

## DESENVOLVIMENTO DE UM BANCADA DE TUBO DE IMPEDÂNCIA PARA CALIBRAÇÃO DE SONÔMETRO E MICROFONE

Álvaro de Souza Francisco Júnior<sup>1</sup>

Elvys Isaias Mercado Curi<sup>2</sup>

**Resumo:** O ruído é considerado um problema de saúde pública, podendo trazer diversas enfermidades a saúde humana, muitas vezes deixando sequelas irreversíveis. Há no mercado diversos equipamentos desenvolvidos para medir os níveis de pressão sonora, ou seja, a intensidade do ruído, porém possuem um valor elevado e nem sempre atendem as necessidades para determinadas análises de acústica. O intuito desta pesquisa é realizar a calibração de sensores de baixo custo, seguindo a norma ISO-10534-1 (1996). Realizando a confecção da bancada tubo de impedância para calibração do sensor, utilizando um sonômetro como referência, com suporte do software *LabView*® para aquisições de dados no domínio do tempo e da frequência, utilizando a transformada rápida de Fourier. Contudo, obteve-se a resultados satisfatórios com os instrumentos calibrados.

**Palavras-Chave:** Ruído. Tubo de impedância. Microfone. *LabView*®. Programação.

### 1 INTRODUÇÃO

O ruído acústico é um dos problemas ergonômicos mais prejudiciais à saúde audível do ser humano, causa desconforto, falta de concentração, perda gradual auditiva e em alguns casos, danos irreparáveis na saúde psicológica. Por isso, é um tema que a engenharia deve buscar soluções de maneira contínua. Segundo Aranha (2019), a Organização Mundial de Saúde – OMS relata que o Brasil está em quinto lugar no ranking mundial de países com maior poluição sonora, sendo o ruído rodoviário um dos principais motivos para o estresse dos brasileiros no trânsito. Na União Europeia uma em cada três pessoas é exposta a altos níveis sonoros, em consequência, 20% da população sofre de insônia, já no Reino Unido segundo estatísticas, 1,8 milhões de pessoas afirmam que ruídos as deixam estressadas.

A população mundial está constantemente exposta a sons indesejáveis, nas ruas, trabalho ou em suas casas. A engenharia acústica visa contribuir na

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail: alvarodesouzafjr@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: elvys.curi@satc.edu.br

qualidade de vida das pessoas, trazendo soluções para reduzir a exposição aos altos níveis de ruído, uma dessas contribuições foram a criação de normas que determinam o tempo e intensidade que o ser humano pode ficar exposto às emissões de ruídos.

Segundo a norma técnica NBR 10151 (2000), a qual avalia o ruído em áreas habitadas, ou seja, predominantemente residencial, determina que o limite de pressão sonora em área mista é no máximo 55 dB(A) no período diurno e 50 dB(A) no noturno. Existe também a norma regulamentadora NR-15 (2019) que avalia atividades e operações insalubres, determinando o limite de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes de 8 horas diárias, sendo de 85 dB(A), definindo-se que a cada 5 dB(A) de acréscimo o tempo de atividade trabalhista deve se reduzir pela metade.

O ouvido humano possui diferentes reações para cada faixa de frequência. Deve-se levar em conta a sensibilidade sobre a faixa audível para uma avaliação adequada da exposição humana ao ruído. O nível global de pressão sonora (dB), deve ser ajustado utilizando a curva de ponderação (A), nível global de pressão sonora audível (dBA), seguindo as normas IEC 61260 e IEC 61672-1 (AMBONI, 2016). Com isso, para a medida do campo acústico que irradia determinado objeto, necessita-se de um aparelho de medição para: captar os sinais sonoros, analisar as características do som no espaço e tempo e avaliar as características do som, se factível, reduzir o nível de pressão sonora na fonte de irradiação.

Para tais atividades, desenvolveu-se um localizador de fontes de ruído, consistindo em um protótipo, construído com uma malha de sensores de medida de pressão sonora. O objetivo deste aparelho é quantificar espacialmente um campo acústico para localizar a fonte de som ou espacialmente onde se detecta maior nível de emissão de som, aplicando-se em diferentes casos de medida de som. Contribuindo com a captação de informações primordiais do ruído sonoro, tais como, qual parte ou componente de uma máquina possui maior fonte de som. Pode ser também aplicado em janelas para verificar a transmissibilidade do som, detectando em qual área do componente se irradia o som transmitido pelo ar. Contudo, é de extrema importância nestes casos distintos saber quais são os pontos de maior irradiação para cada caso de aplicação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão tratados conceitos de acústica e de instrumentos de medição. Em particular para a medida da pressão sonora o método de calibração é por comparação baseado nas normas IEC 61094-1, IEC 61094-4, IEC 61094-5, EA 4/02 e IEC 60942.

### 2.1 SOM E RUÍDO E SUA ESCALA EM DECIBEL

Fábio (2008), descreve o som como um distúrbio físico que se propaga em um meio no qual o ouvido humano é capaz de captar. O som se caracteriza por ser agradável ao ouvido humano, porém no dia a dia a sociedade está exposta a sons desagradáveis, os quais são chamados de ruído. O ruído tem suas peculiaridades (frequência, amplitude, duração, etc), mas, cada pessoa tem uma reação diferente frente a ele.

Segundo Mateus (2008), o ouvido humano é sensível à captação das ondas sonoras na faixa de frequência de 20 Hz a 20 kHz, sendo variável em relação às amplitudes e frequência. O sinal da amplitude varia 1 milhão de vezes entre o ponto mínimo e máximo, devido a isto é comum usar a escala logarítmica do nível de pressão sonora em decibel (dB), o qual é a multiplicação de dez do logaritmo entre a razão dos quadrados da pressão sonora de análise e a pressão sonora de referência, sendo a variação de pressão mínima equivalente ao limiar da audição ( $20 \times 10^{-6}$  Pa).

O nível de pressão sonora é definido pela (Eq. 1):

$$L_p = 10 \cdot \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 \quad [dB] \quad (1)$$

O limite inferior da audibilidade humana é de 0 dB na frequência de 3 kHz. O limite superior da audição humana é 130 dB, sendo o nível de pressão máximo, no qual, um som na frequência de 20 kHz, representa o limiar da dor, podendo trazer danos à saúde humana. A escala decibel varia de 0 dB a 160 dB, sendo de conhecimento que a exposição a um som de 160 dB irá acarretar na perfuração instantânea do tímpano (MARTINS, 2014).

O ouvido humano possui sensibilidades distintas em diferentes frequências, é utilizado o valor do nível de pressão em dB(A), baseado em curvas isofônicas criada por Fletcher e Munson, a qual considera os valores correspondentes de igual sensação do aparelho auditivo humano para ruídos aéreos e de baixa intensidade. Este valor pode ser obtido através do decibelímetro (DONATO, 2018).

## 2.2 NORMAS PARA LIMITES DE RUÍDO

A Norma Brasileira Regulamentadora NBR 10151 (2017), referente a avaliação do ruído em áreas habitadas, destaca que as medições em ambientes internos não devem ser feitas próximas a superfícies como mesa e paredes, mantendo-se no mínimo 1 metro de distância. Deve-se efetuar no mínimo 3 medições em diferentes posições, afastado ao menos 0,5 m. A medida do nível de pressão sonora lido em resposta (FAST) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído. O resultado dos níveis de pressão sonora devem ser a média aritmética resultante dos pontos de medições, representada na (Eq. 2):

$$L_{Aeq} = 10. \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} [dB(A)] \quad (2)$$

A norma NBR 10152 (2017), define valores de referência visando a preservação da saúde e bem-estar humano, substituindo a ideia da norma de NBR 10152 (1987), de conforto acústico. Também estabelece procedimentos para medições dos níveis de pressão sonora, determinação do nível sonoro representativo, e a avaliação sonora dos ambientes internos para compará-lo com os valores de referência indicados pela norma. Os níveis de ruído tolerável em ambientes diversos, são dados na Tab. 1. Os valores dB(A) mostram o nível de pressão sonora ponderado em (A) recomendável para cada ambiente interno, o NC é conhecido por ser um método de avaliação de ruído em um ambiente determinado, referindo-se à curva de avaliação de ruído (NC).

Tabela 1: Valores dB(A) e NC para ambientes internos.

<b>Locais</b>	<b>dB(A)</b>	<b>NC</b>
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 - 45	30 - 40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
Hotéis		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de Estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 - 55	40 - 50
Residências		
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Salas de estar	40 - 50	35 - 45
Auditórios		
Salas de concertos, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40 - 50	35 - 45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

Fonte: Norma ABNT NBR 10152 (2017)

Segundo Filho et al (2018), a revisão da norma NBR 10152 (2017), interligou explicitamente as três normas básicas da acústica em edificações no Brasil. As normas NBR 10151, NBR 10152 e NBR 15575. A revisão acabou com a separação normativa, e com a afirmação que seus valores de referência são atendidos quando o isolamento acústico da fachada de uma edificação está em conformidade com o desempenho estabelecido pela NBR 15575, desde que os níveis de pressão sonora externos a essa edificação atendam aos níveis de critério de avaliação da NBR 10151.

### 2.3 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO E CALIBRAÇÃO

A calibração de um microfone consiste em determinar a sensibilidade para cada frequência, divide-se em secundária e primária. Segundo a norma IEC 61094-5, na calibração secundária, determina-se as características do objeto a partir da

sensibilidade do microfone padrão de referência ou por atuador eletrostático. Segundo a norma IEC 61094-2, a calibração primária se determina por reciprocidade e pelas características do objeto sob calibração. A sensibilidade do microfone padrão de laboratório se determina pela medida da tensão e corrente elétrica, comprimento, volumes, área, velocidade, densidade e condições ambientais (MILHOMEM, 2008).

A sensibilidade é a razão entre o sinal de saída e sinal de entrada. No caso do microfone, o sinal de entrada é a variação da pressão dinâmica e o sinal de saída é a tensão elétrica. Desse modo, a sensibilidade do microfone é medida em volts por pascal e a sensibilidade, em decibel referente a V/Pa (MILHOMEM; SOARES, 2013).

A calibração pode ser absoluta ou comparativa. Na calibração absoluta os valores e incertezas são atribuídos ao instrumento de medição a partir de relações com padrões de outras grandezas enquanto na calibração comparativa, os valores e incertezas são atribuídos a partir de relações com padrões de mesma grandeza. Não se deve confundir calibração com ajuste. Enquanto o primeiro atribui valores e incertezas ao instrumento, o segundo consiste em uma sequência de operações para que o instrumento forneça a indicação de um determinado valor (MILHOMEM, 2017).

Na prática as medições acústicas são realizadas em diferentes tipos de campos sonoros. Nas baixas frequências, a magnitude da sensibilidade do microfone independe do campo, porém as médias e altas frequências dependem do campo. Neste caso a sensibilidade é determinada em um ambiente com características similares ao do campo onde o microfone será utilizado (MILHOMEM, 2008).

## 2.4 CALIBRAÇÃO E CAMPO ACÚSTICO

A calibração de um microfone se realiza em três tipos de campos sonoros: livre, difuso e de pressão. No campo livre, a fonte de som se irradia em várias direções desde uma única origem apontado diretamente ao diafragma do microfone, nestas áreas são minimizadas as reflexões do som no ambiente. O microfone de campo de pressão é construído para medir a pressão do som exercida na frente do diafragma, obtendo a mesma magnitude e fase em qualquer posição do campo sonoro. Este tipo de campo, é geralmente encontrado em uma cavidade, a qual é menor quando comparada ao comprimento de onda e a fonte sonora proveniente de uma única fonte. O campo difuso é um campo onde o microfone é inserido e recebe ondas sonoras de

várias direções com múltiplas fontes e reflexões, possui correções de curvas em diferentes ângulos de incidência (NASCIMENTO, 2012).

A sensibilidade do microfone se determina numa situação semelhante à qual o microfone será utilizado. Assim, a calibração dos microfones tem três diferentes situações: na calibração em campo sonoro livre, as ondas sonoras vêm de uma única direção, livres de qualquer perturbação. Na calibração em campo sonoro difuso, as ondas sonoras vêm de todas as direções com igual probabilidade e com amplitude e fase aleatórias. Na calibração no campo sonoro de pressão, as ondas sonoras têm a mesma magnitude e fase em qualquer posição de uma seção do campo sonoro. O campo de pressão é encontrado em cavidades como, por exemplo, na cavidade de calibradores de nível sonoro e de ouvidos artificiais (MILHOMEM, 2017).

Um microfone pode ser projetado para medir em um determinado campo sonoro, tendo sua resposta em frequência plana nesse campo. Assim, um microfone de campo de pressão, seu diafragma terá pouco amortecimento. Um microfone de campo difuso terá seu diafragma um pouco mais de amortecimento. Finalmente, um microfone de campo livre, seu diafragma é construído com um forte amortecimento (MILHOMEM; SOARES, 2008).

A IEC61094-3 define a condição de campo livre como: 'Condições de campo livre prevalecem quando uma onda sonora puder propagar-se livremente sem perturbações de qualquer tipo'. O microfone que tem resposta plana no campo livre, tem aplicações práticas de medições de ruído ambiental, aeronáutico, automotivos, medições de parâmetros acústicos de alto-falante, etc. As calibrações de microfones se ajustam para determinar a sensibilidade em campo livre (SOARES, 2006).

A calibração secundária se realiza por dois métodos, diferenciadas pela utilização de um atuador eletrostático ou uma fonte de som em diferentes campos acústicos. O uso do atuador eletrostático (IEC 61094-6), determina a resposta em frequência do microfone. O aparelho é uma placa fixa, condutora de eletricidade, a que se posiciona próxima ao diafragma do microfone. Seu diafragma produz uma força eletrostática que simula uma pressão sonora uniformemente distribuída, equivalente a um campo sonoro de pressão. Após determina-se a resposta em frequência e a sensibilidade com correções para os campos de pressão, livre ou difuso.

Na calibração por comparação em campo livre, o microfone de referência e sob calibração são expostas à mesma pressão sonora, medindo-se os níveis de pressão sonora simultaneamente ou sequencialmente. Com esses dados, calcula-se o nível de sensibilidade do microfone sob calibração. Para a calibração por comparação em campo de pressão, o acoplamento acústico dos microfones é feito utilizando um acoplador ou um jig. A calibração por comparação em campo difuso é feita de forma sequencial ou simultânea, posicionando os microfones de referência e sob calibração dentro de uma câmara reverberante (MILHOMEM, & SOARES, 2008).

Para determinar a resposta em frequência em campo livre de transdutores eletroacústicos a técnica é a excitação com tons puros em câmara anecóica. Quando o método da comparação é utilizado para a determinação da resposta em frequência, o sinal de excitação captado pelo dispositivo sob teste (DST) é dividido pelo sinal de excitação captado pelo dispositivo de referência com posterior multiplicação da amplitude da resposta em frequência (obtida no certificado de calibração do padrão) do dispositivo de referência, determinando assim a amplitude da resposta em frequência do DST (certificado de calibração do DST) (SOARES, 2006).

## 2.5 DETERMINAÇÃO DA FONTES ACÚSTICAS.

A diferença das intensidades dos sons (dB), que atingem a orelha esquerda e a direita é conhecida como ILD. A diferença de fase das ondas sonoras que chegam às orelhas, é chamada de ITD, define-se como a diferença do intervalo de tempo entre as ondas para chegar de uma orelha a outra. Fisicamente só é distinguível a direção de um evento auditivo pelo ITD, quando a diferença de fase da onda não ultrapassa 0,66 ms. HRTF são modelos matemáticos que descrevem a diferença entre o som puro em propagação sem nenhuma deformação e o som que chega ao tímpano das pessoas, descrevem como ondas sonoras filtradas pelas propriedades de difração e reflexão da cabeça, orelhas e torso. Os seres humanos podem estimar a localização do som, inconscientemente, utilizando sons de uma orelha, e comparando as diferenças com a outra. As diferenças relativas de tempo e intensidade são sutis, mas com estes parâmetros o cérebro consegue estimar a localização de fontes sonoras (KIRCHNER, 2010).



### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Apresentam-se aqui as atividades que foram necessárias para realizar a fabricação do tubo de impedância, equipamentos e softwares utilizados.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DE SENSORES

A definição dos sensores, para referência e calibração, foi o primeiro passo a ser realizado. Encontrou o sensor de marca *Minipa*® MSL-1355B, (Fig. 1a), selecionado para servir como sonômetro de referência, isto, devido ao seu custo-benefício, cerca de R\$ 750,00 reais e também a sua garantia de calibração com validade de 1 ano. A conexão do sensor MSL-1355B foi realizada via USB, pois já existe um software acoplado ao instrumento. O aparelho faz medições apenas em decibel com ponderação em A e em C (dBA e dBC). Optou-se por utilizar as medições em dBA, devido ao melhor enquadramento nas aquisições para ruídos contínuos.

O sonômetro de baixo custo a ser calibrado foi o SL-814, (Fig. b), já existente no laboratório. É de conhecimento que seu display não é confiável. Uma das vantagens do sensor SL-814 é sua perfeita comunicação com a placa de aquisição, dispensando-se assim, um amplificador externo

Figura 2: Sonômetro usados a) *Minipa*® MSL-1355B. b) SL-814.



Fonte: do Autor (2020)

Apesar que o sensor de referência possuir saída analógica, está não se comunicava com a placa de aquisição analógica digital de National instruments® NI USB-6002, para os registros de dados, pois a variação de tensão na saída é na ordem de 5 mV. Neste caso foi necessário um amplificador de sinal externo. A Fig. 2 mostra o sensor microfone amplificador MAX-9814, escolhido para realizar as análises por seu baixo valor comercial, o mesmo possui três tipos de ligações e ganhos distintos.

Figura 2: Sensor amplificador MAX9814.

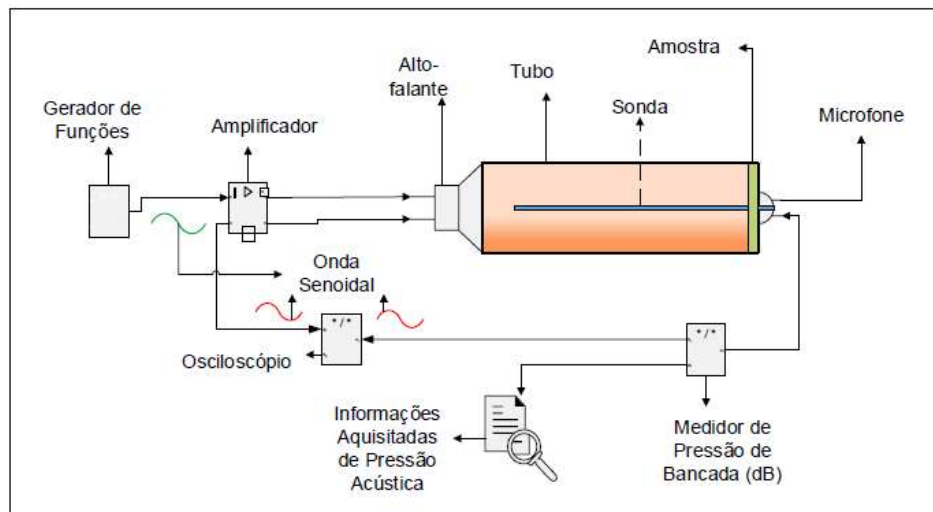


Fonte: do Autor (2020)

### 3.2 TUBO DE IMPEDÂNCIA

Para a calibração de sensores microfones, construiu-se um protótipo intitulado de tubo de impedância (Fig. 3), o qual simula uma câmara acústica. Sua construção foi fundada de acordo com a norma ISO-10534-1 (1996).

Figura 3: Representação e componentes do tubo de impedância.



Fonte: Ota e Chavarette (2015)

Para construção da bancada foram utilizados os componentes do Qd. 1, dentre eles um tubo de PVC (Fig. 4), de 1800 mm de comprimento e 200 mm de diâmetro. O tubo foi revestido internamente com material acústico *Isoline*®, tal com a finalidade de evitar ruídos externos, que comprometeria os resultados. A escolha do diâmetro foi devido ao espaço interno, que mesmo com revestimento diminuindo o diâmetro, permitiu-se que os instrumentos coubessem no interior do tubo.

Quadro 1: Lista dos materiais e suas especificações.

<b>Componente</b>	<b>Especificação</b>
Tubo de PVC	200 mm
Revestimento acústico	Isoline C1N/L10
Tampas Pvc	200 MM
Haste de Aço	SAE 1020
Decibelímetro Digital	MSL-1355B
Oscilador de Áudio	Landmeier®
Auto Falante	Selenium MR54, 125W PMPO, 35W
Placa de Aquisição	NI USB-6002
Software	LabView®
Notebook	Legion Y540

Fonte: do Autor (2020)

Figura 4: Tubo de PVC revestido com Isoline®



Fonte: do Autor (2020)

Em uma das extremidades do tubo acopla-se o auto falante *Selenium*® centralizado a tampa de 200 mm, conectado ao gerador de funções *Landmeier*®. A

outra extremidade foi acoplada a haste de aço, a qual foi posicionada o decibelímetro digital MSL-1355B de referência das medições juntamente com o instrumento a ser calibrado. A Fig. 5 mostra a bancada produzida para execução das calibrações.

Figura 5: Bancada tubo de impedância.



Fonte: do Autor (2020)

Fez-se necessário definir alguns parâmetros a serem trabalhados na bancada, tais como, frequência de corte, comprimento de onda e a fórmula para o fator de conversão.

Para determinar as frequências (Eq. 5), utilizadas no experimento, adotou-se o critério da frequência de corte, seguindo a norma ISO-10534-1(1996). Utilizou-se como diâmetro interno do tubo 172 mm, chegando-se à frequência de corte de 1171,38 Hertz, parâmetro conhecido como o limite máximo de frequência em que a bancada consegue analisar.

$$f_c = \frac{1,84 \cdot c}{\pi d} \quad (5)$$

Adotaram-se as frequências de 250 Hz, 500 Hz e 1000 Hz para a calibração dos sensores microfones. Segundo a norma ISO-10534-1(1996), calcula-se os comprimentos de onda (Eq. 6), determinando a distância entre o emissor (auto falante) e o receptor (decibelímetro e sensor microfone).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (6)$$

A partir das equações anteriores, construiu-se a (Tab. 2) representando o comprimento de onda de determinadas frequências.

Tabela 2: Comprimento de onda para frequências úteis para bancada.

FREQUÊNCIA ÚTEIS PARA BANCADA					
Frequência (Hz)	250	500	750	1000	1171,38
Comprimento de onda (m)	1,38	0,69	0,46	0,34	0,29

Fonte: do Autor (2020)

Para encontrar o fator de conversão foi necessário utilizar a fórmula (Eq. 7) que interage a variação de tensão com variação de pressão.

$$NPS = 10 \log_{10} \frac{p_{rms}^2}{P_0^2} = 10 \log_{10} \frac{V_{rms}^2 10^{c/10}}{P_0^2} = 10 \log_{10} \frac{V_{rms}^2}{P_0^2} + C \quad (7)$$

O intuito principal do programa foi analisar a variação de tensão no domínio do tempo, sendo assim, necessário a utilização do filtro estatística em RMS (Eq. 8), conhecido também como valor eficaz.

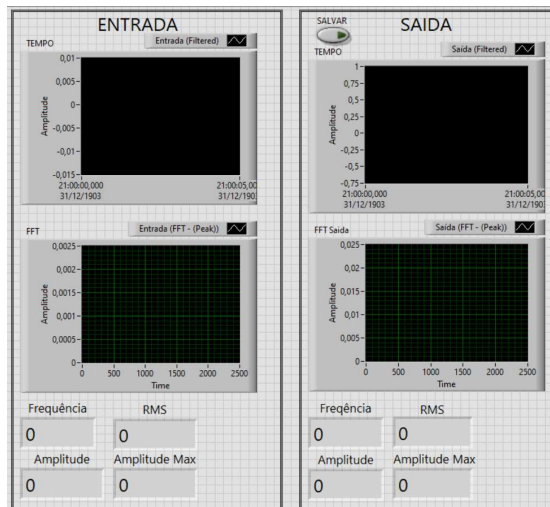
$$V_{TRMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}{n}} \quad (8)$$

Tal análise possui a função de transformar todos os valores negativos do pacote de dados em positivos, atribuída a isto sua essencialidade ao caso.

### 3.2 AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE SINAIS

Os sensores microfones piezoelétricos possuem a característica de variar os sinais de tensões de acordo com a variação de pressão que recebe por meio físico. Sabendo-se de tal feito, foi desenvolvido a programação em *LabView®* para as aquisições e monitoramento dos dados de entradas e saídas (Fig. 6). O auto falante e o sensor microfone são conectados cada um à entradas analógicas da placa de aquisição de dados NI USB-6002.

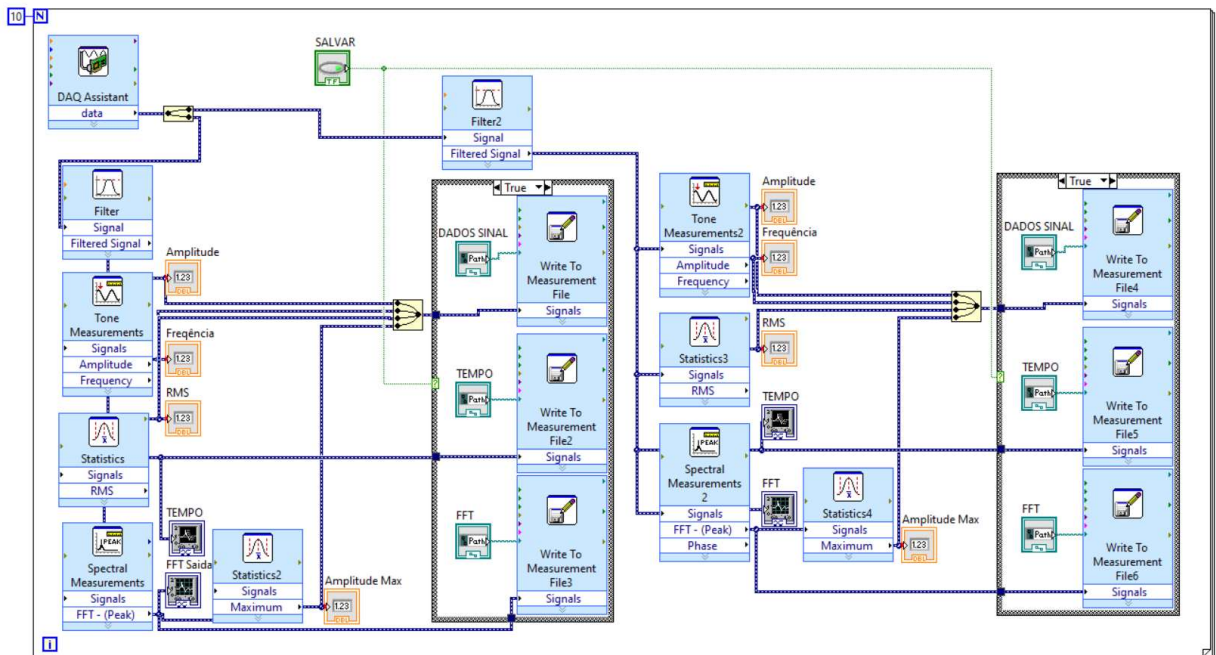
Figura 6: Painel frontal em *LabView*® para monitoramento dos dados.



Fonte: do Autor (2020)

O painel frontal do *LabView*® mostra os principais dados de entrada e saída do experimento, sendo de suma importância para avaliar o sinal emitido pelo gerador de funções, funcionando assim, como um osciloscópio. Com o auxílio do software foi possível desenvolver o diagrama de blocos (Fig. 7).

Figura 7: Diagrama de blocos feito no *LabView*®.



Fonte: do Autor (2020)

O programa em blocos conta com ferramentas virtuais de osciloscópio, o qual monitora a frequência e amplitude máxima do sinal, dispensando o aparelho de

osciloscópio, reduzindo-se custos do experimento. O software conta com filtros de transformada rápida de Fourier o qual mostra em tempo real a amplitude na frequência analisado e filtros como estatísticas em RMS (*root mean square*) sendo esse o dado essencial para determinar o fator de transferência do sinal em tensão analisado.

Sua programação foi realizada para registrar dez pacotes de dados com 2500 aquisições cada. Realizavam-se 5 aquisições de dados para cada frequência, alterando os níveis de intensidade sonora do emissor, sendo elas entre 65 dBA à 105dBA. As sinas foram analisadas por meios do software *Excel*®, a fim de encontrar a função de transferência (Eq. 7), sendo a equação que transforma os sinais de tensão elétrica do sensor em níveis de pressão sonora.

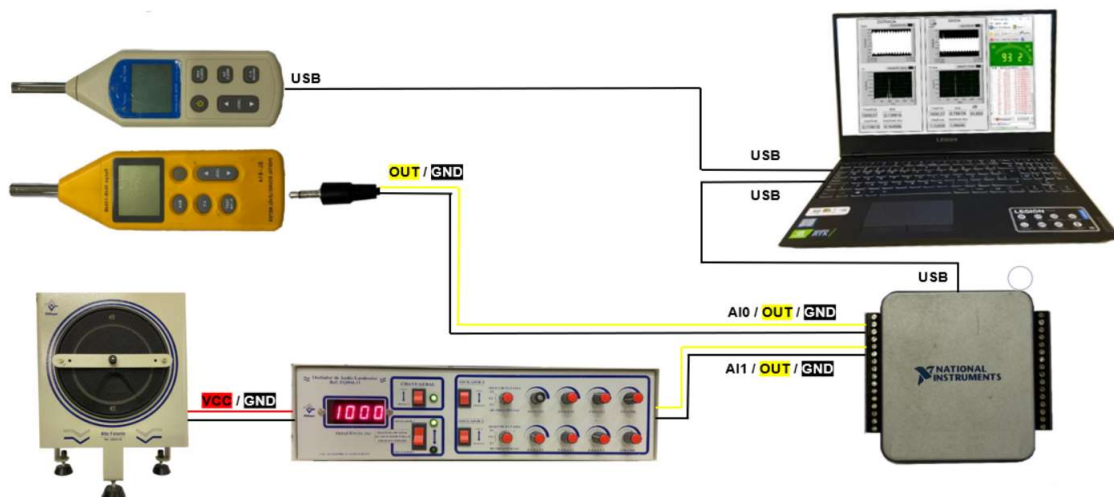
### 3.3 FUNÇÃO DE TRANSFRÊNCIA

Este tópico se dividiu em duas partes, cada uma trata da calibração dos instrumentos analisados. Com a programa de LabView, é possível fazer a ligação dos instrumentos à bancada, para determinar a função de transferência.

#### 3.3.1 FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA SONOMETRO SL-S14

Inicialmente se analisou o sonômetro SL-S14. A (Fig. 8) representa o esquema de ligação do sensor para aquisição dos dados obtidos.

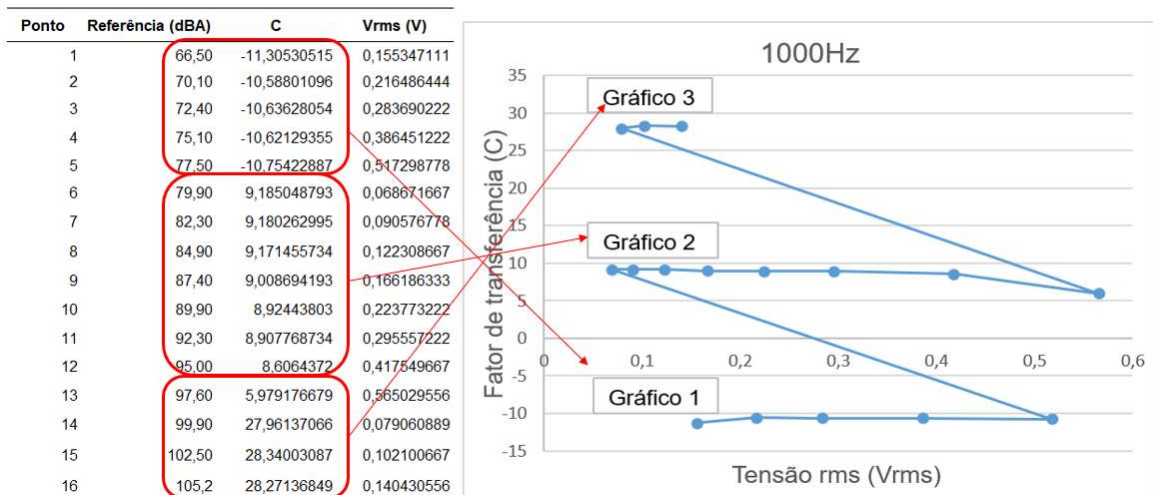
Figura 8: Esquema de ligação SL-S14.



Fonte: do Autor (2020)

Foram realizadas 16 aquisições com a intensidade variando entre 66,5 dBA e 105,2 dBA, todas na frequência de 1000Hz conforme representado na (Fig.9). Não foi possível fazer aquisições inferiores à 66,5 dBA e superiores à 105,2 dBA, pois se verificou limitações no gerador de funções, demarcando a faixa de aquisição.

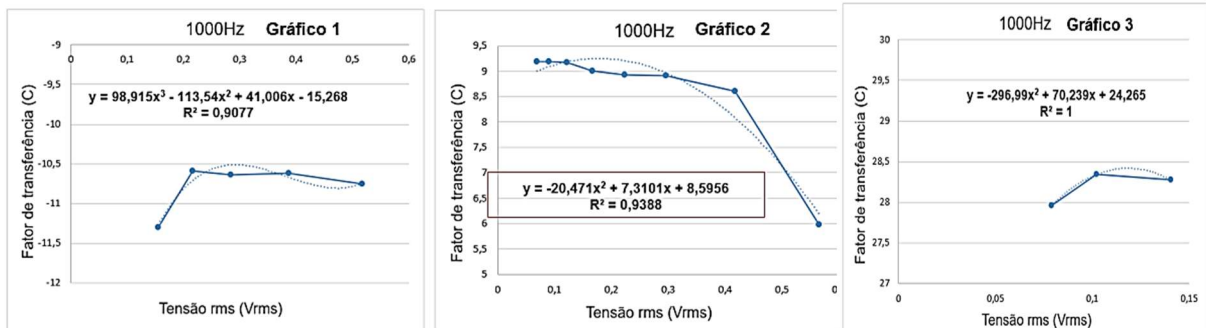
Figura 9: Representação da tabela com pontos aquisitados ligados ao gráfico (Fator de transferência X Tensão rms do sonômetro SL-S14).



Fonte: do Autor (2020)

Após a construção do gráfico, percebeu-se que a função de transferência se comporta por faixas em relação a intensidade recebida. Devido a isto, dividiu-se o gráfico (Fig. 10) em três partes, sendo, gráfico 1 com os pontos de 1 à 5, gráfico 2 com pontos de 6 à 12 e gráfico 3 com pontos de 13 à 16.

Figura 10: Gráficos função de transferência SL-S14.



Fonte: do Autor (2020)

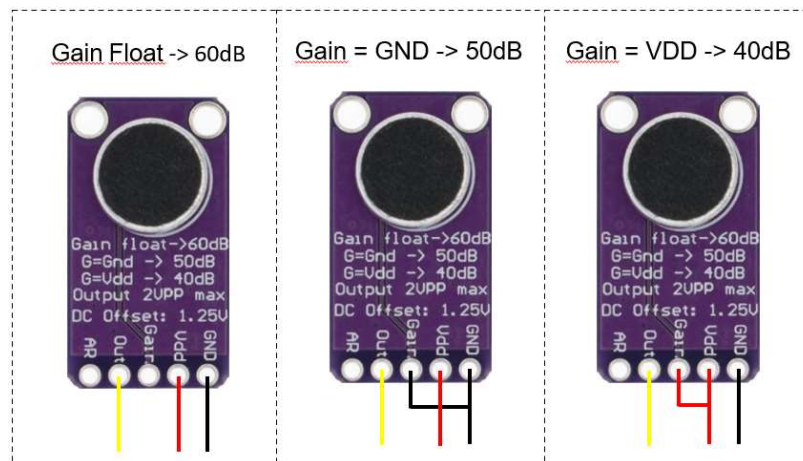
A (Fig.10) obtém os gráficos das funções de transferência do sonômetro SL-S14. A função de transferência usada no decorrer do estudo foi a do gráfico 2, pois abrange um maior número de aquisições, dando assim, maior confiabilidade ao caso.



### 3.3.2 FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA SENSOR AMPLIFICADOR MAX9814

O amplificador MAX9814 possui três ligações distintas, cada uma com um ganho diferente. Foram analisados os três tipos de ligações a fim de, encontrar o melhor comportamento entre as mesmas. A (Fig.11) representa as ligações.

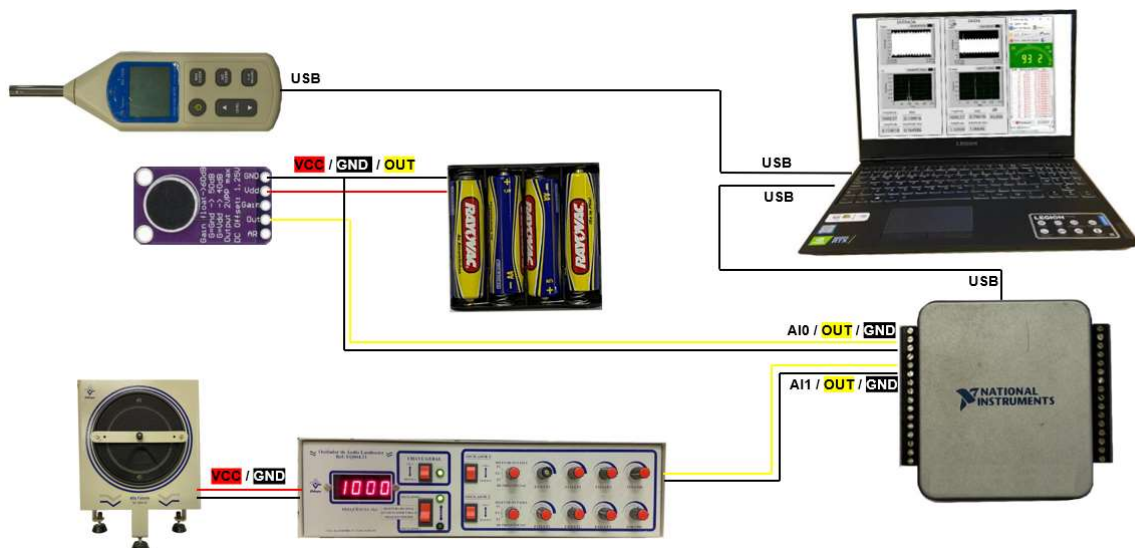
Figura 11: Ligações do sensor amplificador MAX9814.



Fonte: do Autor (2020)

Para ligar o sensor ao sistema, utilizou-se quatro pilhas de 1,5 Volts em série. Não se utilizou uma fonte externa ligada a rede elétrica ao caso, para obter menores ruídos elétricos ao sistema, os quais influenciariam diretamente no sinal captado ao sensor. A (Fig. 12) representa o esquema de ligação a bancada.

Figura 12: Esquema de ligação MAX9814.



Fonte: do Autor (2020)

A (Fig.12) representa o esquema de ligação do sensor MAX9814 com o *Gain Float*, este esquema teve um ganho de 60dB, sendo o primeiro caso analisado. Foram realizadas algumas medições, os resultados são mostrados na (Tab. 2) variando entre 59,9 dBA e 105,1dBA, com frequência de 1000Hz.

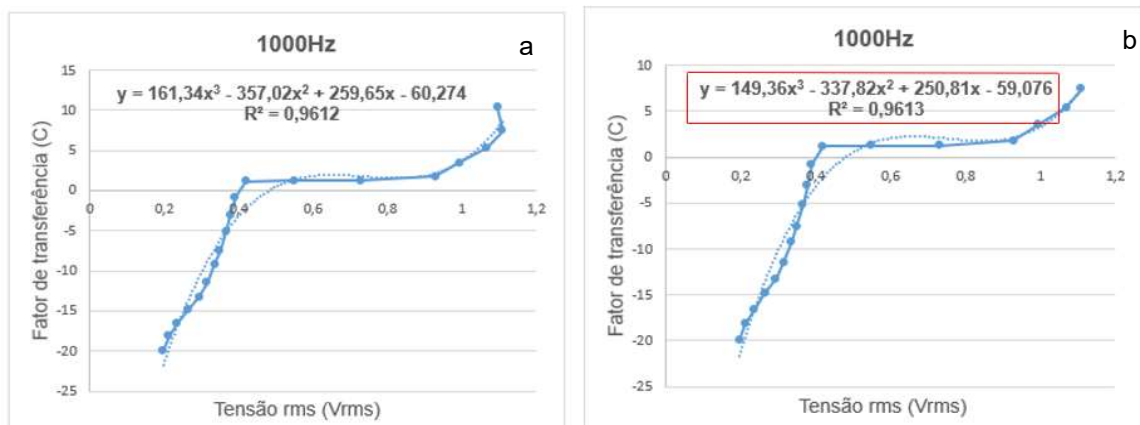
Tabela 2: Representação da tabela com pontos aquisitados e gráfico fator de transferência X Tensão rms do sensor MAX9818 ganho de 60dB.

Ponto	Referência (dBA)	C	Vrms (V)
1	59,90	-19,94484356	0,196925
2	62,40	-18,14110351	0,2133638
3	64,90	-16,54292645	0,2364148
4	67,70	-14,78990041	0,2666223
5	70,10	-13,27216263	0,2950752
6	72,50	-11,46518816	0,3158664
7	75,30	-9,188786523	0,3355423
8	77,30	-7,564843532	0,3503066
9	80,10	-5,167911862	0,3669119
10	82,40	-3,125882059	0,3780006
11	85,00	-0,808133986	0,3904553
12	87,60	1,16798998	0,4194656
13	90,00	1,213905244	0,5499823
14	92,50	1,25539368	0,729903
15	95,10	1,762621937	0,928776
16	97,40	3,479727485	0,9932607
17	99,90	5,367449695	1,0686693
18	102,30	7,45028788	1,1092796
19	105,1	10,36704757	1,0959843

Fonte: do Autor (2020)

Construiu-se dois gráficos (Fig.15) utilizando todos os pontos necessários para analisar o comportamento do sensor.

Figura 15: Gráficos da função de transferência MAX9818 ganho de 60 dB.



Fonte: do Autor (2020)

No gráfico da (Fig. 13 a), foram utilizados todos os pontos e o gráfico da (Fig. 13 b) foi feito ignorando o ponto 19, pois teria ultrapassado o limite superior do sensor, tendo como intensidade máxima 102,3 dBA. Com isso utilizou-se a função de transferência gráfico a direita.

O segundo modo de ligação analisado foi com Gain = GND, resultando em um ganho de 50dB. Obteve-se 19 aquisições (Tab. 3), variando sua intensidade entre 59,1 dBA a 104,8 dBA, com frequência em 1000 Hz.

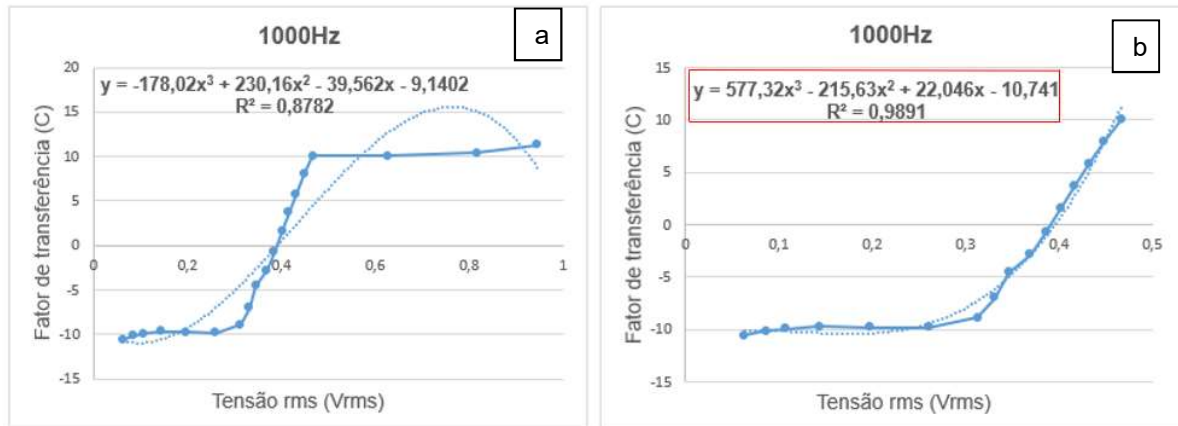
Tabela 3: Representação da tabela com pontos aquisitados e gráfico fator de transferência X Tensão rms do sensor MAX9818 ganho de 50 dB.

Ponto	Referência (dBA)	C	Vrms (V)
1	59,10	-10,5284538	0,0635459
2	62,40	-10,12164488	0,0864125
3	64,60	-9,919400062	0,1076103
4	67,40	-9,675795631	0,1434634
5	70,10	-9,781594678	0,1975848
6	72,50	-9,79622328	0,2606639
7	75,00	-8,88823161	0,3132262
8	77,40	-6,980164585	0,3315125
9	80,20	-4,557187912	0,3461777
10	82,50	-2,824539394	0,3693786
11	85,00	-0,704867675	0,3858731
12	87,60	1,530258709	0,402396
13	90,10	3,721097844	0,4169548
14	92,50	5,802373592	0,4324978
15	95,00	7,977502579	0,4489578
16	97,40	10,03342867	0,467111
17	100,00	10,04914904	0,6288981
18	102,60	10,37990651	0,8166543
19	104,80	11,29789269	0,9465356

Fonte: do Autor (2020)

A fim de avaliar o comportamento do sensor, construiu-se os gráficos (Fig. 14) com os dados da (Tab. 3).

Figura 14: Gráficos função de transferência MAX9818 ganho de 50dB.



Fonte: do Autor (2020)

Pode se perceber que o gráfico da (Fig. 16 a), foi feito utilizando todos os pontos, porém extrapolou ao chegar no ponto 16, com intensidade máxima de 97,4 dBA, por isso foram desconsiderados os pontos 17, 18 e 19. Com isso conseguiu-se uma função de transferência mais precisa, sendo a função do gráfico da (Fig. 16 b).

O terceiro modo de ligação testado foi com Gain = VDD, resultando no ganho de 40 dB. Realizou-se 15 medições (Tab. 4), as quais variaram entre 65,1 dBA à 100 dBA com uma frequência de 1000 Hz.

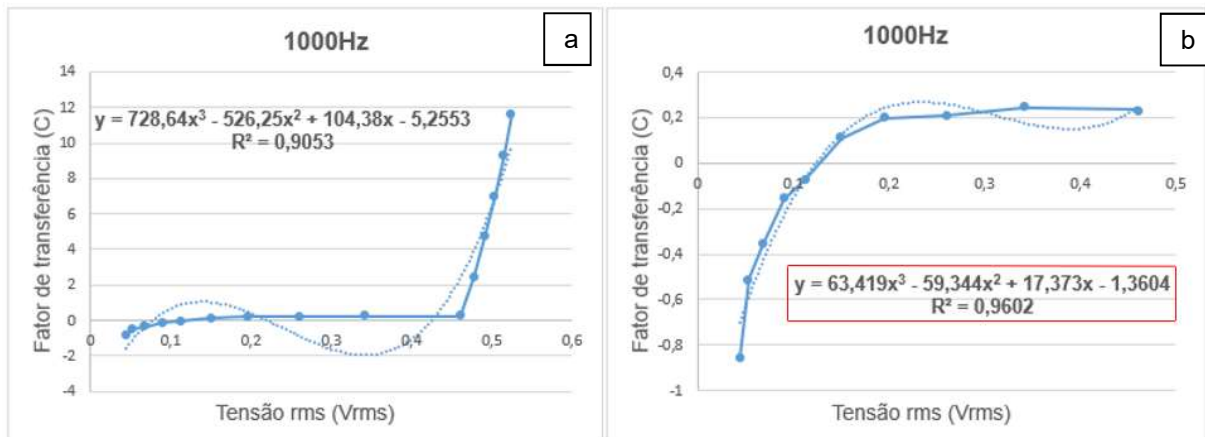
Tabela 4: Representação da tabela com pontos aquisitados e gráfico fator de transferência X Tensão rms do sensor MAX9818 ganho de 50dB.

Ponto	Referência (dBA)	C	Vrms (V)
1	65,10	-0,857788784	0,0444162
2	67,40	-0,509012707	0,0534726
3	70,00	-0,359000003	0,0685854
4	72,80	-0,155587574	0,0905429
5	74,90	-0,072745285	0,1132034
6	77,60	0,112032212	0,1503607
7	80,00	0,199165891	0,1957774
8	82,50	0,210179237	0,2604741
9	84,90	0,244605199	0,3418892
10	87,50	0,236491929	0,4615675
11	90,00	2,42516385	0,4784231
12	92,50	4,691943911	0,4914276
13	95,00	6,980889895	0,5035317
14	97,50	9,281698031	0,5151862
15	100,00	11,62981567	0,5242705

Fonte: do Autor (2020)

Realizou-se os gráficos de função de transferência (Fig. 15) para avaliar o comportamento do sensor.

Figura 15: Gráficos função de transferência MAX9818 ganho de 40dB.



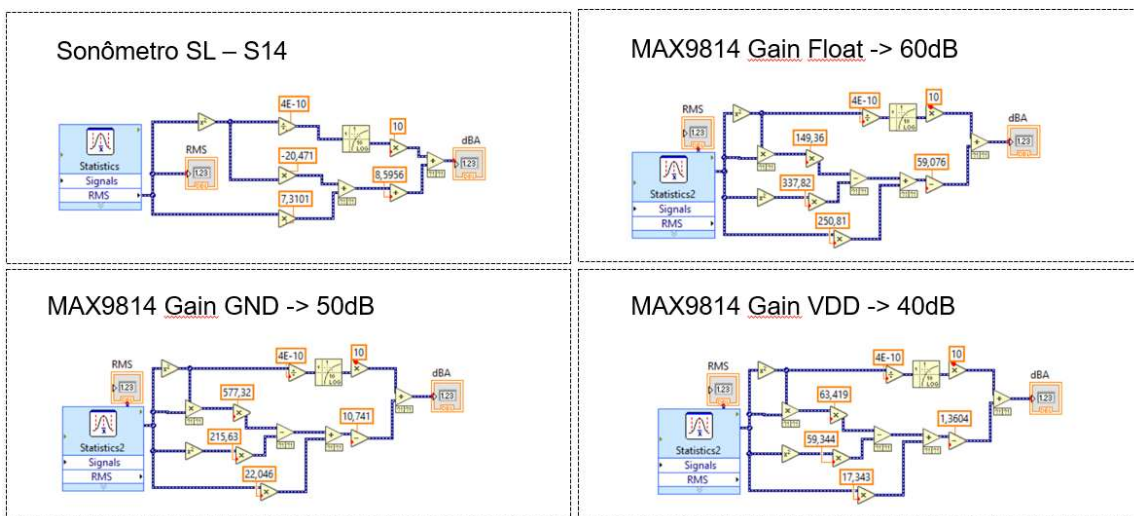
Fonte: do Autor (2020)

Percebeu-se que o gráfico da (Fig. 15 a), efetuado com todos os pontos, chegou ao seu limite no ponto 10, com 87,5dBA. Por isso foram desconsiderados os pontos 11, 12, 13, 14 e 15. Com isso conseguiu-se uma função de transferência mais precisa, sendo a função do gráfico (Fig. 15 b).

### 3.3.1 INTRODUÇÃO DO FATOR DE TRANSFERÊNCIA AO PROGRAMA

Para avaliar a calibração dos sensores, introduziu-se ao programa as funções de transferência de cada sensor. Na Fig. 16 se mostra exemplos de aplicação.

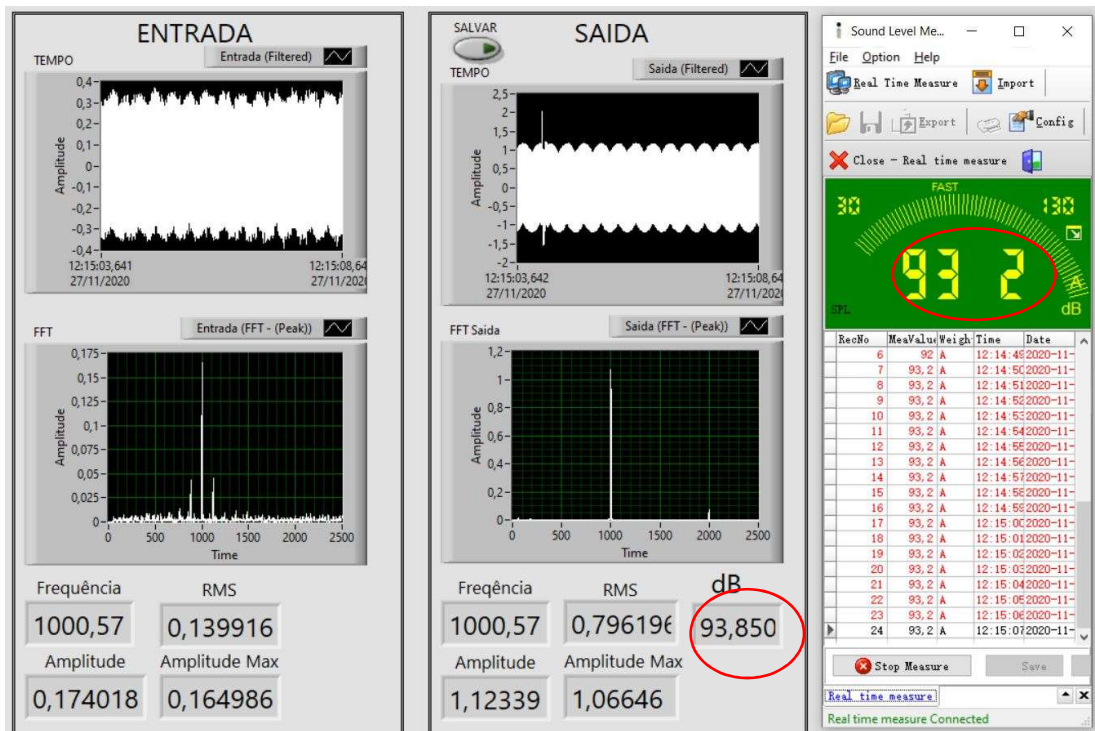
Figura 16: Função de transferência no software *LabView®*.



Fonte: do Autor (2020)

Acrescentou-se então ao painel frontal o valor da intensidade em dBA. Na Fig. 17 se mostra os dois sonômetros posicionados no mesmo ponto de medição.

Figura 17: Painel frontal após introdução da função de transferência.



Fonte: do Autor (2020)

Posteriormente comparou-se os sensores calibrados com o sensor de referência a fim de analisar a discrepância entre as intensidades medidas. Foram avaliados com frequências de 250Hz, 500Hz e 1000Hz.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliou-se o primeiramente o sensor SL-S14. Analisando os pontos medidos entre o sensor SL-S14 e o MSL-1955B, encontrando a incerteza da medição.

Foi Realizado o gráfico na Fig. 18, para analisar a discrepância entre as medições do sensor calibrado SL-S14 e o sensor de referência MSL-1355B.

Tabela 5: Comparações de medições entre o sensor SL-S14 e MSL-1355B.

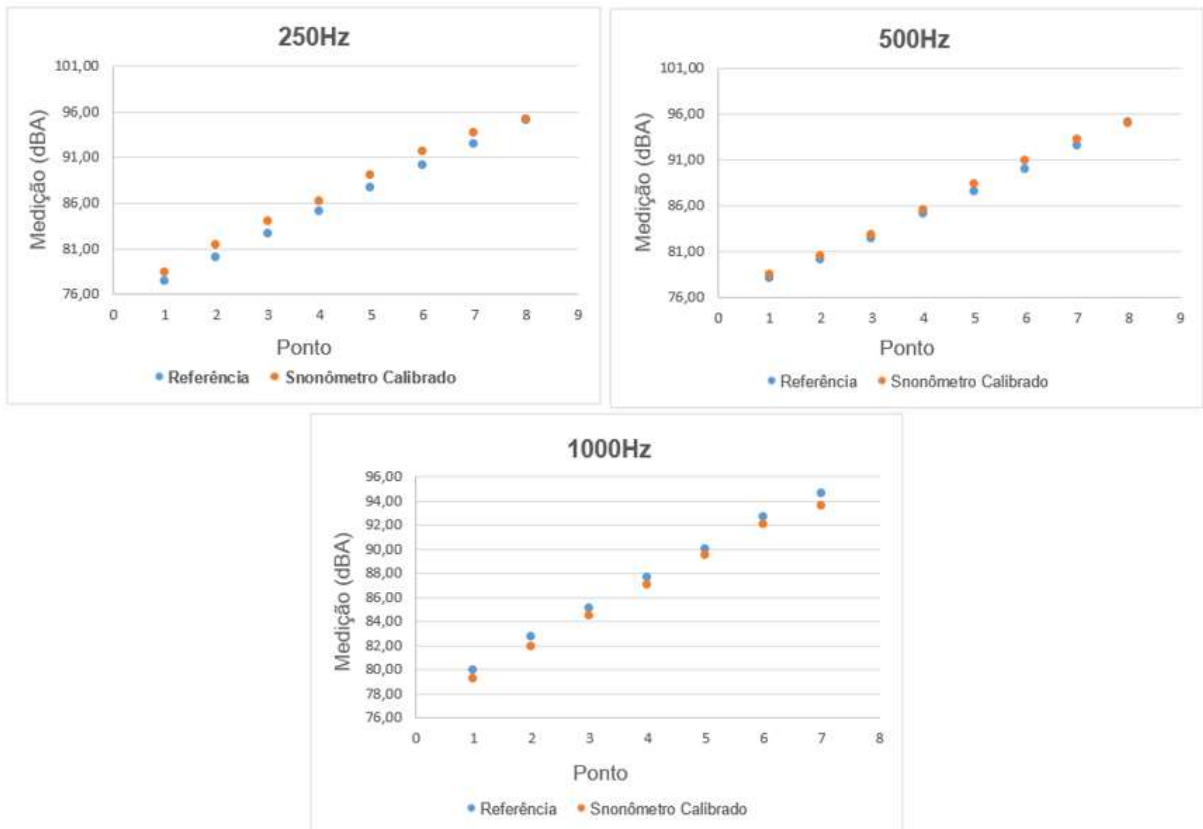
250Hz					500Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)	Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	77,40	78,40	1,00	0,03	1	78,00	78,40	0,40	0,03
2	80,00	81,30	1,30	0,01	2	80,10	80,50	0,40	0,03
3	82,60	83,90	1,30	0,12	3	82,40	82,70	0,30	0,03
4	85,00	86,20	1,20	0,03	4	85,00	85,50	0,50	0,03
5	87,60	89,00	1,40	0,02	5	87,50	88,30	0,80	0,02
6	90,10	91,60	1,50	0,02	6	90,00	90,90	0,90	0,02
7	92,40	93,70	1,30	0,01	7	92,50	93,20	0,70	0,00
8	95,00	95,10	0,10	0,00	8	95,10	94,90	-0,20	0,00

1000Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	79,90	79,20	-0,70	0,01
2	82,70	81,90	-0,80	0,01
3	85,00	84,40	-0,60	0,01
4	87,60	87,00	-0,60	0,01
5	90,00	89,50	-0,50	0,01
6	92,60	92,00	-0,60	0,00
7	94,60	93,60	-1,00	0,00

Fonte: do Autor (2020)

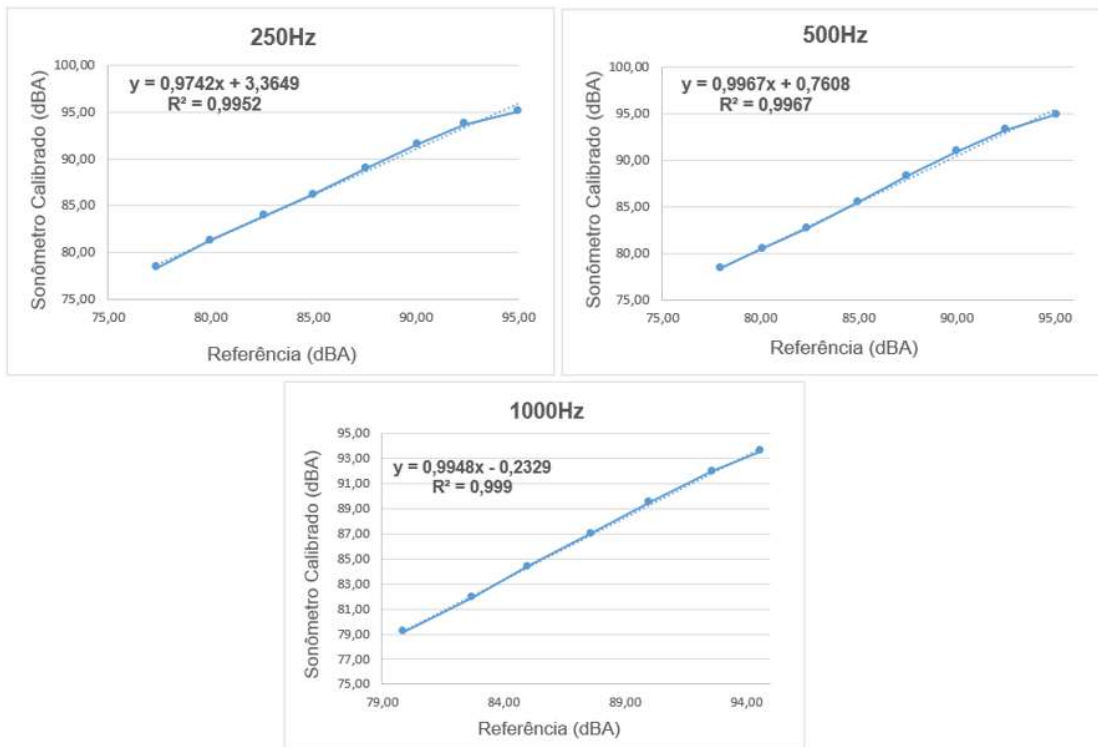
Figura 18: Gráfico discrepância entre medições do SL-S14 e MSL-1355B.



Fonte: do Autor (2020)

Na figura 19 se mostra o gráfico da correlação direta entre as medições do sensor calibrado SL-S14 e o sensor de referência MSL-1355B, a fim de avaliar a linearidade entre medições. Na tabela 6 os resultados da correlação das medições.

Figura 19: Gráfico correlação direta do MSL1955B X SL-S14.



Fonte: do Autor (2020)

Obtiveram-se resultados gráfico de correlação direta, como inclinação sendo o nível de correlação entre os instrumentos, a intercepção representando o erro sistemático  $R^2$  indicando a aproximação entre seus pontos e a reta teórica.

Tabela 6: Dados da correlação direta MSL1955B X SL-S14.

<b>250Hz</b>		<b>500Hz</b>		<b>1000Hz</b>	
Correlação Direta		Correlação Direta		Correlação Direta	
Inclinação	0,9742	Inclinação	0,9967	Inclinação	0,9948
Intercepção	3,3649	Intercepção	0,7608	Intercepção	-0,2329
Correlação	0,9976	Correlação	0,9984	Correlação	0,9995
$R^2$	0,9952	$R^2$	0,9967	$R^2$	0,9990

Fonte: do Autor (2020)

A segunda avaliação foi do sensor MAX9814 com ganho de 60dB. Analisando os pontos medidos entre o sensor MAX9814 com ganho de 60dB e o MSL-1955B, encontrando a incerteza para cada medição. A tabela 7 compara as medições.



Tabela 7: Comparações de medições entre o sensor MAX9814 com ganho 60dB e MSL-1355B.

250Hz					500Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)	Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	67,20	65,10	-2,10	1,53	1	67,80	66,70	-1,10	1,57
2	69,80	70,50	0,70	1,51	2	70,10	70,90	0,80	1,24
3	72,50	75,10	2,60	1,03	3	72,70	74,40	1,70	0,96
4	75,00	77,90	2,90	0,91	4	75,00	77,10	2,10	0,87
5	77,50	79,80	2,30	0,78	5	77,60	78,70	1,10	0,84
6	80,00	81,50	1,50	0,65	6	80,00	80,00	0,00	0,75
7	82,50	82,50	0,00	0,57	7	82,60	81,20	-1,40	0,67
8	85,00	83,00	-2,00	0,54	8	85,10	82,20	-2,90	0,65
9	87,60	86,90	-0,70	0,29	9	87,50	86,40	-1,10	0,29
10	90,20	92,00	1,80	0,07	10	90,10	91,80	1,70	0,08
11	92,50	93,90	1,40	0,02	11	92,50	93,90	1,40	0,03
12	95,00	96,30	1,30	0,10	12	95,10	95,90	0,80	0,06
13	97,50	98,60	1,10	0,11	13	97,50	97,90	0,40	0,11
14	100,00	100,40	0,40	0,17	14	100,00	99,70	-0,30	0,15
15	102,60	101,10	-1,50	0,16	15	102,50	100,50	-2,00	0,32

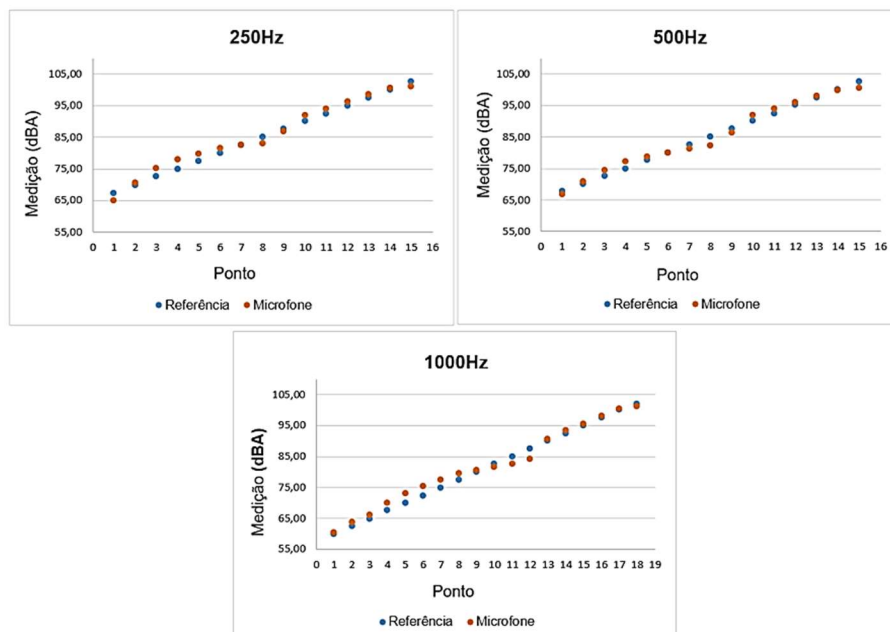
  

1000Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	59,90	60,40	0,50	2,08
2	62,40	63,80	1,40	2,80
3	64,70	66,10	1,40	1,94
4	67,70	69,90	2,20	1,64
5	70,00	73,00	3,00	1,85
6	72,30	75,30	3,00	1,56
7	74,90	77,40	2,50	1,47
8	77,50	79,40	1,90	1,31
9	80,10	80,60	0,50	1,13
10	82,50	81,60	-0,90	1,08
11	85,00	82,60	-2,40	0,99
12	87,50	84,00	-3,50	0,71
13	90,00	90,50	0,50	0,13
14	92,40	93,30	0,90	0,03
15	95,00	95,40	0,40	0,05
16	97,50	98,00	0,50	0,12
17	100,00	100,40	0,40	0,11
18	101,80	101,20	-0,60	0,41

Fonte: do Autor (2020)

Obtiveram-se o gráfico da Fig. 20 para analisar a discrepância entre as medições do sensor calibrado MAX9814 com ganho de 60dB e o sensor de referência.

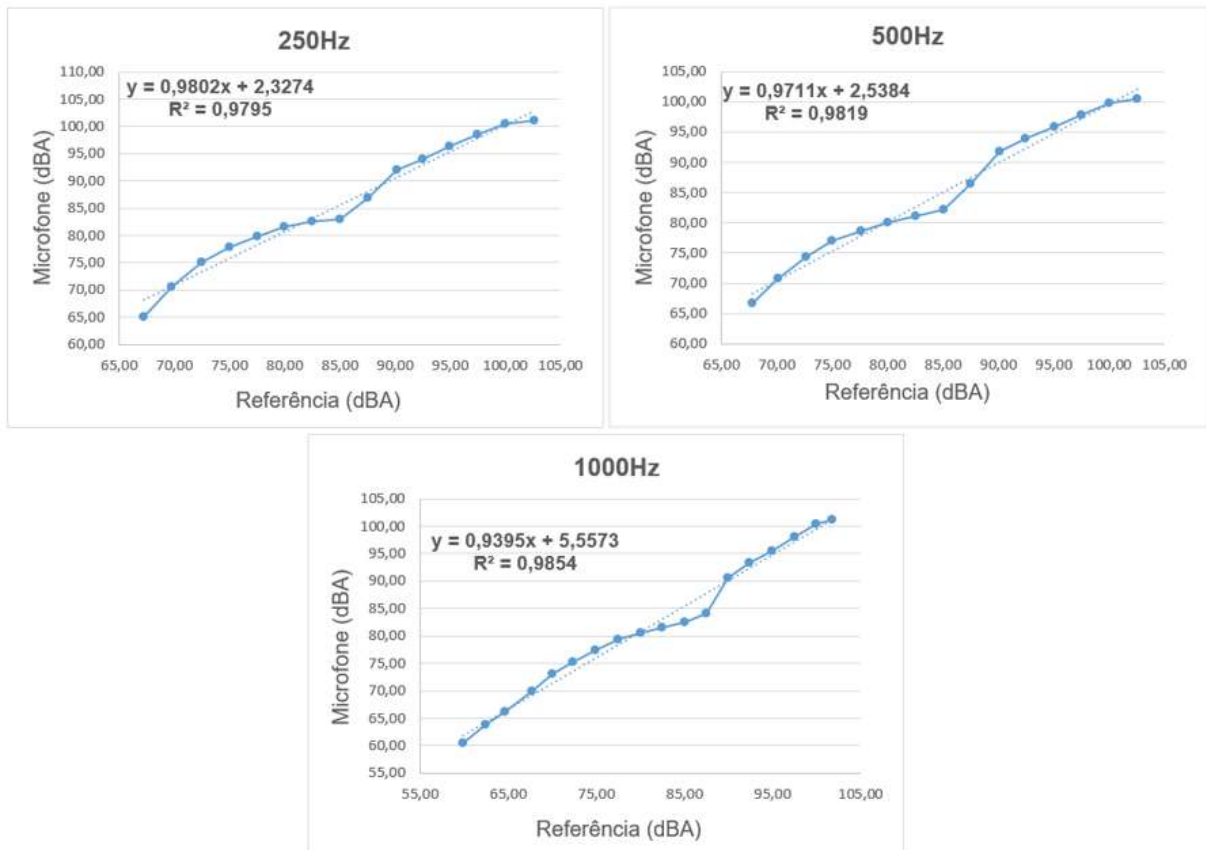
Figura 20: Discrepância entre medições do MAX9814 ganho de 60dB e MSL-1355B.



Fonte: do Autor (2020)

Na sequência realizou-se o gráfico da Fig. 21 de correlação direta entre as medições do sensor calibrado MAX9814 com ganho de 60dB e o sensor de referência MSL-1355B, para avaliar a linearidade entre medições.

Figura 21: Gráfico correlação direta do MSL1955B X MAX9814 ganho 60dB.



Fonte: do Autor (2020)

Resultaram-se a partir do gráfico de correlação direta a inclinação, intercepção e  $R^2$  são mostrados na tabela 8.

Tabela 8: Dados da correlação direta MSL1955B X MAX9814 ganho 60dB.

<b>250Hz</b>		<b>500Hz</b>		<b>1000Hz</b>	
Correlação Direta		Correlação Direta		Correlação Direta	
Inclinação	0,9802	Inclinação	0,9711	Inclinação	0,9395
Intercepção	2,3274	Intercepção	2,5384	Intercepção	5,5573
Correlação	0,9897	Correlação	0,9909	Correlação	0,9927
$R^2$	0,9795	$R^2$	0,9819	$R^2$	0,9854

Fonte: do Autor (2020)

A terceira análise foi do sensor MAX9814 com ganho de 50dB. Avaliou-se os pontos medidos entre o sensor MAX9814 com ganho de 50dB e o MSL-1955B, encontrando a incerteza de medição. A tabela 9 mostra a comparação das medições.

Tabela 9: Comparações entre o sensor MAX9814 com ganho 50dB e MSL-1355B.

250Hz					500Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)	Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	65,10	66,10	1,00	0,86	1	64,90	66,30	1,40	0,84
2	67,50	67,40	-0,10	0,68	2	67,30	67,80	0,50	0,66
3	69,70	69,00	-0,70	0,62	3	70,00	70,20	0,20	0,53
4	72,40	71,90	-0,50	0,59	4	72,60	73,20	0,60	0,79
5	75,00	75,00	0,00	1,16	5	75,00	74,90	-0,10	1,02
6	77,30	77,40	0,10	1,26	6	77,40	76,80	-0,60	1,00
7	80,10	80,10	0,00	1,20	7	80,00	78,90	-1,10	1,04
8	82,50	82,80	0,30	1,16	8	82,50	81,10	-1,40	0,98
9	84,90	85,80	0,90	1,31	9	84,90	83,30	-1,60	1,04
10	87,50	88,60	1,10	1,31	10	87,40	85,60	-1,80	1,15
11	90,10	91,50	1,40	1,05	11	90,00	87,90	-2,10	1,20
12	92,50	94,30	1,80	1,33	12	92,50	90,30	-2,20	1,12
13	95,00	97,70	2,70	1,45	13	95,00	93,10	-1,90	1,41
					14	97,50	100,00	2,50	1,34

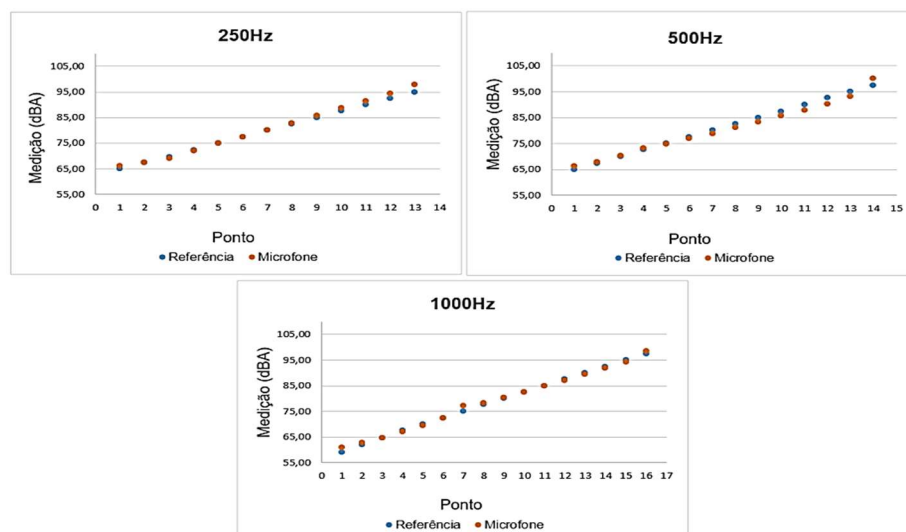
  

1000Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	59,00	60,90	1,90	2,06
2	62,00	62,80	0,80	1,57
3	64,60	64,70	0,10	1,13
4	67,60	67,10	-0,50	0,77
5	70,00	69,50	-0,50	0,60
6	72,40	72,50	0,10	0,58
7	75,00	77,20	2,20	1,71
8	77,60	78,30	0,70	1,82
9	80,00	80,50	0,50	2,40
10	82,50	82,60	0,10	2,23
11	85,00	84,80	-0,20	2,79
12	87,60	87,00	-0,60	2,73
13	90,00	89,40	-0,60	3,18
14	92,40	91,70	-0,70	2,82
15	94,90	94,10	-0,80	2,66
16	97,40	98,40	1,00	2,87

Fonte: do Autor (2020)

O gráfico da Fig. 22 analisa a discrepância entre as medições do sensor calibrado MAX9814 com ganho de 50dB e o sensor de referência MSL-1355B.

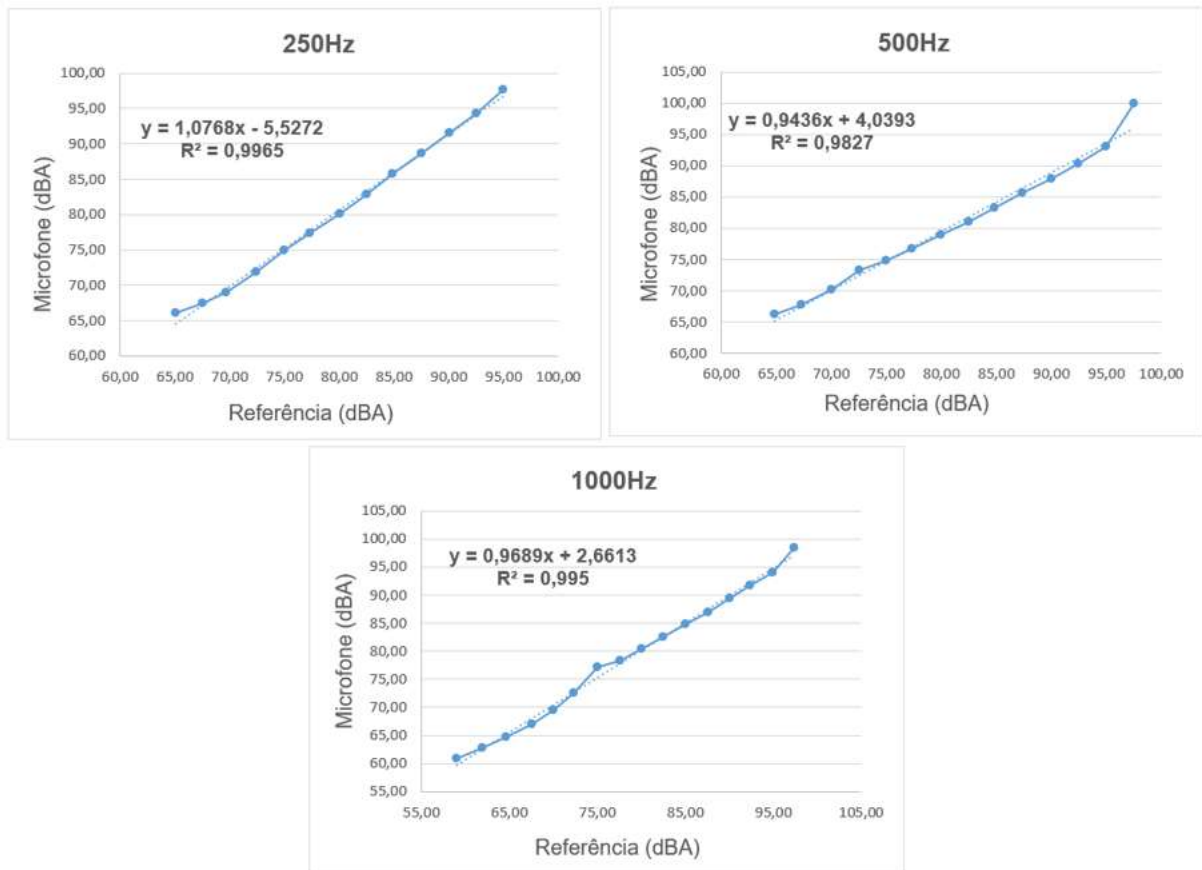
Figura 22: Discrepância entre medições do MAX9814 ganho de 50dB e MSL-1355B.



Fonte: do Autor (2020)

Realizou-se o gráfico da Fig. 23 de correlação direta entre as medições do sensor calibrado MAX9814 com ganho de 50dB e o sensor de referência MSL-1355B, para avaliar a linearidade entre medições.

Figura 23: Gráfico correlação direta do MSL1955B X MAX9814 ganho 50dB.



Fonte: do Autor (2020)

Resultaram-se a partir do gráfico de correlação direta a inclinação, intercepção e  $R^2$ . A tabela 10 mostra os valores de correlação para as frequências de 250, 500 e 1000 Hz.

Tabela 10: Dados da correlação direta MSL1955B X MAX9814 ganho 50dB.

<b>250Hz</b>		<b>500Hz</b>		<b>1000Hz</b>	
Correlação Direta		Correlação Direta		Correlação Direta	
Inclinação	1,0768	Inclinação	0,9436	Inclinação	0,9689
Intercepção	-5,5272	Intercepção	4,0393	Intercepção	2,6613
Correlação	0,9982	Correlação	0,9913	Correlação	0,9975
$R^2$	0,9965	$R^2$	0,9827	$R^2$	0,9950

Fonte: do Autor (2020)

A quarta e última análise foi do sensor MAX9814 com ganho de 40dB. Avaliou-se os pontos medidos entre o sensor MAX9814 com ganho de 40dB e o MSL-1955B, encontrando a incerteza de medição. A tabela 11 mostra as comparações.

Tabela 11: Comparação de medições do sensor MAX9814 de ganho 40dB e MSL-1355B.

250Hz					500Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)	Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	55,20	58,30	3,10	6,25	1	54,70	58,30	3,60	6,25
2	57,40	59,70	2,30	5,79	2	57,40	59,70	2,30	5,79
3	60,20	61,20	1,00	5,27	3	60,10	61,20	1,10	5,27
4	62,50	63,00	0,50	4,68	4	62,50	63,00	0,50	4,68
5	64,80	65,10	0,30	3,96	5	65,00	65,10	0,10	3,96
6	67,60	67,20	-0,40	3,30	6	67,60	67,20	-0,40	3,30
7	70,00	70,20	0,20	2,65	7	69,90	70,00	0,10	2,47
8	72,70	72,40	-0,30	1,92	8	72,40	72,40	0,00	1,85
9	75,00	74,80	-0,20	1,33	9	75,00	74,90	-0,10	1,28
10	77,50	77,40	-0,10	0,85	10	77,50	77,40	-0,10	0,85
11	80,00	80,00	0,00	0,50	11	80,10	80,00	-0,10	0,50
12	82,40	82,60	0,20	0,29	12	82,50	82,60	0,10	0,29
13	87,50	87,50	0,00	0,12	13	84,90	84,90	0,00	0,18

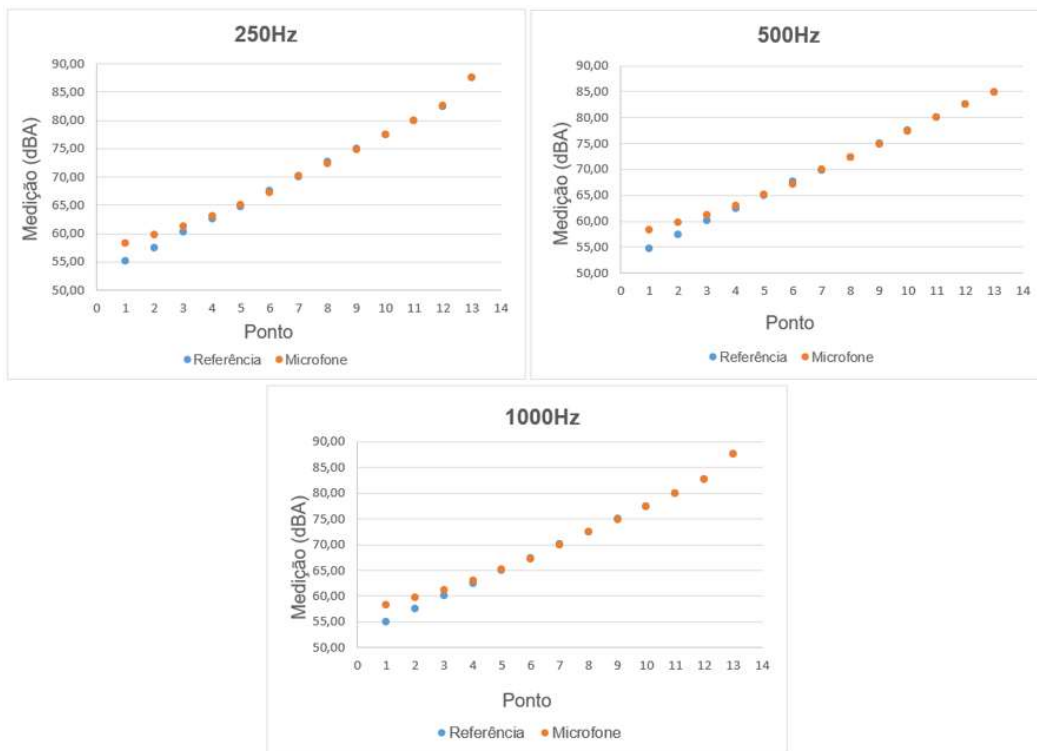
1000Hz				
Ponto	Referência (dBA)	Microfone (dBA)	Desvio (dBA)	Incerteza (dBA)
1	55,00	58,30	3,30	6,25
2	57,50	59,70	2,20	5,79
3	60,00	61,20	1,20	5,27
4	62,40	63,00	0,60	4,48
5	65,00	65,10	0,10	3,92
6	67,40	67,20	-0,20	3,30
7	70,10	70,00	-0,10	2,47
8	72,50	72,40	-0,10	1,85
9	75,00	74,90	-0,10	1,28
10	77,40	77,40	0,00	0,85
11	80,00	80,00	0,00	0,50
12	82,60	82,60	0,00	0,29
13	87,50	87,50	0,00	0,12

Fonte: do Autor (2020)

Obtiveram-se o gráfico da Fig. 24 para analisar as discrepâncias de valores das medições entre o sensor calibrado MAX9814 com ganho de 40dB e o sensor de referência MSL-1355B. As discrepâncias basicamente forem nas menores intensidades sonoras, em quanto que nas maiores intensidades sonoras a precisão foi boa.

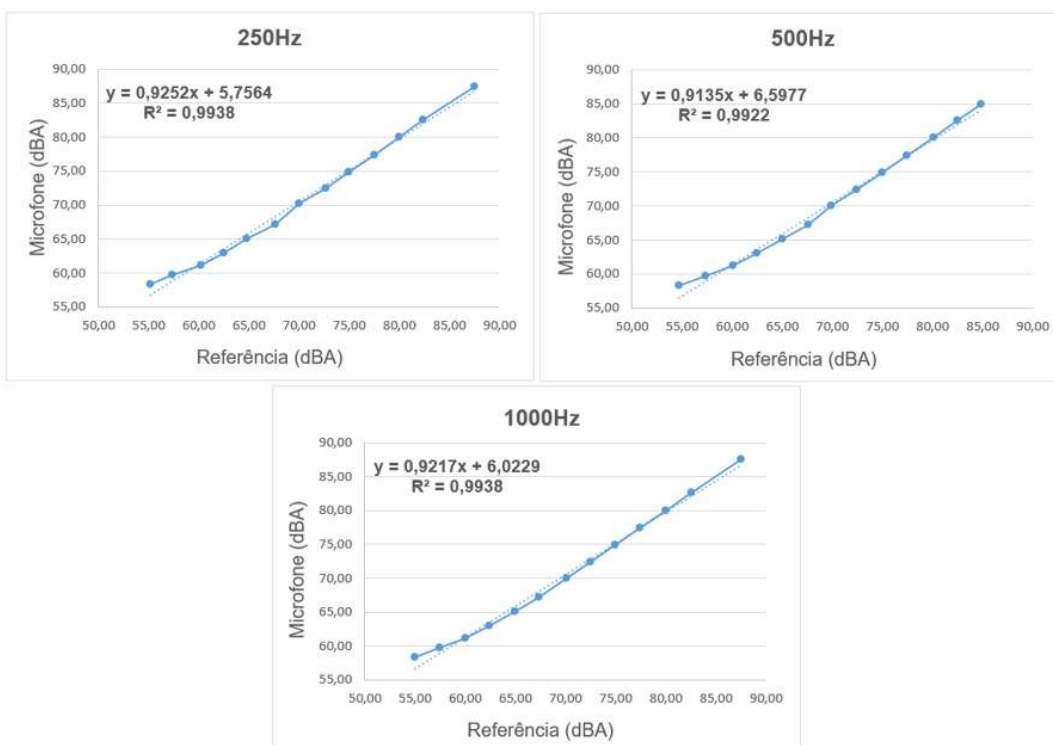
A Fig. 25 mostra outro processamento de dados, nesta vez se realizou o gráfico de correlação direta entre as medições do sensor calibrado MAX9814 com ganho de 50dB e o sensor de referência MSL-1355B, para avaliar a linearidade entre medições. Para todos os casos a correlação quadrada foi maior a 99%. A interceptação da reta é amior que cinco e menor que 7 esse valor se relaciona como erro sistemático.

Figura 24: Gráfico discrepância entre medições do MAX9814 ganho de 40dB e MSL-1355B.



Fonte: do Autor (2020)

Figura 25: Gráfico correlação direta do MSL1955B X MAX9814 ganho 40dB.



Fonte: do Autor (2020)

## 4 CONCLUSÕES

É de conhecimento que existem diversos equipamentos desenvolvidos para mensurar os níveis de pressão sonora, em sua maioria, não conseguem realizar a análise dos sinais no domínio da frequência, informação crucial para análise do som.

Verificou-se que sensor SL-S14 possui o sinal mais estável que o sensor MAX9814, pois tem o valor de incerteza muito próximo de zero, tendo vista que a maior o desvio foi na frequência de 250Hz tendo uma diferença entre o sonômetro de referência MSL-1955B de +1,5dBA. Tendo uma confiabilidade de 93,88% em relação a sua função de transferência.

O sensor MAX9814 apresentou resultados satisfatórios, devido ao seu custo-benefício. Apesar de apresentar uma certa instabilidade quando trabalhando no domínio do tempo, se consegue adquirir um resultado satisfatório ao processar o sinal, fazendo uma média com cada pacote de dados. Tendo em vista que nas baixas intensidades o sensor possui uma incerteza maior, podendo chegar a 6,25 dBA trabalhando com a ligação Gain = VDD, com ganho de 40dB, porém a incerteza diminui conforme aumenta a intensidade. A maior confiabilidade em relação a função de transferência se deu com o Gain = GND, com ganho de 50dB, resultando em 98,91%.

Conclui-se que, mesmo havendo sensores mais confiáveis, por consequência possuem um custo elevado, as problemáticas da pesquisa podem ser desenvolvidas com os respectivos sensores aplicados. Havendo-se o domínio da linguagem de programação, processamento de dados confiáveis, compreendendo os conceitos que são aplicados a cada caso de acústica, pode-se desenvolver pesquisas que não necessitem apenas de sensores com alta precisão de informações, os quais possuem um software fechado, estes identificados por impossibilitar a comunicação com outras linguagens de programação. Sendo assim, um diferencial do método. A partir desta pesquisa há a possibilidade de desenvolver diversas pesquisas, como a confecção de um aparelho localizador de fontes de ruídos, o qual consiste em uma malha de sensores Microfone Eletreto Max9814, realizando a programação com o software Labview® e um algoritmo em Matlab®, o qual mostra em forma gráfica os pontos de incidência de ruído. Trazendo uma solução viável para análise de ruído em equipamentos.

## REFERÊNCIAS

ARANHA, Carla. **Aumento de barulho urbano leva cidades a procurarem soluções para mapear ruídos**. 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/12/aumento-de-barulho-urbano-leva-cidadesprocurarem-solucoes-para-mapear-ruídos.html>>. Acesso em: 10 março 2020.

DONATO, NAYANA DANIELA. **Estratégias de conforto acústico em arquitetura e design de interiores**. Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - Ano 9, Edição nº 16 Vol. 01 dezembro/2018.

FILHO AZEVEDO, et al, **AVALIAÇÃO PRÁTICA DA INTERLIGAÇÃO ENTRE AS NORMAS NBR 10152 (2017), NBR 10151 E NBR 15575**. XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Porto Alegre, 2018.

LENZI, A. **Controle de ruído em motores de indução trifásicos de médio e grande portes**. 2008. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

MARTINS, Anália Torres. **Elaboração e Aplicação de Procedimento para Análise do Desempenho Acústico nas Vedações Verticais em Unidade Habitacional Multifamiliar com Base na NBR 15.575: 2013. Monografia. Graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2014.**

MATEUS, Diogo. **Acústica de Edifícios e controlo de ruído**. Coimbra: Fctuc-Universidade de Coimbra, 2008.

MILHOMEM, THIAGO ANTÔNIO B.; SOARES, ZEMAR M. DEFILIPPO. **Calibração primária em metrologia acústica**. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, 7º*. 2013.

MILHOMEM, THIAGO ANTÔNIO BACELAR. **Técnica para calibração de microfones de meia polegada por reciprocidade em campo livre**. 2008.

MILHOMEM, THIAGO ANTÔNIO BACELAR. **Calibração de microfones por reciprocidade em campo difuso**. PhD Thesis. Universidade Federal do Rio de Janeiro 2017.

MILHOMEM, Thiago; SOARES, Zemar. **Métodos de Calibração de Microfones de Medição**. XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica-Sobrac, Belo Horizonte, MG, 2008.

NASCIMENTO L. L. C., **Implantação de métodos de calibração de microfones acústicos**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE). 2012. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19/2011/09.27.13.27/doc/Leandro%20Lessa%20C%e2ndido%20Nascimento.pdf>>. Acesso em: 1 maio de 2020.

SOARES, Zemar Martins Defilippo. **Calibração de microfones com resposta impulsiva**. 2006. PhD Thesis. Universidade Federal de Santa Catarina.



## AGRADECIMENTOS

Deixo meus agradecimentos para minha família que esteve sempre me motivando a alcançar meus objetivos. Também agradeço a minha namorada Amanda Kammer, que está sempre ao meu lado me incentivando. E ao Professor Elvys que além de orientador é um grande amigo, que está sempre à disposição, dando ótimos conselhos.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$L_p$	[dB]	Nível de pressão sonora
$P$	[Pa]	Pressão sonora em análise
$P_o$	[ $20 \times 10^{-6}$ Pa]	Pressão sonora de referência
$L_{Aeq}$	[dBA]	Nível de pressão sonora equivalente
$L_i$	[dBA]	Nível de pressão sonora lida em uma posição diferente
$n$	[--]	Número total de medições
$D_L$	[m]	Afastamento da fonte com o microfone direito
$D_R$	[m]	Afastamento da fonte com o microfone esquerdo
$D_M$	[m]	Afastamento entre os microfones
$v_s$	[m/s]	Velocidade do som
$ITD$	[rad]	Intervalo de tempo de retardo entre um microfone e outro
$f_c$	[Hz]	Frequência de corte
$c$	[m/s]	Velocidade do som a 21 °C
$d$	[mm]	Diâmetro interno do tubo
$\lambda$	[m]	Comprimento da onda
$f$	[Hz]	Frequência
$V_{TRMS}$	[Volts]	Filtro estatística
$V$	[Volts]	Tensão
$P_{rms}$	[Pa]	Pressão sonora
$V_{rms}$	[Volts]	Valor eficaz de tensão
$C$	[-]	Fator de conversão
$NPS$	[dB]	Nível de pressão sonora