frequências quanto forem necessárias (Fernandes, 2005).

Os sons compreendidos entre as curvas do limiar de audibilidade e do limiar de dor formam o campo de audibilidade, a Figura 36 mostra este campo (Fernandes, 2005).

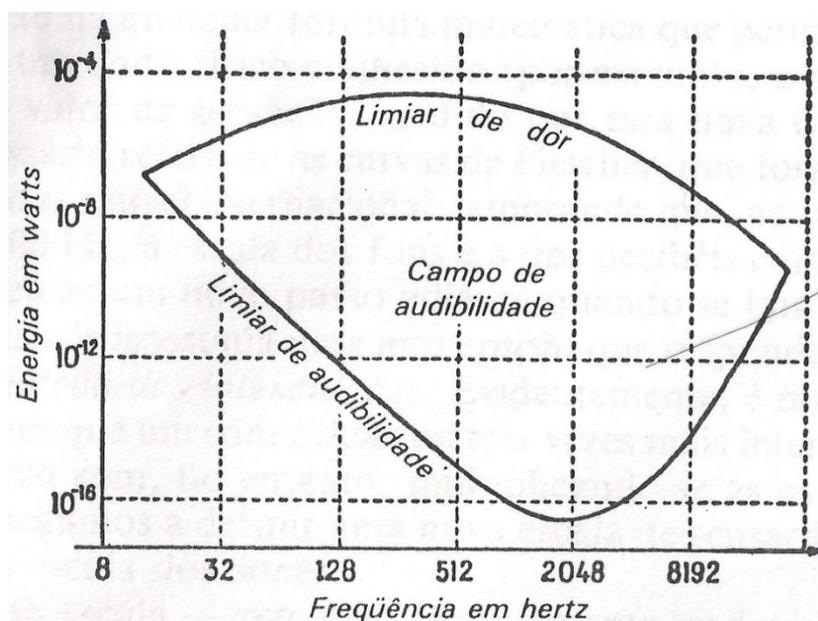


Figura 36 - Campo de audibilidade

Fonte: Matras (1991)

2.9.1.2.1 Medida da sensação de intensidade

Constatou-se que, na zona central do campo de audibilidade, a sensação de intensidade é sensivelmente igual ao logaritmo da energia excitadora (lei de Weber-Fechner).

Assim, a intensidade I de um som de energia P é definida pela equação:

$$I - I_0 = \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (21)$$

P_0 sendo, por definição, a energia que dá uma intensidade I_0 .

Através desta equação, determinam-se as curvas de Fletcher e Munson (Matras, 1991). Estas curvas dizem, por exemplo, que um som de 50 dB de NIS em 1 kHz tem o mesmo nível de audibilidade de um som de 70 dB de NIS e 80 Hz, a Figura 37 mostra estas curvas (Fernandes, 2005).

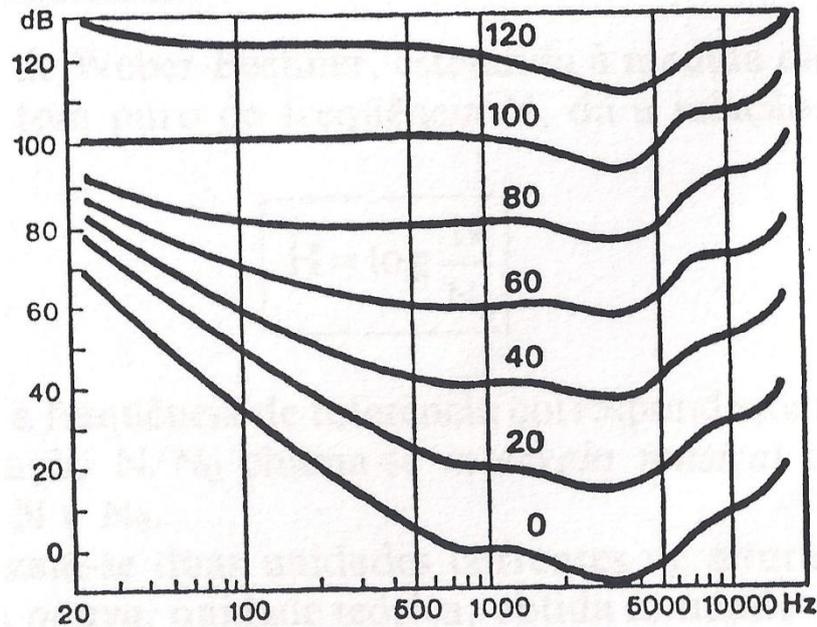


Figura 37 - Curvas de Fletcher

Fonte: Matras (1991)

2.9.1.3 Audição Binaural

A audição binaural é a característica da audição que permite perceber a direção do som. Assim, quando a acuidade auditiva é semelhante em ambas às orelhas, a direção de um som pode ser definida com grande exatidão. Esta habilidade é baseada na diferença de tempo de chegada e de intensidade do som que chega às duas orelhas. Quando a fonte sonora está localizada diretamente na frente ou atrás da cabeça, o som chega a ambas as orelhas ao mesmo tempo. Quando vem de outra direção, alcança cada orelha em tempos diferentes, devido à diferença da distância de cada orelha e a fonte. A intensidade sonora depende da onda sonora e do tamanho da cabeça (efeito sombra) e a diferença de intensidade tem uma relação complexa com a distância angular e é altamente dependente do espectro sonoro (Paulucci, 2005; Fernandes, 2005).

2.9.2 Problemas Causados por Ruído

De acordo com Melnick (1985) apud Neto (2007), os efeitos do ruído na audição podem ser divididos em três categorias:

- Mudança temporária de limiar (TTS): caracteriza-se por ter efeito de curto prazo que depende da suscetibilidade individual do tempo de exposição, intensidade e frequência do ruído. A queda no limiar retorna gradualmente ao normal quando cessa a exposição.
- Trauma acústico: trata-se de perda auditiva súbita em função de uma exposição repentina a um ruído muito intenso. Como consequência, aparece zumbido imediato, rompimento da membrana timpânica, hemorragia e danos à cadeia ossicular.
- Mudança permanente de limiar (PTS): decorrente de um acúmulo de exposição a um ruído repetitivo por um período de muitos anos.

Os efeitos do ruído no ambiente de trabalho são:

- a) problemas de comunicação: causa erro na interpretação das palavras;
- b) baixa concentração: causa falhas na realização de tarefas;
- c) provoca desconforto: causa incômodo;
- d) nervosismo: causa irritabilidade;
- e) cansaço: causa stress e indisposição;
- f) baixo rendimento: causa queda na produção;
- g) provoca acidentes: causa atos inseguros (Bastos, 2005).

Os efeitos do ruído sobre o organismo:

- a) estreitamentos dos vasos sanguíneos;
- b) aumento da pressão sanguínea (hipertensão);
- c) contração muscular;
- d) ansiedade e tensão;
- e) alterações menstruais na mulher;
- f) impotência sexual no homem;
- g) zumbido (Bastos, 2005).

A exposição contínua a ruídos intensos (em média 85 dB por oito horas diárias) causa a Pair, acrônimo para perda auditiva induzida por ruído. Este tipo

de ruído ocorre muito na indústria, principalmente nas indústrias siderúrgica, metalúrgica, gráfica, têxtil, de papel e papelão, de vidro, entre outras (Ministério da Saúde, 2006).

Quando a exposição ao ruído acontece de forma súbita e muito intensa, pode ocorrer o trauma acústico, lesando, temporária ou definitivamente, diversas estruturas do ouvido. Outro tipo de alteração auditiva provocado pela exposição ao ruído intenso é a mudança transitória de limiar, que se caracteriza por uma diminuição da acuidade auditiva que pode retornar ao normal, após um período de afastamento do ruído (Ministério da Saúde, 2006).

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 Descrição da Metodologia

A metodologia utilizada será o Método Experimental. Na pesquisa experimental o pesquisador procura refazer as condições de um fato a ser estudado, para observá-lo sob controle. Para tal, se utilizam de local apropriado, aparelhos e instrumentos de precisão para demonstrar as causas ou o modo pelo qual um fato é produzido, proporcionando assim o estudo de suas causas e efeitos (Keller, 1991; Bastos, 1991).

No desenvolvimento deste projeto, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica para fundamentação teórica. Com a definição dos equipamentos que são objetos do estudo da medição da potência sonora, as medições dos mesmos foram efetuadas, com a finalização das medições foi feita uma análise e comparação dos dados encontrados, esta análise foi finalizada através do relatório conclusivo.

Para este trabalho, foi avaliada a potência acústica emitida por equipamentos de uso doméstico. A medição em ambiente reverberante é dependente de parâmetros relacionados ao tamanho e ao ruído presente no mesmo (série de normas ISO 374X). Assim, será necessário o uso de dois fatores de correção, um que leva em conta o tempo de reverberação no ambiente e outro que leva em conta o ruído de fundo.

O fator de correção que relaciona a variação do ambiente devido ao tempo de reverberação é o K_{2A} . Quanto maior o tempo de reverberação de um ambiente, maior será o fator K_{2A} . Como este fator, isto é, o tempo de reverberação será avaliado, decidiu-se usar dois ambientes com diferentes tempos de reverberação.

Já o parâmetro que mede o ruído de fundo presente no ambiente é K_{1A} , este fator é uma medida de correção relacionada ao ruído de fundo presente no ambiente. Como este fator também será avaliado decidiu-se usar dois níveis de ruído de fundo, um ruído de fundo baixo, isto é, o próprio ruído presente no ambiente e outro com ruído de fundo gerado por uma fonte sonora específica para isto.

Foi utilizada a série de normas ISO 374X, o equacionamento e método destas normas corrigem os desvios causados na variação do ambiente e ruído de fundo através do uso de K_{1A} e K_{2A} . Com isto, espera-se que a potência sonora medida para cada equipamento seja a mesma, apesar das diferentes condições de medição, isto é, ambiente e ruído de fundo. Caso isso não ocorra será necessário uma análise mais profunda dos resultados para justificá-los.

3.1 Materiais e Métodos

3.1.1 Materiais

Os materiais usados neste estudo estão descritos abaixo.

3.1.1.1 *Microfone*

O microfone a ser usado será o MCE 212 de ½" da marca 01dB. Este microfone é um microfone condensador capacitivo. A Figura 38 mostra o mesmo.



Figura 38 – Microfone MCE 212

3.1.1.2 Pré-Amplificador

O pré-amplificador que será usado é o PRE 21S da marca 01dB. Este pré-amplificador tem a função de preparar o sinal captado pelo microfone para o posterior processamento. A Figura 39 mostra este pré-amplificador.



Figura 39 – Pré Amplificador PRE 215

3.1.1.3 Calibrador

O calibrador acústico que será usado é o Cal 21 da marca 01dB. O calibrador acústico é um gerador de pressão sonora padrão fabricado para a calibração de medidor de pressão sonora. A Figura 40 mostra o calibrador em questão.



Figura 40 – Calibrador

3.1.1.4 Medidor Integrador

O medidor integrador que será usado é SOLO Black tipo I (um) da marca 01dB. A Figura 41 ilustra este medidor.



Figura 41 – Medidor integrador

3.1.1.5 Fonte de Ruído

A fonte de ruído usada neste estudo é a fonte geradora de ruído dodecaédrica da marca 01dB, modelo OMNI 12. A Figura 42 mostra essa fonte.



Figura 42 – Fonte de Ruído dodecaédrica

3.1.1.6 Ar Condicionado da sala I-002

O ar condicionado da sala I-002 mesmo não tendo marca explícita apresenta ruído constante ao longo do tempo e é um ruído não artificial, podendo ser considerado como fonte de ruído de fundo para este trabalho no caso da sala I-002. A Figura 43 mostra este ar condicionado.



Figura 43 – Ar condicionado da sala I-002

A Figura 44 mostra saídas de ar do ar condicionado da sala I-002. Nota-se nesta imagem a presença de dois *splitters* que são usados ao invés do ar condicionado original, uma vez que este possui um ruído muito elevado.



Figura 44 – Saídas de ar na I-002

3.1.1.7 Trena

Para esta etapa utilizou-se duas trenas métricas seminovas em bom estado (Figura 45).



Figura 45 – Trena métrica usada no experimento

3.1.1.8 Paquímetro

O paquímetro usado neste trabalho é o digital da marca King Tools, modelo 502.150BL (Figura 46).



Figura 46 – Paquímetro digital KingTools, modelo 502.150BL

Fonte: KingTools (2013)

3.1.1.9 Outros Materiais

Além dos materiais acima descritos, foram usados esquadros, réguas, martelos, entre outros.

3.1.1.10 Fontes para Medição

Os equipamentos a serem medidos serão dois equipamentos de uso doméstico. Um será o aspirador de pó da marca Electrolux, modelo FLEX 1400 (Figura 47). Através da percepção subjetiva, nota-se que este possui um alto nível potência sonora.



Figura 47 – Aspirador de pó FLEX 1400 da Electrolux
Fonte: Souza Magazine (2012)

O outro equipamento será uma furadeira da marca Black & Decker, modelo KR505-BR tipo 1. A figura 48 mostra a furadeira em questão.



Figura 48 – Furadeira KR505-BR
Fonte: Ruflav.com (2012)

3.1.1.11 Programas para Tratamento de Dados

Os dados obtidos nas medições e suas análises foram tratados com auxílio do programa de planilhas Microsoft Excel 2010.

3.1.2 Ambientes Usados no Trabalho

Para obter a variação de K_{2A} foram usados dois ambientes diferentes. O primeiro ambiente é uma sala de aula da UTFPR, a I-002, a elipse em vermelho na Figura 49 mostra a localização desta sala.



Figura 49 – Localização da sala I-002

Fonte: Google maps (2013)

Esta sala foi escolhida, pois possui um ambiente pequeno, i.e, possui um tempo de reverberação baixo, e isolado acusticamente. Ela possui vidros duplos e inclinados que levam a este isolamento acústico, além disso, não possui janelas que possam ser abertas (Figuras 50 e 51). Assim, a sala possui um ruído de fundo mais baixo que outras salas da universidade que estavam disponíveis.



Figura 50 – Área externa a sala I-002



Figura 51 – Detalhe das janelas duplas da sala

As Figuras 52 mostra a sala vazia pronta para medição.



Figura 52 – Interior da sala I-002

O outro ambiente é o mini ginásio (doravante, ginásio) coberto da UTFPR que fica entre a piscina e as quadras externas, a elipse em vermelho destaca na Figura 53 a localização deste ginásio.



Figura 53 – Localização da quadra da UTFPR

Fonte: Google maps (2012)

Este ginásio foi escolhido por ser bem maior que a I-002, assim, a mesma possui um tempo de reverberação maior. Outra diferença que esta apresenta é que esta sala não possui isolamento acústico elevado como a I-002. A Figura 54 mostra o interior do ginásio.



Figura 54 – Interior do ginásio da UTFPR

3.1.3 Métodos

O método usado para este trabalho é conforme a norma ISSO 3746:2011-03, este método está descrito no item 2.7.5.

4 DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

4.1 Preparação para o Experimento

4.1.1 Paralelepípedo de Medição

Medem-se as dimensões L_1 , L_2 e L_3 para cada fonte sonora usada no experimento.

A furadeira foi medida usando-se o paquímetro digital e a trena. O paralelepípedo que tangencia a furadeira é composto por L_1 do mandril totalmente aberto até o plano que tangencia a parte mais externa do pegador (Figura 55), este plano criou usando-se uma régua metálica com baixo empenamento. L_2 de uma extremidade a outra da carcaça que envolve o motor (Figura 56). L_3 da carcaça que envolve o motor até o fim do acabamento do cabo (Figura 57), este foi medido usando-se dois esquadros tangenciando ambas partes.



Figura 55 – Medida L_1 da furadeira



Figura 56 – Medida L_2 da furadeira



Figura 57 – Medida L_3 da furadeira

As medidas encontradas para a furadeira são

$$L_1 = 70 \text{ mm,}$$

$$L_2 = 265 \text{ mm e}$$

$$L_3 = 240 \text{ mm.}$$

Como a furadeira não possui base para permanecer na posição vertical. Foi feito uma base para que a mesma permanecesse nesta posição e ao mesmo tempo ficasse permanentemente ligada enquanto estivesse na base. A base é um tubo retangular industrial de 100 mm x 450 mm x 2 mm de espessura com comprimento de 124 mm em conjunto com uma chapa de divisória em colmeia medindo 70 mm x 75 mm x 25,4 mm de espessura. O botão de acionamento da furadeira foi fixado na posição ligado usando-se uma fita durex larga. Devido a pequena vibração que a furadeira apresenta, a mesma foi fixada no chão usando-se também fita durex larga, a Figura 58 mostra a base as peças que definiram a base e a Figura 59 mostra a furadeira montada na base e fixada no chão.



Figura 58 – Base para a furadeira



Figura 59 – Furadeira encaixada em sua base

O aspirador de pó foi medido usando-se a trena. O paralelepípedo que tangencia o aspirador é composto por L_1 que mede a frente do aspirador, isto é, a face que contém o bocal de conexão da mangueira do aspirador (entrada de ar), para medir esta face, encostou-se uma lateral do aspirador em uma parede e a outra lateral em um criado mudo de madeira que possui as faces verticais (Figura 60). L_2 da entrada de ar até a saída de ar do aspirador, para medir esta, encostou-se a entrada de ar no criado mudo e a face com a saída de ar na parede (Figura 61). L_3 , das rodas (superfície) até a alça de carregamento, para medir esta, encostou-se as rodas do aspirador em uma porta e sua alça no criado mudo (Figura 62).



Figura 60 – Medida L_1 do aspirador



Figura 61 – Medida L_2 do aspirador



Figura 62 – Medida L_3 do aspirador

As medidas encontradas para o aspirador de pó são $L_1 = 392$ mm, $L_2 = 370$ mm, $L_3 = 396$ mm.

4.1.2 Volume dos Ambientes

Mediu-se o volume de cada sala. Para se medir os volumes dos ambientes foram usados trenas, no caso do ginásio foi usado uma trena de 20 metros, para se medir a altura do ginásio foi necessário escalar uma de sua colunas. A tabela 2 apresenta dimensões de cada sala de medição e seus respectivos volumes.

Tabela 2 – Medidas das salas de medição e seus volumes

	Volumes dos Ambientes			
	F (m)	L (m)	H (m)	V (m ³)
Sala	10	5,9	2,96	174,64
Ginásio	31	18	7,5	4185

4.1.3 Confeção do Paralelepípedo de Medição

A partir das medidas L_1 , L_2 e L_3 do aspirador de pó, construíram-se as estruturas que contem as superfícies de medição e os pontos onde se colocam o microfone em cada superfície. Foi feita uma estrutura para a sala e outra estrutura para o mini ginásio. As medidas destas estruturas aramadas são conforme as equações 7, 8 e 9. Para o experimento, adotou-se $d = 1$ m.

A estrutura para a sala foi confeccionada com arames de aço galvanizado de \varnothing 2,5 mm. Primeiro foi estendido o arame na sala, tornando-o o mais retilíneo possível e fixou-se o mesmo no chão. Após isto, mediu-se um pedaço de arame na medida 2a (2370 mm) e marcou-se esta medida, repetiu-se o processo duas vezes para a medida 2c (1390 mm), repetiu-se o mesmo processo para a medida 2b (2390 mm) e mais duas vezes para a medida 2c, assim tinha-se 6 marcas de medidas. Então dobrou-se o trecho da primeira medida (2a) a 90° para cima (desafixando o segundo trecho do chão), dobrou-se a segunda medida (2c) a 180° para baixo e a terceira medida (2c) a 90° em relação a vertical e mais 90° em relação ao chão e fixou-se o trecho com a quarta medida no chão.

Repetiu-se este processo para o quarto, quinto e sexto trecho. Repetiu-se todo o processo acima para os trechos 7, 8, 9, 10, 11 e 12, formando assim, a base da estrutura aramada para a medição na sala. Para garantir a estabilidade da estrutura, a mesma foi amarrada com barbantes entre si e suas pontas superiores foram fixadas com barbante na própria sala.

Cada face vertical do paralelepípedo foi dividida horizontalmente em 2 outras faces de tamanhos iguais, todas as faces verticais superiores foram ainda divididas verticalmente, assim, o ponto que pertence as todas subfaces de uma face do paralelepípedo é um ponto receptor. O ponto receptor da face horizontal do paralelepípedo foi determinado fazendo-se a intersecção das

diagonais de seus vértices. Além destes pontos receptores, têm-se ainda os vértices como pontos adicionais de medição.

A estrutura foi fixada no centro da sala para que as medições fossem influenciadas o mínimo possível pelas paredes, pois caso estivessem próximas demais, elas agiriam como superfícies refletoras.

A Figura 63 mostra a estrutura aramada para a furadeira e para o aspirador de pó montada na sala I-002.



Figura 63 – Estrutura aramada da sala

Para o mini ginásio, foi usado madeira mista de perfil 25,4 mm x 25,4 mm para se confeccionar a estrutura que contem as faces de medição.

Primeiro, cortou-se quatro pedaços de 2.390 mm, quatro pedaços de 2.320 mm e quatro pedaços de 1.350 mm. Colocou-se no chão um pedaço de 2.390 mm, pregou-se um pedaço de 1350 mm na ponta formando-se um ângulo de 90° um com o outro, pregou-se outro pedaço de 1350 mm na outra ponta, formando-se também um ângulo de 90°. Vendo-se que era muito difícil pregar um prego do início ao fim na madeira para fixar uma madeira na outra,

decidiu-se apontar todos os pregos necessários para a estrutura. Fez-se dois retângulos com os pedaços de 2.390 mm e 1.350 mm, formando dois retângulos de dimensões externas 2.390 mm x 1.390 mm.

Esses dois retângulos foram ligados com os pedaços de 2320 mm o mais próximo possível da ponta, mas sem atrapalhar os pregos que já estavam fixados.

Os pontos receptores foram marcados usando-se barbantes, de maneira bem semelhante ao que foi feito na estrutura aramada usada na sala.

Esta estrutura de madeira também foi fixada com barbantes nas colunas de sustentação do ginásio para prevenir que a mesma não se desmontasse de um dia para o outro, uma vez que esta foi confeccionada no dia anterior a medição.

A estrutura foi colocada no centro do ginásio para que as medições fossem influenciadas o mínimo possível pelas paredes, pois caso estivessem próximas demais, elas agiriam como superfície refletora. A Figura 64 mostra a estrutura montada no ginásio.



Figura 64 – Estrutura aramada do ginásio

4.2 Caracterização dos Ambientes

A caracterização do ambiente se faz pela obtenção do coeficiente de absorção sonora A da sala. Como esse coeficiente foi calculado pela fórmula de Sabine (equação 15) foi necessário primeiro obter o T_R por meio da medição do tempo de reverberação da sala.

Para a medição do T_R da sala foi usado o medidor integrador SOLO Black tipo I (um) e uma fonte sonora dodecaédrica.

A fonte dodecaédrica emitiu um sinal sonoro, ruído rosa, no ambiente, o medidor integrador capta o sinal sonoro até que este esteja estável (cerca de 20 s), então se desliga a fonte e o medidor integrador calcula o tempo necessário para que o nível de pressão sonora decaia 60 dB.

Os dados medidos em campo foram transferidos para um computador e tratados com o auxílio do programa Excel, o qual forneceu os valores médios das medições do T_R em cada frequência e T_R médio do ambiente.

Para a sala I-002 foram realizadas medições em seis pontos receptores para duas posições de fonte sonora. As Figuras 65 e 66 mostram um esquema com a localização dos pontos receptores e da fonte sonora para a medição do T_R da sala. Os números representam os pontos receptores.

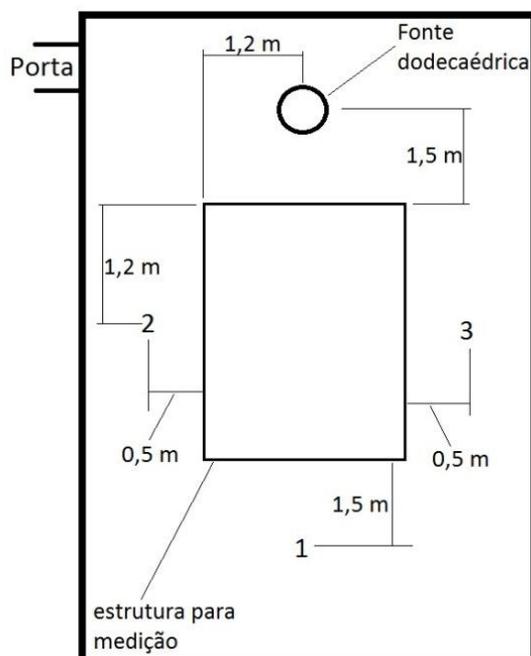


Figura 65 – Pontos receptores do T_R na sala

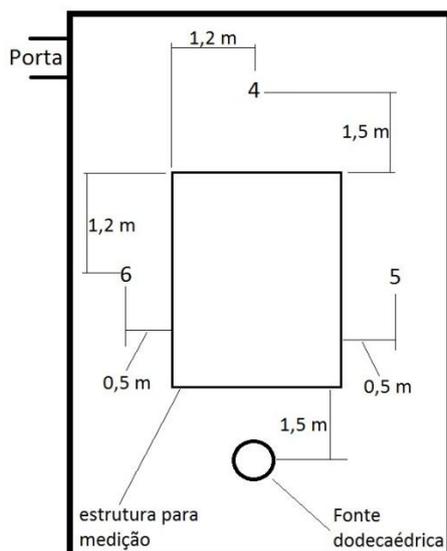


Figura 66 – Pontos receptores do T_R na sala

A Figura 67 mostra a fonte dodecaédrica posicionada na segunda posição para a medição do tempo de reverberação na sala.



Figura 67 – Local da fonte para a medição do tempo de reverberação dos pontos 4, 5 e 6

Para o ginásio foram realizadas medições em doze pontos receptores para duas posições de fonte sonora. As Figuras 68 e 69 mostram um esquema

com a localização dos pontos receptores e da fonte sonora para a medição do T_R da sala. Os números representam os pontos receptores; A e B são as posições que a fonte dodecaédrica assumiu.

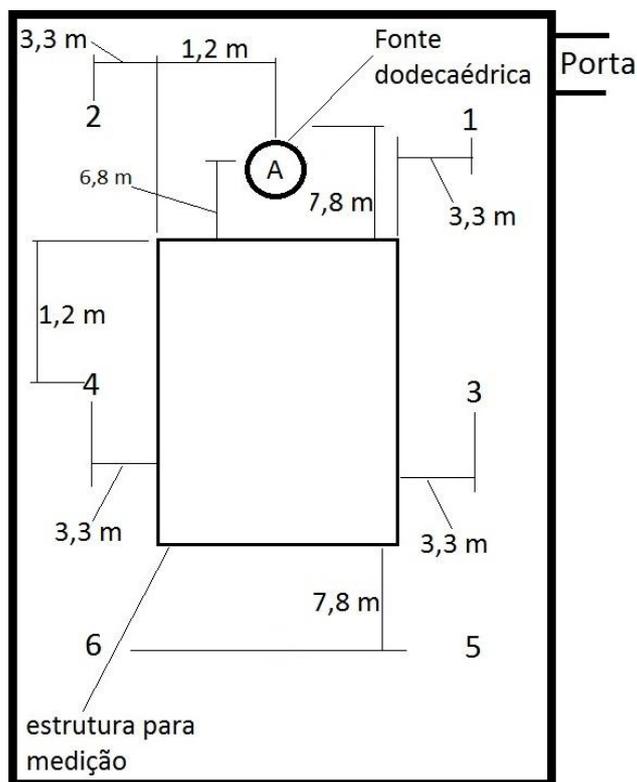


Figura 68 – Pontos receptores do T_R no ginásio

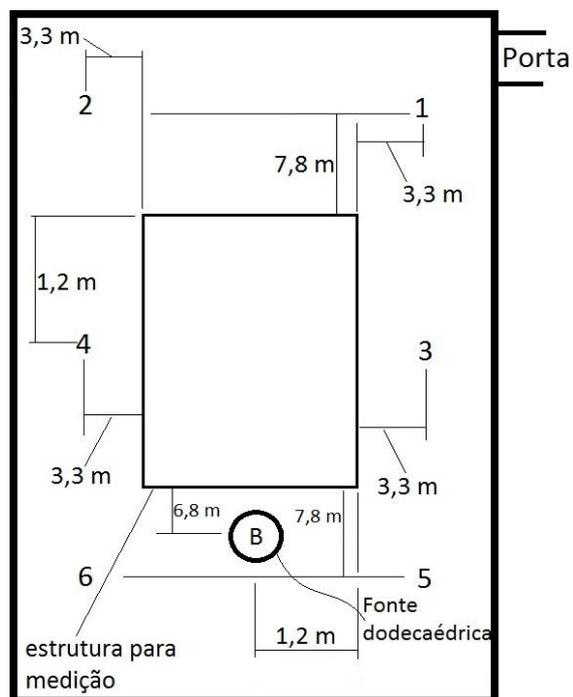


Figura 69 – Pontos receptores do T_R no ginásio

As Figuras 70 e 71 mostram a fonte dodecaédrica na posição A e B respectivamente.



Figura 70 – Ponto A da fonte dodecaédrica



Figura 71 – Ponto B da fonte dodecaédrica

4.3 Medição do Ruído de Fundo

Uma vez caracterizada a sala, passou-se para a medição do ruído de fundo.

Para a situação de baixo nível de ruído de fundo da sala I-002, usou-se o ruído de fundo natural da sala. Já para a situação de elevado nível de ruído de fundo, foi adicionado o ruído do próprio ar condicionado presente na sala. Foram usados três pontos receptores em diferentes posições em cada medição do ruído de fundo da sala. A Figura 72 mostra um esquema de onde então os pontos receptores na medição do ruído de fundo da sala. Os números representam estes pontos receptores.

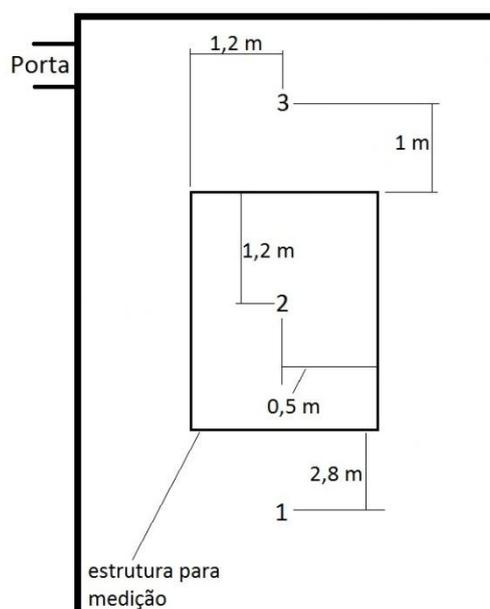


Figura 72 – Pontos receptores do ruído de fundo na sala

Para a situação de baixo nível de ruído de fundo do ginásio, usou-se o ruído de fundo natural da sala. Já para a situação de elevado nível de ruído de fundo, foi adicionado o ruído da fonte dodecaédrica. Foram usados seis pontos receptores em diferentes posições em cada medição do ruído de fundo da sala. A Figura 73 mostra um esquema de onde então os pontos receptores na medição do ruído de fundo do ginásio. Os números representam estes pontos receptores.

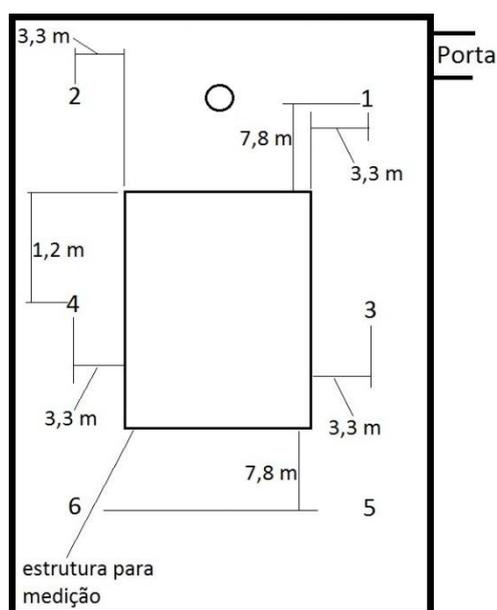


Figura 73 – Pontos receptores do ruído de fundo no ginásio

4.4 Medição do Nível de Pressão Sonora

De acordo com a norma, foram considerados nove pontos receptores sobre a superfície de medição: um em cada face da superfície de medição e mais quatro pontos comuns a todas as faces, no caso, estes pontos são os vértices superiores.

A Figura 74 mostra um esquema de onde então os pontos receptores na medição do nível de pressão sonora na sala. Os números representam estes pontos receptores. Os pentágonos são o local dos equipamentos avaliados.

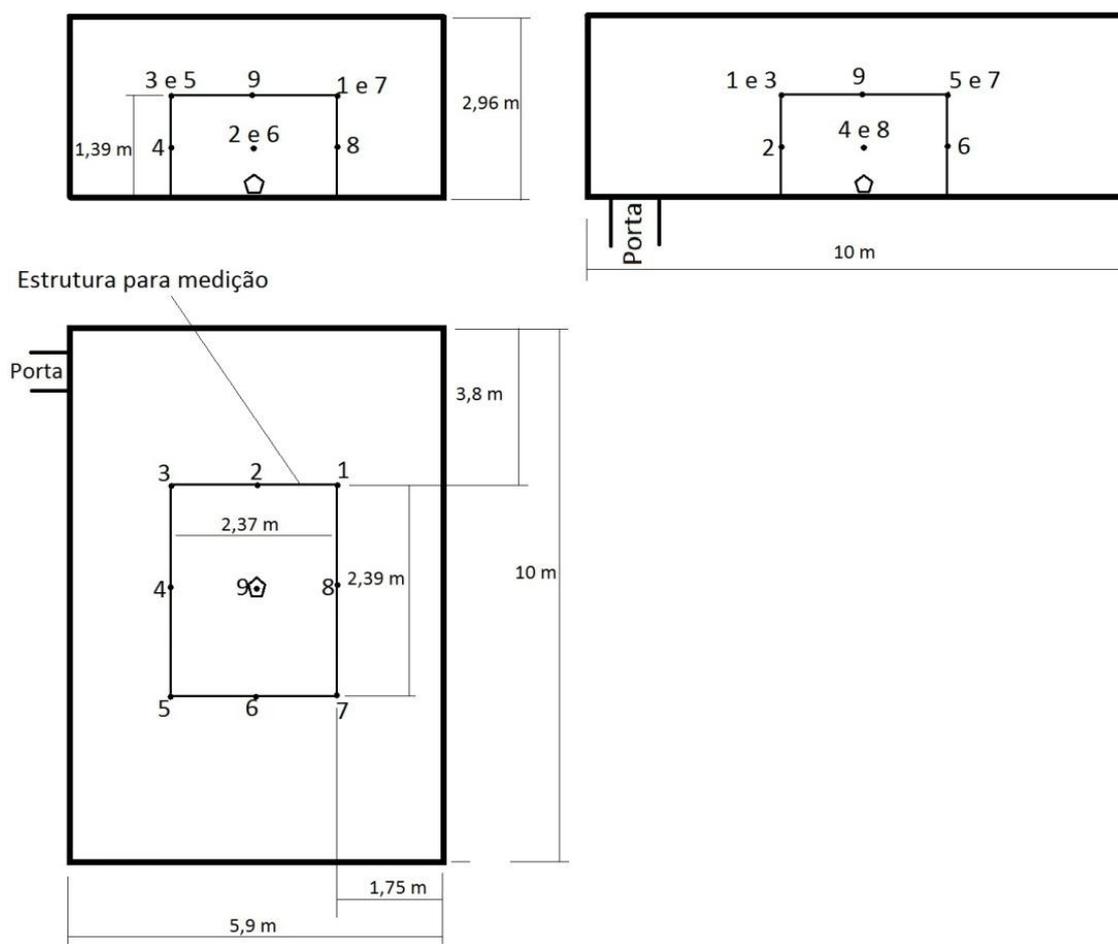


Figura 74 – Pontos receptores da sala

As Figuras 75, 76, 77 e 78 mostram respectivamente a medição dos pontos 1, 2, 7 e 9 para o aspirador de pó na sala.



Figura 75 – Medição do nível de pressão sonora

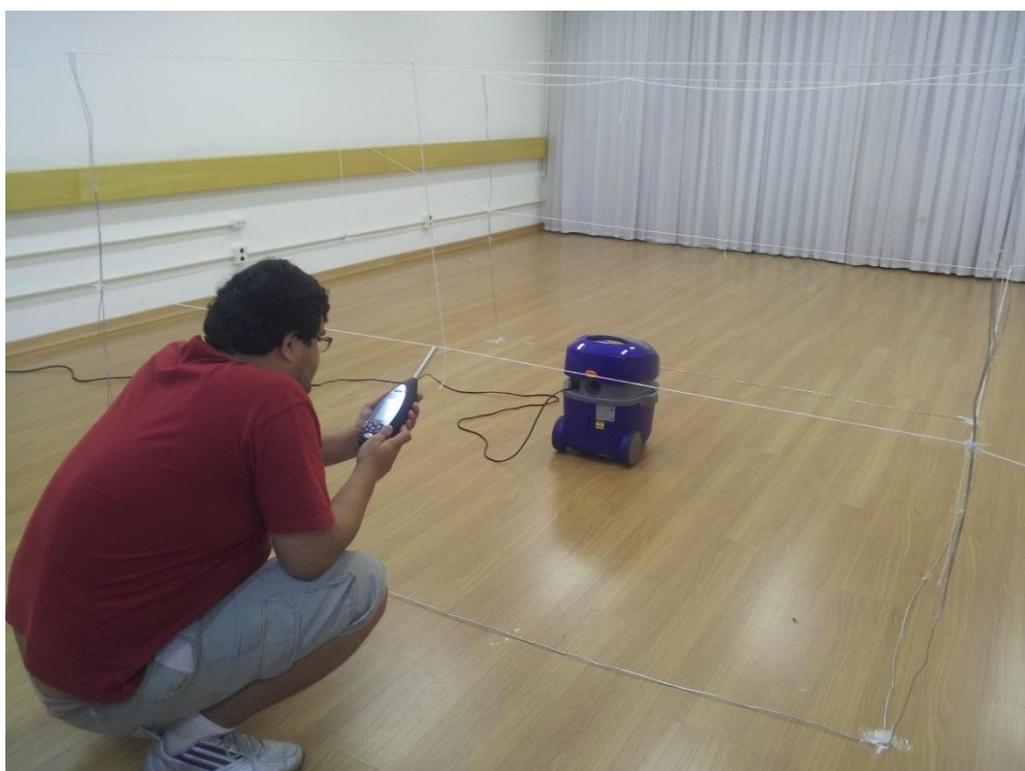


Figura 76 – Medição do nível de pressão sonora



Figura 77 – Medição do nível de pressão sonora

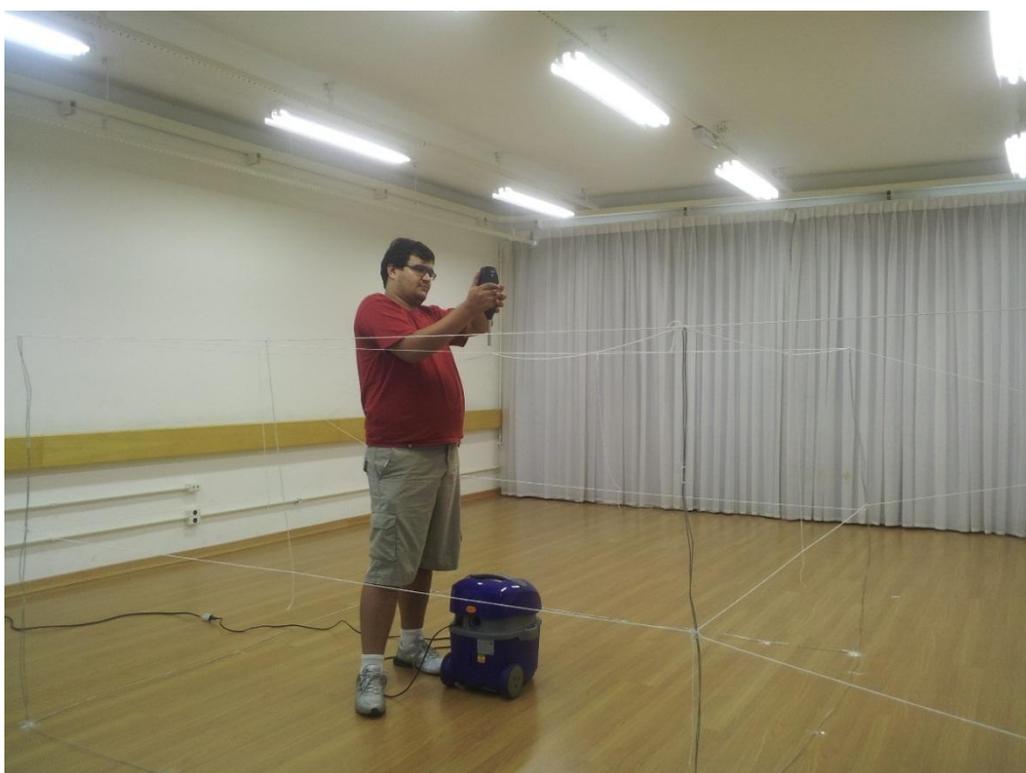


Figura 78 – Medição do nível de pressão sonora

A Figura 79 mostra um esquema de onde então os pontos receptores na medição do nível de pressão sonora no ginásio. Os números representam estes pontos receptores. Os pentágonos são o local dos equipamentos avaliados.

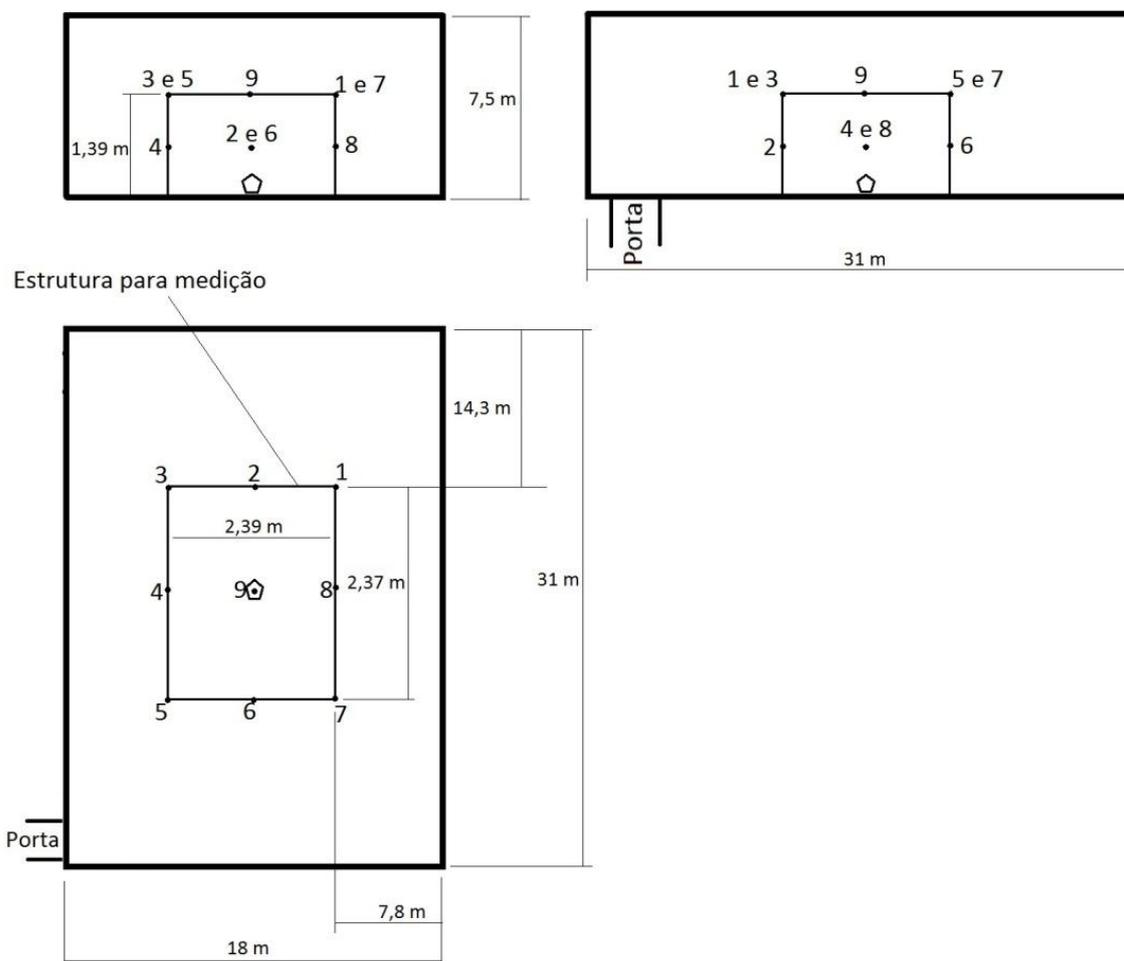


Figura 79 – Pontos receptores do ginásio

As Figuras 80, 81, 82 e 83 mostram respectivamente a medição dos pontos 1, 3, 4 e 7 para a furadeira no ginásio. A Figura 84 mostra a medição do ponto 9 para o aspirador de pó.



Figura 80 – Medição do nível de pressão sonora



Figura 81 – Medição do nível de pressão sonora



Figura 82 – Medição do nível de pressão sonora



Figura 83 – Medição do nível de pressão sonora



Figura 84 – Medição do nível de pressão sonora

Uma vez feitas as medições, prosseguiu-se com os cálculos de acordo com a metodologia selecionada.

5 RESULTADOS

5.1 Metodologia Efetivamente Utilizada e a Prevista pela Norma

5.1.1 Diferença na Superfície de Medição

Para este trabalho, adotou-se a mesma estrutura tanto para o aspirador quanto para a furadeira, uma vez que o erro causado por esta hipótese seria mínimo. O erro assumido é calculado a seguir na tabela 3.

Tabela 3 – Erro assumido para o paralelepípedo da furadeira

Diferença entre valores d para a furadeira				
	F (m)	L (m)	H (m)	S (m ²)
Aspirador	2,37	2,39	1,39	18,95
Furadeira	2,07	2,26	1,24	15,42
Δd	0,15	0,06	0,07	
d real	1,15	1,06	1,07	

A diferença entre as distâncias calculadas não é suficientemente expressiva para gerar diferença nas medições, além disso, apesar de aceitar valores menores, a norma recomenda que distância da superfície de medição seja no mínimo 1 m, o que nesta configuração está garantido.

O erro percentual relativo quanto a maior distância da superfície de medição para a furadeira e a menor distância da superfície de medição para a furadeira é calculado abaixo.

$$Err_x = \left(\frac{1,15 - 1,06}{1,15} \right) * 100 = 7,8\%.$$

Para a furadeira e o aspirador, as superfícies de medição possuem as medidas conforme a tabela 4. A área de medição no ginásio é diferente, pois possui para que a madeira não influenciasse nas medições, o medidor integrador foi posicionado 10 cm para dentro de cada face do paralelepípedo de medição.

Tabela 4 – Medidas dos paralelepípedos de medição

Áreas das superfícies de medição				
	F (m)	L (m)	H (m)	S (m ²)
Sala	2,37	2,39	1,39	18,95
Ginásio	2,35	2,37	1,38	16,36

5.1.2 Volume do Ginásio

Outro erro assumido na medição é no volume do ginásio usado. O teto do ginásio possui uma forma piramidal (Figura 85), entretanto, devido à dificuldade de se medir a mesma, assumiu-se que o ginásio possui uma forma de paralelepípedo (Figura 86), isto resulta em um pequeno erro no cálculo do volume do ginásio.

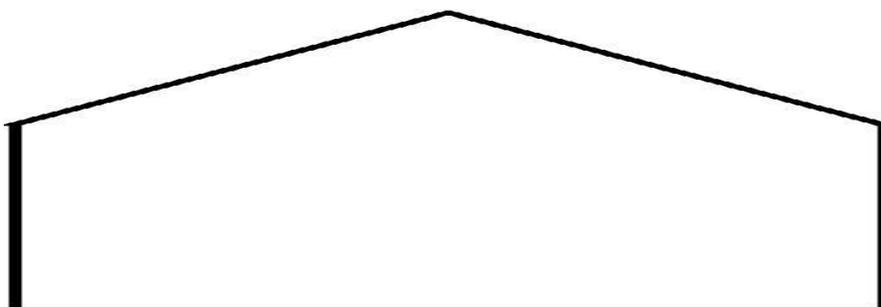


Figura 85 – Forma real do ginásio



Figura 86 – Forma assumida do ginásio

5.1.3 Interferência da Presença do Operador na Medição

Outro erro assumido é que a presença do operador interfere na medição, pois gera uma superfície refletora próxima ao medidor. O ideal era que houvesse um aparato para suportar o medidor.

5.2 Diferenças entre Cronogramas

O cronograma inicialmente proposto não previa diversos problemas que ocorreram durante este trabalho, como greve, medições que só podiam ser executadas aos fins de semana, entre outros.

5.3 Imprevistos

O projeto previa que se fariam medições testes para se acostumar ao processo de como usar os aparelhos do projeto e de como se preparar o ambiente para a medição, entretanto este foi deixado de lado.

Além disso, a montagem das estruturas para a medição foi mais difícil do que as próprias medições que foram feitas. Cita-se aqui que se demorou mais de cinco horas para se preparar a sala para medição, enquanto que a medição em si demorou, com intervalo incluso, 4h45min. Já para o ginásio, demorou-se 8 horas para se preparar o ambiente para a medição, enquanto que a medição em si requereu 5 horas com intervalo e espera da chuva cessar 2 vezes com duração de 1 hora cada para se continuar a medição.

5.4 Resultados

5.4.1 Fator de Correção do Ambiente K_{2A}

Destaca-se aqui que existem dois critérios para se determinar o tempo de reverberação, o primeiro critério toma a medida do ruído de fundo na frequência de 500 Hz como medida do ruído de fundo. O segundo critério toma a média do tempo de reverberação nas frequências de 250 Hz, 500 Hz e 1000 Hz como o valor do tempo de reverberação. Para este trabalho, usou-se o a média dos tempos de reverberação a 500 Hz como o tempo de reverberação para cada ambiente (células em verde claro). Apresenta-se na tabela 5 os resultados das medições do tempo de reverberação tanto para a sala I-002 quanto para o ginásio.

Tabela 5 – Tempo de reverberação

		TR60 (s)							
		Pontos	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	TR60(500)	TR60(média)
Sala	1	2,05	1,93	1,33	1,53	1,53	1,33	1,60	
	2	2,26	1,9	1,39	1,55	1,5	1,39	1,61	
	3	2,18	1,91	1,42	1,62	1,53	1,42	1,65	
	4	1,89	1,9	1,22	1,57	1,5	1,22	1,56	
	5	1,87	1,64	1,38	1,41	1,43	1,38	1,48	
	6	2	1,77	1,42	1,64	1,57	1,42	1,61	
		Média					1,36	1,59	
Ginásio	A1	2,78	3,68	4,17	4,56	4,15	4,17	4,14	
	A2	3,29	3,48	3,46	4,79	4,85	3,46	3,91	
	A3	2,97	3,39	4,1	4,61	4,15	4,10	4,03	
	A4	2,15	3,52	4,23	4,72	4,1	4,23	4,16	
	A5	3,24	3,45	4,37	4,6	4,12	4,37	4,14	
	A6	2,4	3,76	4,26	4,77	4,2	4,26	4,26	
	B1	2,88	2,99	4,15	4,6	4,2	4,15	3,91	
	B2	2,88	3,86	4,33	4,58	4,05	4,33	4,26	
	B3	2,95	3,23	4,27	4,6	4,2	4,27	4,03	
	B4	2,65	3,32	4,1	4,61	4,25	4,10	4,01	
	B5	2,91	3,5	4,23	4,78	4,17	4,23	4,17	
	B6	3,15	3,35	4,21	4,72	4,12	4,21	4,09	
		Média					4,16	4,09	

Repete-se abaixo a tabela 2 que contém os resultados dos volumes em m^3 para cada ambiente.

Tabela 2 – Medidas das salas de medição e seus volumes

	Volumes dos Ambientes			
	F (m)	L (m)	H (m)	V (m^3)
Sala	10	5,9	2,96	174,64
Ginásio	31	18	7,5	4185

A partir da equação 15, calcula-se o coeficiente de absorção sonora A para cada ambiente, a tabela 6 mostra este coeficiente.

Tabela 6 – Coeficiente de absorção sonora A

A (m^2)	
Sala	20,67
Ginásio	162,10

Repete-se abaixo a tabela 4 que contém o cálculo das superfícies de medição.

Tabela 4 – Medidas dos paralelepípedos de medição

Áreas das superfícies de medição				
	F (m)	L (m)	H (m)	S (m ²)
Sala	2,37	2,39	1,39	18,95
Ginásio	2,35	2,37	1,38	16,36

Através da equação 13, calcula-se o coeficiente K_{2A} , os resultados destes cálculos se encontram na tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Resultados do K_{2A}

K2A (dBA)	
Sala	6,69
Ginásio	1,47

5.4.2 Fator de Correção do Ruído de Fundo K_{1A}

Apresenta-se na tabela 8 abaixo as medições do ruído de fundo tanto para a sala I-002 quanto para o ginásio.

Tabela 8 – Medições do ruído de fundo

Ruído de Fundo (dBA)				
Sala			Mini Ginásio	
Pontos	SEM ar condicionado	COM ar condicionado	SEM ruído de fundo	COM ruído de fundo
1	29,8	59,8	52	79,8
2	30	58,8	54,7	79,6
3	29,1	59,7	54,6	79,1
4			52,7	79,3
5			54,9	78,1
6			53,5	78,8

A tabela 9 apresenta o cálculo do nível médio de pressão sonora do ruído de fundo no ambiente de medição $\overline{L'_{pA(B)}}$ que está de acordo com a equação 18.

Tabela 9 – Cálculo de $\overline{L'_{pA(B)}}$

L'pA(B) (dBA)		
Sala	SEM ar condicionado	29,65
	COM ar condicionado	59,46
Ginásio	SEM ruído de fundo	53,87
	COM ruído de fundo	79,15

A tabela 10 apresenta o cálculo do o nível médio de pressão sonora obtido na superfície de medição, usando a curva de ponderação A $\overline{L'_{pA(ST)}}$ que está de acordo com a equação19.

Tabela 10 – Cálculo de $\overline{L'_{pA(ST)}}$

		L'pA(ST) (dBA)	
Sala	Aspirador	SEM ar condicionado	85,28
		COM ar condicionado	85,07
	Furadeira	SEM ar condicionado	86,31
		COM ar condicionado	86,33
Ginásio	Aspirador	SEM ruído de fundo	81,80
		COM ruído de fundo	83,998
	Furadeira	SEM ruído de fundo	83,82
		COM ruído de fundo	85,55

A tabela 11 apresenta o cálculo de ΔL_{pA} que está de acordo com a equação17.

Tabela 11 – Cálculo de ΔL_{pA}

		ΔL_{pA} (dBA)	
Sala	Aspirador	SEM ar condicionado	55,62
		COM ar condicionado	25,61
	Furadeira	SEM ar condicionado	56,66
		COM ar condicionado	26,87
Ginásio	Aspirador	SEM ruído de fundo	27,94
		COM ruído de fundo	4,85
	Furadeira	SEM ruído de fundo	29,95
		COM ruído de fundo	6,4

A partir da equação 16, calcula-se o valor para o fator de correção quanto ruído de fundo K_{1A} . A tabela 12 mostra os resultados de K_{1A} .

Tabela 12 – Cálculo de K_{1A}

		k1 (dBA)	
Sala	Aspirador	SEM ar condicionado	1,188E-05
		COM ar condicionado	0,0119407
	Furadeira	SEM ar condicionado	9,376E-06
		COM ar condicionado	0,0089282
Ginásio	Aspirador	SEM ruído de fundo	0,0069871
		COM ruído de fundo	1,7236407
	Furadeira	SEM ruído de fundo	0,0043947
		COM ruído de fundo	1,1312024

5.4.3 Nível de Potência Sonora L_{wA}

A partir da equação 12, calcula-se o valor do nível de pressão sonora médio sobre a superfície de medição L_{pA} . A tabela 13 mostra os resultados de L_{pA} .

Tabela 13 – Cálculo de L_{pA}

		L_{pA} (dBA)	
Sala	Aspirador	SEM ar condicionado	78,58
		COM ar condicionado	78,37
	Furadeira	SEM ar condicionado	79,62
		COM ar condicionado	79,64
Ginásio	Aspirador	SEM ruído de fundo	80,33
		COM ruído de fundo	80,80
	Furadeira	SEM ruído de fundo	82,34
		COM ruído de fundo	82,94

Por fim, a equação 6 determina o nível de potência sonora L_{wA} . A tabela 14 apresenta estes cálculos.

Tabela 14 – Cálculo de L_{wA}

		L_{wA} (dBA)	
Sala	Aspirador	SEM ar condicionado	91,37
		COM ar condicionado	91,16
	Furadeira	SEM ar condicionado	92,39
		COM ar condicionado	92,42
Ginásio	Aspirador	SEM ruído de fundo	92,47
		COM ruído de fundo	92,94
	Furadeira	SEM ruído de fundo	94,48
		COM ruído de fundo	95,08

5.4.4 Análise dos Resultados

A Figura 87 apresenta um gráfico de barras com os resultados do nível de potência sonora obtido nas medições.

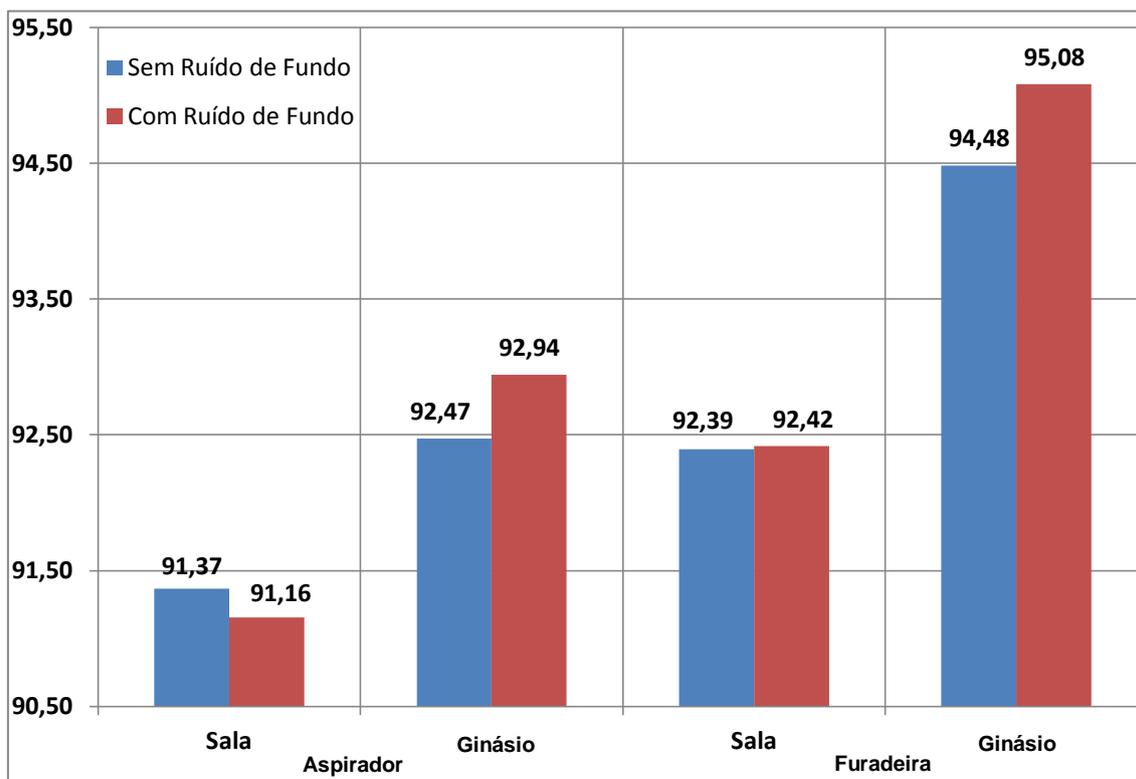


Figura 87 – Comparação gráfica de resultados das medições

A Figura 88 apresenta o adesivo do Programa Silêncio com o Selo Ruído para o aspirador de pó.



Figura 88 – Selo Ruído do Aspirador de Pó

Através da tabela D1 da norma ISO 3746: 2010, tem-se que o grau de precisão usado é 3 e as condições de montagem e operação são instáveis,

assim, o desvio padrão total vale 5 dB e a incerteza de medição expandida duas vezes este desvio padrão, isto é, 10 dB. Desta forma, dentro do que a norma específica propõe, todos estes erros assumidos são irrelevantes.

Comparando os resultados mostrados na Figura 88 com e sem ruído de fundo, nota-se que, exceto para o aspirador na sala I-002, a medição com ruído de fundo foi sempre maior que a medição sem ruído de fundo, entretanto esta diferença é sempre muito pequena, isto mostra que a correção dada pela norma quanto ao ruído de fundo é eficiente e o erro referente ao ruído de fundo é mínimo. Em percentual relativo, as diferenças são apresentadas na tabela 15 abaixo.

Tabela 15 – Diferença percentual relativa

Diferença Percentual Relativa para o Ruído de Fundo (%)		
Sala	Aspirador	0,230104836
	Furadeira	0,024526132
Ginásio	Aspirador	0,506635833
	Furadeira	0,631047073

Quanto aos valores referentes ao nível de potência sonora em ambientes com diferentes valores de ruído de fundo, considera-se como equivalentes, pois a diferença entre eles é muito baixa.

A análise da Figura 88 mostra que o nível de potência foi sempre mais elevado no ginásio. Em percentual relativo, as diferenças são apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 – Diferença percentual relativa

Diferença Percentual Relativa para o Ambiente (%)		
Sala	Aspirador	1,19
	Furadeira	1,92
Ginásio	Aspirador	2,21
	Furadeira	2,80

Repete-se abaixo a tabela 7 abaixo para sua análise.

Tabela 7 – Resultados do K_{2A}

K _{2A} (dBA)	
Sala	6,69
Ginásio	1,47

Quanto aos valores superiores encontrados nas medições do ginásio, observamos que o fator K_{2A} para o ginásio está abaixo de 2, sendo que a norma indica que este valor deve ser superior a 2. De acordo com a norma seria necessário uma correção quanto a este fator. Esta correção seria refazer todas as medições do nível de pressão sonora para um d quatro vezes maior que o da medida anterior. Para que esta nova medição fosse feita seria necessário uma nova superfície de medição com altura superior a 4 m e medidas laterais superiores a 8 m, além de contar com pelo menos 36 pontos receptores sobre essa superfície. Por esses motivos essa segunda medição é considerada impraticável.

Assim, como K_{2A} é menor que 2, seria necessário outra norma para tratar os dados da medição no ginásio apropriadamente. Além disso, isso demonstra que o ginásio em si não é um lugar propício para medição. Entretanto, isto não significa que ambientes com tempo de reverberação alto não possam ser usados para medições, mas sim que, no caso ginásio, seria necessária uma superfície de medição maior, que, como já foi dito, era impraticável.

A comparação entre o selo ruído, que é a medição oficial do INMETRO, com os resultados obtidos na medição mostra que o ambiente com maior tempo de reverberação demonstrou ser mais preciso que o ambiente de menor tempo de reverberação.

5.5 Produtos do Projeto

O produto deste projeto é a avaliação das técnicas de medição (potência sonora), além do mesmo gerar bibliografia.

6 CONCLUSÃO

Com este trabalho, explorou-se um assunto relativamente novo na Engenharia Mecânica dentro da UTFPR, uma vez que não se tem grande quantidade de trabalhos na área de acústica dentro da universidade. Também para o aluno assunto é novo e era totalmente desconhecido anteriormente.

Além do assunto de medição do nível de potência sonora, foram trabalhados os conceitos básicos de acústica e de medição acústica, evidenciados pela aplicação das técnicas de medição de ruído de fundo e tempo de reverberação de uma sala, que por si próprios seriam temas relevantes para um trabalho de conclusão de curso.

Neste trabalho foram realizadas mais de 110 medições do nível de pressão sonora no total, além de medições de volume, cálculo de superfícies, construção de superfícies de medição, 164 imagens usadas, entre produzidas e referenciadas, entre outros itens. Totalizando mais de 100 horas de trabalho escrito e cerca de 24 horas de trabalho experimental.

Todos os equipamentos necessários estavam disponíveis, uma vez que os mesmos são de propriedade do aluno ou da instituição. Os ambientes da UTFPR eram de fácil acesso e sem restrição de uso. Entretanto, estes precisavam de reserva a qual não era fácil conseguir. No caso do ginásio foi necessário fazer as medições em um Domingo, único dia disponível para uso.

A colaboração do orientador com o seu conhecimento sobre o tema e sua intimidade com o método experimental foram de grande valia ao trabalho, pois com isto, o planejamento dos experimentos e análise dos resultados se tornaram mais efetivos, entretanto as medições, análises e conclusões foram conduzidas pelo aluno.

Não foi possível identificar a causa da medição do nível de potência sonora de um dos equipamentos ser menor com o nível de ruído de fundo mais elevado na sala, contrariando as outras medições. Para tanto, como sugestão para novos trabalhos, seria necessário conduzir um estudo com uma quantidade maior de ambientes.

Ainda para novos trabalhos, sugere-se a inclusão da técnica da medição da intensidade sonora para as mesmas situações, obtendo uma análise mais completa, uma vez que a universidade possui todos os equipamentos necessários para esta medição.

Segundo a norma ISO 3746: 2010, a acuracidade para medições do grau 3 com condições de operação e montagem instáveis é de 5 dB. O Selo Ruído do aspirador de pó mostra que o nível de potência sonora é de 95 dBA, mas a média logarítmica da medição do nível de potência sonora para o aspirador de pó foi de 92,05 dBA, portanto pode-se afirmar que tal resultado está de acordo com incerteza da norma usada neste trabalho.

O objetivo deste trabalho era avaliar se minha medição se encaixava na norma, o que aconteceu. No caso, pelo valor de K_{2a} encontrado para o ginásio, outra norma deveria ser usada para a medição para uma melhora avaliação do mesmo.

7 REFERÊNCIAS

ASSIS, Ana Cristina de. **Metodologia do Trabalho Científico**. UFPB. Disponível em http://portal.virtual.ufpb.br/biblioteca-virtual/files/pub_1291081139.pdf. Acesso em 10 de maio de 2012

BASTOS, Ramsés da Silva. **Reconhecimento da Perda de Eficácia de Protetor IntraAuricular** – Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Campus de Bauru, 2005. Disponível em <http://www.faac.unesp.br/posgraduacao/design/dissertacoes/pdf/ramses.pdf>
Acesso em: 08 de maio de 2012

BERTULANI, Carlos Alberto. **O ouvido humano**. UFRJ. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ouvido/ouvido.html>. Acesso em 07 de Maio de 2012.

BIES, David A., HANSEN, Colin H.; **Engineering Noise Control – Theory and Practice**. 2ª edição; Editora Spon Press; Londres, 2002.

BRITO, Viviane Pacheco Santana de. **Incidência de perda auditiva induzida por ruído em trabalhadores de uma fábrica**. CEFAC. Goiânia, 1999. Disponível em: <http://www.cefac.br/library/teses/a2eff1432f7ff2a4ed0cc9f34fc1e5d6.pdf>. Acesso em 08 de Maio de 2012.

Brüel & Kjaer. **Preamplifiers**. Disponível em <http://www.bksv.com/Products/transducers/acoustic/microphones/preamplifiers.aspx?>. Acesso em 09 de março de 2013.

Brüel & Kjaer. **OmniPower Sound Source – Type 4292-L**. Disponível em <http://www.bksv.com/Products/transducers/acoustic/sound-sources/omni-power-light-4292.aspx?tab=descriptions>. Acesso em 13 de março de 2013.

CAPAZ, Rodrigo B.. **Movimento ondulatório**. UFRJ. Disponível em <http://omnis.if.ufrj.br/~capaz/fisica2/Aula9.pptx>. Acesso em 11 de maio de 2012.

CIRILLO, M.; MARTELLOTTA, F.. **Worship, Acoustics, and Architecture**. Multi-Science Publishing Co. LTD., 2006.

Concert Hall Acoustics. Clarity. Disponível em <http://www.concerthalls.unomaha.edu/discussion/clarity.htm>. Acesso em 17 de março de 2013.

COLINAS, Nilton Gilber. **Caracterização Vibroacústica usando Holografia acústica de Campo próximo**. Dissertação de Mestrado. UNICAMP. Campinas, 1999. Disponível em <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=vtls000188579>. Acesso em 04 de maio de 2013.

DINATO, Antonio Carlos. **Ruído sonoro no Entrono de Aeroportos – Um Estudo de Caso no Aeroporto de Ribeirão Preto**. Tese de Doutorado. USP. São Carlos, 2011. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-05082011-101359/publico/Dinato.pdf>. Acesso em 11 de maio de 2012.

directindustry.com. **Microphone Preamplifier**. Disponível em <http://www.directindustry.com/prod/bruel-and-kjaer/1-2-microphone-preamplifiers-17114-875607.html>. Acesso em 10 de março de 2013.

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. **O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura**. Pró-Fono Revista de Atualização Científica, Barueri (SP), v. 17, n. 2, p. 251-258, maio-ago. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/pfono/v17n2/v17n2a13.pdf>. Acesso em 08 de maio de 2012.

Engenharia Acústica / UFSM. Absorção Sonora. Disponível em <http://www.eac.ufsm.br/ensaios/absorcao-sonora-iso-354>. Acesso em 10 de março de 2013.

FELICIO, Jair. **Avaliação da Exposição ocupacional ao Ruído em Atividades que utilizam Fones de Ouvido (Headsets e Headphones) – Dissertação de Mestrado**. USP. São Paulo, 2008. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-26092008-103652/publico/Dissertacao PMI Ed Rev JAIR FELICIO.pdf>. Acesso em 11 de maio de 2012.

FERNANDES, João Cândido. **Acústica e Ruído – Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho – UNESP**. Campus de Bauru, 2005. Disponível em <http://www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/>. Acesso em 08 de maio de 2012.

HIGHMED. **HM-6300 - Medidor Multi-Parâmetro P/ Ambientes**. Disponível em <http://www.highmed.com.br/sites/default/files/HM-6300-5.jpg>. Acesso em 29 de março de 2013.

IAZETTA, Fernando. **Tutoriais de Áudio e Acústica**. São Paulo, 2012. Disponível em <http://www.eca.usp.br/prof/iazetta/tutor/acustica/propagacao/propaga.html> acesso em 09 de maio de 2012.

ICHISATO, Sueli Mutsumi T.. **Ruído em unidade de cuidado intensivo neonatal de um hospital universitário de Ribeirão Preto – SP**. Tese de Doutorado. USP. Ribeirão Preto, 2004. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-02052005-115600/pt-br.php>. Acesso em 11 de maio de 2012.

impac.com.br. **Calibrador Acústico para Decibelímetro e Dosímetro Impac IP-100**. Disponível em <http://www.impac.com.br/calibrador/acustico/calibradordecibelimetrodosimetro.htm>. Acesso em 23 de outubro de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE e CORDE abrem encontro internacional de estatísticas sobre pessoas com deficiência**. Brasília, 2005. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=438&id_pagina=1. Acesso em 07 de maio de 2012.

JUNIOR, Dácio Roberto dos Reis. PILATTI, Luiz Alberto. STADLER, Carlos César. OLIVEIRA, Ivanir Luiz de. **A influência da poluição sonora na qualidade de vida dos trabalhadores**. UTFPR. Ponta Grossa, 2007. Disponível em http://www.pg.cefetpr.br/incubadora/wp-content/themes/40_epege/a-influencia-da-poluicao-sonora.pdf . Acesso em 10 de maio de 2012.

KELLER, Vicente; BASTOS, Cleverson. **Pesquisa científica**. In: KELLER, Vicente; BASTOS, Cleverson. *Aprendendo a aprender*. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1991.

www.kigtools.com.br. **Paquímetros Digitais (Dígitos Grandes)** Disponível em <http://www.kingtools.com.br/Produto.aspx?id=87>. Acesso em 24 de fevereiro de 2013.

LAY-ANG, Giorgia. **Poluição sonora**. Brasil Escola, 2012. Disponível em <http://www.brasilecola.com/biologia/poluicao-sonora.htm>. Acesso em 08 de maio de 2012.

LEE, Jen John. **Formação e Processamento de Imagens de Ultrassom** – Dissertação de Mestrado. USP. Campus de Bauru, 2010. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-24062010-154946/publico/Jen.pdf> acesso em 11 de maio de 2012.

LOYOLA, Graziella M. **Classificação de Perda Auditiva – Análise de Critérios**. APROFEB. Salvador, 2007. Disponível em <http://www.aprofeb.com.br/artigos/classificacao-de-perda-auditiva-analise-de-criterios.php>. Acesso em 08 de maio de 2012.

MASIERO, Bruno Sanches. **Controle Ativo de Ruído para Transformadores de Potência em Campo** – Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo, 2007. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-09012008-112327/pt-br.php>. Acesso em 11 de maio de 2012.

Malchaire, J.. **Sound Measuring Instruments**. Unidade de Higiene e Fisiologia do Trabalho. Universidade Católica de Louvain (UCL). Bruxelles. Belgium. Disponível em http://www.who.int/occupational_health/publications/noise6.pdf. Acesso em 09 de março de 2013.

MOITA, Eliane. **Somente Amor: Trem da Vida**. Tianguá, 2011. Disponível em <http://eliane.blogspot.com.br/2011/03/trem-da-vida.html>. Acesso em 08 de março de 2013.

LESSA, J.. **Novo Hamburgo Ganha Complexo de Cinemas - Matinê: Cinema, Cinema, Cinema**. Novo Hamburgo, 2010.

LMS: Engineering Innovation. **Intensity-based sound power measurement according to ISO 9614-1 and ISO 9614-2**. Leuven, Bélgica, 2013. Disponível em <http://www.lmsintl.com>. Acesso em 14 de março de 2013.

MATEUS, Diogo. **Acústica de Edifícios e Controlo de Ruídos**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~pgrpe/conteudos/ARE/Apontamentosdadisciplina.pdf>. Acesso em 17 de março de 2013.

MATRAS, Jean-Jacques. **O Som**. Trad.: Edison Darci Heldt. São Paulo: Martins Fontes, 1991. Título original: Le Son.

MICHALSKI, Ranny L. X. Nascimento. **Metodologias para Medição de Isolamento Sonoro em Campo e para Expressão da Incerteza de Medição na Avaliação do Desempenho Acústico de Edificações** – Tese de Doutorado. COPPE. UFRJ. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/RannyLoureiroXavierNascimentoMichalski.pdf. Acesso em 19 de março de 2013.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – Brasil. **Perda auditiva induzida por ruído (Pair)**. Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2006. 40 p.: il. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos) (Saúde do Trabalhador; 5. Protocolos de Complexidade Diferenciada).

MIRANDA, Marta Oliveira. **Conforto Ambiental**. Nova Criciúma, 2011. Disponível em <http://construindosustentavel.blogspot.com.br/2011/01/conforto-ambiental.html>. Acesso em 11 de maio de 2012.

MOREIRA, Anabela. **Acústica nos Edifícios**. Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Tomar, 2013. Disponível em http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2959_AcusEdif_FC_Parte1.pdf. Acesso em 17/02/2013.

NASS, Daniel Perdigão. **O conceito de poluição**. Revista Eletrônica de Ciências - Número 13 - Novembro de 2002. Disponível em: http://cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_13/poluicao.html. Acesso em: 08 de maio de 2012.

NETO, Nelson Augusto. **Verificação dos Níveis de Atenuação de Protetores Auriculares do tipo Concha, utilizando Microfone Sonda**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007. Disponível em http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bba/33004056082P0/2007/avgustoneto_n_me_bauru.pdf. Acesso em: 08 de maio de 2012

NEPOMUCENO, Luíza de Arruda; **Elementos de Acústica Física e Psicoacústica**; 1ª edição; São Paulo, 1994.

OBERREUTER, Jonathan. **Cámara reverberante y cámara anecoica** – NEAA. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 2011. Disponível em

<http://www.youtube.com/watch?v=y9c1Vog0dXo>. Acesso em 10 de março de 2013.

PALMA, Alexandre; MATTOS, Ubirajara A de O; ALMEIDA, Marcelo Nunes de e OLIVEIRA, Giselle Estrella Martins Coelho de. **Nível de ruído no ambiente de trabalho do professor de educação física em aulas de ciclismo indoor**. Rev. Saúde Pública [online]. 2009, vol.43, n.2, pp. 345-351. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102009000200016&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt Acesso em: 07 de maio 2012.

PALUCCI, Bruno Peres. **Fisiologia da Audição**. Hospital de Clínicas da Faculdade de Medicina da USP; São Paulo, 2005. Disponível em http://www.forl.org.br/pdf/seminarios/seminario_28.pdf acesso em: 08/05/12 às

PEROSI, Fábio André. **Refração Sísmica Profunda no Setor Sudeste da Província Tocantins** – Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo, 2000. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14132/tde-25052006-152642/pt-br.php> acesso em 11 de maio de 2012.

PORTELA, Marcelo. **Acústica de Salas**. LVA. UFSC. Florianópolis. Disponível em <http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/391.pdf>. Acesso em 10 de março de 2013.

RECCO, Claudio B. História: **A Revolução Industrial na Inglaterra**. Folha de S. Paulo 08/08/2002. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/educacao/ult305u10188.shtml>. Acesso em 08 de maio de 2012.

Ruflav.com. **Furadeira de Impacto 3/8” (10mm) - 500W** Disponível em http://www.ruflav.com/produtos_descricao.asp?codigo_produto=276. Acesso em 29 de maio de 2012.

ROSSO, Silvana. **Forro Acústico** – Revista Arquitetura e Urbanismo. 2012. Disponível em <http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/184/forro-acustico-142812-1.asp>. Acesso em 17 de março de 2013.

Souza Magazine. **Aspirador de pó e água 1400W**. Disponível em http://www.souzamagazine.com.br/imagens/souzamagazine.com.br/produtos/Eletroportateis/Aspirador_de_po/2590-aspirador-de-agua-e-po-1400-watts--electrolux-flex-1331216644.jpg. Acesso em 29 de maio de 2012.

UNIVPM – Dipartimento di Meccanica. **Laboratorio di Acustica**. Ancona, Itália. Disponível em <http://www.meccanica.univpm.it/it/node/69>. Acesso em 29 de março de 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global burden of hearing loss in the year 2000**. Disponível em http://www.who.int/healthinfo/statistics/bod_hearingloss.pdf. Acesso em 10 de maio de 2012.

YOST, William A.; **Fundamentals of Hearing** – An Introduction; Academic Press; 1ª edição; Nova Iorque, 200