

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUCIANA BELAGUARDA BOFF

**MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ACÚSTICA DE FONTES SONORAS
ATRAVÉS DOS MÉTODOS DA PRESSÃO E DA INTENSIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

LUCIANA BELAGUARDA BOFF

**MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ACÚSTICA DE FONTES SONORAS
ATRAVÉS DOS MÉTODOS DA PRESSÃO E DA INTENSIDADE**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. MEng. Samuel Soares Ansay.

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa " MEDIÇÃO DE POTÊNCIA ACÚSTICA DE FONTES SONORAS ATRAVÉS DOS MÉTODOS DA PRESSÃO E DA INTENSIDADE ", realizado aluna Luciana Belaguarda Boff, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. MEng. Samuel Soares Ansay.
Damec, UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Nilson Barbieri.
Damec, UTFPR
Avaliador

Prof. Dr. Márcio Gomes Avelar.
Damec, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 17 de junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente ao meu professor orientador MEng. Samuel Soares Ansay pela orientação e por todo o suporte dado à realização deste trabalho.

Agradeço ao meu amado pai, Eng. Valdemar Capelete Boff, pelo patrocínio que possibilitou a compra de alguns dos artigos necessários para a construção e execução do projeto.

Agradeço ao meu melhor amigo e irmão, Eng. Saulo Tiburtius pela grande ajuda com a manutenção de alguns dos equipamentos.

Agradeço a Leah por todo carinho e apoio psicológico durante a execução deste projeto.

Agradeço aos professores Dr. Nilson Barbieri e Dr. Márcio Gomes Avelar por gentilmente terem aceitado fazer parte da minha banca avaliadora.

E por fim, agradeço ao Grupo de Estrutural da UTFPR, pela disponibilização dos equipamentos e espaço físico necessários para a realização dos experimentos.

RESUMO

BOFF, Luciana B. Medição de Potência Acústica de Fontes Sonoras Através dos Métodos da Pressão e da Intensidade. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A fim de analisar e melhor compreender o fenômeno acústico e algumas das normas vigentes vinculadas ao tema, foram realizadas medições do nível de potência sonora de uma fonte sonora, através dos métodos da pressão e da intensidade, com quatro níveis de ruído de fundo: ruído do ambiente, 64 dB, 85 dB e 94 dB, em um único ambiente. Para os ruídos ambiente, 64 dB e 85 dB, os resultados obtidos atenderam os pré-requisitos para a validação das medições e não ficaram muito longe do esperado, apresentando uma diferença geral de menos de 1% entre os resultados obtidos pelos dois métodos. Como para o ruído de fundo de 94 dB houve um aumento significativo da pressão sonora e, devido a posição da fonte emissora de ruído externo no ambiente e das características do ambiente, resultou na direcionalidade da mesma em relação a fonte emissora de ruído, resultando em um não atendimento dos pré-requisitos para validação da medição. Também foi verificada a possibilidade de utilização dos equipamentos de medição da intensidade sonora para o levantamento do nível médio de pressão sonora, uma vez que tal equipamento fornece esse dado, o qual foi utilizado nos cálculos da potência pelo método da pressão.

Palavras-chave: acústica, pressão, intensidade, potência.

ABSTRACT

BOFF, Luciana B. Acoustic Power Measurement of Sound Sources Through Pressure and Intensity Methods. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

In order to analyze and better understand the acoustic phenomenon and some of the current standards related to the theme, measurements of the sound power level of a sound source were carried out using pressure and intensity methods, with four levels of background noise: noise of the environment, 64 dB, 85 dB and 94 dB, in a single environment. For ambient noise, 64 dB and 85 dB, the results obtained met the prerequisites for the validation of the measurements and were not very far from the expected ones, presenting a general difference of less than 1% between the results obtained by the two methods. As for the background noise of 94 dB there was a significant increase in sound pressure and, due to the position of the external noise emitting source in the environment and the characteristics of the environment, resulted a directionality of the external noise source in relation to the source emitting noise, resulting in not meeting the prerequisites for validation of measurement. It was also verified the possibility of using the sound intensity measurement equipment to raise the mean sound pressure level, since this equipment supplies this data, which was used in the calculation of power by the pressure method.

Keywords: acoustics, pressure, intensity, power.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Comparativo entre os métodos da pressão e da intensidade.....	16
Figura 1 – Emissão de ondas sonoras com múltiplas reflexões.....	16
Quadro 2 – Fatores de Correção, em dB.....	19
Quadro 3 – Coeficiente de absorção sonora médio do ambiente.....	22
Quadro 4 – Indicadores de campo.....	26
Quadro 5 – Ações sugeridas pela norma para aumentar o nível de precisão nas medições caso algum dos indicadores não seja atendido.....	27
Figura 2 – Superfície de medição constituída por arestas feitas com tubos.....	29
Figura 3 – Superfície de medição configurada e com roteiro de medição escolhido.	31
Figura 4 – Fonte sonora emissora de ruído.....	32
Figura 5 – Tubos de pvc utilizados na construção das arestas da superfície de medição.....	32
Figura 6 – Conectores de pvc utilizados na construção das arestas da superfície de medição.....	33
Figura 7 – Computador utilizado para a execução do programa de análise acústica.....	33
Figura 8 – Programa utilizado para medição pelo método da intensidade.....	34
Figura 9 – Pedestal para microfone utilizado como suporte para os microfones durante as medições.....	35

Figura 10 – A fonte de ruído dodecaédrica utilizada é a <i>OMNI 12</i> da marca 01dB.....	36
Figura 11 – Microfones, pré – amplificadores e espaçador.....	37
Figura 12 – Calibrador Cal 21 tipo I da marca 0dB.....	38
Figura 13 – Módulo de conexão dB4.....	39
Figura 14 – Extensor telescópico fabricado pela GRAS.....	39
Figura 15 – Microfone condensador capacitivo MCE 212 de 1/2" da marca 01dB....	40
Figura 16 – O medidor integrador SOLO Black tipo I da marca 01dB.....	41
Figura 17 – Aparato utilizado para reduzir a direcionalidade entre a fonte e o aspirador.....	49
Gráfico 1 – Comparativo entre os métodos da Pressão e da Intensidade.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator C utilizado na avaliação da não uniformidade do campo.....	28
Tabela 2 – Espaçadores e suas respectivas frequências.....	38
Tabela 3 – Tempo de reverberação médio.....	44
Tabela 4 – Níveis de ruído de fundo medidos no ambiente de medição.....	45
Tabela 5 – Resultados de K_{1A} , em dB.....	46
Tabela 6 – Resultados de L'_{PA} , em dB.....	46
Tabela 7 – Resultados de L_{WA} pelo método da pressão, em dB.....	47
Tabela 8 – Indicadores de campo (Aspirador + Ruído Ambiente).....	48
Tabela 9 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + Ruído Ambiente).....	48
Tabela 10 – Indicadores de campo (Aspirador + 64dB).....	49
Tabela 11 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + 64dB).....	49
Tabela 12 – Indicadores de campo (Aspirador + 94dB).....	51
Tabela 13 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + 94dB).....	51
Tabela 14 – Indicadores de campo (Aspirador + 94dB + Aparato).....	52
Tabela 15 – Indicadores de campo (Aspirador + 94dB + Aparato).....	52
Tabela 16 – Indicadores de campo (Aspirador + 85dB).....	53
Tabela 17 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + 85dB).....	53
Tabela 18 – Comparativo entre os métodos da pressão e da intensidade.....	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contexto do Tema	12
1.2	Caracterização do Problema	13
1.3	Objetivos	13
1.4	Justificativa	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Medição de Potência	15
2.2	Tempo de Reverberação	16
2.3	Método da Pressão	17
2.4	Método da Pressão Pela Norma ISO 3747	18
2.4.1	Cálculo do Nível de Potência Sonora (L_{WA}), em dB:	18
2.4.2	Cálculo do Nível Médio de Potência Sonora Corrigido (L_{PA}), em dB:	19
2.4.3	Fatores de Correção, em dB:	19
2.4.4	Fator de Correção do Ruído de Fundo (K_{1A}), em dB:	20
2.4.5	Nível Médio de Pressão Sonora Referente ao Ruído de Fundo no Ambiente de Medição ($L_{PA(B)}$), em dB:	21
2.4.6	Fator de Correção do Ruído do Ambiente (K_{2A}), em dB:	21
2.4.7	Área Total de Absorção Sonora (A), em m ² :	22
2.4.8	Área Superficial do Local de Medição (S_V), em m ² :	22
2.4.9	Área Total de Absorção Sonora (A), em m ² , pelo Método de Sabine:	23
2.5	Método da Intensidade	23
2.6	Método da Intensidade Pela Norma ISO 9614 – 1	25
2.6.1	Indicadores de Campo:	26
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
3.1	Justificativa da Metodologia	29
3.2	Descrição da Metodologia	29
4	RESULTADOS	42
4.1	Dados Gerais	42
4.1.1	Dimensões do Ambiente, em m:	42

4.1.2	Dimensões correspondentes a superfície a qual envolve a fonte sonora, em m:	42
4.1.3	Dimensões correspondentes a superfície de medição, em m:	42
4.1.4	Definições:	42
4.1.5	Volume do Ambiente, em m ³ :	43
4.1.6	Área da Superfície de Medição, em m ² :	43
4.2	Método da Pressão (ISO 3747)	43
4.2.1	Área de Absorção Sonora, em m ² :	43
4.2.2	Nível Médio de Pressão Sonora Referente ao Ruído de Fundo no Ambiente de Medição, em dB – Tabela 4.	45
4.2.3	Fatores de Correção, em dB:	45
4.2.4	Nível de Pressão Sonora Corrigido, em dB – Tabela 6.	46
4.2.5	Nível de Potência Sonora, em dB - Tabela 7.	47
4.3	Método da Intensidade (ISO 9614 - 1)	47
	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do Tema

A poluição sonora é com certeza uma das mais importantes e preocupantes, juntamente com as poluições do ar, da água e do solo, devido a sua contribuição na redução da qualidade de vida das pessoas. Sendo assim, é imprescindível para o bem-estar dos indivíduos que existam órgãos e leis para o controle dos níveis de ruído, normas para medição dos níveis de ruído e técnicas para melhor compreensão do fenômeno acústico.

O som é a sensação produzida no ouvido por pequenas variações de pressão no ar. Essas pequenas variações de pressão no ar constituem o campo sonoro, e são geralmente causadas pela vibração do meio no qual se propagam. Uma pessoa que não é surda percebe como som qualquer vibração do tímpano no alcance de frequência audível que resulta de uma variação incremental na pressão do ar no ouvido. De forma subjetiva, quando a sensação auditiva resultante dessa variação incremental na pressão do ar no ouvido é desagradável ou insalubre, o som é definido como ruído.

Identificar fontes de ruído e determinar o nível de potência sonora oriunda das mesmas é de grande importância para garantir o conforto acústico do ambiente em questão. Fazendo-se a opção adequada dentre os métodos de medição de potência acústica (Método da Intensidade e Método da Pressão), deve-se tomar como parâmetros de escolha os seguintes fatores: necessidade de ambientes acústicos especiais (câmara reverberante ou anecóica), tempo de medição, precisão nas medições, custo dos equipamentos de medição, entre outros.

1.2 Caracterização do Problema

Para este trabalho, foi avaliada a potência acústica emitida por um equipamento de uso doméstico, mais precisamente um aspirador de pó. A medição *in situ* é dependente de parâmetros relacionados ao tamanho do ambiente e ao ruído presente no mesmo (série de normas ISO 374X). Assim, foi necessário o uso de fatores de correção, de forma a tornar as medições mais precisas e o resultado válido.

Foram utilizados tanto o método da pressão quanto o da intensidade para medir o nível de potência sonora em uma superfície com o formato de um paralelepípedo constituído fisicamente apenas pelas suas arestas. No método da intensidade, o programa devolveu a potência e nenhum cálculo precisou ser efetuado. No da pressão fez-se uso do valor de pressão ponderado fornecido pelo método da intensidade através do programa, e efetuou-se alguns cálculos para chegar ao valor da potência. As medições foram realizadas para quatro níveis de ruído de fundo, e as frequências que foram analisadas no método da intensidade são: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1K, 2K, 4K.

1.3 Objetivos

Realizar medições do nível de potência sonora de uma fonte sonora, através dos métodos da pressão e da intensidade, com quatro níveis de ruído de fundo em um único ambiente, com a finalidade de realizar uma análise comparativa entre os métodos e definir qual o mais vantajoso para o tipo de análise em questão. Como objetivo secundário foi verificada a possibilidade de utilização dos equipamentos de medição da intensidade sonora para o levantamento do nível médio de pressão sonora, uma vez que tal equipamento fornece esse dado, o qual foi utilizado no cálculo da potência pelo método da pressão.

1.4 Justificativa

A implementação de medidas paliativas para reduzir a exposição ao ruído nos mais variados ambientes, depende da identificação das fontes sonoras. O

reconhecimento de uma fonte sonora, corresponde ao fato da mesma ser localizada e em seguida ter sua potência sonora mensurada de forma a escolher a melhor forma de atuação, atuar na fonte emissora, no meio como esse ruído é transmitido ou no receptor, sendo o controle do ruído realizado alterando-se um ou mais fatores desses fatores. A escolha dos métodos de medição acústica, como métodos para determinar a potência sonora, ocorre em função de serem as únicas soluções executáveis e disponíveis no laboratório de acústica da UTFPR até o presente momento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Medição de Potência

Toda a parte de um maquinário que vibra irradia energia acústica, sendo a potência correspondente a taxa na qual essa energia é irradiada.

Existem basicamente duas formas de mensurar essa taxa. Uma delas consiste na medição da pressão acústica e a outra na medição da intensidade acústica, ambas de acordo com as normas vigentes para tais medições.

A potência sonora só pode ser relacionada à pressão sonora quando condições cuidadosamente controladas em relação ao campo sonoro são estabelecidas. Salas especialmente construídas, como uma câmara anecóica ou uma sala reverberante suprem tais condições. Tradicionalmente, para medir a pressão sonora, a fonte sonora deve ser alocada em uma dessas salas.

A intensidade sonora, contudo, pode ser mensurada em qualquer lugar, sem a necessidade de serem levantadas hipóteses. Isso permite que todas as medições sejam executadas diretamente *in situ*.

De acordo com Brüel & Kjaer, uma fonte sonora irradia potência a qual resulta em pressão sonora. A potência sonora é a causa. Já a pressão, o efeito. O que ouvimos é a pressão sonora, causada pela potência sonora emitida pela fonte. As variações de pressão no tímpano as quais percebemos como som, são as mesmas variações detectadas no diafragma do microfone condensador. A medição do nível de ruído total sem ponderação é ambígua para revelar a resposta subjetiva ao ruído, por isso, quando deseja-se avaliar a audibilidade de determinado ruído através de número único, devem-se realizar as medições A-ponderadas, como sugerido pelas normas utilizadas nesse trabalho, tanto para as medições pelo método da pressão como pelo da intensidade.

No quadro 1 é possível ter uma ideia das principais diferenças entre os métodos da intensidade e da pressão a partir de um comparativo resumido entre ambos.

Quadro 1 – Comparativo entre os métodos da pressão e da intensidade.

Comparativo entre os métodos de medição de potência sonora	
PRESSÃO	INTENSIDADE
Equipamento mais barato	Equipamento mais caro
Necessita de salas especiais (reverberante ou anecóica)	Permite medições <i>in situ</i>
Medição escalar	Medição escalar e vetorial
Força exercida pelas moléculas em uma dada área	Fluxo de energia
Utilizada para obter potência sonora	Utilizada para obter potência sonora e mapa acústico
Menos robusta	Maior confiabilidade na validação das medições
Medições mais simples de serem executadas	Medições mais complexas de serem executadas
Medições apenas por pontos discretos	Medições por pontos discretos ou varredura
Medições só pelo método da pressão	Medições pelo método da pressão e intensidade

Fonte: Autoria própria.

2.2 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação é um importante parâmetro acústico, sendo um dos primeiros parâmetros a ser avaliado no projeto acústico de uma sala. As múltiplas reflexões do som num ambiente causam a reverberação, como representado na figura 1.

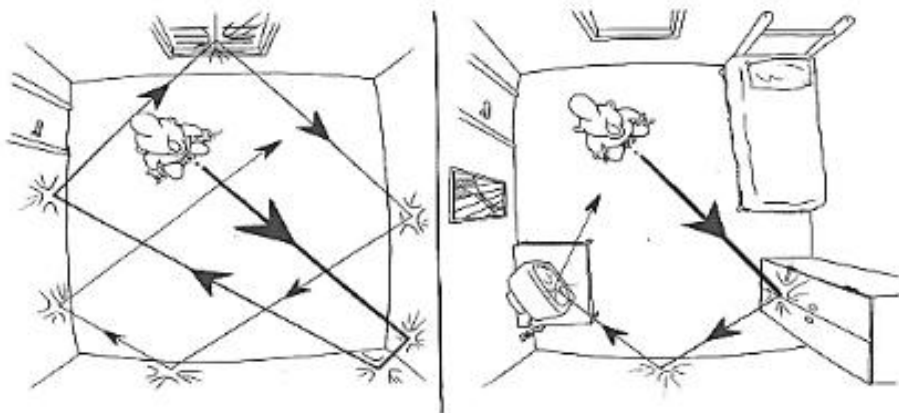


Figura 1 – Emissão de ondas sonoras com múltiplas reflexões.

Fonte: Bê-á-bá da acústica arquitetônica, 2006.

Quando uma pessoa fala num ambiente reverberante, ela ouve o som a própria voz de forma atrasada. Dois fatores são responsáveis pela reverberação de um ambiente:

- índice de reflexão das superfícies do ambiente (paredes, teto e piso);
- volume do ambiente;

O tempo de reverberação (TR) é definido como o tempo necessário para o nível de pressão sonora em uma sala diminuir em 60 dB após ser cessada a fonte de emissão. Em salas com superfícies altamente refletivas, o tempo de reverberação é relativamente longo, enquanto que em uma câmara anecóica, onde as paredes, piso e teto são cobertos por material altamente absorvente, o tempo de reverberação é muito próximo a zero (ZWIRTES, 2006).

2.3 Método da Pressão

A mais importante quantidade acústica é a pressão sonora, a qual corresponde a uma quantidade acústica de primeira ordem (JACOBSEN, 2005). É uma quantidade escalar, já que possui apenas magnitude e não possui direção. A fonte sonora irradia potência que resulta em uma pressão sonora. A potência sonora é a causa. A pressão sonora é o efeito (BRÜEL & KJAER).

A pressão sonora a qual ouvimos, ou medimos é dependente da distância em relação a fonte sonora e do campo sonoro no qual as ondas sonoras estão presentes. Isso depende do tamanho da sala e da capacidade de absorção das superfícies presentes no recinto (BRÜEL & KJAER).

O nível de pressão sonora (equação 1) é uma medida das vibrações do ar as quais produzem som. Todas as pressões sonoras medidas tem como referência uma pressão padrão que corresponde grosseiramente ao limiar da audição, isto é, 1000 Hz. Portanto, o nível de pressão sonora indica o quão ótimo o som mensurado é em relação ao limiar da audição.

Pelo fato do ouvido humano poder detectar um grande alcance de níveis de pressão sonora (10–102 Pascal (Pa)), a medida é representada em escala logarítmica com unidade em decibels (dB).

$$\text{NPS} = 20 * \log \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

Onde:

- $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa.
- P - Valor de pressão sonora, em Pa.

2.4 Método da Pressão Pela Norma ISO 3747

2.4.1 Cálculo do Nível de Potência Sonora (L_{WA}), em dB:

$$L_{WA} = L_{PA} + \left[10 * \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \right] \quad (2)$$

- L_{PA} - Nível médio de pressão sonora corrigido, em dB.
- S – Área da superfície de medição, em m^2 .
- S_0 – Área de referência estabelecida pela norma, $S_0 = 1 m^2$.

2.4.2 Cálculo do Nível Médio de Potência Sonora Corrigido (L'_{PA}), em dB:

$$L'_{PA} = L'_{PA(ST)} - K_{1A} - K_{2A} \quad (3)$$

- $L'_{PA(ST)}$ - Nível médio de pressão sonora medido, em dB.
- K_{1A} – Fator de correção de ruído de fundo, em dB – quadro 2.
- K_{2A} – Fator de correção do ambiente, em dB – quadro 2.

2.4.3 Fatores de Correção, em dB:

Quadro 2 – Fatores de Correção, em dB.

K₁	Fator de correção de ruído de fundo: Contabiliza a influência do ruído de fundo. Varia de acordo com a frequência a ser considerada.
K₂	Fator de correção do ambiente: Contabiliza a influência do som absorvido ou refletido. Varia de acordo com a frequência a ser considerada.

Fonte: Autoria própria.

- Para valores de $\Delta L_{PA} > 10$ dB, assumir $K_1 = 0$.
- Para valores $3 \text{ dB} < \Delta L_{PA}$, assumir $K_1 = 3$ dB. Nesse caso, o ruído de fundo é muito elevado e a acuidade das medições será afetada.

2.4.4 Fator de Correção do Ruído de Fundo (K_{1A}), em dB:

$$K_{1A} = -10 * \log[1 - (10^{(-0.1 * \Delta L_{PA})})] \quad (4)$$

$$\Delta L_{PA} = L'_{PA(ST)} - L'_{PA(B)} \quad (5)$$

- $L'_{PA(ST)}$ - Nível médio de pressão sonora medido, em dB.
- $L'_{PA(B)}$ - Nível médio de pressão sonora referente ao ruído de fundo no ambiente de medição, em dB.

2.4.5 Nível Médio de Pressão Sonora Referente ao Ruído de Fundo no Ambiente de Medição ($L'_{PA(B)}$), em dB:

$$L'_{PA(B)} = 10 * \log \left[\left(\frac{1}{N_M} \right) * \left(\sum_{i=1}^{N_M} (10^{(0,1 * L_{PAi(B)})}) \right) \right] \quad (6)$$

- N_M – Número total de medições.
- $L_{PAi(B)}$ – Nível de pressão sonora referente ao ruído de fundo no ambiente, medida na posição i, em dB.

2.4.6 Fator de Correção do Ruído do Ambiente (K_{2A}), em dB:

$$K_{2A} = 10 * \log \left[1 + \left(4 * \left(\frac{S}{A} \right) \right) \right] \quad (7)$$

- S – Área total da superfície de medição, em m².
- A – Área total de absorção sonora, em m².

2.4.7 Área Total de Absorção Sonora (A), em m^2 :

$$A = \alpha * S_V \quad (8)$$

- α – Coeficiente de absorção sonora médio do ambiente – quadro 3.
- S_V – Área superficial do local de medição (paredes, teto e chão), em m^2 .

Quadro 3 – Coeficiente de absorção sonora médio do ambiente.

α	Descrição da Sala
0,05	Sala quase vazia com paredes duras lisas feitas de concreto , tijolo, gesso ou azulejos
0,10	Sala parcialmente vazia; sala com paredes lisas
0,15	Sala de geometria uniforme com móveis ou maquinário
0,20	Sala de geometria não uniforme com móveis ou maquinário
0,25	Sala com mobília estofada ou sala de maquinário com material absorvente em parte do teto ou paredes
0,30	Sala com material absorvente apenas no teto
0,35	Sala com material absorvente tanto no teto, quanto nas paredes
0,50	Sala com grandes quantidades de materiais absorventes no teto e nas paredes

Fonte: ISO 3744:2010.

2.4.8 Área Superficial do Local de Medição (S_V), em m^2 :

$$S_V = \left((2 * A) + (2 * B) \right) * C + (A * B) + (A * B) \quad (9)$$

Onde:

- Comprimento (A): 4,40
- Largura (B): 3,58
- Altura (C): 2,75

2.4.9 Área Total de Absorção Sonora (**A**), em m², pelo Método de Sabine:

$$A = 0,163 * \left(\frac{V}{TR_{60'}} \right) \quad (10)$$

- **V** – Volume do ambiente, em m³.
- **TR_{60'}** - Tempo de reverberação médio, em s.

2.5 Método da Intensidade

A intensidade sonora reflete a quantidade de energia sonora fluindo através de uma unidade de área. No sistema de medidas internacional, a unidade de área corresponde à 1m². E, portanto, a unidade para a intensidade sonora é Watts por metro quadrado.

A intensidade sonora também retrata uma medida da direção onde haverá energia fluindo em algumas direções mas não em outras. Assim sendo, a intensidade sonora é uma quantidade vetorial já que possui ambas direção e magnitude.

Normalmente a intensidade sonora é medida em uma direção normal (90°) a um dos planos da superfície imaginária que envolve a fonte sonora, pela qual a energia sonora flui (BRÜEL & KJAER).

As medições de intensidade sonora determinam a potência sonora de fontes sem o uso de instalações especiais caras, como salas anecóicas ou reverberantes. Outras aplicações importantes da intensidade sonora incluem a identificação e a classificação das fontes de ruído parcial, visualização dos campos sonoros, determinação das perdas de transmissão de partições e determinação das eficiências de radiação de superfícies vibratórias. Uma das aplicações mais importantes das medições de intensidade sonora é a determinação da potência sonora de operação de máquinas *in situ* (JACOBSEN, 2005).

A intensidade acústica é basicamente um método de dois parâmetros usando uma combinação de velocidade de partícula e pressão sonora para determinar a intensidade e, portanto, a potência. A maioria das medições de intensidade são realizadas em ar atmosférico com uma sonda de dois microfones como um transdutor. No entanto, a técnica de intensidade também pode ser aplicada em fluidos com hidrofones ou sondas de transdutor de pressão, ou em estruturas com sondas de acelerômetro. Dois tipos de medidas de intensidade acústica são de grande importância para os consultores acústicos:

- Medição da potência sonora total emitida a partir de fontes sonoras. Um exemplo é a determinação do nível de potência sonora das máquinas relacionada com a emissão de ruído ou a verificação dos tipos de ruído emitidos.
- Medição da potência sonora parcial emitida por várias fontes parciais de uma fonte sonora complexa. Esta técnica é especialmente útil quando se pretende aplicar a redução do ruído, o investigar a perda de transmissão de elementos de construção *in situ*. O tempo de medição também pode ser estritamente programado e limitado (ASTRUP, 1996).

Um grande inconveniente nesse tipo de método, é que, pelas próprias características direcionais, os resultados obtidos de potência sonora não se ajustam fielmente a realidade, e por tanto devem ser tratados com certa precaução. Isso é consequência de que a emissão sonora de uma determinada fonte, pode não acontecer em totalidade na direção em que a intensidade é medida, existindo determinadas componentes sonoras que não são medidas.

Por outro lado, a técnica de medição por pontos discretos permite alcançar os três graus de precisão, enquanto que a técnica de escaneamento não é válida para a obtenção do grau um de precisão (PARIS, 1999).

2.6 Método da Intensidade Pela Norma ISO 9614 – 1

A potência sonora irradiada por uma fonte é igual, em valor, a integral do produto escalar do vetor de intensidade sonora e do vetor diferencial de área normal a qualquer uma das superfícies que envolvem a fonte:

$$P = \int I dA \quad (11)$$

O método da intensidade aplicado a este trabalho tem como base a norma ISO 9614-1 que diz respeito a determinação dos níveis de potência sonora de fontes sonoras usando a intensidade sonora através da medição por pontos discretos. A parte 1 da norma ISO 9614, especifica um método para mensurar a componente normal a superfície estacionária que envolve a fonte, onde o som que irradia através da mesma, oriundo da fonte, é constante, não variando com o tempo. A incerteza na determinação do nível de potência sonora da fonte está relacionada com a natureza do campo sonoro da fonte, a natureza do campo sonoro externo a fonte, ao nível de absorção da fonte, do tipo de intensidade de campo e do procedimento de medição empregado.

2.6.1 Indicadores de Campo:

Ao medir a potência sonora emitida por uma fonte sonora *in situ*, a norma ISO 9614 – 1, descreve uma série de indicadores (quadro 4) a serem atendidos de forma que os resultados obtidos sejam confiáveis, e por fim, a medição seja validada. Esses indicadores são chamados de indicadores de campo, e caso não sejam atendidos, algumas ações (quadro 5) sugeridas pela norma podem ser tomadas de forma a aumentar o nível de precisão da medição. As fórmulas matemáticas para a obtenção dos indicadores de campo, podem ser encontradas na norma e não serão expostas nesse trabalho já que os resultados tanto para os indicadores de campo como para a potência foram fornecidos de forma direta pelo programa, o qual faz uso da norma ISO 9614 – 1.

Quadro 4 – Indicadores de Campo.

F₁	<p>Indicador de Variabilidade Temporal do Campo Sonoro: Indica se o campo é estacionário ou não.</p> <p>O campo será considerado estacionário se:</p> $F_1 < 0,6$
F₂	<p>Indicador de Pressão – Intensidade na Superfície: Qualifica a malha de medição escolhida como adequada ou não, analisando a diferença entre a pressão e os valores absolutos de intensidade.</p> <p>A malha será adequada se:</p> $L_d > F_2$
F₃	<p>Indicador de Pressão Parcial Negativa: Examina a diferença entre a intensidade e a pressão, levando em conta a direção na intensidade.</p>

F₄	<p>Indicador de Não-Uniformidade do Campo: É utilizado para verificar quão adequadas são as posições de medição, indicando a variabilidade espacial e posicional que existe no campo. O número N de posições uniformemente distribuídas em uma superfície de medição serão consideradas eficientes se:</p> $N > CF_4^2$
----------------------	--

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 5 – Ações sugeridas pela norma para aumentar o nível de precisão nas medições caso algum dos indicadores não seja atendido.

SE	AÇÃO
<p>Opção 1</p> $F_1 > 0,6$	<p>Agir de modo a reduzir a variabilidade temporal de uma possível intensidade externa, ou executar as medições em um período onde possivelmente haja menos variabilidade, ou ainda, aumentar o tempo de medição em cada posição.</p>
<p>Opção 2</p> $F_2 > L_d$ ou $(F_3 - F_2) > 3$ dB	<p>Na presença de barulho externo significativo, ou/e forte reverberação, reduzir a distância média da superfície de medição até a fonte em no mínimo valor médio de 0,25 m. Na falta de um considerável barulho externo e/ou intensa reverberação, aumentar a distância média de medição em 1m.</p> <p>Bloqueie a superfície de medição de fontes de ruídos externos ou haja de forma a minimizar as reflexões em torno da fonte.</p>

<p style="text-align: center;">Opção 3</p> <p style="text-align: center;">$L_d > F_2$ não satisfeito e $1\text{dB} < (F_3 - F_2) < 3\text{Db}$</p>	<p>Aumente o número de pontos a serem medidos uniformemente de forma a satisfazer</p> <p style="text-align: center;">$L_d > F_2$</p>
<p style="text-align: center;">Opção 4</p> <p style="text-align: center;">$L_d > F_2$ não satisfeito e $(F_3 - F_2) < 1\text{dB}$</p>	<p>Aumente a distância média de medição da superfície de medição em relação à fonte fazendo uso do mesmo número de posições de medição por face.</p>

Fonte: Autoria Própria.

Sendo:

- L_d – Índice de capacidade dinâmica dos instrumentos de medição.

Tabela 1 – Fator C utilizado na avaliação da não uniformidade do campo.

FATOR C				
Banda de Oitava	1/3 de Banda de Oitava	C		
Hz	Hz	Precisão	Engenharia	Pesquisa
63 - 125	50 - 160	19	11	
250 - 500	200 - 630	29	19	
1000 - 4000	800 - 5000	57	29	
A - Ponderado	6300	19	14	8

Fonte: ISO 9614-1.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Justificativa da Metodologia

A metodologia aplicada foi escolhida com base nos equipamentos de medição, tipo de ambiente e normas disponíveis no Laboratório de Acústica do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

3.2 Descrição da Metodologia

Através da metodologia experimental foram avaliados os níveis de potência sonora emitidos por um equipamento de uso doméstico, mais especificamente um aspirador de pó, através dos métodos normatizados da pressão e da intensidade acústica. A norma utilizada como guia para o método da pressão foi a ISO 3747:2010 e para o método da intensidade a norma ISO 9614 – 1. Foi construída com tubos de PVC as arestas de um paralelepípedo cujas as faces, divididas por fios, em 9 partes aparentemente iguais, serviram como superfícies de medição como mostrado na Figura 2:

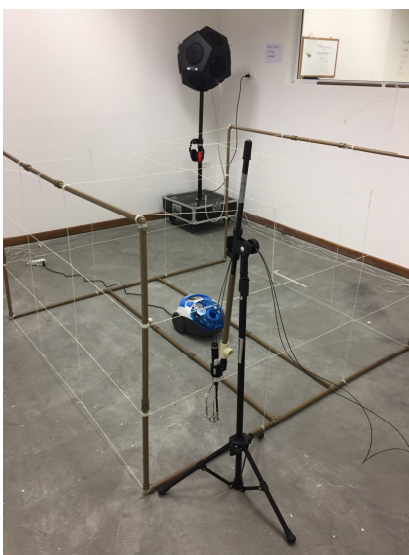


Figura 2 – Superfície de medição constituída por arestas feitas com tubos.

Fonte: Aatoria Própria.

Todas as medições foram executadas no mesmo ambiente, para apenas uma fonte de ruído (aspirador), mas com quatro níveis diferentes de ruído de fundo: ruído do ambiente 34 dB, 64 dB, 94 dB e 85dB, sendo que para gerar os ruídos de 64 dB, 94 dB e 85 dB fez-se uso de uma fonte dodecaédrica emissora de ruído constante. No método da intensidade o programa forneceu os valores de potência e nenhum cálculo precisou ser efetuado. As frequências analisadas foram: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1K, 2K, 4K. A banda escolhida foi a de oitava e a precisão de engenharia. Para o método da pressão, utilizou-se os valores da pressão média ponderada fornecidos pelo programa e cálculos foram efetuados para obtenção da potência sonora. O tipo de ruído escolhido foi o ruído branco e foram feitas 3 medições em três pontos aleatórios no ambiente de medição com o uso do medidor integrador “Solo”, com a finalidade de obter 3 medições do nível de pressão sonora a fim de calcular a média dessas medições através da equação (5) e obter o que veio a ser o nível de ruído de fundo a ser utilizado em cada medição. A metodologia aplicada referencia-se basicamente no que consta na norma ISO 3747 para as medições de potência sonora pelo método da pressão e norma ISO 9614-1 para as medições realizadas através do método da intensidade.

A utilização de duas metodologias visou comparar os dois procedimentos normatizados esperando-se obter a convergência de resultados dentro de uma faixa de tolerância aceitável. Um outro aspecto levantado secundariamente, foi a utilização da pressão sonora fornecida pela sonda da intensidade como base para os cálculos da metodologia da pressão sonora, esse procedimento visou constatar a eficácia dos valores levantados como base confiável de valores para a metodologia da pressão sonora.

Para o método da intensidade, segue-se o seguinte passo a passo que foi executado no programa:

- Configuração dos parâmetros de Hardware: Microfones, módulo de aquisição de dados.
- Configuração da superfície de medição.
- Calibração de pressão dos microfones.

- Verificação e validação da calibração dos microfones – se a diferença dos valores antes e depois de rotacionar 180 graus os microfones for menor que 1,5 dB – as medições poderão ser iniciadas pois a calibração dos microfones está “OK”.
- Verificação e validação do parâmetro estacionário ($F_1 < 0,6$ – se sim, OK)
- Configuração do tempo de medição.
- Definir o roteiro de medição – Figura 3.

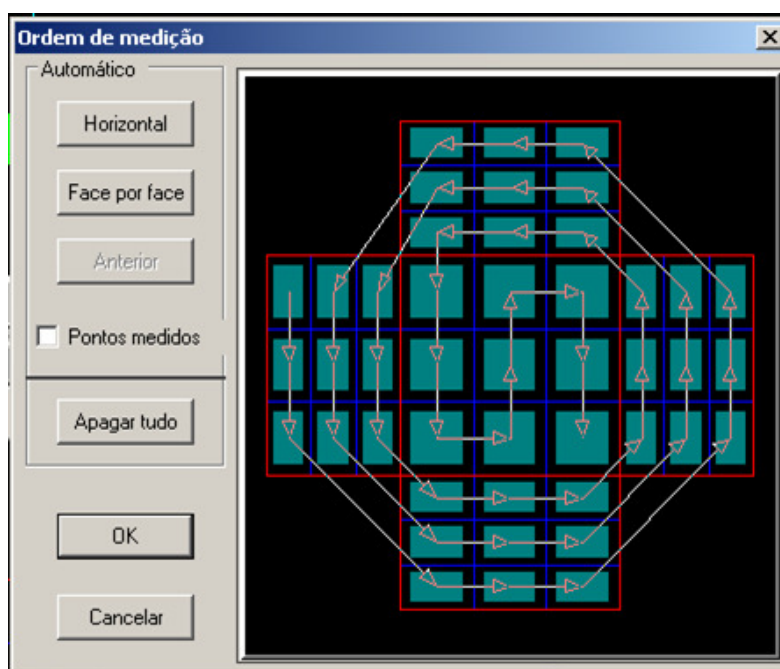


Figura 3 – Superfície de medição configurada e com roteiro de medição escolhido.

Fonte: Autoria Própria.

A seguir serão descritos os equipamentos utilizados para realizar as medições quanto os materiais utilizados para a construção da superfície de medição.

- Como fonte emissora de ruído foi utilizado o aspirador de pó Mondial Hepa Turbo 2000 (NOVO) – Figura 4.



Figura 4 – Fonte sonora emissora de ruído.

Fonte: Aatoria Própria.

- Para a construção das arestas da superfície de medição foram utilizados tubos de PVC de 20 polegadas – Figura 5, e conectores para tubo de PVC, 20 polegadas – Figura 6.



Figura 5 – Tubos de pvc utilizados na construção das arestas da superfície de medição.

Fonte: Aatoria Própria.

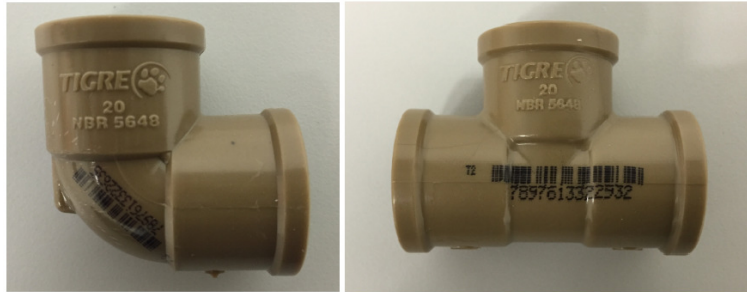


Figura 6 – Conectores de pvc utilizados na construção das arestas da superfície de medição.

Fonte: Aatoria Própria.

- O computador utilizado para o processamento e aquisição dos dados foi um *Acer Intel® Core (TM) 2 Duo T6400 @ 2.00GHz*, disponibilizado pelo professor orientador do trabalho – Figura 7, e o programa utilizado para análise acústica foi o dBFA 4.9.1 da 01 dB – Figura 8.



Figura 7 – Computador utilizado para a execução do programa de análise acústica.

Fonte: Aatoria Própria.



Figura 8 – Programa utilizado para medição pelo método da intensidade.

Fonte: Autoria Própria.

- O software dBFA, versão 4.9.1, da empresa 01dB, é o responsável pelo gerenciamento e condicionamento das medições e aquisições. Todos os parâmetros que devem ser levantados e seguidos para uma medição pautada na norma ISO 9614-1 (método da intensidade), estão inseridos e são calculados pelo software.

- Pedestal para microfone tipo girafa com haste telescópica utilizado para posicionar os microfones na superfície de medição – Figura 9.



Figura 9 – Pedestal para microfone utilizado como suporte para os microfones durante as medições.

Fonte: Aatoria Própria.

- A fonte de ruído externo utilizada é a **Omni 12** da marca 01dB, mostrada na figura 10.



Figura 10 – A fonte de ruído dodecaédrica utilizada é a *OMNI 12* da marca 01dB.

Fonte: Aatoria Própria.

- Microfones, pré-amplificadores e espaçador – Figura 11.

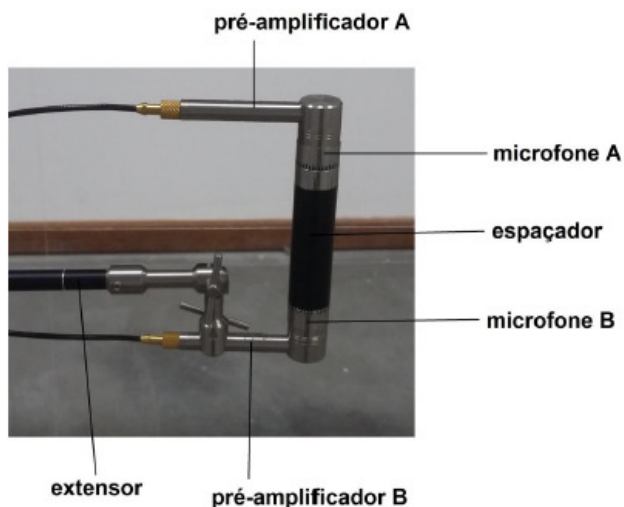


Figura 11 – Microfones, pré – amplificadores e espaçador.

Fonte: Autoria Própria.

Nas medições pelo o método da intensidade, foram utilizados dois microfones fabricados pela empresa GRAS, o número de série do microfone A é 118673 e microfone B é 118653. Antes de se iniciar as medições, os microfones devem ser calibrados com o auxílio do *software dBFa 4.9.1* onde são ajustados com 94 dB de padrão e do calibrador Cal 21 tipo I da marca 0dB. Logo em seguida, deve ser verificada a calibração dos microfones.

Pré-amplificadores

Os pré-amplificadores utilizados nas sondas de intensidade para as medições foram fabricados pela empresa GRAS. Esses dispositivos devem ser informados ao *software dBFa 4.9.1* pois devem sempre ser configurados juntamente com o microfone correspondente.

Espaçadores

Para a seleção da frequência limite para análise, deve-se utilizar um espaçador entre os microfones. O espaçador utilizado é da marca GRAS com 6 mm, selecionado de acordo com as frequências ou faixa de frequências de interesse. As faixas de frequência limites são mostradas na tabela 2.

Tabela 2 – Espaçadores e suas respectivas frequências.

$F_{min}(Hz)$	20	20 a 40	50 a 80	100 e mais
Espaçador (mm)				
50	12,5 - 1k (1,6k)	25 - 1k (1,6k)	50 - 1k (1,6k)	100 - 1k (1,6k)
25	25 - 2k (2k)	25 - 2k (3,15k)	50 - 2k (3,15k)	100 - 2k (3,15k)
12	50 - 2k (2k)	50 - 4k (4k)	50 - 4k (6,3k)	100 - 4k (6,3k)
6	100 - 2k (2k)	100 - 4k (4k)	100 - 8k (8k)	100 - 8k (12,5)

Fonte: Application Note dBFa 4.9.1.

- O calibrador é o Cal 21 tipo I da marca 0dB. Este emite uma frequência de 1kHz com uma pressão sonora de 94dB – Figura 12.



Figura 12 – O calibrador é o Cal 21 tipo I da marca 0dB.

Fonte: Aatoria Própria.

- O módulo dB4 fabricado pela *01dB* é o responsável pela conexão entre a sonda de intensidade no qual abrange os microfones e pré-amplificadores e o computador que processa o *software dBFA 4.9.1*. – Figura 13.



Figura 13 – Módulo de conexão dB4.

Fonte: Autoria Própria.

- Extensor telescópico fabricado pela GRAS é utilizado para a fixação dos microfones e pré-amplificadores e para fixar o conjunto microfones - sondas no pedestal – Figura 14.



Figura 14 – Extensor telescópico fabricado pela GRAS.

Fonte: Autoria Própria.

- As medições serão realizadas através de um microfone condensador capacitivo MCE 212 de 1/2" da marca 01dB, Figura 15, com as seguintes características:

Microfone 01dB MCE-212 polarizado de campo livre e 1/2 polegada de diâmetro;

Sensibilidade típica: 50mV/Pa;

Capacidade típica 20pF;

Tipo de campo sonoro - campo livre;

Direção de referência - 0.^o, perpendicular à membrana do microfone.



Figura 15 – Microfone condensador capacitivo MCE 212 de 1/2" da marca 01dB.

Fonte: Autoria Própria.

- O medidor integrador utilizado é o SOLO Black tipo I da marca 01dB – Figura 16.



Figura 16 – O medidor integrador SOLO Black tipo I da marca 01dB.

Fonte: Autoria Própria.

4 RESULTADOS

4.1 Dados Gerais

4.1.1 Dimensões do Ambiente, em m:

- Comprimento (A): 4,40
- Largura (B): 3,58
- Altura (C): 2,75

4.1.2 Dimensões correspondentes a superfície a qual envolve a fonte sonora, em m:

- Comprimento: 0,50
- Largura: 0,50
- Altura: 0,34

4.1.3 Dimensões correspondentes a superfície de medição, em m:

- Comprimento (a): 1,68
- Largura (b): 1,68
- Altura (c): 1,02

4.1.4 Definições:

Foi definido como 9 o número de pontos a serem medidos por face na superfície de medição, totalizando 45 pontos, o que satisfaz a condição de no mínimo 10 pontos no total para a execução de ambos os métodos. A precisão escolhida para os métodos foi a de engenharia (grade 2), e a curva de ponderação, a de ponderação A. A superfície de medição escolhida corresponde a um paralelepípedo, e foi posicionada de forma que cada uma das faces ficasse afastada

de pelo menos 1 m das paredes do local de medição. Foi assumido uma distância (d) entre as faces da superfície que envolve a fonte sonora e a superfície de medição com o valor de 0,59m. O tempo de cada medição, em cada ponto, foi definido em 32s, atendendo o estipulado pela norma, de um tempo mínimo de 20s. Todas as decisões foram tomadas de forma a atender os pré-requisitos estabelecidos pelas normas em ambos os métodos.

4.1.5 Volume do Ambiente, em m³:

$$V = A \cdot B \cdot C \quad (12)$$

- $V = 43,318 \text{ m}^3$

4.1.6 Área da Superfície de Medição, em m²:

$$S = (4 \cdot a \cdot c) + (a \cdot b) \quad (13)$$

- $S = 9,6768 \text{ m}^2$

4.2 Método da Pressão (ISO 3747)

4.2.1 Área de Absorção Sonora, em m²:

- $S_V = 75,394 \text{ m}^2$
- $\alpha = 0,2$

- $A = 11,3091 \text{ m}^2$

Por Sabine:

- $V = 43,318 \text{ m}^3$
- $A = 12,90 \text{ m}^2$

Para obtenção do tempo médio de reverberação do ambiente de medição (TR60), foram efetuadas 3 medições por ponto, sendo escolhidos 3 pontos aleatórios no ambiente. As medições foram feitas através do medidor integrador (Solo), foram efetuadas as médias das medições por ponto e levou-se em consideração para os cálculos apenas a média do tempo de reverberação nos 3 pontos – Tabela 3.

Tabela 3 – Tempo de reverberação médio TR60.

Média	Leq [dB]	TR60 [s]	t [s]
P1	86,27	0,52	1,07
P2	88,5	0,55	0,64
P3	86,3	0,57	0,64
MÉDIA	87,02333333	0,54666667	0,783333333

Fonte: Autoria Própria.

4.2.2 Nível Médio de Pressão Sonora Referente ao Ruído de Fundo no Ambiente de Medição, em dB – Tabela 4.

Tabela 4 – Níveis de ruído de fundo medidos no ambiente de medição em dB.

	1	2	3	4	5
Pontos	Ruído Ambiente	Ruído de Fundo 1	Ruído de Fundo 2	Ruído de Fundo 2 + Aparato	Ruído de Fundo 3
P1	38,7	64,8	94,2	94,2	85,2
P2	30,4	64,4	93,3	93,3	85,2
P3	31,8	64,6	94,4	94,4	85,1
Média	35,24	64,6	93,99	93,99	85,2

Fonte: Autoria Própria.

Sendo:

- $N_M = 3$
- Tempo por medição = 1min

4.2.3 Fatores de Correção, em dB:

- $K_{2A} = 6$ dB.

Tabela 5 – Resultados de K_{1A} , em dB.

	ΔL_{PA}	K_{1A}
1	46,36	0
2	17,6	0
3	-1,49	3
4	-2,9	3
5	0,5	3

Fonte: Autoria Própria.

4.2.4 Nível de Pressão Sonora Corrigido, em dB – Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de L'_{PA} , em dB.

	$L'_{PA(ST)}$	L'_{PA}
1	81,6	75,6
2	82,2	76,2
3	92,5	83,5
4	91,3	82,3
5	85,7	76,7

Fonte: Autoria Própria.

4.2.5 Nível de Potência Sonora, em dB - Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados de L_{WA} pelo método da pressão, em dB.

Ruído de Fundo [dB]	LWA
34	85,45
64	86
94	93,35
94 + Aparato	92,16
85	86,5

Fonte: Autoria Própria.

4.3 Método da Intensidade (ISO 9614 - 1)

Os resultados para o método da intensidade foram fornecidos diretamente pelo programa e, dos dados fornecidos pelo programa, foi utilizado o nível médio de pressão sonora para os cálculos pelo método da pressão. As frequências analisadas, como já mencionado, foram: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1K, 2K, 4K, A.

A primeira leva de medições foi efetuada com o ruído próprio do aspirador acrescido do ruído ambiente do local. Todos os indicadores ficaram dentro do esperado, validando a medição. Com apenas 0,6% de aumento, o nível de potência sonora obtido não sofreu uma diferença significativa em relação ao valor obtido pelo método da pressão, ficando dentro do esperado – Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Indicadores de campo (Aspirador + Ruído Ambiente).

ASPIRADOR + RUÍDO AMBIENTE							
INDICADORES DE CAMPO - MÉTODO DA INTENSIDADE							
Frequência	F1	Ld	F2	F3	N	CF4 ²	F4
Hz	<= 0,6	dB	dB	dB			
125	0,3	13,3	2	2,1	45	14	1,1
250	0,1	13,3	6	6	45	8	0,7
500	0,2	13,3	6,2	6,5	45	16	0,9
1k	0	13,3	6,2	6,2	45	37	1,1
2k	0	13,3	4,9	4,9	45	26	1
4k	0,1	13,3	4,9	4,9	45	24	0,9
A		13,3	5,5	5,5	45	17	0,8

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 9 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + Ruído Ambiente).

ASPIRADOR + RUÍDO AMBIENTE				
Frequência	INTENSIDADE			PRESSÃO
	Lp	Li	Lw	Lw
Hz	dB	dB	dB(A)	dB(A)
125	57,8	55,8	49,5	*
250	66,7	60,7	62	*
500	78,9	72,4	79,1	*
1k	74,2	68	77,9	*
2k	75,5	70,6	81,6	*
4k	74,5	69,6	80,4	*
A	81,6	76,2	86	85,45

Fonte: Autoria Própria.

Na segunda leva de medições, as medições foram efetuadas com o ruído próprio do aspirador e o ruído emitido pela fonte dodecaédrica, correspondendo à 64dB. Assim como na primeira leva de medições, todos os indicadores ficaram dentro do esperado, validando a medição. Com apenas 0,35% de aumento, o nível de potência sonora obtido não sofreu uma diferença significativa em relação ao valor obtido pelo método da pressão, ficando dentro do esperado – Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Indicadores de campo (Aspirador + 64dB).

ASPIRADOR + 64 dB							
INDICADORES DE CAMPO - MÉTODO DA INTENSIDADE							
Frequência	F1	Ld	F2	F3	N	CF4*	F4
Hz	<= 0,6	dB	dB	dB			
125	0,2	13,3	4,4	4,6	45	10	0,9
250	0	13,3	5,8	5,8	45	9	0,7
500	0,1	13,3	6,6	7,4	45	36	1,4
1k	0,1	13,3	6,1	6,1	45	35	1,1
2k	0	13,3	5	5	45	25	0,9
4k	0	13,3	5,1	5,1	45	23	0,9
A		13,3	5,8	5,8	45	18	0,8

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 11 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + 64dB).

ASPIRADOR + 64 dB				
Frequência	INTENSIDADE			PRESSÃO
	Lp	Li	Lw	Lw
Hz	dB	dB	dB(A)	dB(A)
125	57,4	52,8	46,6	*
250	67,2	61,4	62,6	*
500	79,9	72,5	79,2	*
1k	74,5	68,4	78,2	*
2k	75,8	70,9	81,9	*
4k	74,9	69,8	80,7	*
A	82,2	76,4	86,3	86

Fonte: Autoria Própria.

Na terceira leva de medições, os indicadores de campo não foram atendidos para nenhuma das bandas de frequência, tornando as medições totalmente inválidas, ficando bem evidente na grande diferença de 4,3% entre os valores de potência sonora obtidos pela pressão e pela intensidade, já que o esperado é que o valor seja o mesmo ou muito próximo. Uma possível causa para que isso tenha acontecido, é o fato do som emitido pela fonte dodecaédrica ter apresentado grande direcionalidade em direção ao aspirador – Tabelas 12 e 13. Dessa forma, tomou-se uma das ações sugeridas pela norma - tabela 5 (opção 2), e as medições foram

refeitas numa quarta leva de medições com o uso de um aparato a fim de mitigar a direcionalidade da fonte de ruído externo – Tabelas 14 e 15.



Figura 17 – Aparato utilizado para reduzir a direcionalidade entre a fonte e o aspirador.

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 12 – Indicadores de campo (Aspirador + 94dB).

ASPIRADOR + 94 dB							
INDICADORES DE CAMPO - MÉTODO DA INTENSIDADE							
Frequência Hz	F1 <= 0.6	Ld dB	F2 dB	F3 dB	N	CF4 ²	F4
125	0,2	13,3	8,3	23,6	45	21644	44,4
250	0,1	13,3	10,4	19	45	1599	9,2
500	0,3	13,3	8,3	8,7	45	21	1,1
1k	0,1	13,3	10	13,3	45	155	2,3
2k	0	13,3	8	12,7	45	337	3,4
4k	0	13,3	10	13,6	45	234	2,8
A		13,3	9,5	12,9	45	171	2,4

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 13 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + 94dB).

ASPIRADOR + 94 dB				
Frequência Hz	Lp dB	Li dB	INTENSIDADE	
			Lw dB(A)	Pressão Lw dB(A)
125	79	55,4	49,2	*
250	78,9	59,9	61,2	*
500	83	74,3	81	*
1k	82,6	69,3	79,2	*
2k	86	73,3	84,3	*
4k	88,9	75,3	86,1	*
A	92,5	79,6	89,5	93,35

Fonte: Autoria Própria.

Infelizmente a ação não foi suficiente, provavelmente devido as características do ambiente e ao posicionamento da fonte dodecaédrica na sala, e o problema persistiu.

Tabela 14 – Indicadores de campo (Aspirador + 94dB + Aparato).

ASPIRADOR + 94 dB + APARATO							
INDICADORES DE CAMPO - MÉTODO DA INTENSIDADE							
Frequência	F1	Ld	F2	F3	N	CF4 ²	F4
Hz	<= 0.6	dB	dB	dB			
125	0,3	13,3	8,1	19,9	45	4359	19,9
250	0,1	13,3	10,1	17,7	45	983	7,2
500	0,4	13,3	8,2	8,8	45	31	1,3
1k	0,1	13,3	9,7	13,5	45	224	2,8
2k	0	13,3	7,8	13,8	45	684	4,9
4k	0	13,3	8,8	20,1	45	8544	17,2
A		13,3	8,9	15,4	45	840	5,4

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 15 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + 94dB + Aparato).

ASPIRADOR + 94 dB + APARATO				
Frequência	Lp	Li	INTENSIDADE	PRESSÃO
			Lw	Lw
Hz	dB	dB	dB(A)	dB(A)
125	79,5	59,6	53,3	*
250	79,5	61,9	63,1	*
500	81,7	73	79,7	*
1k	81,9	68,4	78,3	*
2k	84,4	70,6	81,7	*
4k	87,8	67,6	78,5	*
A	91,3	75,9	85,8	92,16

Fonte: Autoria Própria.

A última leva de medições foi efetuada com o ruído próprio do aspirador e o ruído emitido pela fonte dodecaédrica de 85dB. Apesar de nem todos os indicadores terem sido atendidos na frequência de 125 Hz, o que torna a medição inválida nessa faixa de frequência, com apenas 0,23% de aumento, o nível de potência sonora obtido não sofreu uma diferença significativa em relação ao valor obtido pelo método da pressão, ficando dentro do esperado – Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Indicadores de campo (Aspirador + 85dB).

ASPIRADOR + 85 dB							
INDICADORES DE CAMPO - MÉTODO DA INTENSIDADE							
Freqüência	F1	Ld	F2	F3	N	CF4²	F4
Hz	≤ 0,6	dB	dB	dB			
125	0,2	13,3	10,2	15	45	188	4,1
250	0,6	13,3	10,5	11	45	21	1,1
500	0,1	13,3	7,4	8,2	45	40	1,5
1k	0,1	13,3	8	8	45	30	1
2k	0	13,3	7,8	8,2	45	27	1
4k	0	13,3	10,1	11,2	45	37	1,1
A		13,3	9	9,3	45	16	0,8

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 17 – Resultados Intensidade e Pressão (Aspirador + 85dB).

ASPIRADOR + 85 dB				
Freqüência	INTENSIDADE			PRESSÃO
	Lp	Li	Lw	Lw
Hz	dB	dB	dB(A)	dB(A)
125	67,1	52,1	45,9	*
250	72,7	61,7	63	*
500	80,3	72,1	78,7	*
1k	76,6	68,5	78,4	*
2k	79,4	71,1	82,2	*
4k	81	69,7	80,6	*
A	85,7	76,4	86,3	86,5

Fonte: Autoria Própria.

Na tabela 18 e no gráfico 1, feito a partir da tabela 18, apresentam-se os resultados gerais de potência sonora (L_w) obtidos através de ambos os métodos e como eles variaram em relação ao ruído de fundo.

Tabela 18 – Comparativo entre os métodos da Pressão e da Intensidade.

RESULTADOS GERAIS		
	INTENSIDADE	PRESSÃO
Aspirado + Ruído de Fundo dB(A)	L_w dB(A)	L_w dB(A)
Aspirador + Ruído Ambiente	85,45	86
Aspirador + 64 dB	86	86,3
Aspirador + 94 dB	93,35	89,5
Aspirador + 94 dB + Aparato	92,16	85,8
Aspirador + 85 dB	86,5	86,3

Fonte: Autoria Própria.

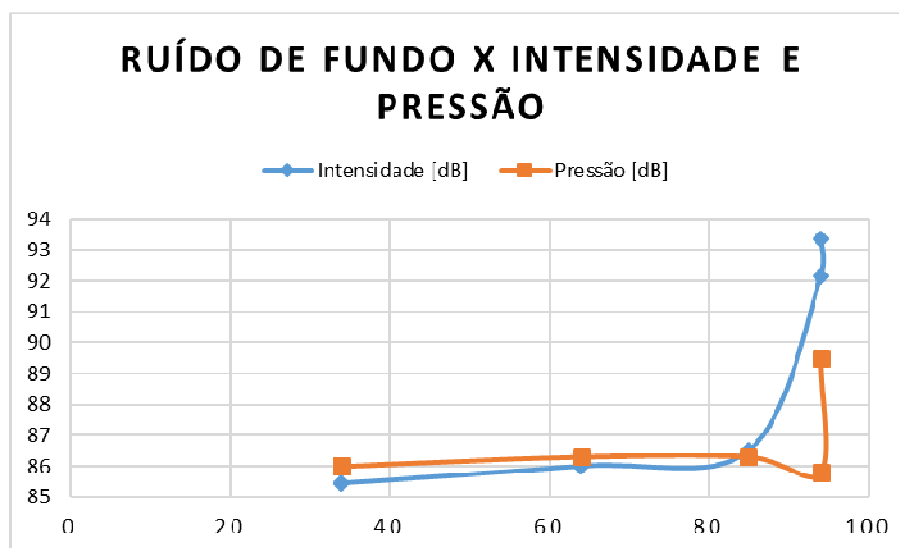


Gráfico 1 – Comparativo entre os métodos da Pressão e da Intensidade.

Fonte: Autoria Própria.

CONCLUSÕES

A pressão sonora que chega aos nossos ouvidos depende da fonte sonora, da distância da fonte e do ambiente e também depende do tamanho do ambiente e da absorção sonora das superfícies do ambiente.

A combinação da direcionalidade da fonte sonora com a acústica da sala produz a sensação de espacialização do som. Segundo Brandão, 2018, as fontes sonoras são, em geral, direcionais quando o comprimento de onda é menor que as dimensões da fonte. Isso implica que, em geral, em altas frequências, as fontes tendem a ser direcionais, radiando mais energia acústica ao redor de determinados ângulos em detrimento a outros.

Com o nível de potência de 94 dB, houve um aumento da pressão sonora e devido as características do ambiente de medição e a posição da fonte no mesmo, resultou na direcionalidade da fonte emissora de ruído externo, a fonte dodecaédrica, em relação ao aspirador, o que resultou em um não atendimento dos indicadores de campo e por seguinte a não validação das medições tanto da intensidade quanto da pressão, já que o nível de pressão médio ponderado utilizado nos cálculos da pressão foi obtido através do método da intensidade. Mesmo tentando-se reduzir a direcionalidade colocando um aparato entre a fonte e o aspirador, não foi o suficiente para resolver o problema devido as características da sala. Logo essa medição pode ser considerada como inconclusiva para a comparação entre os métodos.

De acordo com a tabela 18 e com o gráfico 1, na faixa de 34 dB à 86 dB não houve diferença significativa entre os resultados obtidos por ambos os métodos os quais encontram-se dentro do esperado. Porém, como já foi discutido anteriormente, acima desse valor os dados começam a divergir significativamente. Seria interessante como estudo futuro, dar continuidade para essas medições na mesma sala, variando-se a posição da fonte sonora, e em outra sala, afim de averiguar a influência do ambiente nas medições.

Em geral, pode-se concluir que os resultados foram sim satisfatórios para um melhor entendimento do fenômeno acústico e pode-se ainda ressaltar que o nível de pressão sonora pode ser obtido de forma mais eficiente pelo método da intensidade devido a maior robustez do método, já que o método da intensidade conta com mais parâmetros para validação das medições do que o da pressão. Outro fator que torna o método da intensidade interessante, é que através de um equipamento só, é possível determinar o nível de pressão sonora utilizado para os cálculos pelo método da pressão, economizando em tempo e equipamento.

REFERÊNCIAS

ASTRUP, Torben. **Measurement of Sound Power Using the Acoustic Intensity Method – a Consultant's View Point**. Dinamarca, 1996.

BRANDÃO, E. **Acústica de Salas – Projeto e Modelagem**. Editora Blucher. São Paulo, 2018.

BRÜEL & KJAER. **Sound Intensity Software BZ 7205**. Dinamarca, 1998.

BRÜEL & KJAER, **Soud Intensity**, Dinamarca.

GROSEWIC, Ricardo C; NETO, Octávio G. **Comparação Entre Métodos de Potência Sonora em Ambientes Reverberantes**. Curitiba, 2016.

ISO 9614-1:1993, **Acoustics-determination of the sound power levels of noise sources by sound intensity measurement. Part I measurement at discrete points**.

ISO 3747:2010, **Acoustics -- Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure -- Engineering/survey methods for use *in situ* in a reverberant environment**.

JACOBSEN, Finn. **Sound Intensity and its Measurement and Applications**. Dinamarca, 2005.

PARIS, Lladó; TABUENCA, Sánchez; RODRIGUEZ, Laiz; BORRAZ, Uson; AMBROI, Clavería. **Influencia del Metodo de Medida: Camara Semianecoica e Intensidad Sonora em la Determinacion de la Potencia Sonora Emitida por Una Lavadora**. Zaragoza, 1999.

TANDON, N. **Sound Intensity Tequinique and its Aplications in Noise Control**. HausKhas, Nova Déli, 1999.

ZWIRTES, Daniele Petri Zanardo. **Avaliação do Desempenho Acústico de Salas de Aula: Estudo de Caso nas Escolas Estaduais do Paraná**.

